

Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Geociências  
Departamento de Geografia

Taíza de Pinho Barroso Lucas

**GÊNESES E ESPACIALIDADES DAS  
PRECIPITAÇÕES NAS ESTAÇÕES CHUVOSAS DE  
2010/2011 E 2011/2012 EM BELO HORIZONTE,  
MINAS GERAIS, E SUAS CORRELAÇÕES COM OS  
IMPACTOS HIDROLÓGICOS**

Belo Horizonte

2015

Taíza de Pinho Barroso Lucas

**GÊNESES E ESPACIALIDADES DAS PRECIPITAÇÕES NAS  
ESTAÇÕES CHUVOSAS DE 2010/2011 E 2011/2012 EM  
BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS, E SUAS  
CORRELAÇÕES COM OS IMPACTOS HIDROLÓGICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Orientadora - Profa. Dra. Magda Luzimar de Abreu

Coorientadora - Profa. Dra. Maria Giovanna Parizzi

Belo Horizonte

Instituto de Geociências da UFMG

Agosto de 2015



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
**PROGRAMA de**  
**PÓS-GRADUAÇÃO**  
*em* **GEOGRAFIA**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Taíza de Pinho Barroso Lucas. Gênese e espacialidades das precipitações nas estações chuvosas de 2010/2011 e 2011/2012 em Belo Horizonte, Minas Gerais, e suas correlações com os impactos hidrológicos.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Linha de Pesquisa: Meio ambiente, paisagem e desenvolvimento sustentável

Orientadora - Profa. Dra. Magda Luzimar de Abreu

Coorientadora - Profa. Dra. Maria Giovanna Parizzi

Aprovada pela banca examinadora constituída pelos professores:

---

Dra. Adma Raia - INFRAERO

---

Prof. Dr. Carlos Henrique Jardim – IGC/UFMG

---

Prof. Dr. Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho – DCTA/CEFET-MG

---

Profa. Dra. Magda Luzimar de Abreu - Orientadora

---

Profa. Dra. Maria Giovanna Parizzi - Coorientadora

---

Prof. Dr. Wellington Lopes de Assis – IGC/UFMG

Belo Horizonte, 19 de agosto de 2015

*À querida professora Magda, por  
orientar-me até aqui. Aos meus  
amores, Ronaldo e Maria Laura.*

## AGRADECIMENTOS

Ao iniciar os meus agradecimentos, antecipo meus pedidos de desculpas pelo tamanho deste texto, pois são muitas as pessoas e instituições a quem, nesta etapa final, não posso deixar de manifestar o meu mais sincero sentimento de gratidão. Peço desculpas se me esquecer de alguma, entre as muitas que contribuíram com muita boa vontade para a elaboração desta pesquisa. Posso já não me lembrar de todas, pois o projeto foi escrito há cinco anos, por isso sigo uma ordem cronológica e não de importância.

Agradeço ao professor Carlos Henrique Jardim, que, no primeiro semestre de 2010, ofereceu a disciplina Clima e Sociedade, que contribuiu para ampliar a visão das possibilidades de pesquisa em Climatologia Geográfica, os diálogos e ideias que permitiram a elaboração do pré-projeto de tese no semestre seguinte, assim como indicação de referências, que se transformaram em algumas das discussões apresentadas neste trabalho.

Em seguida, à professora Magda Luzimar de Abreu, por aceitar orientar-me quando já em vias de se aposentar e desligar-se do Departamento de Geografia da UFMG, ainda assim, orientou-me até aqui. À querida professora Magda, desejo agradecer simplesmente pelo fato de existir e me permitir que muitas vezes estivesse em sua companhia. Não foram só cinco anos de doutorado, foram quatro de graduação em Geografia, quando fui sua bolsista de iniciação científica, dois anos e meio de mestrado e três de Educação à Distância (EaD). Não tenho palavras para agradecer todo o conhecimento, legado científico, todas as oportunidades, as compreensões e diálogos que me orientaram para a vida. Enfim, o sentimento de gratidão e carinho é gigantesco e não cabe em palavras.

Agradeço à amiga Patrícia Mara Lage Simões, por apoiar-me com ideias e leituras, durante a elaboração do pré-projeto de pesquisa, pela sua presença no Exame de Qualificação, em 18 de setembro de 2013, e aos nossos encontros, que muitas vezes permitiram reestruturar as emoções, equilibrar o estresse e continuar o desenvolvimento do trabalho.

Também agradeço às coordenadoras, professores e tutores do curso de Geografia – EaD, do Departamento de Geografia da UFMG, pelo apoio e incentivo ao longo de praticamente todo o processo de doutoramento, já que a função de tutora à distância perdurou de 2008 a 2014, período na qual aprofundei os meus conhecimentos em Geografia e que muito contribuiu para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço particularmente aos professores: Vilma Lúcia Macagnan Carvalho, Marly Nogueira, Wellington Lopes de Assis, Maria Giovanna Parizzi, Maria Luiza Grossi Araújo, Ricardo Alexandrino Garcia e Janise

Bruno Dias. E, ainda, agradeço aos colegas tutores pelo apoio, particularmente: André Tomé de Assis, Daniela Patrícia Gomes Silva de Oliveira, Débora Cristina Nunes Barbosa, Denis Teixeira Terra, Fabiane Aparecida de Oliveira, Fátima Maria de Ramos, Helena Rodrigues de Lima Leão, Jeanne Domingues Santos, Marli da Conceição de Matos, Patrícia Mara Lage Simões e Thaís Almeida Rodrigues.

Especialmente, agradeço à professora Maria Giovanna Parizzi, primeiramente pelo projeto de pesquisa: “Avaliação dos condicionantes climáticos do risco de enchentes e inundações no município de Belo Horizonte”, financiado pela FAPEMIG, durante o período de 2011-13. Assim como aos colegas que participaram de tal projeto: Jorge Gabriel Gomes Simões, Joyce Marra Figueredo, Samuel Ribeiro e Wellington Lopes de Assis.

Este projeto permitiu ter acesso aos dados pluviométricos da rede URBEL-PBH/UFMG, assim como o financiamento para participação nos Congressos Brasileiros de Desastres Naturais e Climatologia Geográfica, ambos em 2012, no qual fiz o minicurso de Riscos Naturais, ministrado pelo professor Jair Santoro, do IG, que muito contribuiu para a metodologia e análise dos dados de registros de ocorrências de enchentes e/ou inundações e alagamentos.

Ainda, pelo financiamento do Curso Básico de Meteorologia por Satélite, que também foi de grande importância para auxiliar nas interpretações de imagens de satélites, habilidade iniciada na disciplina Tópicos Especiais: Técnicas em Climatologia, oferecida pela professora Magda Luzimar de Abreu, no primeiro semestre de 2006.

Também agradeço à professora Maria Giovanna, doce Gigi, pela alegria e entusiasmo, por sempre animar-me com os seus elogios, receber-me inúmeras vezes para conversarmos sobre a análise de dados de registros de ocorrências de impactos, pelas sugestões para desenvolvimento do texto, assim como referências repassadas, enfim, pela orientação, fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à COMDEC pelos dados de registros de enchentes e/ou inundações e alagamentos no período de janeiro de 2010 a dezembro de 2012. Particularmente, à meteorologista Maria Cristina Maciel Lourenço e à geógrafa Isabela Gonçalves, que me receberam várias vezes para apresentar a organização, monitoramento dos dados de ocorrências pela Gerência de Riscos Naturais.

Agradeço ao professor Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho, pela mediação e liberação para participar como ouvinte da disciplina de Geoestatística, do Curso de Especialização *Lato Sensu* em Geoprocessamento e Gestão Ambiental, no Centro Universitário UNA.

Também agradeço aos ex-alunos do Centro Universitário de Belo Horizonte – UNIBH, que muito contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho a partir de diálogos nos processos de orientações de trabalhos finais de conclusão de curso na área de pesquisa: Matheus Braga Gonçalves e Talisson de Sousa Lopes, Antônio Henrique Ferreira Lima, Pedro Heringer Lisboa Teixeira, Pollyanna Augusto e Stefany dos Reis, Wagner Campos Vieira, Pedro Henrique Pires, Cinthia Gonçalves e Wanessa Pocceschy. Particularmente, agradeço aos ex-alunos: Antônio Henrique Ferreira Lima, Solimar Carnavalli Rocha, Stefany dos Reis e Thiago Tavares de Araújo, que contribuíram com a verificação do número de falhas nos registros pluviométricos de todos os postos da rede URBEL-PBH/UFMG.

À Solimar, a Sol, e Thiago, destaco um agradecimento especial, a primeira por torna-se a professora de geoprocessamento, que me auxiliou na elaboração de *layout* de mapas e na identificação das ferramentas necessárias para execução das propostas metodológicas. Ao Thiago, pelo auxílio no *download* das imagens de satélite, no *site* no DSA-CPTEC, que permitiu a construção do banco de imagens de todos os dias, de 15-15 minutos, de outubro a abril, das duas estações chuvosas. Agradeço também ao ex-aluno, Denis Plec, matemático, que me auxiliou na identificação do interpolador mais adequado aos dados de chuvas, particularmente na análise variográfica.

Aos colegas e professores do UNIBH, em especial ao Danilo Marques de Magalhães pela disponibilização do seu mapa de uso do solo em Belo Horizonte – MG, assim como diversos *shapes* utilizados neste trabalho. À Fabiana Silva Ribeiro Faria, querida Fabi, pela amizade, apoio e incentivo e à Mirian Resende Bueno, pelas leituras e valiosas contribuições ao texto preparatório para a Qualificação em 2013.

Agradeço, imensamente, à pesquisadora Adma Raia, por receber-me no Instituto Tempo Clima da PUC-MG, no primeiro semestre de 2013. Em seguida, por participar e muito contribuir para adequação da metodologia aos resultados preliminares apresentados no Exame de Qualificação. Assim como pela sugestão de utilização da *Análise de Cluster* para agrupamento dos eventos de chuvas identificados nas duas estações chuvosas.

Ao amigo, professor e pesquisador, Wellington Lopes de Assis, pelo legado deixado no UNIBH, pelos bons alunos captados para elaboração dos trabalhos de conclusão de curso, pelas indicações de referências e textos gentilmente cedidos, que muito auxiliaram no desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço ainda o apoio no período de elaboração do pré-projeto de pesquisa, no projeto de pesquisa coordenado pela professora Maria Giovanna e pelas valiosas contribuições na Qualificação.

Agradeço aos órgãos de coleta, manipulação e disponibilidade de dados e produtos meteorológicos em rede: ANA, CPTEC-INPE, INMET e NCEP-NOAA. Particularmente aos profissionais que retornaram meus e-mails com dados e referências, particularmente à Andreлина Laura dos Santos, da ANA, Mariana Pallotta, do CPTEC-INPE, e a Cathy Smith, do NCEP-NOAA.

Agradeço aos professores e colegas, do Departamento de Engenharia e Meio Ambiente do CEFET-MG, Unidade Curvelo, que me receberam já no último ano deste curso de doutorado, e proporcionaram-me condições de continuidade de desenvolvimento da pesquisa, particularmente aos professores Fernando Antônio Vieira Rodrigues e Juliana Reinert. Agradeço aos amigos: Adriano Valério Resende, Bruno Rodrigo Dutra e Sérgio Melo da Silva, por fazer-me rir em momentos de muito estresse, ansiedade e medo, diante do distanciamento da minha família.

Ainda, à Professora Dalila de Pinho Coelho, pelo apoio psicológico e orientação pedagógica à Maria Laura durante um período muito importante da sua formação. À Mônica Tófani, Eduardo Matozinhos e Julia Tófani Matozinhos pela amizade e carinho com a minha filha, Maria Laura Lucas Queiróz de Pinho Barroso.

À minha tia, Lardi de Pinho Tavares, pelos recortes de jornais sobre a repercussão social de eventos chuvosos, por inúmeras vezes dispor-se do seu tempo para fazer companhia à Maria Laura, e por emprestar-me sua casa para estudar em alguns finais de semana.

Agradeço também aos meus irmãos: Ângelo, Álvaro e Nara de Pinho Barroso, pela amizade e companheirismo.

Aos meus pais, Joaquim Barroso de Oliveira e Lêla Maria de Pinho Barroso, pela imensa preocupação em não ocupar-me com suas necessidades de acompanhamentos médicos, pelas orações, especialmente, à minha mãe Lêla, por sempre que possível estar por perto, me proporcionando o conforto necessário para dedicar-me aos estudos.

Agradeço de forma mais do que especial aos meus amores, Ronaldo Lucas Queiroz e Maria Laura, por tudo. Intimamente por perdoar-me pelas incontáveis ausências, pelas orações e pelas indescritíveis ajudas, amo vocês!

As nuvens no céu, as ondas no mar...

À guisa de introdução

#### *Palomar na Praia - Leitura de uma onda*

*O mar está levemente encrespado e pequenas ondas quebram a praia arenosa. O senhor Palomar está de pé na areia e observa uma onda. Não que esteja absorto, porque sabe bem o que faz: quer observar uma onda e observa uma onda. Não que esteja absorto na contemplação das ondas. Não está absorto, porque sabe bem o que faz: quer observar uma onda e a observa. Não está contemplando, porque para a contemplação é preciso um temperamento conforme, um estado de ânimo conforme e um concurso de circunstâncias externas conforme: e embora em princípio o senhor Palomar nada tenha contra a contemplação, nenhuma daquelas três condições, todavia, se verifica para ele. Em suma, não são “as ondas” que ele pretende observar, mas uma simples onda e pronto: no intuito de evitar as sensações vagas, ele predetermina para cada um de seus atos um objetivo limitado e preciso.*

*O senhor Palomar vê uma onda apontar na distância, crescer, aproximar-se, mudar de forma e de cor, revolver-se sobre si mesma, quebrar-se, desfazer-se. A essa altura poderia convencer-se de ter levado a cabo a operação a que se havia proposto e ir-se embora. Contudo, isolar uma onda da que se lhe segue de imediato e que parece às vezes suplantá-la ou acrescentar-se a ela e mesmo arrastá-la é algo muito difícil, assim como separá-la da onda que a precede e que parece empurrá-la em direção à praia, quando não dá até mesmo a impressão de voltar-se contra ela como se quisesse fechá-la. Se então considerarmos cada onda no sentido de sua amplitude, paralelamente à costa, será difícil estabelecer até onde a frente que avança se estende contínua e onde se separa e se segmenta em ondas autônomas, distintas pela velocidade, a forma, a força, a direção.*

*Em suma, não se pode observar uma onda sem levar em conta os aspectos complexos que concorrem para formá-la e aqueles também complexos a que essa dá ensejo. Tais aspectos variam continuamente, decorrendo daí que cada onda é diferente de outra onda; mas da mesma maneira é verdade que cada onda é igual a outra onda, mesmo quando não imediatamente contígua ou sucessiva; enfim, são formas e sequências que se repetem, ainda que distribuídas de modo irregular no espaço e no tempo. Como o que o senhor Palomar pretende fazer neste momento é simplesmente ver uma onda, ou seja, colher todos os seus componentes simultâneos sem descurar de nenhum, seu olhar se irá deter sobre o movimento da água que bate na praia a fim de poder registrar os aspectos que a princípio não havia captado; tão logo se dê conta de que as imagens se repetem, perceberá que já viu tudo o que queria ver e poderá ir-se embora.*

Italo Calvino, Palomar.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é identificar padrões espaciais locais de tipos de chuvas em Belo Horizonte - MG, a partir do escalonamento entre a gênese atmosférica na escala regional às características topoclimáticas do sítio urbano, e suas influências no desencadeamento de processos hidrológicos. Para tanto, foi necessário uma caracterização da paisagem citadina, que manifesta os diferentes momentos históricos de expansão urbana, e as modificações dos seus cursos d'água, que se apresentam como um mosaico de variadas tipologias que, aliadas às formas de ocupação e condicionantes naturais, determinam locais mais susceptíveis a registros de impactos hidrometeorológicos, como à montante e à jusante da Lagoa da Pampulha, no médio curso do Ribeirão do Onça, sob a Av. Cristiano Machado, nas nascentes do Ribeirão Isidoro, assim como o médio curso do Arrudas, de menor densidade de registros de ocorrência por área (Km<sup>2</sup>), identificados através da técnica de Kernel. Esses registros de enchentes e/ou inundações ocorreram no período de outubro a abril dos anos de 2010-11 e 2011-12. Através da análise estatística multivariada, aplicação de Análise de Cluster em escores de uma Análise Fatorial em Análise de Componentes Principais, foram identificados 5 grupos de tipos de chuvas, que permitiram observar padrões espaciais e verificar aqueles que melhor caracterizaram cada grupo, tanto pela maior frequência de cada tipo, como identificação do evento que determinou cada espacialização. O grupo 1 foi composto de 20 eventos de chuvas, todos eles associados a ventos do quadrante W/NW/N, em que os eventos de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) foram os que mais contribuíram para a espacialização deste agrupamento, onde os acumulados foram maiores na porção centro-sudoeste do município. O grupo 2 compôs-se de 20 eventos que caracterizaram-se pelos altos valores de V5 e V6, ou seja, chuvas bastante concentradas espacialmente, que destacaram-se pela variabilidade meridional, em que os maiores acumulados ocorreram na porção ocidental do município. O grupo 3, assim como o 2, pouco contribuiu para o acumulado mensal e sazonal, os 9 eventos caracterizaram-se pelos baixos valores de intensidades (mm/h) das chuvas, concentradas na porção sul e noroeste. O grupo 4 caracterizou-se pelo agrupamento de 22 eventos de maior intensidade, as espacialidades foram determinadas pelos eventos oriundos de Frentes Frias, que acarretaram maiores acumulados e maiores intensidades ao longo da Serra do Curral. O grupo 5 foi composto pelos 5 eventos de ZCAS de maior durabilidade, que acarretaram os maiores acumulados mensais particularmente dos meses de dezembro e janeiro, com padrão espacial similar ao grupo 1, apesar de maiores acumulados e maiores intensidades.

Palavras-chave: espacialização de dados pluviométricos. Tipos de chuvas. Belo Horizonte - MG.

## ABSTRACT

The aim of the present work is to identify rain types local spatial patterns of rains at Belo Horizonte – MG, from the stagger between the atmospheric geneses in regional scale to the urban spot topoclimatical characteristics, and their influences on the hydrological processes unleashing. Therefore, a city landscape characterization was necessary, which manifests the urban expansion different historic moments, and its water courses changes, that present themselves as a mosaic of varied typologies that, matched to the occupation forms and natural constraints, determine most liable places to hidrometeorological impacts records, such as Lagoa da Pampulha upstream and downstream, Ribeirão do Onça middle section course, under Av. Cristiano Machado, in Ribeirão Isidoro headwaters, such as Arrudas middle source course, however the lower density occurrence records by area (km<sup>2</sup>), identified through Kernel technique. These floods and/or inundations records happened between 2010-2011 and 2011-2012 October to April period. Through multivariable statistical analysis, Cluster Analysis application in scores from a Factorial Analysis in Main Components Analysis, 5 rain types groups were identified, which allowed to observe spatial patterns and verify those that characterize each group, both by greater frequency of each type, and by the event identification that determined each spatialization. Group 1 was composed by 20 rain events, all them associated to W/NW/N quadrant winds, in which the South Atlantic Convergence Zone (here by ZCAS) events were the ones that most contributed to the grouping spatialization, where the accumulated were greater in the city middle-southeast portion. Group 2 was composed of 20 events which characterized by the V5 and V6 high values, in other words, rains quite spatially concentrated, which highlighted themselves by the southern variability, in which the greater accumulated happened in the western portion. Group 3, as well as group 2, did little to contribute to the seasonal and monthly accumulated, the 9 events characterized themselves by rains intensities (mm/h) low values, concentrated in the northeast and south portion. Group 4 was characterized by 22 greater intensity events, the spatialities were determined by the events from Cold Fronts, which brought on greater accumulated and greater intensities along Serra do Curral. Group 5 was composed by 5 greatest durability ZCAS events, which brought on the greatest monthly accumulated especially from December and January, with spatial pattern similar to group 1, despite the greater accumulated and great intensities.

Key words: rainfall data spatialization. Rain types. Belo Horizonte – MG.

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es identificar padrones espaciales locales de tipos de lluvias de Belo Horizonte - MG, a partir del escalonamiento entre la génesis atmosférica en la escala regional a las características topoclimáticas del sitio urbano, y sus influencias en el desencadenamiento de procesos hidrológicos. Para tanto, fue necesario una caracterización del paisaje citadino, que manifiesta los diferentes momentos históricos de expansión urbana, y las modificaciones de sus cursos de agua, que se presentan como un mosaico de variadas tipologías que, aliadas a las formas de ocupación y condicionantes naturales, determinan locales más susceptibles a registros de impactos hidrometeorológicos, como a montante e a yusente de la Lagoa da Pampulha, en el medio curso del Ribeirão do Onça, bajo la Av. Cristiano Machado, en las nacientes del Ribeirão Isidoro, así como el medio curso del Arrudas, entretanto de menor densidad de registros de ocurrencia por área (Km<sup>2</sup>), identificados a través de la técnica de Kernel. Estos registros de crecidas y/o inundaciones ocurrieron en el período de octubre a marzo de los años de 2010-11 e 2011-12. A través del análisis estadístico multivariado, aplicación de Análisis de Cluster en escores de una Análisis Factorial en Análisis de Componentes Principales, fueron identificados 5 grupos de tipos de lluvias, que permitieron observar padrones espaciales y verificar aquellos que mejor caracterizaron cada grupo, tanto por la mayor frecuencia de cada tipo, como identificación del evento que determinó cada espacialización. El grupo 1 fue compuesto de 20 eventos de lluvias, todos ellos asociados a vientos del cuadrante W/NW/N, en que los eventos de Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) fueron los que más contribuyeron para la espacialización de este agrupamiento, donde los acumulados fueron mayores en la porción centro-sureste del municipio. El grupo 2 se compuso de 20 eventos que se caracterizaron por los altos valores de V5 e V6, o sea, lluvias bastante concentradas espacialmente, que se destacaron por la variabilidad meridional, donde los acumulados más grandes ocurrieron en la porción occidental. El grupo 3, así como el 2, poco contribuyó para el acumulado mensual y sazonal, los 9 eventos se caracterizaron por los bajos valores de intensidades (mm/h) de las lluvias, concentradas en la porción sur e noroeste. El grupo 4 se caracterizó por el agrupamiento de 22 eventos de mayor intensidad, las espacialidades fueron determinadas por los eventos provenientes de Frentes Frías, que acarrearón mayores acumulados y mayores intensidades a lo largo de la Serra do Curral. El grupo 5 fue compuesto por los 5 eventos de ZCAS de mayor durabilidad, que acarrearón los mayores acumulados mensuales particularmente de los meses de diciembre y enero, con padrón espacial similar al grupo 1, a pesar de mayores acumulados y mayores intensidades.

Palabras-clave: espacialización de datos pluviométricos. Tipos de lluvias. Belo Horizonte - MG.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Escala de análise geográfica do clima.....	33
Figura 2 - Organograma do roteiro metodológico.....	40
Figura 3 - Localização dos postos pluviométricos de Belo Horizonte e entorno.....	44
Figura 4 - Localização dos postos pluviométricos da URBEL-PBH/UFMG e INMET, em Belo Horizonte.....	47
Figura 5 - Mapa de localização de Belo Horizonte.....	67
Figura 6 - Mapa das Regionais Administrativas e Unidades Territoriais de Gestão Compartilhada de Belo Horizonte.....	70
Figura 7 - Mapa de densidade demográfica de Belo Horizonte por Unidades Territoriais de Gestão Compartilhada da PBH.....	71
Figura 8 - Mancha urbana conurbada de Belo Horizonte.....	76
Figura 9 - Mapa de uso do solo em Belo Horizonte.....	78
Figura 10 - Mapa geológico do município de Belo Horizonte.....	81
Figura 11 - Foto da Serra Curral e as respectivas formações litológicas.....	83
Figura 12 - Mapa de altimetria de Belo Horizonte e localização dos postos pluviométricos da Rede INMET e URBEL-PBH/UFMG.....	84
Figura 13 - Mapa de declividade de Belo Horizonte.....	85
Figura 14 - Mapa das bacias hidrográficas e tipologia dos cursos d'água de Belo Horizonte.....	89
Figura 15 - Mapa hipsométrico e padrões de drenagem das bacias do Arrudas e Onça em Belo Horizonte.....	90
Figura 16 - Padrões de drenagem.....	91
Figura 17 - Caracterização do balanço hídrico em uma bacia urbana.....	93
Figura 18 - Unidades Climáticas Naturais do Município de Belo Horizonte.....	103
Figura 19 - Precipitação total anual de 1962-2010 e isoietas de precipitação total anual de 1977-2006.....	115
Figura 20 - Mapa de precipitação média sazonal de Belo Horizonte e seu entorno (1962-2010).....	117

Figura 21 - Mapa de precipitação total média sazonal da década de 70 de Belo Horizonte e seu entorno.....	119
Figura 22 - Mapa de precipitação total média sazonal da década de 80 de Belo Horizonte e seu entorno.....	120
Figura 23 - Mapa de precipitação total média sazonal da década de 90 de Belo Horizonte e seu entorno.....	121
Figura 24 - Mapa de precipitação total média sazonal da década de 2000 de Belo Horizonte e seu entorno.....	122
Figura 25 - Mapa do número médio de dias de chuvas por estação para Belo Horizonte e seu entorno (1962-2010).....	125
Figura 26 - Climatologia do escoamento preferencial dos ventos para (a) média anual, Janeiro (b) menos a média anual e (c) Julho menos a média anual.....	127
Figura 27 - Campo médio de vento (m/s), em 200 hPa, para o mês de janeiro de 2010.....	130
Figura 28 - Representação esquemática dos sistemas atmosféricos atuantes na AS, na baixa e alta troposfera.....	132
Figura 29 - Espacialização do total sazonal da precipitação do período chuvoso de 2010-11.....	152
Figura 30 - Espacialização do total sazonal da precipitação do período chuvoso de 2011-12.....	156
Figura 31 - Percentual de atuação dos sistemas atmosféricos nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12.....	158
Figura 32 - Percentual de atuação dos sistemas atmosféricos em cada mês das estações chuvosas 2010-11 e 2011-12, em relação à V8.....	160
Figura 33 - Mapa de precipitação total em outubro de 2010 e 2011, em Belo Horizonte....	165
Figura 34 - Mapa de precipitação total em novembro de 2010 e 2011, em Belo Horizonte.	166
Figura 35 - Mapa de precipitação total em dezembro de 2010 e 2011, em Belo Horizonte.	167
Figura 36 - Mapa de precipitação total em janeiro de 2011 e 2012, em Belo Horizonte.....	169
Figura 37 - Mapa de precipitação total em fevereiro de 2011 e 2012, em Belo Horizonte...	170
Figura 38 - Mapa de precipitação total em março de 2011 e 2012, em Belo Horizonte.....	171
Figura 39 - Mapa de precipitação total em abril de 2011 e 2012, em Belo Horizonte.....	173

Figura 40 - Espacialização do total de registros de impactos hidrometeorológicos nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12 em Belo Horizonte.....	177
Figura 41- Densidade de impactos hidrometeorológicos por Km <sup>2</sup> nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12 em Belo Horizonte.....	178
Figura 42 - Densidade de impactos hidrometeorológicos por Km <sup>2</sup> , no médio curso da bacia do Arrudas, nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12, em Belo Horizonte...	180
Figura 43 - Densidade de impactos hidrometeorológicos por Km <sup>2</sup> , no alto curso da bacia do Onça e Isidoro, nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12, em Belo Horizonte.....	182
Figura 44 - Densidade de impactos hidrometeorológicos por Km <sup>2</sup> , no médio e baixo curso da bacia do Onça e Isidoro, nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12, em Belo Horizonte.....	183
Figura 45 - Trecho do Médio Curso do Ribeirão Pampulha.....	184
Figura 46 - Distribuição do total de registros de ocorrência de impactos hidrometeorológicos por mês e por tipo de chuva na estação 2010-11.....	186
Figura 47 - Distribuição do total de registros de ocorrência de impactos hidrometeorológicos por mês e por tipo de chuva na estação 2011-12.....	189
Figura 48 - Dendrograma.....	195
Figura 49 - Somatório do acumulado total e da máxima intensidade dos eventos de precipitação identificados no grupo 1.....	199
Figura 50 - Campo médio do vento meridional em 850hPa entre os dias 22 e 27/11/2010.....	201
Figura 51 - Campo médio do vento zonal em 850hPa entre os dias 22 e 27/11/2010.....	201
Figura 52 - Campo médio de ômega em 500hPa entre os dias 22 e 27/11/2010.....	201
Figura 53 - Campo médio de umidade específica em 300 hPa entre os dias 22 e 27/11/2010.....	201
Figura 54 - Campo médio de ROL em 250hPa entre os dias 22 e 27/11/2010.....	202
Figura 55 - Campo médio do vento em 200 hPa entre os dias 22 e 27/11/2010.....	202
Figura 56 - Acumulado total de chuva ocorrida entre os dias 22 e 27/11/2010 e da máxima intensidade registrada as 02 UTC, dia 23/11/2010.....	203
Figura 57 - Imagem de Satélite GOÉS 12 IR Realçada do dia 22/11/2011 às 23 UTC.....	203

Figura 58 - Imagem de Satélite GOES 12 IR Realçada do dia 23/11/2011 às 02 UTC.....	203
Figura 59 - Somatório do acumulado total e da máxima intensidade dos eventos de precipitação identificados no grupo 2.....	205
Figura 60 - Média diária de ROL em 200 hPa para o dia 12/12/2011.....	207
Figura 61 - Imagem de Satélite IR Realçada METEOSAT Canal SPW 10.8 do dia 12/12/2011 às 21:15 UTC.....	207
Figura 62 - Imagem de Satélite IR Realçada METEOSAT Canal SPW 10.8 do dia 12/12/2011 às 20 UTC.....	209
Figura 63 - Imagem de Satélite IR Realçada METEOSAT Canal SPW 10.8 do dia 12/12/2011 às 20:45 UTC.....	209
Figura 64 - Acumulado total de chuva ocorrida dia 12/12/2011 e de máxima intensidade registrada as 21 UTC.....	210
Figura 65 - Somatório do acumulado total e da máxima intensidade dos eventos de precipitação identificados no grupo 3.....	212
Figura 66 - Carta Sinótica do dia 02/12/2010 às 12 UTC.....	214
Figura 67 - Imagem de Satélite GOES 12 IR Realçada do dia 02/12/2010 às 12 UTC.....	214
Figura 68 - Campo médio do vento meridional em 850hPa para os dias 01 e 02/12/2010..	214
Figura 69 - Campo médio do vento zonal em 850hPa para os dias 01 e 02/12/2010.....	214
Figura 70 - Média de ROL em 250 hPa para os dias 01 e 02/12/2010.....	215
Figura 71 - Campo médio do vetor vento em 250hPa para os dias 01 e 02/12/2010.....	215
Figura 72 - Campo médio de ômega em 500hPa para os dias 01 e 02/12/2010.....	216
Figura 73 - Campo médio de umidade específica em 300hPa para os dias 01 e 02/12/2010.....	216
Figura 74 - Acumulado total de chuva ocorrida entre os dias 01e 02/12/2010 e a máxima intensidade registrada as 12 UTC, do dia 02/12/2010.....	217
Figura 75 - Somatório do acumulado total e da máxima intensidade dos eventos de precipitação identificados no grupo 4.....	219
Figura 76 - Carta Sinótica do dia 29/03/2012 às 00 UTC.....	221
Figura 77 - Imagem de Satélite GOES 12 IR Realçada do dia 29/03/2012 às 01 UTC.....	221
Figura 78 - Campo médio da temperatura do ar em 925hPa para o dia 28/03/2012.....	222

Figura 79 - Acumulado total de chuva ocorrida entre os 28 e 30/03/2012 e a máxima intensidade registrada as 01 UTC, do dia 29/03/2012.....	224
Figura 80 - Somatório do acumulado total e da máxima intensidade dos eventos de precipitação identificados no grupo 5.....	226
Figura 81 - Média de ROL em 250 hPa para os dias 14 e 20/12/2011.....	228
Figura 82 - Campo médio do vetor vento em 250hPa para os dias 14 e 20/12/2011.....	228
Figura 83 - Acumulado total de chuva ocorrida entre os 14 e 20/12/2011 e a máxima Intensidade.....	229
Gráfico 1 - Reta de regressão.....	107
Gráfico 2 - Média Móvel da Precipitação Anual (mm) em postos pluviométricos da RMBH.....	108
Gráfico 3 - Precipitação média sazonal nos períodos PI, PII, PIII e PIV.....	111
Gráfico 4 - Número médio de dias de precipitação acima de 1 mm, nos períodos PI, PII, PIII e PIV.....	113
Gráfico 5 - Anomalia de precipitação total das estações chuvosas 2010-11 e 2011-12.....	147
Gráfico 6 - Anomalia do número de dias de chuvas acima de 1 mm nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12.....	149
Gráfico 7 - Precipitação total sazonal do período chuvoso de 2010-11.....	150
Gráfico 8 - Número de dias de chuvas sazonal do período chuvoso de 2010-11.....	151
Gráfico 9 - Precipitação total sazonal do período chuvoso de 2011-12.....	154
Gráfico 10 - Número de dias de chuvas sazonal do período chuvoso de 2011-12.....	155
Gráfico 11 - Dispersão entre número de eventos e V1.....	159
Gráfico 12 - Total de registros de ocorrências de impactos hidrometeorológicos e total médio mensal de precipitação nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12....	174
Gráfico 13 - Dispersão entre o total de registros de ocorrências de impactos hidrometeorológicos e intensidade máxima das chuvas ocorridas nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12.....	175
Gráfico 14 - Histograma entre o total de registros de ocorrências de impactos hidrometeorológicos (V24) e classificação da intensidade máxima de chuva..	176
Gráfico 15 - Registro horário de temperatura, radiação solar, direção do vento e precipitação do dia 12/12/2011.....	208

Gráfico 16 - Registro horário da radiação solar, direção do vento, temperatura, pressão atmosférica e precipitação dos dias 27 a 31/03/2012.....	222
Quadro 1 - Ordens de grandeza têmporo-espacial para fenômenos atmosféricos.....	34
Quadro 2 - Variáveis quantitativas para caracterização dos tipos de chuvas.....	56
Quadro 3 - Mudanças de tempo associadas à Depressão Frontal.....	145

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percentual do total de falhas nos registros pluviométricos da rede URBEL-PBH/UFMG.....	49
Tabela 2 - Direção predominante do vento.....	51
Tabela 3 - Variáveis de reanálise.....	54
Tabela 4 - Tipo de correlação.....	58
Tabela 5 - Classificação da intensidade máxima de chuva.....	63
Tabela 6 - Número de ZEIS, área e dados populacionais por Regionais de Belo Horizonte.....	80
Tabela 7 - Acumulado de chuvas e impactos físico-ambientais em Belo Horizonte.....	87
Tabela 8 - Unidades Climáticas Naturais do Município de Belo Horizonte.....	104
Tabela 9 - Precipitação média sazonal em Belo Horizonte e seu entorno.....	112
Tabela 10 - Variância explicada por cada componente.....	192
Tabela 11 - Cargas fatoriais.....	193
Tabela 12 - Comunalidades.....	194
Tabela 13 - Média dos escores dos fatores por grupo identificados na AC.....	196
Tabela 14 - Medidas de tendência central de variáveis do grupo 1.....	197
Tabela 15 - Dados de variáveis quantitativas dos eventos do grupo 1.....	200
Tabela 16 - Medidas de tendência central de variáveis do grupo 2.....	204
Tabela 17 - Dados de variáveis quantitativas dos eventos do grupo 2.....	206
Tabela 18 - Medidas de tendência central de variáveis do grupo 3.....	211
Tabela 19 - Dados de variáveis quantitativas dos eventos do grupo 3.....	213
Tabela 20 - Medidas de tendência central de variáveis do grupo 4.....	218
Tabela 21 - Dados de variáveis quantitativas dos eventos do grupo 4.....	220
Tabela 22 - Medidas de tendência central de variáveis do grupo 5.....	224
Tabela 23 - Dados de variáveis quantitativas dos eventos do grupo 5.....	227

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB – Alta da Bolívia

Ac – Altocumulus

AC – Análise de *Cluster*

ACP – Análise de Componentes Principais

AF – Análise Fatorial

ANA – Agência Nacional de Águas

As – Altostratus

AS – América do Sul

ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

B – Baixa Pressão

BC – Baixa do Chaco

CAPPI – *Constant Plan Position Indicator*

Cb – Cumulusnimbus

CBD – *Central Business District*

CCM – Complexos Convectivos de Mesoescala

Ci – Cirrus

CIAC – Centro de Informações de Alerta de Chuvas

CLP – Camada Limite Planetária

CO – Centro Oeste

COMDEC – Coordenadoria Municipal de Defesa Civil

CPF – Circulação Pós-Frontal

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Mineiras

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

Cs – Cirrostratus

CV – Coeficiente de Variação

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

DBH – Depressão de Belo Horizonte

DISME – Distrito de Meteorologia

DNH – Serviço Meteorológico da Marinha

DP – Desvio Padrão

DRENURBS – Programa de Revitalização Ambiental e Saneamento dos Fundos de Vale e dos Córregos em Leito Natural de Belo Horizonte

E – Leste

E-ECO-UFMG – Estação Ecológica da Universidade Federal de Minas Gerais

EMA – Estações Meteorológicas Automáticas

EN – El Niño

ENOS – El Niño-Oscilação Sul

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

ETQ – Esteira Transportadora Quente

FF – Frente(s) Fria(s)

FO – Frente(s) Oclusa(s)

FQ – Frente(s) Quente(s)

FZB – Fundação Zoo-Botânica

GCOS – *Global Climate Observing System*

GOES – *Geostationary Operational Environmental Satellite*

GPRI – Gerência de Produção de Informações

GPT – Grupo de Previsão do Tempo

GSN – *Surface Network*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICU – Ilha de Calor Urbana

IDF – Intensidade, Duração e Frequência

IDW – *Inverse Distance Weighting*

IG – Instituto Geológico

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPT-SP – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo

IR – Radiação Infravermelha

JBN – Jato de Baixos Níveis

JP – Jato Polar

JS – Jato Subtropical

KMO – kaiser-Meyer-Olkin

KRG – Krigagem

L – Comprimento

LAT – Latitude

LI – Linha(s) de Instabilidade(s)

LIP – Linha(s) de Instabilidade(s) Pré-frontal(is)

LN – La Niña

LONG – Longitude

METAR – *Meteorological Aerodrome Reports*

METEOSAT – *Meteorological Satellite*

METROMEX – *Project Metropolitan Meteorological Experiment*

MG – Minas Gerais

N – Norte

NCAR – *National Center for Atmospheric Research*

NCDC – *National Climatic Data Center*

NCEP - *National Centers for Environmental Prediction*

NE – Nordeste

NEB – Nordeste Brasileiro

NOAA – *National Oceanic Atmospheric Administration*

Ns – Nimbostratus

NUDEC – Núcleos de Defesa Civil

NW – Noroeste

OMJ – Oscilação Madden-Julian

OMM – Organização Mundial de Meteorologia

ONI – *Oceanic Niño Index*

P – Posto pluviométrico

PBH – Prefeitura Municipal de Belo Horizonte

PD – Plano Diretor

PDDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana

PEAR – Programa Estrutural em Áreas de Risco

PLAMBEL – Planejamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte

PNM – Pressão ao Nível do Mar

PPR – Planejamento Participativo Regionalizado

PRODABEL – Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte S. A.

PROPAM – Programa de Recuperação e Desenvolvimento Ambiental da Bacia da Pampulha

PSD – *Physical Sciences Division*

PUC-Minas – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

QF – Quadrilátero Ferrífero

RBF – *Radial Basis Functions*

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

ROL – Radiação de Onda Longa

S – Sul

SAD 69 – *South American Datum of 1969*

SARMU – Secretária de Administração Regional Municipal

SB – Sudeste Brasileiro

SCAS – *Spatial Climate Analysis Service*

SCM – Sistemas Convectivos de Mesoescala

SCU – Sistema Clima Urbano

SE – Sudeste

SF – Sistema(s) Frontal(is)

SGB – Sistema Geodésico Brasileiro

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SLT – Sistema de Localização de Tempestades

SMAGC – Secretaria Municipal Adjunta de Gestão Compartilhada

SMAS – Sistema de Monção na América do Sul

SPSS – *Statistical Package for the Social Sciences*

STA – Sistema Terra-Atmosfera

SUDECAP – Superintendência de Desenvolvimento da Capital

SW – Sudoeste

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

UEM – Universidade Estadual de Maringá

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFPR – Universidade Federal do Paraná

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UNESP – Universidade Estadual Paulista

UP – Unidades de Planejamento

UR – Umidade Relativa do Ar

URBEL – Companhia Urbanizadora e de Habitação de Belo Horizonte

USP – Universidade de São Paulo

UTC – *Universal Time Coordinated*

UTM – Universal Transverso de Mercator

V – Variável(is)

VCAN – Vórtice(s) Ciclônico(s) de Altos Níveis

VCM – Vórtice(s) Ciclônico(s) de Mesoescala

VD – Vórtice(s) Desprendido(s)

W – Oeste

WV – Vapor D'água

ZC – Zona(s) de Convergência(s)

ZCA – Zona Continental Amazônica

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCBH – Zona Central de Belo Horizonte

ZCC – Zona Continental Costeira

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

ZCO – Zona Continental Oceânica

ZCOU – Zona de Convergência de Umidade

ZEIS – Zona Especial de Interesse Social

ZP – Zona de Proteção

ZPAM – Zona de Preservação Ambiental

## LISTA DE SÍMBOLOS

°C – Grau Celsius

° – Grau

ha – Hectare

hab/km<sup>2</sup> – Habitante por quilômetro quadrado

hPa – Hectopascal

KJ/m<sup>2</sup> – Quilojoule por metro quadrado

kg/Kg – Quilo por quilo

Km – Quilômetro

Km<sup>2</sup> - Quilômetro quadrado

m – Metro

m/s – Metro por segundo

mb – Milibar

min – Minutos

MM – Média Móvel

mm – Milímetro

mm/h – Milímetro por hora

% – Percentual

P – Precipitação Total

Pa s<sup>-1</sup> – Pascoal por segundo

r – Coeficiente de correlação

u – Componente Zonal do Vento

v – Componente Meridional do Vento

W/m<sup>2</sup> – Watts por metro quadrado

θ – Direção do vento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>5</b>
1.1.1	<i>Objetivos Específicos</i> .....	5
<b>1.2</b>	<b>Questões</b> .....	<b>6</b>
<b>1.3</b>	<b>Hipóteses</b> .....	<b>6</b>
<b>1.4</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>Os estudos de precipitação na perspectiva do clima urbano</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2</b>	<b>Os estudos de precipitação no Brasil na perspectiva do clima urbano</b> ....	<b>18</b>
2.2.1	<i>Os estudos de precipitação em Belo Horizonte</i> .....	24
<b>2.3</b>	<b>As escalas geográficas do clima</b> .....	<b>27</b>
2.3.1	<i>O escalonamento do fato climático</i> .....	30
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
<b>3.1</b>	<b>Dados e métodos para caracterização da área de estudo</b> .....	<b>40</b>
<b>3.2</b>	<b>Materiais e métodos para classificação das tipologias de chuvas ocorridas em Belo Horizonte em 2010/11 e 2011/12</b> .....	<b>46</b>
3.2.1	<i>Dados pluviométricos</i> .....	46
3.2.2	<i>Tabulação dos elementos meteorológicos</i> .....	50
3.2.3	<i>Identificação dos tipos de chuvas</i> .....	53
3.2.4	<i>Análise estatística dos eventos de chuvas</i> .....	55
<b>3.3</b>	<b>Identificação dos registros de ocorrências de enchentes/inundações e alagamentos em Belo Horizonte</b> .....	<b>62</b>
<b>3.4</b>	<b>Técnicas geoestatísticas para interpolação de dados de chuvas</b> .....	<b>64</b>
<b>4</b>	<b>O ESPAÇO GEOGRÁFICO DE BELO HORIZONTE</b> .....	<b>67</b>
<b>4.1</b>	<b>Localização da área de estudo e o processo histórico de formação da mancha urbana</b> .....	<b>67</b>
<b>4.2</b>	<b>O meio natural do espaço urbano de Belo Horizonte</b> .....	<b>80</b>
4.2.1	<i>Aspectos geológicos e geomorfológicos</i> .....	80
4.2.2	<i>Aspectos hidrográficos</i> .....	88
4.2.3	<i>Características climáticas de Belo Horizonte</i> .....	101
4.2.3.1	<i>Os climas naturais de Belo Horizonte</i> .....	101

4.2.3.2	<i>A variabilidade do total anual da precipitação em Belo Horizonte e seu entorno.....</i>	106
4.2.3.3	<i>A sazonalidade da precipitação em Belo Horizonte e seu entorno.....</i>	109
4.2.3.4	<i>A influência da topografia na distribuição espacial da precipitação.....</i>	114
4.2.3.5	<i>Os sistemas atmosféricos genéticos de precipitação em Belo Horizonte.....</i>	126
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>147</b>
<b>5.1</b>	<b>As espacialidades dos totais sazonais de precipitação nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12.....</b>	<b>147</b>
<b>5.2</b>	<b>Os tipos de chuvas ocorridos em Belo Horizonte nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12.....</b>	<b>157</b>
<b>5.3</b>	<b>A espacialização dos registros de enchentes e/ou inundações e alagamentos por tipos de chuvas.....</b>	<b>173</b>
<b>5.4</b>	<b>Os agrupamentos de tipos de chuvas por análise fatorial e padrões espaciais de precipitação em Belo Horizonte.....</b>	<b>192</b>
5.4.1	<i>Identificação dos fatores e análise de agrupamento.....</i>	192
5.4.2	<i>Os tipos de chuvas e as suas espacializações para cada agrupamento.....</i>	196
5.4.2.1	<i>Grupo 1: as chuvas homogêneas e associadas aos ventos do quadrante W/NW/N.....</i>	196
5.4.2.2	<i>Grupo 2: As chuvas localizadas e de curta duração.....</i>	204
5.4.2.3	<i>Grupo 3: as chuvas de fraca intensidade.....</i>	210
5.4.2.4	<i>Grupo 4: as chuvas de forte e muito forte intensidade.....</i>	217
5.4.2.5	<i>Grupo 5: as chuvas persistentes, intensas e homogêneas espacialmente.....</i>	224
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>230</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>236</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>245</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>263</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>265</b>
	<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>270</b>
	<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>298</b>
	<b>ANEXO 1.....</b>	<b>300</b>
	<b>ANEXO 2.....</b>	<b>301</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O clima de Belo Horizonte vem sendo observado desde a construção da cidade, no final do século XIX. O engenheiro Aarão Reis, em seu relatório sobre as condições que favoreciam a implantação da nova capital mineira na localidade de Curral Del Rey, destacou algumas de suas características naturais em virtude das preocupações com a higiene e a salubridade, tão em voga na época. Entre elas, destacaram-se a *amenidade e a salubridade de seu clima*, como elementos naturais que favoreciam a implantação de uma nova capital, moderna e sanitária, que configurava a ruptura com o Brasil colonial, esteticamente representado pela então capital da província: Ouro Preto.

O clima local alterou-se ao longo de mais de um século de transformação do espaço geográfico. Através das interações entre as esferas globais, têm-se as trocas energéticas do Sistema Terra-Atmosfera (STA), responsáveis pelo aquecimento da atmosfera na camada basal. Ao alterar a superfície, modifica-se a intensidade e os tipos de fluxos de calor entre essas esferas, sendo esse o principal pressuposto teórico das alterações locais do clima (DREW, 2002). O tecido urbano de Belo Horizonte cresceu muito ao longo do século XX, criando arquipélagos de ilhas de calor (ASSIS, 2010) aliados a outros problemas ambientais típicos de metrópoles de países em desenvolvimento econômico, em que a pressão demográfica, aliada à especulação imobiliária, levou à ocupação de áreas inapropriadas que favorecem a ocorrência de desastres naturais.

Atualmente, observam-se nos mapas de evolução da mancha urbana de Belo Horizonte (ASSIS e ABREU, 2009), que ela já alcançou quase a totalidade do município, restando apenas a região do extremo sul, na Regional Barreiro, e algumas áreas da Serra do Curral, nas Regionais Leste e Centro-Sul, desocupadas. Os autores destacaram o intenso crescimento populacional a partir da década de 50, que veio acompanhado pela verticalização que se intensificou para além da área planejada da cidade, limitada pela Avenida do Contorno, conjugado ao asfaltamento, à impermeabilização dos córregos, às ocupações de fundo de vale e de topos de morro. Esse quadro alterado, de inúmeras recriações do espaço urbano, contribui para modificações nos atributos naturais da paisagem, entre eles, alterações no clima local.

Ainda são muitas as controvérsias sobre as mudanças climáticas antropogênicas nas escalas superiores de análise geográfica, no entanto há evidências científicas sobre as modificações locais associadas às alterações da superfície. Essa constatação data da primeira metade do século XIX, desde Howard (1833), seguido por outros autores ao longo do século XX. Entre os mais citados destacam-se Landsberg (1970) e Oke (1981), que

identificaram e teorizaram as possíveis modificações da dinâmica atmosférica local em função dos diferentes tipos de uso do solo e suas rugosidades, associadas ao incremento de calor antropogênico.

Nas grandes cidades tropicais, o aumento de temperatura associada à mudança da circulação local e alteração no ciclo hidrológico gera uma série de problemas ambientais urbanos, o que demanda um grande gasto energético e financeiro nos processos de resfriamento, de ventilação artificial e nas obras de contenção de cheias. Segundo Silveira (2000), desde o crescimento das cidades européias que as obras de drenagem foram tratadas como acessórias e emergenciais, no sentido de se livrar das águas pluviais e cloacais. No final do século XIX, a ciência higienista já demonstrava os problemas de saúde pública associada à falta de saneamento, momento em que se desenvolveram técnicas de construção de condutos subterrâneos que levassem as águas poluídas para longe da cidade.

Belo Horizonte nasceu dentro dessa perspectiva higienista, em que os córregos e rios foram retilinizados e canalizados, como galerias pluviais, para proporcionar o escoamento rápido, já que no período chuvoso são recorrentes as tempestades, devido à tropicalidade do seu clima. O planejamento da cidade foi inspirado no sucesso das obras de Haussmann, no final do século XIX, que tornou Paris a cidade emblemática da modernidade, com avenidas e ruas largas, parques e obras que facilitariam ainda a instalação da infraestrutura urbana, entre as quais as redes pluviais e de esgotos submersos.

A atual capital mineira passou por várias fases de crescimento urbano. Segundo Costa (2009), em termos intraurbanos, atualmente as manifestações espaciais da urbanização são muito diversificadas. São áreas centrais densamente verticalizadas, com graus variados de uso residencial e de comércio e serviços. São bairros que apresentam diferentes tipologias construtivas associadas aos diversos momentos de atuação do capital imobiliário, ocupações ilegais que passam por regulação fundiária e urbanística, extensas e densas periferias que se deve a um conjunto de loteamentos populares com habitações autoconstruídas e as favelas cada vez mais adensadas e verticalizadas, entre outras formas de ocupação. Tais características configuram um cenário de sujeição a grandes impactos socioambientais das chuvas.

Ao contrário da tendência contemporânea dos países europeus, em que países como França e Dinamarca, investem na restauração fluvial dos seus cursos d'água<sup>1</sup>, em Belo Horizonte ainda se verifica obras de retificação e canalização fechada dos córregos, com o intuito de dar vazão às águas pluviais e alargar as avenidas sanitárias. As águas dos córregos, comumente, só aparecem em episódios de transbordamentos, causando alagamentos nas ruas e avenidas e gerando interrupção no tráfego e disritmias<sup>2</sup> no funcionamento orgânico da cidade.

Dentre os impactos socioambientais urbanos recorrentes na capital mineira, a grande maioria deles é desencadeada pelos episódios de chuvas intensas e/ou persistentes. Entre as causas de perdas materiais e desalojamentos, ela é o fenômeno natural que mais gera prejuízos econômicos aos belo-horizontinos. Segundo Tominaga, Santoro e Amaral (2009), é importante ressaltar o crescimento dos desastres naturais nos últimos 30 anos, tanto de causas naturais, quanto oriundas de atividades humanas. O crescente número de vítimas não está só associado a eventos de grande magnitude, como tsunamis, terremotos, furacões, ciclones e erupções vulcânicas, mas também de escala local, como inundações, enchentes, deslizamentos, erosão, quedas de granizo, de árvores, desabamentos, etc. causadas pelas tempestades severas.

Segundo a Organização Mundial de Meteorologia - OMM - (2013), houve um aumento da população vulnerável aos desastres em 114% no período entre 1970 e 2010, quando a população mundial cresceu 87%. O relatório da OMM, diagnóstico climático atual do período 2000-10, mostra que o número de vítimas fatais em função das tempestades severas e inundações diminuíram (16% e 43%) em relação ao decênio anterior, devido às melhoras nos serviços de alertas e mitigação do risco hidrometeorológico. Contudo, o número de pessoas em áreas propensas a eventos extremos triplicou nesse período, assim como as perdas materiais e a vulnerabilidade socioambiental.

Rodríguez (2013) salienta as dificuldades e a falta de planejamento interdisciplinar e multisetorial das políticas locais das grandes cidades latino-americanas em criar alternativas à crescente vulnerabilidade da população urbana aos impactos climáticos. Segundo Cond, Pabón e Rodríguez (2013), a dinâmica atmosférica e o clima são fatores ambientais urbanos que interferem na vida de seus habitantes e no modo de produção local. Aspectos como a disponibilidade de água, de alimentos, energia, mobilidade intraurbana e interurbana,

---

<sup>1</sup> Segundo Meurer (2010), isso se deve, em parte, à orientação política de meio-ambiente da Europa no decorrer das três últimas décadas e, em especial, nos últimos dez anos.

<sup>2</sup> Termo utilizado por Monteiro (1976) sobre o impacto dos eventos hidrológicos no ambiente urbano.

desenvolvimento de diversas atividades econômicas, saúde da população, são fatores que devem ser considerados no diagnóstico da vulnerabilidade e capacidade de resiliência de uma determinada localidade aos riscos climáticos.

Os órgãos políticos internacionais demandam dos países medidas preventivas, mitigadoras e corretivas dos riscos naturais à população, sendo que essas ações devem ser planejadas no âmbito local, devido às particularidades dos fatores de risco. Segundo Cond, Pabón e Rodríguez (2013), ao propor um planejamento que considere esses aspectos, é necessário dispor de conhecimento e informações acerca das particularidades do clima atual e sua relação com os processos socioeconômicos que se desenvolvem dentro da cidade, da distribuição espacial e do ciclo anual dos fenômenos meteorológicos extremos no âmbito da área urbana e sua zona de influência, assim como a evolução das ameaças e dos riscos a essa distribuição dos fenômenos meteorológicos e hidroclimáticos.

Em Belo Horizonte, os estudos de clima urbano são muito pouco numerosos. Entre eles, destaca-se o de Assis (2010) que mostra a existência de núcleos de retenção de calor. O autor identificou um núcleo no hipercentro que, apesar de não ter alcançado a máxima amplitude da ilha de calor, foi o local onde a velocidade do resfriamento noturno foi menor, definido pelo comportamento do desvio-padrão da temperatura média do ar, um outro na região norte, onde houve maior aquecimento durante o dia e maior resfriamento durante a noite. Essa constatação difere dos modelos teóricos de ilha de calor pensados para as cidades de latitudes médias, como definiram Oke (1978) e Landsberg (1981), o que evidencia a necessidade de estudos que considerem as características e dinâmicas dos climas tropicais e suas possíveis alterações a partir da modificação do uso do solo.

Muitos trabalhos, como os de Pinheiro e Naghettini (1998), Moreira (2002), Reis et al. (2004), espacializaram longa série de dados de precipitação na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Todos eles destacaram a presença da Serra do Curral como fator condicionante de maior frequência diária de chuvas e de maiores acumulados mensais. Contudo, ainda não se tem um mapeamento das áreas de maior recorrência de chuvas na escala temporal horária associada à gênese atmosférica, fundamental para contribuição ao conhecimento da espacialização das chuvas associada às recorrências de desastres naturais e impactos urbanos.

O padrão espacial de um determinado evento chuvoso ocorre numa paisagem citadina que se sobrepõe a diferentes momentos históricos, culturais e econômicos de crescimento e produção do espaço urbano. A repercussão socioambiental das diferentes espacialidades

de chuvas é determinada pelas características dos tipos de chuvas, dados pelo escoamento atmosférico, que gera diversas intensidades de chuvas, na qual a vulnerabilidade socioambiental e capacidade de resiliência da sociedade é fortemente condicionada pelas características de produção do espaço urbano e do sistema de engenharia adequado à realidade local.

Diante do exposto, observa-se que uma análise sistemática das espacialidades das chuvas e de sua repercussão junto à cidade de Belo Horizonte é necessária para uma compreensão mais abrangente da precipitação associada aos efeitos urbanos no clima. Nesse sentido, a questão central deste trabalho refere-se à existência de fatores regionais e locais que influenciam a espacialidade das chuvas, dadas as características intraurbanas da paisagem, que repercutem em diferenciados riscos socioambientais à população.

## **1.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é identificar padrões espaciais locais de tipos de chuvas em Belo Horizonte, a partir do escalonamento entre a gênese atmosférica na escala sinótica/regional às características topoclimáticas<sup>3</sup> da paisagem, e suas influências no desencadeamento de processos hidrológicos.

### *1.1.1 Objetivos Específicos*

Os objetivos específicos necessários para alcançar a proposta de trabalho são:

- 1) identificar os episódios de chuvas de outubro a abril em duas estações consecutivas: 2010/2011 e 2011/12;
- 2) categorizar os tipos de chuvas, a partir do diagnóstico sinótico da atmosfera regional via produtos meteorológicos;
- 3) identificar os tipos de chuvas que acarretam maior contribuição ao acumulado mensal e sazonal das respectivas estações chuvosas, comparados às médias climatológicas;
- 4) verificar o comportamento médio e a variabilidade dos tipos de chuvas nas duas estações chuvosas;
- 5) mapear as espacialidades dos tipos de chuvas em Belo Horizonte a partir do agrupamento de eventos chuvosos e representá-los espacialmente;

---

<sup>3</sup> Definida na secção 2.2 – Escalas geográficas do clima

- 6) localizar as ocorrências de enchentes e/ou inundações e alagamentos, em virtude das chuvas, registradas pela Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMDEC) e relacioná-las aos tipos de chuva e fatores da paisagem como: topografia, uso do solo, tipologias da rede de drenagem e densidade demográfica.

## **1.2 Questões**

Levando em consideração as características físicas do sítio urbano de Belo Horizonte e a dinâmica atmosférica que gera eventos de precipitação e processos hidrológicos que causam grandes transtornos à população, torna-se necessário considerar as seguintes questões:

- 1) Existem espacialidades de chuvas em Belo Horizonte devido às diferentes tipologias?
- 2) Quais os tipos de chuvas relacionados à respectiva gênese atmosférica ocorrem com maior frequência durante a estação chuvosa na capital mineira? Esses tipos estão associados aos maiores acúmulos horários, diários e/ou mensais?
- 3) Os atributos locais da paisagem, como diversidade topográfica e uso e ocupação do solo, são fatores determinantes na espacialização local dos eventos de chuva, verificada pelas diferentes espacialidades de tipos de chuvas?
- 4) Verifica-se relação entre tipos de chuvas e números de registros de ocorrências de impactos socioambientais de natureza hidrológica?

## **1.3 Hipóteses**

As chuvas registradas localmente são originadas por sistemas atmosféricos de escalas superiores e que se propagam em diversas trajetórias, caracterizadas por sua gênese atmosférica, que repercutem de formas diferenciadas ao atingirem uma superfície que apresenta variadas formas de relevo, litologias e uso e ocupação do solo. Para a compreensão das características da precipitação e a sua interação com a superfície, é necessário testar as seguintes hipóteses:

- 1) Os diferentes tipos de chuvas geram espacialidades diversas no município de Belo Horizonte, como em outras localidades, devido às suas características escalares, assim como pelas trajetórias percorridas na região central de Minas Gerais (MG). Tem-se como hipótese que os eventos de chuvas gerados por sistemas convectivos localizados repercutem em padrões espaciais diversos daqueles vindos das Zonas

de Convergências (ZC). Espera-se que as chuvas originadas de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que perduram por mais de três dias seguidos e que, por vezes, ocorrem de forma ininterrupta por mais de 24 horas, com picos de grande intensidade, gerem uma espacialização mais homogênea no espaço local e maior número de episódios calamitosos à população devido à sobrecarga em todo sistema de drenagem. Enquanto chuvas de Linhas de Instabilidades (LI) tendem a gerar precipitações muito intensas, durante um curto período, e grandes transtornos pontualmente em uma determinada Regional de Belo Horizonte.

- 2) Os estudos de precipitação em Belo Horizonte destacaram o papel da topografia (mais elevada ao longo da Serra do Curral, no sentido NE-SW), salientando seu aspecto geográfico como uma forçante que gera maior acumulado diário e/ou mensal. A hipótese é que os sistemas atmosféricos ciclônicos oriundos de SW/W/NW, em Belo Horizonte, se alinhem à Serra, ocasionando maior acumulado diário por permanência da banda de nebulosidade associada, identificado a partir dos totais diários de precipitação. Portanto, as chuvas registradas nas Regionais situadas no prolongamento da mesma, como: Barreiro, Centro-Sul e Leste, são mais persistentes, porém de menor intensidade, o que pode acarretar, por vezes, em maiores totais mensais, sendo esse o efeito característico da Serra do Curral na distribuição espacial da precipitação.
- 3) Outra hipótese sobre a repercussão espacial da tipologia de chuvas refere-se às chuvas oriundas de Frentes Frias (FF), que em baixos níveis apresentam escoamento de S, ou SW (por sofrer um desvio no sentido ciclônico devido à barreira orográfica), e geram chuvas menos intensas na porção SW/S/SE do município, devido à dissipação de energia ao longo do caminho percorrido, do extremo Sul do Brasil até a Região Sudeste.
- 4) As chuvas oriundas de N/NW/W desencadeadas por sistemas convectivos localizados ou inseridos em grandes ZC geram eventos mais intensos, que ocorrem com maior frequência em áreas de grande densidade populacional, de relevo mais aplainado, com grande número de córregos, como as Regionais Pampulha, Noroeste e Oeste, o que causa eventos de alagamentos e enchentes. Contrapondo-se àqueles ocasionados nas Regionais de relevo mais movimentado, como a Regional Barreiro, Centro-Sul e Leste, em que a durabilidade da chuva desencadeia processos erosivos e geológicos associados à saturação do solo.

## 1.4 Justificativa

Em climatologia geográfica, a grande maioria dos trabalhos tem acesso aos dados diários de precipitação devido ao banco de dados disponibilizados pelos órgãos oficiais de coleta e manipulação, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Agência Nacional de Águas (ANA), que nos últimos dez anos disponibilizam uma grande série deles. A espacialidade do tipo de chuva na escala local urbana requer, porém, o entendimento da chuva horária. É a intensidade (mm/h) que gera grandes transtornos generalizados à população, como os grandes alagamentos.

Segundo Alves Filho (2003), o conceito de chuvas intensas tem um caráter subjetivo, o que determina a intensidade da chuva é a capacidade de absorção do sistema de drenagem e o volume de água direcionado para o escoamento superficial. Tucci (1993) destacou que as principais características da precipitação são a intensidade e duração, pois 100 mm de chuva é muito pouco, considerando o total acumulado em um mês da estação chuvosa em Belo Horizonte. Entretanto, pode ser muito, se considerado o acumulado diário, e catastrófico em uma hora.

As diferenciações das repercussões espaciais de uma chuva gerada por sistemas convectivos, como as originadas pelas LI, por exemplo, daquelas originadas pelas ZC, só serão compreendida na relação entre o diagnóstico sinótico do sistema atmosférico e a caracterização da intensidade, duração e frequência. As chuvas originadas de sistemas convectivos geram grandes acumulados horários, de repercussões topoclimáticas diferenciadas, em função das características da superfície e devido à rapidez que se atinge o pico de vazão de cheia de uma sub-bacia, o que pode gerar enchentes e alagamentos locais.

Ao analisar o total diário, como os trabalhos de Moreira (2002), Reis et al. (2004) e Lucas (2007), pode-se não apreender os diferentes ritmos de atuação dos sistemas atmosféricos citados, que apresentam características de intensidade e duração diferenciadas e, portanto, configurações espaciais diversas que podem auxiliar no entendimento da dinâmica das chuvas e da relação com os impactos hidrológicos. Estudos recentes ainda apresentam muitas controvérsias a respeito de como o ambiente urbano pode afetar a precipitação ou a convecção local. Pereira Filho (2000) identificou que, em São Paulo, em condições sinóticas de bloqueio, prevalece a formação de núcleos convectivos que coincidem com a ICU, alimentadas pela umidade da brisa marítima, no final da tarde, e ocasionam alagamentos na porção oeste do município. Em Belo Horizonte, ainda não há trabalhos nessa perspectiva,

pois não foram elaborados estudos na perspectiva horária da precipitação, que possibilitasse a identificação da convecção local.

Lucas (2007) estudou cinco episódios de chuvas mais significativos em quantidade diária no período 2000/2005 na RMBH. Em todos eles, a autora identificou variações espaciais durante eventos sinóticos típicos de verão nos sete municípios do entorno de Belo Horizonte, resultando em menor/maior grau de impactos socioambientais. Segundo Parizzi (2004), um sistema de alerta eficiente de riscos ambientais desencadeados pelas chuvas deve considerar a localização das áreas de maior intensidade pluviométrica.

As características climáticas, assim como suas variabilidades, se apresentam como um dos componentes ambientais que devem fazer parte das dimensões urbanas e de seu planejamento. O conhecimento da interação paisagem–atmosfera pode contribuir para melhorar a qualidade de vida urbana, assim como para minimizar problemas típicos de superfícies densamente alteradas, como as enchentes, escorregamentos, que podem ser evitados, dado o conhecimento do ritmo habitual da precipitação e a variação no espaço local, associado às suas interações com a paisagem modificada. Portanto, a elaboração e a execução deste trabalho se justificam devido à sua importância para o planejamento urbano, como ferramenta de tomada de decisões dos gestores públicos, assim como referência para a organização da cidade por meio dos planos diretores.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Os estudos de precipitação na perspectiva do clima urbano

O estudo da atmosfera urbana remonta ao período de crescimento das primeiras cidades industriais, após a Revolução Industrial, no início do século XIX. Friedrich Engels retratou em sua obra, *A situação da classe operária na Inglaterra*, de 1845, a vida dos proletários, evadidos da zona rural, que moravam em porões às margens do poluído Rio Tâmisa e eram constantemente assolados por enchentes. O trabalho de Luke Howard (1833), sobre o clima da cidade de Londres é apresentado por Landsberg (1956), como o primeiro estudo científico do clima de uma cidade.

O trabalho de Chandler (1965) está entre os pioneiros da climatologia urbana. Ele empreendeu várias pesquisas em Londres detalhando diferenças de temperatura entre a cidade e as áreas rurais próximas. A partir das características homogêneas de temperatura, umidade, pressão e vento, o autor identificou quatro regiões climáticas na área territorial de Londres. O estudo demonstrou que as temperaturas nas áreas centrais eram mais elevadas em até 6°C, principalmente em situações de calmaria e céu claro.

Na época, trabalhos semelhantes foram desenvolvidos nos Estados Unidos. Entre eles, as pesquisas de Landsberg (1956, 1970, 1981), de grande contribuição para os brasileiros em períodos posteriores. O autor preconizou três aspectos em que a urbanização potencializa mudanças climáticas em função da alteração da superfície, pois modifica as trocas naturais de energia entre esta e a atmosfera, ou seja, a forma como a superfície aquece a atmosfera. Acrescida da produção de calor pela própria cidade, “[...] indo desde aquele proveniente do metabolismo dos seres humanos e animais ao calor liberado por fornos de residências e indústrias, ampliada [...] pelos milhões de veículos motorizados” (LANDSBERG, 2006, p.96). O terceiro aspecto elucidado sobre as mudanças do clima citadino corresponde à alteração da composição química da atmosfera, destacado pelo autor como um dos maiores problemas das grandes cidades industriais.

Segundo Shepherd (2005), as áreas urbanas modificam o processo de aquecimento/resfriamento da camada limite da atmosfera de várias maneiras devido às superfícies artificiais com diferentes propriedades térmicas (capacidade de calor, por exemplo, e a inércia térmica), o que levou à proposição do conceito de Ilha de Calor Urbana (ICU). Oke (1978) apresentou modelos que relacionam a intensidade da ilha de calor ao

tamanho da população urbana para cidades norte-americanas e européias, mais evidenciadas após o pôr do sol (OKE, 1978).

Os modelos matemáticos propostos por esse autor foram muito utilizados pelos pesquisadores brasileiros nos últimos 30 anos, seus conceitos estão bem evidenciados nas teses e dissertações sobre clima urbano. Trabalhos como de Brandão (1996), Duarte (2000), Fialho (2009), Assis (2010), entre outros, permitem compreender a aplicabilidade de seus modelos e suas contribuições para identificação da ICU nas cidades brasileiras.

Ressalta-se que as cidades tropicais apresentam diferentes configurações espaciais de ICU dos modelos conceituais de cidades de latitudes médias. Segundo Assis (2010), Belo Horizonte apresenta um arquipélago de bolsões de calor, cujas áreas ocorrem nos locais mais adensados e com maior fluxo de veículos, difere, porém, do padrão de gradiente de temperatura entre a área urbana e rural, onde o *Central Business District* (CBD) é geralmente o local mais adensado. Segundo Lefebvre (1999), muitas cidades nos países emergentes caracterizam-se como polinucleadas, ou seja, as atividades ligadas ao comércio e prestação de serviços não se concentram em um único local, bairro ou avenida.

Segundo Shepherd (2005), as diferenças de temperaturas entre ambientes urbanos e rurais geram um gradiente de temperatura que, em conjunto com a termodinâmica e sobrejacente estratificação de umidade da atmosfera, resultam em um fluxo ascendente ou descendente forçado termicamente. A atmosfera urbana se caracteriza pelo aumento de fluxo de calor sensível e adicionamento de calor antropogênico que, associado à rugosidade da superfície urbana, provoca um aprofundamento da camada de mistura, o que sustenta a hipótese de muitos autores de que a intensidade da ICU reforça a convecção e a instabilidade atmosférica.

Os estudos de precipitação urbana remontam ao início do século XX, com “[...] os estudos de Kratzer sobre a influência da urbanização na quantidade de precipitação, em Estocolmo” (LOWRY, 1998, p. 480). Ele sistematizou algumas questões que influenciaram muitas pesquisas posteriores, como: onde há maior aumento de precipitação devido à urbanização, no centro de maior transformação urbana ou ao redor? Em quais tipos de tempo os efeitos são mais evidentes? Qual a magnitude dos efeitos urbanos em relação à circulação regional? Qual a possibilidade de o ciclo das atividades humanas semanais interferir na quantidade diária de chuva? Quais os mecanismos físicos que produzem os efeitos urbanos na quantidade de precipitação?

Segundo Lowry (1998), os estudos dos efeitos urbanos sobre a quantidade de precipitação se tornaram mais sistematizados com os estudos de Landsberg (1956). Ele comparou os dados da cidade de Tulsa, Oklahoma, com os de uma rede de pequenas cidades na região, entre 1891 – 1950, que representaram a localidade sem o efeito da urbanização. O autor ressaltou que assim como Kratzer, ele fez uma análise de regressão entre o tamanho da população e a quantidade média anual de precipitação. Ambos os autores concluíram que o crescimento das cidades industriais produz aumento da quantidade de precipitação local. Lowry (1998) ressaltou que Landsberg (1974) reconheceu as dificuldades em estabelecer relações entre a precipitação e os efeitos urbanos.

*A great deal of attention has been devoted to the urban effects of precipitation. These have been noted for a number of decades but were relatively hard to verify by statistical tests. The reason for this is the very high variability of rain amounts and the poor qualities of the ordinary rain gauge as a sampling device. Decades of observations are usually needed to establish differences at a reasonable level of significance (LANDSBERG, 1974, p. 752).*

O trabalho de Changnon (1962) foi o mais inovador no início da segunda metade do século XX. Ele produziu um mapa de isoietas para as cidades gêmeas, Urbana-Champaign, no estado de Illinois, com dados de 12 pluviômetros dentro da área urbana e três no entorno, num raio de 10km de distância em três direções distintas, a partir de médias anuais de uma década. O mapa representou uma maximização do total pluviométrico na área central, com extensão para leste da cidade.

Stout (1962), colega de S. A. Changnon, no Illinois *State Water Survey*, estabeleceu causalidade entre o aumento de produção de aço nas áreas industriais de Chicago e aumento nos totais anuais de precipitação na pequena cidade de La Porte, a 60 Km a leste de Chicago. Segundo Lowry (1998), esses trabalhos, juntamente com a institucionalização da temática na comunidade científica mundial, com a designação do britânico T. J. Chandler como relator do clima urbano na comissão de Climatologia da OMM, levaram à aceleração e ao investimento nas pesquisas norte-americanas sobre climatologia urbana.

Lowry (1998), ao analisar os 34 trabalhos publicados no primeiro grande evento da climatologia urbana, ocorrido em Bruxelas, Simpósio de Climatologia Urbana e Edificações, patrocinados pelas OMM e OMS, ressaltou que só quatro deles tratavam da precipitação em ambientes urbanos, sendo que dois deles foram amplamente estudados devido às suas diferenças metodológicas e às suas influências em trabalhos futuros. A revisão de Lowry (1998) destacou os estudos de Changnon (1970), sobre quatro cidades do meio-oeste

americano, que mostrou um aumento significativo de precipitação em função da urbanização e o de Atkinson (1970), que descreveu uma análise das nuvens de tempestades que ocorreram em Londres em 21 de agosto de 1959.

O artigo de Changnon (1970) foi baseado na representação em mapas de isoietas de dados pluviométricos anuais de longas séries e o de Atkinson (1970) ocorreu a partir de dados coletados por uma rede de pluviômetros associada às análises da estrutura e comportamento da atmosfera na mesoescala. Lowry (1998) comparou os dois trabalhos e salientou que eles apresentaram metodologias distintas, tanto no tamanho da amostra, quanto na agregação dos dados e explicação dos efeitos urbanos na quantidade de precipitação a partir da definição dos tipos de tempo.

O maior projeto de pesquisa sobre os efeitos urbanos nos regimes pluviométricos ocorreu nos Estados Unidos, entre 1971-1975, o *Project Metropolitan Meteorological Experiment* (METROMEX), centrado na área urbana de St. Louis, na região continental americana, e em mais sete cidades em diversas regiões, como Cleveland, Chicago, Houston, Washington, Indianapolis, New Orleans e Tulsa. Segundo Changnon (1981), o objetivo do projeto foi entender como uma grande área metropolitana afeta o comportamento da atmosfera, particularmente o regime pluviométrico e como essas alterações modificam o clima e a vida das pessoas.

Os resultados do METROMEX são considerados até hoje como premissas para os estudos atuais em vários centros de pesquisa no mundo. Os cientistas desse projeto utilizaram dados de superfície (temperatura, umidade, precipitação e ventos) associados aos dados de radar e de sensoriamento remoto, por meio de modelagem matemática chegaram às seguintes conclusões: aumento de 10% de nebulosidade, 30% de precipitação, 100% de tempestades severas, 11% de escoamento superficial, 100% de inundações locais e 200% no fluxo de poluição no solo. O máximo de precipitação ocorre a 50 – 75 Km do centro da ICU refletindo no aumento de 5 – 25% de precipitação nessas áreas *downwind*, a leste das regiões metropolitanas, devido à modificação dinâmica da camada limite a partir das forçantes térmicas e de fricção da superfície.

Lowry (1998) listou 12 contribuições do METROMEX para as gerações posteriores. As mais relevantes são: a sistematização de coletas de dados por redes de pluviômetros de registros contínuos, o desenvolvimento de técnicas computacionais para armazenagem, a calibração e o tratamento dos dados, a modelagem matemática, tanto de física da nuvem, quanto da camada urbana da atmosfera - *urban boundary layer* - e de aerossóis associada à

microfísica das gotas. O autor ressaltou que o projeto foi suficientemente complexo e caro para que climatologistas nunca empreendessem uma crítica vigorosa às suas análises e conclusões.

Segundo Shepherd (2005), os anos seguintes ao METROMEX foram caracterizados por estudos que continuaram a validar e ampliar as constatações. Lowry (1998) destacou alguns trabalhos que buscaram uma análise de sistemas de tempestades a partir de registros de chuvas de uma rede de estações. Essa análise foi combinada aos sistemas atmosféricos de mesoescala, numa escala temporária que permitiu compreender a sequência de tipos de tempo associada à formação dessas tempestades. O que diferencia os trabalhos desenvolvidos pelo METROMEX (espacialização de longas séries de dados), deve-se ao tamanho da amostra e a forma de agregação dos dados.

Lowry (1998) ressaltou que, a partir da década de 80, houve uma diminuição no vigor da produção científica sobre precipitação em climatologia urbana, assim como o foco das pesquisas se direcionou para as cidades tropicais e subtropicais. Monteiro (1990a) relatou a sua participação na conferência técnica realizada pela OMM na Cidade do México, em 1984, organizado com o propósito de propiciar o desenvolvimento dos estudos dos climas urbanos nos trópicos, o que ressalta o direcionamento das pesquisas para as cidades tropicais.

Monteiro (1990c), ao analisar os trabalhos publicados na primeira edição da Revista *Urban Atmosphere*, em 1990, destacou que, dos 22 trabalhos publicados, 17 foram de países de latitudes médias e somente 2 foram de regiões tropicais. Ao separar os artigos pelos canais de percepção, o autor destacou que 73% foram sobre *qualidade do ar*, 18% sobre *conforto térmico* e “[...] nenhum trabalho focalizando as situações impactantes (climatic hazards)”, (MONTEIRO, 1990c, p. 117). O que Mendonça (2011) atribuiu ser uma característica da tropicalidade, “[...] nas cidades temperadas, a realidade climática é caracterizada por maior regularidade pluviométrica e nas quais as chuvas, exceto em episódios raros, não geram problemas” (MENDONÇA, 2011, p. 182).

Shepherd (2005) listou uma série de trabalhos publicados a partir da década de 90 relacionados à forma como o ambiente urbano afeta a precipitação, entre eles, Jauregui e Romales (1996), embasados nos métodos de trabalhos realizados pelo METROMEX, em que

[...] *in order to try evaluate the urban effects on precipitation, rainy season rainfall ratios were used for a pair of urban and rural (no effect) stations with a long (1941-1985) record. This technique permitted evaluation of time trend in urban effects and in addition, as suggested by Chagnon and Huff (1973) it*

*provides a simple measure of the magnitude of this urban induced effect. Using the automatic rainfall network data, space analysis of 24 h very localized anomalies of rainfall could be made to locate the most frequent position of intense thunder showers* (JAUREGUI e ROMALES, 1996, p. 3384).

Os autores observaram tanto a tendência do aumento das chuvas diárias, quanto sazonais nas áreas urbanas da Cidade do México. Na análise das ocorrências de chuvas diárias, eles relataram que elas entram pelo fundo de vale a sudeste da cidade e são alimentadas pela ICU que parecem aprofundar as células de convecção, tornando as nuvens mais pesadas e produtoras de chuvas mais fortes, no final da tarde. Ao analisarem a intensidade da chuva em 24hs, eles salientaram que houve um aumento de chuvas fracas, moderadas e fortes no período de análise, principalmente das chuvas moderadas durante a noite. Ao espacializar o número de dias seguidos de chuvas, os autores destacaram que elas são mais fortes no centro, e duradouras nas partes mais elevadas do município, a oeste e sudoeste, devido aos efeitos orográficos.

Lowry (1998) argumentou que, apesar de quase um século de pesquisas sobre a quantidade de precipitação nos ambientes urbanos, longos registros já foram analisados, variados tipos de instrumentação já foram implantados, como densas redes *networks* já foram instaladas, e ainda assim, os métodos analíticos permaneceram estagnados e falhos. Ele utilizou o trabalho de Jauregui e Romales (1996), para exemplificar tais argumentos. Sua principal crítica refere-se ao fato de utilizar o tempo como substituto natural do nível de urbanização.

Os seus argumentos se fundamentam na análise dos métodos empregados nos trabalhos de clima urbano, as primeiras e atuais pesquisas se apoiam nas diferenças urbano-rurais, que “[...] são razoáveis para as primeiras aproximações dos efeitos urbanos sobre o clima local e, portanto, oferecem algum esclarecimento, [...] mas são apenas aproximações” (LOWRY, 1998, p. 491). No entanto, o autor ressalta que, a partir dessas aproximações dos efeitos urbanos, as seguintes características devem ser distinguidas, mas normalmente não o são, como: 1) a topografia local; 2) configurações locais da linha de costa; 3) mudanças temporais nas frequências relativas de diferentes tipos de tempo sinóticos, 4) a influência das áreas urbanas em áreas rurais próximas. O que sugere fazer trabalhos com períodos de tempo menores, *estudo de casos*, estratificados por tipo de tempo e controle experimental, em períodos *pré-urbanos* e *pós-urbanos*.

Ao final do século XX, muitas dúvidas foram evidenciadas sobre os efeitos urbanos no padrão de precipitação. Algumas das hipóteses sistematizadas por P. A. Kratzer continuam

por ser testadas. Tayanç, Karaca e Yenigün (1997) não encontraram nenhuma relação entre urbanização e precipitação em quatro grandes cidades da Turquia. Rosenfeld (2000) observou que os aerossóis urbanos e industriais agem na supressão da ocorrência de chuva por fornecer em grandes quantidades de núcleos de condensação, o que pode levar à formação de microgotículas. Os autores associaram o tamanho da gota à altura dos topos das nuvens. Aquelas com grandes quantidades de núcleos de condensação formam gotas menores e nuvens mais baixas, já com gotas maiores, têm maior altura, com topos mais frios, o que sugere que, em áreas naturais, chove mais e, portanto, a urbanização tende a diminuir a precipitação.

Shepherd (2005) destacou que os aerossóis podem ter grandes impactos sobre os processos de formação e crescimento das nuvens, dependendo do tipo de nuvem, da sazonalidade, do regime climático ou do perfil orográfico da área urbana. Em contraste às discussões, Diem e Brown (2003) argumentaram que o aumento de precipitação nas áreas *downwind*, em Phoenix, ocorreu devido ao aumento de núcleos de condensação, apesar de salientarem que, nesse estudo de caso, foram identificados aumento de umidade devido a projetos de irrigação e convergência urbana de superfície nos períodos de maior aquecimento da ICU.

Inoue e Kimura (2004) utilizaram imagens de satélite NOAA para mostrar a frequência de nuvens baixas no início da tarde correlacionadas com o crescimento da área metropolitana de Tóquio. Eles sugerem que essas nuvens se formaram na parte superior da camada de mistura térmica, reforçadas pelo forte fluxo de calor sensível na área urbana.

Shepherd (2006) analisou dados históricos de 108 anos de chuvas em duas cidades de clima árido: de Phoenix, Arizona e Riad, na Arábia Saudita. O estudo baseou-se em imagens de satélite e dados de reanálise de precipitação, da Spatial Climate Analysis Service (SCAS) pertencente à Oregon State University, essas imagens com 4 km de resolução para Phoenix em dois períodos (1895-1949 - pré-urbano e 1950-2003 – pós-urbano) além de dados do Global Climate Observing System (GCOS) Surface Network (GSN) disponibilizados pelo National Climatic Data Center (NCDC), pertencente ao NOAA, para Riad, com resolução de 0,25° X 0,25° de latitude.

O autor observou anomalias positivas significativas de precipitação em áreas *downwind* de Phoenix, região metropolitana, e uma possível anomalia de precipitação induzida pela urbanização ao norte de Riad. Shepherd (2006) destacou que, durante as chuvas de monção (julho-setembro), as áreas situadas nos subúrbios do nordeste e principalmente na

*Lower Verde Basin* tem sido observados aumentos estatisticamente significativos da precipitação, média de 12-14% entre os períodos pré e pós-urbanos. Para Riad, o autor destacou que a reanálise sugere uma tendência de anomalia positiva ao norte da cidade a cerca de 50 – 100km, mas a análise da tendência estatística dos últimos 15 anos não sugere relação entre o aumento da precipitação e urbanização.

Atualmente, ainda há muitas incertezas entre o efeito da urbanização e padrões de precipitação associados. Muitos trabalhos são desenvolvidos a partir de variáveis contínuas, têmporo-espacialmente, como a temperatura e umidade ou no efeito dos poluentes gerados pelas atividades antrópicas no clima local. Roth (2007) fez uma revisão de estudos sobre clima urbano nos países tropicais e subtropicais, comparados à produção dos países de latitudes médias. Ele relatou que trabalhos sobre essa temática ainda são mais numerosos nas regiões de clima temperado. Às regiões subtropicais correspondem cerca de 20% dos trabalhos publicados entre 1996-2004. Ainda considera que

*[...] the actual percentage of (sub)tropical work is probably bigger than implied above. Some of the studies are possibly not captured because they are not published in the English international review literature. In general, however, the percentage of (sub)tropical work is still very small given the size of the problem and potential concerns (ROTH, 2007, p.1.861).*

Dos trabalhos revisados, 50% de todas as pesquisas nas regiões subtropicais concentraram-se no canal de percepção físico-químico: qualidade do ar (MONTEIRO, 2011). Roth (2007) ressaltou que as grandes cidades de países emergentes se caracterizam pelos altos níveis de poluentes atmosféricos urbanos (por exemplo, aerossóis, ozônio e compostos orgânicos voláteis) como resultado das emissões de automóveis, indústrias e de atividades domésticas que envolvem a combustão de combustíveis fósseis.

A análise de Roth (2007) é feita em tópicos por temas referentes ao clima urbano. Em cada um deles elenca todos os trabalhos realizados dentro dessa perspectiva e a sua localização, sendo eles: qualidade do ar e poluição, ilha de calor urbano, planejamento urbano e conforto humano, camada limite urbana - *urban boundary layer* – e um tópico sobre vento, radiação, umidade, chuva e dióxido de carbono. Para os estudos de chuva em áreas urbanas, o autor só menciona Rasul *et al.* (2004) e Jauregui e Romales (1996), que analisaram longas séries temporais de eventos de precipitação comparados ao crescimento urbano, e Shepherd (2006) sobre os efeitos urbanos na precipitação em cidades áridas: Phoenix e Riad.

## **2.2 Os estudos de precipitação no Brasil na perspectiva do clima urbano**

No Brasil, muitos trabalhos foram desenvolvidos a partir da tese de Monteiro (1976), intitulada Teoria e Clima Urbano. O trabalho foi motivado pelos altos índices de crescimento populacional urbano a partir de meados da década de 50, que “[...] geraria regiões metropolitanas, em torno de uma dezena, onde o improvisado (ilegal) superava de muito, o planejado (legal)” (MONTEIRO, 2011, p.10). Ressalta-se que as prioridades do planejamento público urbano (se existiam) eram os setores econômicos e sociais, os aspectos ambientais foram negligenciados, esquecidos ou mesmo desconhecidos, naquele período no país. Por outro lado, a partir da década de 70 houve um crescimento dos estudos ambientais, o que propiciou ao autor sistematizar o estudo da atmosfera urbana a partir de um novo paradigma em climatologia geográfica.

O paradigma da dinâmica atmosférica, na escola de climatologia geográfica, iniciou-se com o trabalho do mesmo autor, em 1969, sobre a atuação da Frente Polar Atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil. Fundamentado na conceituação sorreana de sucessão habitual dos estados da atmosfera, quando introduziu a ideia de ritmo como a essência da abordagem geográfica do clima. O entendimento da sequência de tipos de tempo foi possível a partir dos trabalhos de Adalberto Serra e Leandro Ratisbonna, entre as décadas de 40 e 50, que estabeleceram a estrutura dinâmica das massas de ar e dos centros de ação, caracterizando a dinâmica da circulação atmosférica para a América do Sul (AS).

Nessa perspectiva, Tarifa (1975) se propôs a compreender os mecanismos atmosféricos pelos quais ocorrem diferentes graus de intensidade das chuvas no estado de São Paulo, no período de outubro a março de 1961-65, baseado na dinâmica da atmosfera a partir de sequências de cartas sinóticas de superfície e definição dos centros de ação. O autor estabeleceu subsídios quantitativos à análise geográfica do clima, quando sistematizou os parâmetros de definição dos tipos de ritmo e suas relações funcionais com os principais fluxos atmosféricos da circulação regional.

Ely (2006) pesquisou sobre a construção do discurso ordenado para o estudo geográfico do clima no Brasil. Após a análise de 103 títulos, entre dissertações e teses, produzidas nos departamentos de pós-graduação em Geografia da Universidade de São Paulo (USP), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Universidade Estadual de Maringá (UEM), a autora identificou que elas são subsidiadas no

conceito de clima de Sorre, na perspectiva que a noção habitual da sequência de tipos de tempo conceituada como ritmo climático é a essência da análise geográfica do clima.

No processo de análise das teses e dissertações, a autora elaborou uma categorização temática a partir dos enfoques comumente discutidos nos estudos de climatologia geográfica. No período de 1944 a 2003, 39% dos trabalhos produzidos nos programas de pesquisas foram sobre a temática clima urbano, pautados na Teoria do SCU, de Monteiro (1976), seguidos de 28% sobre variabilidade pluvial e o restante subdividido em outras três subáreas.

Influenciado pelas tendências científicas da segunda metade do século XX, Monteiro (1976) propôs SCU, fundamentado na Teoria Geral dos Sistemas, originada nas ciências biológicas. O que explica a perspectiva organicista, que visa compreender o funcionamento, desempenho e organização de um sistema. Na geografia física, Bertrand (1972) havia proposto o conceito de geossistema e estabeleceu um paralelo entre unidades de análise geográfica e ecossistema, estruturado a partir da categoria escala, fundamental para compreender a hierarquia dos sistemas.

Monteiro (1990b) definiu o clima urbano como um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização. Ao tratá-lo como um sistema aberto, pressupõe-se uma mobilidade, tanto espacial, quanto temporal de massa e energia, que se dá entre “[...] o lugar que serve de materialidade à cidade, através das conexões que se sucedem, tanto nas esferas lito e biológicas, quanto pela própria repercussão na atmosfera” (MONTEIRO, 1990b, p. 81).

Para conceituação e estruturação teórico-metodológica do SCU, o autor se fundamentou nas principais características físicas e organizacionais que caracterizam a teoria. A proposta do SCU articula dois subsistemas: o climático e a sociedade urbana, e visa um enquadramento da totalidade por meio da autorregulação e retroalimentação. O fluxo de energia e massa pode ser compreendido por via de três canais de percepção que “[...] se iniciam na essência da atmosfera e desembocam na percepção humana: Conforto Térmico, Qualidade do Ar e Impactos Meteóricos” (MONTEIRO, 2011, p.43).

O autor elaborou um diagrama do SCU e o denominou de *Básico*. Nele está representada toda a estrutura e inter-relação entre os componentes e fluxos do sistema. A separação em canais de percepção foi um artifício para execução da análise, o que o fez propor diagramas

separados para cada um dos subsistemas intitulados a partir da percepção humana do fato climático no ambiente urbano.

Segundo Fialho (2009), os trabalhos de clima urbano no Brasil se tornaram mais significativos a partir da década de 80, apresentando um aumento de 100% na década seguinte. Essa abordagem teórico-metodológica via subsistemas, propostos por Monteiro (1976), ocorreu de forma predominante no canal conforto térmico. Segundo o levantamento de Brandão, Russo e Fialho (2000), 60% dos trabalhos foram desse canal, sendo que o impacto meteórico e qualidade do ar compreenderam, cada um, 20% deles. Os autores ainda ressaltaram a concentração espacial desses trabalhos, 70% deles em localidades situadas nas regiões Sudeste e Sul, onde se encontra a maior parte da população brasileira e das áreas urbanas.

Segundo Mendonça (2011), os trabalhos realizados a partir do canal de percepção físico-químico ou dispersão são mais numerosos nos países europeus e norte-americanos que naqueles países em desenvolvimento. No Brasil, a industrialização tardia deu origem à concentração espacial da indústria em certas regiões e cidades, que se tornaram metrópoles em função dessa concentração. Outro fato destacado pelo autor é o alto custo dos equipamentos necessários para a realização de estudo nesse canal de percepção.

O maior número de trabalhos realizados por C. A. F. Monteiro, J. R. Tarifa e seus orientandos, no Laboratório de Climatologia do Curso de Geografia da USP, foi identificar a produção de calor antrópica em algumas cidades brasileiras, como Rio de Janeiro, Florianópolis, São José dos Campos, Marabá e muitas outras. O processo histórico de estruturação de uma metodologia de coleta de dados em pontos fixos e móveis, no intuito de adentrar a cidade, como propõe o primeiro autor, aliado à maior disponibilidade de instrumentos meteorológicos acessíveis para trabalhos de campo, justifica o histórico de trabalhos estruturados a partir desse canal de percepção, como bem enumerados por Fialho (2009).

No Brasil, muitos estudos de precipitação em climatologia geográfica foram elaborados a partir do paradigma da análise rítmica, sistematizada por Monteiro (1969), com o objetivo de entender a sequência de tipos de tempo e suas disritmias desencadeadoras de eventos extremos. Segundo Ely (2006), muitos autores discutiram os sistemas atmosféricos causadores desses impactos hidrológicos nas cidades brasileiras por serem o principal evento natural de grande repercussão socioeconômica.

Fialho (2010), ao realizar um levantamento dos trabalhos publicados nos Simpósios Brasileiros de Climatologia Geográfica (1994-2008), classificou-os de acordo com os elementos climáticos e escalas temporal e geográfica do objeto de estudo. Os anais totalizaram 1.108 trabalhos, sendo que 28% se referem ao item “[...] recursos hídricos, secas e impacto pluvial” (FIALHO, 2010, p. 200), ao categorizar, por elemento climático, a precipitação corresponde a 30% dos estudos. O autor argumenta que o maior número de trabalhos nessa temática se deve à disponibilidade de dados em rede por diferentes instituições públicas, como INMET e ANA. No entanto, destaca-se a dificuldade de se ter disponibilidade desse dado melhor estratificado temporalmente, o que faz com que esses estudos ocorram preponderantemente numa escala temporal mensal e anual.

Por outro lado, poucos estudos de precipitação foram elaborados a partir do SCU porque necessitam de informações mais detalhadas, como ocorrências registradas pelos órgãos de Defesa Social, Defesa Civil e Corpo de Bombeiros, e chuvas horárias e diárias para identificação da relação entre o evento natural e o impacto que “[...] pressupõe de consequências calamitosas, atacando a integridade da cidade como artefato físico e perturbando, sensivelmente, as formas de circulação e comunicação interna e de ligação externa” (MONTEIRO, 2011, p. 53). As inundações e alagamentos decorrem de grandes intensidades das chuvas, muitas vezes concentradas tempo-espacialmente, em ambientes impermeabilizados, retinizados que alteram a superfície e a dinâmica natural do ciclo hidrológico, diminuindo a infiltração e potencializando o escoamento superficial.

Gonçalves (1992) fez um estudo dos episódios pluviais concentrados e “o grau de repercussão no espaço urbano de Salvador em função dos efeitos oriundos das disritmias da sequência normal dos diversos sistemas meteorológicos atuantes” (GONÇALVES, 2011, p. 75). O estudo foi realizado a partir do sistema conceitual SCU por meio do canal de percepção impacto meteórico. Para identificação dos eventos extremos, utilizou-se uma série histórica de dados de três estações, sendo duas delas do INMET (Estação Ondina, dados de 1904-1989 e estação Mont Serrat, de 1945 – 1962), e uma no aeroporto da cidade (1961-1986). A classificação do evento ocorreu a partir de noticiários de jornais e estatísticas do Corpo de Bombeiros e Defesa Civil, o que permitiu definir o parâmetro de 60 mm em 24 horas como o limiar para deflagração de eventos hidrológicos na cidade.

A autora constatou que a característica de tropicalidade da cidade de Salvador se revela no regime pluviométrico. As chuvas concentradas nos meses de outono-inverno são fatos normais e têm um ritmo sazonal de grandes aguaceiros acumulados em mm/dia. Por outro lado, o processo acelerado de urbanização associado a problemas estruturais nacionais

gerou formas de ocupação intensiva e desordenada, “[...] sobretudo em áreas consideradas de risco, numa prova evidente da falta de sintonia entre a ação antropogênica e as leis da natureza” (GONÇALVES, 2011, p.81).

Mendes (2001), ao trabalhar com os dados de máxima precipitação em 24 horas, ao longo dos meses do ano no período entre 1981 e 2001, identificou que não foram raros os eventos que ultrapassaram 60 mm, que regularmente ocasionaram uma série de impactos na vida da população. Portanto, selecionou três desses eventos para entender desde a gênese do vento à sua estrutura espacial. Para essa análise espacial foram produzidos e instalados 30 pluviômetros na área urbana e no entorno de Uberlândia – MG, no período de setembro de 1999 a abril de 2000.

O autor categorizou os sistemas atmosféricos que ocasionaram as chuvas durante toda a sua permanência local, descritas a partir das cartas sinóticas disponíveis pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/INPE, correlacionadas aos totais diários de chuva. Ele identificou que 90% dos eventos diários de precipitação foram ocasionados por SF e LI. As chuvas relacionadas à atuação das LI, na grande maioria, ocorreram em forma de pancadas em pontos isolados da cidade, principalmente no final da tarde e de madrugada. Já as produzidas por SF, quando principalmente estacionárias, ocorreram de maneira mais uniforme em termos de distribuição e altura, precipitando-se durante horas seguidas, principalmente no período da manhã e da noite.

Mendes (2001) não identificou relação entre o uso do solo urbano, adensamento populacional e total de chuva. A altura pluviométrica foi maior na porção sudeste, onde são encontrados bairros residenciais, com predomínio de áreas impermeabilizadas, menos adensadas que a região central da cidade.

A análise dos dados da gênese e da estrutura espacial leva a crer que somente essas características de cobertura do solo não são suficientes para determinar uma maior concentração de chuvas na região sudeste da cidade, pois características semelhantes a esta ocorreram em diversos pontos dela, os quais registraram altura de chuvas bem inferiores [...] depreende-se que a maior concentração de chuva sem algumas áreas específicas, ao contrário de outras, está relacionada mais fortemente à atuação dos sistemas atmosféricos, durante seus sucessivos avanços sobre a cidade, tendo a forma do relevo uma influência bem menor (MENDES, 2001, p.224).

Alves Filho (2003) estudou os processos desencadeadores de chuvas intensas na mancha urbana da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a partir da identificação das áreas

de maior ocorrência de chuvas, relacionadas aos fatores atmosféricos e de superfície nas diferentes escalas de análise geográfica do clima. O autor utilizou dados de superfície de diferentes redes, tanto do setor de energia elétrica (ELETROPAULO), quanto do METAR (Meteorological Aerodrome Reports) do Aeroporto de Congonhas, da Fundação Tecnológica de Hidráulica do estado de São Paulo, da estação meteorológica do IAG/USP e dados do *Constant Plan Position Indicator* (CAPPI) a três quilômetros de altitude fornecidos pelo Radar Meteorológico localizado na cidade de Ponte Nova, pertencente ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Acrescido da análise sinótica a partir de cartas sinóticas disponibilizadas pelo Serviço Meteorológico da Marinha (DNH) e imagens de satélite do METEOSAT, disponibilizadas pelo CPTEC/INPE.

As chuvas estudadas pelo autor compreenderam o período de janeiro a abril de 1991, sendo que foram analisados os totais mensais e diários relacionados à gênese atmosférica e sua espacialização sobre a RMSP. Os casos mais significativos de cada mês foram estratificados em períodos de ocorrências na escala temporal horária e as relações com os impactos socioambientais. Alves Filho (2003) identificou que as chuvas ocasionadas por LI foram convergidas para a RMSP, devido ao crescimento de núcleos convectivos mais espessos nas áreas centrais da cidade, que concomitantemente ocorrem em outras áreas urbanas do estado, como Jundiaí, Região Metropolitana de Campinas, Sorocaba e São José dos Campos. Chuvas ocasionadas por SF também geraram maior precipitação na região central da RMSP.

Segundo Alves Filho (2003), “[...] foram raros os casos em que o centro da metrópole não protagonizou os maiores impactos pluviais durante os episódios” (ALVES FILHO, 2003, p. 257), ressaltou, porém, a particularidade da posição geográfica da RMSP dada pela entrada da brisa marítima como fonte alimentadora da formação de nuvens. O autor constatou que há uma estreita relação entre o aquecimento diurno da superfície e a entrada de umidade após o período de máximo aquecimento da atmosfera.

A forma pela qual os núcleos de chuva se distribuem e se configuram sobre São Paulo nos leva a deduzir que a morfologia do relevo exerce papel importante na entrada da brisa, uma vez que é justamente sobre a área mais aplainada, onde estão localizados os espelhos d’água do Reservatório Billings e Guarapiranga que se dá preferencialmente esta infiltração. Esta atinge inicialmente os municípios do ABC para depois penetrar na cidade de São Paulo. Se tomarmos a Região Metropolitana como um todo, esta concentração de chuvas ocorre na porção sudoeste, onde também é menor a distância da metrópole até a costa litorânea (ALVES FILHO, 2003, p. 276).

### **2.2.1 Os estudos de precipitação em Belo Horizonte**

A climatologia da precipitação em Belo Horizonte foi estudada por Giovannini (1930), *apud* Assis e Abreu (2009), engenheiro assistente do serviço meteorológico do estado de MG, que constatou a existência de duas estações bem definidas: uma fria e seca e outra quente e chuvosa. Segundo Gan, Kousky e Ropelewski (2004), 50% da precipitação anual sobre a AS, tropical e subtropical, ocorrem nos meses de verão austral (dezembro a fevereiro) e 90% durante os meses de outubro a abril.

Pinheiro e Naghettini (1998) estudaram a frequência da distribuição temporal das tempestades, por meio da metodologia da curvatura de tipo Intensidade, Duração e Frequência (IDF), a partir de 168 anos de informações na RMBH. Os autores constataram que a topografia influencia a intensificação dos eventos de precipitação e que, quanto maior a sua duração, menos uniforme é a sua distribuição temporal.

Moreira (2002) investigou a espacialidade das chuvas diárias na RMBH durante os meses de setembro a abril e sua relação com a topografia local. Segundo o autor,

[...] em setembro as chuvas concentram-se sobre a porção sul da área estudada, mas com valores muito pequenos, indicando o fator topográfico como principal causador das chuvas. Em outubro, com a elevação dos totais de precipitação, o eixo dos valores máximos é observado sobre a região de topografia mais elevada, localizada nos municípios de Ibirité, Nova Lima e parte sul de Belo Horizonte. A partir do mês de novembro e durante os meses de dezembro e janeiro, a Serra do Curral atua nitidamente como uma forma de “âncora” sobre os maiores totais de precipitação, indicando seu papel de sintonia fina com os processos frontais e convectivos, bem como suas interações (ZCAS). Em fevereiro a influência da serra ainda se faz notar, mas com menor intensidade devido à diminuição dos totais de precipitação nesta época do ano provocado pela aproximação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul no continente, favorecendo, assim, a ocorrência de veranicos na região. Em março, fim da estação chuvosa na região, a diminuição das chuvas apresenta uma desarticulação entre a região de topografia mais elevada e o máximo de precipitação visto que o eixo dos maiores totais corta transversalmente a Serra do Curral. Em abril, a distribuição do campo de precipitação se assemelha à de setembro, porém registrando maiores totais de chuva devido à presença de maior quantidade de umidade disponível ao final da estação chuvosa (MOREIRA, 2002, p.102).

Reis *et al.* (2004), por meio da metodologia estatística de cluster, agruparam a quantidade de precipitação diária acumulada em quatro categorias: de chuvas fracas a extremamente fortes, nas estações implementadas em Belo Horizonte, a partir de 2003, verificando que as chuvas mais intensas ocorrem ao longo da Serra do Curral.

Coelho (2006) analisou a distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte, de novembro de 2003 a março de 2005, em função da expansão da rede de pluviômetros na cidade, via

parceria entre a Companhia Urbanizadora e de Habitação de Belo Horizonte (URBEL) e o MGTempo da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-Minas). O autor analisou o coeficiente de variação da chuva acumulada mensalmente em relação ao 5º Distrito de Meteorologia (DISME) do INMET.

Lucas (2007) estudou as chuvas persistentes e a atuação da ZCAS, sendo tal fenômeno o principal sistema atmosférico de larga-escala desencadeador de chuvas persistentes por mais de três dias consecutivos e ocorrência em mais de 80% dos postos pluviométricos da RMBH. A característica mais evidente de atuação da ZCAS é o escoamento em baixos níveis dos quadrantes de norte/oeste nos primeiros dias de atuação do sistema na capital mineira.

A direção predominante do vento, analisada por meio dos campos das componentes zonal e meridional do vento, assim como observado em superfície, mostrou que em eventos de ZCAS ou padrões atmosféricos típicos, o escoamento em baixos níveis predominou de NW na RMBH. Em episódios sem ocorrência de ZCAS, verificado no CLIMANALISE, o escoamento predominou de NE (LUCAS, 2007, p. 136).

Assis (2009), ao estudar as variações espaciais e temporais de precipitação nas áreas urbanas, estudo de caso no bairro Buritis, a partir de seis pluviômetros de campo e da leitura do acumulado diário de chuva, no período de 15 de fevereiro a 16 de março de 2006 e de 7 de novembro a 14 de dezembro de 2007, identificou, no primeiro período de estudo, que os pontos onde ocorreram os maiores acumulados foram áreas de preservação e parque, e o menor acumulado se deu em área densamente construída e verticalizada. Segundo o autor, o raio de obstrução padrão de 50 m, estabelecido pela OMM, não foi suficiente para evitar o efeito de *sombreamento* causado pelas edificações. Ao comparar os totais diários dos pluviômetros localizados no bairro Buritis ao 5º DISME/INMET, o autor identificou que, na primeira localidade, o total de chuvas é maior em função da topografia acidentada e fortes declividades, se comparada à morfologia *suavizada* do segundo. Contudo, “[...] no entorno do 5ºDISME/INMET existem grandes edifícios, a maioria deles acima de 10 pavimentos e duas grandes avenidas que interligam o centro à periferia da cidade” (ASSIS, 2009, p. 187).

Coelho (2011) identificou as trajetórias de tempestades, *storm track*, em escala regional na RMBH via descargas atmosféricas do Sistema de Localização de Tempestades (SLT), sendo as trajetórias predominantes de SW, NW e W. O autor ainda estabeleceu uma relação com a extensão das trajetórias percorridas, salientando que a grande maioria das tempestades percorre uma distância de 30 a 40 km, o que significa que se formam e se dissipam dentro da RMBH. “Entretanto, por vezes, a região é assolada por tempestades de

regiões distantes como as vindas de sul, percorrendo distâncias superiores a 80 Km” (COELHO, 2011, p. 130).

Alguns estudos em Belo Horizonte destacaram os impactos deflagrados pelas chuvas. Ferreira (1996) analisou as chuvas extremas, por meio da análise rítmica, proposta por Monteiro (1969), e a relação com número de ocorrências realizadas pela defesa civil nos verões de 1978-79 e 1984-85. O autor constatou que os maiores impactos causados pelas chuvas advêm do crescimento desordenado e a ocupação irregular nas áreas de encostas.

Cajazeiro *et al.* (2007), ao estudarem índices de precipitação do período 2006/2007 com os dados de escorregamento, fornecidos pela URBEL, identificaram que do total de 434 ocorrências de escorregamento registradas, 132 instabilizações ocorreram na Regional Leste, 41 na Noroeste e as 284 restantes distribuídas nas outras sete Regionais de Belo Horizonte, acontecidos durante os eventos de chuva. A partir da colocação de tensiômetros nos solos das áreas estudadas, verificou-se que existe uma diferença de resistência mecânica entre os solos residuais de gnaiss, na região Noroeste, e os filitos e xistos da região Leste e Centro-Sul, sendo essa diferença responsável pela maior susceptibilidade destes últimos aos processos de instabilização de encostas.

Tuler (2009) elaborou uma análise dos fatores condicionantes, modificadores e deflagadores dos movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte. A partir de material cartográfico básico, na escala de 1:50.000 a 1:2.000 como de geologia, pedologia, hidrografia, hidrogeologia e geomorfologia, elaborou-se a carta de declividade e a carta de azimute de inclinação das encostas. O autor observou que há constantes alterações na intensidade da susceptibilidade em razão da dinâmica natural da cidade. Os resultados finais da sua pesquisa mostraram boa correlação com a carta de risco utilizada pela URBEL nas vilas e favelas (PBH, 2006).

Parizzi *et al.* (2010), ao correlacionarem as chuvas e os movimentos de massa em Belo Horizonte, ressaltaram que as precipitações acumuladas, geralmente, determinam a frequência e o momento de ocorrência desses processos geológicos. Em duas estações chuvosas, 2006/2007 – 2007/2008, a partir dos dados de 12 pluviômetros, os autores observaram que houve poucos casos de chuvas finas e prolongadas e vários eventos excepcionais, de grande intensidade. A precipitação acumulada em três dias iguais ou superiores a 100 mm e diárias acima de 70 mm desencadeiam o maior número de processos de movimentos de massa.

Augusto e Reis (2012), ao espacializarem dados de alagamentos e inundações registrados pela COMDEC-PBH, entre 2009 e 2012, identificaram que as Regionais Pampulha, Norte e Oeste concentram o maior número de ocorrências, 64%. Segundo as autoras, mais de 80% da área urbana de Belo Horizonte sofre algum impacto hidrometeorológico durante o período chuvoso. Somente na Regional Pampulha foram registrados 27% desse tipo de ocorrência em 2010.

### 2.3 As escalas geográficas do clima

Para a compreensão dos sistemas atmosféricos geradores de chuvas em Belo Horizonte e a sua interação e repercussão local faz-se necessário fundamentar-se na análise geográfica a partir da escala. Ela é a categoria de análise que permite entender os processos atmosféricos que possuem variadas ordens de grandeza e se configuram a partir de uma complexidade de fatores em tipos de tempo característicos de um clima próprio de um determinado lugar.

Segundo Monteiro (2000), a essência do fato geográfico está no “[...] jogo relacional de complexas combinações entre as diferentes ‘esferas’ componentes do globo terrestre” (MONTEIRO, 2000, p. 13). Essa essência se dá a partir das complexas interações que se concretizam em unidades estruturadas, a partir de uma hierarquização do espaço geográfico.

A organização espacial é um dos fundamentos da ciência geográfica, que não se resume ao estudo dos lugares, mas considera as características areal, territorial e materializam-se em panoramas paisagísticos que reúnem elementos e variáveis geográficas, dada em uma escala de grandeza. Segundo Christofolletti (1999), na análise geográfica é necessário compreender que as unidades funcionais dos lugares se encontram em conexão funcional com outros:

A unidade estruturada e funcional com outros lugares forma a região, que constitui outra grandeza escalar da organização (espacial) regional. Esse aninhamento escalar possui várias outras grandezas até atingir [...] a organização espacial global (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 41).

O conceito de geossistema, como organização espacial dos sistemas ambientais físicos, foi aplicado pela primeira vez pelo russo V. Sotchava em 1962, com o intuito de estabelecer uma análise integrada dos elementos naturais, numa entidade espacial, em substituição aos aspectos da dinâmica biológica dos ecossistemas. Bertrand (1972) propôs uma interpretação do conceito como “[...] resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os

outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução” (BERTRAND, 1972, p.14).

A noção de escala é intrínseca ao estudo das paisagens. Por isso, Bertrand (1972) propôs, a partir das escalas têmporo-espaciais geomorfológicas de A. Cailleux e J. Tricart, um sistema de escalas de análise da paisagem geográfica, que “[...] comporta seis níveis têmporo-espaciais; de uma parte, a zona, o domínio e a região; de outra parte, o geossistema, o geofácies e o geótopo” (BERTRAND, 1972, p.14). A primeira parte corresponde às escalas superiores, em que predominam as trocas de energia e massa entre as esferas do globo, que se configuram zonalmente, devido à distribuição latitudinal da radiação solar ao longo do Planeta Terra.

Ainda pertencente à porção superior, situa-se a faixa dos domínios, em que se encontram os grandes conjuntos estruturais do relevo e suas interações com as células de circulação global da atmosfera. Para Ab’Sáber (2003), a escala dos domínios corresponde a um conjunto espacial de certa ordem de grandeza (de centenas a milhares de quilômetros) em que haja um esquema coerente de feições de relevo, tipos de solos, formas de vegetação e condições climático-hidrológicas. Nessa escala, a contribuição climática-hidrológica refere-se, por exemplo, à interação entre a Cordilheira dos Andes e a Circulação de Hadley sobre a AS (alísios), que configuram o Jato de Baixos Níveis (JBN), sistema responsável pela entrada de umidade nas Regiões Centro-Oeste e Sudeste, o que contribui para a formação das ZC e a gênese das chuvas no período de verão nessas regiões.

A região natural é uma classificação voltada para a caracterização das unidades geomorfológicas, que se particularizam dentro da faixa de domínios, devido a fatores geológicos, climáticos, edáficos e/ou biogeográficos e que, da interação entre eles, ou de alguns deles, diferenciam-se em regiões naturais específicas. Para Ab’Sáber (2003), a região corresponde à escala paisagística observável pelo homem, por exemplo, sua descrição sobre a diversificação do cerrado dentro do seu domínio que, segundo ele,

[...] apresenta cerrados e cerradões predominantemente nos interflúvios e vertentes suaves dos diferentes tipos de planaltos regionais. Faixas de campos limpos ou campestres sublinham as áreas de cristas quartzíticas e xistos aplainados [...] as florestas-galerias permanecem amarradas rigidamente ao fundo aluvial dos vales de porte médio a grande. As florestas-galerias às vezes ocupam apenas os diques marginais dos centros das planícies de inundação, em forma de corredor contínuo de mata; outras vezes, quando o fundo aluvial é mais homogêneo e alongado, ocupam toda a calha aluvial, [...] corredores florestais (AB’SÁBER, 2003, p.118).

Monteiro (1999) ressaltou que a escala zonal se caracteriza pela fundamentação físico-meteorológica que permite compreender os fenômenos de desempenho básico da atmosfera, enquanto, na escala regional, têm-se os fatores geográficos como “[...] causais das interações que produzem padrões de organização natural a serviço da adaptação ou derivação humana” (MONTEIRO, 1999, p. 25).

Segundo o autor, é no nível regional que se percebem as correlações complexas e suas variabilidades, em que os tipos de tempo oscilam, produzem desvios e “[...] admitem acidentes, que não podem ser considerados excepcionais” (MONTEIRO, 1991, p.19). Dentro dessas complexas relações entre os sistemas produtores de tempo e as interações com a superfície, que caracteriza a escala regional, surge uma nova gama de “[...] diversificações secundárias ou intermediárias [...] até atingir os climas locais. Estes seriam graus de organização especializados, pelas íntimas interações ecológicas no interior do sistema climático” (MONTEIRO, 1991, p. 45).

Sobre as unidades inferiores, Bertrand (1972) ressaltou que

[...] após numerosos ensaios, forjaram-se 3 entidades novas: o geossistema, o geofácies e o geótopo. Estes termos têm a vantagem de não terem sido utilizados, de serem construídos em um modelo idêntico e de evocar cada um o traço característico da unidade correspondente. Na verdade, geo “sistema” acentua o complexo geográfico e a dinâmica de conjunto; geo “fácies” insiste no aspecto fisionômico e geo “topo” situa essa unidade no último nível da escala espacial (BERTRAND, 1972, p.14).

Monteiro (1980) exemplificou o entendimento de geossistema a partir das relações entre clima e sociedade, considerando que o comportamento atmosférico, “[...] integrado às demais esferas e processos naturais ‘organiza’ espaços climáticos a partir das escalas superiores em direção às inferiores” (MONTEIRO, 2011, p. 53). Já a ação antrópica consiste em “derivar ou alternar essa organização” (MONTEIRO, 2011, p. 53), o faz no sentido contrário, a partir das escalas inferiores.

“Os estudos dos fenômenos relacionados com o comportamento da atmosfera são orientados no sentido da compreensão de sua extensão (espaço) e duração (tempo)” (RIBEIRO, 1993, p. 288). Segundo o autor, o clima é regido por um conjunto integrado de fenômenos que se fundem no tempo e no espaço, revelando uma unidade ou tipo possíveis de serem medidos em seu tamanho (extensão) e em seu ritmo (duração). A cada nível escalar deve-se ter um critério de abordagem, no sentido de preservar a coerência entre a extensão e duração do fenômeno climático, com o uso de técnicas analíticas, passando pelo tratamento estatístico-matemático, até sua representação gráfica e cartográfica.

Segundo Jardim (2007), a escala adequada (nível de análise) proporciona um ponto de vista privilegiado do objeto de estudo, o que permite melhor compreensão dos problemas climáticos urbanos, que exige um desdobramento multiescalar. O autor ressaltou que não significa que os fenômenos espacializados tenham limites precisos, de grandezas diferenciadas. O fato climático está presente em todos os níveis escalares, o que não se confunde com a escala cartográfica. Na ciência geográfica, a escala tem uma conotação além de uma medida de representação.

Castro (2000) evidenciou que a escala é um parâmetro, não só dimensional, mas principalmente fenomenal. O que, para Lacoste (1997), corresponde à noção de ordem de grandeza, isto é, “[...] conjuntos espaciais que é preciso levar em consideração para perceber a diversidade de combinações de fenômenos à superfície do globo” (LACOSTE, 1997, p. 89). O autor salientou que o raciocínio geográfico é identificar os níveis de análise de um fenômeno espacial, a partir das suas ordens de grandeza, e o exame sistemático das interações entre os diversos fenômenos espaciais na mesma ordem de grandeza.

Para Castro (2000), Lacoste (1997) ressaltou que a escala é um dos pontos epistemológicos da geografia, mas não ultrapassou a ideia de dimensão espacial e proporção entre realidade e representação. Para a autora, suas principais divergências estão no entendimento da organização do espaço geográfico. Ao se analisar em diferentes escalas, mudam-se os conteúdos e os sentidos próprios dos fenômenos. Nos estudos dos fenômenos climáticos é necessário considerar o raciocínio geográfico de Lacoste (1997), pois um fenômeno só é possível de ser compreendido no âmago das inter-relações entre as escalas e as diferentes ordens de grandeza. O que Monteiro (2011) salientou sobre a propriedade hierárquica do fato climático, ou seja, sobre o escalonamento das unidades entre si.

### *2.3.1 O escalonamento do fato climático*

Desde a concepção sorreana do clima, da sucessão habitual dos estados atmosféricos sobre um lugar, já se tem inserida a ideia de escala global determinando o tipo de tempo local. P. Pédelaborde estabeleceu, em 1957, as bases metodológicas do estudo geográfico do clima, ao investigar os diversos tipos de tempo advindos da circulação atmosférica numa escala superior, correlacionados aos fatores geográficos regionais. Segundo Jesus (2008), foi a partir desse estudo que P. Pédelaborde propôs um mosaico de tipos de tempo atuantes na bacia parisiense e um mapeamento das diversidades climáticas regionais.

Nimer (1979) ao elaborar algumas considerações metodológicas e conceituais sobre o clima, como síntese geográfica, ressaltou que ele pode ser estudado em diferentes escalas. As suas classificações climáticas foram estruturadas a partir da dinâmica atmosférica. As gerais levaram em consideração seis tipos climáticos, que se diferenciam pelas grandes células de circulação do globo, sendo: 1) climas equatoriais; 2) climas tropicais não secos; 3) climas tropicais secos; 4) climas temperados com uma estação seca e outra úmida; 5) climas temperados com tempos variáveis ao longo de todo ano; 6) climas polares. Portanto, são tipos climáticos identificados na escala zonal. Na escala regional, o autor salientou as dificuldades da época em que muitos trabalhos ainda eram baseados nas médias anuais e mensais, ainda fundamentados na concepção de clima como estado médio da atmosfera. O autor ressaltou a demanda prática da biologia e ecologia de tipologias climáticas regionais, não baseadas nas médias fixas impostas pelas Normais Climatológicas, mas nos desvios climáticos que permitem compreender a relação de adaptação dos seres vivos às variabilidades dos tipos de tempo.

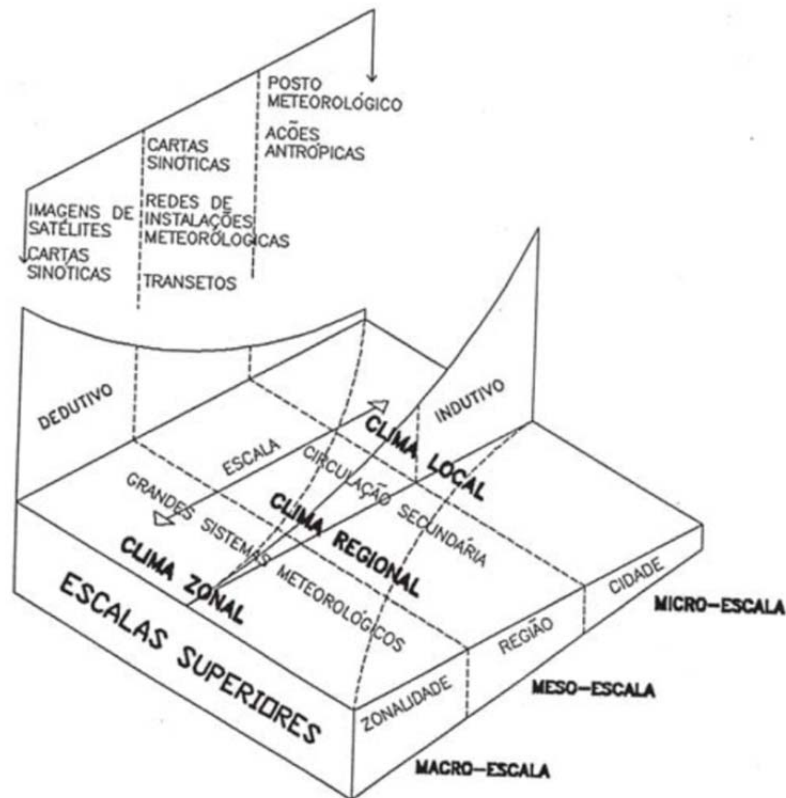
Em 1979, E. Nimer apresentou uma classificação genética do clima baseado no modelo dinâmico e tradicional, ressaltando que, na escala regional, não era possível apresentar uma classificação baseada somente na dinâmica atmosférica devido ao incipiente desenvolvimento da meteorologia sinótica no Brasil. Destacou, porém, que as particularidades locais sobressaem ao identificar enclaves ou desvios em meio a uma unidade regional. Assim, propôs a classificação de tipos climáticos brasileiros baseados, primeiramente, em padrões de circulação atmosférica, regionalizados, a partir da distribuição dos centros de pressão e da espacialização de dados de temperatura e precipitação, a partir das médias mensais e suas fórmulas empíricas.

Monteiro (1976) propôs uma organização das categorias taxonômicas das unidades climáticas a partir das ordens de grandeza de A. Tricart e J. Cailleux. O autor salientou que, nos níveis superiores, não houve dúvidas sobre os conceitos, foi necessário, porém, acrescentar a unidade sub-regional, em que predominam as feições geográficas do relevo, já que o segundo, a dos domínios, apresentado por Bertrand (1972), foi denominada Região. Ele estabeleceu que o clima local é a unidade básica da observação meteorológica. Na perspectiva do clima urbano, propôs a divisão dessa ordem de grandeza em mesoclima e topoclima, sendo o primeiro correspondente a compartimentos básicos da morfologia, em termos de várzea, colinas, vertentes serranas etc. O segundo refere-se às diferenciações pelo tipo de volume construído pelas edificações urbanas, aliadas a outras formas de uso do solo.

Ribeiro (1993) propôs uma taxonomia e hierarquização da escala climática, a partir dos seguintes critérios: 1) as escalas superiores estão mais próximas do nível planetário e as escalas inferiores mais próximas dos indivíduos da superfície terrestre; 2) os processos físicos nas escalas superiores alteram sucessivamente o comportamento atmosférico nas escalas inferiores; 3) as interações entre fatores físicos e superfície nas escalas inferiores têm limitada interferência nas escalas superiores; 4) quanto mais extenso o resultado de uma determinada combinação, maior o tempo de sua duração; 5) os resultados de uma determinada combinação são volumétricos, portanto resultam num atributo tridimensional.

O autor apresentou três níveis de análise que considera ser a primeira aproximação entre os fluxos de matéria e energia para uma proposta taxonômica. O nível macroclimático refere-se à interação entre a radiação solar, à curvatura da Terra e aos seus movimentos atmosféricos de larga-escala. O nível mesoclimático tem a ver com a interação entre a energia disponível, para a evaporação e geração dos campos de pressão e as feições do meio terrestre. Segundo Ayoade (1986), a mesoclimatologia está preocupada com estudos de escala geográfica pequena, entre 10 e 100 km, como clima urbano e sistemas de grande instabilidade atmosférica, como tornados e temporais. E o nível microclimático que diz respeito a sistemas ambientais particulares, como áreas menores que 100 m de extensão. A figura 1 representa os métodos de investigação da pesquisa em climatologia geográfica a partir dessas escalas de análise considerando a dimensão tempo-espaço.

Figura 1 – Escala de análise geográfica do clima.



Fonte: JESUS, 2008, p. 174.

No campo da meteorologia, a escala de análise é expressa como uma variável de comprimento ( $L$ ) nas equações de movimento. Segundo Holton (1979), flutuações de pressão de magnitudes semelhantes ocorrem em diferentes sistemas de movimento de escalas diversas, como tornados, LI e furacões. Assim, um gradiente de pressão horizontal pode variar ao longo de várias ordens de grandeza para os sistemas de interesse meteorológico, ou seja, depende da extensão horizontal do gradiente de pressão. O autor propôs uma classificação dos tipos de fenômenos atmosféricos a partir da escala horizontal, já que a natureza de movimentos atmosféricos depende tão fortemente da escala horizontal, desde uma pequena circulação molecular de dimensão  $L$  de  $10^{-7}$  m, à circulação de ondas planetárias de larga-escala de  $10^7$  m.

A partir das categorias taxonômicas de Monteiro (1976), e os níveis de organização de Ribeiro (1993), propõe-se o Quadro 1, que apresenta uma classificação sistematizada considerando as semelhanças entre as duas e as considerações sobre a escala de análise de Holton (1979), como balizadores da dimensão espacial do fenômeno atmosférico. O Quadro 1 considera as escalas de análise e os instrumentos de investigação apresentados na figura 1.

Quadro 1 - Ordens de grandeza têmporo-espacial para fenômenos atmosféricos

Ordem de Grandeza	Escala Horizontal	Escala Vertical	Escala Cartográfica	Escala Temporal	Fonte de dados	Natureza atmosférica
Clima Zonal	Maior de 1.000 Km	>10 Km	1:100.000.000.000 a 1:100.000.000	1 semana a 6 meses	Imagens de Satélite, Cartas Sinóticas e Mapas de campos atmosféricos	Circulação geral da atmosfera
Clima Regional	100 a 2500 Km	<10 Km	1:250.000.000 1:1.000.000 a	1 a 30 dias	Cartas Sinóticas, Imagens de Satélite e Radar Meteorológico	Centros de pressão e sistemas atmosféricos associados
Clima Local ou Mesoclima	1 a 150 Km	< 3 Km	1:15.000.000 a 1: 100.000	< 24 horas	Normais Climatológicas, Estações Meteorológicas e Radar Meteorológico	Circulação de Brisa e/ou Vale-Montanha. Rajadas de ventos.
Topoclima	0,5 a 5 Km	< 1 Km	1:100.000 a 1:5000	< 24 horas	Estações termo-pluviométricas móveis	Pequenas diferenças espaciais no balanço de energia, em função da rugosidade da superfície. Pequenos redemoinhos.
Microclima	Até 100 m	< 100 m	1:2000	< 24 horas	Aparelhos de alta precisão.	Trocas gasosas e energéticas entre tipos de superfícies particularizadas

Fonte: HOLTON, 1979; MONTEIRO, 1976; RIBEIRO, 1993.

Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), para facilitar o desenvolvimento de estudos dessa natureza, a delimitação da área (tridimensional) constitui o primeiro passo para o trabalho em climatologia geográfica. As escalas espaciais e temporais são contínuas e contidas umas às outras. Portanto, uma das maiores dificuldades das análises climáticas é situar, concretamente, a realidade em estudo, com relação aos tipos de dados e fontes necessárias em função dos resultados que se pretende alcançar.

Nunes (1998) destacou que a definição da escala não é somente a definição do tamanho da área e do tempo de duração de um determinado fenômeno atmosférico, mas também os métodos de análise a serem empregados. A autora comparou três abordagens sobre as

escalas climáticas: Ribeiro (1993), Orlanski (1975) e Linacre (1981), e demonstrou haver grandes controvérsias quanto à terminologia aplicada à taxonomia do clima e à extensão espacial de cada unidade de escala, tempo de duração e os próprios processos atmosféricos envolvidos em uma determinada unidade escalar.

Segundo Monteiro (1991), é necessário estar atento ao fato de que o clima de um determinado lugar, em qualquer das suas ordens escalares superiores ou inferiores, é uma derivação dos fluxos de energia que percorrem a atmosfera nos sentidos vertical e horizontal. No primeiro devem-se considerar quatro fatores relacionados à radiação solar, à eficiência da energia solar, em função da intensidade da radiação, o grau de transmissibilidade, o albedo das superfícies e o efeito estufa, como síntese do desempenho da atmosfera no balanço geral do sistema terra-atmosfera.

Vianello e Alves (1991) ressaltaram que uma quantidade específica de radiação solar gera uma enorme variedade de processos físicos, muitos dos quais ainda pouco conhecidos individualmente, o que dificulta o entendimento dessas interações, considerando os mecanismos de retroalimentação. “A principal dificuldade é que muitos desses mecanismos de retroalimentação exercem influência na mesma ordem de grandeza” (VIANELLO e ALVES, 1991, p. 381). A partir dessa caracterização vertical, “[...] definem-se na superfície terrestre os centros de ação, massas de ar, ou seja, todo o complexo conjunto de sistemas de circulação horizontal” (MONTEIRO, 1991, p. 46).

À medida que aumenta a escala cartográfica, desdobra-se o número de variáveis que interferem na dinâmica do sistema. A definição do tamanho físico de uma determinada escala no espaço geográfico depende da natureza do fenômeno. É muito variável a extensão horizontal do fenômeno atmosférico, uma vez que a inserção individualizada ou combinada de fatores fisiográficos com os sistemas atmosféricos não têm um tamanho padrão ou predeterminado. Portanto, apesar da utilização das escalas como parâmetros para definição dos métodos de análise do sistema, é a natureza das interações entre as trocas de energia e massa com suas mais diferenciadas repercussões espaciais que definirá a ordem de grandeza do fenômeno climático.

A categorização dos fenômenos atmosféricos através das escalas de análise geográfica é necessária para facilitar o entendimento dos fenômenos e suas interações com o espaço geográfico. Assis (2010) ressaltou que essas escalas têm como funcionalidade facilitar a compreensão e mapeamento dos processos que ocorrem entre a superfície e a atmosfera. Contudo, independentemente do suporte teórico-metodológico empregado na utilização e

definição dessas terminologias, todas são arbitrarias e artificiais, pois os fenômenos atmosféricos são contínuos e indivisíveis.

### 3. METODOLOGIA

O embasamento teórico-metodológico se fundamenta na abordagem sistêmica, que se considera a atmosfera como um sistema aberto, por ocorrerem constantes trocas de energia e massa que se mantêm com um fluxo contínuo entre os elementos do sistema, estabelecendo certos níveis de correlação e causalidade, considerando os pressupostos da Teoria dos Sistemas, discutidos por Christofolletti (1979). A chuva apresenta-se como uma variável independente, aquela que controla e modifica os demais subsistemas.

Segundo Ely (2006), a temática do clima urbano abordada pela climatologia geográfica é estudada seguindo as orientações teórico-metodológicas de Monteiro (1976). Para estruturação metodológica do SCU, o autor se fundamentou nos princípios físicos e organizacionais da teoria sistêmica, utilizou-se da separação em canais de percepção, como um artifício para execução da análise, o que fez com que propusesse diagramas separados para cada um dos subsistemas intitulados a partir da percepção humana do fato climático no ambiente urbano. O desenvolvimento desse trabalho se baseia no Canal de Percepção Impacto Meteorológico, que se fundamenta na ideia de impacto como perturbação da vida orgânica das grandes cidades, que causa grandes consequências como prejuízos sociais e econômicos (MONTEIRO, 1976). O processo de urbanização é encarado como desorganizador do espaço e como produtor de modificações nos atributos climáticos (ELY, 2006).

O percurso metodológico proposto por Monteiro (1976), para compreensão do impacto meteorológico, se fundamenta na análise do fluxo de energia e massa ao longo do subsistema, ou seja, desde a gênese da chuva até a sua repercussão no espaço urbano. O entendimento da precipitação se inicia na natureza do escoamento atmosférico, nas escalas superiores do clima, até aos aspectos naturais de morfologia do terreno, associados ao uso e ocupação do solo e ao sistema de macrodrenagem urbana<sup>4</sup>.

De acordo com Ely (2006), os trabalhos identificados nesse canal de percepção (subtema) utilizam-se de instrumentos estatísticos e cartográficos associados à análise rítmica, objetivando a explicação sobre os fatores que desencadeiam episódios climáticos extremos. De acordo com a autora,

[...] os estudos de clima urbano procuram contribuir com a geografia através do conhecimento dos processos genéticos que permitem a ocorrência das

---

<sup>4</sup> O trabalho não se adentra no complexo sistema de drenagem urbanizada, com córregos impermeabilizados e retinizados, alguns abertos e outros fechados, com cursos d'água totalmente ou parcialmente modificados e constantemente em obras estruturais de engenharia.

variações térmicas, pluviais, hígricas, da radiação solar, da insolação e da composição química da atmosfera sobre as áreas urbanizadas; do esclarecimento de como as relações entre os atributos do ambiente físico e urbano condicionam a especificidade desse tipo climático; [...] da explicação da origem, da magnitude e da frequência dos impactos pluviais e como esses repercutem sobre espaços urbanos [...] (ELY, 2006, p. 162).

Para espacialização dos tipos de chuvas e sua repercussão no espaço urbano belo-horizontino, o trabalho pautou-se nos pressupostos metodológicos da análise rítmica, que se baseia no enfoque dinâmico da atmosfera. O conceito de ritmo, proposto por Monteiro (1969), foi utilizado como estratégia metodológica, que permite uma análise espacial e temporal da sequência de tipos de tempos que sucedem de forma habitual sobre um determinado lugar.

Para Monteiro (1999), o clima (de um determinado lugar) é resultado de uma relação têmporo-espacial entre a radiação solar, a atmosfera e os atributos geográficos da superfície. O seu entendimento geográfico deriva da dinâmica atmosférica e suas espacialidades. Essa dinâmica atmosférica é baseada nos métodos propostos pela climatologia sinótica, ramo de conhecimento da meteorologia que estuda as perturbações atmosféricas que causam modificações nos tipos de tempo (VIANELLO e ALVES, 1991). Para Holton (1979), o termo sinótico é vulgarmente usado para designar a escala característica das perturbações que estão descritas nos mapas de tempo.

A análise rítmica também contempla os elementos atmosféricos a partir de uma fração temporal diária, ou mesma horária, que permita a integração das escalas espaciais, entre as superiores, caracterizadas pela análise sinótica, que se manifesta através do comportamento desses elementos nas inferiores, próximo à superfície. Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), os elementos são aqueles constitutivos da atmosfera, como a temperatura, a radiação solar, umidade, pressão atmosférica, velocidade e direção dos ventos, etc.

Eles diferenciam-se nas escalas inferiores devido às interações com os fatores e assim contribuem para particularização da paisagem geográfica, através das espacialidades dos tipos de tempo habituais que caracterizam o clima de um determinado lugar. Para os autores, os fatores geográficos são: a latitude, a altitude, a maritimidade, a continentalidade, a morfologia do terreno, a vegetação, o uso do solo e as atividades humanas.

Na perspectiva da climatologia geográfica, ao estudar o clima de um determinado lugar, se faz necessário compreender “[...] a lógica espacial da realidade (local) enquanto produto da

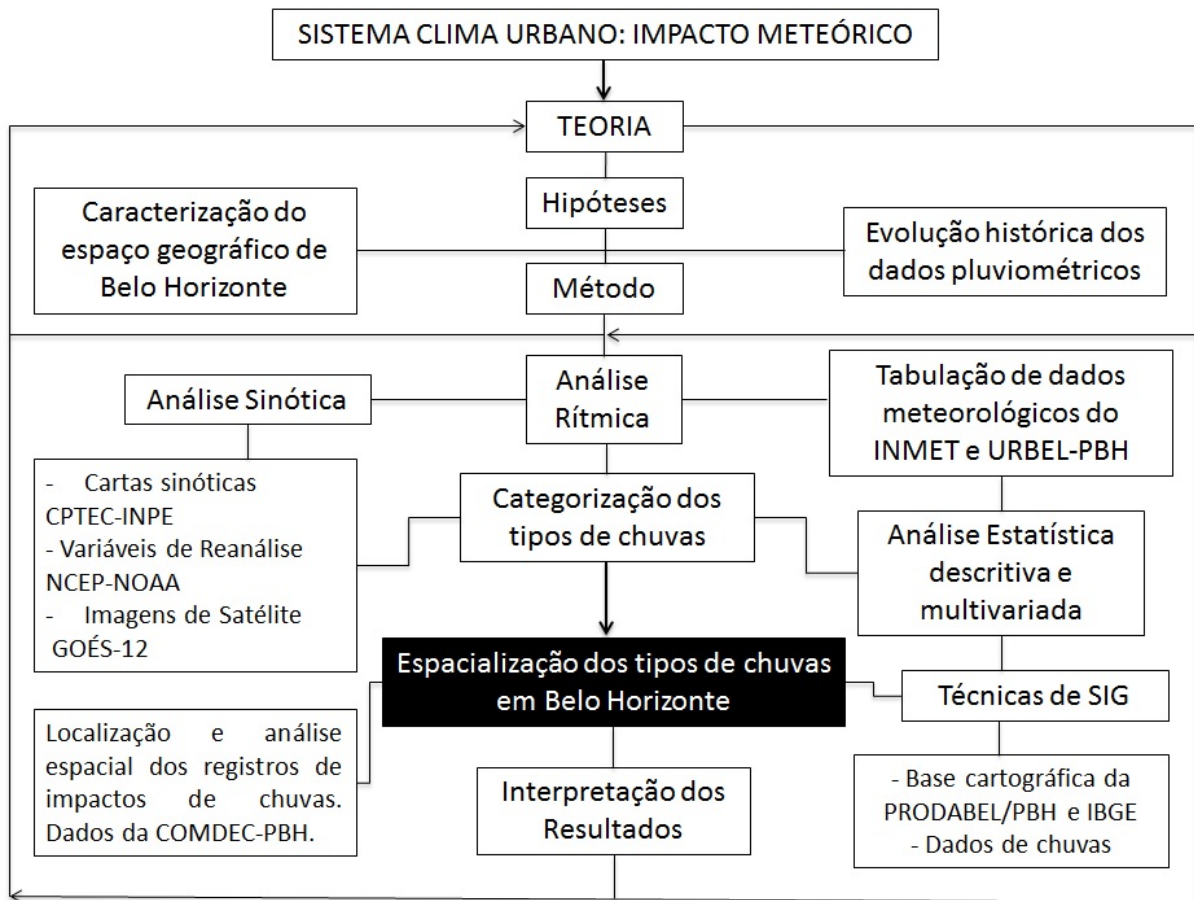
relação sociedade / natureza, pressupondo uma análise minuciosa dos variados fatores que entram nessa relação, sejam eles materiais ou não materiais” (ELY, 2006, p. 91). Segundo Monteiro (1999),

[...] quando enunciamos que o clima de um lugar (espaço) é resultante do comportamento dinâmico habitual ou recorrente da atmosfera cronologicamente desenvolvido (tempo) sobre aquele dado lugar, teremos o problema de definir que lugar é este (MONTEIRO, 1999, p. 10).

Neste trabalho, utilizaram-se pesquisas bibliográficas, recursos cartográficos e tabulação de dados atmosféricos, também foram usadas técnicas estatísticas para compreensão dos parâmetros climatológicos de Belo Horizonte. A caracterização da área de estudo se faz necessária para orientar os procedimentos mais adequados para o entendimento da dinâmica do fenômeno climático em tal localidade. Jardim (2007) salientou que mesmo sendo um objeto de estudo (“clima urbano”), nas referências fundamentais para o embasamento empírico sobre o SCU, há uma pluralidade de metodologias empregadas, que se fazem necessárias ao se defrontar com as múltiplas realidades.

A figura 2 apresenta um organograma do roteiro metodológico necessário para espacialização dos tipos de chuvas ocorridos no período de outubro a abril de 2010-2011 e 2011-2012 em Belo Horizonte – MG. Para entendimento do ritmo climático habitual da localidade dada pelas sequências de tipo tempo foi necessário um levantamento bibliográfico no ramo da ciência meteorológica sobre os sistemas atmosféricos atuantes na AS, Brasil e Região Sudeste associada à evolução histórica dos dados de precipitação anual e mensal em Belo Horizonte e seu entorno. O que tornou possível categorizar os tipos de chuvas a partir da identificação dos sistemas atmosféricos atuantes nas estações chuvosas, através dos produtos meteorológicos necessários à análise sinótica. Para entendimento das espacialidades desses tipos de chuvas, utilizou-se a base de dados pluviométricos do INMET e da URBEL-PBH/UFMG. Os eventos de chuvas foram analisados na escala horária, a partir da análise rítmica e dos pressupostos teóricos do SCU. Os métodos e dados utilizados tanto para a caracterização da área, como para o entendimento das espacialidades das chuvas, estão descritos nos próximos itens deste capítulo de metodologia.

Figura 2 – Organograma do roteiro metodológico.



Elaboração: LUCAS, 2015.

### 3.1 Dados e métodos para caracterização da área de estudo

Segundo Ely (2006), uma característica marcante das teses e dissertações em climatologia geográfica é a preocupação topológica, dada pela apresentação de mapas com as respectivas coordenadas geográficas que delimitam a área de abrangência da espacialidade do fenômeno climático. Os autores também apresentam as feições geomorfológicas com suas variações hipsométricas, declividades, composição geológica, as características de drenagem e uso do solo para compreensão dos atributos geográficos e suas repercussões nas diferentes espacialidades dos tipos de tempo.

A caracterização do espaço urbano belo-horizontino se deu a partir do estudo bibliográfico do processo de transformação ao longo de sua história, buscando entender a lógica de ocupação urbana desse espaço geográfico. Utilizou-se de ferramentas cartográficas para mapeamento da localização, divisões territoriais administrativas e elaboração de mapas temáticos dos atributos da paisagem, como os domínios geológicos, hipsometria, declividade e bacias hidrográficas.

Para tal, utilizou-se de bases cartográficas produzidas pela Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte S. A. – PRODABEL, também empresa pública da PBH, e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE<sup>5</sup>. Todos os mapas foram produzidos no *software* ArcGIS 10.1. Eles se encontram georreferenciados em coordenadas planas no sistema de projeção Universal Transverso de Mercator (UTM), meridiano central de -45° Greenwich, articulação nas folhas: SE-23-Z-C e SF-23-X-A.

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) define o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) como o sistema de referência geodésico e para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN), sendo reconhecido também o uso do Sistema Geodésico Sul-Americano, conhecido como SAD-69, por 10 anos, a partir do Decreto nº 5.334 de 6 de janeiro de 2005. Foram utilizados os dois sistemas, o primeiro se utiliza do Sistema Internacional de Referência Terrestre, o elipsoide de referência tem raio equatorial de 6.378.137 m, semieixo menor (raio polar) de 6.356.752 e achatamento de 1/298,257, e o segundo tem como características do elipsoide de referência o semieixo maior de 6.378.160, o semieixo menor 6.356.774 e o achatamento 1/298,25, com orientação geocêntrica, dada pelo eixo de rotação paralelo ao da Terra e o plano meridiano de origem ao meridiano de Greenwich. Caracteriza-se também pela orientação topocêntrica no vértice de Chuá – SC, pelo método de triangulação com o paralelo de 20°S (FITZ, 2008).

O mapa de densidade demográfica foi elaborado a partir das Unidades Territoriais de Gestão Compartilhada. A PBH disponibiliza, através dessa regionalização, a distribuição da população residente, o número de domicílios e a densidade demográfica<sup>6</sup>. Segundo a PBH (2012), o método de elaboração da regionalização em Unidades considerou os limites de bairros, a contiguidade territorial, mobilidade, as barreiras físicas ou criadas por grandes vias e a densidade populacional a partir da inserção dos dados censitários do IBGE, atualizada para o Censo 2010. Esses dados de densidade foram distribuídos em 6 classes, a partir da classificação manual, em função da verificação do comportamento estatístico e distribuição em histograma.

O mapa de uso do solo foi elaborado por Magalhães (2013), a partir de interpretação de imagens de satélite RapidEye (2010). Segundo o autor,

---

<sup>5</sup> Disponíveis em: <http://gestaocompartilhada.pbh.gov.br/mapas-e-estatisticas/mapas-estaticos> e <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>. Acesso em 08 de jan de 2015.

<sup>6</sup> Disponível em: <http://gestaocompartilhada.pbh.gov.br/mapas-e-estatisticas/censo-2010>. Acesso em 14 de janeiro de 2015.

[...] a identificação da mancha urbana, bem como dos fragmentos de vegetação existentes, foi feita a partir da interpretação e da classificação supervisionada de imagens capturadas pelo satélite RapidEye, no ano de 2010. [...] Os sensores REIS (RapidEye) e Earth Imaging System) que operam em cinco faixas, sendo três delas (bandas 1, 2 e 3) na região do espectro eletromagnético conhecida como “visível”. As demais bandas apresentam o grande diferencial do satélite para monitoramento da vegetação: as bandas Red-Edge (Banda 4: 690-730nm) e infravermelho próximo (Banda 5: 760-850nm) são capazes de identificar alterações no teor de clorofila e na estrutura celular das plantas, respectivamente. “Dessa maneira, é possível se mapear vegetações com bastante nitidez e diferenciá-las dos alvos vizinhos” (MAGALHÃES, 2013, p. 80).

Esse mapa de uso do solo foi acrescido de duas bases cartográficas, uma referente ao polígono do hipercentro de Belo Horizonte, recortado do *shape* de arruamentos de Belo Horizonte, base cartográfica elaborada pela PRODABEL, e da base cartográfica contendo informações sobre os assentamentos de vilas, favelas e conjuntos habitacionais de interesse social, elaborado pela URBEL, identificados como Zona Especial de Interesse Social (ZEIS), definidos no Plano Diretor (PD) de Belo Horizonte, Lei 7.165, de 1996. A base de dados disponibiliza 215 polígonos, sendo 185 vilas/favelas, 23 conjuntos habitacionais e 7 outros assentamentos, acrescidos de dados populacionais, registrados pela URBEL.

O mapa geológico de Belo Horizonte foi elaborado a partir da base cartográfica de MG, disponibilizada pelo CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Mineiras), razão social do Serviço Geológico do Brasil<sup>7</sup>. O de altimetria foi elaborado através da técnica de triangulação, arquivos do tipo *.tin* (*triangular irregular network*), para MDT (Modelo Digital de Terreno), a partir da base digital de cotas altimétricas de 5 – 5 metros da PRODABEL, a de menor valor é 675 m e a maior de 1510 m, uma amplitude de 835 m. Para classificação e estabelecimento dos intervalos de classes utilizou-se a manual em 8 classes hipsométricas. O mapa de declividade foi criado a partir da transformação desse arquivo *.tin* em raster, através da extensão 3D *Analyst* do pacote ArcGIS 10.1, em que permite transformar o atributo Z (valor altimétrico) em elevação e calcular a declividade.

Os climas naturais de Belo Horizonte foram propostos por Assis (2010), que elaborou um mapa a partir de valores estimados de dados de temperatura média, máxima, mínima e umidade relativa coletados na cota altimétrica de 860 m e interpolados pelo método da krigagem Ordinária para os demais níveis topográficos de Belo Horizonte, pela razão adiabática seca (0,65°C/100m) para as variáveis de temperatura, tanto em termômetros de bulbo seco como úmido. A umidade relativa foi identificada a partir da depressão

---

<sup>7</sup> Disponibilizado em: <http://geobank.cprm.gov.br/>. Acesso em 12 de janeiro de 2015.

psicométrica, dada pelas diferenças entre as temperaturas coletadas nos termômetros citados e estimada em cada cota altimétrica, a partir do nível topográfico do posto meteorológico. O objetivo do autor foi mapear as unidades climáticas do sítio de Belo Horizonte sem interferência da urbanização, considerando ser o relevo o principal atributo local na determinação das características climáticas nas escalas local, meso e topoclimática, no período inicial de ocupação urbana, entre 1910 e 1920<sup>8</sup>.

A partir de dados de precipitação total diária, de 9 pluviômetros localizados no entorno de Belo Horizonte, gerenciados pela ANA, e do 5° DISME/INMET<sup>9</sup>, representados na figura 3, foi elaborado um banco de dados de total pluviométrico diário de 1962 – 2010, com o intuito de analisar o comportamento anual e sazonal da precipitação ao longo de uma série histórica. O 5° Distrito é a principal estação meteorológica de superfície de MG, com coleta sistemática de dados, nos horários sinóticos (0, 12 e 18 UTC<sup>10</sup>), a partir de instrumentos analógicos, registrados por um observador. Os dados de temperatura máxima, mínima e precipitação são fornecidos a cada 24 horas, sendo que a precipitação é coletada através da altura da água precipitada colocada numa proveta milimétrica, a partir do esvaziamento do pluviômetro, tipo Ville de Paris, às 12 UTC, desde 1910. A ANA tem uma série de pluviômetros, de mesmo modelo, com coleta sistemática às 07:00 (local), os postos do entorno de Belo Horizonte, localizados na figura 3, possuem registro desde 1941.

---

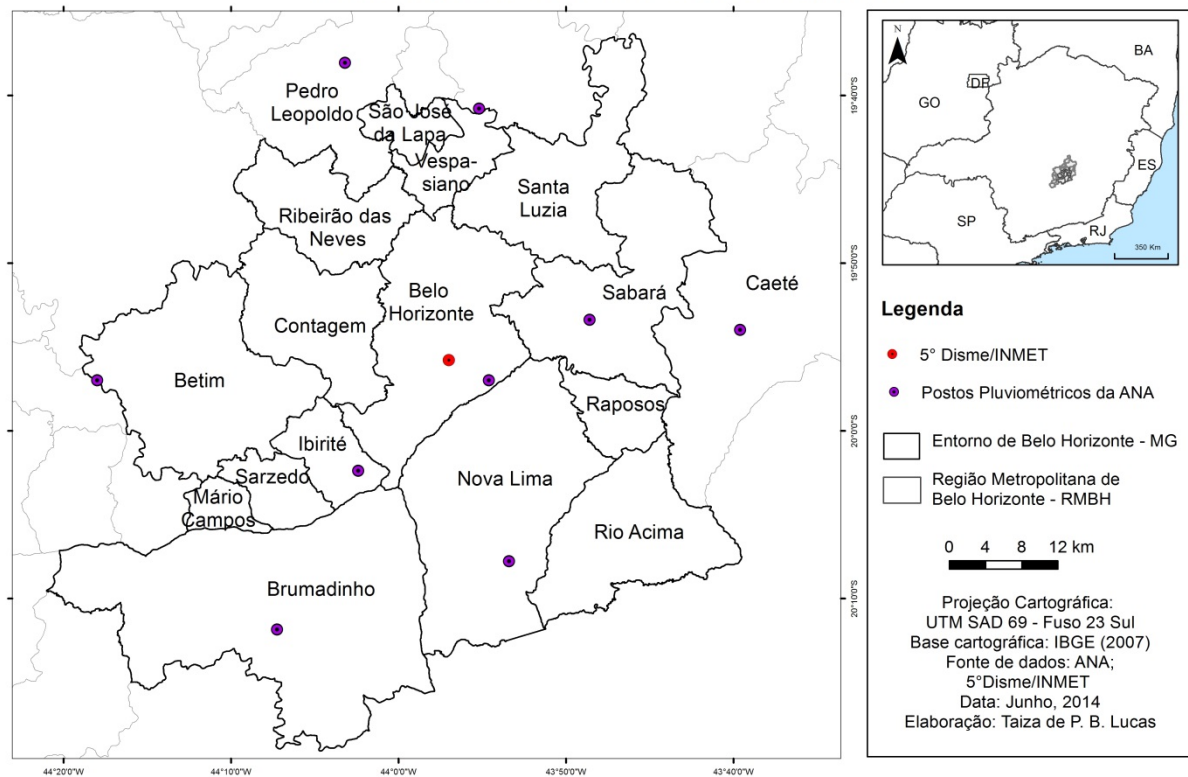
<sup>8</sup> Assis (2010) ressalta que nos documentos oficiais do 5° DISME/INMET, o primeiro posto meteorológico da capital entrou em operação no dia 03 de março de 1910, funcionando até 30 de setembro de 1920 na mesma localidade, instalado no Parque Municipal, atualmente onde se encontra a Escola de Medicina da UFMG. “Oficialmente, foi o primeiro local na capital mineira destinado à coleta de dados meteorológicos e considerado como representativo para caracterização do clima local” (ASSIS, 2010, p. 50). O autor fez um levantamento sobre as localizações, georreferenciadas, do 5° Distrito ao longo de sua história. Atualmente, se encontra na Latitude 19°56'02,1”S e 43°57'06,9”W, 915 metros de altitude, desde 1986.

<sup>9</sup> O INMET disponibiliza em rede, através de um cadastro e declaração de uso do acervo de informações para fins educacionais, dados meteorológicos coletados próximos à superfície, desde 1962. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Os dados da ANA também estão em rede, através da plataforma HIDROWEB, disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em 18 de janeiro de 2015.

<sup>10</sup> *Universal Time Coordinated*. UTC é o acrônimo em inglês para Tempo Universal Coordenado, representa o fuso horário de referência a partir do qual se calculam todas as outras zonas horárias do mundo. É o sucessor do Tempo Médio de Greenwich, abreviado por GMT (INMET, 2009).

Figura 3 – Localização dos postos pluviométricos de Belo Horizonte e entorno.

### Localização de Postos Pluviométricos de Bases de Dados Históricas em Belo Horizonte e entorno



Os dados diários foram somados, mensalmente e anualmente, em seguida, foi realizada uma análise estatística descritiva e de regressão, o que permitiu identificar os postos pluviométricos que apresentaram mesmo comportamento anual do 5º DISME/INMET. Em função dessa maior correlação, os dados desses postos foram selecionados para aplicação da média móvel, comparados aos do 5º DISME. Segundo Nascimento<sup>11</sup> (2012), para analisar se há um aumento (ou diminuição) progressivo nos registros históricos de temperatura e precipitação é preciso avaliar a estacionaridade das séries temporais. Para tanto, é necessário aplicar filtros capazes de reduzir a variabilidade, típica para séries climatológicas devido à flutuabilidade natural das variáveis atmosféricas. Um filtro bastante recorrente nos estudos de séries temporais é a média móvel, calculada por ciclos, sucessivamente, no caso, a cada 5 anos, como definido pela equação 1, o cálculo prossegue até que toda a série seja percorrida.

<sup>11</sup> Notas de aulas da disciplina Hidrologia Urbana e Drenagem, oferecida pelo Profº Nilo de Oliveira Nascimento, no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, no primeiro semestre letivo de 2012.

$$MM_1 = \frac{\sum_{i=1}^2 P_i}{5} ; MM_2 = \frac{\sum_{i=2}^3 P_i}{5} ; MM_3 = \frac{\sum_{i=3}^4 P_i}{5} ; \dots \quad (1)$$

Onde:  $MM$  é a Média Móvel e  $P$  é a Precipitação Total.

Para caracterização da distribuição sazonal da precipitação somou-se os totais mensais correspondentes a cada estação do ano, considerando o verão, os meses de dezembro, janeiro e fevereiro; o outono, março, abril e maio; inverno, junho, julho e agosto e a primavera, os meses de setembro, outubro e novembro. O somatório de cada estação se deu a partir do somatório diário de cada mês, em seguida de uma média mensal, assim como o desvio padrão e o coeficiente de variação, calculados em cada década, nos seguintes períodos: PI (década de 70), PII (década de 80), PIII (década de 90) e PIV (década de 2000), para todos os postos apresentados na figura 3. Os mesmos procedimentos foram adotados para o total de número de dias de chuvas por estação do ano.

Para identificação da distribuição espacial do total anual da precipitação, utilizaram-se os totais anuais de 1962-2010 das estações pluviométricas de Belo Horizonte e seu entorno, representadas na figura 3, e das isoietas produzidas pelo CPRM, pelo total anual de precipitação de 1977 – 2006, na escala 1:1.000.000<sup>12</sup>, recortado para o *shape* de MG e da RMBH. A divisão de classes da legenda foi o método da quebra natural, em 4 classes. O retângulo originário da interpolação foi recortado para a máscara de Belo Horizonte e seu entorno com o objetivo de diminuir o efeito de borda, como discutido por Lucas *et al.* (2012). Os mapas de variabilidade sazonal foram elaborados com os mesmos procedimentos, sendo a divisão de classes também categorizadas pela quebra natural, tendo a precipitação média sazonal dividida em 5 classes e, a variável número de dias de chuvas por estação em 4.

---

<sup>12</sup> Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1351&sid=9>. Acesso em 20 de jan. de 2015.

## **3.2 Materiais e métodos para classificação das tipologias de chuvas ocorridas em Belo Horizonte em 2010/11 e 2011/12**

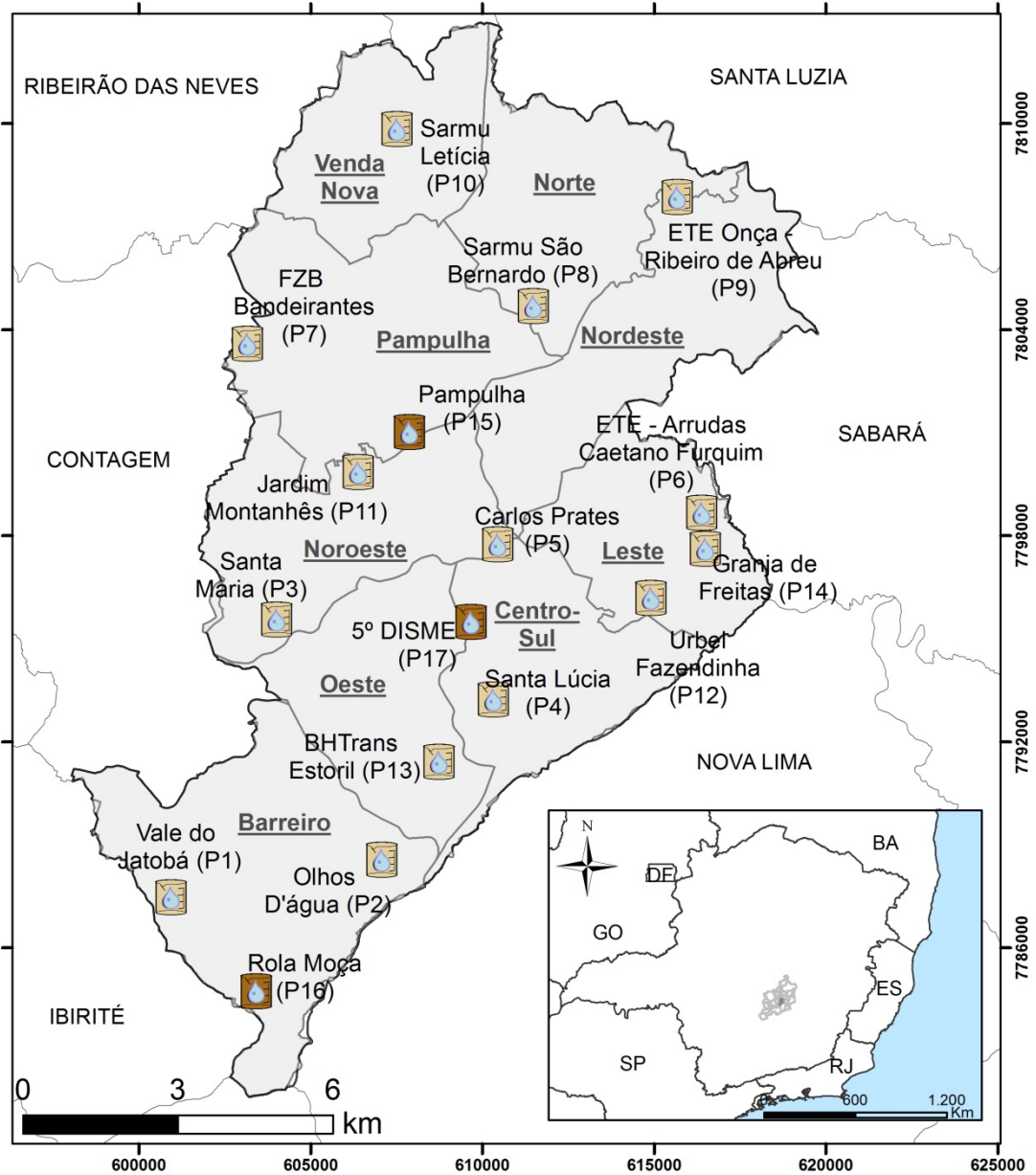
### *3.2.1 Dados pluviométricos*

Os dados de chuvas das estações 2010-11 e 2011-12 foram tabulados para identificação das ocorrências horárias, diárias e mensais. Eles foram coletados de 17 pluviômetros no município de Belo Horizonte, sendo 14 monitorados pela URBEL e 3 da rede oficial de coleta de dados meteorológicos do INMET. Dessas, duas são estações climatológicas automáticas e uma convencional, o 5° DISME.

Os pluviômetros automáticos da rede de expansão da URBEL-PBH/UFMG foram instalados a partir de 2008, em parceria com a UFMG, com coleta de dados a partir de 2008/09. Os dados são fornecidos em rede a cada 5 e 15 minutos, armazenados em um sistema *data-logger*, transmitidos através do sistema de telefonia celular e disponibilizados via internet. Os tipos de pluviômetros são de báscula, com capacidade de 400 cm<sup>3</sup> e sensibilidade de 0,2 mm. Eles encontram-se distribuídos nas nove Regionais Administrativas da PBH, como se vê no mapa de localização, figura 4.

Figura 4 - Localização dos postos pluviométricos da URBEL-PBH/UFMG e INMET, em Belo Horizonte.

### Localização dos postos pluviométricos da URBEL-PBH/UFMG e das estações meteorológicas do INMET



<b>Legenda</b>		Projeção Cartográfica: UTM SAD 69 - 23S Fonte: INMET; URBEL Base cartográfica: IBGE (2007) Elaboração: Taiza P. B. Lucas Data: Agosto, 2013
Estações URBEL	Limites municipais	
Estações INMET	Regionais Administrativas da PBH	

Fonte de dados: IBGE, 2007; INMET; URBEL-PBH/UFMG.

Os dados fornecidos pelas estações meteorológicas automáticas (EMA) do INMET são registrados continuamente através de armazenamento local em *data-logger* e são transmitidos via satélite ou telefonia celular para central, em Brasília-DF, que disponibiliza a cada hora no site do Instituto. A coleta de dados é feita através de sensores para medição dos elementos meteorológicos, em intervalo de minuto a minuto e integralizadas para o período de uma hora. Os dados de temperatura, umidade relativa do ar (UR), temperatura do ponto de orvalho e pressão atmosférica são fornecidos considerando a medida instantânea, a máxima e a mínima do período. A velocidade, a direção e intensidade do vento são dadas por um valor integral relativo aos 60 minutos observados e a precipitação horária é o somatório da chuva nesse intervalo de tempo, assim como dados de radiação solar, já a rajada de vento é a máxima intensidade do vento registrada neste período (INMET, 2011).

O Quadro 4 (ANEXO 1) mostra que dos 14 pluviômetros da rede de monitoramento da URBEL, três foram instalados no início de 2009 e dois em 2010. Por isso, o histórico de dados horários em Belo Horizonte é muito recente, já que os dois primeiros anos foram destinados à instalação dos equipamentos, assim como os processos de sistematização de coleta e transmissão dos dados. Aqueles instalados no final de 2008 e início de 2009 não possuem dados registrados de forma regular, com diferentes intervalos de tempo. Para maior abrangência de postos em todos os casos de chuvas, optou-se por analisar as estações chuvosas 2010/2011 e 2011/12, o que demandou sistematização e transformação do horário local para o horário UTC.

A rede de expansão da URBEL-PBH/UFMG ainda demanda muito investimento em manutenção, o registro de falhas é muito alto e, portanto, foi necessária a verificação da quantidade dessas falhas a partir da conferência de todos os registros de 5 – 5 min de dois postos (6 e 9) e de 15 – 15 min do restante. Para cada planilha mensal de dados, tem-se 8.928 linhas de registro de chuva a cada cinco minutos, nos meses de 31 dias, e 8.640, nos meses de 30 dias. Para a planilha de dados de 15-15 min, têm-se 2.976 para os meses de 31 dias e 2.880 para os de 30. A Tabela 1 apresenta o percentual de falhas para cada mês, em relação a esse total mensal de registros esperados, para cada posto da referida rede, nas estações chuvosas 2010/11 e 2011/12.

Tabela 1 – Percentual do total de falhas nos registros pluviométricos da rede URBEL-PBH/UFMG

Nº Posto	Nome Estação	Início da Série	Out 10	Nov 10	Dez 10	Jan 11	Fev 11	Mar 11	Abr 11	Out 11	Nov 11	Dez 11	Jan 12	Fev 12	Mar 12	Abr 12
1	Vale do Jatobá	24/1/09	0,2	5,3	0,0	5,7	7,3	2,9	0,5	4,4	4,0	3,7	3,0	3,0	14,3	2,4
2	Olhos D'água	14/10/08	24,6	8,9	3,1	12,4	69,4	..	35,8	55,5	..	60,0	59,0	54,7	53,4	54,1
3	Santa Maria	4/11/08	1,3	6,3	0,9	8,5	9,0	3,5	1,2	3,8	4,8	3,5	3,7	3,4	4,2	3,7
4	Santa Lúcia	9/12/08	3,5	5,4	0,0	5,3	6,1	3,1	0,8	4,3	5,5	2,6	4,2	3,6	2,4	3,3
5	Carlos Prates	9/12/08	0,2	5,4	0,0	4,9	2,2	0,0	0,8	4,2	5,4	2,8	4,0	1,3	2,3	3,2
6	Caetano Furquim	9/12/08	2,2	7,4	1,0	10,1	15,8	..	24,0	4,0	5,8	3,7	3,9	12,8	3,5	6,9
7	Bandeirantes	9/12/08	0,2	5,4	0,0	5,2	6,4	3,0	0,7	3,9	5,2	9,5	..	24,1	2,7	4,2
8	São Bernardo	22/1/09	0,2	5,4	0,0	21,1	8,9	3,4	0,7	4,7	5,4	3,1	3,0	3,2	3,0	3,0
9	Ribeiro de Abreu	22/1/09	2,3	7,3	1,4	11,6	14,0	9,5	6,3	7,3	8,9	5,8	13,3	12,3	18,7	34,3
10	Leticia	9/12/08	0,2	5,4	0,0	6,4	6,8	3,1	0,5	..	5,0	3,4	4,2	3,9	3,4	3,3
11	Jardim Montanhês	9/12/08	0,2	4,7	0,0	5,6	7,3	3,2	0,8	..	..	2,4	3,8	3,8	2,2	3,3
12	Vila Fazendinha	9/12/08	0,2	5,4	0,0	8,1	6,5	3,2	1,1	34,9	9,6	..	83,3	78,8	82,6	88,1
13	Estoril	4/10/10					48,1	10,3	1,6	33,0	6,1	3,0	2,3	3,5	3,3	3,2
14	Granja de Feitas	5/10/10					17,9	3,2	0,6	4,1	5,2	1,6	3,8	4,1	3,8	3,3

Fonte de dados: URBEL-PBH/UFMG.

Observa-se que a estação com maior registro de falhas é a 2, Olhos D'água, que se encontrava dentro de uma mina a céu aberto da Empresa Vale, até maio de 2012. O posto 12, Vila Fazendinha, também apresentou meses seguidos de falhas, assim como a estação 9 (Ribeiro de Abreu) e a 6 (Caetano Furquim), ambas de registro de 5-5 min. Nessa série de 14 meses de dados, em 14 postos, ou seja, 196 variáveis, 47 foram descartadas da análise devido à ausência de dados ou por apresentar mais de 10% de registros de falhas (destacados em vermelho na Tabela 1). Ainda como acurácia do registro de chuva, analisou-se a sequência de registros contínuos de chuvas comparados aos postos mais próximos, os intervalos falhados, diferentemente da vizinhança, também foram descartados.

Em função do número de falhas, somente os dados de postos que não apresentaram quantidade significativa dessas falhas foram considerados para análise mensal. Os meses de fevereiro e janeiro de 2011 apresentaram 4 e 5 postos com alto percentual de falhas, assim como o mês de fevereiro de 2012, também 5 postos retirados da análise, o que não invalida a investigação do tipo de chuva e sua espacialização, entretanto, a menor quantidade de pontos torna essa espacialização mais generalizada e dificulta a identificação das diversidades espaciais. Na escala diária, a partir do número de registros horários, verificou-se o número de falhas para aquele período, se pluviômetro esteve em funcionamento nesse respectivo tempo, utilizou-se para análise do total diário e intensidade do tipo de chuva correspondente, mesmo que na totalização mensal tenha sido descartado.

### 3.2.2 Tabulação dos elementos meteorológicos

A análise sistematizada das condições de tempo, considerando o conceito de sequência de tipos de tempo, requer o entendimento do comportamento diário, ou mesmo, horário, dos elementos meteorológicos. Para tanto, é necessário a representação simultânea, em gráficos, desses elementos: temperatura, umidade relativa do ar, pressão, nebulosidade e precipitação, acrescidos da qualificação das condições atmosféricas na escala regional. A tabulação desses elementos consistiu na montagem de planilhas mensais com cálculos das médias diárias, a partir dos parâmetros meteorológicos descritos em INMET (2009). Foram feitos em planilha do *Excel*, pertencente ao pacote *office* da *Microsoft*, para todos os dias e meses do período de estudo, para cada estação do INMET, no município de Belo Horizonte.

A temperatura média compensada diária foi calculada a partir da equação 2:

$$T_{MCKij} = \left\{ \frac{T_{max,kij} + T_{min,kij} + T_{12,kij} + (2 \times T_{24,kij})}{5} \right\} \quad (2)$$

Onde:  $T_{MCKij}$  é temperatura média compensada registrada no intervalo de dados  $ij$  no dia  $k$ ,  $T_{max,kij}$  é a temperatura máxima,  $T_{min,kij}$  é a temperatura mínima,  $T_{12,kij}$  é a temperatura registrada as 12 UTC e  $T_{24,kij}$  é a temperatura registrada as 24 UTC.

A umidade relativa do ar média compensada diária foi calculada a partir da equação 3:

$$UR_{c,kij} = \left( \frac{UR_{12,kij} + UR_{18,kij} + UR_{24,kij}}{4} \right) \quad (3)$$

Onde:  $UR_{c,kij}$  é a umidade relativa do ar compensada no intervalo de dados  $ij$  no dia  $k$ ,  $UR_{12,kij}$  é a umidade relativa do ar registrada as 12 UTC, sucessivamente.

A amplitude térmica diária foi calculada pela diferença entre a temperatura máxima e mínima. As variáveis pressão atmosférica e intensidade do vento foram calculadas pela média aritmética simples dos valores registrados nos três horários de observação da estação convencional e pelas 24 horas de registro da estação automática. A radiação solar registrada no piranômetro foi calculada a partir do somatório diário e a rajada de vento pela identificação do maior valor diário, em cada estação automática.

A Tabela 2 demonstra a codificação de registro da direção predominante do vento nas estações: convencional, automáticas e a respectiva direção. Transformou-se o código de registro da estação convencional nos valores correspondentes à estação automática, já que se originam de valores relativos ao ângulo azimutal, em relação ao norte geográfico. Segundo INMET (2009), a direção predominante do vento é dada pela frequência relativa de ocorrência do vento proveniente de oito direções principais, a saber: Norte (N), Nordeste (NE), Leste (E), Sudeste (SE), Sul (S), Sudoeste (SW), Oeste (W) e Noroeste (NW). De acordo com os autores, a determinação dessa direção predominante está sujeita à restrição de que a frequência seja superior a 20%, quando esta não é atendida, a direção do vento é considerada indefinida.

Tabela 2  
Direção Predominante do Vento

Direção Geográfica	Código Estação Convencional	Código Estação Automática
N	36	360
NE	05	45
E	09	90
SE	14	135
S	18	180
SW	23	225
W	27	270
NW	32	315

Fonte de dados: 5º DISME – INMET.

Nas planilhas de dados da estação convencional, o vento foi calculado pela moda<sup>13</sup> nos três horários sinóticos, quando esse parâmetro estatístico não foi encontrado, a direção

<sup>13</sup> Segundo Rogerson (2012), a moda é uma medida de tendência central definida como o valor que mais se repete em uma amostra de dados. Para dados da estação convencional, que disponibilizam

preferencial do vento foi considerada através da identificação do setor preferencial de direção dos ventos a partir do seguinte parâmetro: se dos três horários, dois predominaram entre 0 – 45°, o setor preferencial é 45°, entre 46° e 90°, o setor preferencial é 90°, entre 91° e 135°, o setor é 135°, entre 136° e 180°, o setor preferencial é 180°, assim sucessivamente. Os dados das estações automáticas foram identificados pela frequência em maior número de classes, sendo: 0 – 45° corresponde à direção predominante de 45°, entre 45,5° - 90°, corresponde a 90°, e assim continuamente.

A chuva foi analisada a partir da intensidade (mm/h), sendo feito o somatório para cada hora nas estações da rede URBEL-PBH/UFMG e comparadas à registrada, no mesmo intervalo, nas estações automáticas do INMET. A chuva diária foi manipulada segundo a metodologia do INMET (2009), dada pelo somatório de 13 as 12 UTC, do dia de registro. E a chuva mensal foi calculada pelo somatório desse registro diário para cada estação. Esses dados mensais, de cada posto representado na figura 4, foram comparados à média histórica através do cálculo do percentual de anomalia, a partir do valor médio mensal, em 30 anos, fornecido pelas Normais Climatológicas (INMET, 2009), referentes à série histórica do 5° DISME/INMET (P17).

Os dados médios diários desses elementos foram representados em gráficos mensais, com as seguintes variáveis: total pluviométrico diário, radiação solar (registrada nas duas EMA), amplitude térmica e direção predominante do vento, a partir de dados das três estações do INMET. Essa sequência de gráficos para o entendimento das condições de tempo e comportamento da atmosfera local foi acrescida de mapas dos totais pluviométricos mensais.

A partir dos dados diários de chuvas nas 17 estações pluviométricas, representados na figura 4, foram identificadas as sequências de dias chuvosos e tratados como eventos. Em cada um, foi verificada a sequência de chuvas horárias nos 16 postos relacionados à direção horária do vento, registrado nas estações automáticas do INMET, e as condições atmosféricas qualificadas a partir do entendimento da dinâmica atmosférica, em escalas superiores.

---

três horários de registro diário, a moda desse intervalo é o mesmo que identificar a direção predominante do vento pela frequência absoluta.

### 3.2.3 Identificação dos tipos de chuvas

As tipologias de chuvas utilizadas nesse trabalho foram classificadas a partir da sua gênese atmosférica, que se deve aos diferentes sistemas elencados no item 4.2.2.5. Eles são complexos e interagem entre si e com os atributos da superfície. A identificação desses sistemas na escala local só é possível ao escalonar para as superiores, identificar os fenômenos atuantes e estabelecer uma relação de causalidade através do comportamento dos elementos meteorológicos observados próximos à superfície.

Para entendimento da dinâmica atmosférica foram utilizados diversos produtos meteorológicos disponíveis em rede, produzidos na escala sinótica. A partir dos eventos de chuvas, verificou-se o período temporal dos mesmos e o respectivo escoamento atmosférico representado nas cartas sinóticas<sup>14</sup> de superfície e altitude (250 hPa) disponibilizadas às 00, 06, 12 e 18 UTC, pelo CPTEC-INPE, das imagens de satélites GOES-12, disponibilizadas a cada 15 minutos, pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA), pertencente ao INPE, e variáveis geradas na plataforma de composições por reanálise do Projeto *Reanalysis 1* do NCEP–NCAR (*National Centers for Environmental Prediction* e *National Center for Atmospheric Research*) disponíveis pelo PSD (*Physical Sciences Division*), pertencente ao NOAA (*National Oceanic Atmospheric*). Os sistemas atmosféricos identificados foram comparados e referenciados ao comportamento médio da atmosfera em baixos e altos níveis troposféricos descritos mensalmente nos Boletins Climanalise, produzidos pelos pesquisadores do CPTEC-INPE.

Segundo Bukovsky e Karoly (2007), reanálise é um modelo de assimilação e integração de dados de diversas fontes, como estações de superfície, navios, radiosondagens, satélites, etc. Os produtos de reanálise, geralmente, abrangem toda a superfície do globo terrestre e são amplamente utilizados para estudos climatológicos, inclusive modelização de períodos remotos e comparação com as condições climáticas atuais. Dentre as variáveis disponíveis<sup>15</sup>, utilizaram-se as dos campos médios, descritos na Tabela 3, entre os dias de cada evento. Esses parâmetros foram obtidos pelas interpolações por reanálises em pontos

---

<sup>14</sup> A simbologia correspondente à representação dos sistemas atmosféricos presente nas cartas sinóticas está descrita na legenda, que se encontra no Anexo 2.

<sup>15</sup> Segundo Smith, Compo e Hooper (2014), “Several pressure level variables are currently available via WRIT: geopotential height, zonal and meridional wind, omega (vertical pressure velocity), air temperature, and relative and specific humidity. These are distributed by the data providers on different levels starting at 1,000 mb and can go up as high as 1 mb. Because of these different levels, we use only a common set of levels that are available in the datasets being compared when calculating cross-section differences. Single-level variables include 2-m air temperature, 10-m zonal and meridional wind, sea level pressure, sea surface temperature, precipitable water, evaporation rate, and precipitation rate” (SMITH, COMPO E HOOPER, 2014, p. 1672).

de grade de 2,5° x 2,5° LAT/LONG, entre as coordenadas de 20°N a 60°S e 20°W a 100°W, na projeção Transverso de Mercator.

Tabela 3 – Variáveis de reanálise

Variáveis	Níveis de pressão (mb)			
	850	500	300	250
Direção do vento ( $\theta$ ) pelas componentes zonal ( $u$ ) e meridional ( $v$ ), em m/s.	X			
Ômega, em Pa s <sup>-1</sup> .		X		
Radiação de Onda Longa (ROL), em W/m <sup>2</sup> .				X
Umidade específica, em kg/Kg.			X	

Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/nssl/day/>.

Acesso em 24 de janeiro de 2015.

As componentes diárias de vento permitem inferir a direção predominante dos mesmos e identificar os principais escoamentos associados aos sistemas sinóticos produtores de tempo. O vetor vento é decomposto nas componentes N-S (vento meridional) e E-W (zonal), sendo os campos N - E negativo e S - W positivo.

O campo ômega representa a velocidade vertical do vento em coordenada de pressão (hPa/s). Segundo INMET (2015)<sup>16</sup>, ela é usualmente 1000 vezes menor que a componente horizontal, sendo a velocidade vertical do vento, em hPa/s (ômega), negativa para movimento ascendente do ar e positiva para movimento descendente, ou seja, nesse campo, os valores negativos representam movimento ascendente e os positivos, o subsidente. Os campos de umidade específica, juntamente com os demais, permitem inferir sobre o eixo de convergência em baixos níveis, uma vez que umidade em altos níveis se deve ao transporte de calor e massa (umidade) por determinados sistemas associados. Os campos de reanálise utilizados foram selecionados a partir da metodologia de Pallotta e Nakazato (2010), para identificação de diferenças entre as ZC, descritas no item 4.2.3.5.

Os campos de ROL, produto de reanálise, foram verificados pela média diária, a partir de dados climatológicos de 1991-2010, e associados à sequência de imagens de satélites, tanto no canal Infravermelho (IR), com realce da temperatura dos topos das nuvens, como

<sup>16</sup> Informação disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=aplicacoes/variaveisMeteorologicas>. Acesso em 17 de março de 2015.

do canal Vapor D'água<sup>17</sup> (WV), capturadas pelo satélite GOES-12, disponibilizadas pelo CPTEC-INPE, a cada 15 minutos. Segundo Ferreira (2006), os campos de ROL são importantes na identificação da banda de nebulosidade, assim como sua localização e variação ao longo dos dias de atuação de um determinado sistema atmosférico.

As imagens geradas a partir de ROL pelos satélites meteorológicos captam a intensidade da radiação emitida pelo topo das nuvens, quanto menor a radiação, menor a temperatura e maior altura das mesmas. Os tipos de chuvas foram definidos a partir da identificação dos sistemas atmosféricos, pautados nas características descritas no item 4.2.3.5, associadas à durabilidade e escoamentos verificados nas cartas sinóticas, nas demais variáveis de reanálise e aos dados das estações meteorológicas de superfície, como resultado local da atuação dos sistemas identificados na escala regional.

#### *3.2.4 Análise estatística dos eventos de chuvas*

A partir da categorização da tipologia de chuvas, através da análise qualitativa dos produtos meteorológicos, conjuntamente ao comportamento da precipitação horária e diária e das médias diárias das variáveis atmosféricas coletadas nas estações meteorológicas do INMET, citadas no item 3.2.2, elaborou-se uma planilha de tipos de chuvas. Essa se constituiu de 24 variáveis (V) quantitativas, apresentadas no Quadro 2:

---

<sup>17</sup> Segundo Ferreira (2006), as imagens geradas a partir de canais do WV, que absorvem a energia emitida pelo vapor d'água, 9 (9,7  $\mu\text{m}$ ) e 10 (6,7  $\mu\text{m}$ ), permitem identificar e localizar largas concentrações de vapor d'água na média e alta troposfera, o que facilita a verificação e localização de nuvens com grande quantidade de água precipitável.

Quadro 2 – Variáveis quantitativas para caracterização dos tipos de chuvas

V1	Número de dias de atuação do sistema atmosférico
V2	Média do número de horas de registro de chuvas
V3	Maior número de horas de registro de chuvas
V4	Menor número de horas de registro de chuvas
V5	CV* espacial da precipitação acumulada
V6	CV* espacial da máxima intensidade da precipitação
V7	máximo acumulado no evento
V8	precipitação média acumulada no evento
V9	menor acumulado no evento
V10	máxima intensidade do evento
V11	intensidade média do evento
V12	menor intensidade do evento
V13	média de radiação incidente à superfície
V14	média de amplitude térmica do evento
V15	média temperatura máxima do evento
V16	média temperatura mínima do evento
V17	média umidade relativa do evento
V18	média de pressão à superfície do evento
V19	velocidade média do vento no Evento
V20	máxima rajada do evento
V21	escoamento preferencial dos ventos Pampulha
V22	escoamento preferencial dos ventos Rola Moça
V23	escoamento preferencial dos ventos 5° DISME
V24	número de ocorrências registradas pela COMDEC**

\*Coeficiente de variação.

\*\*Coordenadoria Municipal de Defesa Civil.

Em cada evento de chuva, foi calculada a média aritmética do total acumulado de precipitação e da intensidade (mm/h), sendo o número de observações variável para cada evento, contabilizado a partir do número de postos pluviométricos com percentual de falhas menor que 10%, identificado na Tabela 1. Para cada evento também foi identificado o maior e menor valor das seguintes variáveis: total acumulado, intensidade e número de horas de registro de chuvas, o que permitiu a quantificação das variáveis V2 a V4 e V7 a V12.

As variáveis V5 e V6 foram calculadas a partir da equação 4:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 \quad (4)$$

Onde: CV é o coeficiente de variação; S é o desvio padrão e  $\bar{X}$  é a média aritmética.

As medidas de variabilidade dos dados, assim como de tendência central, são um dos principais parâmetros estatísticos para caracterização da distribuição da amostra. O desvio padrão é uma medida absoluta de variação dos dados, já o coeficiente de variação é uma medida de variabilidade relativa, não determinada pelos valores absolutos, que permite a comparação entre a variabilidade de diferentes atributos (ROGERSON, 2012). Dessa forma, ela se mostrou mais adequada para compreensão das variabilidades espaciais dos eventos de chuvas, não influenciados pelos diferentes totais acumulados entre os eventos. Os altos valores de CV significam grandes variabilidades espaciais do total acumulado (V5) e da máxima intensidade (V6) e baixos valores significam pequena variabilidade da amostra, ou seja, homogeneidade espacial.

As variáveis V13 a V19 são médias aritméticas calculadas a partir das médias diárias pelo número de dias de atuação do sistema atmosférico genético das chuvas, sendo V1 identificada de forma qualitativa a partir dos procedimentos descritos no item 3.2.3. A V20 corresponde o máximo valor registrado na planilha diária e V21 a V23 correspondem à moda dos registros diários, a partir dos critérios descritos no item 3.2.2.

A V24 corresponde ao número total de registros de ocorrências de enchentes e/ou inundações e alagamentos nos dias correspondentes aos eventos de chuvas identificados. Esses registros são feitos pela COMDEC, a partir da notificação da vítima via telefone, que as qualifica em enchentes/ inundações ou alagamentos.

A partir dessa planilha de tipos de chuvas foi realizada uma análise estatística descritiva, separada por cada tipo de chuva e por cada variável listada no Quadro 2. As medidas de tendência central calculadas foram: a média aritmética e a mediana e as de variabilidade: desvio padrão, coeficiente de variação e a diferença entre os valores máximos e mínimos. Todos os cálculos estatísticos foram realizados no *software* SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*), na versão denominada IBM SPSS *Statistics* 19.

Dada essa grande quantidade de variáveis, buscou-se através das técnicas de análise de componentes principais (ACP) reduzir o número destas variáveis do banco de dados e identificar fatores comuns que determinem os agrupamentos dos eventos de chuvas por similaridade. Esse método já foi utilizado por Muñoz-Díaz e Rodrigo (2004), Fragoso e Gomes (2008), Amanajás e Braga (2012), Darand e Daneshvar (2014) e Nogueira *et al.* (2014), entre outros citados por esses autores, para regionalização de dados climatológicos.

Segundo Rogerson (2012), a aplicação de uma análise fatorial (AF) só é possível quando as variáveis originais são altamente correlacionadas. Portanto, foi elaborada uma matriz de correlação de Pearson entre as 24 variáveis apresentadas no Quadro 2. Essa correlação é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas, o coeficiente varia entre os valores -1 e 1, sendo que o valor 0 (zero) significa que não há relação linear, o valor 1 indica uma relação linear perfeita, assim como o valor -1, inversamente, ou seja, quando uma das variáveis aumenta, a outra diminui. Quanto mais próximo estiver o coeficiente de 1 ou -1, mais forte é a associação linear entre as duas variáveis (CRESPO, 2002).

O coeficiente de Pearson é representado pela letra  $r$ , dado pela equação 5:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2)(\sum(y_i - \bar{y})^2)}} \quad (5)$$

Onde:  $x_i$  e  $y_i$  são respectivos valores das variáveis  $X$  e  $Y$ .  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  correspondem às médias dos valores  $x_i$  e  $y_i$ .

A saída da matriz de correlação apresenta dois valores para cada par de variáveis, o primeiro corresponde ao coeficiente  $r$  e o segundo, p-valor, referente ao teste de significância de correlação de Pearson. Observa-se que para um nível de significância de 5%, p-valores menores que 0,05 indicam que existe correlação significativa entre as variáveis. Descartaram-se os valores de  $r$  com p-valor maiores que 0,05, disponíveis no Apêndice A, e tipo de correlação fraca ou ínfima, conforme classificação apresentada na Tabela 4, em relação às variáveis de mesma natureza, por exemplo, entre V1, V2, V3 e V4, V5 e V6, V13, V14, V15 e V16, e assim sucessivamente, como apresentadas no Quadro 2.

Coeficiente de Correlação	Tipo de Correlação
$r = 1$	Perfeita positiva
$0,8 \leq r < 1$	Forte positiva
$0,5 \leq r < 0,8$	Moderada positiva
$0,1 \leq r < 0,5$	Fraca positiva
$0 \leq r < 0,1$	Ínfima positiva
$r = 0$	Nula
$-0,1 < r \leq 0$	Ínfima negativa
$-0,5 < r \leq -0,1$	Fraca negativa
$-0,8 < r \leq -0,5$	Moderada negativa
$-1 < r \leq -0,8$	Forte negativa
$r = -1$	Perfeita negativa

Fonte: CRESPO, 2002, p.152.

A partir de uma nova planilha de tipos de chuvas, foi executada uma AF em ACP, por meio do SPSS. O objetivo foi a identificação dos fatores comuns que explicam os subconjuntos de variáveis mutuamente não correlacionadas. Deste modo, em casos nos quais se tem um número grande de variáveis medidas e correlacionadas entre si, busca-se um número menor de novas variáveis alternativas, não correlacionadas e que de algum modo sumariam as informações principais das variáveis originais. Essas novas variáveis são chamadas de fatores ou variáveis latentes (MINGOTI, 2007).

A falta de correlação significa que os índices estão medindo diferentes dimensões dos dados, [...] “a ordem é tal que  $\text{Var}(Z_1) \geq \text{Var}(Z_2) \geq \dots \geq \text{Var}(Z_p)$ , em que a  $\text{Var}(Z_i)$  denota a variância de  $Z_i$ ” (MANLY, 2008, p.89). Nogueira *et al.* (2014) destaca que o método de ACP além de reduzir, reunir e simplificar, analisa quais variáveis explicam a maior parte da variabilidade total dos dados, revelando a relação existente entre elas. Por isso tal método é muito utilizado pelas ciências ambientais para identificação de padrões espaciais.

Segundo Rogerson (2012), o segundo passo é examinar a representação dos dados num elipsoide, o método ACP é usado para traçar os  $p$  eixos da elipse [...] “que, por sua vez, é construída em um espaço  $p$ -dimensional, onde  $p$  é o número de variáveis, [...] os comprimentos relativos dos eixos são chamados de autovalores” (ROGERSON, 2012, p. 299). Muitos estudos baseados nessa técnica se diferenciam na escolha de rotação: oblíqua ou ortogonais dos eixos  $p$ , optou-se pela segunda, VARIMAX, mesma aplicada nos dados de Muñoz-Díaz e Rodrigo (2004), Darand e Daneshvar (2014) e Nogueira *et al.* (2014).

A extração das somas dos quadrados das cargas fatoriais é a correlação entre uma componente ou fator e a variável original (ROGERSON, 2012). Essa matriz de correlação é apresentada em tabela e fornece o número de fatores necessários para descrever adequadamente os dados. Segundo Rogerson (2012), existem duas regras muito utilizadas para decidir o número de fatores, uma reter o componente com autovalores maiores que um, critério proposto por Kaiser (1958), e outra é representar os autovalores no eixo vertical e o número de fatores (variando de  $1 - p$ ) no eixo horizontal, de um plano cartesiano, o ponto em que ele “achata” (*break*) determina o número de fatores que contribuem para a variabilidade explicada no conjunto de dados.

O terceiro passo da AF é examinar as cargas fatoriais, ou examinar a correlação entre os fatores e os dados originais. Segundo Manly (2008), a partir da teoria de Spearman, cada resultado de testes fatoriais tem duas partes, uma que se refere à captura da variabilidade

original dos dados (comunalidades) e outra que não é capturada pelos fatores (singularidade). De acordo com o autor, dois escores de teste só podem ser altamente correlacionados se eles têm altas cargas nos mesmos fatores, sendo que a comunalidade deve ser entre -1 e 1.

Para medida de ajuste de qualidade do modelo fatorial foi utilizado o critério de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que indica o grau de explicação dos dados a partir dos fatores encontrados na AF, quanto mais próximo de 1, mais adequado está o ajuste do modelo fatorial. Esse critério também foi utilizado por Nogueira *et al.* (2014), baseado em outros autores, que sugerem 0,6 como limite razoável e 0,5 como limite de patamar aceitável.

Esse coeficiente é dado pela equação 6:

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} R_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} R_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} Q_{ij}^2} \quad (6)$$

Onde:  $R_{ij}$  é a correlação amostral entre as variáveis  $X_i$  e  $X_j$ , e  $Q_{ij}$  é a correlação parcial entre as variáveis  $X_i$  e  $X_j$ .

Finalmente, o resultado da AF é o escore. Para cada fator, e para cada observação, um escore é calculado como uma combinação linear das variáveis originais. O resultado é uma nova tabela, que em vez de  $n$  por  $p$ , tem-se  $n$  por  $k$ , correspondente ao número de fatores (ROGERSON, 2012). A partir dessas novas variáveis foi aplicada a técnica de Análise de Agrupamento (*Cluster*), AC, com o objetivo de agrupar os elementos mais semelhantes (tipos de chuvas), em que os grupos são os mais diferentes possíveis entre si.

O método de AC empregado foi o hierárquico de Ward. Segundo Darand e Daneshvar (2014), "*Ward's method was selected because it typically outperforms other algorithms in terms of separation, to give relatively dense clusters with small within group variance*" (DARAND e DANESHVAR, 2014, p.524). Para Manly (2008), esse método começa com o cálculo da distância de cada objeto a todos os outros, os grupos são formados por um processo de aglomeração, que começa com grupos de um elemento até formar um único grupo.

Segundo Muñoz-Díaz e Rodrigo (2004), a distância comumente utilizada é calculada a partir das distâncias euclidianas do centroide de cada elemento, considerando uma matriz  $X$  de  $p$

x n, em que p é uma dimensão espacial. A distância euclidiana entre as variáveis  $X_i$  e  $X_j$  é dada pela equação 7:

$$d_{ij} = \left\{ \sum_{k=1}^p (X_{ik} - X_{jk})^2 \right\} \quad (7)$$

Assumindo que p observações são independentes, a variação de distâncias euclidianas vão de 0 (vetores ou variáveis idênticas) ao  $+\infty$  (vetores sem relação). O quadrado da distância é muitas vezes utilizado como resultado da AC (MUÑOZ-DIAZ e RODRIGO, 2004).

Segundo Rogerson (2012), um elemento dos resultados de AC é o dendrograma (diagrama em forma de árvore), uma figura bidimensional que representa a sequência dada pela distância a que as observações estão agrupadas. De acordo com Muñoz-Diaz e Rodrigo (2004), os grupos podem ser flexivelmente selecionados entre os grupos do dendrograma, começando pelos “galhos”, à esquerda na figura, quando cada uma das observações constitui o seu próprio cluster, um par de ramos se une ao outro, quando dois grupos são mesclados. A distância entre esses clusters são indicados no diagrama pela distância do ponto de fusão na fase inicial, correspondente a dos “galhos”.

Destaca-se a subjetividade na escolha do número de grupos por AC ressaltada pelos autores:

*A CA will produce a different grouping of n observations at each of the n-1 steps. On the first step each observation is a separate group, and on the last step all the observations are in a single group. An important practical problem in cluster analysis is the choice of which intermediate stage will be chosen as the final solution. One decision that must be made concerns the number of clusters to be retained for each method but there are no universally accepted objective techniques by which to accomplish this. [...] Thus, one needs to choose the level of aggregation in the dendrogram at which to stop the merging of the cluster. Generally the stopping point will require a subjective choice (MUÑOZ-DIAS e RODRIGO, 2004, p. 1437).*

O número de clusters foi definido considerando as variações horizontais no dendrograma, a partir de uma distância em que o número de grupos não se altera, como sugerido por Rogerson (2012). A identificação do número de grupos foi acrescida de uma análise descritiva entre os escores de cada grupo, o que permitiu identificar a menor variabilidade entre os elementos e máxima variabilidade entre os grupos.

A qualidade da AC foi verificada utilizando-se o coeficiente  $R^2$ , que descreve a razão entre a Soma de Quadrados entre os grupos e a Soma de Quadrados Total. Segundo Mingoti (2007), quanto maior for o valor do  $R^2$ , melhor a qualidade do agrupamento, o que indica

grupos mais heterogêneos, com os elementos mais homogêneos, em cada grupo. O coeficiente  $R^2$  é definido pela equação 8:

$$R^2 = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (8)$$

Onde:  $SSW$  é a Soma de Quadrados dentro do grupo e  $SST$  é a soma de Quadrados Total.

### **3.3 Identificação dos registros de ocorrências de enchentes/inundações e alagamentos em Belo Horizonte**

Os dados de impactos pluviométricos, que se repercutem no espaço urbano como grandes transtornos à população, causando sérios danos econômicos e (i)materiais, foram identificados através da planilha de registros de ocorrências de enchentes e/ou inundações e alagamentos da COMDEC, entre o período de outubro de 2010 a abril de 2012. Os tipos de impactos hidrológicos estão conceituados no item 4.2.2, entretanto, apesar das diferenças entre enchentes e inundações, os registros da Defesa Civil Municipal não os separam. Portanto, segue-se essa base de dados conforme a planilha de registros, destacando-se que foi a única base de dados consolidada e disponibilizada para o estudo.

A planilha contém informações de data, hora, endereço, tipo de urbanização, em formal ou vila e/ou favela, conforme parâmetros da URBEL (2012) e tipo de ocorrência, sendo elas: enchente e/ou inundações, alagamento, temporais ou vendavais, risco de enchente e/ou inundações e risco de alagamento<sup>18</sup>. Optou-se por quantificar e espacializar somente os registros de enchente e/ou inundações e alagamento devido ao maior número de casos e por refletir a repercussão urbana dos eventos chuvosos identificados a partir dos critérios descritos no item 3.2.3.

Como o registro de ocorrência é feito a partir da notificação da vítima, é necessário salientar que muitas vezes esses registros ocorrem um tempo depois de um imóvel ou via pública serem danificados por eventos hidrometeorológicos. Portanto, aqueles datados após um a três dias de um evento, sem ocorrência de chuvas nesses dias subsequentes, foram contabilizados como referentes ao respectivo evento.

---

<sup>18</sup>Segundo a Defesa Civil, as enchentes e/ou inundações são registradas a partir de relatos desses eventos naturais que causam perdas materiais em propriedades privadas e/ou públicas, dentre outros danos, provocados por fortes chuvas. Os riscos de inundações são chamados feitos pela população local que solicitam vistoria da Defesa Civil em áreas que já foram inundadas em períodos anteriores. Os alagamentos são ruas, casas e comércios atingidos pelo acúmulo de água em uma determinada área nos períodos de chuvas. Assim, o risco de alagamento são solicitações de vistoria em locais previamente afetados, por medo de novos alagamentos, comumente em períodos chuvosos (COMDEC, 2013).

Os registros de ocorrências de impactos foram categorizados pela intensidade máxima de chuvas (V10), como apresentado na Tabela 5. Foi testada a distribuição do número de registros em cada uma das classes das classificações por histogramas e verificação do comportamento mais consistente com a distribuição dos dados através da comparação a um gráfico de dispersão entre as variáveis V24 e V10, identificando assim a classificação mais adequada. Aquela nomeada de OMM é utilizada pela COMDEC como parâmetro para fins de alertas e comunicados à sociedade, ela foi indicada por Minuzzi e Sedyama (2004) como critério da Organização Meteorológica Mundial (OMM), já a nomeada de Santoro (2012)<sup>19</sup> foi apresentada como parâmetro utilizado pelo Instituto Geológico (IG) para elaboração do plano preventivo de desastres do estado de São Paulo.

Tabela 5

Classificação da Intensidade Máxima de Chuva

Classificação	Intensidade (mm/h)	
	OMM	Santoro (2012)
Fraca	1,1 – 5,0	0,1 – 9,9
Moderada	5,1 – 25,0	10,0 – 17,9
Forte	25,1 – 50	18,0 – 29,9
Muito forte	> 50	≥ 30

Fonte: MINUZZI, SEDIYAMA, 2004, p.4; SANTORO, 2012.

Os registros de ocorrência de impactos hidrológicos foram representados pela melhor classificação para os dados de V10 e pelo tipo de chuva a cada mês. Esses impactos foram contabilizados pelo somatório de registros na mesma coordenada e data. Todos os endereços postais da planilha foram georreferenciados a partir da identificação das respectivas coordenadas geográficas, em LAT/LONG, no *software* Google Earth e transformadas em coordenadas UTM através da calculadora geográfica<sup>20</sup>, devido ao DATUM utilizado pelo Google Earth, os mapas de localização dos impactos foram georreferenciados em WGS-84. O total de registros foi dividido em 5 classes por quebra-natural, no *software* ArcGIS 10.1.

Para geração dos mapas de distribuição espacial do total de ocorrências registradas por bairros, os dados de registros foram agregados às informações da base digital da Tabela de código de bairros da PRODABEL. A partir da ferramenta de junção de tabelas, *Join*, do

<sup>19</sup> Notas de aulas do minicurso Riscos Geológicos Naturais, ministrado pelo Prof° Jair Santoro, durante o Congresso Brasileiro de Desastres Naturais em Rio Claro – SP, em maio de 2012.

<sup>20</sup> Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/calcula/>. Acesso em: 19 de março de 2015.

*software* ArcGIS 10.1, foram importados os registros da camada de dados da COMDEC para a camada de bairros da PRODABEL.

Para entendimento da distribuição espacial do total de registros de ocorrências de impactos hidrológicos no município de Belo Horizonte, foi calculada a densidade desses registros por área, em Km<sup>2</sup>, a partir da aplicação da técnica de Kernel. Segundo ESRI (2003), a densidade de Kernel calcula a densidade de pontos em cada célula *raster*, conceitualmente, uma superfície curva é sobreposta a cada ponto, sendo o valor mais alto na localização do ponto e diminui com o aumento da distância até o valor zero. A densidade de cada célula *raster* de saída é calculada pela soma dos valores de todas as superfícies do kernel onde eles se sobrepõem no centro dessa célula *raster*. A distância de entrada do cálculo foi um quilômetro quadrado e o resultado foi dividido em cinco classes, qualificados de muito alta a muito baixa densidade.

O mapa de densidade de registros de impactos por área (km<sup>2</sup>) foi acrescido do *shape* de Unidades territoriais de Gestão Compartilhada, Áreas de ZEIS, Arruamento de Belo Horizonte e Tipos de cursos d'água de Belo Horizonte. Essa sobreposição de *layers* permitiu caracterizar os locais de maior densidade do total de registros de ocorrências de impactos hidrológicos pela COMDEC e correlacionar aos respectivos atributos geográficos.

### **3.4 Técnicas geoestatísticas para interpolação de dados de chuvas**

Para identificação do interpolador que melhor represente a espacialidade das chuvas em Belo Horizonte foi elaborado um estudo de caso com o total acumulado mensal, total diário e a maior intensidade (mm/h) ocorrida em novembro de 2011 (LUCAS, *et al.* 2013). Os procedimentos metodológicos adotados para esse estudo de caso foram aplicados em todos os eventos de chuvas das estações chuvosas 2010-11 e 2011-12<sup>21</sup>.

As três escalas temporais analisadas se deram com o intuito de verificar o melhor desempenho matemático dos interpoladores em diferentes distribuições temporais, para a área de estudo. A partir desses procedimentos foram identificados os métodos de interpolação mais adequados à distribuição espacial de dados de chuva.

A partir da ferramenta geoestatística do *software* ArcGIS 10.1, foram utilizados os modelos matemáticos de interpolação determinísticos, como o *Inverse Distance Weighting* (IDW) e o

---

<sup>21</sup> O artigo foi produzido pela autora como requisito metodológico necessário ao tratamento espacial dos dados de precipitação em Belo Horizonte.

*Radial Basis Functions* (RBF) e geoestatísticos, como a Krigagem (KRG). Todos os resultados da modelagem espacial desse estudo de caso, tanto através da estatística exploratória, como da técnica *Trend Surface Analysis* e análise variográfica foram descritos por Lucas *et al.* (2013). A entrada de dados para os parâmetros do variograma foram feitos através de testes entre a modelagem automática e os ajustados após o cálculo da média dos vizinhos mais próximos. Os critérios para exclusão dos postos com dados discrepantes foram definidos a partir do comportamento da amostra na análise estatística e o afastamento da média dos respectivos vizinhos num raio de 7 km, distância média entre todos os postos apresentados na figura 4.

O melhor interpolador foi identificado através da análise estatística dos resíduos. Para a estimativa do erro, utilizou-se a validação cruzada dos dados em todos os interpoladores, via metodologia apresentada em Andriotti (2003), na qual um posto específico é descartado sucessivamente na realização da interpolação. Assim, é possível obter o valor estimado (E), relativo ao posto retirado e, posteriormente, compará-lo com o valor real da variável (O) e identificar o erro da estimativa (E - O). O que permitiu a montagem das planilhas com os valores estimados (E) e observados (O) e o erro percentual em cada ponto de coleta para cada interpolador.

A partir dos resultados identificados nesse estudo de caso, definiu-se utilizar a KRG para interpolação dos dados de chuvas, em cada evento da estação chuvosa 2010-2011 e 2011-2012, devido ao comportamento dos dados na análise estatística, variográfica e melhores resultados na validação cruzada. A KRG foi testada em todas as espacializações e se mostrou o interpolador mais adequado devido às suas possibilidades de ajuste, o que permitiu a geração de mapas mais consistentes, com homogeneidade entre os vizinhos mais próximos e sem ilhas em torno dos valores extremos, como é recorrente em superfícies geradas por IDW e, por vezes, pela modelagem por RBF.

Elaboraram-se mapas de espacialização do total acumulado de chuvas, em cada evento identificado, e da máxima intensidade, através da interpolação por KRG ordinária transformada em dados matriciais. Essas superfícies matriciais, *raster*, foram utilizadas para identificação do padrão espacial de cada agrupamento de tipos de chuvas, identificados na AC por ACP via AF.

A partir da matriz de dados de precipitação interpolada para toda malha de Belo Horizonte, utilizou-se da ferramenta *Raster Calculator*, da extensão *Spatial Analyst*, do software ArcGIS 10.1, para identificação da espacialização final de cada grupo de tipos de chuvas, através da

soma dos valores atribuídos a cada célula (*pixel*), nos eventos de tipos de chuva, identificados nos respectivos grupos. Esse procedimento foi adotado tanto para os totais acumulados, como para os valores correspondentes à máxima intensidade de cada evento.

Os dados matriciais são uma representação na forma de “geo-campos” (CÂMARA, 1999), em que cada quadricula (*pixel*) contém um valor generalizado, dado pelos critérios de interpolação, e que permitem cálculos de álgebra matricial. Para a base cartográfica do município de Belo Horizonte, utilizou-se uma resolução de 250 *pixels*, de 86,6 X 86,6 metros.

Segundo Rosa (2011), os operadores matemáticos das ferramentas de álgebra de mapas são utilizados para cálculo matricial, que permitem transformar várias camadas de dados em uma nova informação espacial. A partir dos operadores disponíveis, verificou-se que a soma mostrou-se como a modelagem mais adequada aos *rasters* identificados, em cada grupo, devido à natureza do dado pluviométrico, o que permitiu melhor visualização das áreas de maior acumulado de chuvas por grupo, assim como áreas de ocorrências de chuvas mais intensas.

A partir da identificação dos atributos quantitativos, das variáveis descritas no Quadro 2, de cada evento, verificou-se aqueles que mais contribuíram para o padrão espacial de distribuição espacial tanto do acumulado pluviométrico, como da máxima intensidade dos eventos de chuvas, a partir dos maiores valores das variáveis que melhor caracterizam cada agrupamento de tipo de chuva. Os eventos de chuvas de maior relevância para a caracterização de cada grupo foram sistematicamente apresentados conforme os procedimentos descritos nos itens 3.2.2 e 3.2.3.

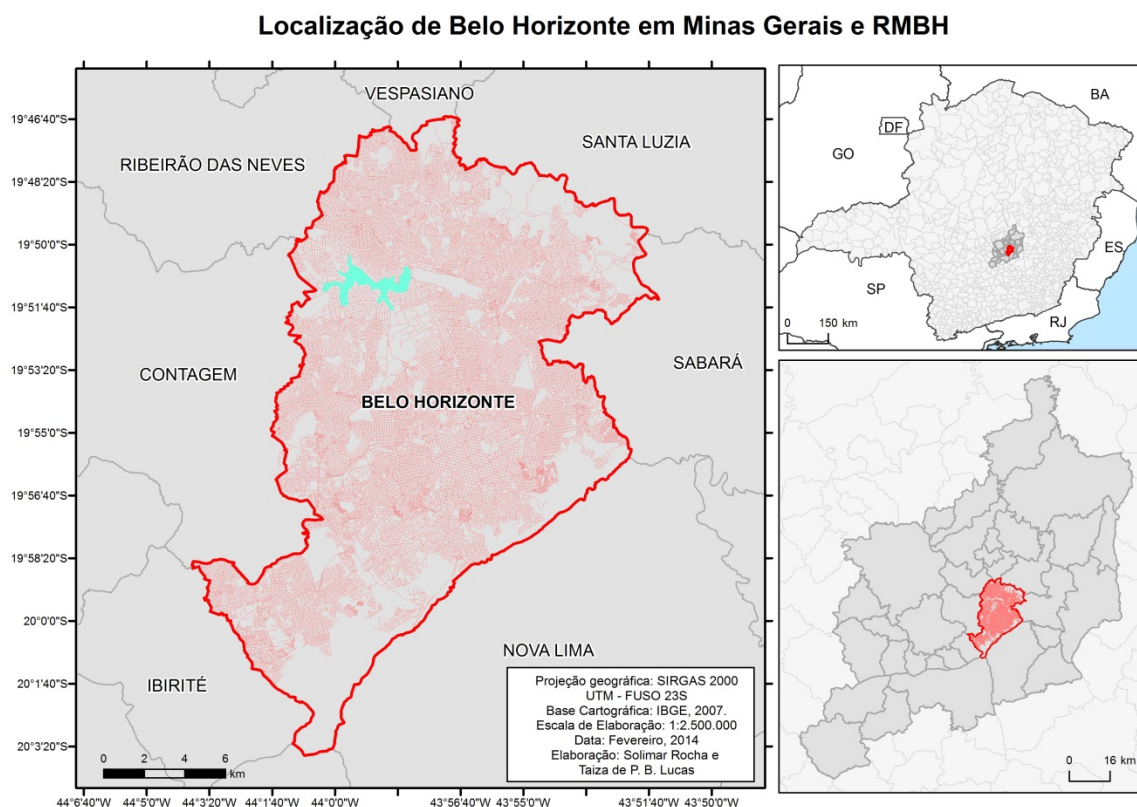
## 4. O ESPAÇO GEOGRÁFICO DE BELO HORIZONTE

### 4.1 Localização da área de estudo e o processo histórico de formação da mancha urbana

Belo Horizonte é o município mais populoso do estado de MG e o sexto do país. Segundo dados do Censo 2010 - IBGE<sup>22</sup>, a capital possui uma população de 2.479.165 habitantes, densidade demográfica de 7.167 hab/km<sup>2</sup>, e polariza a terceira maior Região Metropolitana do Brasil, com 5.414.701 pessoas.

Belo Horizonte está localizada no centro do estado de MG, delimitada pelas coordenadas de 19°46'35" e 20°03'34" de latitude Sul, e 43°51'27" e 44°03'47" de longitude Oeste. Limita-se ao Sul com o município de Brumadinho, a Sudeste com Nova Lima, a Leste com Sabará, a Nordeste com Santa Luzia, a Norte com Vespasiano, a Noroeste com Ribeirão das Neves, a Oeste com Contagem e a Sudoeste com Ibirité. Esses municípios, acrescidos de mais 25, formam a RMBH, representada na figura 5.

Figura 5 – Mapa de localização de Belo Horizonte.



Fonte: IBGE, 2007.

<sup>22</sup> Disponível em: [www.ibge.gov.br/cidades](http://www.ibge.gov.br/cidades). Acesso em: 15 de fev. de 2014.

O município de Belo Horizonte já nasceu capital do estado de MG. Inaugurado em 1897, ainda em construção, ele foi planejado dentro da perspectiva modernista de planejamento e zoneamento urbano. Apesar das profundas mudanças na funcionalidade do espaço geográfico, houve poucas alterações territoriais do município, ao longo de seu centenário.

Segundo o IBGE (2010), Belo Horizonte ocupa uma área territorial de 331,40 Km<sup>2</sup>. Essa delimitação remete à história de construção da capital mineira, o distrito de Belo Horizonte foi estabelecido pelo decreto estadual nº 36, de 12-04-1890 e confirmado com a Lei estadual nº 2 de 14-09-1891. Elevado à categoria de município e capital, com a denominação de Cidade de Minas, pela Lei estadual nº 3, de 17-12-1893, e decretos estaduais nº 716, de 05-06-1894 e 776, de 30-08-1894, quando foi desmembrado de Sabará. Pela Lei estadual nº 302, de 01-07-1901 o município passou a denominar-se Belo Horizonte.

Através da Lei nº 843, de 07-09-1923, foi criado o distrito de Venda Nova, formado por um ex-povoado desmembrado do distrito sede de Belo Horizonte e uma parte do município de Santa Luzia do Rio das Velhas. Pelo decreto-lei estadual nº 148, de 17-12-1938, o distrito de Venda Nova foi transferido para Santa Luzia. Em 1948, a capital adquiriu novamente esse distrito. Em 16-08-1995, através da Lei nº 6.936, foi criado o distrito do Barreiro e anexado a Belo Horizonte. A última divisão territorial do município determinou que o mesmo é constituído de três distritos, sendo: Belo Horizonte, Barreiro e Venda Nova.

O território belo-horizontino também é dividido em nove regiões administrativas, subdivisões gerenciais da PBH, sendo elas: Barreiro, Centro-Sul, Leste, Nordeste, Noroeste, Norte, Oeste, Pampulha e Venda Nova. Elas foram criadas pelo Decreto Municipal nº 4.523, em 1983, e pela Lei Municipal 4.158, de 1985, instrumento em que foi fixada a área de jurisdição territorial respectiva a cada Regional Administrativa. Os limites foram atualizados pela Lei Municipal 10.231, de 2011.

A partir do PD, implantaram-se as Unidades de Planejamento<sup>23</sup> (UP) como instrumento de políticas públicas, como uma subdivisão das Regionais, dada pela compatibilidade dos setores censitários do IBGE. As demarcações foram fixadas considerando a inserção total em uma Regional, com um número reduzido de unidades, 80, que assegurasse a identificação da população local através de agregação de bairros<sup>24</sup> próximos e ainda

---

<sup>23</sup> Fonte: PBH, 2012. Disponível em: <http://gestaocompartilhada.pbh.gov.br/estrutura-territorial/unidades-de-planejamento>. Acesso em: 14 de janeiro de 2015.

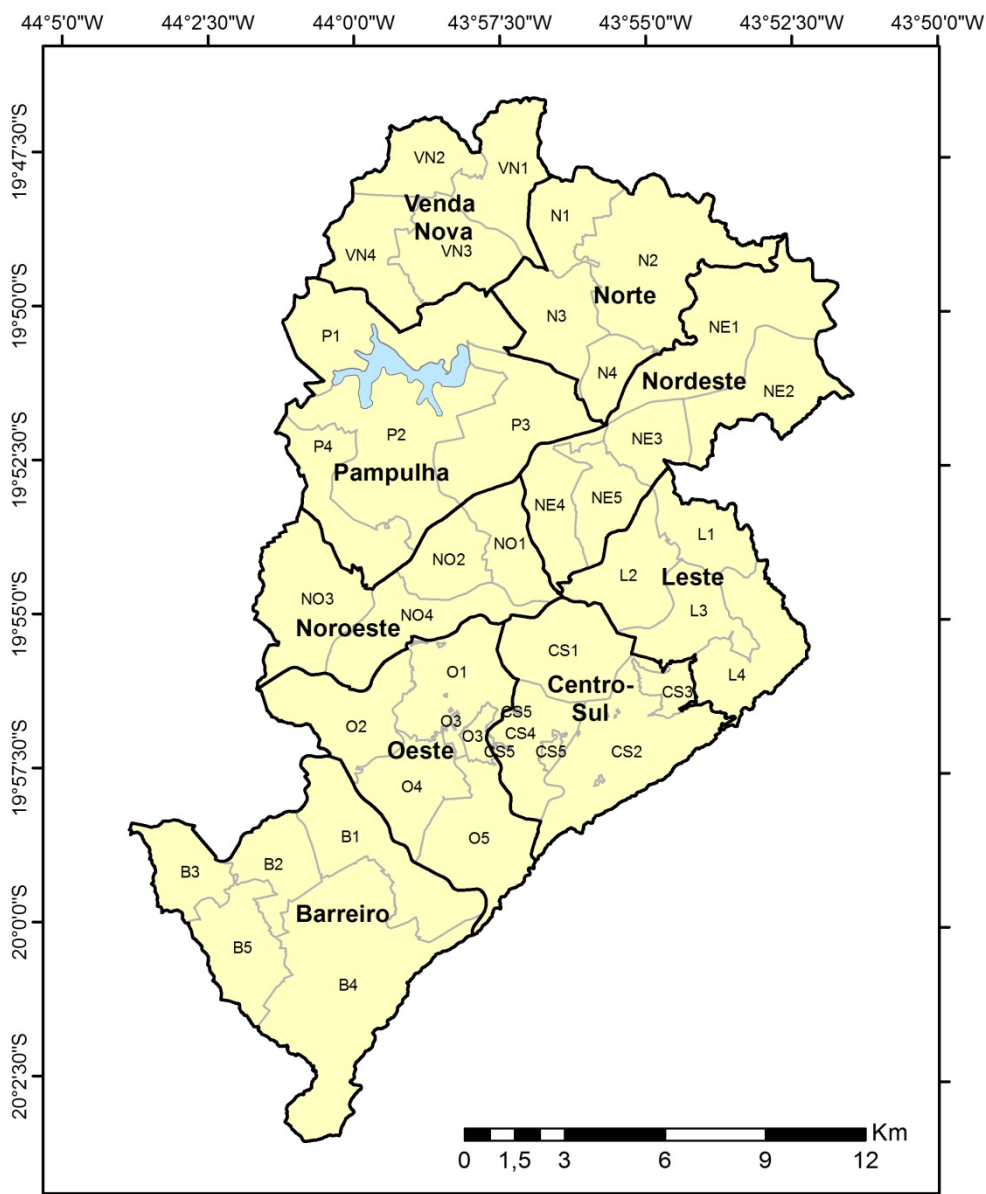
<sup>24</sup> O bairro é tanto o lugar de vivência de seus moradores quanto uma divisão administrativa da cidade (PBH, 2008). A identificação do bairro se dá pelo processo histórico de ocupação e pela




homogeneidade do padrão das edificações e perfil econômico da população. As grandes aglomerações de favelas foram agrupadas como UP isoladas

A partir da atualização dos limites regionais administrativos, foi feita uma nova atualização dos limites territoriais, pela Gerência de Produção de Informações (GPRI), pertencente à Secretaria Municipal Adjunta de Gestão Compartilhada (SMAGC) da PBH. Em 21 de dezembro de 2011, foi publicado o Decreto 1.4724, que criou os Territórios de Gestão Compartilhada e instituiu o PPR (Planejamento Participativo Regionalizado), coordenado pela SMAGC. Somando-se às UP, os 40 territórios têm como referência interna os bairros da capital, constituindo-se de agrupamentos internos a cada regional. Esses recortes partiram de estudos sobre a existência de áreas homogêneas, a partir de critérios econômicos, infraestrutura e de características do espaço urbano. Os objetivos dessa regionalização pautam-se nas políticas de gestão pública democrática que visa discutir o planejamento com a população. A distribuição desses territórios pode ser observada na figura 6.

Figura 6 - Mapa das Regionais Administrativas e Unidades Territoriais de Gestão Compartilhada de Belo Horizonte.

## Regionais Administrativas e Territórios de Gestão Compartilhada de Belo Horizonte-MG



<p><b>Legenda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Lagoa da Pampulha</li> <li> Regionais Administrativas</li> <li> Unidades de Gestão Compartilhada</li> </ul>	<p>Projeção Geográfica: UTM SAD 69, Fuso 23S Base cartográfica: IBGE (2007). Fonte: SMAGC (2012). Data: Março, 2014 Elaboração: Taiza de P. B. Lucas</p>
--	--

Fonte de dados: IBGE , 2007; SMAGC, 2012.



Segundo Paula e Monte-Mór (2000), Belo Horizonte caracteriza-se por três etapas de construção, a primeira (1897-1914), refere-se à obra da República, pautada no rompimento do Brasil colonial e no ideário de modernidade. A segunda foi denominada pelos autores de invenção mercantil (1914 – 1980), período de privatização de serviços, o domínio dos interesses econômicos, expansão da infraestrutura material, industrialização e verticalização da cidade. E a terceira, a invenção social, o autor remete-se à consolidação das lutas sociais nos anos 80-90 e a emergência de uma série de iniciativas democrático-populares<sup>25</sup>.

Segundo Fabiano (2005), Belo Horizonte foi construída politicamente para assumir funções administrativas, que apesar dessa forte presença do estado, “vivenciou em seu primeiro século de vida processos de expansão urbana dissociados de políticas públicas consistentes e carentes de um planejamento a médio e longo prazo” (FABIANO, 2005, p.45). Segundo Machado (2000), na primeira década de existência da cidade, já predominara outra lógica de ocupação do espaço, ao contrário do planejado.

A expansão física da cidade para além dos limites estabelecidos na planta original<sup>26</sup>, já fora detectada em 1912, o Censo demonstrou que 68% da população total, 39 mil habitantes, viviam nas áreas externas à Av. do Contorno, onde deveria prevalecer as “quintas e áreas de campo” (COSTA, 1994). Segundo Guimarães (1996), a cidade ilegal nasce antes da própria existência oficial da cidade, “dois anos antes de inaugurada, Belo Horizonte já contava com duas áreas de invasão com, aproximadamente, três mil habitantes” (GUIMARÃES, 1996, p. 136).

Segundo Guimarães (1996), o planejamento urbano expressava a concepção de Estado do seu planejador,

[...] seu projeto continha, ao fundo, uma nova e original concepção do papel do Estado, [...] que previa desde a intervenção do domínio urbanístico com o objetivo de assegurar o funcionamento e exercício do poder governamental, diferentemente da maioria dos casos onde a intervenção visava criar condições para a expansão do capitalismo (GUIMARÃES, 1996, p. 130).

---

<sup>25</sup> A abordagem social pode ser retomada em PAULA, J. A. e MONTE-MÓR, R. L. M. As três invenções de Belo Horizonte. In: PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. *Anuário Estatístico de Belo Horizonte*. Secretaria Municipal de Planejamento – PBH, 2000. Disponível em: [http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pldPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=estatisticaseindicadores&lang=pt\\_BR&pg=7742&tax=20054](http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pldPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=estatisticaseindicadores&lang=pt_BR&pg=7742&tax=20054). Acesso em 18 de Fev. 2014.

<sup>26</sup> O projeto e planta original elaborada pelo Engenheiro Arão Reis (1894) considerava a área urbana ao espaço delimitado pelo perímetro da Avenida do Contorno, onde o traçado das ruas e avenidas segue um padrão ortogonal (FERREIRA, 1997). Seguida de uma zona suburbana, classificada como de menor padrão de infraestrutura, voltada para sitiantes e uma terceira, rural, destinada ao abastecimento de suprimentos agrícolas à capital.

Para Fabiano (2005), a posição do planejador, de querer controlar a venda dos lotes e o processo de crescimento, do centro para a periferia, transformou-se numa batalha com a realidade, com o mercado imobiliário e com a lógica capitalista. A especulação imobiliária e o alto preço dos lotes da zona urbana fez com que as áreas suburbanas fossem ocupadas sem uma infraestrutura básica. Ao final da década de 20, o mercado imobiliário foi responsável por um grande movimento de venda de lotes nessas áreas. Segundo Costa (1994), nos anos de 1930, a cidade possuía 140 mil habitantes e com um potencial, em lotes vazios na área central, para 500 mil.

Segundo Cardoso (2007), a mancha urbana ultrapassava a Av. do Contorno em ritmo semelhante ao surgimento de reclamações e reivindicações populares em busca da instalação de serviços básicos de água, luz e esgotos, assim como as melhorias nas condições de transporte, que estavam entre as principais solicitações ao poder público. Segundo o autor, não somente em função do acréscimo populacional nas periferias da cidade, mas também pelas limitações do atendimento realizado pelo sistema de bondes elétricos, que privilegiavam as áreas destinadas às elites, para quais as áreas da zona urbana foram planejadas.

As dificuldades de acesso ao centro comercial e ao local de trabalho, dada pela tímida expansão da rede de bondes no decorrer das suas primeiras décadas de operação e o alto custo de utilização do transporte contribuíram para o adensamento populacional em favelas nas proximidades da zona urbana. Segundo Cardoso (2007),

[...] o traçado da rede de bondes deteve ainda um papel estratégico relacionado à especulação imobiliária, uma vez que o parcelamento e a comercialização de novos terrenos urbanos seguiram, em maioria, o seu percurso e as áreas nas quais este pudesse ser estendido. O que foi característico durante a década de 1920, quando Belo Horizonte recebeu expressivos contingentes populacionais em razão de sua afirmação como polo regional e da instalação de indústrias siderúrgicas nos seus arredores (CARDOSO, 2007, p. 64).

Segundo Costa (1994), as características básicas do espaço urbano gestadas no começo do século estão presentes nos dias atuais: baixa densidade de ocupação na área central, intensa atividade imobiliária, o controle de acesso à cidade através do mercado de terrenos e a ação do Estado, no sentido de (re)produzir e de (re)qualificar espaços para incentivar determinados tipos de ocupação, como a habitacional, industrial, etc. Na década de 30, a área industrial do Barro Preto, situada ao longo do Ribeirão Arrudas, entre as linhas de estrada de ferro, foram beneficiadas por incentivos fiscais e tarifas reduzidas de energia elétrica, já estabelecendo a política de incentivo à localização industrial a ser praticada nos anos seguintes.

Segundo Matos (1988), a expansão do tecido urbano de Belo Horizonte pautou-se nessa imbricada relação entre o meio natural, a ação reguladora do estado e poder do mercado imobiliário. Ao final dos anos 40, a cidade foi guiada para o eixo norte, através da implantação da Avenida Antônio Carlos e do complexo da Pampulha, e para o oeste, através da abertura da Avenida Amazonas, até a cidade industrial, em Contagem. A primeira expansão seguiu as superfícies planas e as encostas de baixa declividade, ocupando as bacias do Onça, nas planícies do Ribeirão Pampulha, e a montante da bacia do Arrudas, na direção oeste.

Para Costa (1994), Belo Horizonte se transformou em uma metrópole periférica devido às elevadas taxas de crescimento nas décadas de 50, 60 e 70. O contingente populacional saltou de 352.724 em 1950, para 693.328 em 1960 e 1.255.415 em 1970. Esse aumento significativo da população repercutiu no crescimento espacial, que se intensificou nos eixos norte e oeste, em seguida, na direção noroeste.

Esse crescimento acelerado não permitiu que o desenvolvimento da infraestrutura urbana o acompanhasse. Os cursos d'água tornaram-se redes de esgotos, pois os emissários existentes não suportavam o volume e, além disso, sofriam com o despejo de lixo em seus leitos. Diante do colapso iminente no início dos anos 60, o poder público decidiu por fechar os cursos d'água que atravessavam a região central, eliminando assim o mau cheiro, o risco de doenças e principalmente as inundações que já faziam parte do cotidiano do belo-horizontino, no período das chuvas. O fechamento dos córregos também visava melhorar o tráfego na capital que havia aumentado consideravelmente a partir de 1960, aliado aos ideários de embelezamento da cidade à época (BORSAGLI, 2011).

O período, entre a década de 50 e meados da década de 70, foi marcado pelo crescente processo de favelização, como principal manifestação da carência habitacional, cada vez mais agravada pelo constante aumento dos preços da terra e pela intensidade das migrações para a metrópole. Segundo Costa (1994), entre 1964-65, havia 79 favelas, correspondente a cerca de 25 mil domicílios e aproximadamente 120 mil pessoas.

Segundo a autora, os padrões de segregação do espaço foram reforçados pelas legislações municipais específicas. Na década de 70, houve um processo de elitização dos espaços centrais, verticalizados, bem equipados urbanisticamente, designados por uma clara antecipação de futuras segregações, através de parcelamentos privado, tanto em termos de tipo do produto oferecido, como pelo perfil do agente que o produz. Este processo permitiu a

verticalização das áreas centrais e o adensamento das elites na zona sul, através de padrões construtivos com altas taxas de aproveitamento do solo (COSTA, 1994).

A partir da década de 80, houve um decréscimo significativo das taxas de crescimento populacional de Belo Horizonte, em relação aos municípios do entorno. Desde a década de 50 que a cidade de Contagem apresentava altas taxas de crescimento, em função da instalação do Parque Industrial, que se intensificou nesse período e o expandiu para a cidade de Betim. O eixo norte também se expandiu para além dos limites municipais, particularmente Ribeirão das Neves, assim como Ibirité, que nesse período teve uma taxa de crescimento de 27,23%, enquanto a da capital foi de 3,75%, fortalecendo funções metropolitanas de cidades dormitórios.

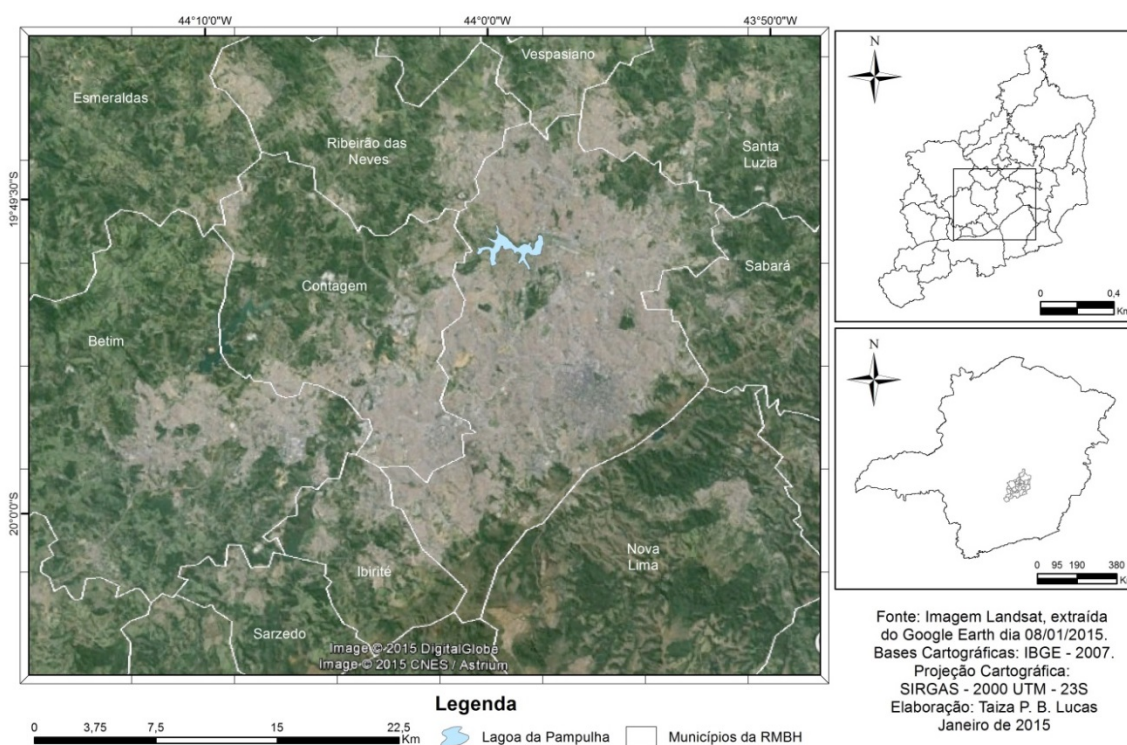
Segundo Matos (2006), Belo Horizonte é o maior fornecedor de migrantes para a sua periferia imediata, nos últimos 20 anos do século XX, cristalizou-se o fenômeno da reemigração. Os imigrantes ao instalarem na capital, em pouco tempo busca alternativas de moradias nas cidades do entorno. Entretanto, o autor ressaltou a centralidade da área *core*, evidenciada pelo aumento significativo de migração pendular entre 1980 – 2000.

Brito e Souza (2005) destacaram que o padrão de expansão metropolitano seguiu os mesmos da cidade de Belo Horizonte, acompanhando o padrão viário e a imbricada relação entre a iniciativa governamental e o capital imobiliário, que destinou grande parte da população de baixa renda para os conjuntos habitacionais e loteamentos no eixo oeste em função da consolidação do polo industrial de Contagem e Betim, ao longo da segunda metade do século XX, e ainda hoje tem grande representatividade na expansão dessa mancha urbana. Para os autores, o crescimento de Ibirité nas últimas décadas é exemplo dessa expansão em função do eixo oeste e se deve à falta de regulação do uso do solo e a ocupação desordenada.

A figura 8 apresenta uma imagem do satélite *Landsat* da mancha urbana de Belo Horizonte, verifica-se esse crescimento para além dos seus limites municipais, o que Magalhães (2013) denominou de mancha urbana conurbada. Observa-se através da refletância da área construída que é ela mais adensada na região central de Belo Horizonte e prolonga-se e integra a uma única mancha com a dos municípios de Contagem, Betim, Ibirité, Ribeirão das Neves, Vespasiano, Santa Luzia, Sabará e Nova Lima.

Figura 8 – Mancha urbana conurbada de Belo Horizonte.

### Mancha Urbana Conurbada de Belo Horizonte



Fonte: Imagem Landsat extraída do Google Earth em 08 de janeiro de 2015.

Outro eixo de expressivo crescimento é o norte. Para os autores, é a região de maior crescimento nas últimas décadas, que se deve, principalmente, ao crescimento populacional de Ribeirão das Neves. Segundo Costa (2004), o terreno do município era caracterizado por grandes propriedades de terras de baixa produtividade agrícola, e a principal atividade econômica, até a década de 70, era a produção de hortigranjeiros, portanto o parcelamento do solo e loteamento de baixa renda, em função do crescimento das Regionais Pampulha e Venda Nova, tornaram-se vantajosas para os proprietários locais.

Brito e Souza (2005) também destacaram a importância de Vespasiano e Santa Luzia na expansão da mancha urbana para o vetor norte.

[...] Santa Luzia e Vespasiano, também situados no vetor norte-central, apresentavam – além dos loteamentos populares – condições mais favoráveis para a instalação de plantas industriais, devido a estímulos governamentais por meio da criação de distritos industriais. Entretanto, esses municípios não conseguiram reproduzir o crescimento industrial do vetor oeste. Com a predominância demográfica de Ribeirão das Neves e suas altas taxas de crescimento demográfico, o vetor norte-central acabou se tornando um verdadeiro “pólo de atração de pobreza” (BRITO e SOUZA, 2005, p.56).

O vetor leste, assim como boa parte do vetor norte, cresceu em função da expansão da Avenida Cristiano Machado e do bairro Cidade Nova (BRITO e SOUZA, 2005), regional

Nordeste de Belo Horizonte. Segundo os autores, Sabará transformou-se de cidade colonial para cidade dormitório. O outro eixo de expansão urbana, destacada pelos autores, e que pode ser observada na figura 8 é o eixo sul, que tem outra lógica de produção do espaço. Essa região é caracterizada basicamente pela atuação combinada do mercado imobiliário e das companhias mineradoras, distinguindo-se dos outros vetores pela ocupação dos loteamentos por uma população de renda mais elevada, em boa parte sob a forma de condomínios (BRITO e SOUZA, 2005).

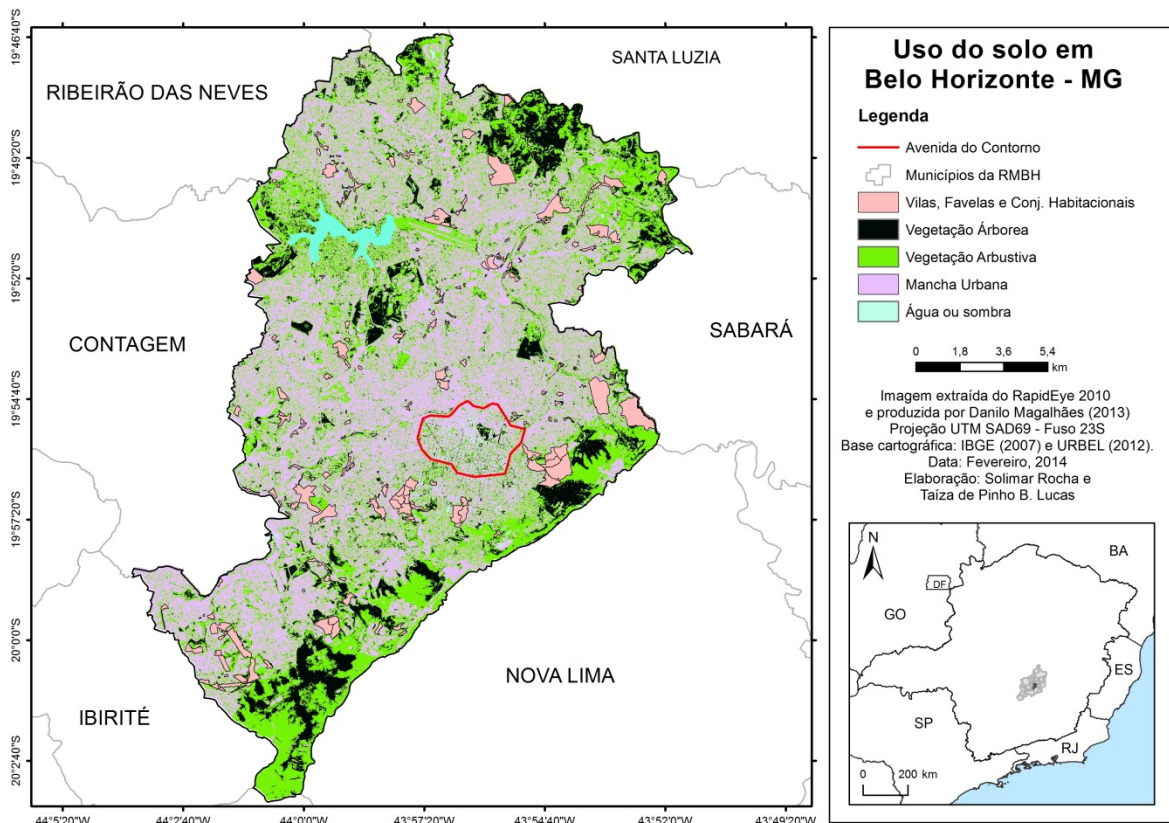
Segundo Costa e Araújo (2006), Nova Lima é um caso específico de expansão da mancha urbana no entorno de Belo Horizonte. A população urbana não apresentou taxas de crescimento significativas, como outros municípios da RMBH, entretanto houve um crescimento da ocupação nas áreas fronteiriças na forma de condomínios habitacionais de alto luxo, crescimento das atividades do setor terciário superior, que foram induzidos pela saturação do adensamento da zona sul da capital.

Brito e Souza (2005) ainda destacam outros eixos de crescimento da RMBH, entretanto salientam que há uma grande aglomeração da população metropolitana, ainda que decrescente, no *core* da RMBH, a partir do qual os vetores se expandiram.

Essa concentração torna-se ainda mais notável quando se acrescentam os dois principais vetores de expansão – o oeste e o norte-central – e então a população residente chega a quase 90,0%. Acrescentando-se os vetores leste (principalmente Sabará) e sul (em particular Nova Lima), esse espaço urbano, construído em função dos dois principais vetores de expansão cujo ponto de partida foi a própria capital, constitui junto com ela o verdadeiro aglomerado metropolitano (BRITO e SOUZA, 2005, p.57).

A partir dessa lógica do espaço urbano da capital mineira, o PD de Belo Horizonte definiu todo o território como urbano, subdividido em zonas diferenciadas segundo os potenciais de adensamento e as demandas de conservação e proteção ambiental, histórica, cultural, arqueológica ou paisagística. A figura 9 representa o uso do solo da capital mineira, em que a mancha urbana ocupa mais de 90% da sua área territorial. Nessa representação, destaca-se o polígono da Av. do Contorno, denominada de Zona Central de Belo Horizonte (ZCBH), que refere-se à área planejada do final do século XIX, também as áreas de vegetação arbórea e arbustiva, as ZEIS e a mancha urbana, denominada pela URBEL (2012) de cidade formal.

Figura 9 – Mapa de uso do solo em Belo Horizonte.



Fonte: MAGALHÃES, 2013; IMAGEM RAPIDEYE, 2010; IBGE, 2007; URBEL, 2012.

As áreas de vegetação arbórea e arbustiva, representadas na figura 9, foram identificadas por Magalhães (2013), a partir de interpretação de imagens de satélite RapidEye. Essas áreas verdes remanescentes se devem às áreas de preservação, definidas pela Zona de Preservação Ambiental (ZPAM), constituída por regiões cujas características da vegetação se destinam à preservação e à recuperação de ecossistemas, e a Zona de Proteção (ZP), regiões sujeitas a critérios urbanísticos especiais onde deve ser realizada a ocupação com baixa densidade e maior taxa de permeabilidade. Esse zoneamento previsto no PD é fruto de várias transformações nos projetos e planos para preservação ambiental aplicado às áreas urbanas.

Em Belo Horizonte, esse arcabouço legal para manutenção e gestão de áreas verdes culminou na formação de mais de 70 parques espalhados pelas regionais administrativas, além dos parques lineares, compostos pelos corredores de árvores de grande porte, nas avenidas, principalmente dentro dos limites da Av. do Contorno. Eles foram instalados em áreas de presença de vegetação e cursos d'água, muitas vezes em áreas particulares que foram desapropriadas com o intuito de preservação dos recursos naturais no meio urbano e

ainda oferecer à população centros de lazer e recreação. Nessas áreas se encontram a parcela de solo do território com a maior capacidade de infiltração das águas pluviais.

Verificam-se, a partir da regionalização por Unidades Territoriais de Gestão Compartilhada, que áreas de menor densidade demográfica, figura 7, são aquelas em que ainda predominam a presença de vegetação arbórea e arbustiva, como a Unidade B4, escarpas abruptas da Serra do Curral, Parque Estadual do Rola Moça e Parques Municipais, CS2, onde se encontra o Parque da Serra do Curral, L4, Parque das Mangabeiras, O5, complexo de parques dos bairros Buritis, Estrela Dalva e Estoril e áreas de preservação da empresa de abastecimento e tratamento de esgotos e efluentes de MG, N2, onde se encontra a Mata do Isidoro, P2, complexo esportivo e turístico da Pampulha, e P3, Estação Ecológica da Universidade Federal de Minas Gerais (E-Eco-UFMG), uma unidade de conservação urbana com aproximadamente 114 ha de área formada por vegetação típica de matas semidecíduas e de cerrado.

Notam-se outras manchas de vegetação inseridas nas áreas urbanas, como por exemplo, o Parque Municipal Américo Renné Giannetti (Parque Municipal) dentro do polígono da Av. do Contorno, Unidade CS1, assim como o Museu de História Natural e Jardim Botânico da UFMG, situado na L2, e outras, que representam baixos percentuais da área territorial da Unidade, em comparação ao intenso uso do solo e densidade demográfica. Entretanto, ressalta-se a importância delas nas áreas onde estão inseridas, a segunda, por exemplo, constitui-se numa das maiores áreas verdes remanescentes no município (60 ha) e abriga vegetação em estágio avançado de regeneração dos biomas da Mata Atlântica e Cerrado, como descrito por Magalhães (2013). Assis (2010) identificou que o Parque Municipal comporta-se como uma *ilha de frescor* em meio à região mais urbanizada e verticalizada, comprovando a eficiência de áreas verdes na amenização das ICU.

A figura 9 também representa as áreas de ZEIS, onde se encontram as vilas, favelas e conjuntos habitacionais, muitas vezes recolocados no espaço urbano, ao longo do processo de crescimento de Belo Horizonte, a partir das operações urbanas de aberturas de vias e avenidas, fechamento dos córregos e intenso processo de valorização dos terrenos pela especulação imobiliária, reforçada pelas políticas públicas. Em 2012, a URBEL mapeou 215 dessas áreas, que no total ocupam 16,4 km<sup>2</sup> do município e tem um contingente populacional de 19% da população belo-horizontina. A partir da Tabela 6, verifica-se que a Regional Oeste é a que possui maior número de ZEIS, assim como a Norte, que ocupam 7% do território, ela também possui o maior número de população residente nessas áreas. A segunda Regional com maior número de ZEIS é o Barreiro, elas totalizam a maior área, o

que não corresponde ao maior percentual em relação à área total em função do tamanho territorial da respectiva Regional, como pode ser inferido pela menor densidade demográfica. A Norte é a segunda com maior percentual de população residente nestas áreas, em relação à população total da Regional, atrás somente da Leste, que tem maior percentual da área territorial ocupada por essas ZEIS. Observa-se que na Pampulha encontra-se o menor percentual dessa população, que correspondem à menor área percentual, 1,7% da Regional, segundo dados da URBEL (2012).

Tabela 6 - Número de ZEIS, área e dados populacionais por Regionais de Belo Horizonte

Regional	Nº de ZEIS	Área das ZEIS (Km <sup>2</sup> )	% área de ZEIS / área total da Regional	População Total das ZEIS	% População de ZEIS / Pop. Total da Regional	Densidade Demográfica da População de ZEIS
Barreiro	32	2,66	5,0	56.316	19,9	21.171,4
Centro-Sul	19	2,39	7,5	71.894	25,3	30.081,2
Leste	23	2,38	8,5	64.740	27,1	27.201,7
Nordeste	30	1,53	3,9	39.340	13,5	25.712,4
Noroeste	18	0,87	2,9	34.280	12,8	39.402,3
Norte	16	2,29	7,0	54.569	25,7	23.829,3
Oeste	36	2,5	7,0	77.744	25,2	31.097,6
Pampulha	21	0,86	1,7	18.870	8,3	21.941,9
Venda Nova	20	0,97	3,3	33.552	12,7	34.589,7
Total	215	16,45		451.305	19,0	

Fonte de dados: URBEL, 2012.

## 4.2 O meio natural do espaço urbano de Belo Horizonte

### 4.2.1 Aspectos geológicos e geomorfológicos

A RMBH apresenta uma fisiografia diversificada e estreitamente vinculada às características geológicas. Segundo Parizzi (2004), Belo Horizonte encontra-se sobre dois domínios geológicos e geomorfológicos bastante distintos: o Quadrilátero Ferrífero (QF) e a Depressão de Belo Horizonte (DBH).

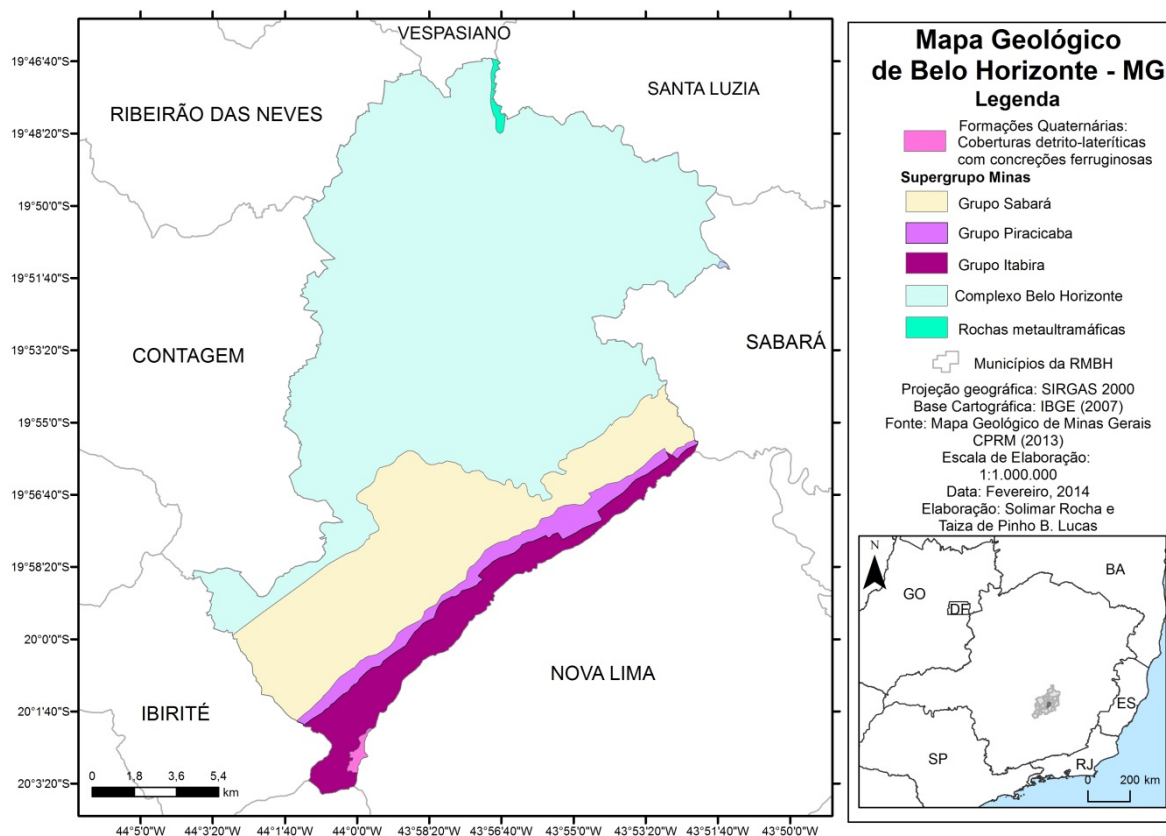
As unidades geomorfológicas da RMBH estão inseridas numa grande unidade geológica conhecida como cráton do São Francisco<sup>27</sup>. A DBH é uma zona rebaixada, delimitada ao sul

<sup>27</sup> O termo refere-se ao extenso núcleo crustal do centro-leste do país, tectonicamente estável no final do Paleoproterozóico e margeado por áreas que sofreram regeneração no Neoproterozóico (PBH, 2000).

pelas bordas abruptas de um maciço antigo (QF) e ao norte pelo relevo pouco pronunciado das bordas de uma bacia sedimentar, que correspondem às superfícies aplainadas do domínio das rochas carbonáticas e pelíticas do Grupo Bambuí (PARIZZI, 2004).

Segundo Parizzi (2004), o domínio geológico do Complexo Belo Horizonte, no qual ocorrem as formas de relevo da depressão belo-horizontina, é constituído por rochas gnáissicas arqueanas, migmatizadas no Paleoproterozóico<sup>28</sup>, que representam cerca de 70% do território municipal, têm sua área de maior expressão a norte da calha do ribeirão Arrudas. O restante do território é caracterizado por uma grande variedade litológica, com formações do Domínio de Sequências Metassedimentares, representadas na figura 10. O contato entre esses diferentes domínios é marcado por uma zona irregular de direção Nordeste-Sudoeste (NE-SW).

Figura 10 – Mapa geológico do município de Belo Horizonte.



Fonte de dados: IBGE, 2007; CPRM, 2013.

O relevo do Complexo Belo Horizonte é tipificado por espigões, colinas de topo plano a arqueado e encostas policonvexas de declividades variadas, esculpidas pela dissecação fluvial das áreas gnáissicas, com altitudes entre 660 - 1000 m. A maior parte encontra-se

<sup>28</sup> A coluna estratigráfica do Complexo Belo Horizonte e Quadrilátero Ferrífero foi representada por PARIZZI, M. G. 2004.

numa região de colinas côncavo-convexas de vertentes pouco inclinadas, com níveis altimétricos entre 800 – 900 m.

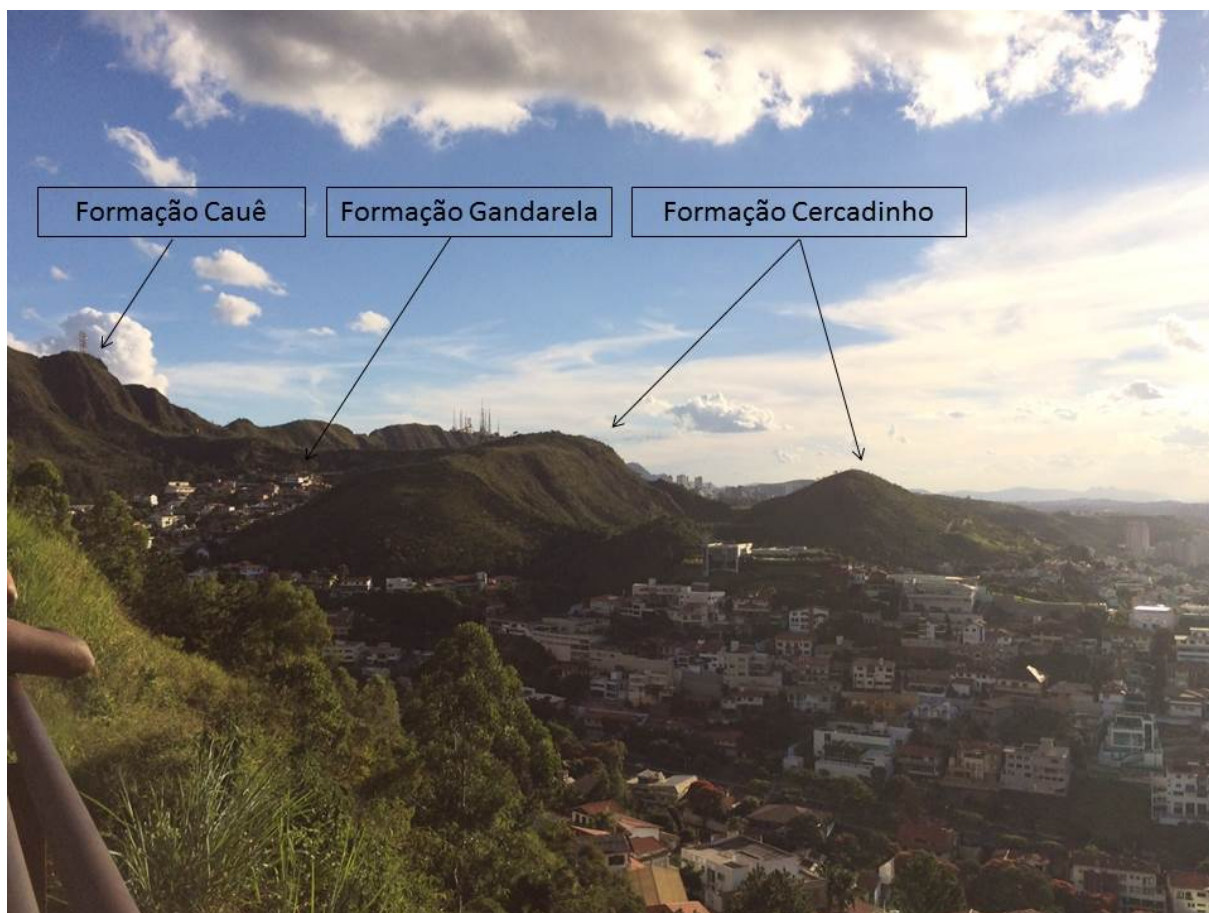
O relevo do Domínio Quadrilátero Ferrífero é marcado pelas bordas abruptas de um maciço antigo, bastante acidentado, com espigões grosseiramente orientados e sucessões de cristas e patamares com direção NE-SW truncados por vertentes ravinadas e vales em “V” (SIMÕES, 2007). Segundo Silva *et al.* (1995), a fisiografia serrana se deve à íntima relação entre os atributos geológicos (litologia e estrutura) e as formas de relevo.

Segundo Parizzi (2004), as áreas de maior altitude, acima de 1300 até 1500m, como o Pico do Rola Moça, se devem às camadas de itabirito, coberturas detrítico-lateríticas com concreções ferruginosas (Formação Cauê do Grupo Itabira, representada na figura 10). A presença de camadas ferruginosas lateríticas protege as escarpas dos processos erosivos, constituindo “a linha de crista e o terço superior [...] sub-vertical da Serra do Curral” (PARIZZI, 2004, p. 17).

Uma segunda formação significativa na paisagem serrana é a Gandarela, também pertencente ao grupo Itabira, como a formação Cauê, caracterizada por presença de rochas pouco resistentes ao intemperismo, como os dolomitos e filitos dolomíticos. Segundo a PBH (2006), essa formação constitui faixa de depressão morfológica, de direção NE-SW, paralela à Serra do Curral, extensivamente recoberta por depósitos superficiais laterizados.

A terceira faixa de cristas, com cotas altimétricas de 900 a 1100m, ocorre sobre a Formação Cercadinho, pertencente ao Grupo Piracicaba. Segundo a PBH (2006), caracteriza-se por uma sucessão de cristas de quartzito intercaladas com patamares mais suavizados de filito. A cobertura vegetal é ausente nos quartzitos e os solos são litossolos pouco espessos nos filitos, o que caracteriza as camadas superficiais como bastante friáveis. Essas três formações do QF que caracterizam o conjunto morfoestrutural da Serra do Curral estão apresentados na figura 11.

Figura 11 – Foto da Serra Curral e as respectivas formações litológicas

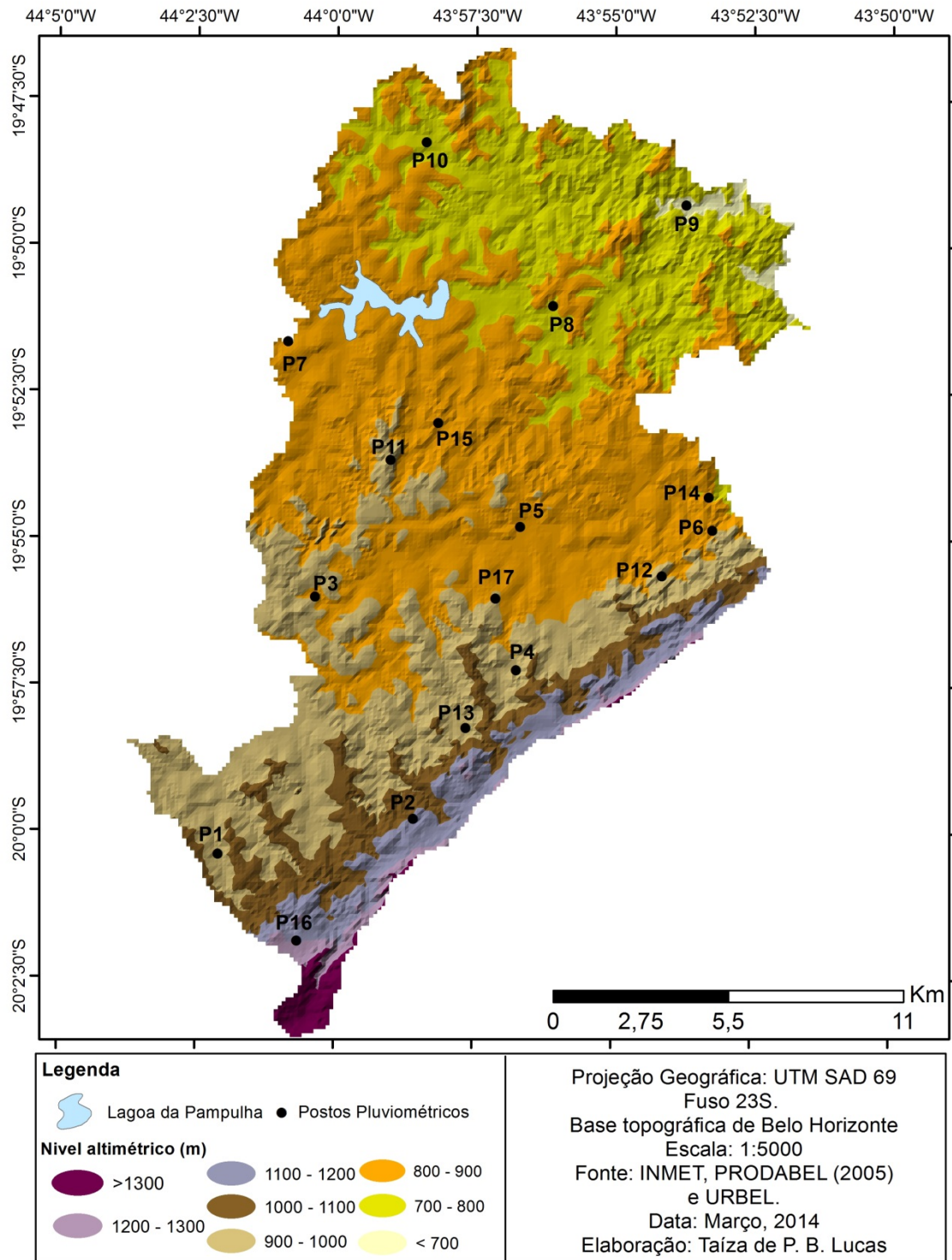


Autoria: Lucas (2014).

O Grupo Sabará é a unidade mais espessa do Supergrupo Minas em Belo Horizonte. Segundo Parizzi (2004), “espigões flanqueados por feições côncavas do tipo anfiteatro e morrotes com declividades às vezes acentuadas, ocorrem em áreas de filitos e xistos do Grupo Sabará” (PARIZZI, 2004, 17p.). A figura 12, comparada à figura 10, mostra que a altimetria predomina entre 900 e 1000m.

Figura 12 – Mapa de altimetria de Belo Horizonte e localização dos postos pluviométricos da Rede INMET e URBEL-PBH/UFMG.

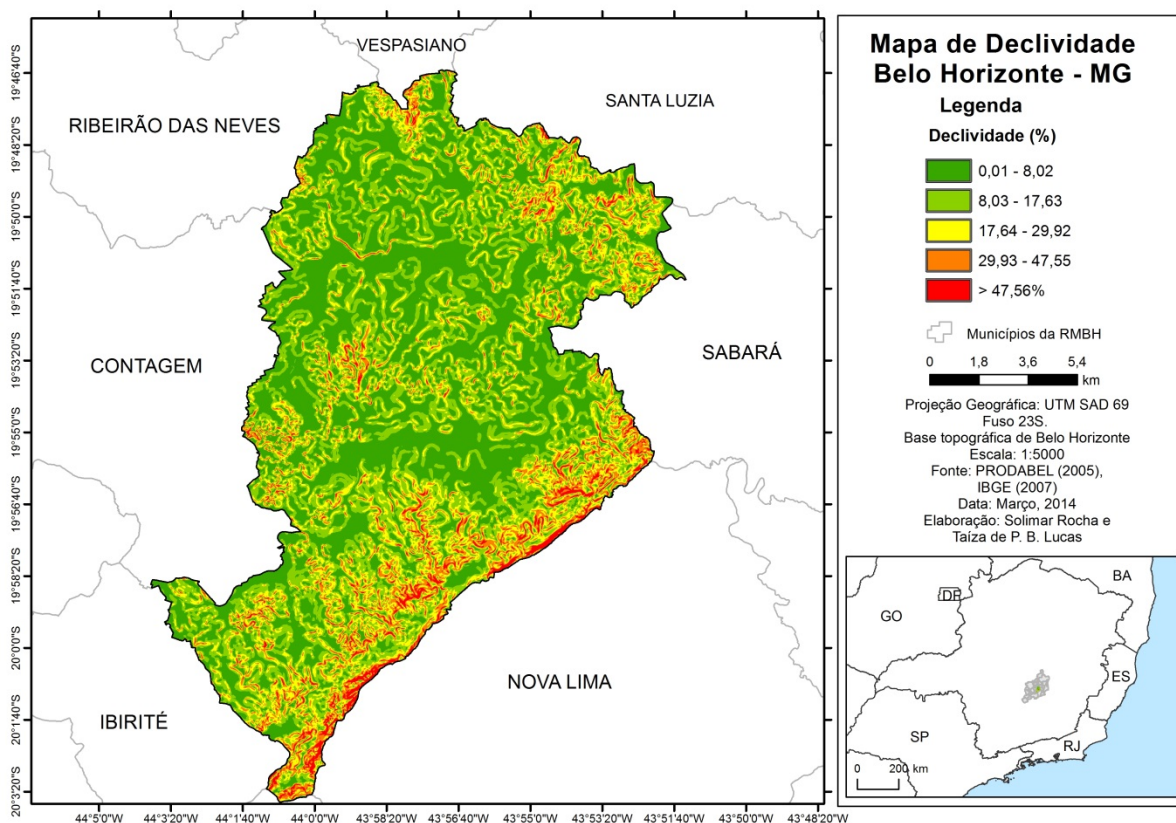
### Mapa altimétrico de Belo Horizonte - MG e localização dos postos pluviométricos da Rede INMET e URBEL-PBH/UFMG



Fonte de dados: INMET; PRODABEL, 2005; URBEL-PBH/UFMG.

A figura 13 representa a declividade do terreno de Belo Horizonte, onde se verificam altos percentuais no Domínio do QF, os maiores valores acompanham a crista da Serra que define os limites municipais na direção NE-SW. Em alguns desses locais, elas apresentam menores taxas devido à formação de terraços demarcados pela rede de drenagem, principalmente na direção SE-NW. A declividade do Complexo Belo Horizonte é bastante heterogênea, na porção nordeste e extremo norte do município, por exemplo, há percentuais de declividade acima de 47%, nas áreas de contato entre as diferentes cotas altimétricas, como pode ser observado conjuntamente com a figura 12. Nesse domínio também se encontram as áreas planas, com declividade menor de 8%, como ocorre nas calhas do Ribeirão Arrudas, Onça e na Regional Pampulha, como um todo.

Figura 13 – Mapa de declividade de Belo Horizonte.



Fonte de dados: IBGE, 2007; PRODABEL, 2005.

Segundo a PBH (2006), as áreas denominadas do Complexo Belo Horizonte possuem terrenos de relevo suave e moderadamente ondulado de colinas e vales amplos, que não os caracteriza como áreas de predisposição natural ao risco de escorregamentos. Entretanto, a remoção da vegetação, a exposição dos solos e cortes em taludes geram voçorocas, ativas ou estabilizadas, caracterizadas pelos escorregamentos em suas paredes, potencializados pela ocupação.

Nos casos em que ocorre a transição brusca do solo residual imaturo, ou do saprolito, para o substrato rochoso, as condições de escoamento sub-paralelo à superfície constituem fatores agravantes da instabilidade (Silva *et al.* 1995). De acordo com Parizzi (2004),

[...] grande parte das ações antrópicas desencadeadoras de escorregamentos nas áreas de solos residuais de gnaiss são relacionadas ao desmatamento e à retirada dos horizontes A e B dos maciços de solo. Essas ações estimulam erosões e exposição do horizonte C e saprolitos, mais susceptíveis aos escorregamentos (PARIZZI, 2004, p. 183).

Nas áreas de maciços elevados, o risco geológico manifesta-se nas cabeceiras em forma de anfiteatro, onde a pequena resistência do solo residual do gnaiss, combinada com as condições de escoamento convergente, constitui fator altamente predisponente ao escorregamento, desencadeado pela ocupação, muitas vezes, irregular. Segundo a PBH (2006), Viana (2000) cadastrou 1.809 focos de erosão no município. Dessas feições cadastradas, 45 corresponderam a voçorocas que, juntas, somam aproximadamente 102,1Km<sup>2</sup> de área degradada. Do total, 74% dos pontos de erosão correspondem às áreas ocupadas por terrenos de solos residuais do Complexo Belo Horizonte, o que torna o assoreamento de cursos d'água e galerias de drenagem um dos fatores de inundação e alagamentos, agravado pelo lançamento indiscriminado de lixo e "bota fora".

Nas áreas de domínios dos grupos Piracicaba e Sabará são muitos os fatores fisiográficos, litoestratigráficos e estruturais que causam mecanismos de instabilização de encostas (PBH, 2006). O maior número de processos erosivos ocorre nesse grupo devido à sua extensão e maior processo de modificação em função da ocupação. De acordo com Parizzi (2004), têm sido observados constantes tombamentos e escorregamentos em taludes de corte voltados para noroeste ou nordeste, mesmo sendo áreas de encostas mais resistentes.

A autora destacou, ao analisar esses diferentes mecanismos de rupturas em taludes de três grupos geológicos distintos, que os condicionantes geológicos atuam como predisponentes e influenciam o tipo de ruptura. As ações antrópicas, assim como a ação da água, preparam os terrenos para os movimentos de massa, já as chuvas, geralmente, determinam o momento e a frequência desses processos erosivos.

Ferreira (1996) mostrou através de sua análise dos eventos hidrológicos em Belo Horizonte, que as vistorias realizadas pela COMDEC, entre 1991 e 1995, foram motivadas por inundações de residências, desabamentos e ameaças de desabamentos, deslizamentos e ameaças de deslizamentos de encostas. O autor buscou identificar valores de referência para um parâmetro no qual os eventos pluviais começam a deflagrar uma série de impactos

na cidade. Até o período, só havia o apontamento de um limite de 70 mm/dia para desencadeamento de escorregamentos, no relatório nº 32161/94, elaborado pela URBEL, em convênio com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT-SP). A partir desse relatório, havia um parâmetro de 50 mm acumulados em três dias, como definição da mudança do estado de observação para alerta.

Ferreira (1996), ao estabelecer uma correlação entre acumulado de chuvas em 24, 48, 72 e 96 horas para ocorrências atendidas pela COMDEC, identificou que ela é maior quanto menor o tempo de análise dos dados, no caso 24h. O autor ressaltou que para dados de 48 e 72 horas, a correlação é maior com os registros de escorregamentos, comparada a eventos de inundações, pois não foi significativo devido aos episódios ocorrerem em um período curto de tempo, portanto deveria ser analisada a chuva horária para melhor correlação. A Tabela 7 apresenta os resultados encontrados pelo autor, relação entre a quantidade de chuvas acumulada e a deflagração de impactos hidrológicos em Belo Horizonte, a qual foi muito utilizado como parâmetro para emissão de alertas pela Defesa Civil Municipal e ações de minimização dos riscos associados à ocorrência de chuvas, na década seguinte, segundo a PBH (2006).

Tabela 7

Acumulado de chuvas e impactos físico-ambientais em Belo Horizonte

<b>Período (dias)</b>	<b>Acumulado de Chuvas (mm)</b>
1	40
2	60
3	80
4	100

Fonte: FERREIRA, 1996. Org. LUCAS, 2014.

Parizzi (2004) identificou que chuvas acima de 50 mm/dia geraram ocorrências de escorregamentos em todos os taludes analisados, no mês de dezembro de 2001. Entretanto, no mês anterior houve pico 64 mm/dia e apenas uma ocorrência de escorregamento foi registrada, o que se deve ao grau de saturação do solo em função da chuva acumulada. No período chuvoso 2002/2003, elas foram escassas nos meses de outubro e novembro e concentradas em dezembro e janeiro, quando se acumularam mais de 700 mm/mês, o que gerou diversos tipos de escorregamentos em todos os taludes analisados.

A autora salientou que a chuva acumulada é mais importante que o total diário e a intensidade (mm/h) para desencadeamento de escorregamentos. Todas as ocorrências

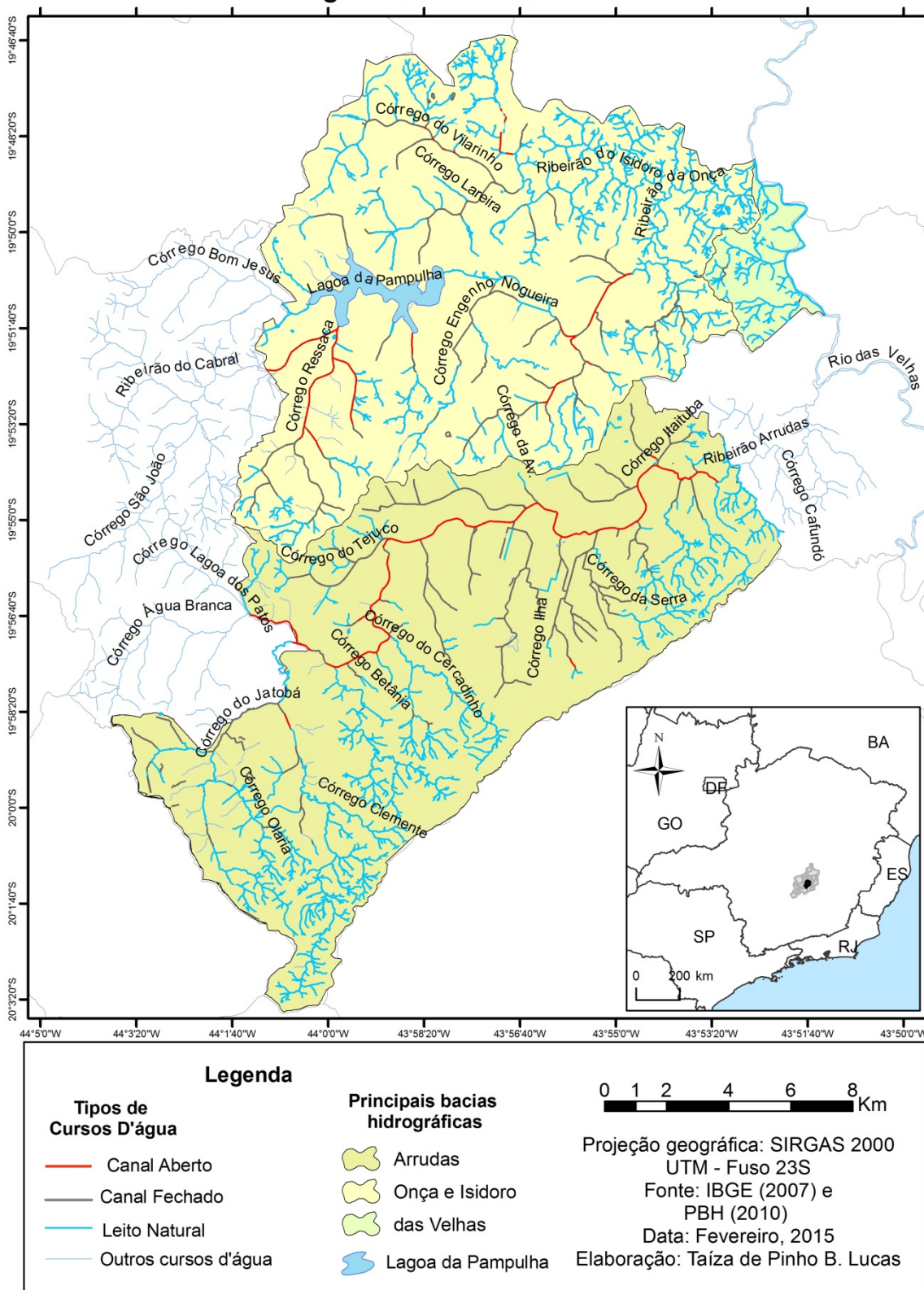
foram registradas quando a chuva perdurou por mais de 4 dias, sendo superior a 60 mm, para todos os taludes, e houve maior número de ocorrências quando a chuva acumulada foi superior a 90 mm. Ainda segundo a autora, a Formação Cercadinho mostrou-se mais susceptível aos escorregamentos durante os episódios de chuvas.

#### *4.2.2 Aspectos hidrográficos*

Belo Horizonte encontra-se na bacia do Rio das Velhas, sendo drenada por dois de seus afluentes, o Ribeirão Arrudas e o Ribeirão do Onça e ainda pelos córregos Calazans e Lagoa Grande, na porção nordeste, contribuindo diretamente para o rio principal. Segundo a PLAMBEL (1975), a bacia Arrudas corresponde a uma área total de 206 Km<sup>2</sup>, sendo que 162 Km<sup>2</sup> encontram-se no município de Belo Horizonte, 29 Km<sup>2</sup> em Contagem e 15 Km<sup>2</sup> em Sabará. A extensão total do talvegue corresponde a 47 Km, desde a confluência dos córregos Jatobá e Barreiro até o exutório. A bacia do Onça abrange uma área total de 212 Km<sup>2</sup>, dos quais 156 Km<sup>2</sup> encontram-se em Belo Horizonte e 56 Km<sup>2</sup> no município de Contagem. O Ribeirão do Onça tem uma extensão natural de 17 km, desde a Lagoa da Pampulha até a sua confluência com o Rio das Velhas, representados na figura 14.

Figura 14 – Mapa das bacias hidrográficas e tipologia dos cursos d’água de Belo Horizonte.

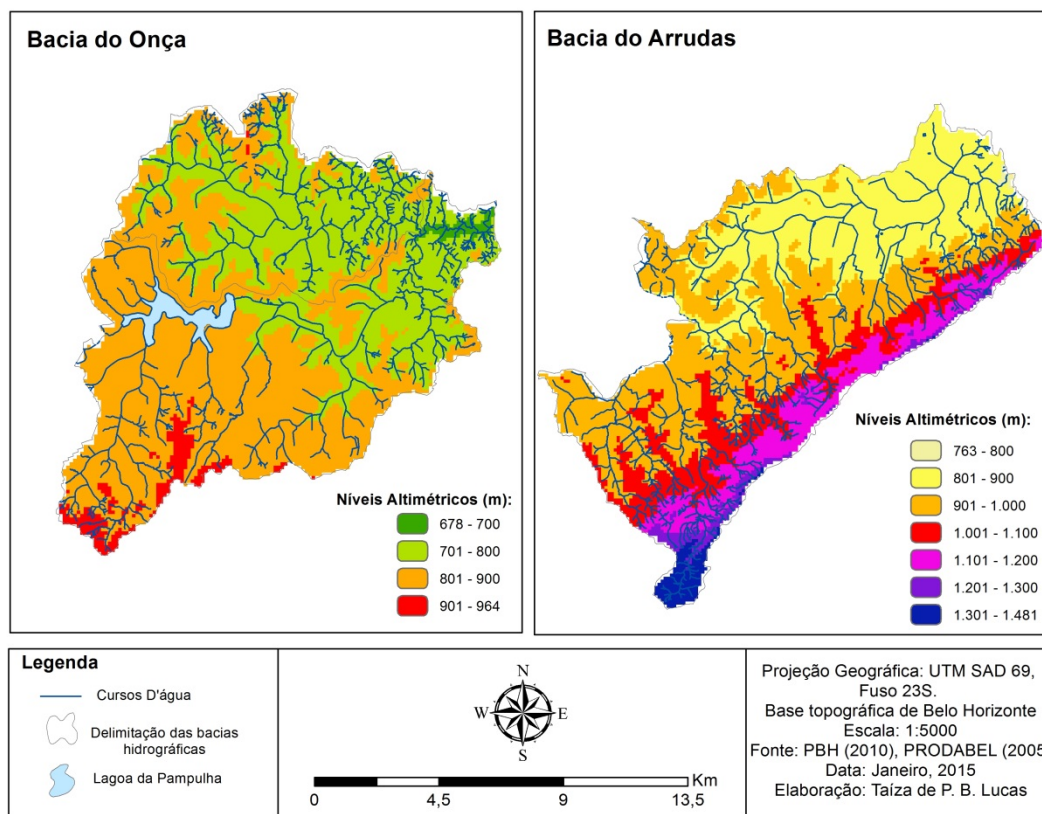
### Bacias hidrográficas e tipologia dos cursos d’água de Belo Horizonte - MG



Fonte de dados: IBGE, 2007; PBH, 2010.

A figura 15 representa os 74 afluentes do Ribeirão Arrudas e do Onça. O primeiro recebe 21 pela margem esquerda e 23 pela margem direita. Belo Horizonte concentra 29 desses afluentes, Contagem 3 e Sabará os outros 12. O Ribeirão do Onça conta com 30 afluentes, desses, a capital contribui diretamente com 27 e os outros três, Córrego Ressaca, Sarandi e Bom Jesus, grande parte da área de drenagem pertence a Contagem, entretanto desaguam na Lagoa da Pampulha.

Figura 15 - Mapa hipsométrico e padrões de drenagem das bacias do Arrudas e Onça em Belo Horizonte.

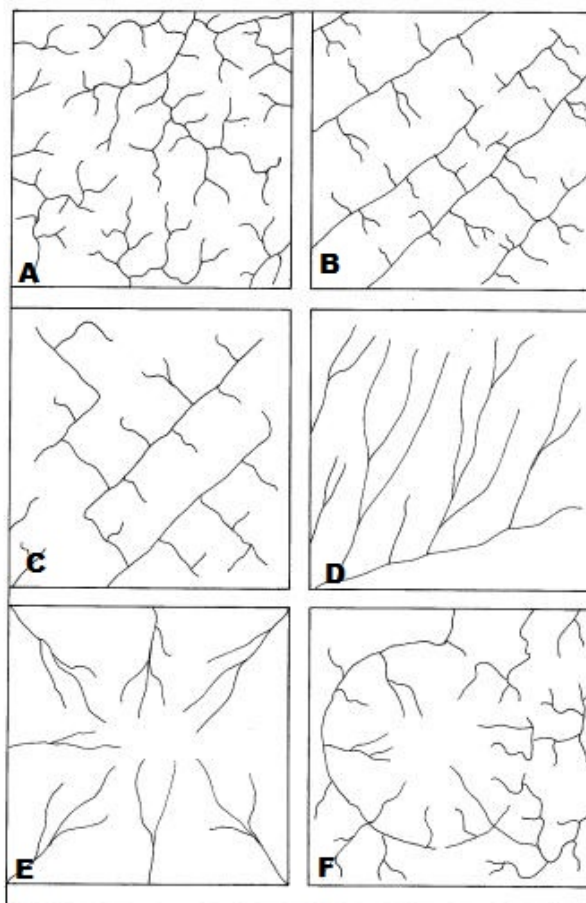


Fonte de dados: PBH, 2010; PRODABEL, 2005.

As bacias do Onça e Arrudas se diferenciam não só pela morfologia do terreno, dada pelas diferenças hipsométricas, como pelo padrão de drenagem, caracterizado a partir da classificação da rede fluvial de Christofolletti (1991), como pode ser observado ao comparar as figuras 15 e 16. A bacia do Ribeirão do Onça apresenta rede de drenagem próxima ao dendrítico, com cursos d'água em padrão fluvial meandrante de baixa sinuosidade, caracterizando-se como uma bacia circular a ramificada, em relevo mais aplainado, com altitudes que variam entre 678 a 964 m. Já a bacia do Arrudas, se caracteriza por um padrão de drenagem paralelo e de forma elíptica a ramificada em, praticamente, toda extensão da margem direita, perpendicular à crista da Serra do Curral. Ela é formada por um conjunto de sub-bacias alongadas, em vales encaixados, que convergem para o mesmo curso principal,

assim definem a direção preferencial do escoamento superficial, condicionada pela geologia (FIGURA 10), pelas maiores elevações (FIGURA 12) e pela declividade (FIGURA 13), que favorecem o escoamento superficial e menor tempo de concentração até a parte central da bacia, dadas as diferenças de altitude até a calha do Arrudas (REIS, 2011).

Figura 16 – Padrões de drenagem.



NOTA: A) Dentrítico; B) Treliça; C) Retangular; D) Paralela; E) Radial e F) Anelar.

Fonte: CHRISTOFOLETTI, 1991, p.104.

Os córregos em Belo Horizonte já foram bastante alterados durante o longo processo de ocupação. Segundo Aroeira (2010), a rede hidrográfica do município compreende uma extensão total de 700 Km, sendo que 300 Km estão em áreas de preservação permanente e 400 Km estão inseridos na malha urbana, sendo metade em leito aberto e a outra em leito canalizado, como representado na figura 14. A base cartográfica disponibilizada pela PRODABEL para caracterização dessa tipologia atualmente encontra-se desatualizada, em

função do fechamento do Ribeirão Arrudas, através da instalação do Boulevard Arrudas<sup>29</sup>, no sentido leste-oeste, para aumento das vias rodoviárias.

Ao comparar as figuras 9 e 14, verifica-se que dentro do polígono da Av. do Contorno são praticamente inexistentes córregos em leito natural, devido às políticas de saneamento e apropriação histórica do espaço urbano, planejada no sentido centro-periferia e ocupada no sentido inverso. Ainda, nota-se que dos 200 Km que se encontram em leito natural na mancha urbana, grande parte deles tem seus leitos ocupados por ZEIS, como ao longo do córrego Olaria, Olhos D'água, nas nascentes do Córrego da Serra, Córrego Taquaril, Córrego São José, Ribeirão Pampulha, Ribeirão do Isidoro, Ribeirão do Onça, etc.

Segundo CBH Rio das Velhas (2012), os ribeirões Arrudas e Onça são responsáveis pela drenagem da maior parte dos esgotos da RMBH, o que compromete a qualidade das águas do Rio das Velhas. Os dois ribeirões encontram-se bastante degradados em função da diminuição das áreas de drenagem e ocupação desordenada de encostas e fundos de vale. Nas áreas ribeirinhas, os solos residuais de gnaiss são expostos às inundações devido ao solapamento das margens e ao assoreamento, o que provoca obstrução dos canais em função desse assoreamento aliado ao lançamento de resíduos sólidos nos córregos (PALOUCCI, 2012).

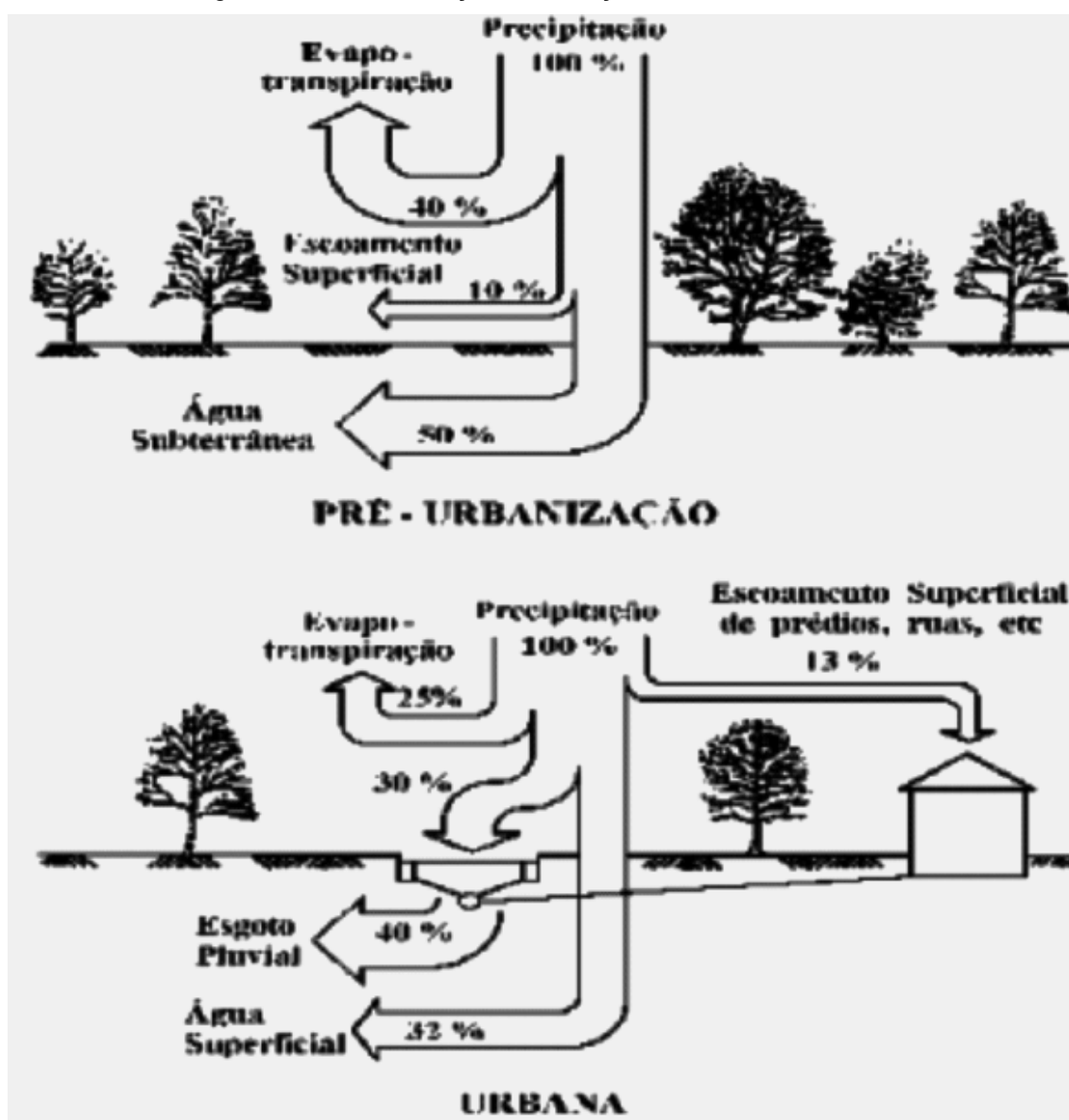
Segundo Tucci (2003), o ambiente urbano altera o ciclo hidrológico, provocando vários efeitos no sistema de drenagem e no meio ambiente. O volume de água que ficava retido nas copas das árvores, que percolava o solo, passa a ser escoado por condutos, aumentando o escoamento superficial, o que gera uma série de efeitos, como o aumento do pico de vazão, demanda de maior capacidade do canal e maiores áreas de inundação no período das cheias. A figura 17 ilustra as alterações do ciclo hidrológico em função do processo de urbanização.

---

<sup>29</sup> Segundo Belo Horizonte (2014), já foram investidos R\$ 210.010.000,00 entre 2010 e 2013, através de orçamento do Governo Municipal e Federal, para o fechamento de 3,7 Km do Ribeirão Arrudas. Os objetivos das obras são: melhorar as condições de mobilidade, priorizar o transporte coletivo e criar espaços de circulação de pedestres, para tanto foram necessárias obras de recuperação estrutural da laje de fundo, paredes e estrutura de recobrimento do canal e criadas novas pistas para o transporte coletivo, acrescidos de elementos paisagísticos, ciclovia e viaduto de transposição da linha férrea. Disponível em:

[http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pldPic=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=transparenciacopa2014&lang=pt\\_BR&pg=9841&tax=26881](http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pldPic=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=transparenciacopa2014&lang=pt_BR&pg=9841&tax=26881). Acesso em: 28 de março de 2014.

Figura 17 – Caracterização do balanço hídrico em uma bacia urbana.



Fonte: TUCCI, 2003, p. 90.

Dentre os impactos da alteração do ciclo hidrológico, Tucci (2003) destacou: a redução da infiltração do solo e contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos, o que tende a diminuir o nível do lençol freático em função da falta de alimentação, assim como sua contaminação, devido à vazamentos na rede cloacal, o aumento de sedimentos em função dos loteamentos, além da presença de lixos e “bota-foras”, o que resulta na diminuição da capacidade de escoamento dos condutos e a ocupação de áreas ribeirinhas com risco de inundações e solapamento dos leitos dos rios, gerando áreas degradadas, que se intensificam com o período chuvoso.

Segundo Paolucci (2012), ao estudar os processos hidrometeorológicos em Belo Horizonte de 1998 a 2011, o grave problema da poluição hídrica contribui para o aumento de

enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas<sup>30</sup>, principalmente no início da estação chuvosa. Segundo Tucci (2003), nas áreas urbanas consolidadas, os impactos das chuvas se devem, em grande parte, à gestão de resíduos sólidos, como frequência e cobertura da coleta de lixo, limpeza das ruas e disposição final dos lixos e bota-foras.

De acordo com Tucci (2003), a qualidade da água de escoamento nos centros urbanos não é melhor que a do efluente de um tratamento secundário, em função da quantidade de material suspenso na drenagem pluvial, muitas vezes, superior ao esgoto *in natura*. O autor ressaltou que os poluentes que ocorrem em áreas urbanas variam muito, desde compostos orgânicos a metais pesados. Eles são levados para os cursos d'água nos primeiros 25 mm da estação chuvosa e concentram 95% da carga, o que caracteriza que o pico de concentração para uma área urbana após um período seco é alto, antes do pico do hidrograma, mesmo com pequena vazão.

Outro impacto gerado pela alteração do ciclo hidrológico é a contaminação dos mananciais, pelo despejo de esgotos doméstico-industriais e pluviais. Além do despejo de efluentes nos rios e córregos, é comum a contaminação do solo pelas perdas de águas pluviais, por entupimento de trechos da rede que pressionam a água contaminada para fora do sistema de condutos. As águas destinadas ao abastecimento das cidades brasileiras são em grande maioria coletadas de reservatórios superficiais. Tucci (2003) ressaltou que, apesar da legislação brasileira garantir a preservação das áreas de nascentes, proibindo a ocupação urbana e outros usos que possam comprometer a qualidade das águas de abastecimento, muitas vezes, tais áreas são ocupadas a montante, em função do crescimento das cidades.

Felippe e Magalhães Jr (2009), ao realizar um levantamento das condições macroscópicas das nascentes em Belo Horizonte, em três unidades de conservação, mostraram que as características de ocupação estão diretamente relacionadas com o grau de proteção das nascentes. Segundo os autores, em Belo Horizonte, mais de 95% do abastecimento de água é realizado por captações superficiais, no entanto, a grande maioria das nascentes

---

<sup>30</sup> Segundo o IPT (2007), enchentes correspondem à elevação temporária do nível d'água em um canal de drenagem devido ao aumento da vazão ou descarga. Já a inundação corresponde ao processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito maior do rio). Os alagamentos correspondem ao acúmulo momentâneo de águas em uma dada área decorrente de deficiência do sistema de drenagem. As enxurradas se devem ao escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, são comuns em vias implantadas sobre antigos cursos d'água com alto gradiente hidráulico e em terrenos com alta declividade natural. Para Amaral e Ribeiro (2012), a magnitude e frequência das enchentes e inundações se devem à intensidade e distribuição espacial da precipitação, como também da taxa de infiltração, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem.

está em condições de fragilidade ambiental devido a descargas de esgoto à montante, assim como ao adensamento populacional e à alta taxa de impermeabilização, o que compromete a qualidade da água. As áreas classificadas com bom nível de preservação encontram-se no Parque das Mangabeiras devido à maior área de proteção e à proximidade com o interflúvio.

Tucci (2003) também destacou os impactos sobre os aspectos atmosféricos. Segundo Barry e Chorley (2013), as modificações urbanas alteram o fluxo de energia entre a superfície e a camada limite<sup>31</sup>. O balanço de energia de áreas revestidas de obra civil é caracterizado pelo aumento de 20 – 30% de radiação líquida, em todos os comprimentos de onda, através da elevação do fluxo de calor sensível e diminuição do fluxo turbulento de calor latente.

Segundo Assis (2010), em Belo Horizonte foram identificados três núcleos de aquecimento: um no hipercentro (I), médio curso do Ribeirão Arrudas, um segundo na região central de Venda Nova (II), alto curso do Ribeirão Isidoro e outro a montante do Onça, entre a Regional Pampulha e Noroeste (III). A partir da tabela de intensidade de ilha de calor (LÓPEZ-GÓMEZ, 1993), o autor classificou a intensidade do núcleo I de moderado (2,0°-3,9°C) durante o dia e forte (4,0°-5,9°) durante a noite, já os outros núcleos foram moderados durante a noite e início da manhã e muito fortes durante a tarde (>6,0°C).

A ausência de corpos hídricos, tanto devido ao seu tapamento, como pela rápida remoção através do escoamento superficial pelos canais de drenagem, também reduzem a evaporação local. Assis (2010) observou diferenças significativas de umidade relativa entre os pontos mais urbanizados e aqueles próximos às áreas vegetadas e corpos hídricos em Belo Horizonte, particularmente sob atuação de sistemas atmosféricos estáveis. Os pontos de maior teor de umidade foram próximos ao Parque Municipal, Mangabeiras e Lagoa da Pampulha.

Assis (2010) destacou que as áreas verdes, remanescentes em parques e áreas de proteção, são controladoras dos sistemas atmosféricos por caracterizar locais com melhores condições de conforto climático, devido às temperaturas mais amenas e melhores taxas hígricas. O fluxo de energia nessas áreas se dá, também, por causa do calor latente de evaporação, que transfere energia para além da camada limite, resfriando o ar próximo à

---

<sup>31</sup> Dada as variadas escalas de ocorrência dos fenômenos atmosféricos, a camada limite refere-se àqueles de escala topoclimática à local. Segundo Barry e Chorley (2013), a camada limite tem escala horizontal de aproximadamente 10Km, temporal 10<sup>5</sup> segundos e vertical de 1 Km, podendo variar de 20m a vários quilômetros, em diferentes locais ou diferentes momentos de um mesmo local. São processos de difusão mecânica e convectiva que transportam massa, momento e energia, além de trocarem aerossóis e substâncias químicas entre a atmosfera inferior e a superfície da Terra.

superfície. Nas áreas de maior impermeabilidade do solo, com presença de concreto e asfalto, predomina o fluxo de calor sensível.

As alterações do ciclo hidrológico geram também as inundações, que Tucci (2003) classifica em áreas ribeirinhas e/ou em função da urbanização. As áreas de inundação são aquelas classificadas como leito maior, em que as águas do rio no período de cheia as ocupam em decorrência do processo natural de dinâmica fluvial. O impacto decorre da ocupação histórica desses leitos nos períodos de seca, que tanto ocorreram pela urbanização formal, em função da ausência de dispositivos legais que regulassem a ocupação urbana, como pela população de baixa renda, de forma ilegal. Apesar de constar nos atuais Planos Diretores, a preservação das matas ciliares, ainda são muitos os processos de ocupação irregulares.

As inundações e enchentes aumentam a sua frequência e magnitude devido à complexidade de fatores que caracterizam o espaço urbano. O desenvolvimento e crescimento das cidades também geram obstruções ao escoamento, por aterros e pontes, drenagens inadequadas, entupimentos e assoreamento. Tucci (2003) lista uma série de fatores de infraestrutura urbana que causam as inundações, entre elas o gerenciamento das águas pluviais só por medidas estruturais, através de obras de drenagem.

O processo histórico de canalização dos rios e córregos em áreas urbanas, no Brasil, se deu através da canalização de trechos críticos, o que Tucci (2003) denominou de visão particular de um trecho da bacia, sem que as consequências sejam previstas para o restante da mesma ou dentro de diferentes horizontes de ocupação. A canalização dos pontos críticos tem como principal consequência a transferência dos pontos de inundação. Segundo o autor, o processo inicial de urbanização a jusante faz com que as inundações a montante funcionem como reservatório de amortecimento, quando o processo de urbanização se intensifica e a canalização se completa, volta às ocorrências de enchentes a jusante.

Segundo Nascimento e Aroeira (2006), a política de gestão de recursos hídricos em Belo Horizonte, até a década de 90, pautou-se na impermeabilização e fechamento dos córregos, principalmente daqueles inseridos na mancha urbana. Os autores ressaltaram que entre as vantagens, destacam-se: aumento de velocidade do fluxo no canal, o que reduz as ocorrências de inundações, a facilidade de implantação de canais interceptores da rede coletora de esgotos, facilidade de manutenção, diminuição dos riscos à saúde da população, em função da diminuição do contato com águas poluídas e preferência da população

ribeirinha, que considera uma solução estética aos problemas de poluição dos córregos urbanos, e ainda, ampliação dos eixos viários.

Isso se deve à forma de pensar a partir da abordagem clássica ou convencional para o sistema de drenagem urbana. Essa abordagem se baseia na somatória de ideias vindas, principalmente, da França (a concepção higienista) e dos Estados Unidos da América (método racional, positivista). Os higienistas pregavam a evacuação rápida de águas pluviais, por considerar os empoçamentos como fontes de doenças e os racionais-positivistas tinham uma interpretação muito mecanicista dos fenômenos relacionados à drenagem, sem levar em conta o quão complexos são os efeitos da urbanização sobre o ciclo natural da água. Assim, os projetos de drenagem implementados em Belo Horizonte até os anos 1990 tinham como foco o aumento da velocidade dos escoamentos superficiais – revestindo as calhas e tornando-as retilíneas, além da implantação de avenidas sanitárias<sup>32</sup>, tão comuns na capital (CHAMPS, 2008).

Na década de 70, já havia sido canalizado um total de 33,27 Km dos córregos de Belo Horizonte. A bacia do Arrudas correspondia a um total de 30,4 Km, sendo os maiores trechos aqueles que desembocam na área central, como o Córrego do Leitão, Acaba Mundo e Serra, seguidos do Pastinho e da Mata, todos eles transformados em avenidas sanitárias (PLAMBEL, 1975). Na bacia do Onça já havia 2,8 Km de canalização, devido ao fechamento dos córregos Cachoeirinha e Engenho Nogueira.

As obras de canalização se deram em função da ocupação, já que a pressão demográfica gerava um grande aporte de esgotos lançados nos córregos. Segundo a PLAMBEL (1975), na década de 70 havia 20 Km<sup>2</sup> de área urbanizada, o que demandava 1400 Km de rede coletora de esgotos, entretanto só 85 Km havia sido construído, o que representava somente 6,1% de atendimento<sup>33</sup>.

Nascimento e Aroeira (2006) destacaram que a aparente simplicidade na gestão dos recursos hídricos do último século, em Belo Horizonte, levou a utilização de métodos simples para calcular a dimensão da canalização. Durante o período, não houve

---

<sup>32</sup> Cardoso e Baptista (2009) conceituam em estruturação do sistema viário junto aos fundos de vales.

<sup>33</sup> Segundo Nascimento e Aroeira (2006), em Belo Horizonte, a rede coletora de esgotos é separada da rede de águas pluviais. Entretanto, ligações clandestinas entre elas são comuns, assim como despejo de esgotos nos córregos. Atualmente, são 4071,4 Km de rede coletora, que atinge cerca de 95% da população. Do total de economias, 59,51% são interligadas à Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), segundo dados referentes a dezembro de 2013. Fonte: <http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infolid=657&sid=259>. Acesso em: 03 de março de 2014.

investimentos no gerenciamento de águas pluviais, assim como no monitoramento do fluxo e qualidade de água. Uma das consequências desse planejamento do escoamento superficial, que não requerem dados observados, foi a subestimação do risco de inundação e seus respectivos efeitos.

Segundo Paloucci (2012), a partir da década de 90 se iniciaram, no município de Belo Horizonte, medidas não-estruturais<sup>34</sup> de prevenção de riscos hidrológicos. Foi implantado o Programa Estrutural em Áreas de Risco (PEAR), em 1993, pela URBEL, que valoriza medidas de planejamento de uso do solo, bem como o aperfeiçoamento da legislação de segurança contra desastres. O programa fez um extensivo diagnóstico dos riscos geológico-geotécnicos nas vilas e favelas, com vistorias individualizadas, ações preventivas durante o ano e de monitoramento no período chuvoso. As ações do PEAR contaram com uma política de execução de obras, doação de material e assistência técnica, seguidas de ações de remoções temporárias e definitivas nas áreas de maior vulnerabilidade aos desastres geotécnicos (PBH, 2006).

Nesse mesmo período, se iniciaram algumas investigações como diretrizes para proposição de metodologias de gerenciamento dos riscos hidrológicos pela COMDEC. Como projeto integrador do PEAR, foram criados pela Defesa Civil 45 Núcleos de Defesa Civil (NUDEC), como instrumento de gestão compartilhada, constituída por moradores e lideranças que atuam na prevenção, monitoramento e fiscalização das áreas de risco (PBH, 2006).

As medidas não-estruturais em evidência no início da década de 90 também pautaram-se em projetos de revitalização dos cursos d'água. Segundo Ennes (1998), o primeiro Programa de Saneamento Ambiental das Bacias do Arrudas e Onça da Região Metropolitana (PROSAM) foi criado em 1993 com o objetivo de revitalização da qualidade da água do Rio das Velhas, com prioridade em cinco subprojetos: drenagem, esgotos sanitários e industriais, resíduos sólidos, recuperação ambiental, gestão ambiental e gerenciamento e projetos complementares. A partir da implantação desse projeto foi que se priorizou a instalação das Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), tanto no baixo curso do Arrudas, como do Onça. Ele também priorizou canalização e urbanização das áreas de

---

<sup>34</sup> Segundo Tucci (2003), o controle de vazão na macrodrenagem pode ser realizado por medidas estruturais e não-estruturais. As estruturais correspondem a obras, como canalização, reservatório de amortecimento e diques em combinação com polders. As não-estruturais são aquelas relacionadas ao zoneamento de áreas de inundações, através da regulamentação do uso do solo com risco de inundação, ocupação com áreas de lazer, medidas de alertas, seguros contra inundações e previsão em tempo atual, entre outras.

várzea dos ribeirões Arrudas, Onça, Sarandi e do córrego Ferrugem (em Contagem), além do término das respectivas redes coletoras e das ligações prediais.

O segundo projeto, desdobramento do primeiro, foi o Programa de Recuperação e Desenvolvimento Ambiental da Bacia da Pampulha (PROPAM), criado em 1994 para conter a degradação do meio ambiente e a ameaça de inundações na lagoa, por meio de ações de preservação das nascentes, tratamento das águas e educação ambiental voltada para a comunidade local (ENNES, 1998). Segundo Tucci (2003), só a interação entre as medidas estruturais e não-estruturais são passíveis de gerenciamento de resíduos sólidos nos cursos d'água. Para exemplificar, o autor cita a Lagoa da Pampulha, que recebeu  $2.436 \text{ m}^3/\text{Km}^2$  de sedimentos por área, entre 1957–1994, o que fez com que a mesma perdesse uma de suas funções, como barragem de retenção de cheias, assim como ocorrera com as barragens Santa Lúcia e Acaba Mundo, afluentes do Ribeirão Arrudas, que passaram a designar outras funções urbanas.

Segundo Costa, Bontempo, Knauer (2008), com o desenvolvimento da gestão integrada das águas urbanas, dada as políticas públicas que pressupõem a concepção de saneamento ambiental como um direito social a ser garantido de forma universal, a PBH implantou no início da década de 2000, o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU), já previsto na Lei nº 7.165/1996. Suas diretrizes básicas são: (i) a intersetorialidade e a integração de várias temáticas (a visão holística) relacionadas às inundações; (ii) necessidade de conhecer todo o sistema de drenagem; (iii) o preceito da não-transferência de prejuízos – ou externalidades negativas, principalmente para jusante; e (iv) a necessidade de estruturar a gestão municipal desse sistema de drenagem (AROEIRA, 2010).

Segundo Champs (2008), a partir de uma nova concepção de gerenciamento das águas urbanas, a PBH implantou o projeto nomeado de Programa de Revitalização Ambiental e Saneamento dos Fundos de Vale e dos Córregos em Leito Natural de Belo Horizonte (DRENURBS). O objetivo proposto foi melhorar a qualidade de vida dos moradores da cidade, por meio da recuperação e preservação dos cursos d'água do município, que ainda estão em leito natural. Para tanto, propôs o tratamento integrado dos problemas sanitários e ambientais e o incentivo à organização comunitária local. O objetivo é “reverter a degradação dos cursos d'água do município que ainda estão em seus leitos naturais e [...] buscar inovar no tratamento do saneamento ambiental e de processos participativos de gestão” (COSTA; BONTEMPO; KNAUER, 2008, p.2).

O DRENURBS previa um plano de ação implementado por etapas, cujas metas são: despoluição de 140 Km de cursos d'água, abrangendo 73 córregos de 47 bacias hidrográficas, o que corresponde a 30% do número de córregos em leito natural. O alcance espacial desse programa corresponde a 177 Km<sup>2</sup> (51% do território municipal) e influencia a vida de 45% da população. Segundo Aroeira (2010), os três grandes eixos de execução do projeto são: obras de medidas estruturais, socioambiental (baseadas na gestão compartilhada com a sociedade civil) e institucional, no sentido de instrumentalizar tecnicamente os órgãos competentes, particularmente a Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP) e COMDEC.

A partir do eixo institucional, a SUDECAP elaborou as cartas de inundação<sup>35</sup>, através de modelagem hidráulica, aplicadas a cada uma das sub-bacias pertencentes ao Arrudas e Onça. A partir dessas cartas, foram identificadas 82 áreas sujeitas às inundações. Em 2010 foi implantado o sistema de monitoramento e alerta contra as inundações, a partir do acompanhamento dos eventos de chuvas e dos níveis de água dos córregos através da instrumentalização e do gerenciamento dos eventos de chuvas pelo Centro de Informações de Alerta de Chuvas (CIAC), pertencente à COMDEC.

O projeto DRENURBS já realizou obras, com complexas transformações do espaço, em cinco sub-bacias de Belo Horizonte. Nos últimos anos, houve um investimento alto em diversas obras, tanto estruturais e não-estruturais, como na formação de mais 400 voluntários, treinados para monitorar as áreas de alta susceptibilidade e formação dos Núcleos de Alertas de Chuva (NAC), que contribuem na difusão dos alertas e remoção da população em áreas inundáveis (AROEIRA, 2010).

Como resposta aos programas de gestão de riscos, Paolucci (2012) identificou uma diminuição de impactos geológicos ao longo da década de 2000, ao contrário dos riscos hidrológicos. As ocorrências de inundações não se restringem às áreas específicas de ocupação ou obras irregulares, o que torna um problema de maior dimensão e ainda envolvem vários outros setores de gestão pública, como coleta de lixo e gerenciamento de resíduos sólidos e de saneamento.

---

<sup>35</sup> A partir da parceria da PBH com o Projeto *Sustainable Urban Waters for Tomorrow Cities's Health* (SWITCH), rede internacional de pesquisa, na qual 54 cidades desenvolvem ações no campo do manejo das águas urbanas. Em Belo Horizonte, o Projeto SWITCH iniciou-se em 2008, teve duração de dois anos, e foi desenvolvido por meio de convênio entre a PBH e a Escola de Engenharia da UFMG, tendo no Programa DRENURBS importante referencial empírico para análise e demonstração de sua potencialidade (COSTA; BONTEMPO; KNAUER, 2008).

A autora investigou os planos de ação do PEAR, na Vila São José, e do DRENURBS, na sub-bacia do Engenho Nogueira. Ela destacou que o PEAR consegue envolver mais a população nas tomadas de decisão e ainda possui ações de educação ambiental de forma mais efetiva, conseguindo diminuir os riscos de escorregamentos. O projeto DRENURBS, ainda em consolidação, prevê a implantação de grandes obras de tratamento de fundo de vale, canalização, reservatórios de contenção, que distanciam a população do empreendimento, que desalojadas das áreas sujeitas à inundação, buscarão outros lugares de sujeição ao risco hidrometeorológico. Segundo Paloucci (2012), certamente em função de uma causalidade, provocada pelo processo de formação e segregação urbana de Belo Horizonte.

#### *4.2.3 Características climáticas de Belo Horizonte*

##### *4.2.3.1 Os climas naturais de Belo Horizonte*

A caracterização climática de Belo Horizonte é dada pelo comportamento sazonal dos sistemas atmosféricos de escalas superiores que determinam o comportamento das variáveis meteorológicas próximas à superfície, como temperatura, umidade, vento, precipitação, etc, que apresentam comportamentos habitualmente recorrentes ao longo das diferentes estações do ano. As características climáticas de uma dada área só são possíveis de serem compreendidas na inter-relação dessas escalas, que possuem uma gama de fatores entre a superfície e a atmosfera que se complexificam proporcionalmente à diminuição da escala geográfica.

Segundo Mcgregor (2006), a climatologia não é apenas uma análise de dados descritivos do comportamento médio de variáveis atmosféricas, paradigma fundamental para as análises de Monteiro (1969) a partir das reflexões de Max Sorre, publicado em 1934. O autor inverte a noção abstrata de que o clima é o “tempo médio” e sugere que o entendimento atual é das condições de tempo possíveis, limitadas pelas características típicas de um clima, que são recorrentes ao longo do tempo, dadas as suas variabilidades naturais, a partir de complexas interações entre as diferentes esferas, como hidrosfera, criosfera, biosfera, que só são possíveis de serem compreendidas a partir das teleconexões<sup>36</sup> entre elas.

---

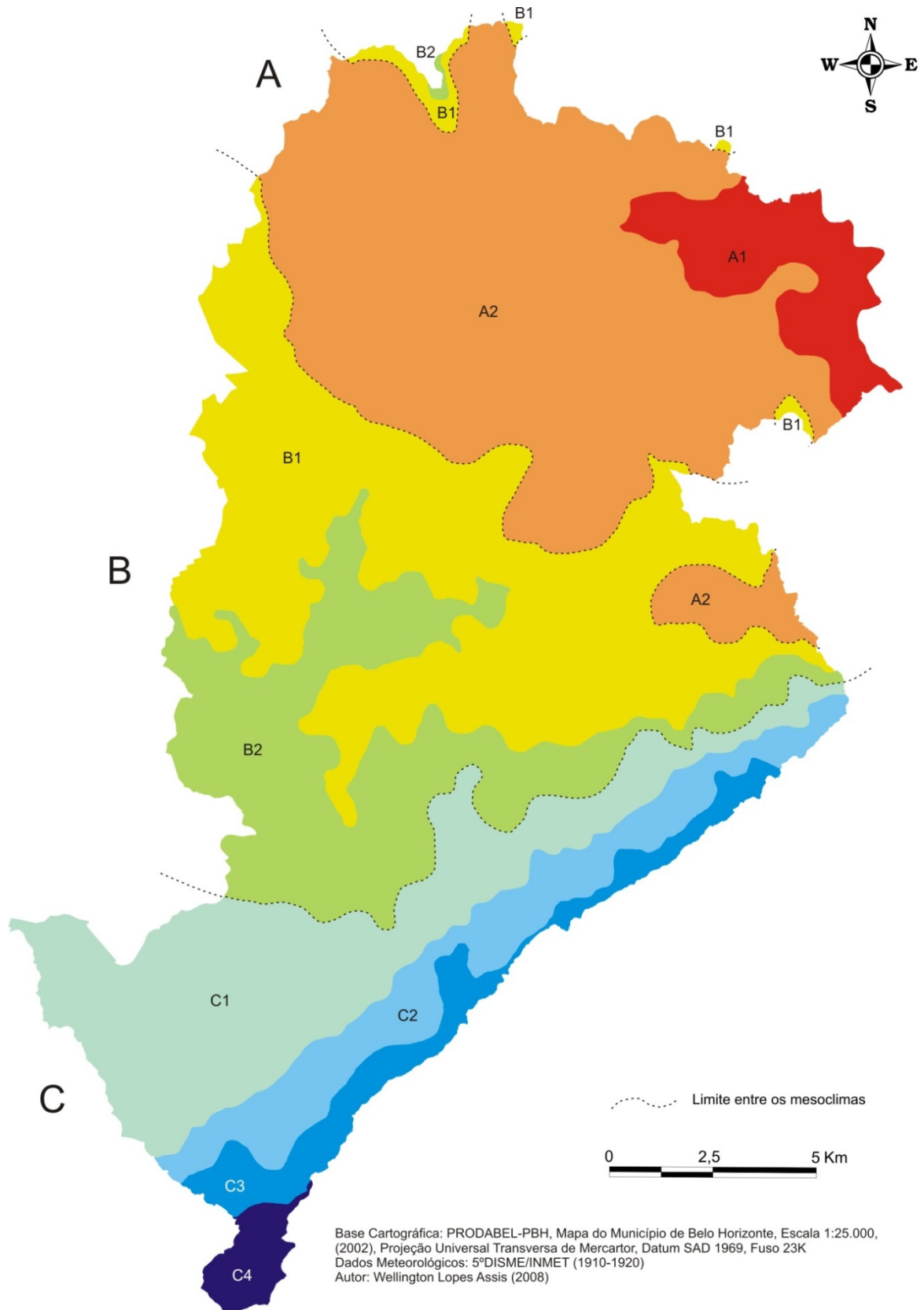
<sup>36</sup> Segundo Barry e Chorley (2013), teleconexão refere-se a ligações entre variáveis atmosféricas e oceânicas por longas distâncias. Para Cavalcanti e Ambrizzi (2009), o termo é muito utilizado para definir a relação de anomalias climáticas entre regiões distintas do globo.

As características típicas do clima de Belo Horizonte foram observadas desde o projeto de implantação da capital, final do século XIX, descritas por Assis (2010). O autor, ao realizar um minucioso estudo dos climas naturais de Belo Horizonte, a partir de dados coletados pelo antigo posto meteorológico de Belo Horizonte, entre 1910 e 1920, propôs um mapa das Unidades Taxonômicas dos Climas Naturais.

Na escala local, o município foi dividido em duas grandes unidades: Clima Tropical de Altitude da Depressão Belo Horizonte e Clima Tropical de Altitude das Serras do Quadrilátero Ferrífero. A espacialização e delimitação de cada unidade (local, meso e topo) foram determinadas pela homogeneidade dos parâmetros meteorológicos dados pelas condicionantes topográficas. A partir desses parâmetros, o autor identificou três unidades mesoclimáticas, denominadas de A (as áreas de elevação topográfica menor de 800 m), B (800 – 1000 m) e C (acima de 1000 m de altitude), e oito unidades topoclimáticas, identificadas a partir da variação altimétrica a cada 100 m.

A figura 18 representa os climas naturais identificados por Assis (2010), e a Tabela 8 descreve as características de cada unidade climática, a partir da descrição das feições geomorfológicas e das médias de temperatura e UR. Observa-se que as temperaturas mais elevadas correspondiam ao mesoclima A. O topoclima A1 era a área mais quente do município, onde a temperatura média variava entre 20,4° a 20,9°C, a média da máxima de 26,4° a 26,9°C e a média da mínima de 15,3° a 15,8°C e a UR era de 74,5 a 75%, caracterizados pela presença de vales encaixados, com seções em forma de V, na confluência do Ribeirão do Onça com o Rio das Velhas. O topoclima de maior extensão territorial era o A2, correspondente à bacia do Onça, que apresenta relevo suavemente ondulado com presença de colinas de topos achatados e vales abertos de direção W-E. As médias de temperatura, média, máxima e mínima eram 0,4°C menores que o topoclima A1 e a média da UR era a mesma.

Figura 18 – Unidades Climáticas Naturais do Município de Belo Horizonte



Fonte: ASSIS, 2010, p.104.

Tabela 8

## Unidades Climáticas Naturais do Município de Belo Horizonte

Unidades Climáticas			Fatores Climáticos			Elementos Climáticos			
Clima Local	Mesoclima	Topoclima	Altitude (m)	Morfologia do Terreno		Temperatura do Ar (°C)			UR (%)
				Principais Características	Orientação	Média	Máxima	Mínima	
I - Clima Tropical de Altitude da Depressão de Belo Horizonte	A	A1	675 - 700	Colinas com topos aguçados e vertentes retilíneas na confluência do ribeirão do Onça com o rio das Velhas. Presença de espigões e vales encaixados com seções em forma de "V".	NW - SE	20,4 - 20,9	26,4 - 26,9	15,3 - 15,8	74,5 - 75,0
		A2	700 - 800	Relevo suavemente ondulado com presença de amplas colinas de topos achatados e vales abertos de fundo chato do ribeirão Pampulha-Onça.	W - E	20,0 - 20,4	26,0 - 26,4	14,9 - 15,3	
	B	B1	800 - 900	Relevo ondulado e suavizado da Depressão de Belo Horizonte com vertentes côncavas e vales abertos côncavos. Na porção central e Oeste topos abaulados com vertentes retilíneas e vales côncavos. No extremo Norte do município destacam-se as feições dos espigões do Engenho Nogueira e Venda Nova com vertentes íngremes e ravinadas, cercadas por vales encaixados.	W - E	19,7 - 20,0	25,7 - 26,0	14,6 - 14,9	73,5 - 74,0
		B2	900 - 1000		NNW - SSE	19,3 - 19,7	25,3 - 25,7	14,2 - 14,6	73,0 - 73,5
II - Clima Tropical de Altitude das Serras do Quadrilátero Ferrífero	C	C1	1000 - 1100	No limite entre os municípios de Belo Horizonte e Nova Lima existem cristas e escarpas da Serra do Curral com vertentes retilíneas ravinadas e vales encaixados em forma de "V". A linha de crista da Serra do Curral desenvolve-se por altitudes entre 1150m e 1510m, disposta na direção Sudoeste-Nordeste. Presença de subcompartimentos moderadamente ondulado entre 1100m a 1200m, assemelhando-se a pequenos tabuleiros em meio a sítios profundamente dissecados. No extremo Oeste do regional Barreiro ocorrência de relevo colinoso do ribeirão Arrudas, colinas alongadas, topos abaulados com vertentes convexas e vales côncavos.	SW - NE	18,8 - 19,3	24,8 - 25,3	13,7 - 14,2	72,5 - 73,0
		C2	1100 - 1200			18,0 - 18,8	24,0 - 24,8	12,9 - 13,7	72,0 - 72,5
		C3	1200 - 1300			17,1 - 18,0	23,1 - 24,0	12,0 - 12,9	71,5 - 72,0
		C4	1300 - 1510			15,7 - 17,1	21,7 - 23,1	10,6 - 12,0	71,0 - 71,5

Base Cartográfica: PRODABEL-PBH, Mapa do Município de Belo Horizonte, Escala 1:25.000, (2002), Projeção Universal Transversa de Mercator, Datum SAD 1969, Fuso 23K  
 Caracterização Geomorfológica: adaptado de PLAMBEL (1984), BAUMGRATZ (1988) e FERREIRA (1997)  
 Dados Meteorológicos: IDISME/INMET (1910-1920)  
 Autor: Wellington Lopes Assis (2008)

Fonte: ASSIS, 2010, p. 105.

O mesoclima B compreende à faixa central do município no alongamento W-E, localizado sobre a depressão belo-horizontina. As diferenças hipsométricas entre os topoclimas B1 e B2 é de 200 m, o que caracterizou uma diferença de 0,7°C entre as temperaturas médias, máximas e mínimas e a UR variou entre 73% (B2) e 74% (B1). Assis (2010) ressaltou que nesse período de observação, a vegetação tanto do mesoclima A, como do B, possuía formações originais, inseridos na faixa de transição entre a Floresta Ombrófila Semidecidual Mista e as formações típicas de Savana (IBGE, 2004), o que contribuía para maiores valores médios de UR, comparados aos dias atuais.

O mesoclima C corresponde à Unidade Climática denominada de Clima Tropical de Altitude das Serras do QF. Esse mesoclima apresenta quatro topoclimas que apresentam características morfológicas semelhantes, configurados pelas diferenças altimétricas dadas pelas diversas formações da Serra do Curral. As diferenças hipsométricas entre C1 e C4 correspondem a 510 m, caracterizadas pelas vertentes mais inclinadas do município, como representado na figura 13.

Segundo Assis (2010), o topoclima C1 ocupa uma área de relevo ondulado, com colinas alongadas e pequenas escarpas de vales encaixados, com altitudes entre 1000 e 1100m, o que caracterizou temperaturas um pouco menores, comparadas ao topoclima B2, e umidade relativa média anual pouco mais baixa. A temperatura média anual variou entre 18,8°–19,3°C, a máxima entre 24,8°–25,3°C e a mínima entre 13,7°–14,2°C. A UR entre 72,5 e 73%.

Os topoclimas C2, C3 e C4 correspondem às escarpas da Serra e linha de crista, de alongamento NE-SW, com vertentes ravinadas e vales encaixados. As diferenças de temperatura entre eles para as temperaturas anuais médias, máximas e mínimas correspondem a 2,3°C e 1% de UR, sendo de 15,7°C–18°C, 21,7°C–24,8°C e 10,6°C–12,9°C e 71%–72%.

Assis (2010) comparou as médias mensais de temperatura média, máxima, mínima, umidade relativa do ar, precipitação e evaporação total, entre 1911–1928, 1931–1960, 1961–1990 e 1986–2009<sup>37</sup>. A temperatura média anual na primeira série foi 20,4°C, da segunda 20,7°C, da terceira 21,1°C e da quarta 21,9°C. O trimestre mais quente em Belo Horizonte se dá nos meses de janeiro, fevereiro e março e o mais frio nos meses de junho, julho e agosto. A temperatura média do trimestre mais quente apresentou uma elevação de 1,5°C, como a diferença de temperatura média entre as séries observadas, e a temperatura média do trimestre mais frio apresentou uma elevação de 2,0°C.

A média anual da temperatura máxima foi de 26,3° entre 1911-1928, 26,5° entre 1931-1960 e 27,1°C para 1961-1990 e 1986-2009. O autor ressaltou que entre os períodos de 1961-1990 e 1986-2009 verificou reduções na temperatura máxima média entre 0,1° a 0,5°C para quase todos os meses, exceto para janeiro, fevereiro, abril e setembro. Já a temperatura média mínima foi a que apresentou maior variação entre os períodos analisados, 2,7°C. No primeiro período foi 15,2°C, no segundo 16,3°C, no terceiro 16,7°C e no quarto foi 17,9°C.

Segundo Assis (2010),

[...] a temperatura mínima é extremamente sensível às interferências antrópicas na mudança de uso e ocupação do solo, induzidas pela urbanização e industrialização. Modificações no balanço de energia e na temperatura da camada limite são observadas em curto prazo e tendem a continuar enquanto houver alterações na cobertura superficial. Em Belo Horizonte tal processo deve-se aos reflexos provocados pela rápida expansão da mancha urbana e diminuição progressiva das áreas verdes a partir da segunda metade do século XX (ASSIS, 2010, p.116).

Em relação à média da UR, o autor identificou o valor de 73,2% para a primeira série de dados, 71,6%, 72,2% e 66,2% para as demais. Houve uma queda de 7,0% entre 1911–2009, sendo que a mais significativa ocorreu no trimestre mais frio, 8,3%, e no trimestre mais quente a queda foi de 7,0%, como a média anual. O autor ressalta que as reduções mais significativas ocorreram após a década de 80, quando houve acelerado crescimento da

---

<sup>37</sup> A primeira série corresponde a dados observados por Giovannini (1930), as duas seguintes foram extraídas das Normais Climatológicas do INMET, e quarta foi a partir de dados do 5°DISME/INMET, desde sua instalação na localização atual.

mancha urbana de Belo Horizonte e os processos de verticalização foram mais intensos, tornando a atmosfera mais seca, particularmente na estação de inverno, quando são registrados os valores mais baixos de UR.

Para os dados de evaporação e precipitação, o autor não identificou diferenças significativas entre as séries analisadas. Os dados de evaporação foram comparados entre as duas versões das Normais Climatológicas, sendo a média anual de 1204 mm para o período de 1931–1960 e 1217 mm para 1961–1990. Houve um ligeiro aumento ao longo do ano, exceto em janeiro, julho, agosto, setembro e outubro, quando houve redução nas taxas de evaporação mensal em 1,2 mm, 2,2 mm, 3,4 mm, 1,9 mm e 8,0 mm, respectivamente.

#### 4.2.3.2 A variabilidade do total anual da precipitação em Belo Horizonte e seu entorno

Segundo Assis (2010), a média anual de precipitação no período de 1911 a 1928 foi 1551,0mm, 1473,4 e 1491,3 mm de acordo com as Normais Climatológicas de 1931–60 e 1961–90, respectivamente, e 1573,5mm, no período de 1986–2009. No período de 1962 a 2010 foi 1435,2 mm, valor menor que os registrados naqueles intervalos de tempo. A média é uma medida de tendência central determinada pelo número de elementos da amostra, como o tamanho da mesma, que determina o seu valor, é diferente, é esperado que os valores médios sejam diversos.

Para entendimento do comportamento anual da precipitação em Belo Horizonte, verificou-se, através da análise de correlação e regressão, que as estações pluviométricas do entorno da capital mineira apresentaram o mesmo comportamento. Segundo Groisman *et al.* (2005), é necessário verificar o comportamento da precipitação de séries longas a partir de uma análise espacial homogênea.

*To obtain statistically significant estimates, the characteristics of heavy precipitation should be areally averaged over a spatially homogeneous region. Otherwise, noise at the spatial scale of daily weather systems masks changes and makes them very difficult to detect (GROISMAN, et al. 2005, p. 1327).*

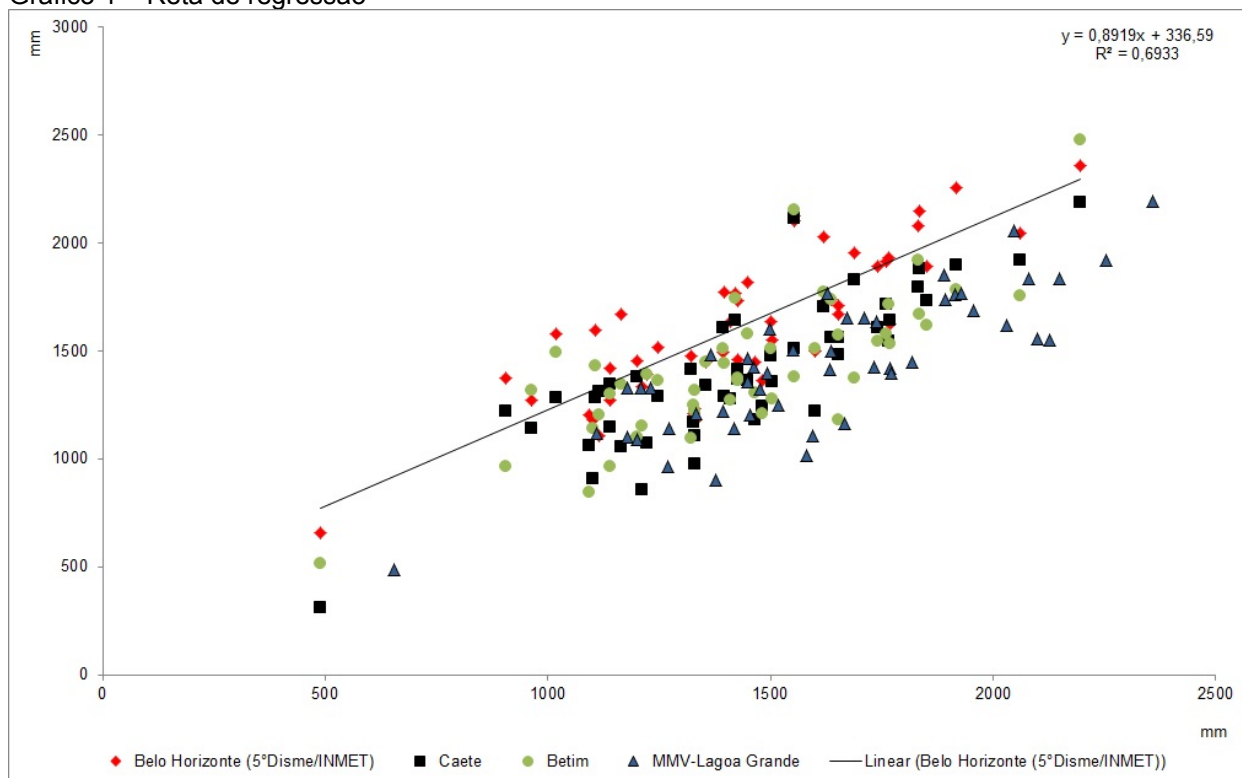
O gráfico 1, de regressão linear, mostra que o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) é 0,69<sup>38</sup>, para todas as variáveis em função da reta de distribuição dos dados do 5º Distrito. Sendo o coeficiente de correlação ( $r$ ) de 0,84 para Caeté, 0,83 para Mineradora Morro Velho (MMV)–

---

<sup>38</sup> “O valor de  $r^2$  varia entre 0–1, o valor de zero indicaria que nenhuma variabilidade em  $y$  foi explicada pela variável  $x$ , enquanto o valor de 1 implicaria que todos os resíduos são iguais a zero e que a reta de regressão se ajusta perfeitamente sobre todos os pontos observados” (ROGERSON, 2012, p.209).

Lagoa Grande, classificados como forte positiva por Crespo (2002), e 0,77 para Betim, classificado como moderada positiva. Os outros postos analisados apresentaram menor correlação: 0,69 para Pedro Leopoldo, 0,68 para Vespasiano, 0,60 para Caixa de Areia–Belo Horizonte e 0,59 para Brumadinho.

Gráfico 1 – Reta de regressão

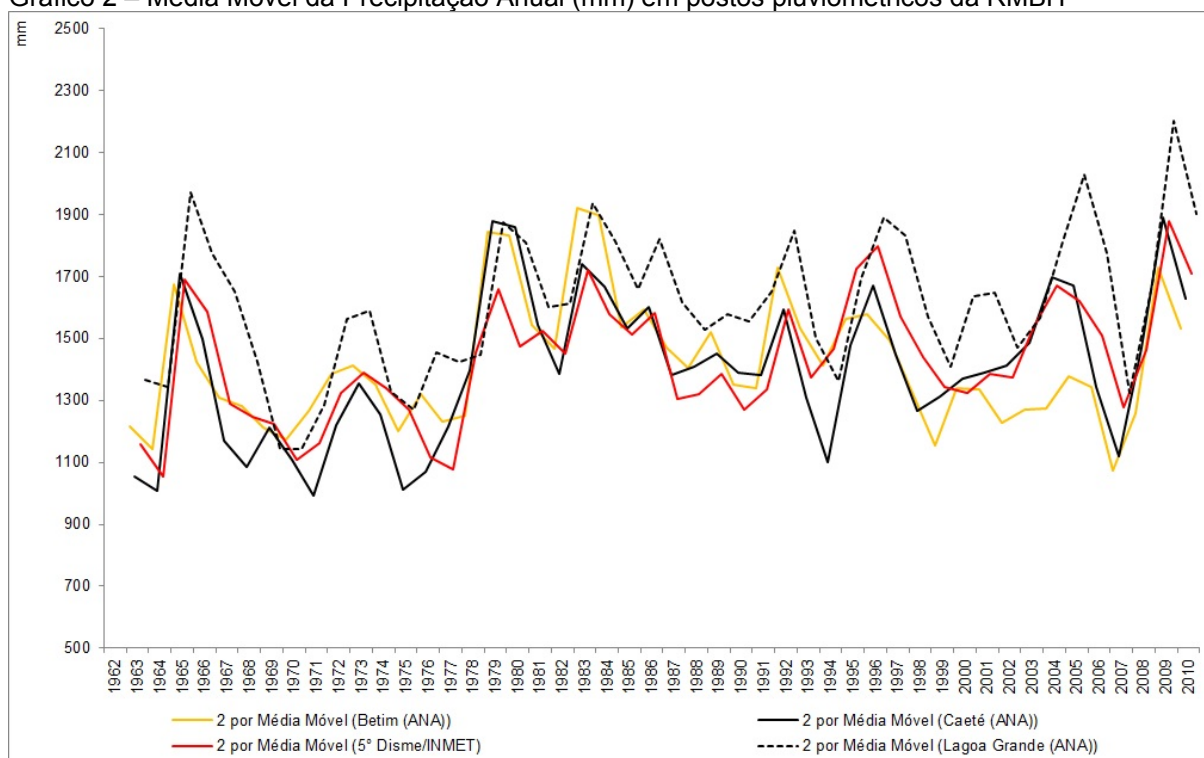


Fonte de dados: ANA; INMET.

Segundo Bisquerra, Sarriera e Martínez (2004), a existência de uma correlação significativa entre duas variáveis não é, necessariamente, uma relação de causa e efeito entre elas. “A correlação só permite afirmar que há uma variação concomitante ou covariação entre as duas variáveis. A causa [...] poderia decorrer de uma terceira variável, não contemplada na análise” (BISQUERRA, SARRIERA E MARTÍNEZ, 2004, p. 153). A variabilidade dos dados de precipitação na escala local é atribuída às diferenças hipsométricas da paisagem e às trajetórias dos sistemas atmosféricos de escalas superiores.

O gráfico 2 apresenta a média móvel do total anual de precipitação das quatro localidades representadas no gráfico 1, no período de 1962–2010. Nota-se que os dados de todos os postos apresentaram o mesmo comportamento ao longo de uma série temporal de 49 anos, dada a característica da média móvel, que permite visualizar a tendência de variabilidade da média de uma longa série temporal.

Gráfico 2 – Média Móvel da Precipitação Anual (mm) em postos pluviométricos da RMBH



Fonte de dados: ANA; INMET.

Observa-se maior altura pluviométrica em meados da década de 60, contrastando-se ao ano de 1963, de menor registro anual da série histórica de precipitação em todos os postos. A década de 70 apresentou uma tendência à diminuição, destacando-se como a década mais seca do período analisado (1962–2010). Ao final desse decênio, verifica-se uma tendência ao aumento da precipitação até o ano de 1983. O final da década de 80 foi caracterizado por uma maior variabilidade do acumulado anual de chuvas acompanhado por um aumento em meados da década de 90. A partir desse período, os totais anuais de chuvas tenderam a diminuir, e voltaram a aumentar no início da década seguinte, que se tornou mais pronunciada em meados da década de 2000.

Segundo Grimm (2009), o principal fator de variabilidade climática interanual global é o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), uma oscilação acoplada entre o oceano-atmosfera, na escala global, que produz variações da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), na pressão, no vento, na convecção tropical, com reflexos em vários lugares do planeta, inclusive no Brasil. As fases opostas dessa oscilação são chamadas de El Niño (EN) e La Niña (LN), sendo o fenômeno de EN (LN) caracterizado pelo aquecimento (resfriamento) anômalo das águas do Pacífico oriental, ao longo da costa sul-americana. Segundo a autora, para o total anual de precipitação é característica a correlação entre

anomalias positivas (negativas) durante episódios de EN (LN) ao sul de 20°S, Sul do Brasil, e condições contrárias para o Norte-Nordeste do Brasil.

Para a região centro-leste do Brasil, os índices de correlação entre as fases do fenômeno ENOS e a variabilidade da precipitação anual não são muito elevados. Minuzzi *et al.* (2006) investigou o comportamento da precipitação, durante o período chuvoso da Região Sudeste do Brasil, em anos de ocorrência de EN de 1949 a 2000, e as relações com a temperatura da superfície do mar do oceano Pacífico Equatorial e com o Índice de Oscilação Sul (IOS). Os autores identificaram que nos eventos de EN extremos (1982/83 e 1997/98) os períodos chuvosos são mais duradouros e a análise trimestral mostrou que são observadas duas tendências opostas nos extremos do Sudeste Brasileiro (SB), a precipitação tende a ser acima da média no centro-sul paulista e abaixo da média nas regiões Norte e Nordeste de Minas, eles ressaltaram que esse comportamento é coerente com as observações nas Regiões Sul e Nordeste do Brasil.

Segundo Sant'Anna Neto (2005), um dos dez princípios fundamentais para entender o clima do SB é essa variabilidade inter e intranual da precipitação, com verões chuvosos e secos, como ocorre em Belo Horizonte. Segundo Nunes, Vicente e Candido (2009), as características do clima regional são dadas pela sazonalidade da precipitação, distribuição espacial-temporal, que apresentam enorme variação inter e intranual, que refletem o “escoamento atmosférico médio, condições oceânicas vizinhas e a situação dos centros de ação e perturbações gerais, que influenciam a penetração dos sistemas atmosféricos” (NUNES, VICENTE E CANDIDO, 2009, p. 244).

#### 4.2.3.3 A sazonalidade da precipitação em Belo Horizonte e seu entorno

A sazonalidade da precipitação no SB é a principal característica climática destacada em Nimer (1979), Vianello e Alves (1991), Sant'Anna Neto (2005), Nunes, Vicente e Candido (2009) e Reboita *et al.* (2010). Segundo Alves *et al.* (2005), as variações da extensão da estação chuvosa determinam a variabilidade interanual do total de precipitação, que podem estar correlacionadas às flutuações interanuais de forçantes remotas.

De acordo com Gan, Rodrigues e Rao (2009), a duração da estação chuvosa na região central da AS varia de um ano para outro. A partir dos dados analisados por Gan, Kousky e Ropelewski (2004), os autores afirmaram que ela não se inicia antes da pênitida centrada em 15 de setembro, e nem depois de 14 de novembro, o término não ocorre antes da pênitida centrada em 03 de abril e nem depois de 03 de maio. Em média, a estação

chuvosa tem duração de 38 pântadas (190 dias), entre as pântadas centradas em 15 de outubro e 18 de março.

O SB tem como início médio climatológico da estação chuvosa a pântada 57 (08 – 12 de outubro) com um desvio padrão de  $\pm 2$  pântadas. O *onset* está associado a uma intensificação do fluxo de ventos de noroeste na faixa entre 10° e 22°S, nos baixos níveis, a partir do fluxo de ventos de umidade da Amazônia para latitudes subtropicais. O início do período chuvoso se estabelece a partir da atuação das ZCAS sobre as Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil.

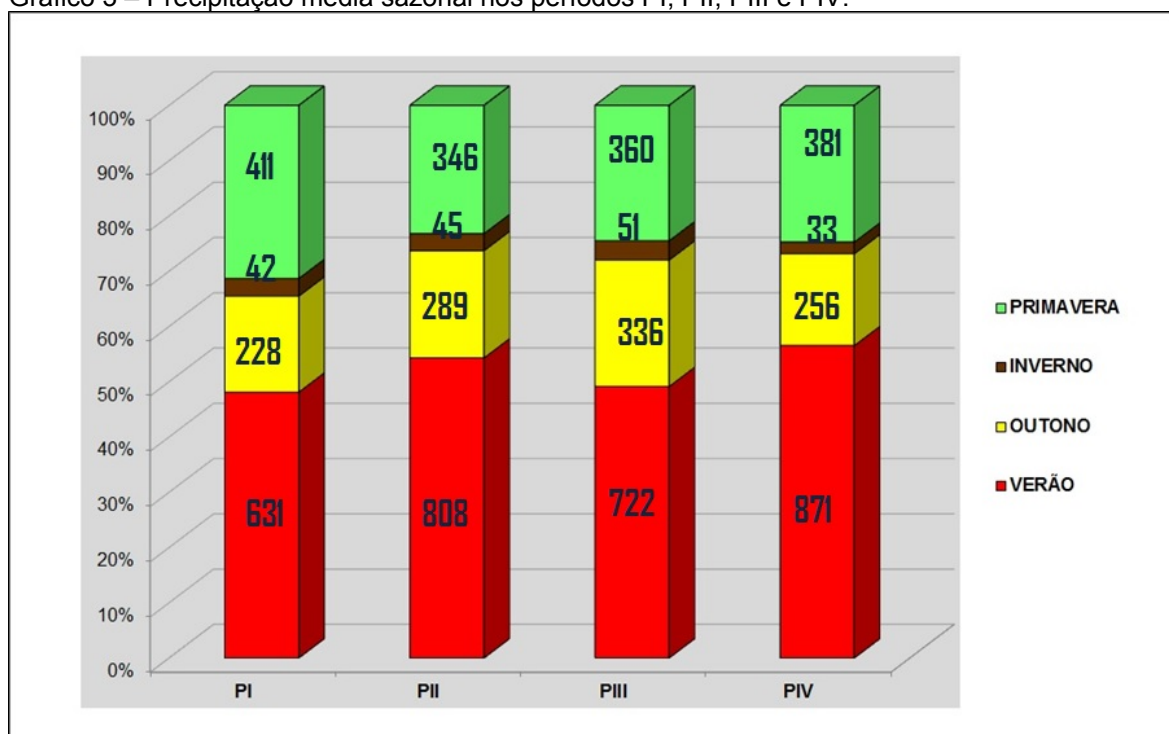
Carvalho e Jones (2009) destacaram a interação entre anomalias de TSM do Atlântico Sul e o posicionamento da ZCAS, determinando os totais de precipitação no período de outubro a março, nas regiões centrais da AS. Os autores destacaram os resultados de Chaves e Nobre (2004), que anomalias de TSM quentes (frias) sobre o Atlântico Sul tendem a intensificar (enfraquecer) a ZCAS. Carvalho e Jones (2009) ainda ressaltaram que anomalias de TSM quente (frias) na região de 20°–40°S e oeste de 30°W estão fortemente associadas a um deslocamento para o sul (norte) da ZCAS.

A partir dessas oscilações dos eixos de atuação dos sistemas produtores de precipitação no SB, Alves *et al.* (2005) ressaltaram a espacialização da variação espaço-temporal do *onset*. Na Região Sul, norte de Santa Catarina e Paraná, a estação chuvosa se inicia mais cedo, devido às FF que são mais frequentes em setembro, enquanto no norte do Mato Grosso as chuvas só se iniciam em dezembro. Minuzzi *et al.* (2007) identificaram que o início da estação chuvosa também se inicia mais cedo no litoral paulista (entre 12 e 22 de setembro), e tem maior duração (210 a 229 dias), enquanto no Vale do Jequitinhonha e no norte de Minas, o início do período chuvoso é em média entre os dias 23 de outubro e 2 de novembro e tem duração menor (136 a 155 dias). A região central de MG encontra-se numa faixa de transição entre essas duas zonas climáticas.

Segundo Minuzzi *et al.* (2007), a espacialidade do início e duração da estação chuvosa para o SB evidenciam a atuação dos sistemas sinóticos e dos aspectos geográficos, como a continentalidade, proximidade com o oceano e a interação dos sistemas atmosféricos de escalas superiores com a configuração local do relevo. Os autores destacaram a orientação da ZCAS, definidora da espacialização do total anual da precipitação, e as trajetórias comumente observadas das FF, que no final da estação seca, geralmente, são deslocadas para o Atlântico, caracterizando o início mais precoce da estação chuvosa no litoral paulista.

Em Belo Horizonte, a distribuição sazonal da precipitação é bem diferenciada entre os meses das estações chuvosa e seca. O gráfico 3 apresenta o somatório da média mensal da precipitação nas respectivas estações do ano, na década de 70 (PI), de 80 (PII), de 90 (PIII) e década de 2000 (PIV), registradas no 5°DISME/INMET. Observa-se, em todos os períodos, que as chuvas ocorreram majoritariamente nos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro), seguidos pelos meses da primavera (setembro, outubro e novembro), que juntos correspondem a mais de 75% da precipitação anual. Os meses da estação de outono (março, abril e maio), correspondem a aproximadamente 20% da precipitação anual e da estação de inverno (junho, julho e agosto), não somam 3%.

Gráfico 3 – Precipitação média sazonal nos períodos PI, PII, PIII e PIV.



Fonte de dados: INMET.

A Tabela 9 apresenta a média (MED), o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV) da precipitação por cada estação sazonal, nos postos pluviométricos de Belo Horizonte e de seu entorno no período de 1970 – 2010. Verifica-se que o comportamento da distribuição da precipitação é a mesma do gráfico 3, em todos os postos, sendo o inverno a estação mais heterogênea devido aos maiores valores CV, seguida da primavera, enquanto as estações de verão e outono são mais homogêneas, na maioria dos postos pluviométricos. No verão, a maior variabilidade ocorre no município de Sabará e os menores nos postos de Ibitaré e Caixa de Areia, maiores médias sazonais, seguido do posto de Nova Lima. Ao comparar com a média sazonal do 5° DISME, verifica-se que os municípios de Caeté, Betim, Brumadinho, Pedro Leopoldo e Vespasiano apresentam menores médias sazonais do

verão. No outono, o maior valor de CV também se verificou no posto pluviométrico de Sabará, seguido do 5° DISME, e o menor no posto de Vespasiano, segunda menor média sazonal. Os maiores valores foram registrados nos mesmos postos verificados na estação anterior, assim como os menores, em relação à estação do INMET. Na primavera, verifica-se que os postos Caixa de Areia, Ibirité e MMV–Lagoa Grande registraram a maior média, assim como nas demais estações, entretanto os valores de CV foram maiores comparados aos das estações de verão e outono. Nessa estação de primavera, os municípios de Sabará, Caeté e Betim também apresentaram maiores médias sazonais que o 5° DISME, com maiores valores de CV.

Tabela 9 - Precipitação média sazonal em Belo Horizonte e seu entorno

	5° DISME	Caixa de Areia	MMV Lagoa Grande	Sabará	Vespasiano	Caeté	Ibirité	Pedro Leopoldo	Betim	Brumadinho
<b>VERÃO</b>										
MED	757,9	955,5	840,3	739,6	674,9	766,1	961,3	666,2	748,9	714,8
DP	104,4	83,2	115,4	135,7	62,8	123,2	61,8	92,3	86,0	62,0
CV	13,8	8,7	13,7	18,3	9,3	16,1	6,4	13,9	11,5	8,7
<b>OUTONO</b>										
MED	277,2	306,5	305,6	254,3	230,9	241,8	312,8	221,6	272,8	247,4
DP	46,5	18,3	25,9	50,0	12,4	31,9	26,4	24,7	33,4	35,8
CV	16,8	6,0	8,5	19,6	5,4	13,2	8,4	11,2	12,3	14,5
<b>INVERNO</b>										
MED	42,9	44,5	54,8	39,9	35,0	39,7	50,0	33,0	38,0	43,8
DP	6,9	14,5	12,8	15,9	8,6	15,8	12,7	11,4	13,4	16,2
CV	16,0	32,7	23,3	39,8	24,6	39,9	25,5	34,5	35,3	37,0
<b>PRIMAVERA</b>										
MED	374,5	453,7	434,1	384,0	344,3	381,3	445,8	360,4	380,6	370,7
DP	24,5	68,1	32,2	71,6	51,8	38,7	45,5	38,9	55,0	75,9
CV	6,5	15,0	7,4	18,6	15,1	10,2	10,2	10,8	14,4	20,5

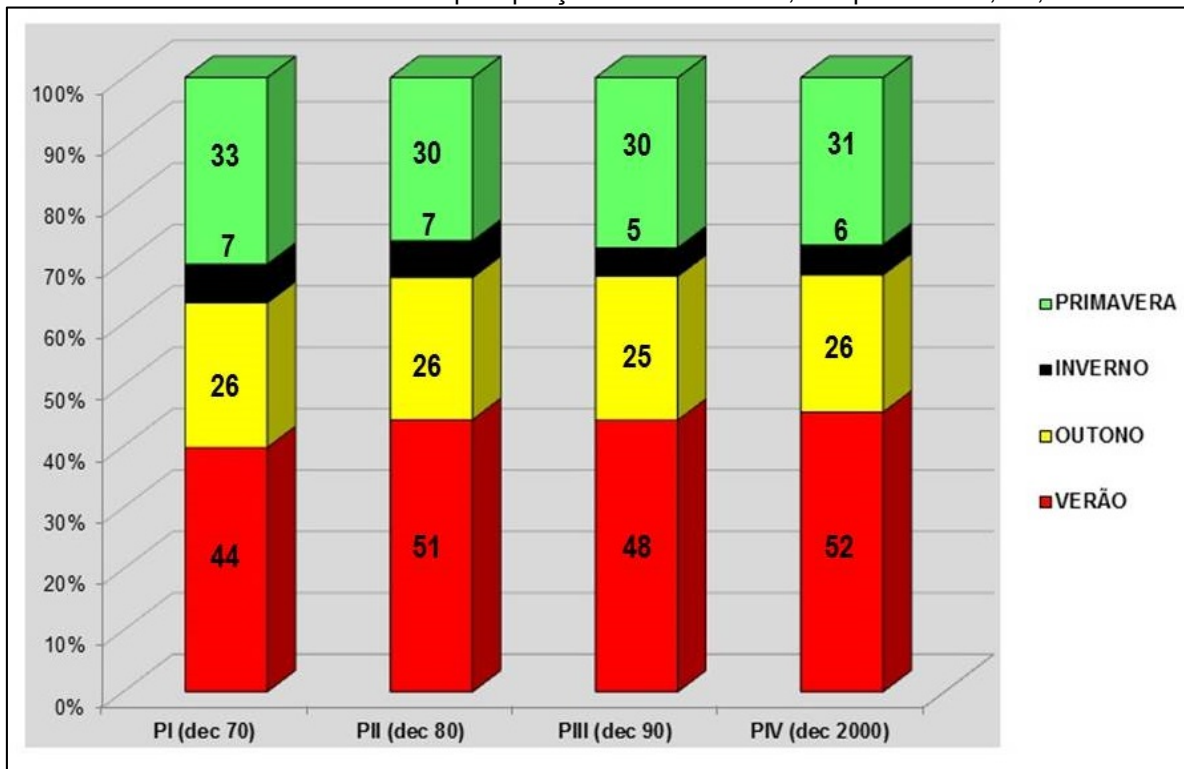
NOTA: MED é Média, DP é o Desvio Padrão e CV é o Coeficiente de Variação.

Fonte de dados: INMET; ANA .

A sazonalidade da precipitação em Belo Horizonte e seu entorno também é dada pela distribuição temporal do número médio de dias de chuvas por mês. O gráfico 4 mostra essa distribuição média do número de dias de chuvas, acima de 1mm, registrado no 5°DISME/INMET, nas respectivas estações sazonais. Observa-se que em todos os períodos analisados, a distribuição do número médio de dias de chuvas é mais homogênea

temporalmente, entre as décadas, devido a menor variabilidade, quando comparadas a precipitação média sazonal, como mostrou o gráfico 3.

Gráfico 4 – Número médio de dias de precipitação acima de 1 mm, nos períodos PI, PII, PIII e PIV



Fonte de dados: INMET.

Na década de 70 foram 110 dias, em média, de chuvas, de 80, 114 dias, de 90, 108 dias, e de 2000, 115 dias. Em torno de 43% do total médio de dias chuvosos ocorrem no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro (verão), sendo que na década de 2000 esse percentual foi de aproximadamente 46%. A estação de primavera concentrou-se em torno de 28% dos dias chuvosos, o maior percentual ocorreu na década de 70, e a estação de outono, meses de março a maio, concentra em torno de 23%. O inverno concentra em torno de 4%.

Essa sazonalidade da distribuição temporal das chuvas em Belo Horizonte se deve aos fatores da dinâmica atmosférica e aos atributos geográficos. A posição latitudinal do SB foi destacada por Nimer (1979), Sant'Anna Neto (2005), Nunes, Vicente, Candido (2009), e Reboita *et al.* (2010) como um dos grandes atributos de caracterização da sazonalidade da precipitação em função dos sistemas atmosféricos que se diferenciam devido ao aquecimento do continente no verão do Hemisfério Sul (HS). Os autores destacaram também os outros fatores que contribuem para as diversidades climáticas do Sudeste como: a rugosidade do relevo, a influência da continentalidade e a brisa marítima, entretanto esse não é um atributo importante, como uma fonte eficaz de umidade, devido à distância de Belo Horizonte à costa. Vicente-Koga (2010), cita os estudos de Yamada (1990), sobre a

influência dos fatores geográficos na precipitação do distrito de Kinki – Japão, em que os totais de precipitação mensal estavam fortemente correlacionados à distância da costa e orientação das vertentes até 80 Km, já distâncias maiores eram determinadas pelos atributos altitude e continentalidade.

#### *4.2.3.4 A influência da topografia na distribuição espacial da precipitação*

Segundo Sant'Anna Neto (2005), desde os estudos de De Martonne (1944), que os efeitos orográficos do Brasil Tropical Atlântico passaram a ser considerado na definição das tipologias climáticas, particularmente do SB. O autor destaca que 80% da região se encontra acima de 500m de altitude e 20% acima de 800m. A figura 12 mostrou que grande parte do território belo-horizontino se encontra acima desse nível altimétrico, particularmente, toda a bacia do Arrudas.

Segundo Nunes, Vicente, Candido (2009), a distribuição espacial da precipitação é fortemente influenciada pelo relevo, pela atuação das frentes e pela continentalidade. Para Sant'Anna Neto (2005), os grandes complexos morfológicos do Sudeste apresentam um alinhamento norte-sul, como o Espinhaço, por exemplo, que exerce um importante efeito na distribuição espacial das chuvas, com “ilhas úmidas” a leste, devido aos ventos úmidos de origem oceânica, e “ilhas secas” a oeste, em função do escoamento a sotavento, também chamadas de sombra das chuvas.

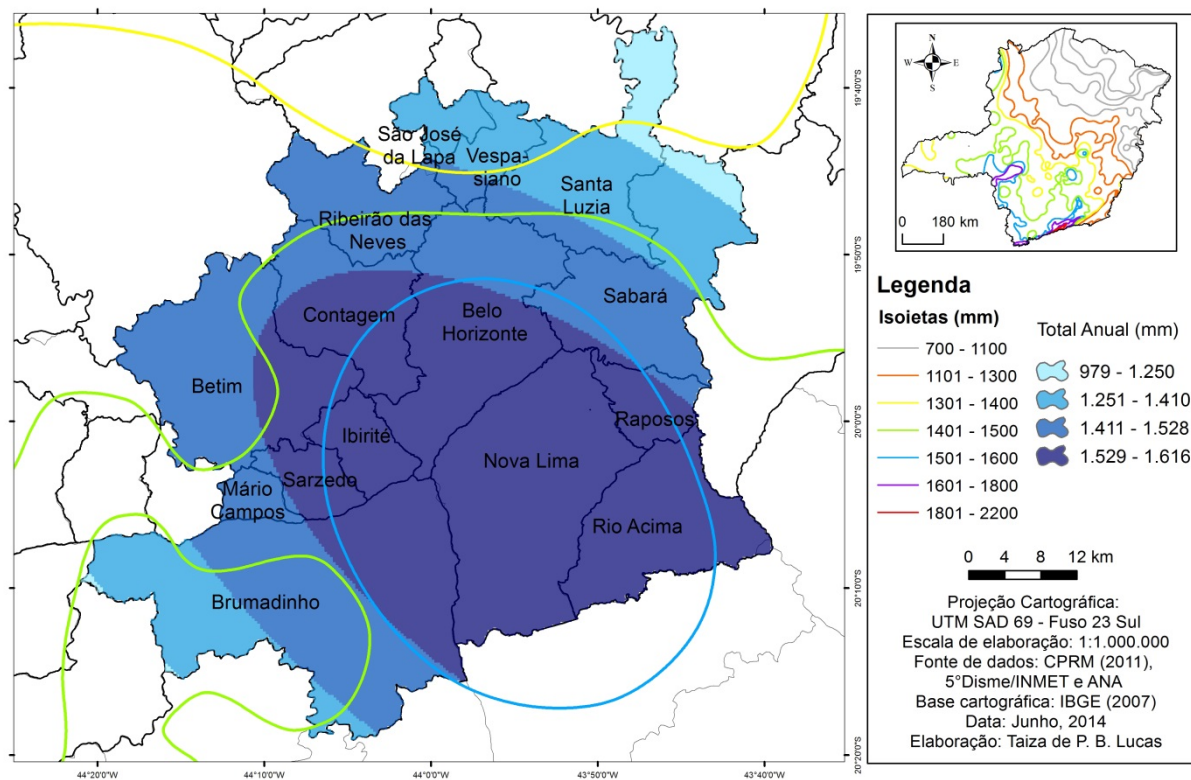
Segundo Prates (1995), a topografia se constitui num fator climático dominante na distribuição da precipitação em MG. Maiores acúmulos mensais de chuvas e distribuição homogênea ao Sul-Sudeste devido às vertentes mais elevadas e diminuição no sentido norte em função das áreas mais rebaixadas, principalmente, no grande Vale da bacia do São Francisco, que se diferencia também pela concentração das chuvas nos meses de verão, particularmente dezembro e janeiro, em função da atuação da ZCAS, como ressaltou Alves *et al.* (2005). O estudo de Mello e Viola (2012), a partir da espacialização das chuvas intensas em MG, mostrou que as áreas de maior ocorrência de precipitações mais intensas são as regiões do Triângulo Mineiro, noroeste e leste de MG, as de maior duração também apresentaram alta frequência na região central e sul do estado.

A figura 19 apresenta a espacialização do total anual de chuvas, para dados de médias anuais de 1962– 2010, e as isoietas de precipitação total anual, entre 1977– 2006. Nota-se, nas duas espacializações, o mesmo padrão de distribuição do total anual de chuvas. Observa-se, através da configuração espacial da área de maior altura pluviométrica, que ela

possui um eixo NW-SE, transversal à linha de cristas da Serra, como salientou Minuzzi *et al.* (2007). Essas áreas são as mais elevadas, configuradas pelo conjunto morfoestrutural do QF, na qual situam-se as formações geológicas representadas na figura 7, sendo mais expressivas a leste e sudeste de Belo Horizonte, e determinam a espacialidade dessas chuvas. Elas diminuem nas direções nordeste e sudoeste, em função do relevo mais dissecado do Complexo Belo Horizonte, tanto a espacialização a partir dos postos de Belo Horizonte e seu entorno, como nas isoietas produzidas pelo CPRM.

Figura 19 - Precipitação total anual de 1962-2010 e isoietas de precipitação total anual de 1977-2006.

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO TOTAL ANUAL DE PRECIPITAÇÃO DE 1962 - 2010 E ISOIETAS ANUAIS DE 1977 - 2006 EM BELO HORIZONTE E SEU ENTORNO**



Fonte de dados: IBGE, 2007; ANA; INMET.

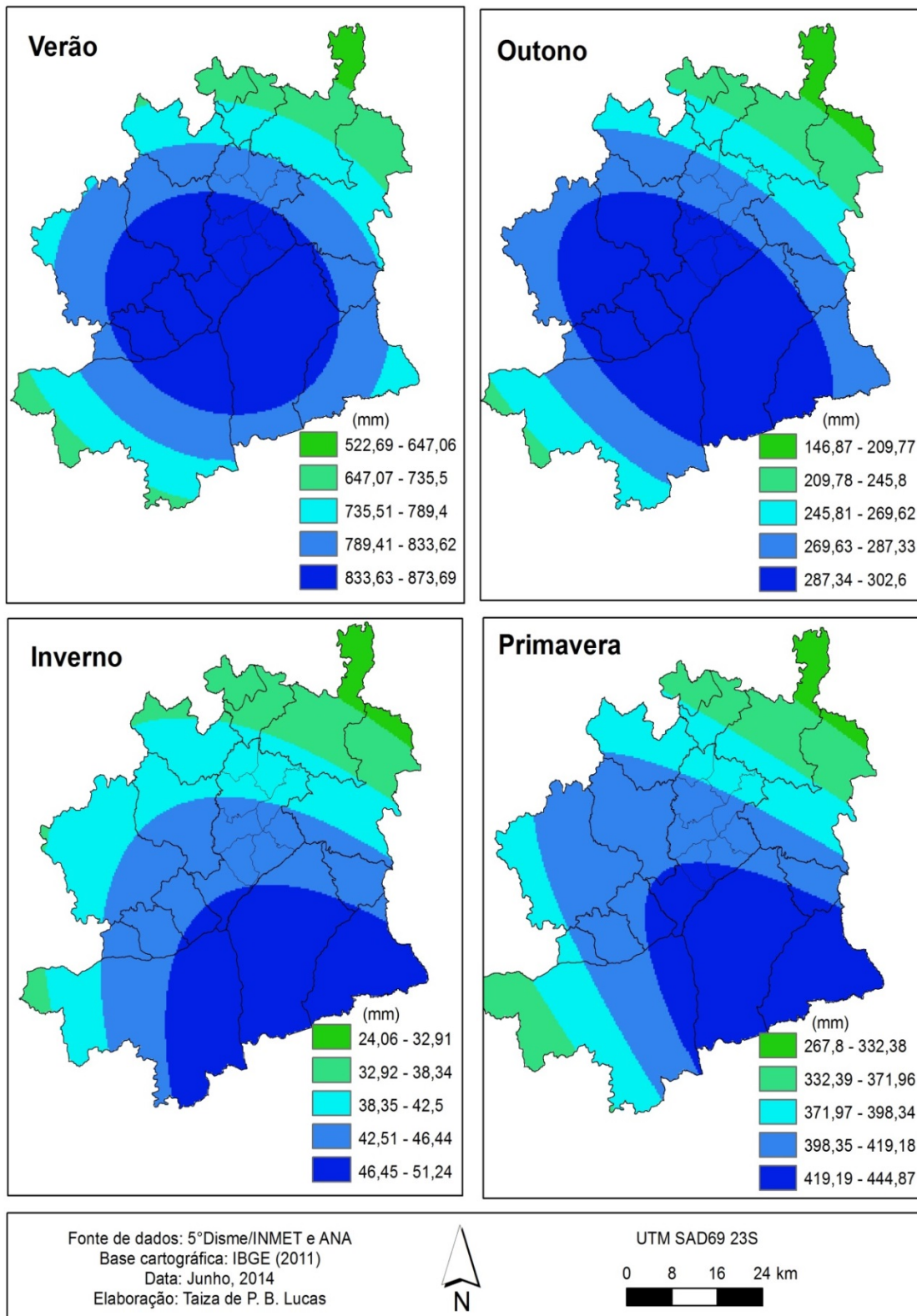
Essa espacialização é consoante com a distribuição espacial da precipitação média anual de Nunes, Vicente e Candido (2009), para o SB, com dados de 1961 a 1990. A porção central de MG localiza-se na divisa de duas tipologias climáticas, como pode ser observado na distribuição espacial das isoietas sobre MG. Os autores identificaram quatro zonas pluviométricas para o SB, a primeira com totais acima de 2000 mm, a segunda com totais entre 1500 e 1700 mm, a terceira entre 1250 e 1400 mm e a quarta, com precipitações anuais inferiores a 1000 mm. Belo Horizonte e seu entorno encontra-se entre as zonas II e III.

A primeira zona pluviométrica refere-se à distribuição da precipitação no eixo SE-NW, que se estende do Rio de Janeiro a oeste de Minas, os autores destacaram a presença da Serra da Mantiqueira a sudeste e da Canastra a noroeste, ressaltando a influência da orografia na espacialização das chuvas no SB. A zona III possui a mesma direção da zona II, com mesma orientação da distribuição da precipitação, porém com maior efeito da continentalidade. Ao comparar essas zonas, na escala Regional à local (FIGURA 19), nota-se que as áreas mais elevadas situam-se na zona II e as áreas mais interioranas, a nordeste e sudoeste, se encontram na zona III, devido à menor influência do conjunto de serras do QF e trajetórias do SF, que penetram sobre as vertentes voltadas para SE, que na RMBH ocorre sobre os municípios da borda leste/sudeste, que correspondem à porção norte/noroeste do QF: Belo Horizonte, Ibitaré, Brumadinho, Nova Lima, Rio Acima e Raposos, caracterizadas pelas Serras do Curral, Moeda e Gandarela.

A figura 20 mostra a espacialização do total sazonal de precipitação, a partir do somatório da média mensal dos respectivos meses de cada estação, de 1962-2010. A espacialização da precipitação no verão, de maior total pluviométrico, como mostrou o gráfico 3, demonstra que a área central da RMBH é a mais chuvosa, com total pluviométrico entre 834 e 874mm. Ela corresponde às Regionais Centro-Sul, Noroeste, Oeste e Barreiro, assim como parte do território de Nova Lima, Ibitaré, Contagem e noroeste de Betim. A área de maior altura pluviométrica média nos meses de verão ocorre sobre grande parte da mancha urbana conurbada de Belo Horizonte, infere-se que a disposição geográfica das Serras não parece ser o principal atributo de espacialização local das chuvas, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

Figura 20 – Mapa de precipitação média sazonal de Belo Horizonte e seu entorno (1962-2010).

### PRECIPITAÇÃO MÉDIA SAZONAL DE 1962 A 2010 Belo Horizonte e entorno

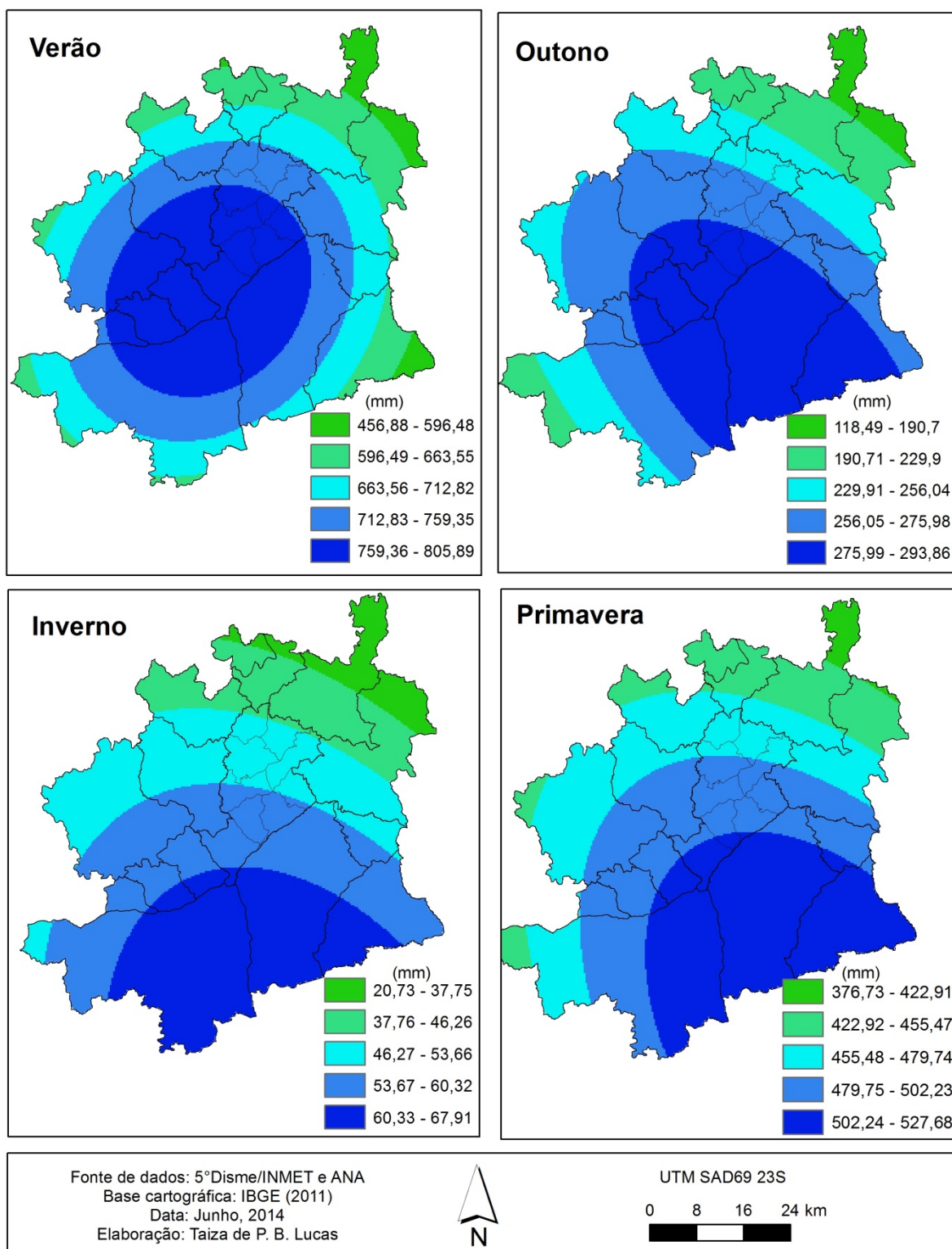


Fonte de dados: IBGE, 2007; ANA; INMET.

Ao analisar a espacialização da estação de verão por décadas (70 a 2000), verificou-se que a média sazonal por respectivas décadas foram similares à de 1962-2010. A de PI foi semelhante à PIV, que caracterizaram a média sazonal dessa estação, como mostram as figuras 21 e 24, comparadas à figura 20. Na década de 80, a área de maior precipitação foi estendida para o oeste, em função do maior total médio sazonal registrado no posto pluviométrico em Betim, figura 22, e a década de 90, figura 23, mesmo eixo da precipitação média anual, como mostrou a figura 19.

Figura 21 – Mapa de precipitação total média sazonal da década de 70 de Belo Horizonte e seu entorno.

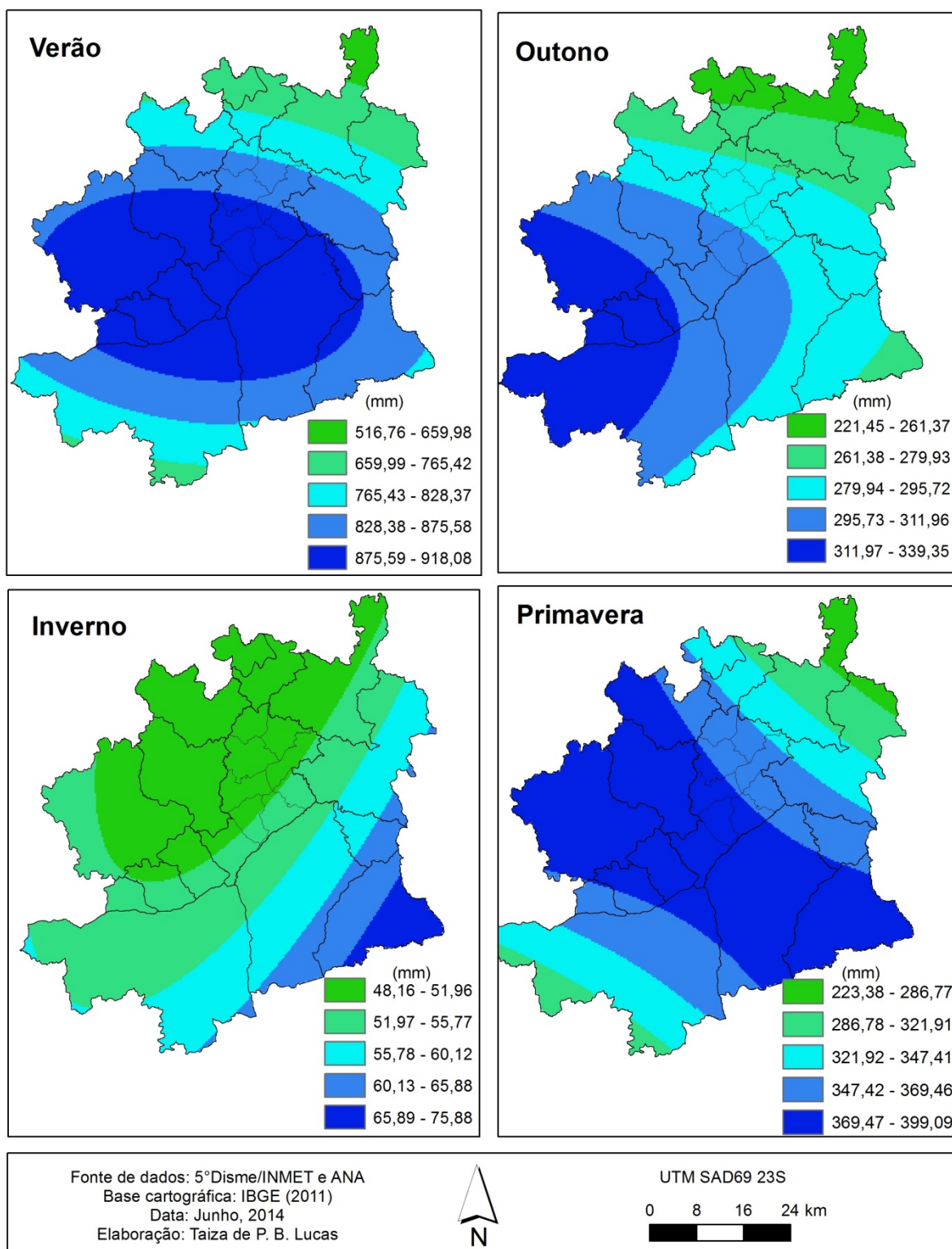
## PRECIPITAÇÃO MÉDIA SAZONAL DA DÉCADA DE 70 Belo Horizonte e entorno



Fonte de dados: IBGE, 2007; ANA; INMET.

Figura 22 – Mapa de precipitação total média sazonal da década de 80 de Belo Horizonte e seu entorno.

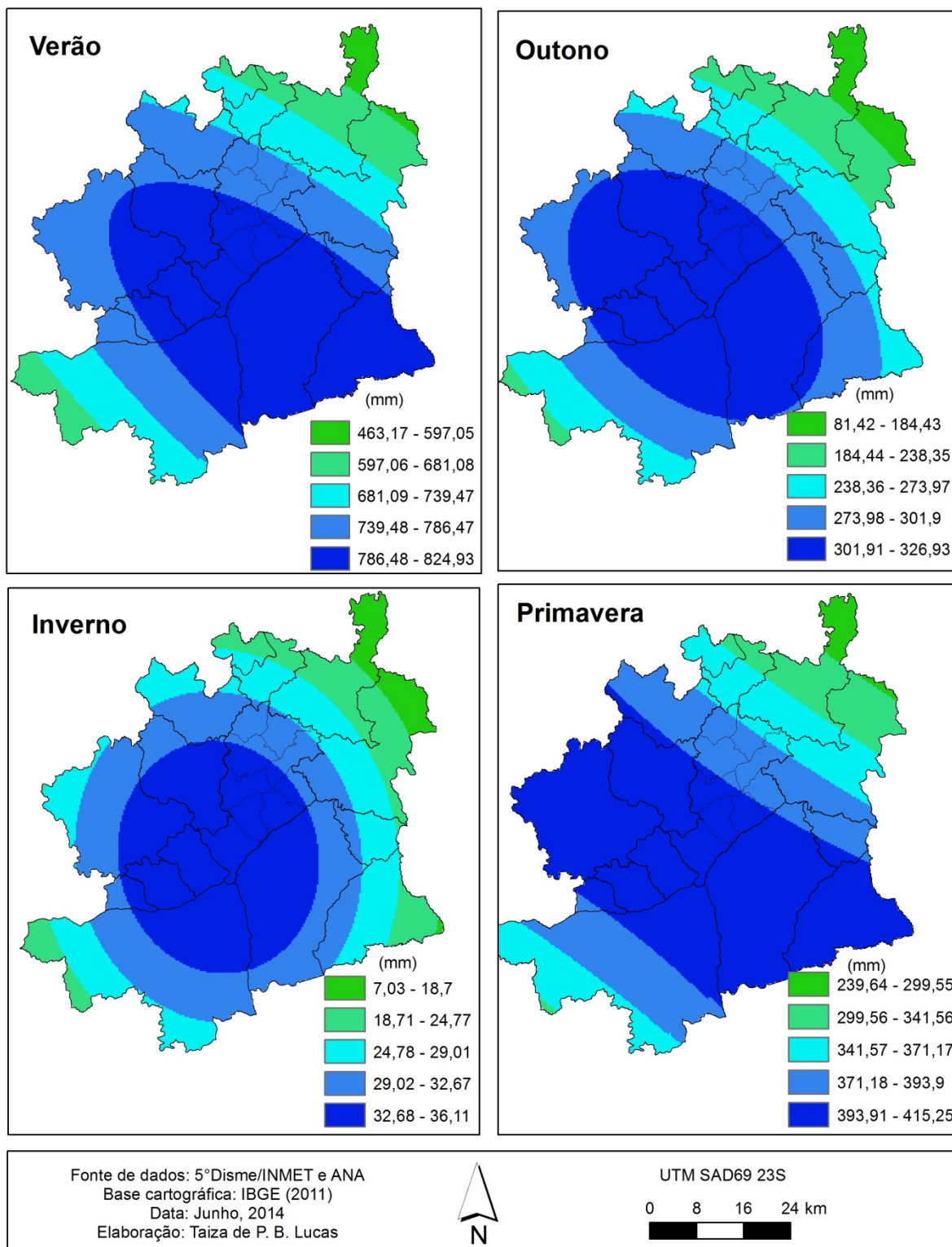
## PRECIPITAÇÃO MÉDIA SAZONAL DA DÉCADA DE 80 Belo Horizonte e entorno



Fonte de dados: IBGE, 2007; ANA; INMET.

Figura 23 – Mapa de precipitação total média sazonal da década de 90 de Belo Horizonte e seu entorno.

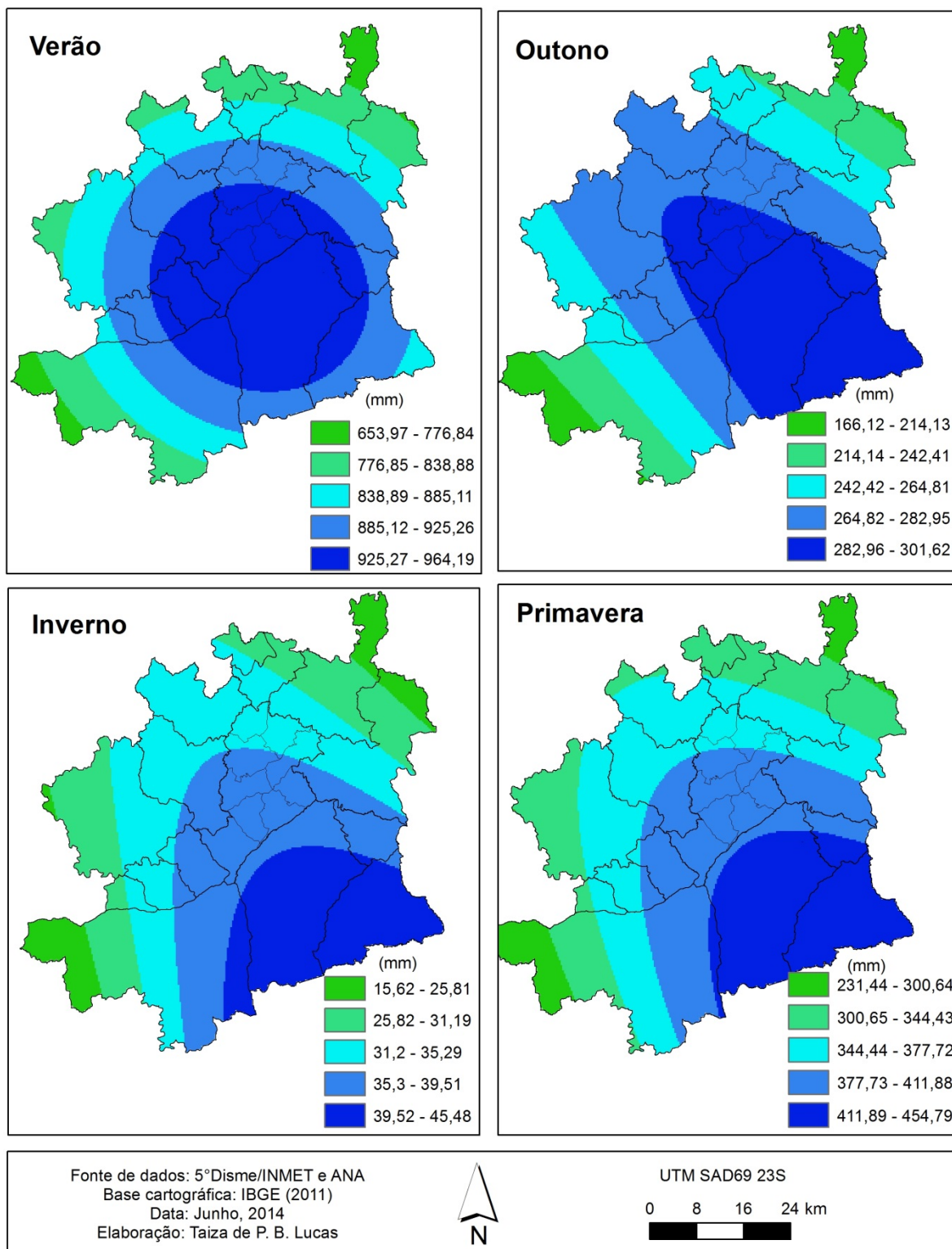
## PRECIPITAÇÃO MÉDIA SAZONAL DA DÉCADA DE 90 Belo Horizonte e entorno



Fonte de dados: IBGE, 2007; ANA; INMET.

Figura 24 – Mapa de precipitação total média sazonal da década de 2000 de Belo Horizonte e seu entorno.

## PRECIPITAÇÃO MÉDIA SAZONAL DA DÉCADA DE 2000 Belo Horizonte e entorno



Fonte de dados: IBGE, 2007; ANA; INMET.

A espacialização da média sazonal de chuvas no verão associada aos resultados de Coelho (2011), sugere que as vertentes voltadas para o continente, da Serra do Curral, ocasionam mais chuva na região central da RMBH, configurando as “ilhas úmidas” denominadas por Sant’Anna Neto (2005). Segundo Minuzzi e Sedyama (2005), a espacialização do total de chuvas vai depender do sistema atuante na região e da direção de seu deslocamento sobre uma dada região serrana, onde as chuvas tendem a ser mais volumosas a barlavento, seguindo o eixo de deslocamento do sistema.

A espacialização média sazonal da primavera, segunda estação de maior média pluviométrica, mostra o efeito da orografia na espacialização das chuvas. Os totais de chuvas são maiores nas áreas mais elevadas e diminuem em direção ao interior do continente, de menor altitude, na escala local. O início da estação chuvosa é marcado pela presença dos SF que penetram até a Região S–SE de Minas e se alinham às áreas serranas. As porções mais ao norte, noroeste e sudoeste apresentam menores acúmulos devido à continentalidade e ainda ao não estabelecimento dos sistemas típicos de verão, como as ZCAS e sistemas convectivos correlatos. A comparação da figura 20 às médias sazonais por décadas mostra que a configuração foi praticamente a mesma entre ela e as décadas de 70 e 2000 (FIGURAS 21 e 24), já as décadas de 80 e 90 (FIGURAS 22 e 23) apresentaram extensão da área de maior acúmulo para o eixo noroeste, em função do maior total pluviométrico registrado no município de Betim.

A espacialização no outono, final da estação chuvosa, se mostrou semelhante à figura 19, com uma área de abrangência maior sobre a região central da RMBH, de direção SE-NW, desde as áreas serranas dos municípios de Nova Lima, Rio Acima e Brumadinho até as áreas mais rebaixadas da DBH, no vale do Onça. Essa espacialização é semelhante à de Moreira (2002), para o mesmo período, conforme descrito no item 2.2.1. A comparação entre a média do período de 1962-2010 às médias decadais mostra que a configuração espacial entre as décadas 70, 90 e 2000 foi de mesmo padrão. A década de 80 apresentou um padrão de espacialização distinto, as áreas de maior acúmulo ficaram restritas à porção SW do entorno de Belo Horizonte. Essa década foi de grande variabilidade anual das chuvas, como apresentado no gráfico 1.

A espacialização das chuvas ocorridas no inverno mostra que elas foram em média mais concentradas nas áreas de domínio do QF, o que é esperado já que predomina a circulação atmosférica associada ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), nessa época do ano, não permitindo o desenvolvimento de mecanismos de chuvas, configurando tempo seco e fortalecimento do efeito da continentalidade. As poucas chuvas que ocorrem estão

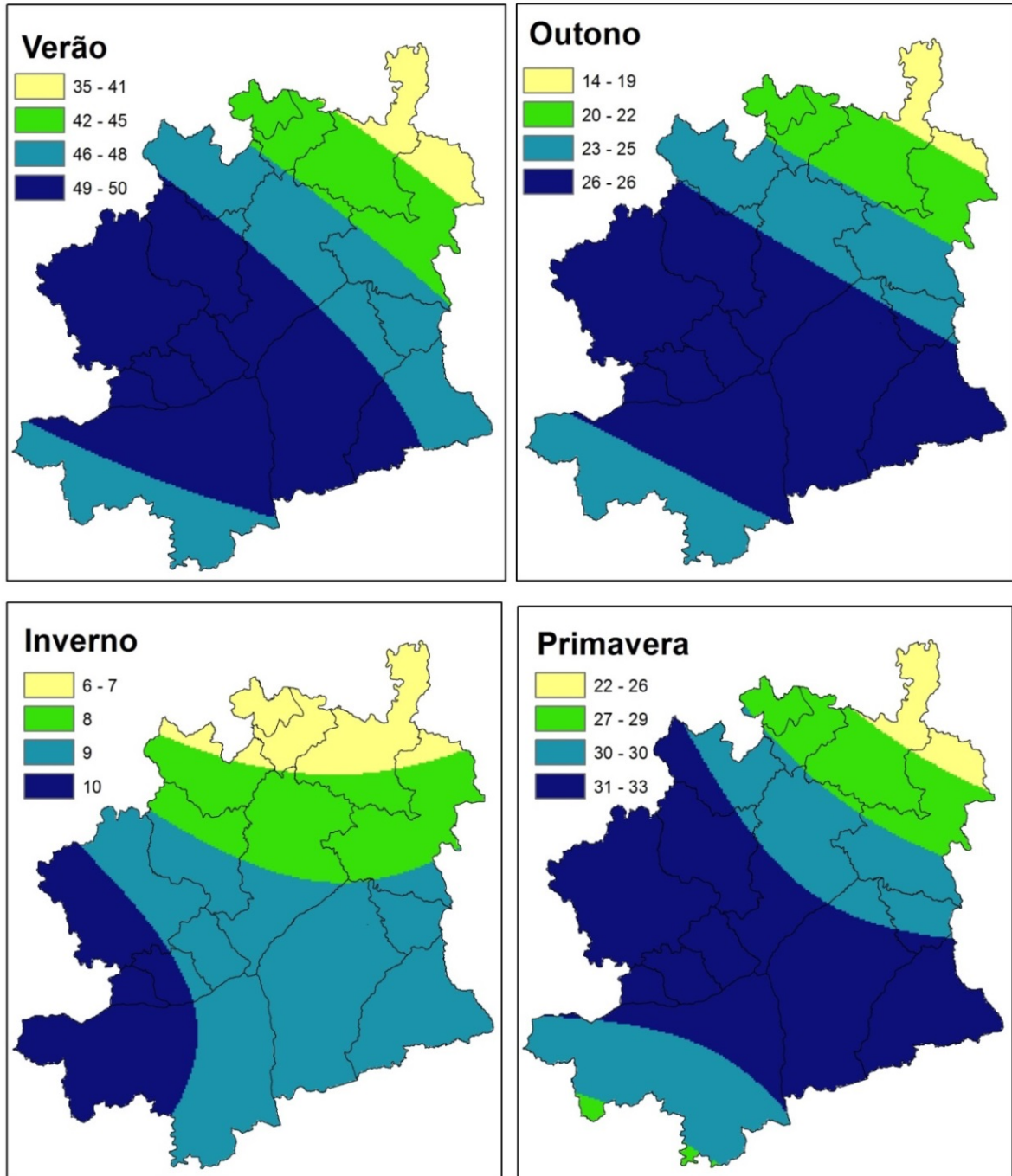
fortemente relacionadas à forçante orográfica. Ao comparar a espacialização do total médio do período de 1962-2010 à média sazonal em cada década, verifica-se que as espacializações são muito diversas, dada pela grande variabilidade da amostra, como indicado pelo CV da Tabela 9. Segundo Mello e Silva (2009), as chuvas no inverno apresentam grande variabilidade temporal e espacial, particularmente o último em função da diversidade morfológica do terreno mineiro. Outra questão que justifica essas variabilidades se deve aos valores serem muito baixos, uma pequena alteração representa uma alta variabilidade.

Nota-se, em todas as espacializações, tanto nas médias anuais, como nas médias sazonais, que as porções norte e nordeste são as áreas de menor acúmulo pluviométrico. Os municípios de Vespasiano, Santa Luzia e norte de Sabará, assim como a Regional Norte e Nordeste de Belo Horizonte apresentam menores totais anuais e sazonais de precipitação e correspondem às áreas mais quentes, de acordo com Assis (2010). Ao escalonar para as regionalizações dos totais pluviométricos do SB e de MG, as regiões norte e nordeste são também as mais secas (PRATES, 1995; SANT'ANNA NETO, 2005; MINUZZI, *et al.* 2007; NUNES, VICENTE, CANDIDO, 2009; MELLO E VIOLA, 2012).

Minuzzi e Sedyama (2005) afirmaram, a partir de valores de coeficientes de correlações totais e parciais entre o total anual de precipitação, número de dias chuvosos e altitude, que a altura pluviométrica é mais dependente do número de dias de chuvas do que das feições geomorfológicas. Para Belo Horizonte e seu entorno, a espacialização do número de dias de chuvas por estação sazonal, figura 25, apresenta-se mais homogêneo entre as estações, todos com o mesmo padrão espacial, exceto o inverno. O maior número de dias de chuvas configura-se no eixo NW-SE, devido à atuação dos sistemas atmosféricos de escalas superiores que determinam as condições de tempo e ocorrência de chuvas, de outubro a março.

Figura 25 – Mapa do número médio de dias de chuvas por estação para Belo Horizonte e seu entorno (1962-2010).

## NÚMERO DE DIAS DE CHUVA POR ESTAÇÃO Belo Horizonte e entorno



Fonte de dados: 5º Disme/INMET e ANA  
Base cartográfica: IBGE (2011)  
Data: Junho, 2014  
Elaboração: Taiza de Pinho B. Lucas



UTM SAD69 23S  
0 7 14 21 km

Fonte de dados: IBGE, 2007; ANA; INMET.

#### 4.2.3.5 Os sistemas atmosféricos genéticos de precipitação em Belo Horizonte

A sazonalidade da precipitação no SB origina-se do desenvolvimento do Sistema de Monção na América do Sul (SMAS). Segundo Gan, Rodrigues e Rao (2009), o desenvolvimento desse SMAS se inicia em setembro, com o aumento da convecção sobre o noroeste da Amazônia e avança para o Sudeste, até atingir a longitude de 48°W, em novembro. A principal característica se deve as variações na circulação atmosférica, na região central da AS.

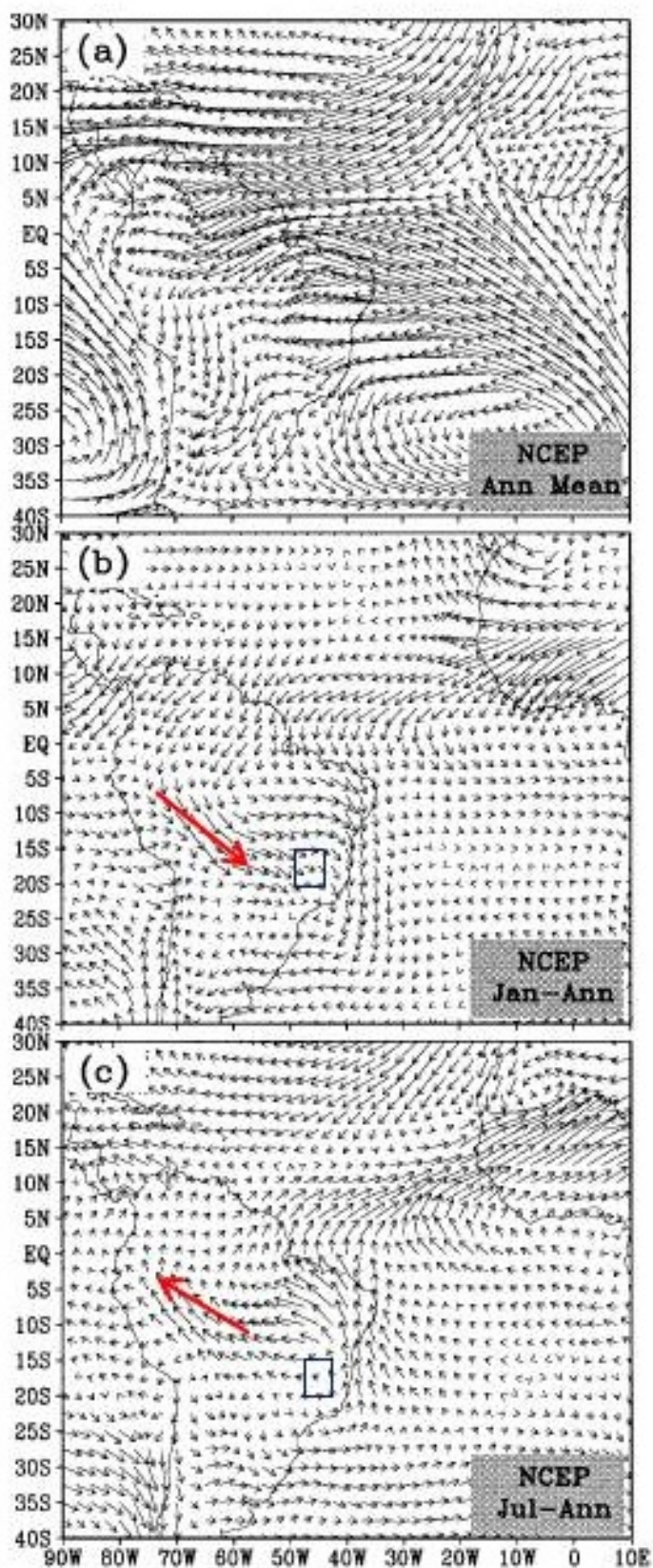
Segundo Gan, Kousky e Ropelewski (2004),

*[...] during the austral summer low-level northeasterly flow enters tropical South America from the Atlantic. The low-level flow turns southward near the Andes with northerly and northwesterly winds over western Brazil, eastern Bolivia, and Paraguay. At upper levels a well-defined anticyclonic circulation exists near the region of maximum precipitation. The outflow from this upper-level anticyclone streams northward into the Northern Hemisphere. Similar features are observed in the boreal summer in the region of the East Asian monsoon (GAN, KOUSKY E ROPELEWSKI, 2004, p. 48).*

Para os autores, a principal característica do SMAS é a reversão sazonal do escoamento médio dos ventos na componente zonal. Dentro da estrutura vertical da atmosfera, os ventos são de leste em baixos níveis (até 850 hPa) e de oeste em médio e alto níveis, ou seja, cisalhamento vertical do vento positivo. A partir de meados de setembro, o cisalhamento torna-se negativo, caracterizando o escoamento de oeste (em baixos níveis), até a leste de 48°W. O desenvolvimento da convecção profunda decorrente da mudança sazonal do escoamento atmosférico, com incursão de umidade específica associada, proveniente do oceano, e do aquecimento do continente, inicia-se sobre o noroeste da Amazônia, em setembro, e progride em direção ao SB, em meados de outubro. Para Gan, Kousky e Ropelewski (2004), o momento em que ocorre a mudança na direção do vento zonal caracteriza o início e o fim da estação chuvosa.

Segundo Zhou e Lau (1998), a mudança de circulação em baixos níveis associada ao SMAS só é identificada quando a média anual é removida das composições. A figura 26 demonstra que na média anual a circulação é predominantemente de leste sobre grande parte do Brasil Central, entretanto a climatologia do escoamento, em 925 hPa, para o mês de janeiro e julho, a partir de dados de reanálise do NCEP-NOAA, entre 1979-1995, elaborado por Zhou e Lau (1998), mostram-se contrários. Os autores afirmaram tratar-se de uma similaridade com o sistema de monção asiática, o escoamento de noroeste para a região central do Brasil com incursão de umidade específica, uma característica climática robusta da AS.

Figura 26 – Climatologia do escoamento preferencial dos ventos para (a) média anual, Janeiro (b) menos a média anual e (c) Julho menos a média anual.



NOTA: As setas vermelhas destacam o sentido dos ventos em 950 hPa e o retângulo representa uma referência aproximada da localização da região central de MG.

Fonte: adaptado de Zhou e Lau, 1998, p. 1039. Inserção das setas vermelhas e dos retângulos.

Segundo Raia e Cavalcanti (2008), a inversão da umidade específica ocorre antes da reversão dos ventos, no início da primavera, em setembro, e a mudança no escoamento dos ventos, em novembro. As autoras ainda ressaltaram que no final do ciclo do SMAS, quando retorna o escoamento de leste, já se identifica a redução da umidade específica. Outro aspecto importante é a durabilidade do ciclo do SMAS, a partir de análise de 20 anos de dados, elas identificaram que a média climatológica do início do ciclo ocorre na pênstada 60 (23 – 27 de outubro) e o término na 17 (22 – 26 de março).

As autoras ainda ressaltaram que apesar de pequenas variabilidades entre as pênstadas de início e fim do ciclo do SMAS, os padrões de circulação atmosférica na larga-escala são típicos para o início e o fim de um ciclo.

*The anomalous onset/demise groups showed characteristics similar to those of the normal group in several variables, which allows us to infer that the typical largescale patterns are associated with the beginning and decay of SAMS phases whatever the period of occurrence. The positioning and intensity of the South Atlantic subtropical high and humidity flux from Amazonia, the presence of ascending (subsiding) vertical motion and the integrated humidity transport from northwest (northeast) of the Andes cordillera are associated with favorable conditions for the initiation (reduction) of convection over the monsoon region (RAIA e CAVALCANTI, 2008, p.6237).*

Para Fedorova (1999), do ponto de vista sinótico, a circulação de verão sobre AS possui algumas características marcantes. Entre elas, a presença de um Anticiclone em altos níveis, na porção oeste do continente, referido como Alta da Bolívia (AB), um vórtice ciclônico na costa nordeste do Brasil e uma Zona de Convergência (ZC), que dependem da convecção tropical sobre a região central do continente e interação com sistemas transientes de latitudes médias, como os frontais, oriundos do sul do continente.

Segundo Lenters e Cook (1997), os sistemas estacionários de alta pressão, nos níveis superiores da troposfera, são uma resposta ao mecanismo termicamente forçado de aquecimento da média troposfera em função do elevado processo de condensação. Os autores destacaram que dentre as altas estacionárias, as situadas em regiões tropicais e subtropicais em forma de anticiclones fechados, são melhor definidas, assim como o estabelecimento da sua interação com os sistemas produtores de tempos típicos de verão.

A AB constitui-se no ramo sul de uma Bifurcação Inter-hemisférica (BI) que ocorre na vizinhança do equador, em torno de 110°W. Segundo Lenters e Cook (1997), a variação termodinâmica da AB demonstra que ela se caracteriza por centro quente abaixo de 150 mb e acima por um topo frio, sendo que as altas temperaturas se estendem da superfície até 300 mb. Zhou e Lau (1998) afirmaram que ela forma-se na primavera e intensifica-se no

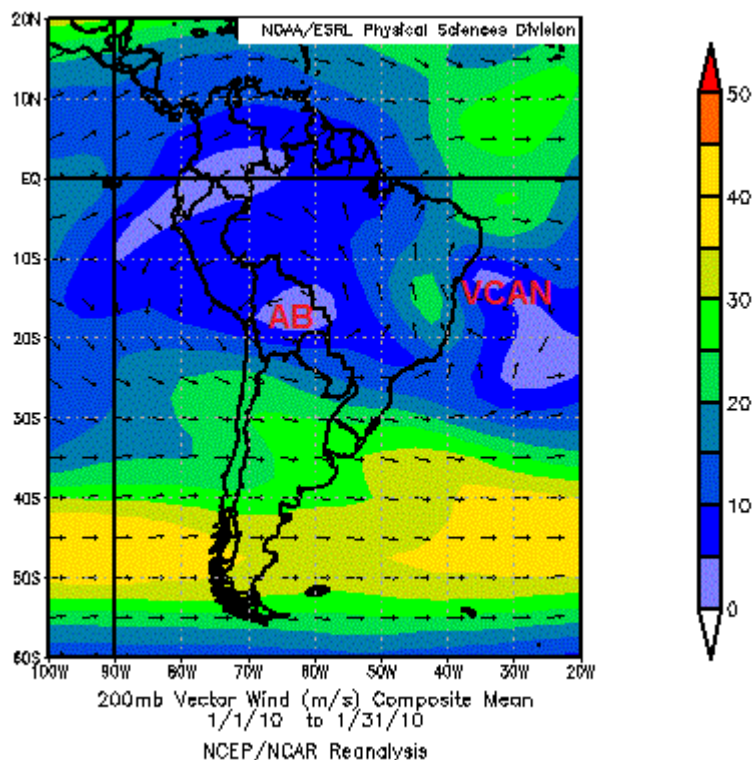
verão em razão da intensa transferência de calor da superfície para a atmosfera, devido à maior quantidade de radiação incidente no solo.

Em razão da grande quantidade de calor latente liberado pela convecção organizada no eixo de convergência e intensificação da crista associada à AB, surgem os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), parte da estrutura de circulação de altos níveis associada ao SMAS (FERREIRA, RAMÍREZ E GAN, 2009). As localizações das principais células de movimentos verticais sobre a AS e os oceanos adjacentes estão relacionadas com a configuração do escoamento dos sistemas AB e cavado do Nordeste Brasileiro (NEB), conhecido como VCAN tropical, associada à AB.

Essa crista que se estende da AB está relacionada ao deslocamento de sistemas frontais (SF), que causa interação entre massas de ar quente e fria e desenvolve uma convecção profunda, devido à liberação de calor latente e aumento de temperatura na média troposfera. A onda baroclínica associada à passagem do sistema frontal amplifica a crista na alta troposfera e forma-se um vórtice a leste (FEDOROVA, 1999). A interação AB e VCAN tropical é explicada pela circulação termodinamicamente direta estabelecida no sentido NW-SE sobre a região central do Brasil, caracterizada pelo eixo da convecção profunda estabelecida a partir do descolamento da AB.

Segundo Ferreira, Ramírez e Gan (2009), em dezembro, o centro da AB desloca-se para a Bolívia (15°S e 65°W) e o cavado na vizinhança do NEB assume uma inclinação meridional, no Atlântico, quando os VCAN's subtropicais, observados em novembro, se deslocam para oeste. Durante o mês de janeiro, a AB se desloca ligeiramente para sudoeste e o VCAN tropical se estabelece na vizinhança do NEB. A figura 27 ilustra a posição média da AB e do VCAN tropical, no campo médio de vento em 200hPa, para o mês de janeiro de 2010.

Figura 27 – Campo médio de vento (m/s), em 200 hPa, para o mês de janeiro de 2010.



Fonte: Projeto *Reanalysis* 1 do NCEP–NCAR

Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>.

Acesso em: 04 de jun. de 2014.

O modelo conceitual de estrutura vertical de um VCAN é caracterizado pelo movimento convergente nos altos níveis, com movimento subsidente no setor frio e divergência em baixos níveis, já na periferia os movimentos ascendentes favorecem o transporte de ar quente e úmido (FERREIRA, RAMÍREZ E GAN, 2009). Segundo os autores, os VCAN's de origem tropical atuam com mais frequência nos meses de dezembro a fevereiro, com um tempo de vida de 4 a 11 dias.

Gan, Kousky e Ropelewski (2004), ao comparar as características de escoamento médio da atmosfera entre janeiros secos e chuvosos, destacaram a posição da AB como modeladora do eixo de precipitação. Nos verões chuvosos, ela se encontra ao norte de 22°S, sobre a Bolívia e ventos fortes de oeste, ao sul desse centro de alta (representado na figura 27). Nos janeiros secos, a AB se situa na região central do Brasil, com o centro de alta sobre o Paraguai. A circulação ciclônica se estende da região central da Amazônia à costa leste – sudeste do Brasil, próximo a 12°S.

Segundo Escobar (2009), os ventos de oeste são definidos como Jato Subtropical (JS). Ele é caracterizado pelo forte cisalhamento vertical e horizontal do vento, ao longo de uma linha horizontal de velocidade máxima, em forma de um estreito conduto, próximo a tropopausa.

Situa-se entre massas de ar frias e quentes, na região de máximos contrastes térmicos e localiza-se acima de áreas onde ocorrem grandes perturbações atmosféricas à superfície (FEDOROVA, 1999).

O JS é relativamente constante em sua posição, em determinada estação do ano, e predomina nos campos médios sazonais do vento. “No hemisfério sul, o JS aparece geralmente acima de 13.000 m, na faixa de latitude que vai de 20° a 40°S e o JP encontra-se entre 8.000 e 10.000 m de altitude, oscilando entre 30° e 70°S” (ESCOBAR, 2009, p.128).

Segundo Gallego *et al.* (2005), a configuração do Jato no HS é dual e variável com a sazonalidade.

*The results show the variability of the double character of the Southern Hemisphere jet, with a marked seasonality. During the warm season, a single jet can be found around 40°S, while autumn and winter are characterized by a clear double jet structure, with a strong and dominant subtropical jet located around 30°S and a polar front jet, progressively displaced toward southern latitudes and reaching 60°S by the end of the cold season (GALLEGO, et al. 2005, p. 607).*

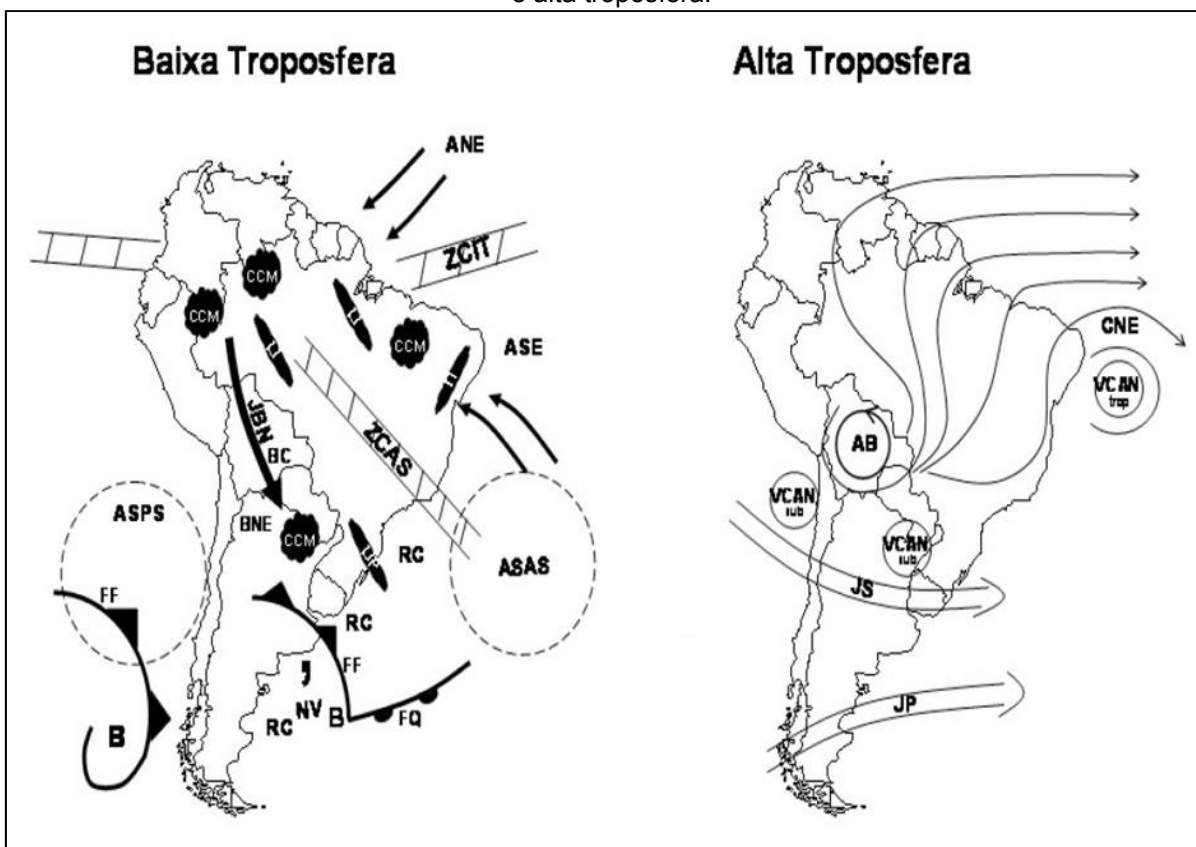
Associado ao Jato, é comum o desenvolvimento de VCAN subtropicais oriundos do sul do Pacífico leste. Segundo Lourenço, Ferreira e Gan (1996), comumente os VCAN penetram no continente, oriundos do Oceano Pacífico, causam instabilidade e precipitação nos setores leste e nordeste do vórtice. Eles possuem vida média bastante variável, uns duram apenas algumas horas e outros mais de duas semanas. Ocasionalmente, os vórtices ciclônicos intensificam-se para baixo na vertical e podem refletir no campo de pressão em superfície.

Os VCAN subtropicais são comumente observados no inverno e primavera. Segundo Ramírez, Ferreira e Gan (2000), eles também são conhecidos como Vórtices Desprendidos (VD), particularmente quando um cavado de latitudes médias penetra nos trópicos com uma inclinação meridional bem acentuada. Essa inclinação faz com que a sua parte norte, que tem velocidade de deslocamento menor, atrase-se até desprender-se completamente, conseqüentemente, forma-se uma circulação ciclônica fechada. Associada a esta circulação, originam-se situações de bifurcação, onde as correntes dos jatos polar e subtropical possuem um papel muito importante.

Os principais sistemas atuantes na circulação atmosférica da AS estão representados na figura 28. Verifica-se o posicionamento médio desses sistemas, já mencionados, na alta

troposfera. Nos níveis inferiores desta camada atmosférica, destacam-se a grande quantidade de sistemas que caracterizam a circulação e a dinâmica atmosférica. Segundo Reboita *et al.* (2012), a grande maioria se constituem no período de verão do HS, devido à máxima radiação solar sobre o trópico de Capricórnio, o que gera maior aquecimento da superfície e transferência de umidade para níveis superiores da atmosfera. “Esse aquecimento favorece o levantamento do ar, que é responsável por forte atividade convectiva, ou seja, o ar quente sobe e condensa formando nuvens” (REBOITA, *et al.* 2012, p. 46). A zona intertropical desloca-se para o HS, favorecendo a incursão de umidade proveniente dos ventos alísios, acrescidos à produzida pela bacia amazônica, favorecem a profunda convecção sobre a região central da AS, iniciando o ciclo ativo do SMAS.

Figura 28 – Representação esquemática dos sistemas atmosféricos atuantes na AS, na baixa e alta troposfera.



NOTA: Baixos níveis: **ANE** - Ventos Alísios de Nordeste, **ASE** - Ventos Alísios de Sudeste, **ASAS** - Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, **ASPS** - Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul, **B** - Baixa Pressão, **BC** - Baixa do Chaco, **BNE** - regiões de Baixas Térmicas no Noroeste Argentino, **CCM** - Complexo Convectivo de Mesoescala, **FF** - Frente Fria, **FQ** - Frente Quente, **JBN** - Jato de Baixos Níveis, **LI** - Linhas de Instabilidades Tropicais, **LIP** - Linhas de Instabilidades Pré-frontais, **NV** - Nuvem em Vírgula, **RC** - Regiões Ciclogênicas, **ZCAS** - Zona de Convergência do Atlântico Sul, **ZCIT** - Zona de Convergência Intertropical. Nos altos níveis: **AB** - Alta da Bolívia, **CNE** - Cavado do Nordeste do Brasil, **JS** - Jato Subtropical, **JP** - Jato Polar, **VCAN sub** - Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis Subtropical, **VCAN trop** - Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis Tropical.  
 Fonte: REBOITA *et al.* 2010, p. 199.

Segundo Gan, Kousky e Ropelewski (2004), o SMAS possui grande variabilidade intrasazonal, tendo uma sequência de fases ativas e inativas. A frequência e intensidade dessas fases variam de um ano para outro e estão relacionados a sistemas remotos, através de teleconexões. Para os autores, um verão chuvoso na região central da AS é caracterizado pela presença da Baixa do Chaco (BC)<sup>39</sup> sobre o Paraguai, com uma calha estendida para o leste, até ao sudeste do Brasil. Fluxo de ventos, em 850 hPa, do oeste da Amazônia ao SE do Brasil e de SE para NE da Argentina, Uruguai e extremo sul do Brasil. As fases ativas (inativas) do SMAS foram definidos pela anomalia positiva (negativa) de precipitação associada às anomalias negativas (positivas) nos campos de pressão, sobre a região central da AS, e respectivas circulações em baixos e altos níveis.

Carvalho *et al* (2011) salientou a variabilidade intrasazonal do SMAS através dos períodos ativos e inativos da ZCAS sobre o Brasil, no eixo NW-SE, da Amazônia ao Oceano Atlântico. Nos períodos ativos há forte convergência de umidade nos baixos níveis com ventos de oeste e leste<sup>40</sup>, oriundos do oceano. Nos períodos sem ocorrência de ZCAS (NZCAS), há forte divergência, nessas áreas, e convergência sobre a porção sudoeste do Brasil, norte da Argentina e do Paraguai, identificadas por Gan, Kousky e Ropelewski (2004) através dos campos de anomalia de pressão, em 850 hPa, definindo a localização média da BC. Outra característica das fases inativas da SMAS é a intensificação do Jato de Baixos Níveis<sup>41</sup> (JBN) de noroeste para o norte da Bolívia e para o sul do Brasil.

---

<sup>39</sup> A BC corresponde a uma ampla área de baixa pressão, a leste dos Andes, entre a Bolívia e o Paraguai, facilmente identificado nos campos de pressão, em baixos níveis, na estação quente da AS. Segundo Seluchi e Garreaud (2012), o desenvolvimento da BC está vinculado, em média, à ocorrência de jatos de baixos níveis e suas decorrentes implicações para o desenvolvimento da atividade convectiva em grande parte do sudeste da AS. O ciclo da BC está associado a passagem de SF, o processo de intensificação ocorre com a aproximação de uma perturbação frontal, que provoca chuvas convectivas (liberação de calor latente) e o processo de dissipação está relacionado as características de alta pressão pós-frontais.

<sup>40</sup> Os ventos de leste/nordeste que penetram no continente são provenientes do ASAS, que interagem com o escoamento de oeste e noroeste, sobre a área de maior convergência sobre o continente. A posição climatológica do ASAS é definida pela sazonalidade, no verão encontra-se na sua posição mais oriental sobre o oceano Atlântico e no inverno, encontra-se mais a oeste, se estendendo até a Região Sudeste do Brasil (REBOITA, *et al.* 2010).

<sup>41</sup> O JBN é identificado na baixa troposfera durante todo ano, caracteriza-se pela máxima velocidade dos ventos, entre 800 e 700 hPa, até 25 m/s em Santa Cruz de La Sierra, Bolívia. Segundo Vera *et al.* (2006), o JBN sul-americano é uma característica climática, que transporta considerável quantidade de umidade da bacia Amazônia à bacia do Prata. No verão, a intensidade dos ventos alísios (componente da célula de circulação global de Hadley, para mais informações ver Vianelo e Alves, 1991, Cavalcanti *et al.* 2009 e Barry e Chorley, 2013) e o fluxo de umidade que vem da Amazônia estão intensificados, fortalecendo uma forte convergência sobre o Sul do Brasil, juntos com os ventos úmidos do Atlântico Sul. Segundo Marengo, Ambrizzi e Soares (2009), os eventos de JBN podem ser identificados pelo critério 1 de Bonner. Esse critério especifica que a magnitude do vento tem de ser maior ou igual a  $12 \text{ m.s}^{-1}$ , no nível de 850 hPa, o cisalhamento vertical do vento tem de ser pelo menos de  $6 \text{ m.s}^{-1}$ , entre os níveis de 850-700 hPa e a componente meridional do vento tem de ser negativa e maior em módulo do que a componente zonal.

Segundo Herdies *et al.* (2002), a incursão de ar tropical, oriundo do Oceano e da bacia Amazônica para as médias latitudes ocorre em duas regiões preferenciais. A primeira, ao longo da porção oriental dos Andes, através do JBN, e a segunda através do eixo da ZCAS. Os autores ressaltaram a circulação bimodal em relação a eventos de ZCAS e NZCAS e o fortalecimento do JBN, como indicador de eventos de NZCAS. Durante ocorrência de ZCAS, a convergência de ventos é forte no seu eixo, com fluxo oriundo de oeste. Em períodos de NZCAS, a convergência é direcionada para a bacia do Prata, com incursão de umidade específica e anomalia positiva de chuva sobre o sul do Brasil. Por outro lado, a divergência é forte no eixo da ZCAS, com anomalia negativa de precipitação e ventos de leste.

Segundo Carvalho *et al.* (2011), nas fases ativas do SMAS, caracterizada pela presença da ZCAS, predominam as anomalias negativas de ROL e positivas nas fases de NZCAS. Outro aspecto é o aumento da anomalia positiva de precipitação associada ao escoamento de NW/W em baixos níveis e nos períodos de NZCAS, circulação predominante de leste e anomalias negativas de precipitação na região central da AS, como identificados por Herdies *et al.* (2002) e Gan, Kousky e Ropelewski (2004). Carvalho *et al.* (2011) ainda destacaram a variabilidade interanual dos SMAS, em anos de EN as áreas costeiras do SB apresentam maior ocorrência da precipitação que as áreas interioranas. Essas chuvas intensas ao longo da zona costeira da Região Sudeste do Brasil tem sido associado aos ventos perpendiculares às cristas das Serras oriundos das ZC.

A ZCAS é uma ZC de orientação NW-SE, desde a região noroeste da Amazônia a sudoeste do Oceano Atlântico. Segundo Abreu (1998), a ZC caracteriza-se por uma banda de nebulosidade semi-estacionária, considerada uma entidade climatológica, através do qual a umidade e calor da região equatorial são transportados para as latitudes meridionais. Essa ZC é responsável pela precipitação de verão observada na região centro-sul do país, particularmente as Regiões Centro-Oeste, Sudeste, norte do Paraná e sul da Bahia.

Segundo Abreu (1998), a ZCAS é formada pela associação entre e a Frente Polar Atlântica (FPA) e a convecção tropical, proveniente da região Amazônica.

[...] O papel da FPA na dinâmica de formação da ZCAS é essencial. Ela funciona como um canalizador da convergência do ar nos baixos níveis da atmosfera que alinha, na sua direção as IT e, conduz a umidade originada na região amazônica, para sudeste. O ar úmido e quente sobe, resfria e condensa, formando nuvens ao longo da FPA. A orientação noroeste-sudeste da ZCAS é determinada pela contribuição da FPA, que sobre o continente, apresenta esta mesma direção preferencial (ABREU, 1998, p.19).

Abreu (1998) destacou que as precipitações associadas às ZCAS podem ser de curta duração, quando há predomínio da atuação das LI, ou estacionárias quando o predomínio for das características da FPA. No primeiro caso, as chuvas são intensas e de curta duração e no segundo caso, elas são de longa duração associadas à presença de nuvens estratiformes, que diminuem acentuadamente a insolação à superfície, “[...] tornando os dias de verão úmidos e cinzentos e gerando grande acúmulo de chuvas” (ABREU, 1998, p.19).

As LI, denominadas de IT pela autora, são centros de baixa pressão, observados durante a primavera e verão, associados ao intenso aquecimento do continente brasileiro. Segundo Reboita *et al.* (2010), elas são bandas de precipitação que consistem basicamente em um conjunto de nuvens cumulusnimbus (Cb) de diversos tamanhos que se organizam em linha ou em curva e se deslocam de maneira uniforme, mantendo certa identidade durante o seu tempo de vida entre poucas horas até um dia.

Os autores ressaltaram que as LI, com células convectivas mais profundas, surgem em função do setor quente dos SF, a uma distância de 200 – 300 Km das FF. Eles utilizaram o conceito de Esteira Transportadora Quente (ETQ) para explicar o transporte de calor e umidade que produz nuvens e precipitações a frente dos SF. “[...] As LIP estão em alguns casos associados às ETQ, com levantamento inclinado para frente, adiante da frente fria em superfície” (REBOITA, *et al.* 2010, p.192). O ar úmido, impulsionado pela ETQ, encontra-se com ar seco, em altos níveis, formando uma FF em altitude, que aumenta a profundidade do ar quente e úmido associada à banda de convecção organizada.

Segundo Barry e Chorley (2013), as LI correspondem a uma das categorias dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), comuns em latitudes tropicais e subtropicais. A outra categoria de SCM são os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), que se caracterizam por um conjunto de nuvens do tipo Cb acompanhados por densa camada de Cirrus (Ci), facilmente identificadas em imagens de satélites devido ao seu aspecto circular, com um crescimento explosivo num intervalo de tempo de 6 a 12 horas (REBOITA, *et al.* 2010).

A gênese dos SCM está associada a disponibilidade de calor e forçante topográfica. Segundo Silva Dias, Rozante e Machado (2009), a maior frequência está centrada a leste dos Andes, entre 15° - 30°S, sobre o Paraguai, norte da Argentina e sul do Brasil, no período de primavera e verão. A circulação vale-montanha no período noturno, incursão de ar frio através dos ventos catabáticos, associado ao ciclo noturno do JBN, favorecem a ascensão sobre os vales dos rios Paraguai e Paraná, e caracterizam as forçantes para o

desenvolvimento inicial do sistema, essa ascensão é fortalecida pelo posicionamento do JS, na estação de primavera e verão.

O CCM evolui ao longo de seu ciclo de vida, modificando seu tamanho, sua forma, sua intensidade e composição das nuvens. Segundo os autores, o sistema inicial é composto por células convectivas e quando observado por satélite apresenta baixos valores de temperatura de brilho ( $-53^{\circ}\text{C}$ ) e altos valores de reflectância (maiores que 0,7). Na fase madura, quando alcança a maior área de coberturas de nuvens convectivas, o sistema é composto por diferentes partes:

[...] uma parte convectiva que representa aproximadamente 20% da área total, uma parte chamada de transição, composta por nuvens estratiformes e cúmulos-nimbus em dissipação e uma grande capa de nuvens cirrus, cobrindo aproximadamente 52% da área total (SILVA DIAS, ROZANTE E MACHADO, 2009, p.184).

O ciclo de vida dos CCM da AS foi estudado por Durkee e Mote (2010), através de 330 casos de outubro a maio de 1998-2007, diagnosticados pela área da nuvem a partir do centroide por pixel das imagens de satélite por Infravermelho (IR), nos horários de 02:45, 05:45, 08:45, 11:45, 14:45, 17:45, 20:45 e 23:45 UTC. Os autores destacaram que a maior frequência de início de formação dos CCM ocorreram as 17:45 UTC, a extensão máxima as 20:45 e dissipação as 02:45 UTC.

Segundo os autores,

*Nearly 75% of all MCCs started between 1745 and 0245 UTC. Meanwhile, 78% reached maximum size between 2045 and 0845 UTC, and 77% dissipated between 2045 and 1145 UTC. Despite the temporal overlap in each stage, MCCs in SSA appear to occur more often at night (between 1745 and 0245 UTC) (DURKEE, J. D. e MOTE, T. L. 2010, p.422).*

Durkee e Mote (2010) ainda identificaram uma correlação positiva entre duração máxima e extensão dos CCM e fraca entre latitude e máxima duração. Os maiores acúmulos de precipitação ocorrem entre a fase inicial e a maturação, e a maior extensão da área de precipitação na fase de maturação. Segundo Silva Dias, Rozante e Machado (2009), embora as partes convectivas representem apenas 20% da área total, contribuem com aproximadamente 50% do total de precipitação, ocorrendo os outros 50%, nos 80% restantes da área.

Sobre a sazonalidade e a distribuição espacial dos CCM, Durkee e Mote (2010) salientaram que a convecção organizada e precipitação associada sobre a região tropical e subtropical da AS têm-se mostrado intimamente ligada a locais próximos a região de saída do JBN. A

análise mensal mostrou que a frequência é maior no final da primavera e início do verão, particularmente sobre o Paraguai, Nordeste da Argentina e Sul do Brasil. Em dezembro, a frequência é mais alta que janeiro (meses de maior número de casos de CCM), entretanto nesse mês eles ocorrem mais difundidos em toda região tropical e subtropical da AS (inclusive sobre o SB). Nos meses seguintes há uma diminuição do número de casos e no início do outono há uma tendência de deslocamento para sul do eixo de maior ocorrência de eventos de CCM.

Outro sistema, de latitudes médias e altas, recorrente sobre o SB são os SF. Segundo Barry e Chorley (2013), as principais áreas nas quais frequentemente ocorrem frentes e depressões associadas se devem à confluência de fluxo de ar com características termodinâmicas opostas, forte gradiente barométrico e intenso cisalhamento vertical do vento.

No HS,

[...] a Frente Polar encontra-se, em média, a 45°S, em janeiro, com ramos espiralados a partir de aproximadamente 32°S na porção leste da América do Sul e 30°S e 150°W no Pacífico Sul. Em julho, existem duas Zonas Frontais espiraladas em direção à Antártica, [...] a partir de 20°S; uma começa sobre a América do Sul, e a outra, a 170°W (BARRY e CHORLEY, 2013, p.242).

Segundo Andrade e Cavalcanti (2004), geralmente os sistemas transientes provenientes do Pacífico se deslocam para leste, e, depois da passagem pela Cordilheira dos Andes adquirem uma componente em direção ao Equador, que podem tanto deslocar-se pelo oceano Atlântico, como pelo continente. No Brasil, as frentes atuam durante todo o ano e afetam com mais frequência as Regiões Sul e Sudeste, sendo responsáveis pelas chuvas, principalmente no sul do país.

As frentes apresentam uma forte característica sazonal, sendo mais frequentes de maio a setembro e menos frequentes durante o verão, no HS. Andrade e Cavalcanti (2004) apresentaram, através do estudo da climatologia da frequência de FF sobre a Região Sul, Sudeste, Centro-oeste e sul da Bahia, que quanto menor a latitude, menos frequente são as passagens dos SF no verão e maior a ocorrência no inverno. No SB, há poucas diferenças entre o número de sistemas que atingem a região nas estações de outono, inverno e primavera, entretanto, são mais frequentes nessa última estação, particularmente pelo litoral.

Raia e Cavalcanti (2008) identificaram forte relação entre a passagem de SF e o início do ciclo do SMAS. Segundo as autoras, a combinação de condições ocasionadas pela

passagem das FF, como a geração de instabilidade convectiva, aumento do fluxo de calor latente, assim como aumento do fluxo de ventos à leste dos Andes e diminuição da pressão ao nível do mar, são características que antecedem o início do ciclo do SMAS.

No verão, Andrade e Cavalcanti (2004) identificaram que os sistemas ao atingirem o sul da AS, Regiões Sul e Sudeste, são deslocados para o oceano, ou seja, é nessa estação que as frentes não conseguem atingir latitudes mais baixas. A análise sinótica dos compostos de vento, anomalia de pressão ao nível do mar (PNM) e anomalia negativa de ROL, através de dados de reanálise do NCEP-NOAA de 1980-2002<sup>42</sup>, mostrou que os sistemas que chegaram até o SB, pelo litoral, apresentaram o centro de baixa pressão avançado para o litoral leste, no dia inicial do sistema, e na retaguarda, observou-se um centro de alta, que se desloca para leste e intensifica-se à medida que o sistema avança para o Sudeste. A configuração das anomalias de ROL apresentou uma orientação meridional no dia do evento, verificando-se anomalias negativas de ROL em uma banda NW-SE, se estendendo da costa sudeste para o oceano, e anomalia positiva no Sul, devido à atuação da alta pressão pós-frontal na Região.

Segundo Cavalcanti e Kousky (2009), as características típicas da circulação atmosférica associada à incursão de ar frio, que seguem a passagem de FF sobre a região (sub)tropical da AS, são: 1) uma crista amplificada nos níveis médios da troposfera e um anticiclone em superfície sobre o Pacífico Sul Leste; 2) um cavado nos níveis médios da troposfera, em intensificação sobre a região central da Argentina. Essa configuração intensifica o escoamento de sul na média troposfera, a leste dos Andes, o que favorece o deslocamento para norte do ar frio e do anticiclone em superfície.

Os autores ainda salientaram a mudança no escoamento em baixos níveis, a partir da componente meridional do vento. Antes da aproximação do SF, sobre o SB, os ventos são de nordeste devido à influência do ASAS, com a aproximação do SF, situação pré-frontal, os ventos são noroeste, e em seguida, gira para sudoeste e sudeste, a medida que a frente avança.

---

<sup>42</sup> O critério utilizado para identificação dos sistemas frontais, por Andrade e Cavalcanti (2004), foi diminuição da temperatura, em 925 hPa, aumento da pressão ao nível médio do mar e mudança na componente meridional do vento, em 925 hPa. Cavalcanti e Kousky (2009) definiram como aprimoramento do critério, uma diminuição de pelo menos 2°C, no campo de temperatura em 925 hPa, um aumento de 2 hPa no aumento de PNM e existência de ventos de sul, em pelo menos 2 dias.

Ao comparar a passagem das frentes e o comportamento da precipitação diária (mm/d) nos meses de setembro, outubro e novembro, sobre o SB, durante 1979-2005, Cavalcanti e Kousky (2009) notaram que as precipitações são mais frequentes ao longo e atrás das frentes. Os autores identificaram que com a passagem da FF, o máximo de precipitação se desloca para nordeste, sobre o leste da AS, assim como o aumento da precipitação no oeste da Amazônia depois da passagem das frentes no SB. A banda de nebulosidade e precipitação associada é frequentemente identificada nos tempos  $t+1$  e  $t+2$ , que representa um e dois dias após o estabelecimento do SF, relacionadas à formação da ZCAS.

A interação entre o SF e a convecção tropical é comumente identificada nas imagens de satélite, particularmente pela estacionaridade do sistema. Um dos critérios de identificação do estabelecimento de uma ZCAS foi definido por Quadro (1994), em que a ZC e a banda de nebulosidade associadas persistem estacionárias por no mínimo quatro dias. Entretanto, é recorrente a configuração da ZC, sem essa duração, o que fez com que o Grupo de Previsão de Tempo do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (GPT-CPTEC) propusesse a ZCOU (Zona de Convergência de Umidade).

Segundo Sacramento Neto, Escobar e Silva (2010), as diferenças entre as ZC não resumem-se ao tempo de duração, a principal diferença está nas suas configurações. Para os casos de ZCAS, segundo a definição clássica, a convergência de massa nas camadas mais baixas e médias da troposfera são dispostas de NW-SE (oeste da Amazônia ao sudoeste do Atlântico Sul), com presença da banda de nebulosidade, anomalia negativa de ROL e positiva de precipitação. Para a ZCOU, os autores afirmam que há duas ZC sobre a AS, uma com ramo direcionado para o eixo clássico da ZCAS (NW-SE) e outra para o centro-norte da Argentina e oeste da Região Sul do Brasil (N-S).

Sacramento Neto, Escobar e Silva (2010) identificaram através da área preferencial de convergência dos ventos em 850 hPa, alinhada ao campo de ômega em 500 hPa e água precipitável, que nos casos de ZCOU, o JBN aparece bifurcado, o que não ocorre nos eventos de ZCAS. Essa bifurcação se deve a presença de um cavado de onda curta próximo a costa do Chile, a parte dianteira desse sistema de baixa pressão em altitude contribui para aumentar a convergência de massa em superfície, como faz o outro cavado presente entre o Atlântico e SB. Para os autores, essa bifurcação é principal diferença entre as ZC.

Entretanto, os autores salientaram que essas características que diferenciam as ZC procedem do critério temporal de atuação do sistema. Primeiramente, em termos puramente

ligados ao tempo de persistência, uma ZCOU pode ser caracterizada em situações onde os padrões são similares aos de ZCAS, porém a duração do sistema é de apenas 3 dias. Todas as ressalvas são consideradas para os casos em que o padrão persista por um quarto dia, o sistema passa a ser considerado ZCAS ou continua como ZCOU a partir das características de escoamento associado ao eixo de convergência em baixos níveis.

Pallotta e Nakazato (2010) ao comparar episódios clássicos de ZCAS e ZCOU, identificaram que nos altos níveis, para ambas as ZC, a AB e cavado do NEB se encontram bem definidos, já nos campos de divergência o episódio de ZCAS mostra valores mais intensos com aparência mais canalizada na direção NW-SE. Em baixos níveis, as autoras destacaram a presença do JBN configurado até SP e a circulação do ASAS adentrando o continente pelo ES e fortalecendo o transporte de umidade e a convergência. Nos eventos de ZCOU, as autoras identificaram que a convergência não apresenta valores bem marcados, o JBN, apesar de ligeiramente orientado no eixo clássico da ZCAS, tem forte bifurcação para sul e o ASAS não se encontra bem configurado, para auxiliar no provimento de umidade. Para elas, essa defasagem nos campos de convergência em baixos e médios níveis desencadeia uma banda de nebulosidade sem o mesmo padrão de organização, como nos casos clássicos de ZCAS.

As autoras também destacaram as diferenças nos campos de ROL, que marcam as desigualdades entre as ZC. Nos casos de ZCAS, são observados valores mínimos de ROL (menores que  $200 \text{ W/m}^2$ ) ao longo de quase toda extensão de NW-SE, destacando a persistência da banda de nebulosidade. Nos eventos de ZCOU, Pallotta e Nakazato (2010) identificaram valores altos de ROL, a banda de nebulosidade mais estreita e alguns pontos de anomalia positiva.

As variabilidades temporais e espaciais da ZCAS são fundamentais para compreensão das variabilidades intra e intersazonal da precipitação em Belo Horizonte. Segundo Carvalho e Jones (2009), na escala sinótica, a variabilidade temporal deve-se a incursão de FF sobre a Argentina e o sul do Brasil até latitudes mais baixas, acompanhada de um reforço da atividade convectiva sobre o oeste-sudoeste da Amazônia, estendendo-se sobre a ZCAS.

Em escalas de tempo inferiores a 100 dias, a maior variabilidade da ZCAS foi detectada sobre a região central da AS, a partir da variância de ROL, e mínima sobre a região amazônica. Segundo os autores, a variabilidade de 30-60 dias se deve em grande parte a

propagação para leste da Oscilação Madden-Julian<sup>43</sup> (OMJ), “[...] que é o modo mais importante de variabilidade tropical intrassazonal” (CARVALHO e JONES, 2009, p.101).

D’Almeida (1997), a partir de composições de função de corrente e campos anômalos e médios de ROL, detectou que trens de ondas são responsáveis pela propagação de perturbações atmosféricas a partir de fontes anômalas de calor persistentes no Pacífico. Para as fases úmidas no estado de São Paulo, associada à fase ativa da ZCAS, o autor identificou que tais fontes consistem de anomalia de subsidência sobre o Pacífico Central/Oeste e de convecção anômala subtropical no Pacífico Central. Os seus resultados mostraram que essas perturbações alcançam o continente sul-americano apenas alguns dias após a indução dos trens de onda que as transportam e contribuem para a formação e manutenção da ZCAS.

Sobre a variabilidade intrasazonal da ZCAS, D’Almeida (1997) destaca,

Sob o ponto de vista climatológico, a convecção na Amazônia desempenha um papel importante no estabelecimento da ZCAS [...]. Contudo, a variabilidade intrasazonal observada no comportamento da ZCAS deve-se provavelmente, à variabilidade presente na convecção no Pacífico, já que a convecção na Amazônia não apresenta variabilidade significativa nesta escala de tempo (D’ALMEIDA, 1997, p.108).

A variabilidade espacial da ZCAS foi estudada por Carvalho, Jones e Liebmann (2002), que propuseram uma metodologia para identificação dos padrões espaciais de precipitação associada à alta variabilidade da atividade convectiva durante o verão. Os autores apontaram que regiões com  $ROL \leq 200Wm^2$  estão bem relacionados aos padrões espaciais de precipitação.

Segundo os autores, foram definidas três áreas dentro do eixo da ZCAS, considerando a máxima atividade convectiva e mínima variabilidade “subssazonal”. Eles separaram a zona de convergência (do NW da Amazônia ao SW do Oceano Atlântico) em três: Zona Continental Amazônica (ZCA), Continental Costeira (ZCC), onde se encontra o SB, e Oceânica (ZCO). Essas regiões foram utilizadas para examinar as variações da intensidade da ZCAS e sua localização geográfica com particular ênfase para sua extensão sobre o oceano versus situações em que a convecção permanece ativa apenas sobre o continente.

---

<sup>43</sup> A OMJ caracteriza-se por uma célula de circulação zonal no plano equatorial, que se propaga para leste em um período de 30-60 dias. A descrição de sua estrutura vertical, extensão horizontal e velocidade de escoamento pode ser encontrada em Kayano, Jones e Silva Dias (2009) e sua interação e modulação da ZCAS em Carvalho, Jones e Liebmann (2004).

Através de dados de campos de ROL  $\leq 200 \text{ W/m}^2$  em 21 verões (dezembro a fevereiro de 1979 – 2000), Carvalho, Jones e Liebmann (2004) calcularam a extensão total ( $\text{km}^2$ ), a excentricidade, o mínimo valor de ROL e a variância de ROL nas três zonas. Segundo os autores, “[...] quanto mais deslocada sobre o oceano (sobre o continente), maior (menor) será a fração de área de ROL<sub>200</sub> observada sobre a região “oceânica” e maior (menor) será sua excentricidade” (CARVALHO e JONES, 2009, p.99).

Os estudos dos autores mostraram que a intensidade da ZCAS pode ser considerada independente de sua extensão sobre o oceano, ou seja, pode haver uma intensa atividade convectiva sobre o continente sem uma correspondente de alta atividade convectiva sobre o oceano. O oposto também ocorre, com intensa atividade convectiva sobre o SB e áreas oceânicas adjacentes, independente da atividade convectiva no interior do continente.

Carvalho e Jones (2009) ainda salientaram que a atividade convectiva intensa sobre o oceano parece ser associada à propagação de trens de onda de latitudes médias ligados a distúrbios intrasazonais tropicais. Quando a atividade convectiva é maior sobre o continente, desacoplada da atividade convectiva do oceano, não há uma relação clara com os trens de onda de latitudes médias do HS, sugerindo que outros fatores podem ocorrer nos trópicos e contribuir com essa variabilidade.

Quadro (2012) pesquisou, através de 10 anos de dados, o processo de intensificação de Vórtices Ciclônicos de Mesoescala (VCM) na região da ZCAS. Para identificação desses núcleos convectivos que se encontram na atmosfera abaixo de 500 hPa, o autor separou a ZC em três, como Carvalho, Jones e Liebmann (2002). A análise termodinâmica dos VCMs selecionados nas regiões ZOC e ZCC mostrou que os sistemas estão associados a um intenso transporte de umidade para a alta troposfera. Outra característica marcante identificado pelo autor foi a dissipação rápida do sistema, quando estiveram presentes em mais de um nível na troposfera, provocando precipitação acima de 150 mm.

O autor identificou que a maioria dos VCM, em baixos níveis, se intensifica na ZCC, particularmente a SW, “[...] possivelmente relacionados a efeitos topográficos e de instabilidade local gerada por sistemas transientes que penetram na região da ZCAS” (QUADRO, 2012, p. 63). Em geral, o autor verificou que a maioria dos VCM localiza-se na média troposfera, assim como sobre as zonas continentais, o que também atribui à influência da topografia. Nos níveis superiores, os VCM são predominantes sobre a ZCA devido à intensa liberação de calor latente de condensação. Sobre o SE do Brasil e oceano adjacente, o autor quase não verificou presença de VCM, em altos níveis.

O autor ainda ressaltou, em relação à frequência de atuação, que eles são mais intensos quando se localizam acima da Camada Limite Planetária (CLP), até aproximadamente 700 hPa. Os fluxos de calor latente são positivos, indicando que a condensação do vapor d'água é um elemento importante no papel de intensificação do sistema, e os fluxos de calor sensível são negativos devido à intensa nebulosidade associada à estacionaridade da ZCAS, que causa resfriamento da superfície.

Todos os processos dinâmicos citados geram chuvas que são comumente classificadas em três tipos principais a partir da maneira como ocorre a elevação do ar que dá origem a precipitação (AYOADE, 1986), ou seja, sua gênese. Segundo Barry e Chorley (2013), as chuvas são classificadas, como: de tipo convectivo, ciclônico e orográfico.

A primeira delas pode ser distinguida entre três subcategorias a partir do grau de organização espacial. As células convectivas isoladas, relacionadas ao forte aquecimento do continente no verão, principalmente associadas às baixas temperaturas na troposfera superior, que facilitam a liberação da instabilidade. As chuvas oriundas dessas células podem ser acompanhadas de granizo, trovões e relâmpagos, ocorrem em áreas pequenas (20 a 50 Km<sup>2</sup>) e duram aproximadamente de 30 minutos a 1 hora.

A segunda subcategoria de chuvas convectivas está relacionada à passagem de Linhas de Instabilidades pré-frontais (LIP), caracterizadas por Reboita *et al* (2010). E a terceira, as nuvens circulares e fortemente adensadas como as originadas dos CCM, que podem apresentar uma extensão de 256.500 km<sup>2</sup>. As chuvas podem ser fortes, prolongadas por até 14 horas, como identificou Durkee e Mote (2010). Esses sistemas são recorrentes no continente, principalmente entre 20°-30°S, mas quando ocorrem sobre o oceano desenvolvem sistemas de nuvens mais extensos e geram maior quantidade de chuvas.

O segundo tipo são as precipitações ciclônicas. Para Barry e Chorley (2013), essas chuvas estão associadas ao mecanismo de ascensão do ar pela convergência horizontal de fluxos de correntes sobre uma área de baixa pressão. A partir dessa definição, todas as precipitações originadas pelas ZC e pelos SF são consideradas ciclônicas. Os autores, assim como Tucci (1993), ressaltam que essas chuvas produzem nuvens de grande extensão horizontal que normalmente atingem grandes distâncias, provocando chuvas moderadas e duradouras. Essas chuvas originadas das ZC geram chuvas persistentes, e por vezes, muito fortes, associadas à precipitação convectiva, devido ao estabelecimento de sistemas convectivos embutidos na banda de nebulosidade, de grande extensão sobre a AS.

As chuvas frontais podem ser duradouras, fortes e/ou passageiras, sua tipologia irá variar de acordo com as características das frentes e da nebulosidade associada. Segundo Fedorova (1999), os tipos de frentes podem ser identificados pela nebulosidade, pela precipitação e por outros fenômenos de tempo associados. No geral, a nebulosidade forma-se no interior da massa quente e úmida, pois ela é menos densa, sendo forçada a subir ao longo de uma rampa frontal, marcada pelo forte gradiente térmico.

Na frente quente (FQ), as nuvens formam-se geralmente na vanguarda e próximo da linha da frente à superfície. Segundo Fedorova (1999), predominam nuvens estratiformes (St), Altostratus (As), precedidas de Ci nos altos níveis, onde coincidem com o nível de vento máximo (eixo da corrente de jato). Nas FF, que podem ser de deslocamento rápido ou lento, o sistema de nuvens podem se estender por centenas de quilômetros, com presença de nuvens Altocumulus (Ac), Nimbostratus (Ns) e Cb, com precipitações muito intensas, com trovoadas antes, durante e após a passagem imediata da frente. A autora ressalta que no estágio de formação do ciclone e próximo ao seu centro, as nuvens são muito parecidas com as da FQ, mas em outra direção.

Fedorova (1999) salientou que se a umidade do ar quente, na vanguarda da frente, é alta, então a zona de nuvens a frente da frente é alargada, sendo comumente observada nos cavados profundos, como é recorrente no verão da AS. Segundo a autora, nessas condições, próximo a FF, forma-se Cb, com aguaceiros, rajadas de ventos e aumento considerável da vazão em grandes bacias. Nas frentes de deslocamento rápido, formam-se colunas de nuvens com Ac na vanguarda da frente e Cb na chegada da frente e na retaguarda predominam Ns, As e Cirrostratus (Cs), devido ao forte gradiente de temperatura.

A autora ainda descreve as características de uma frente secundária. A sua estrutura é parecida com uma FF de deslocamento rápido. As chuvas são isoladas e observadas na forma de pancadas, elas se originam na retaguarda do ciclone depois de sua oclusão. Outro sistema frontal é a frente oclusa (FO), que se caracteriza pela presença de três massas de ar, sendo que o ar mais quente encontra-se nos níveis médios e altos da troposfera.

As FO podem ocorrer por oclusão do tipo FQ ou do tipo FF. No verão, é recorrente a oclusão fria, em que o ar invasor é mais frio que o segmento frio da frente, formando uma zona frontal sobre a superfície semelhante a FF, com formação de nuvens típicas de FF e possibilidades de aguaceiros. As condições de tempo são muito diversas com a passagem

desses sistemas frontais. O Quadro 3 apresenta as principais características associadas aos diferentes momentos de atuação dos SF, elencadas por Fedorova (1999).

Quadro 3 – Mudanças de tempo associadas à Depressão Frontal

	Frente Quente		Setor Quente	Frente Fria	
	Vanguarda	Retaguarda	Domínio	Vanguarda	Retaguarda
Pressão	Queda permanente	Estabelece	Pouca mudança	Súbito aumento	Aumento permanente
Vento	E, NE	N, NW	Permanente	Vira subitamente	S, SW
Temperatura	Aumento lento	Aumento ligeiro	Pouca mudança	Súbita queda	Pouca mudança
Céu	Torna-se encoberto	Ns e Fn	Encoberto	Cb	Cb, Ac e Cu com céu azul
Precipitação	Contínua de chuviscos a chuva forte	Chuva pára	Chuva	Chuva forte, trovoada e granizo	Pode haver chuva forte
Visibilidade	Deteriorando	Ruim	Ruim	Grande Melhoria	Excelente, exceto em pancadas
Umidade	Aumentando	Rápido Aumento	Muito alta	Rápida queda	Baixa, mas variável

NOTA: Ac – Altocumulus, Cb – Cumulonimbus, Cu – Cumulus, E – Leste, Fn – Formação de Nuvens, Ns – Nimbostratos, NE – Nordeste, NW – Noroeste, N – Norte, SW – Sudoeste, S – Sul.  
Fonte: FEDOROVA, 1999, p. 155.

O terceiro tipo refere-se às chuvas orográficas. Segundo Barry e Chorley (2013), as precipitações orográficas apesar de serem consideradas um tipo distinto, deve-se ter um cuidado ao classificá-las. As montanhas por si só não são eficientes em remover a umidade das correntes de ar que as atravessam, mas atuam como atributo da superfície que interagem com diferentes mecanismos dinâmicos da atmosfera. Muitas vezes elas são classificadas como tal pela frequência e intensidade das precipitações serem maiores que a redondeza em função da ocorrência de condensação a barlavento das vertentes.

Segundo os autores, uma barreira orográfica pode produzir vários efeitos, entre eles: 1) ascensão forçada do ar, resfriamento adiabático, condensação e precipitação; 2) desencadeamento de instabilidade condicional ou convectiva, bloqueando o fluxo de ar e ascendência a montante; 3) ventos ascendentes em função do aquecimento diurno da

encosta e desencadeamento de convecção pelo aquecimento diferenciado; 4) maior precipitação frontal, pelo retardamento do movimento de sistemas ciclônicos e frentes.

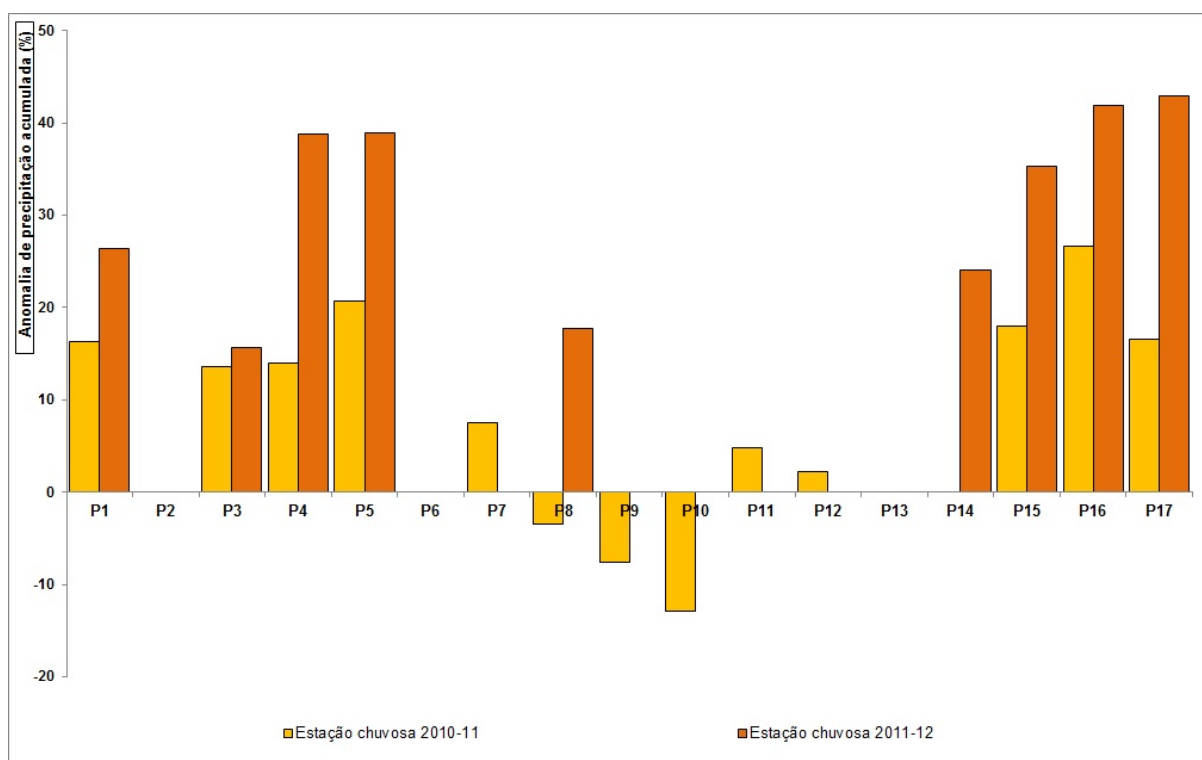
Seluchi e Chou (2009), ao estudar os padrões sinóticos e frequência de eventos de ZCAS e SF sobre a Serra do Mar e o desencadeamento de deslizamentos de terras, identificaram que dos 33 casos estudados, 18 são de origem frontal e 15 de ZCAS. Os casos de SF mostraram um sistema de baixa pressão alongada sobre São Paulo e menor umidade específica no campo de 850 hPa e um forte gradiente meridional de temperatura a 500 hPa, o que indica a baroclinicidade. Para a ZCAS, o máximo de divergência é maior no campo de 250 hPa e encontra-se posicionado sobre a costa de SP. Os autores destacaram que as principais características distinguíveis devem-se a posição da ZCAS, mais ao sul, em relação a sua posição climatológica, associada a anomalia anticiclônica barotrópica em altos e médios níveis, e convergência em baixos níveis, com alto teor de umidade. As FF que causam deslizamento na Serra do Mar são mais fortes que os padrões climatológicos e apresentam um sistema de baixa pressão alongado sobre SP, na vanguarda do sistema, e um anticiclone atrás da frente com forte anomalia positiva e mais frio.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 As espacialidades dos totais sazonais de precipitação nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12

Os dados de chuvas foram analisados em 14 meses das estações chuvosas 2010-11 e 2011-12, desde o registro pluviométrico na escala horária, no município de Belo Horizonte, até a sua gênese nas escalas superiores. O gráfico 5 mostra o percentual de anomalias dos acumulados de precipitação nas respectivas estações, calculadas a partir do somatório das médias climatológicas dos meses de outubro a abril.

Gráfico 5 – Anomalia de precipitação total das estações chuvosas 2010-11 e 2011-12.



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

Verifica-se que as duas estações foram anormalmente positiva na maioria dos postos pluviométricos, sendo que a estação chuvosa 2011-12 apresentou maiores percentuais. No primeiro ano, os postos P8, localizado no SARMU<sup>44</sup> da Regional Norte, bairro São Bernardo, P9, localizado no bairro Ribeiro de Abreu (ETE-Onça), extremo nordeste e P10, localizado no SARMU da Regional Venda Nova, situado no bairro Letícia, apresentaram percentuais de anomalia de precipitação negativos, em relação à média climatológica, 1354,2 mm. A partir

<sup>44</sup> SARMU - Secretaria de Administração Regional Municipal.

da classificação de Brandão<sup>45</sup> (2010), esses postos apresentaram pequena anomalia negativa, já os postos P3, localizado no bairro Santa Maria, extremo oeste do município, Regional Noroeste, P4, situado no conjunto de ZEIS do aglomerado Santa Lúcia, Regional Centro-Sul, P7, localizado no bairro Bandeirantes, no extremo noroeste do município, Regional Pampulha, P11, localizado no bairro Jardim Montanhês, Regional Noroeste e P12, situado na Vila Fazendinha, Regional Centro-Sul, apresentaram pequena anomalia positiva. Os demais apresentaram anomalia positiva moderada.

Na segunda estação chuvosa, os postos P1, localizado no bairro Vale do Jatobá, extremo sudoeste do município, Regional Barreiro, P3, P8 e P14, localizado no bairro Granja de Freitas, extremo leste da capital, apresentaram anomalia positiva moderada. Os postos P4, P5, localizado no Bairro Carlos Prates, Regional Noroeste, P15, situado na E-Eco-UFMG, na Regional Pampulha, P16, localizado no Parque Estadual do Rola Moça, Regional Barreiro, e P17 apresentaram grande anomalia positiva.

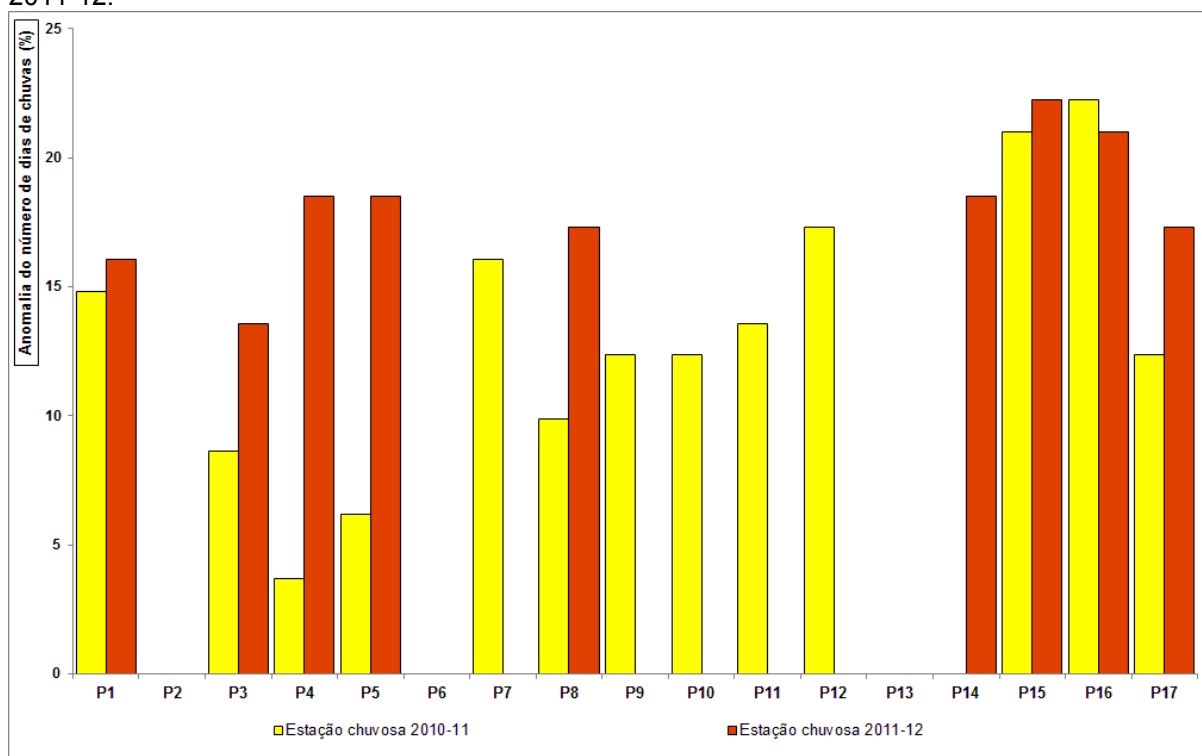
Os postos P2, situado bairro Olhos D'água, Regional Barreiro, e P6, situado no bairro Caetano Furquim (ETE-Arrudas), Regional Leste, apresentaram numerosos registros de falhas nas duas estações chuvosas analisadas, o que comprometeu os valores totais, não sendo válida a comparação das respectivas anomalias com os demais postos, como observado na Tabela 1. O mesmo ocorreram com P7, P9, P10, P11, P12, e P13, localizado no bairro Buritis, Regional Oeste, com dados da estação 2011-12, período com muitas falhas e inconsistências no registro horário de dados pluviométricos da rede de monitoramento da URBEL, em comparação à primeira estação.

O gráfico 6 apresenta a anomalia do número de dias de chuvas, em relação à média climatológica, 81 dias de outubro à abril, a partir das Normais Climatológicas, de 1961-1990. Verifica-se que as duas estações, 2010-11 e 2011-12, apresentaram anomalias positivas, sendo a segunda maior que a primeira, exceto no P16, no extremo sul de Belo Horizonte, a 1.200 metros de altitude, situado nos domínios morfológicos do QF, onde ocorreram 99 dias de chuvas, na primeira estação, e 98 dias na segunda. O P15, situado na DBH, juntamente com o P16, apresentaram as maiores anomalias, com mesmo número de dias de chuvas, porém nas estações inversas.

---

<sup>45</sup> Brandão (2010) classifica as anomalias dos totais de precipitação anual e sazonal entre 0 – 15% de pequena anomalia, de 15,1 – 30% de anomalia moderada e maior que 30%, de grande anomalia positiva (negativa).

Gráfico 6 – Anomalia do número de dias de chuvas acima de 1 mm nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12.

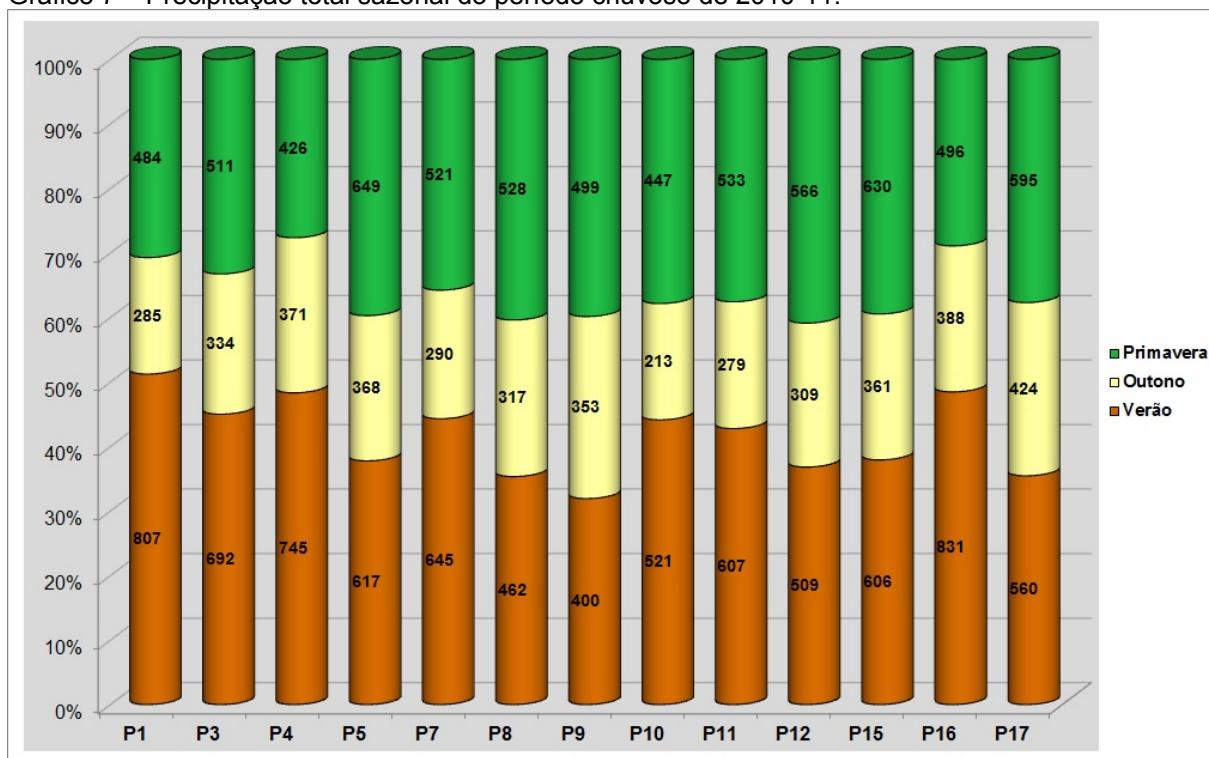


Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

Os postos P12, P7 e P1 apresentaram também significativas anomalias na primeira estação, já P3, P5, e P4 apresentaram as menores. Na segunda estação chuvosa, o menor número de dias de chuvas também ocorreu no P3, seguido do P1, onde foram registrados 92 e 94 dias de chuvas. Os postos P8 e P17 apresentaram 17,3 % e os postos P4, P5, P14 18,5%, de anomalia positiva. Nota-se menor variabilidade do número de dias de chuvas entre os postos apresentados, comparado ao total pluviométrico, como observado nas médias decadais, apresentados no item 4.2.3.3.

O gráfico 7 apresenta a distribuição do total da precipitação sazonal na estação chuvosa 2010-11. Na primavera, observa-se que o totais de precipitação foram maiores que a média climatológica, 422, 5 mm, e da média da década de 70, a maior do gráfico 3. Os maiores acumulados, a partir do somatório da precipitação mensal dos meses de setembro, outubro e novembro, ocorreram nos postos P5, P15 e P17, com anomalias positivas de 53,6%, 49,2% e 40,9%, respectivamente, e os menores nos postos P4, P10, P1 e P16.

Gráfico 7 – Precipitação total sazonal do período chuvoso de 2010-11.



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG

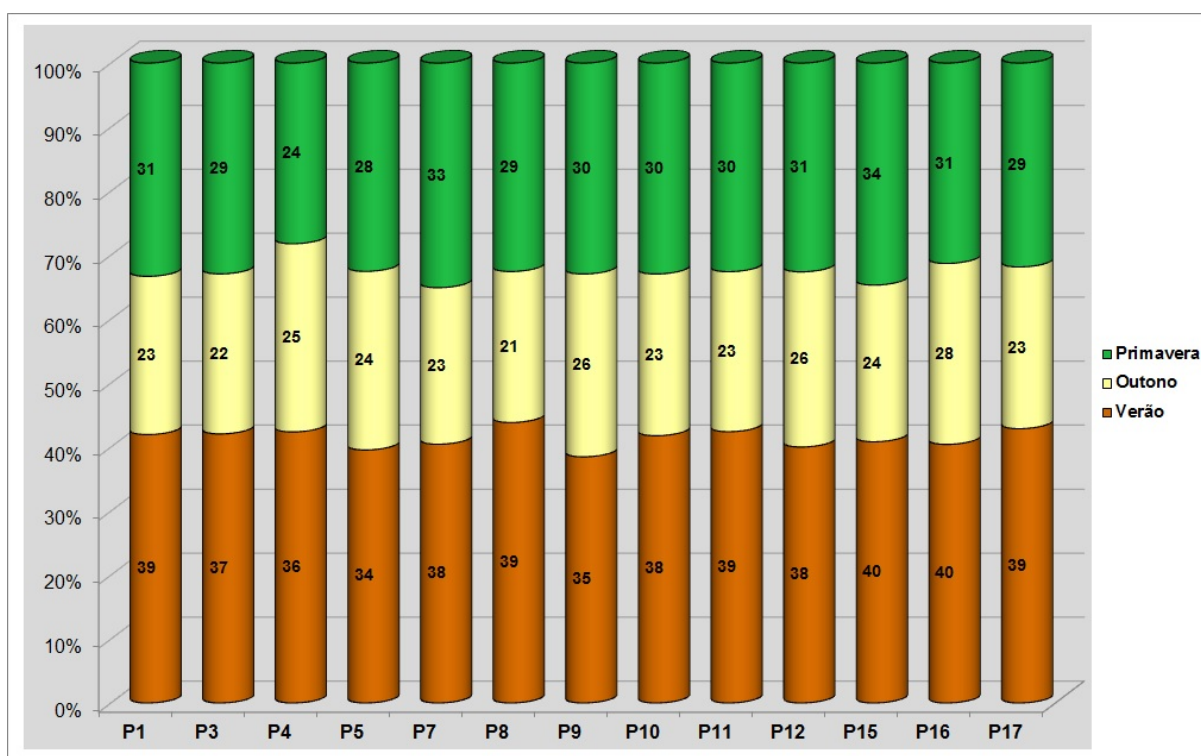
Verifica-se que nos meses do verão, os maiores acumulados ocorreram nos postos P16, P1 e P4, já os menores percentuais, pouco mais de 30% do total de precipitação dessa estação chuvosa, foram registrados nos postos P9, P8, P12, P10 e P17. Ao comparar com o gráfico 3, verifica-se que no verão os postos P1 e P16 registraram valores próximos aqueles da média decadal de PII, e maiores que a média climatológica, 772,4 mm. Os demais postos apresentaram valores abaixo da média climatológica, sendo que os postos P9, P8, P12, P10, P17, P15, P11 e P5 registraram total acumulado no verão menor que a média da década de 70, a menor média apresentada no tal gráfico.

No outono, o maior acumulado ocorreu no P17, 86,6% de anomalia positiva em relação à média climatológica, 227,3 mm, praticamente a mesma da década de 70. A exceção do P10, todos os demais registraram valores maiores que essa média climatológica. Os maiores acumulados totais, no outono de 2011, foram registrados, além do P17, nos postos P4, P5, P9, P15 e P16, valores maiores que a média decadal de 90, a maior do referido gráfico.

O gráfico 8 mostra a distribuição sazonal do número de dias de chuvas da estação 2010-11, em cada posto pluviométrico. Na primavera ocorreu entre 34, P15, e 28 dias de chuvas, P5, onde foi registrado o maior acumulado nesse período. Ao comparar os gráficos 8 e 4, verifica-se que a maioria dos postos apresentaram número de dias similares às médias

decadais. Somente no posto P4 registrou-se um número de dias de chuvas abaixo da média climatológica, 27 dias, que se devem as falhas no registro pluviométrico ocorrido no início de outubro de 2010. Utilizaram-se os dados deste posto em função do baixo percentual de falhas no respectivo mês, como apresentado na Tabela 1, entretanto no somatório total do mês, o percentual de 3,5% ocorreu no primeiro evento de chuva, que comprometeu o seu total mensal.

Gráfico 8 – Número de dias de chuvas sazonal do período chuvoso de 2010-11.



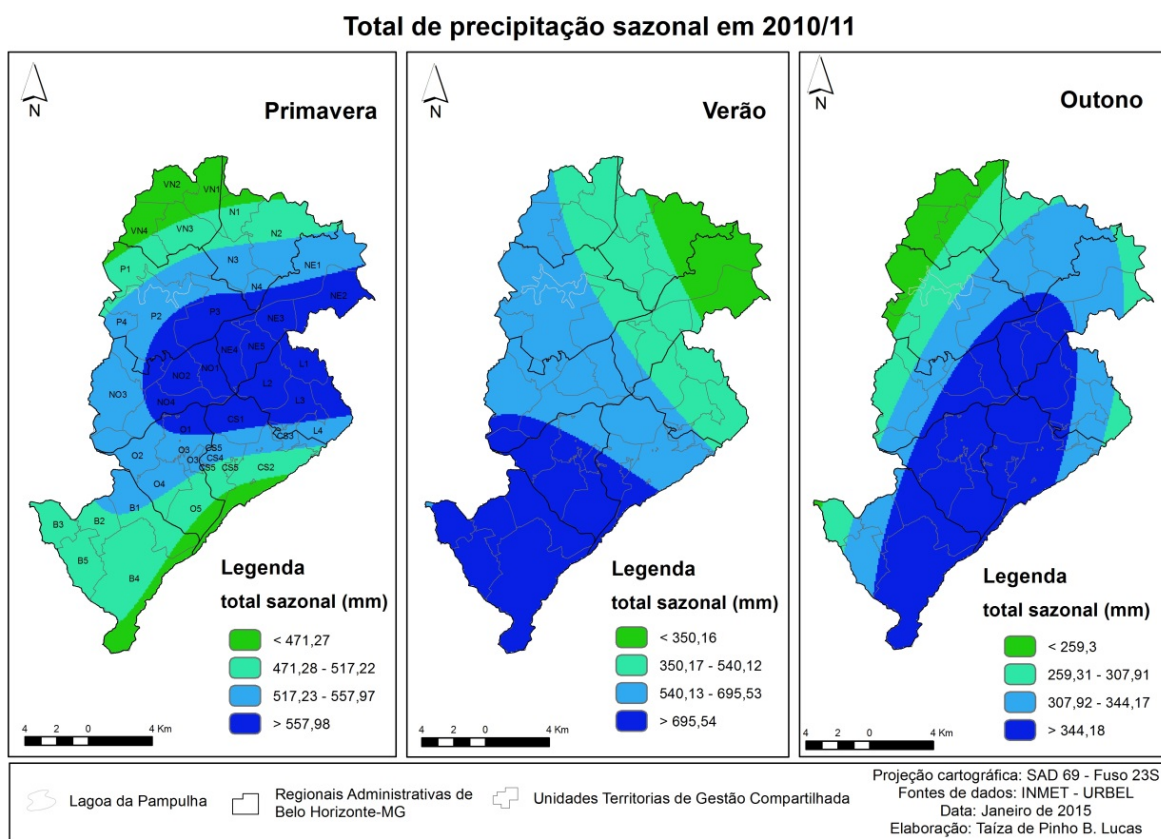
Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

Verifica-se que no verão ocorreu o maior número de dias chuvosos, como esperado ao comparar com as médias decadais, porém menores que a média climatológica, 43 dias, e menor que a média da década de 70, a menor do gráfico 4. Nos postos P5, P9 e P4 foram registrados os menores números de dias chuvosos e os maiores no P15 e P16.

No outono, o número de dias de chuvas ocorridas no final da estação chuvosa 2010-11, foi entre 28, P16, e 21 dias, P8, com menor número de dias que a primavera, como esperado. Todos os totais de chuvas foram superiores a média climatológica, 17 dias, e mais próximos das médias apresentadas no gráfico 4. A menor média decadal ocorreu na década de 90, 25 dias, e nas outras três, 26 dias, os postos que apresentaram valores iguais ou maiores que essas médias foram: P4, P9, P12 e P16, extremo oriental do município.

A espacialização dos totais pluviométricos da primeira estação chuvosa está representado na figura 29, por estação sazonal<sup>46</sup>. A espacialidade do acumulado entre os meses da primavera mostra que os maiores valores ocorreram na região central do território belo-horizontino, grande parte da Unidade Territorial de Gestão Compartilhada CS1, parte das Regionais Leste (L1, L2, L3), Nordeste (exceto o centro-norte da Unidade NE1), Pampulha (P3 e porção leste da P2), Noroeste (NO1, NO2 e parte leste da NO4) e Oeste (porção centro-norte da O1), em função dos maiores acumulados nos postos P5, P15 e P17. Eles situam-se nas áreas de intenso uso e ocupação do solo, nas imediações de unidades territoriais de elevada densidade demográfica, como apresentado na figura 7.

Figura 29 – Espacialização do total sazonal da precipitação do período chuvoso de 2010-11



Fonte de dados: IBGE, 2007; INMET; URBEL-PBH/UFMG.

No verão, quando são esperados os maiores totais pluviométricos, os maiores acumulados ocorreram na Regional Barreiro, grande parte da Regional Oeste e extremo sul das Unidades CS2 e CS4, onde há maiores desníveis altimétricos e acentuadas declividades associadas. Os menores acumulados registraram anomalias negativas de 34 a 10%, particularmente nas áreas de relevo ondulado - suavizado e fundos de vales à jusante dos

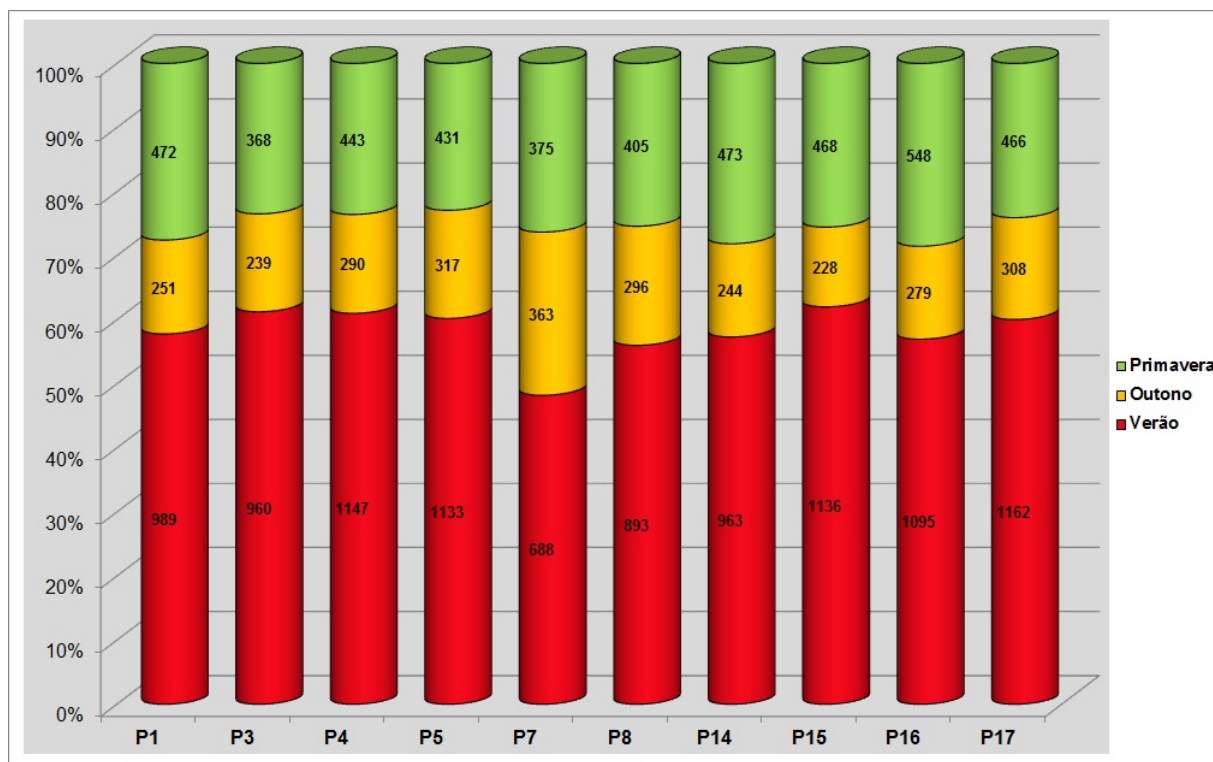
<sup>46</sup> Os dados de precipitação do inverno não foram analisados devido à distribuição do total anual de precipitação em duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa, caracterizada entre os meses de outubro e março, como demonstrado no item 4.2.3.3.

Ribeirões Onça e Arrudas, na DBH. As Unidades NE1, NE2 e N1 apresentaram os menores acumulados, assim como nas médias decadais e climatológicas apresentadas no item 4.2.3.4.

No outono, final da estação chuvosa, a distribuição do total sazonal apresentou uma configuração espacial diversa das demais, os maiores acumulados ocorreram nos postos P17, P16, P4 e P5, alinhando as áreas mais elevadas às centrais do município. Os menores acumulados ocorreram no extremo norte, particularmente na Regional Venda Nova. Nesta estação chuvosa, 2010-11, a primavera e o verão apresentaram espacialidades inversas às médias sazonais de 1962-2010, ao serem comparadas com as espacialidades apresentadas na figura 19. Primeiro elas foram mais concentradas na região central, período de início do ciclo do SMAS, e no verão, fase de amadurecimento do sistema, nota-se um acoplamento ao relevo.

O gráfico 9 apresenta a distribuição do total sazonal de precipitação acumulada na estação 2011-12. Nos meses da primavera, os acumulados de chuvas foram totalizados entre 367,8, P3, e 548,0 mm, P16. Em sete postos, de dez apresentados no gráfico, os totais de chuvas foram maiores que a média climatológica do período, 422,5 mm, e maiores que as médias decadais apresentadas. Elas foram menores nos postos P3, P7 e P8, representando as seguintes anomalias negativas: 13%, 11% e 4%. Entretanto, destaca-se que os acumulados nestes postos foram maiores que as médias decadais de 80 a 2000. Nota-se, também, que os totais pluviométricos da primavera concentraram-se em torno de 30% do total desta segunda estação chuvosa, assim como observado nas médias decadais apresentadas no gráfico 3, diferentemente da primeira estação, em que nesse período concentrou-se em torno de 40% da precipitação total da estação 2010-11.

Gráfico 9 – Precipitação total sazonal do período chuvoso de 2011-12.



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

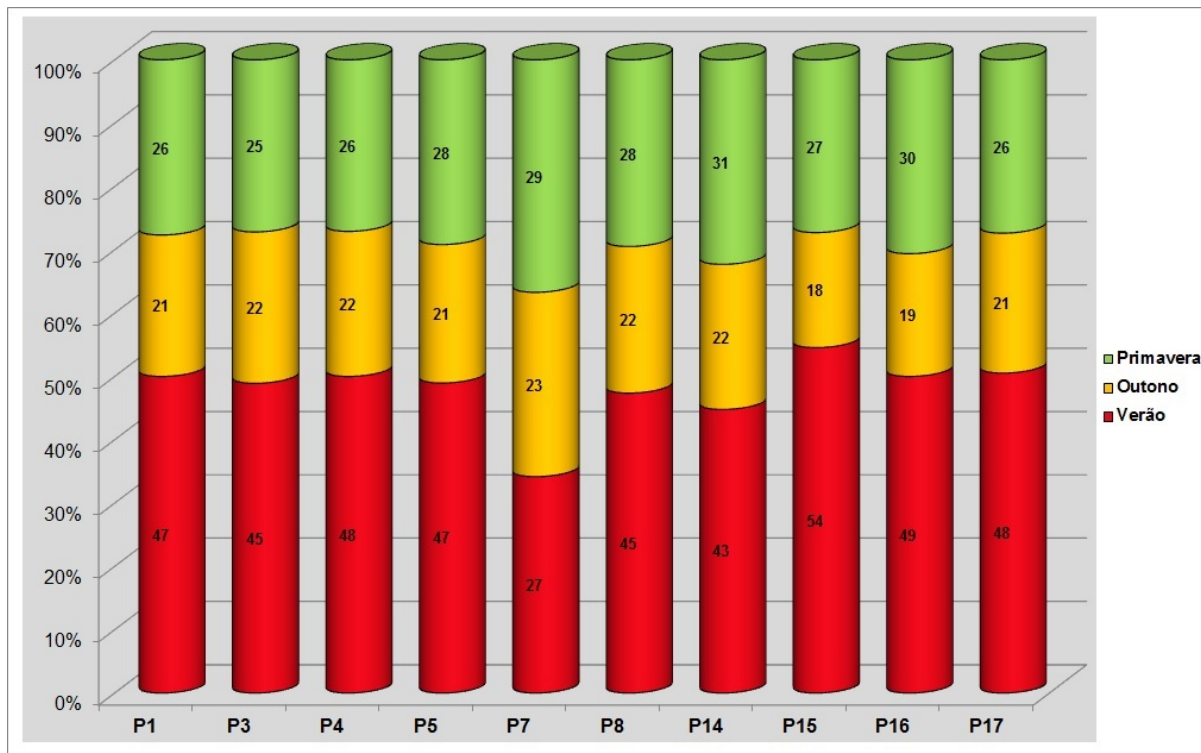
Verifica-se que mais de 50% do total pluviométrico ocorreu nos três meses do verão, exceto no posto P7, que se deve a ausência de dados no mês de janeiro de 2012. Os maiores acumulados ocorreram nos postos P17, P4, P15 e P5, respectivamente, 50%, 48% e 47% de anomalia positiva. Os menores foram registrados pelos postos P8, P3, P14 e P1. Todos eles maiores que a média climatológica e que as médias decadais de 70 a 2000.

No outono, todos os postos apresentaram anomalias positivas em relação à média climatológica, 227,3 mm. O menor acumulado foi no posto P15, mesmo valor da média decadal dos anos 70, e os maiores foram nos postos P5 e P7, anomalias positivas de 40 e 60%, respectivamente. Verifica-se que o posto P7 foi o único que apresentou acumulado superior a média decadal dos anos 90, maior média do gráfico 3, o restante apresentou valores similares as médias apresentadas.

O gráfico 10 representa a distribuição sazonal do número de dias de chuvas de 2011-12. Nos meses da primavera, os totais de dias de chuvas foram, em maioria, menores que a estação 2010-11. Os postos que apresentaram anomalia positiva em relação à média climatológica foram: P14, P16, P7, P8 e P5, com 14,9%, 11,1%, 7,4% e 3,7%, respectivamente. Os demais apresentaram anomalias negativas, o posto que registrou menor número de dias de chuvas foi P3, anomalia negativa de 7,4%. Os únicos que apresentaram total de dias igual e superior a menor média decadal, dos anos 80 e 90, foram

os postos P14 e 16, sendo que o maior valor foi o mesmo da média decadal dos anos 2000, observado no gráfico 4.

Gráfico 10 – Número de dias de chuvas sazonal do período chuvoso de 2011-12.



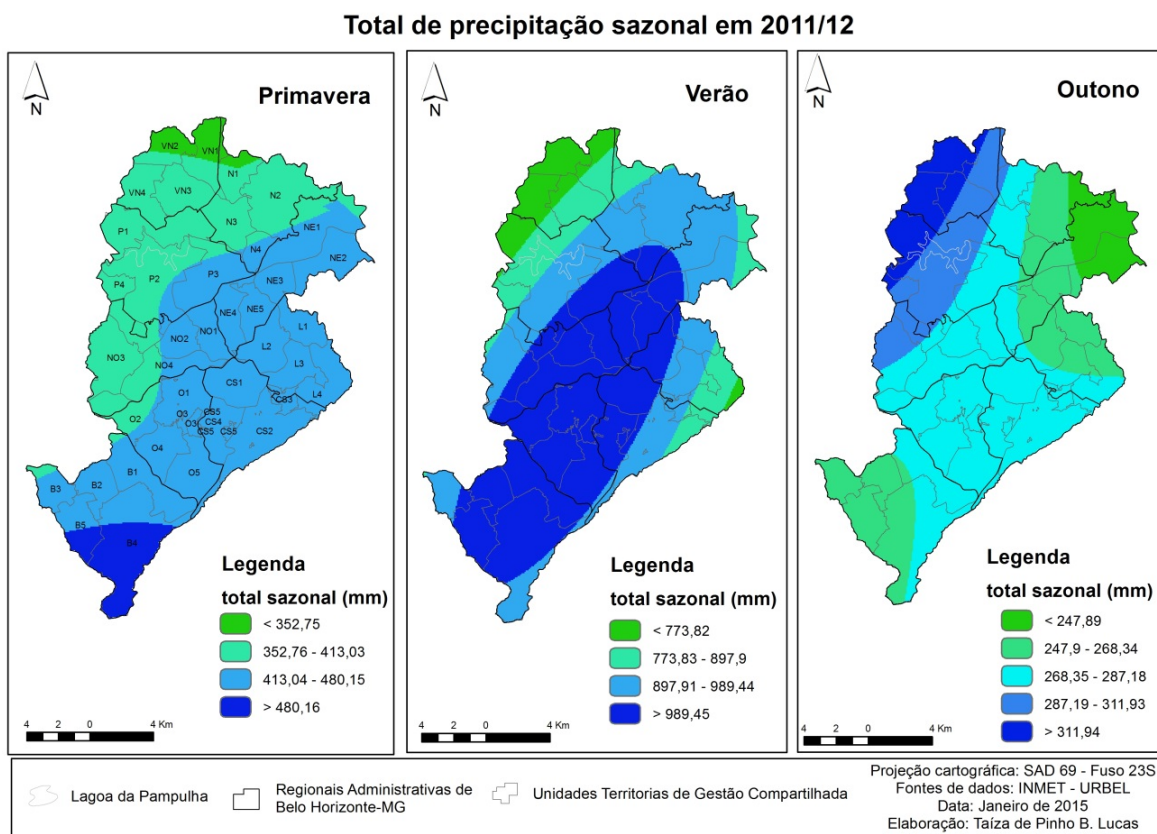
Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

No verão, todos os postos apresentaram maior número de dias de chuvas que a média climatológica e que a estação 2010-11. Entretanto, ao comparar com a relação entre os gráficos 9 e 3, em que os acumulados foram maiores que as médias decadais, não se verifica mesma relação entre os gráficos 10 e 4. Observa-se que no posto P14, o número de dias de chuvas foi menor que a média da década de 70, a menor das médias decadais, em seis postos os valores ficaram entre as médias da década de 70 e 80, 44 e 48 dias, respectivamente, e só no posto P15, 54, ela foi maior que a maior média decadal dos anos 2000, 52 dias. Portanto, houve ocorrência de chuvas mais intensas, já que os acumulados sazonais foram maiores que as médias e em menor número de dias de chuvas.

Nos meses do outono de 2012 ocorreram menos dias chuvosos, na maioria dos postos, comparada a mesma estação do ano anterior. Entretanto, os totais de dias de chuvas foram superiores a média climatológica, apesar de menores que as médias decadais, apresentadas no gráfico 4. As maiores anomalias positivas ocorreram nos postos P7, P3, P4, P8 e P14, e a menor no P15. Observou-se ainda que nesse outono concentraram-se em torno de 20% dos dias de chuvas, como esperado a partir do observado nas médias decadais.

A figura 30 apresenta a espacialização do total sazonal da estação chuvosa 2011-12. Durante a primavera verifica-se que o maior acumulado sazonal ocorreu no extremo sul de Belo Horizonte, no Parque Estadual do Rola Moça, similar à média sazonal de 1962 – 2010, representado na figura 19. Ainda se observa que os totais sazonais diminuem em direção as áreas de relevo mais suavizados, no extremo norte do município. Ao contrário da espacialização do total de chuvas da primavera de 2010, a sua configuração espacial é coerente com a distribuição dos níveis altimétricos, apresentados na figura 12. No início da estação chuvosa, o relevo tende a ser um atributo que determina a espacialização da chuva sazonal na escala local, assim como a continentalidade na escala regional.

Figura 30 – Espacialização do total sazonal da precipitação do período chuvoso de 2011-12.



Fonte de dados: IBGE, 2007; INMET; URBEL-PBH/UFMG.

No verão de 2011-12, os maiores totais pluviométricos apresentaram um eixo SW-NE, paralelo à crista da Serra do Curral, no lado continental, verifica-se que os extremos E/NE e W/NW do município apresentaram menores totais sazonais. Essa espacialização do acumulado sazonal de precipitação foi diversa da estação anterior, em que as Unidades P1 e P4 apresentaram-se na segunda classe de total pluviométrico, entretanto as Unidades L4, extremos leste da NE2, NE1, N1 e, praticamente, toda extensão da Regional Venda Nova, exceto a Unidade VN4, apresentaram os menores acumulados, como na primeira estação.

Ao comparar à média sazonal de 1962-2010, nota-se que apesar da espacialidade não apresentar um formato circular, ela é maior no eixo sul e diminui no sentido norte, assim como verificado na figura 19.

O total de precipitação sazonal do outono apresentou menor variabilidade, entre os postos pluviométricos, o que tornou necessário aumentar o número de classes para melhor representar as diferenças espaciais. Verifica-se que ela foi diversa da estação anterior, apresentando maior acumulado no extremo noroeste do município, e menores em praticamente toda Regional Nordeste, exceto na Unidade NE4, que apresenta totais similares as áreas centrais do município, e, ainda, nas unidades B2, B3, B5 e parte oeste da B4. Ao comparar com a espacialidade da média sazonal de 1962-2010, verifica-se padrões bastante diversos, exceto os menores acumulados na Regional Norte e Nordeste.

## **5.2 Os tipos de chuvas ocorridos em Belo Horizonte nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12**

A partir da análise horária, do total diário de chuvas, registrados nos postos pluviométricos representados na figura 4 e da interpretação de produtos meteorológicos verificou-se a ocorrência de 72 eventos de chuvas, sendo 36 em cada uma das estações chuvosas. O total de número de dias de atuação dos sistemas atmosféricos genéticos de chuvas (V1) sobre a capital mineira foi 103 e 115 dias, respectivamente, sendo a média do total de dias chuvas 92 dias, em ambas as estações. O maior número de dias chuvosos foi 99 (P16 e P15), como já mencionado, e o menor 85 (P4) e 92 dias (P3), nas respectivas estações chuvosas. Essa diferença entre V1 e o número de dias de registro de precipitação se deve a ocorrência de dias nublados sem registro de chuvas.

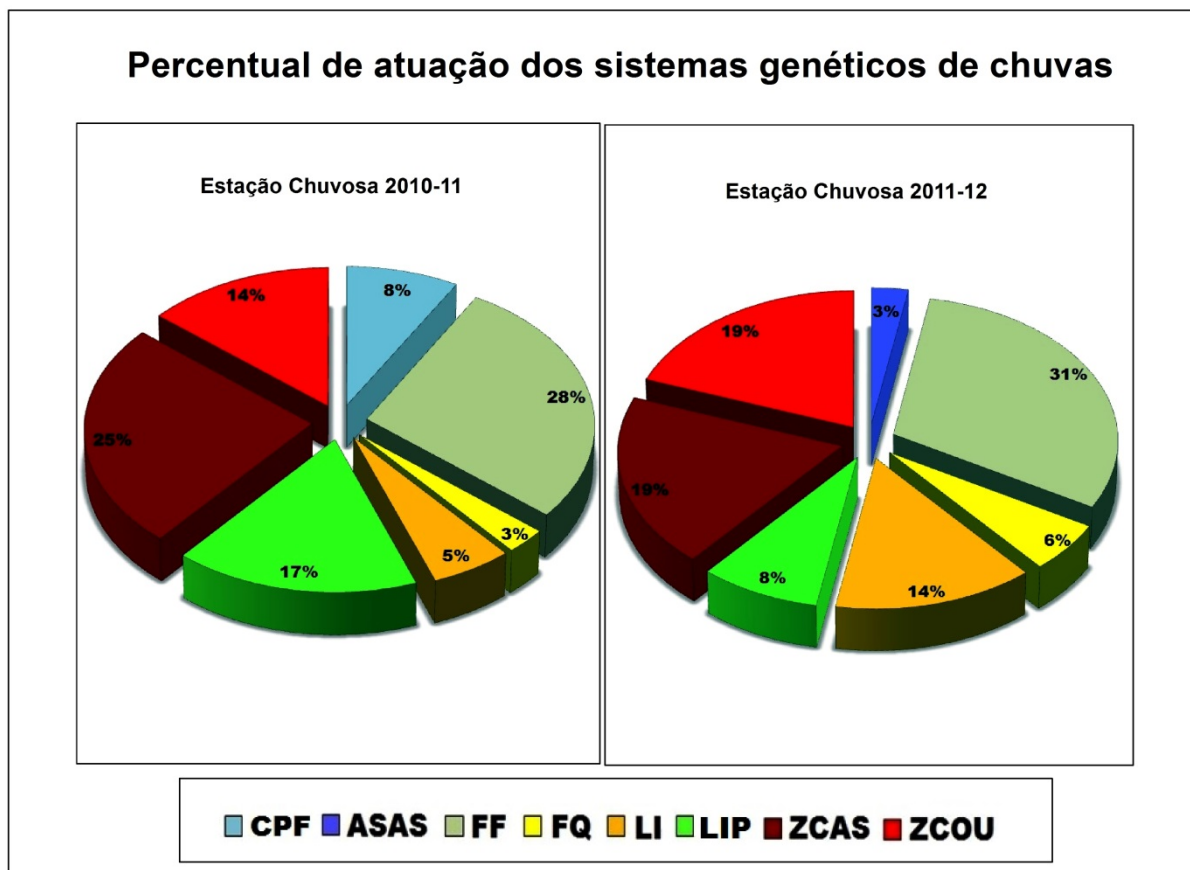
A figura 31 apresenta o percentual de atuação dos respectivos tipos de chuvas ocorridos na cidade de Belo Horizonte, para cada estação, em relação ao total de dias de atuação dos sistemas. Verifica-se que as FF foram os sistemas mais recorrentes em Belo Horizonte, seguidos da atuação das ZCAS, entretanto, se as ZC forem consideradas no total, elas correspondem a 39% e 38%, nas respectivas estações. Na primeira, os sistemas mais frequentes, além dos já mencionados, foram às chuvas de LIP, enquanto na segunda estação houve maior atuação das LI. Os eventos oriundos de Circulação Pós-Frontal<sup>47</sup> (CPF) e FQ são menos recorrentes, como esperado, já que o primeiro refere-se a um sistema que se caracteriza pela divergência de ar, em baixos níveis, o que não favorece à

---

<sup>47</sup> Nomenclatura identificada nos boletins técnicos de condições de tempo atmosférico, disponibilizados pelo GPT-CPTEC/INPE. Disponível em: [http://tempo.cptec.inpe.br/bol\\_tecnico.shtml](http://tempo.cptec.inpe.br/bol_tecnico.shtml). Acesso: 13 de abril de 2015.

ocorrência de precipitação. Entretanto, em função do giro anticiclônico, sentido anti-horário no HS, verifica-se o efeito da “circulação marítima”, que advecta ar úmido do oceano em direção a faixa leste do SB, que repercute em nuvens baixas, de topos quentes, tipo St. Em Belo Horizonte, esta circulação ocasionou poucos eventos de chuvas, no período de estudo, bastante pontuais e de fraca intensidade.

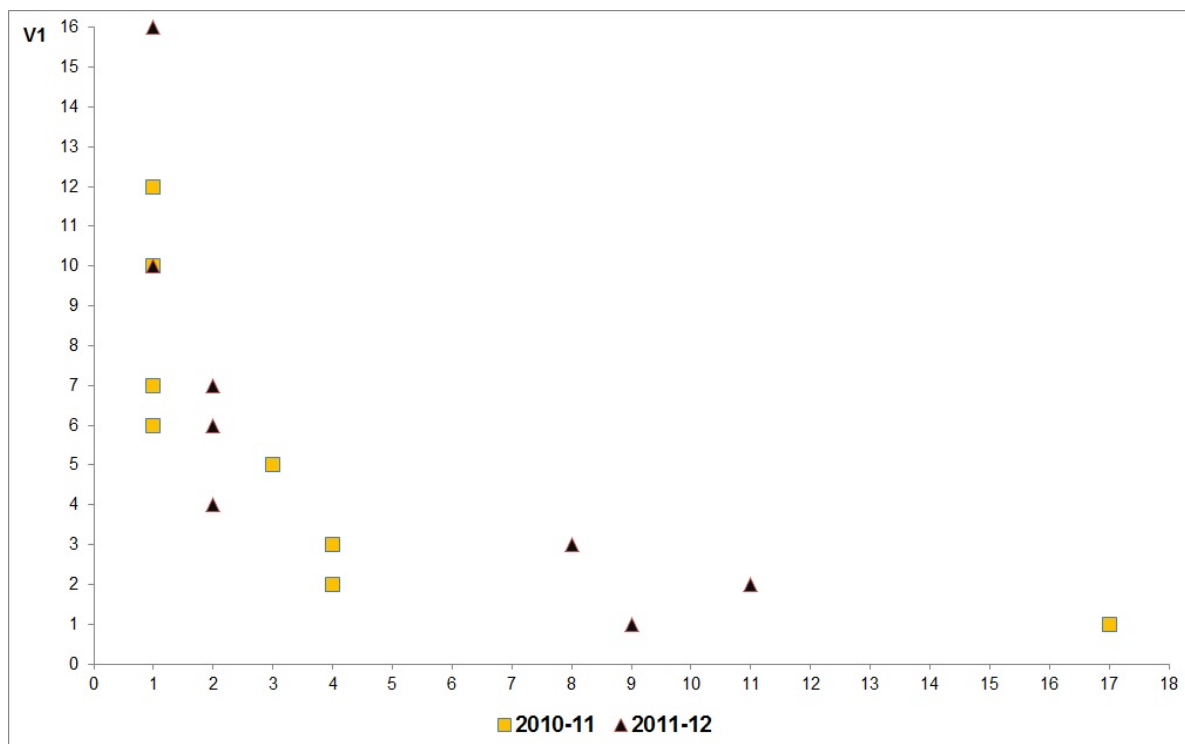
Figura 31 – Percentual de atuação dos sistemas atmosféricos nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12.



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

Na primeira estação, em que o percentual de atuação das LIP foram maiores que das ZCOU, verifica-se que houve predomínio de sistemas mais transientes, foram 17 eventos com duração de um dia (V1), enquanto na segunda foram 9, como se observa no gráfico 11. Ressalta-se que na primeira, as anomalias positivas de precipitação foram maiores nas estações de primavera e outono, já no período chuvoso de 2011-12, as maiores anomalias positivas ocorreram durante o verão, nota-se 11 eventos de dois dias, 8 de três dias, enquanto na primeira foram 4, tanto de dois, como de três dias. O número de eventos de maior durabilidade, como seis e sete dias, também foi maior na segunda estação, a máxima duração foi 16 dias, enquanto na primeira foram 12, em ambas houve um evento de dez dias.

Gráfico 11 – Dispersão entre número de eventos e V1.

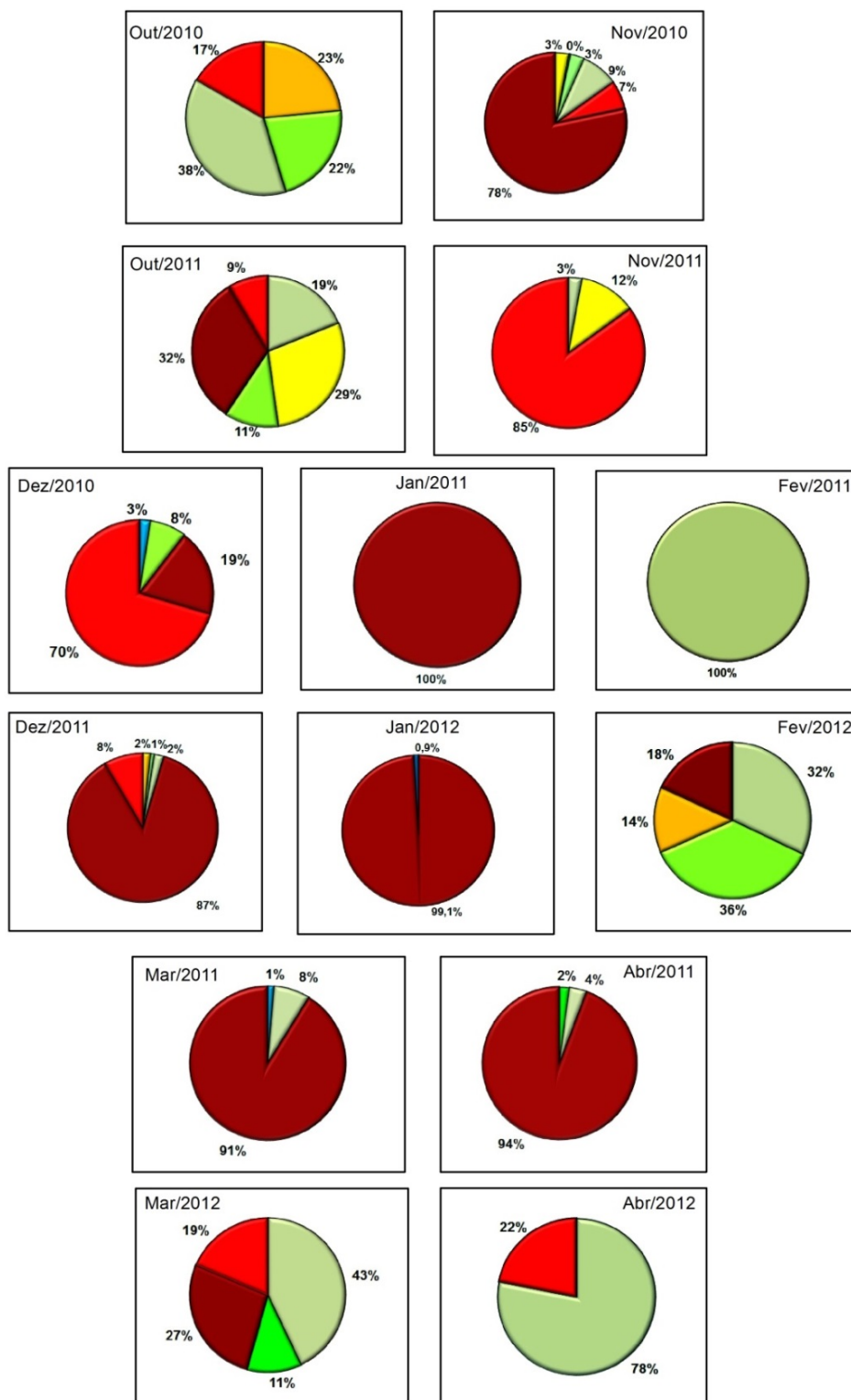


Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

A figura 32 apresenta o percentual de cada sistema genético de chuva por mês em relação ao total de precipitação média acumulada no evento (V8). Ao comparar esta figura à Tabela 24 (APÊNDICE B), verifica-se que os sistemas mais transientes, de duração média de um dia (V1), como: CPF, LI e LIP predominam no início da estação chuvosa, particularmente outubro, assim como em fevereiro<sup>48</sup>, e são menos recorrentes nos outros meses de verão e outono. As FF, que tem duração média de dois dias, como as FQ, apresentaram maior contribuição para o acumulado mensal nos meses outubro, fevereiro, março e abril, entretanto verificou-se que nos meses em que há maior atuação da ZCAS, diminui-se a participação das FF, como destacou Andrade e Cavalcanti (2004). Na primeira estação chuvosa, os eventos de ZCAS, que apresentaram maior número de horas de registros de chuvas (V3) e com maiores médias nas variáveis V7, V8, V9, V10, V11 e V12, ocasionaram os maiores percentuais do total pluviométrico dos meses de novembro, março e abril, assim como janeiro, quando as anomalias positivas foram maiores nas estações de primavera e outono. Na segunda estação, verifica-se que seu maior percentual de atuação foi nos meses de dezembro e janeiro, como destacado na literatura, e menor percentual nos meses de primavera e outono, quando prevaleceu a atuação das FF e ZCOU.

<sup>48</sup> Segundo Cupolillo (2008), a partir da climatologia da estação chuvosa da bacia do Rio Doce, o último decêndio de janeiro e o primeiro de fevereiro caracterizam-se pelas condições atmosféricas determinadas pela atuação do VCAN, em altos níveis, sobre o eixo sul da BA e norte de MG, e ASAS em baixos níveis, sobre o SB, o que impede a chegada das frentes, ocasionando um sistema de bloqueio que desencadeia condições de tempo quente e seco, frequentemente, por mais de dez dias, denominado de veranico.

Figura 32 - Percentual de atuação dos sistemas atmosféricos em cada mês das estações chuvosas 2010-11 e 2011-12, em relação à V8.



■ **CPF**
■ **ASAS**
■ **FF**
■ **FQ**
■ **LI**
■ **LIP**
■ **ZCAS**
■ **ZCOU**

Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

Nota-se que as ZC são os sistemas que geraram o maior acumulado de chuvas em Belo Horizonte, como esperado, na primeira elas ocasionaram 83% do total sazonal, sendo que sob a atuação da ZCAS registrou-se 71% e da ZCOU 12%, na segunda, em que esse total foi superior em 207,6 mm, as ZC totalizaram 80%, a ZCAS 65% e a ZCOU 15%. Ressalta-se que as médias das variáveis V2, V3, V4, V7, V8, V9 são mais altas para as ZCAS que das ZCOU, tanto de acumulado total no evento, como as maiores intensidades (V10, V11 e V12), já que perduram por mais dias, devido ao eixo de convergência melhor configurado e mais intensificado devido a uma única ZC formada entre o JBN e a FF. Em relação ao tempo de atuação, verificou-se que a configuração da ZCOU não se restringe a dois dias, a partir da Tabela 24 (APÊNDICE B) verifica-se que a média de V1 é 2,9 dias, mediana 3, com mínimo de 2 e máximo de 5 dias. Foram 12 eventos, sendo um de 5 dias, um de 4, seis de 3 e quatro de 2 dias, o de maior período de atuação ocorreu em dezembro de 2010, em que 70% do total acumulado foram ocasionados por ZCOU, como descrito no Apêndice C<sup>49</sup>, para o respectivo mês. Já os episódios de ZCAS foram mais numerosos, 16 casos, sendo o menor valor de V1, 4 dias, e o maior, 16 dias, a média 7,1 e a mediana 6, ou seja, 50% dos eventos perduraram por mais de 6 dias de atuação.

Na Tabela 24 (APÊNDICE B) verifica-se que em ambas ZC as médias dos valores de CV, tanto do acumulado (V5), como da intensidade (V6), são as menores, o que caracteriza a homogeneidade espacial da ocorrência das chuvas a elas associadas, enquanto as maiores médias se devem aos eventos de CPF, ASAS, LI, FF e LIP, o que caracteriza a heterogeneidade espacial de ocorrência destes tipos de chuvas em Belo Horizonte. Entretanto, apesar das FQ ocorrerem concentradas nos meses de outubro e novembro, as respectivas menores médias de V5 e V6 significam que elas tendem a ser mais homogêneas espacialmente, como as ZC. Comparadas as FF, as FQ apresentam maior média de número de horas de registros de chuvas (V2), assim como as médias das V7, V8 e V9, entretanto as variáveis relacionadas à intensidade são menores que as associadas às FF, o que significa que elas geram chuvas de fraca intensidade, porém mais duradouras.

Ao verificar os valores máximos e mínimos das variáveis V5 e V6, nota-se que todas as chuvas geradas por CPF foram heterogêneas, dado aos altos valores de CV, assim como o único evento de ASAS. As medianas de V5 e V6 das LI e LIP indicam que 50% dos eventos gerados por elas apresentam valores de CV maiores que 75%, dada às grandes diferenças espaciais tanto de acumulado, como máxima intensidade. A partir dos valores mínimos de V9, verifica-se que em ambos os tipos de chuvas houve ocorrência concentrada em um

---

<sup>49</sup> No Apêndice C apresenta-se uma síntese mensal para cada mês das estações chuvosas 2010-11 e 2011-12, desde as características do escoamento atmosférico na escala zonal a distribuição espacial do total pluviométrico na escala topoclimática.

determinado lugar, pelo valor zero referente ao menor registro do evento. As FF apresentam grande variabilidade de valores de CV (V5 e V6), observa-se que 50% dos eventos apresentam V5 e V6 menores 70%, assim como as FQ, que apresentam maior tendência à homogeneidade espacial.

As médias das variáveis relacionadas à intensidade da chuva (V10, V11 e V12) mostram que a máxima intensidade (V10) ocorreu em um evento de ZCAS (54,2 mm/h), e o segundo maior valor ocorreu em um evento de FF. Todos os tipos de chuvas, exceto de circulação anticiclônica e FQ, ocasionaram chuvas muito fortes (acima de 30 mm/h), em algum ponto da capital mineira. Na média, as intensidades de chuvas de ZCAS são significativamente superiores aos demais tipos, seguido pelos eventos de ZCOU, as chuvas de LI e LIP, assim como as FF e FQ, apresentam intensidade média de chuvas (V11) classificada como fracas e V10 como moderadas, já as chuvas oriundas de circulação anticiclônica, pouco frequentes, geram eventos, além de concentrados tempo-espacialmente, de fraca intensidade.

Em relação às variáveis do campo térmico, descritas na Tabela 24 (APÊNDICE B), observa-se que a maior média de V13, assim como V14 e V15, ocorreu no evento ocasionado por ASAS, como esperado, já que esse sistema se caracteriza por desencadear dias de tempo seco e quente, particularmente nos dias sem ocorrência de chuvas, como observados nos gráficos do Apêndice C, o que desencadeia maiores valores de radiação solar à superfície e amplitude térmica. Em seguida, verifica-se que as maiores médias ocorreram nos eventos de LI e LIP, que se formam em função dos altos valores de temperatura, devido aos altos índices de radiação solar à superfície, típicos da estação, e associados à disponibilidade de vapor d'água no período, que geram forte convecção local e chuvas pontuais e não necessariamente de maiores intensidades. Observa-se que a média da máxima intensidade (V10), para este tipo de chuva, foi menor que dos eventos gerados por ZC e SF, maior só que a média de ASAS e CPF, como esperado, já que se referem à sistemas que não ocasionam chuvas, entretanto ao atuar na vanguarda/retaguarda de ZC associada a grande umidade oriunda do giro anticiclônico, que trás umidade marítima, ocasiona nuvens baixas, de topos quentes, e chuvas de fraca intensidade.

As menores médias do campo térmico foram identificadas para os eventos de chuvas desencadeados pelas ZC, como esperado, e pela FQ. As ZC se caracterizam pela permanência da banda de nebulosidade, na escala regional, que ocasiona queda de temperatura máxima devido ao forte albedo do topo das nuvens, muitas vezes de topos muito frios, que geram diminuição da radiação solar (V13) e amplitude térmica (V14), uma vez que não há diminuição da temperatura mínima devido à permanência da banda de

nebulosidade que não permite a dissipação do calor termal. As FQ observadas ocorreram em função do retorno da nebulosidade associadas à atuação de ZC, que já se encontrava no eixo do Pará ao sul da Bahia, elas foram identificadas por ocorrência de nebulosidade na escala regional, de topos quentes, associadas à circulação de E-NE, em baixos níveis, e apresentaram menores médias de temperaturas devido às características da CPF, que atuava na retaguarda da ZC. No período, o Climanálise (2011e) destacou a permanência desse anticiclone na costa do SB configurando-se como bloqueio ao avanço das FF ao sul desse sistema.

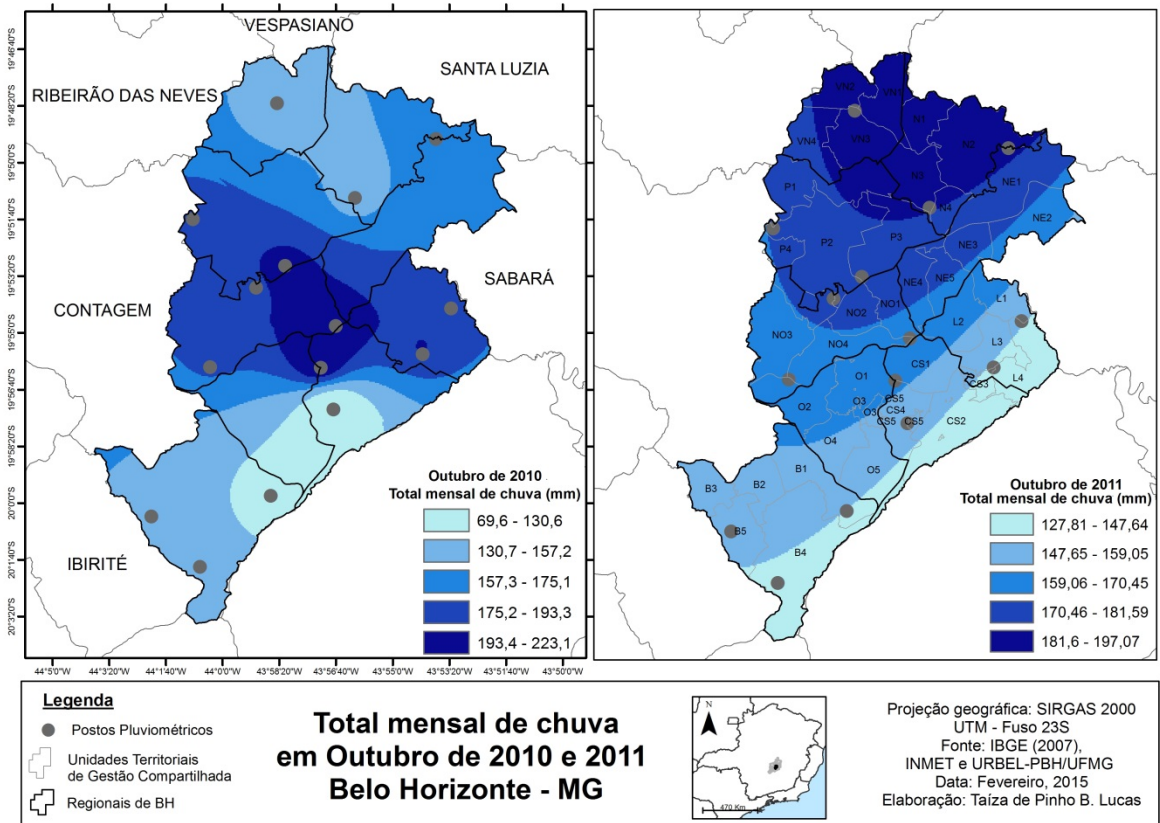
Ao analisar as variáveis V17, V18, V19 e V20, na Tabela 24 (APÊNDICE B), verifica-se que a maior média de V17 foi associada à FQ, seguida das médias das ZC devido ao grande aporte de convergência de umidade associada a estes sistemas, como esperado. As menores médias correspondem ao ASAS, como já comentado, e às LI, por caracterizar-se de menor escala, sem correlação com advecção de umidade na escala sinótica, ocasionadas pelas características termodinâmicas locais da atmosfera. A V18 apresenta mínima variabilidade entre os tipos de chuvas, a maior média de pressão diária foi registrada no evento de ASAS, e a menor nos dias de formação de LI, que recorrentemente ocorrem na vanguarda das ZC, quando se verificou as maiores quedas de pressão. Em relação às variáveis V19 e V20, apesar de considerável variabilidade observada pelos valores de coeficiente de variação, e pelas diferenças entre os valores máximos e mínimos, não se verifica grandes diferenças entre os tipos de chuvas, ressalta-se que a maior média de velocidade do vento ocorreu em eventos de FQ, seguidos de FF, que registrou a maior velocidade média diária, devido aos fortes gradientes de pressão associados a passagens destes sistemas. A variação da intensidade dos ventos associadas a este sistema se deve a sua atuação na periferia de um anticiclone de bloqueio, como destacou Fedorova (1999), [...] “se a frente encontra-se na periferia de um anticiclone, a direção do vento não muda nos lados frios e quentes da frente, mas muda a velocidade do vento. Ela é maior onde a pressão é mais alta” (FEDOROVA, 1999, p.125).

As variáveis V21, V22 e V23 não podem ser analisadas pelas médias, já que seu cálculo ocorreu a partir da frequência, sendo de grande importância na determinação dos tipos de chuvas que se caracterizam pelo escoamento em diferentes escalas e níveis troposféricos. Pelos valores mínimos e máximos, observa-se que os eventos ocasionados por CPF se deram associados a ventos de NE/E/SE, devido ao giro anticiclônico no HS, assim como o evento de ASAS, de direção E em todas as estações (V21, V22 e V23), o que também determinou o escoamento associado aos eventos de FQ, que ocorreram na periferia de fortes anticiclones de bloqueio. As chuvas ocasionadas pelas FF, oriundas de S-SW,

também apresentaram direções predominantes tanto de E/SE, como de W/NW, devido ao giro do vento na vanguarda da frente. Nos eventos de LI e LIP verificou-se o escoamento tanto de E/SE como de SW/W/NW, como esperado por se tratar de sistemas oriundos do aquecimento continental, entretanto como de menor escala temporal, muitas vezes, na direção predominante diária, não se verifica a mudança do vento associada a esses sistemas. Nos eventos de ZC, os ventos predominam de W/NW/N na vanguarda e nos primeiros dias de atuação do sistema, o que se observou ser uma característica local bem marcada deste tipo de chuva, entretanto notou-se que dada a sua estacionaridade, os ventos voltam a predominar de NE/E/SE, como nas médias climatológicas, o que justifica as diferenças de escoamento local entre as ZCAS e a ZCOU, em que os ventos foram mais associados ao escoamento de W/NW/N devido a menor durabilidade.

Ao estabelecer um paralelo mês a mês entre as duas estações, verificou-se que outubro de 2011 teve total pluviométrico mensal maior que outubro de 2010. Neste mês o maior percentual de chuvas foram ocasionadas pela atuação de FF (4 eventos), seguido de LI (1) e LIP (3) e um único evento de ZCOU, já em outubro de 2011 ocorreram menor número de eventos, entretanto mais dias com registro pluviométrico (superior em 3 dias) e maiores acumulados (28 mm a mais). O primeiro evento de ZCAS da temporada concentrou o maior percentual do total pluviométrico, seguido de uma FQ e uma ZCOU, ainda duas FF e dois eventos de LI. A partir da síntese mensal (APÊNDICE C), verificou-se que esses diferentes ritmos e sistemas geraram diferentes espacialidades do total de precipitação dos respectivos meses, como se observa ao comparar as respectivas espacialidades dos totais mensais, apresentadas na figura 33. No primeiro outubro, as chuvas foram concentradas na região central do município, em função da atuação de sistemas mais transientes, como as LI e LIP que desencadearam intensidades de chuvas fortes e muito fortes na região central do município, de maior densidade demográfica, com maior quantidade de córregos retificados e impermeabilizada, associada ao intenso uso do solo, particularmente no encontro das Unidades CS1, L2, NE4, NO1 e O1, periferia imediata do hipercentro, porção de ocupação mais antiga, desde as primeiras décadas de formação do espaço urbano belo-horizontino, como descrito no item 4.1. No segundo outubro, o maior acumulado ocorreu no extremo norte e diminuiu no sentido sul, particularmente ao longo da Serra do Curral, em função tanto do evento de ZCAS, como de FQ, que atuaram no eixo centro-norte de MG, ou seja, devido ao posicionamento da banda de nebulosidade na escala regional.

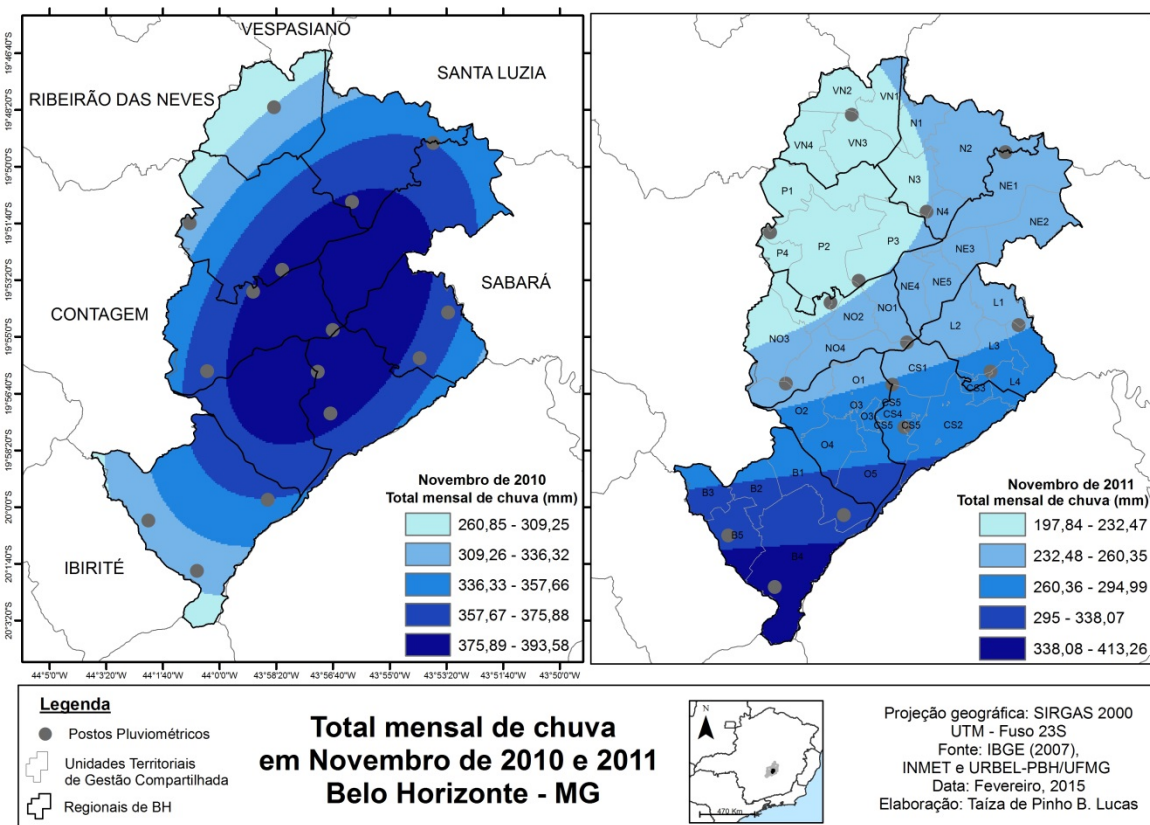
Figura 33 – Mapa de precipitação total em outubro de 2010 e 2011, em Belo Horizonte.



Fonte de dados: IBGE, 2007; INMET; URBEL-PBH/UFMG.

O maior percentual de anomalias positivas na primavera de 2010 foi devido ao acumulado de novembro, que teve um total de precipitação maior que o dobro do mesmo mês de 2011. As espacialidades dos totais mensais dos dois novembros, figura 34, mostram que eles foram determinantes na espacialização do total sazonal das respectivas primaveras, representadas nas figuras 29 e 30, já que o acumulado do primeiro novembro correspondeu a 60% do total sazonal, outubro 30% e setembro 10% e o acumulado do segundo correspondeu a 62% e outubro 38%. No primeiro novembro foram identificados três eventos de ZCAS e um de ZCOU, dois de FF, um de FQ, de LIP e LI, ocasionando um total médio de precipitação (V8) de 392,1 mm. O evento que gerou maior acumulado foi o terceiro episódio de ZCAS, sendo que o seu respectivo valor de V8 correspondeu a 45% do total mensal, com registros de chuvas fortes e muito fortes em todos os postos, os maiores valores ocorreram no P15, P5 e P9. O segundo e terceiro evento ZCAS também foram de maiores acumulados que os demais eventos, o somatório do acumulado de ambos correspondeu a 33,2%, no primeiro os maiores acumulados ocorreram no P3, P5 e P15, juntamente com o terceiro determinaram a espacialidade mensal paralela à crista da Serra, do lado continental, a barlavento, em função do escoamento oriundo de SW/W.

Figura 34 – Mapa de precipitação total em novembro de 2010 e 2011, em Belo Horizonte.



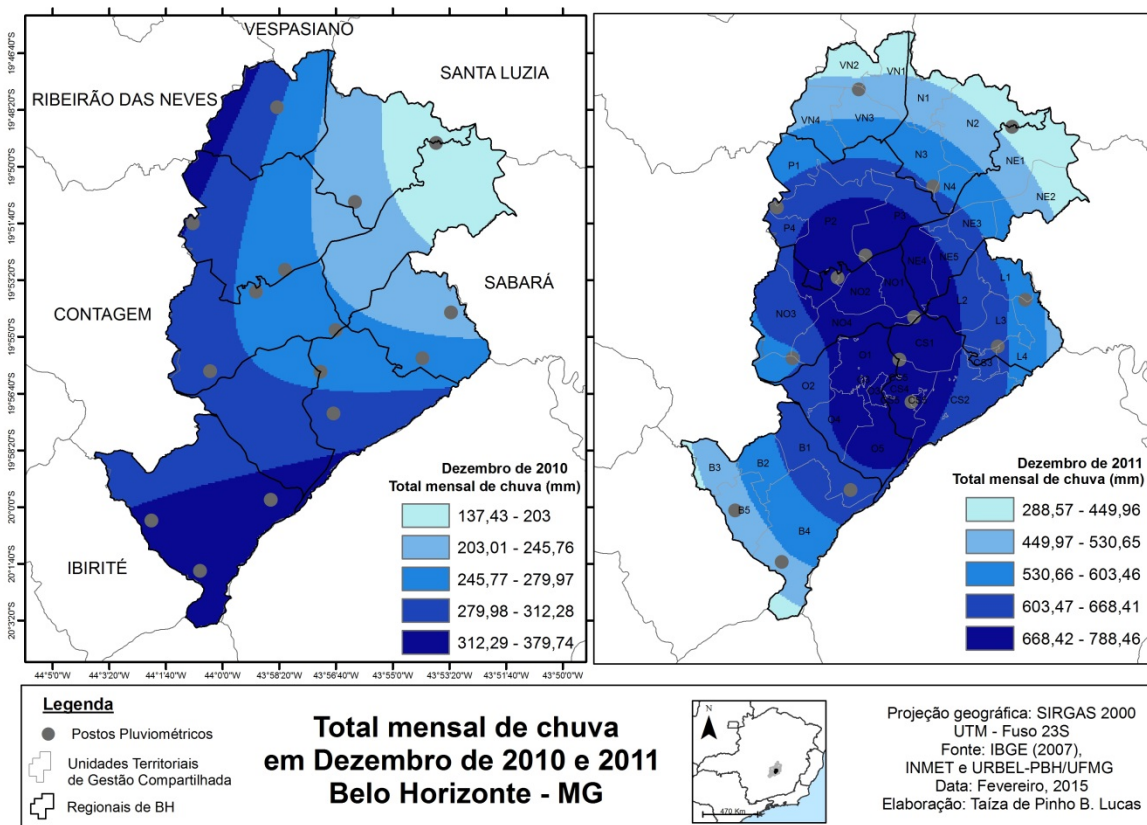
Fonte de dados: IBGE, 2007; INMET; URBEL-PBH/UFMG.

Em novembro de 2011 foram dois eventos de ZCOU, que ocasionaram 85% do acumulado mensal (158 mm), uma FQ e uma FF. O maior acumulado do primeiro evento de ZCOU (V8 igual 81,6 mm), ocorrido entre 14 e 16 novembro, determinou a espacialidade deste mês. A partir da sequência de imagens de satélites desde o dia 12, quando uma FF atuou em Belo Horizonte e ocasionou o primeiro evento chuvoso do mês, verificou-se que essa ZC se formou devido à interação deste sistema frontal ao SCM, oriundo da intensificação da BC, o que desencadeou uma faixa de convergência mais zonal, no eixo sul de MG, que na escala local provocou chuvas mais acumuladas na porção centro-sul de Belo Horizonte, particularmente na Regional Barreiro.

Ao comparar os meses de dezembros, verificou-se que no primeiro, 19% da precipitação total mensal foi ocasionada pela ZCAS, enquanto no mesmo mês de 2011, esse total correspondeu a 87%. No primeiro dezembro houve predomínio de atuação da ZCOU, que ocasionou 70% do acumulado mensal. Destaca-se, ainda, que na primeira estação, dezembro concentrou 20% do total sazonal, enquanto na segunda 35%, o primeiro mês apresentou 19 dias de chuvas, em média, enquanto no segundo foram 22. A atuação dos sistemas de escala sinótica apresentaram diferentes configurações, o que desencadeou esses ritmos nos respectivos meses, no primeiro o JS atuou mais ao sul de sua posição

climatológica, assim como a AB, como descrito no Apêndice C, a partir da síntese sinótica mensal do Climanálise (2010c). A repercussão do escoamento regional na escala local gerou totais mensais anormalmente positivos nos postos situados na porção centro-sul do município, particularmente no Barreiro, enquanto nos demais foram de anomalia negativa, devido ao posicionamento mais ao sul, tanto do segundo episódio de ZCOU, como do primeiro de ZCAS, o que determinou a espacialidade do total pluviométrico de dezembro de 2010, em que os totais diários foram maiores no eixo sul de Belo Horizonte, particularmente na crista da Serra do Curral, e os menores na porção Nordeste, onde foi registrada anomalia negativa de 40,75%, representado na figura 35.

Figura 35 – Mapa de precipitação total em dezembro de 2010 e 2011, em Belo Horizonte.



Fonte de dados: IBGE, 2007; INMET; URBEL-PBH/UFMG.

No segundo dezembro, de marcada atividade do SMAS, os sistemas atmosféricos de altos níveis atuaram em menores latitudes, associados a uma intensificação do ASAS, acompanhados de anomalia negativa de PNM na costa leste do SB, que desencadearam totais pluviométricos de mais de 100% de anomalia positiva, na maioria dos postos. Foram 4 episódios de ZCAS que geraram 17 dias de chuvas, um episódio de ZCOU, assim como um de FF, de LI e LIP. O primeiro e o terceiro evento de ZCAS determinaram a espacialidade do total mensal, representada na figura 35. No primeiro evento de chuva deste mês, V8 correspondeu a 168,2 mm, com V2 de 69 horas, em 10 dias, no segundo V8

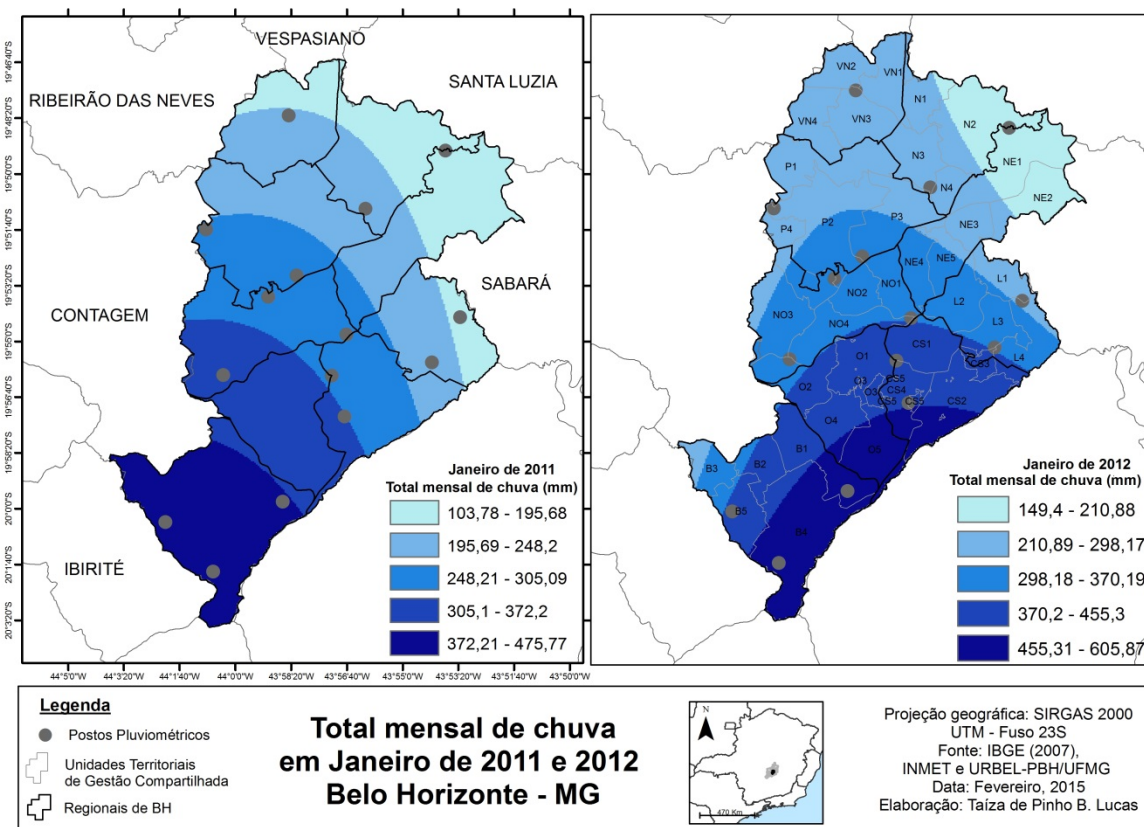
correspondeu a 339,3 mm, V2 de 91 horas, em 7 dias. Segundo o Climanálise (2011g), a atividade convectiva sobre o SB foi mais intensa na primeira e quarta pênstada, o primeiro evento atuou no eixo norte de MG e sul da Bahia e o segundo [...] “foi um caso clássico que atuou entre as Regiões Centro-Oeste e Sudeste e sul da Amazônia” (CLIMANÁLISE, 2011g, p.19). A orientação da banda de nebulosidade na escala regional, associado ao escoamento de NW, repercutiu na escala local em uma espacialidade transversal a crista da Serra do Curral, como se pode observar na figura 35.

As chuvas ocorridas em ambos os janeiros se deram em função da atuação das ZCAS, como apresentados na figura 32. No primeiro, as condições sinóticas foram similares ao mês anterior, com atuação do JS e AB ao sul de suas posições climatológicas para o mês (CLIMANÁLISE, 2011a). Entretanto, diferentemente do mês de dezembro de 2010, ocasionou três eventos de ZCAS, sendo que dois atuaram sobre o centro-norte do SB e um mais ao sul de sua posição climatológica, não repercutindo em precipitação sobre Belo Horizonte. Os dois eventos geraram chuvas por 12 (26 de dezembro a 06 de janeiro) e 7 dias (12 a 18), com V8 de 261,7 e 145,9 mm, V2 de 120 e 47 horas de registros de chuvas, V11 de 19,0 e 29,3 mm/h e V10 36 mm/h e 54,2 mm/h. Esta foi a maior intensidade registrada, entre todos os 72 eventos identificados nas duas estações chuvosas, ela ocorreu no dia 15 de janeiro de 2011, às 18 UTC, no P15, seguida de 53 mm/h no P5, 33 mm/h, no P3, 31,8 mm/h no P13 e de forte a moderada intensidade nos demais. Os maiores acumulados ocorreram nos postos P16, P1 e P2, o que caracterizou os maiores acumulados do primeiro verão.

No segundo janeiro, o escoamento atmosférico nas escalas superiores foi mais favorável à formação das ZC, o eixo de convergência e a banda de nebulosidade situaram na posição climatológica no primeiro e último evento e desencadearam eventos de 16 (desde o dia 26 do mês anterior até dia 10) e 7 dias, no último decêndio do mês. Verificou-se que nos eventos maiores de 6 dias (todos ocasionados pela ZCAS), as chuvas são mais duradouras na Regional Barreiro e extremo leste da Regional Oeste e sul da Centro-Sul, particularmente ao longo da Serra do Curral, dado pelos maiores números de horas de registro de chuvas nos postos P16, P2 e P1, seguido de P13 e P4. Entretanto, desses casos, só três apresentaram maiores acumulados na mesma localidade e nenhum apresentou maior intensidade nos respectivos postos, verificados naqueles da porção centro-norte da capital mineira. A maior durabilidade das chuvas de ZCAS na porção centro-sul de Belo Horizonte reflete-se nos mapas dos totais mensais de janeiro, que apresentam uma distribuição meridional, em que totais diminuem no sentido norte-nordeste do município, como se verifica na figura 36. Em janeiro de 2012, ainda identificou-se ocorrência de chuva associada ao

ASAS, já que a cidade se encontrava na vanguarda do eixo de convergência do segundo episódio de ZCAS do mês, o que não é esperado devido às suas características dinâmicas, entretanto verificou-se ocorrência de chuvas rápidas, de fraca intensidade, e em função do grande aporte de umidade marítima direcionada para a ZC, posicionada ao sul de MG.

Figura 36 – Mapa de precipitação total em janeiro de 2011 e 2012, em Belo Horizonte.

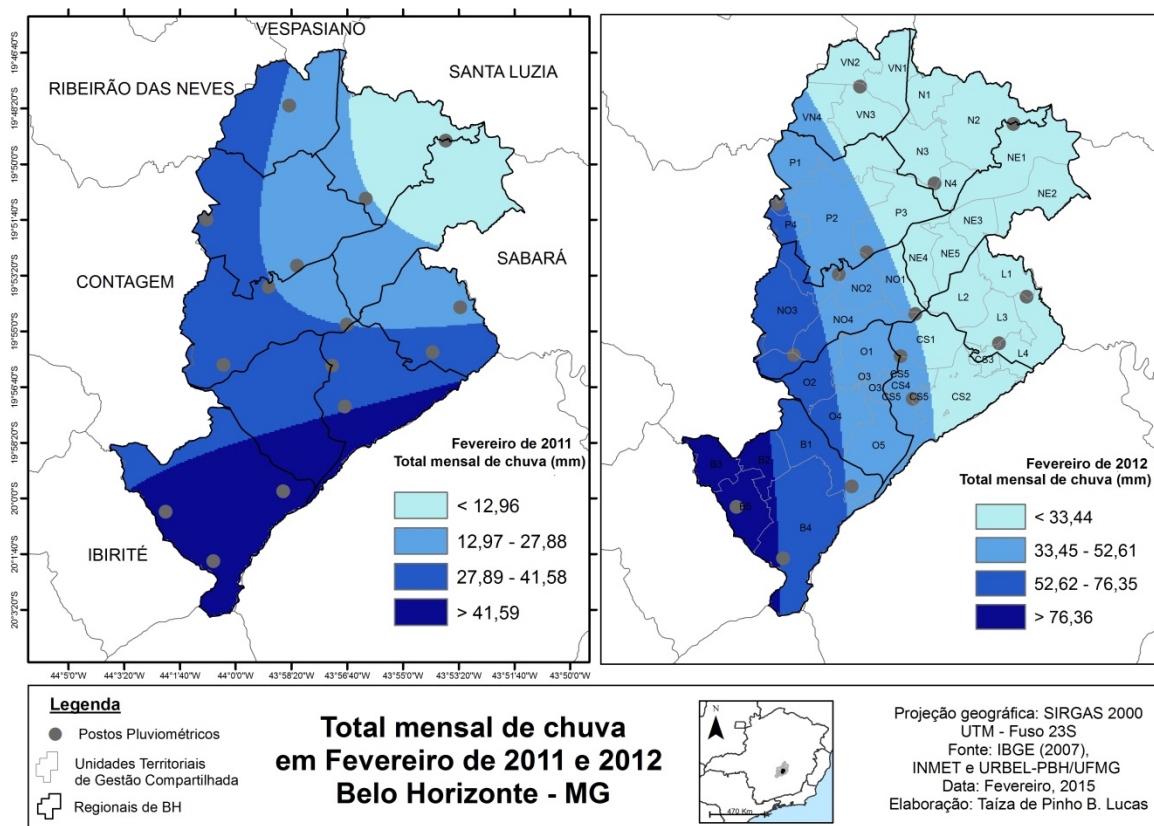


Fonte de dados: IBGE, 2007; INMET; URBEL-PBH/UFMG.

No primeiro fevereiro, as chuvas foram anormalmente negativas em todos os postos pluviométricos devido à ocorrência de um veranico que perdurou por 20 dias na Regional Barreiro e 34 nas demais. O primeiro evento de chuva caracterizou-se pela maior heterogeneidade espacial, entre os 72 eventos de chuvas, não só pela ocorrência pontual na respectiva Regional, mas devido as grandes diferenças tanto de acumulado, como de intensidade entres os postos situados no Barreiro. Essa chuva foi ocasionada por uma FF, entre os dias 31 e 02 de fevereiro de 2011, com V8 de 5,2 mm, V2 de 1 hora, V11 de 2,8 mm/h, e V7 de 50,6 mm (referente ao P1) e V10 24,8 mm/h, enquanto no P16, a máxima intensidade foi 6,0 mm/h. Essa diferença entre as médias e o maior acumulado ocasionou os maiores valores de CV (V5 e V6), correspondentes a 293,0% e 268,4%. A espacialização do total mensal foi semelhante à de dezembro do mesmo período, porém de menor acumulado, como esperado, como pode ser verificado ao comparar às figuras 37 e 35. As condições de escala zonal repercutiram na atuação do JS e AB mais ao sul de suas

respectivas posições climatológicas, o que favoreceu a atuação das ZC sobre São Paulo e norte do Paraná, repercutindo em menor acumulado mensal na região central de Minas e contribuindo para a espacialidade sazonal do verão de 2010-11, observada na figura 29.

Figura 37 – Mapa de precipitação total em fevereiro de 2011 e 2012, em Belo Horizonte.



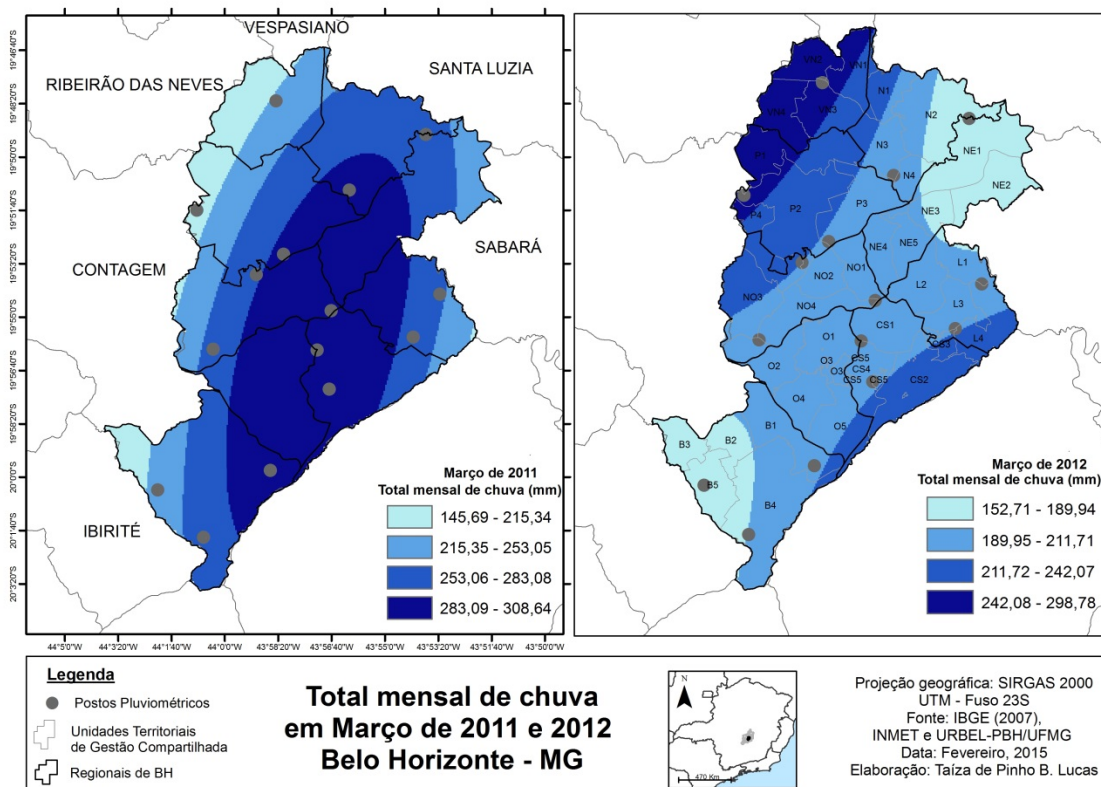
Fonte de dados: IBGE, 2007; INMET; URBEL-PBH/UFGM.

Em fevereiro de 2012, apesar de maior número de dias de chuvas e ocorrência de um veranico de menor durabilidade entre a última pênstada do mês e as duas primeiras de março, o acumulado médio mensal (V8) foi superior em 5,3 mm, comparado ao mesmo mês do ano anterior. Foram 5 eventos de chuvas, o tipo de chuva que mais contribuiu para o acumulado mensal foi ocasionado por uma LIP, que atuou no dia 07, em função da formação de um SF no litoral da Argentina que rapidamente se deslocou até a costa do sul do Brasil. Esse sistema atuou entre os dias 09 e 10 sobre o SB e contribuiu para a formação da única ZCAS do mês, que apresentou altos valores de CV e baixo acumulado médio mensal, como destacado no Apêndice C, por atuar no eixo sul do SB, e de fraca intensidade, como classificado pelo Climanálise (2012b). Entre os dias 22 e 23 houve formação de LI em função do aquecimento continental, não associada à atuação de SF que causaram chuvas fracas e pontuais sobre Belo Horizonte. A espacialidade do total mensal foi diversa do total sazonal, já que o acumulado foi bastante inferior aos meses de dezembro e janeiro, caracterizou-se pelo maior acumulado no extremo sudoeste da capital e menor

acumulado (inferior a 33,4 mm) no eixo Leste – Venda Nova, englobando grande parte da DBH, como observado na figura 37.

Verificou-se que o outono de 2011 foi mais chuvoso e de maior número de dias de chuvas que de 2012. A figura 32 mostrou que 91% da precipitação total de março de 2011 foi ocasionada pela ZCAS, que atuou durante 15 dias do mês, o que gerou anomalias positivas em mais de 100% na maioria dos postos pluviométricos. Verificou-se que a espacialidade total mensal, figura 38, corresponde à espacialidade do total sazonal, apresentada na figura 29, já que o maior percentual de acumulado nesta estação se deu em função desses dois episódios de ZCAS. Ambos ocasionaram chuvas fortes à extremamente fortes, no primeiro o maior acumulado ocorreu no P5, a maior intensidade no P7 (33,0 mm/h), e a maior durabilidade no P16. No segundo evento, em que o eixo da ZCAS posicionou-se sobre o norte de MG, o maior acumulado foi registrado no P8, a maior intensidade no P9 e a maior durabilidade no P10, porção N-NE do município, já na Regional Barreiro, as chuvas foram de fraca intensidade e de menores acumulados. Verificou-se também ocorrência de chuvas originadas da atuação de uma FF (entre os dias 30 e 31), que ocasionou menores acumulados, com uma duração média de 4 horas (V2), entretanto ocasionou chuvas extremamente fortes no P5, 51,4 mm/h, após 10 dias sem ocorrência de chuvas, quando predominava altas temperaturas em função da atuação do ASAS.

Figura 38 – Mapa de precipitação total em março de 2011 e 2012, em Belo Horizonte.



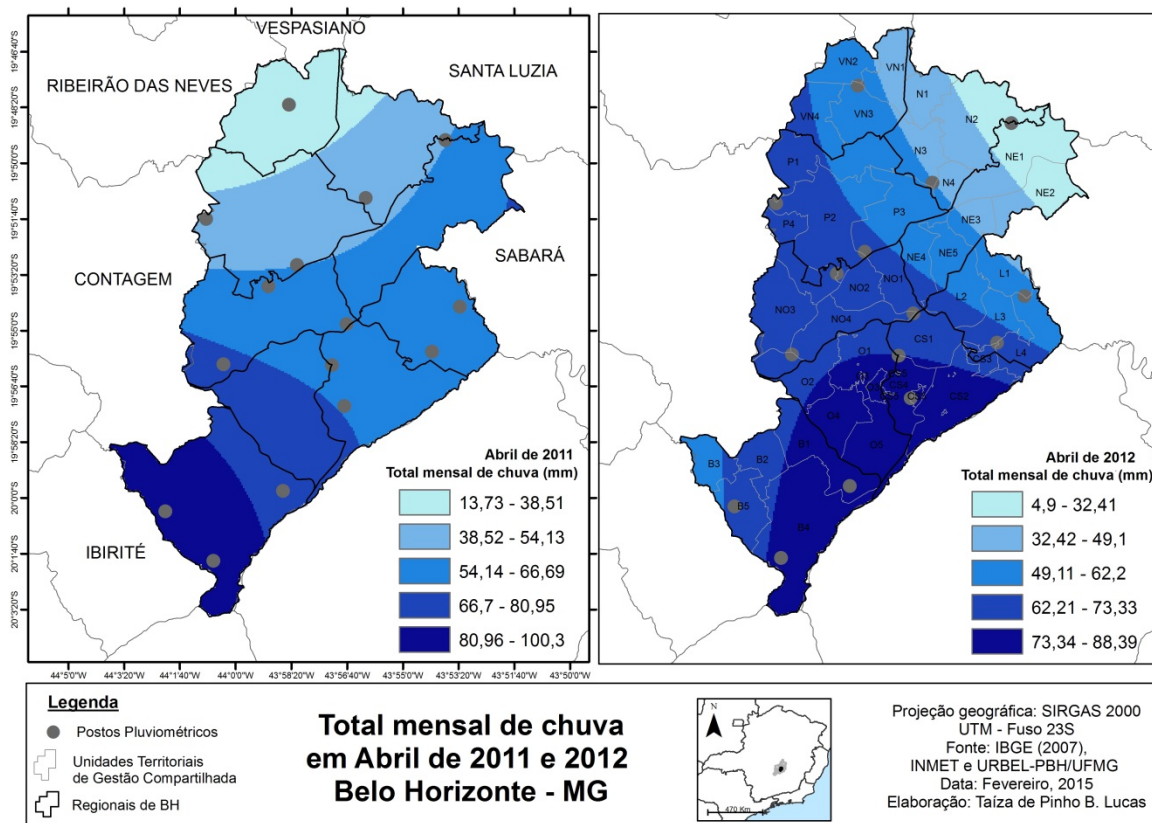
Fonte de dados: IBGE, 2007; INMET; URBEL-PBH/UFMG.

O mês de março de 2012 apresentou menor número de dias de chuvas, foram 13,6 dias, e menor acumulado médio mensal, o somatório de V8 do mês correspondeu a 222,9 mm, enquanto o total do mesmo mês do ano anterior foi 313,1 mm. Houve ocorrência de duas FF, que geraram 43% do acumulado mensal, como representado na figura 32, seguido de um episódio de ZCAS, que contribuiu com 27%, e ainda 19% oriundo de um evento de ZCOU e 11% de um evento de LIP. Segundo o Climanálise (2012c), nas duas primeiras pântadas do mês não houve ocorrência de chuvas devido à atuação do VCAN sobre o NEB e parte do SB, o que fortaleceu a atuação do ASAS, em baixos níveis, caracterizando um episódio de veranico que se iniciou no mês anterior, como pode ser observado no gráfico 29 (APÊNDICE C). Assim como o primeiro março foi determinante no total sazonal do respectivo outono, verifica-se mesmo padrão de espacialização entre o total mensal e o sazonal, ao comparar as figuras 30 e 38. Ambos marços apresentaram maiores acumulados e maiores intensidades de chuvas na porção N/NW de Belo Horizonte, o que é coerente com a espacialização da média climatológica mensal apresentada por Moreira (2002), que ressaltou a desconfiguração da espacialização associada a linha de crista da Serra.

Em abril de 2011, verificou-se que 94% do total mensal de chuva foi ocasionada pela última ZCAS da estação chuvosa, 4% pela atuação de uma FF e 2% pela LIP. As chuvas foram concentradas nas duas primeiras pântadas do mês, no restante verificou-se atuação do VCAN, que atuou deslocado sobre o SB, particularmente em função do posicionamento da ZCIT ao sul de sua posição climatológica. As chuvas oriundas de ZCAS determinaram a espacialidade do total mensal, apresentando maior acumulado no extremo sul da capital mineira e diminuição no sentido norte, a Regional Venda Nova foi a de menor acumulado, total mensal de 38,5 mm, anomalia negativa em relação à média climatológica (55,8 mm).

O mês de abril de 2012 foi caracterizado pela sequência de SF que ocasionaram chuvas no SB. Segundo o Climanálise (2012d), os seis sistemas ficaram dentro da média climatológica para o mês, desses, quatro atuaram sobre Belo Horizonte e um organizou a convecção e se caracterizou como uma ZC, um evento de ZCOU que gerou 22% do acumulado mensal. A partir da descrição do mês, no Apêndice C, verifica-se que esse evento, assim como terceiro episódio de FF, se diferenciou dos demais devido aos baixos valores de CV, o que significa que os totais do evento e a maior intensidade ocorreram de forma mais homogêneas no território municipal. A espacialização do total mensal de abril, figura 39, mostra que a Serra do Curral se caracteriza como um atributo local significativo na espacialização topoclimática desta precipitação mensal, particularmente em função da atuação das FF.

Figura 39 – Mapa de precipitação total em abril de 2011 e 2012, em Belo Horizonte.

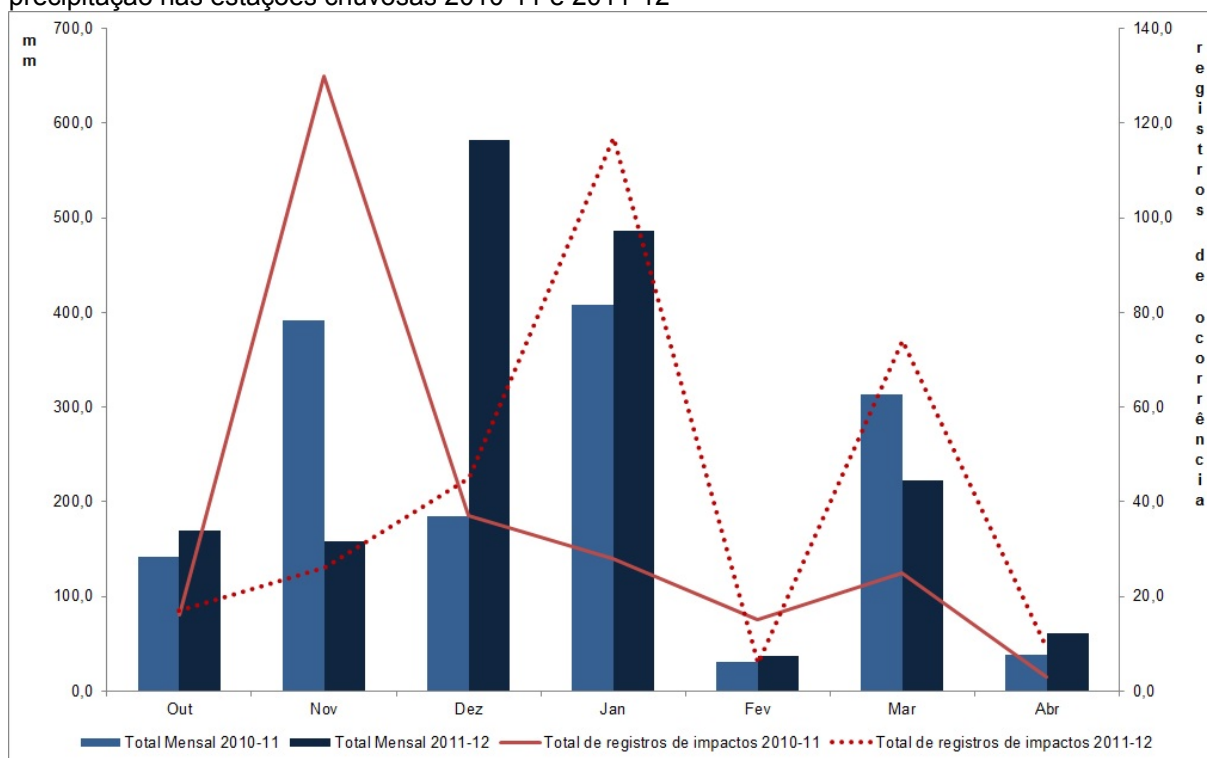


Fonte de dados: IBGE, 2007; INMET; URBEL-PBH/UFMG.

### 5.3 A espacialização dos registros de enchentes e/ou inundações e alagamentos por tipos de chuvas

A distribuição temporal dos registros de ocorrência de enchentes e/ou inundações e alagamentos seguem praticamente o mesmo ritmo da distribuição mensal dos totais pluviométricos. O gráfico 12 apresenta a distribuição do total médio pluviométrico (V8), a partir do somatório do acumulado médio nos eventos chuvosos ocorridos em cada mês, e dos respectivos totais de impactos hidrológicos, identificados a partir da planilha de registros de ocorrências de enchentes e/ou inundações e alagamentos da COMDEC. Verifica-se que na primeira estação chuvosa, em que as anomalias positivas de precipitação foram mais significativas na primavera, o número de registros foram mais numerosos em novembro (130 registros), seguidos de dezembro (37) e março (25), em função do aumento das chuvas, após o veranico de fevereiro. Na segunda estação chuvosa, em que as anomalias positivas foram maiores no verão, concentradas nos meses de dezembro e janeiro, os registros de impactos também foram mais numerosos em dezembro (45), janeiro (117) e março (74), que apesar de menor acumulado mensal, gerou maior número de ocorrências que o mesmo mês do ano anterior.

Gráfico 12 – Total de registros de ocorrências de impactos hidrológicos e total médio mensal de precipitação nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12



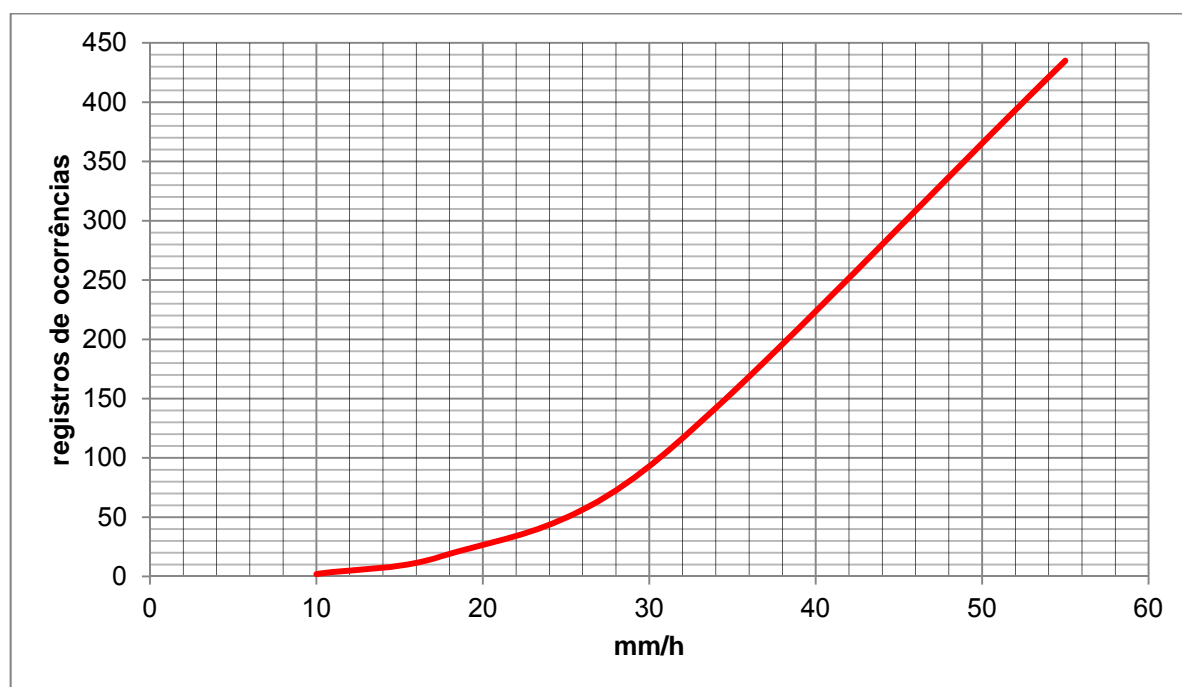
Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG; COMDEC.

A diminuição das chuvas em ambos os fevereiro, por exemplo, e respectiva diminuição dos registros de ocorrências de impactos, mesmo com a sobrecarga dos cursos d'água após o período chuvoso nos meses anteriores, mostra como a deflagração do impacto de enchentes e/ou inundação e, particularmente, alagamento, é uma resposta rápida da ineficiência do sistema de drenagem ao aumento da intensidade das chuvas, dada as características urbanas do sistema de drenagem que favorece o acelerado escoamento superficial. Entretanto, ao comparar o total de registros de ocorrências de impactos hidrológicos mensais e o total pluviométrico verifica-se que os respectivos parâmetros não são suficientes para analisar os eventos hidrológicos. A matriz de correlação apresentada no Apêndice A mostra que a variável V24 apresenta correlação moderada positiva com todas aquelas de caracterização do registro pluviométrico próximo à superfície (de V1 a V12, exceto V5 e V6), nota-se, porém, que o maior valor ocorre com V11, que explica o maior número de registros de impactos em março de 2012. Neste mês, o somatório de V11, a partir dos respectivos eventos identificados, foi 85,9 mm/h e do primeiro março, de maior acumulado mensal, foi 43 mm/h.

O gráfico 13 representa a distribuição do total de registros de ocorrências de impactos de enchentes e/ou inundações e alagamentos identificados pela COMDEC e a máxima intensidade da chuva (V10), a partir dos 72 eventos. Nota-se que chuvas com intensidade

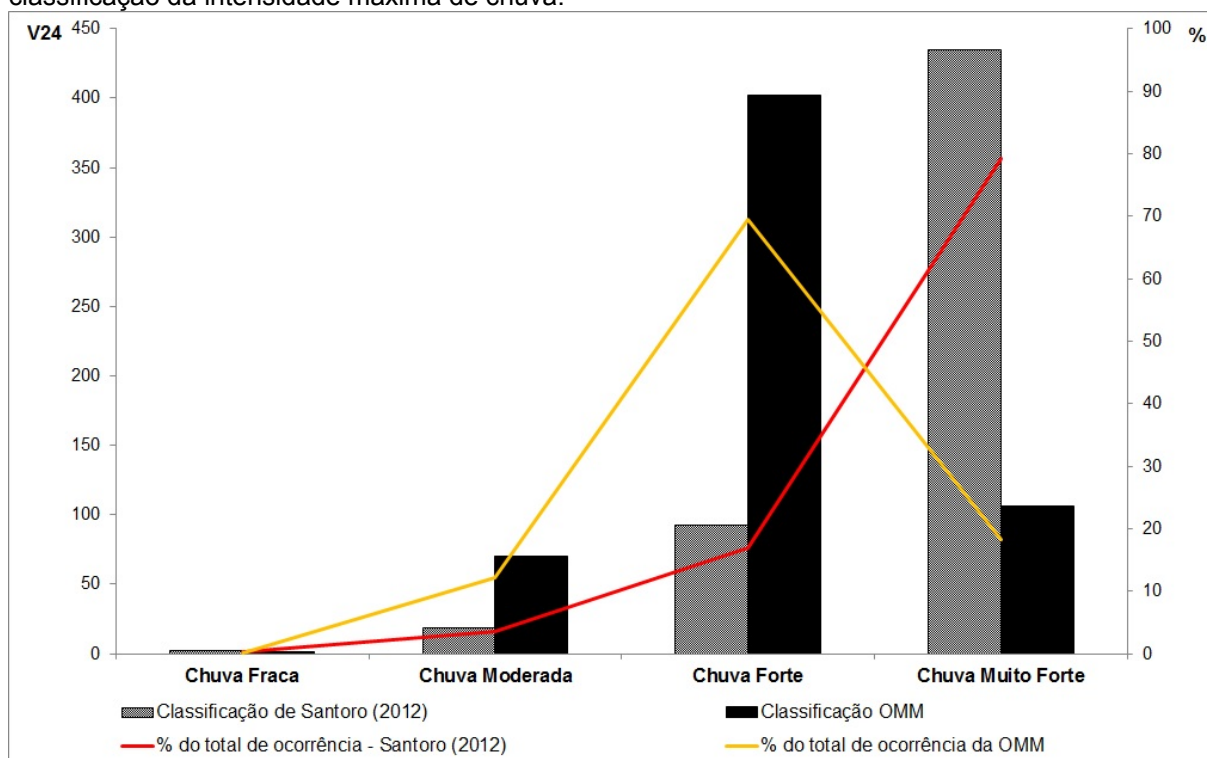
máxima menores de 10 mm/h tendem a não ocasionar registros de impactos, entre 10 e 30 mm/h observa-se uma aproximação com a função exponencial, já a partir desse valor tem-se uma aproximação com a função linear, entre V10 e V24. O gráfico 14 apresenta o histograma de distribuição do número de registros pelas classes apresentadas na Tabela 5. Verifica-se que a distribuição total de registros pela classificação de Santoro (2012) segue a tendência verificada no gráfico 13, como esperado pela natureza do dado. A distribuição desses registros pela classificação da OMM, utilizada como parâmetro pela COMDEC, já não se verifica o mesmo comportamento, pois 70% dos dados de impactos registrados, no período de estudo, foram ocasionados por chuvas fortes. Este comportamento se deve ao tamanho da amostra, já que foram observados somente 4 eventos de chuvas com intensidade máxima (V10) superior a 50 mm/h, 28 classificadas como chuvas fortes, entre 25,0 e 50,0 mm/h, 35 como chuvas moderadas, entre 5 e 25 mm/h e 6 como chuvas fracas, V10 menor que 5 mm/h. Utilizando-se da classificação de Santoro (2012), verifica-se uma distribuição mais homogênea do número de eventos de chuvas por categoria de intensidade, pois foram 17 eventos de chuvas fracas (menores de 9,9 mm/h), 13 de chuvas moderadas (entre 10 e 17,9 mm/h), 21 de chuvas fortes (entre 18,0 e 30,0 mm/h) e 21 de chuvas muito fortes (acima de 30 mm/h), e maior percentual de registros de ocorrências na última, já que aproximadamente 80% dos registros foram ocasionados por chuvas muito fortes, como mostra o gráfico 14, o que demonstra a sua aplicabilidade para Belo Horizonte.

Gráfico 13 – Dispersão entre o total de registros de ocorrências de impactos hidrológicos e intensidade máxima das chuvas ocorridas nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12.



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG; COMDEC.

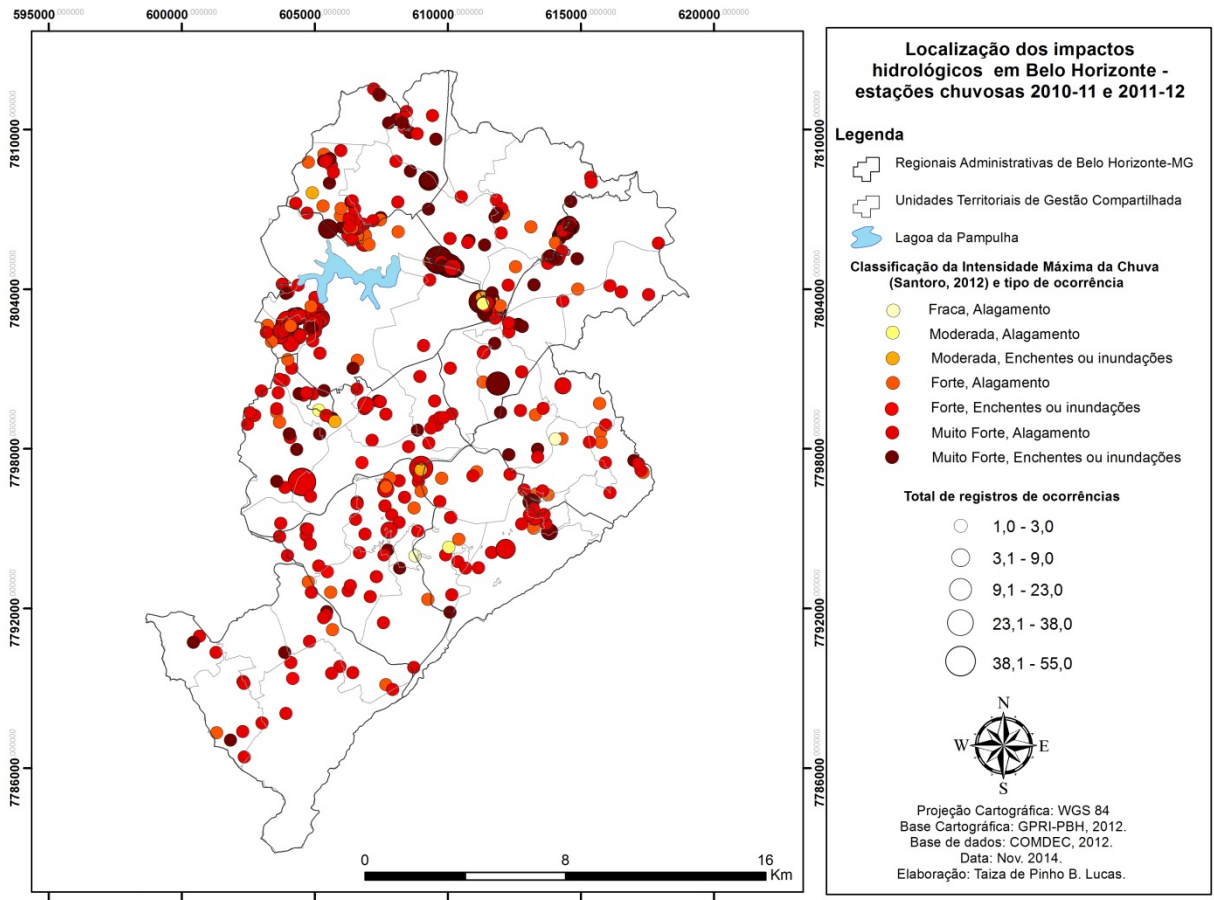
Gráfico 14 - Histograma entre o total de registros de ocorrências de impactos hidrológicos (V24) e classificação da intensidade máxima de chuva.



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFGM; COMDEC.

A figura 40 apresenta a localização dos registros de ocorrências de impactos hidrológicos categorizadas tanto pela classificação de Santoro (2012) como pelo tipo de ocorrência, a partir do total de registros da planilha da COMDEC, no período de estudo. Verifica-se que as chuvas fracas só geraram dois casos de alagamento, muito pontualmente nas Unidades Territoriais L3 e CS5, já as chuvas moderadas ocasionaram tanto registros de alagamentos, 5 casos, como enchentes e/ou inundações, 10, particularmente próximo à áreas de maior recorrência em eventos de chuvas fortes e/ou muito fortes. Estas categorias de intensidades de chuvas ocasionaram ocorrências de maneira difusa em todo território, particularmente os alagamentos, foram registrados 84 casos e 12 de enchentes e/ou inundações ocasionadas por chuvas fortes, já as chuvas muito fortes ocasionaram a grande maioria da quantidade de registros, sendo um total de 332 alagamentos, de repercussão generalizada no território, e 153 enchentes e/ou inundações, que se mostraram mais concentrados, particularmente na bacia do Ribeirão do Onça.

Figura 40 – Espacialização do total de registros de impactos hidrológicos nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12 em Belo Horizonte.

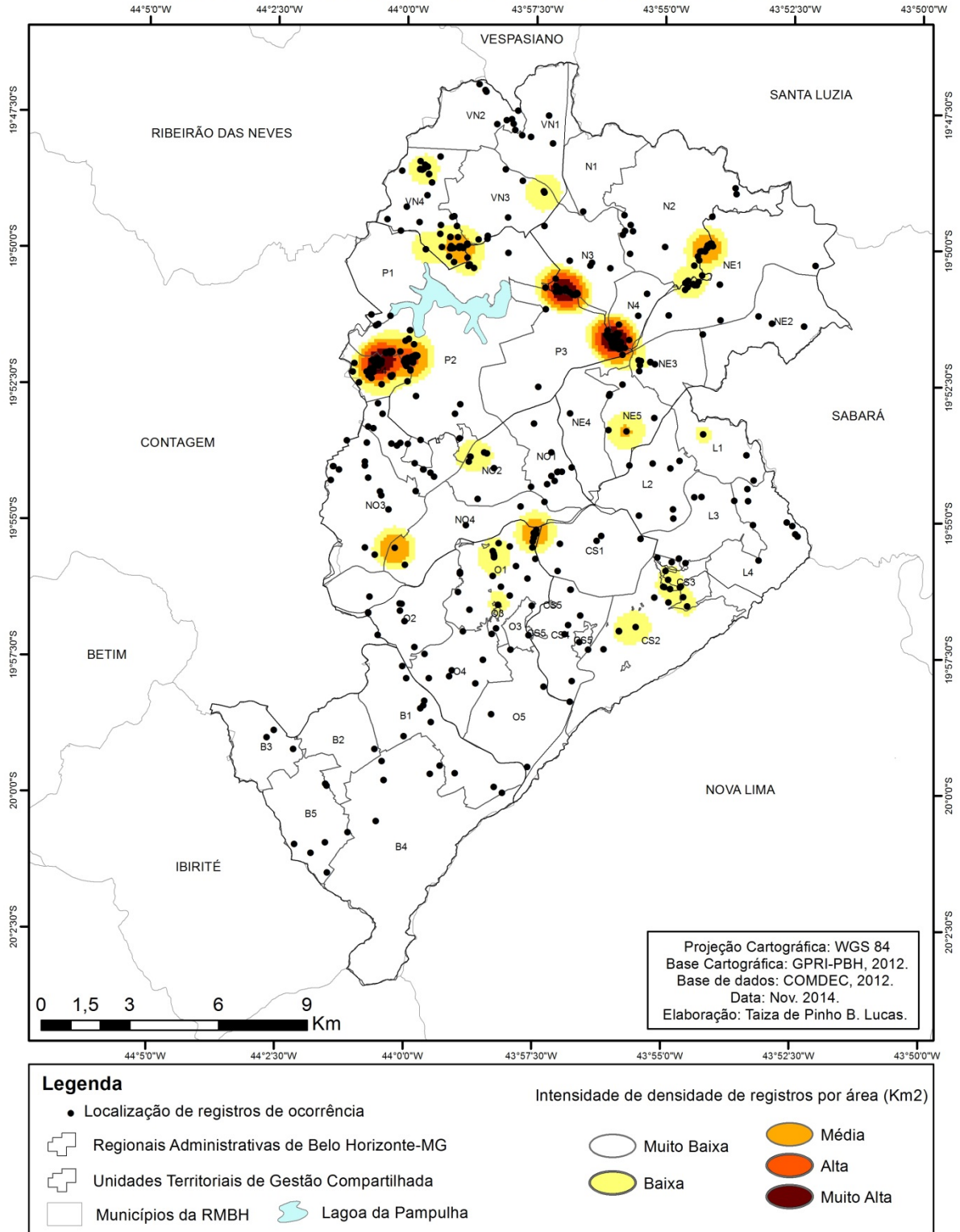


Fonte de dados: COMDEC; IBGE, 2007.

A figura 41 apresenta a densidade de registros de ocorrência de impactos hidrológicos por área, em Km<sup>2</sup>, a partir do somatório total de ocorrências para cada par de coordenadas geográficas. Verifica-se nove áreas de baixa densidade, sendo quatro delas na bacia do Arrudas e cinco na bacia do Onça, salienta-se que os locais onde houve ocorrências pontuais de 1 a 3 registros classificaram-se como de muito baixa densidade. Os locais de média densidade são aqueles que registraram mais de três ocorrências numa mesma localidade, foram dois na primeira bacia, entre as Unidades NO3 e NO4 e entre O1 e CS1, e três na segunda, um entre VN4, VN3 e P1, outro NE1 e N2 e um na NE5. As áreas de alta e muita alta densidade correspondem aquelas onde foram verificadas um total de registros de 23 a 55 ocorrências, elas se situam na Unidade P4, à montante da Lagoa da Pampulha, entre N3 e P3 e entre N4 e P4, à jusante.

Figura 41 – Densidade de impactos hidrológicos por Km<sup>2</sup> nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12 em Belo Horizonte

**Densidade espacial de impactos hidrometeorológicos nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12 em Belo Horizonte-MG**



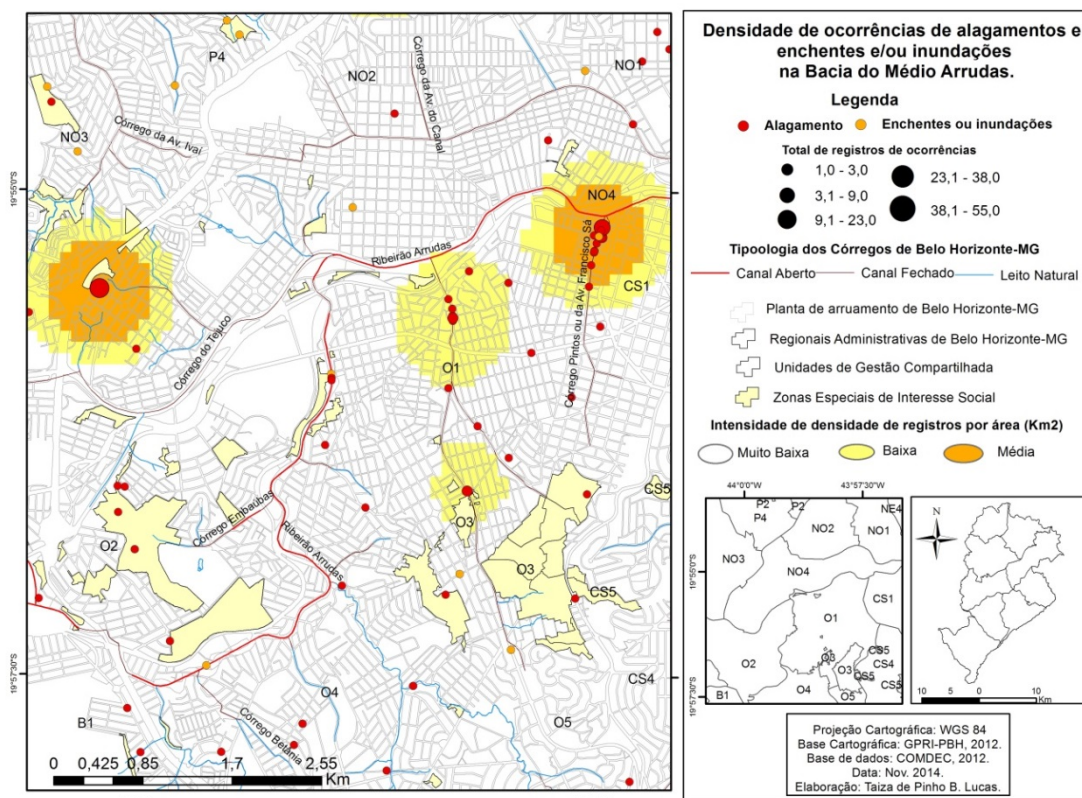
Fonte de dados: COMDEC; GPRI-PBH, 2012.

A bacia do Onça apresenta-se mais favorável à ocorrência desses impactos devido à conjunção de aspectos naturais e de uso e ocupação, assim como aos processos históricos de transformação dos leitos dos cursos d'água, ou seja, desde sua forma convergente de tipo de drenagem, em áreas de relevo ondulado-suavizado da DBH, comparado a bacia do Arrudas, que se apresenta de tipo alongado, de drenagem paralela, particularmente na margem direita, sobre os domínios do QF, que favorecem o rápido escoamento superficial, como também às diferenças históricas de ocupação. A bacia do Arrudas é de ocupação mais antiga, berço dá área planejada, e por isso tem maior extensão de rede de drenagem canalizado e retificado, o que tende a acarretar maiores impactos à jusante e a montante, por remanso. A figura 14 mostrou que o Ribeirão Arrudas encontra-se canalizado em praticamente toda sua extensão oeste – leste no território belo-horizontino. A bacia do Onça, de processo de ocupação mais recente, em função dos diferentes períodos do crescimento da mancha urbana no último século, apresenta-se com um mosaico de tipos de drenagem, a figura 14 mostrou que ao longo do Ribeirão principal tem-se as três tipologias representadas, além de grandes áreas de leito natural com diferenciadas formas de ocupação, associadas à elevada densidade populacional, apresentada na figura 7, diferentemente do Arrudas, em que grande parte da área de córregos em leito natural encontram-se em áreas de preservação, entretanto destaca-se que nas áreas de ZEIS, localizadas na encosta da Serra, configurou-se manchas de baixa densidade de ocorrências de impactos hidrológicos, particularmente em função da natureza topográfica e alta declividade, particularmente nos vales encaixados entre as diferentes formações geológicas que caracterizam o conjunto morfoestrutural do QF, apresentado na figura 10 e ilustrado na figura 11.

A figura 42 representa as manchas de baixa e média densidade de registros de ocorrências de impactos hidrológicos por Km<sup>2</sup> na bacia do curso médio do Ribeirão Arrudas. A primeira mancha de média densidade ocorre na margem esquerda, entre as Unidades NO3 e NO4, associada às ZEIS: Vila Delta e Trinta e Um de Março, sobre as nascentes do Córrego da Av. Vereador Cícero Idelfonso, local de elevada declividade, no extremo oeste, como apresentado na figura 13, de altitude entre 900 e 1000 m, representado na figura 12, próximo ao divisor de águas entre as principais bacias de Belo Horizonte. A segunda mancha de média densidade se situa na margem esquerda, sobre a Avenida sanitária Francisco Sá, no baixo curso do córrego Pintos, a figura 85 (APÊNDICE D) mostra a distribuição do número total de ocorrências por bairro, verifica-se que do total de alagamentos, 15 aconteceram no Prado, em função dessas ocorrências na respectiva avenida. Na figura 42, ainda se verifica duas manchas de baixa densidade ao longo das avenidas sanitárias Silva Lobo e Barão Homem de Melo, ambas também no baixo e médio

curso dos respectivos córregos. Observa-se ainda que tanto os alagamentos como enchentes e/ou inundações são difusos ao longo do território e não ocorrem só em leitos de cursos d'água, de diferentes tipologias, e somente em áreas de ocupação desordenada, mas também em trechos de ruas e avenidas devido à deficiências no sistema de macrodrenagem pluvial, em função do rápido escoamento superficial e formação de enxurradas.

Figura 42 – Densidade de impactos hidrológicos por Km<sup>2</sup>, no médio curso da bacia do Arrudas, nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12, em Belo Horizonte.

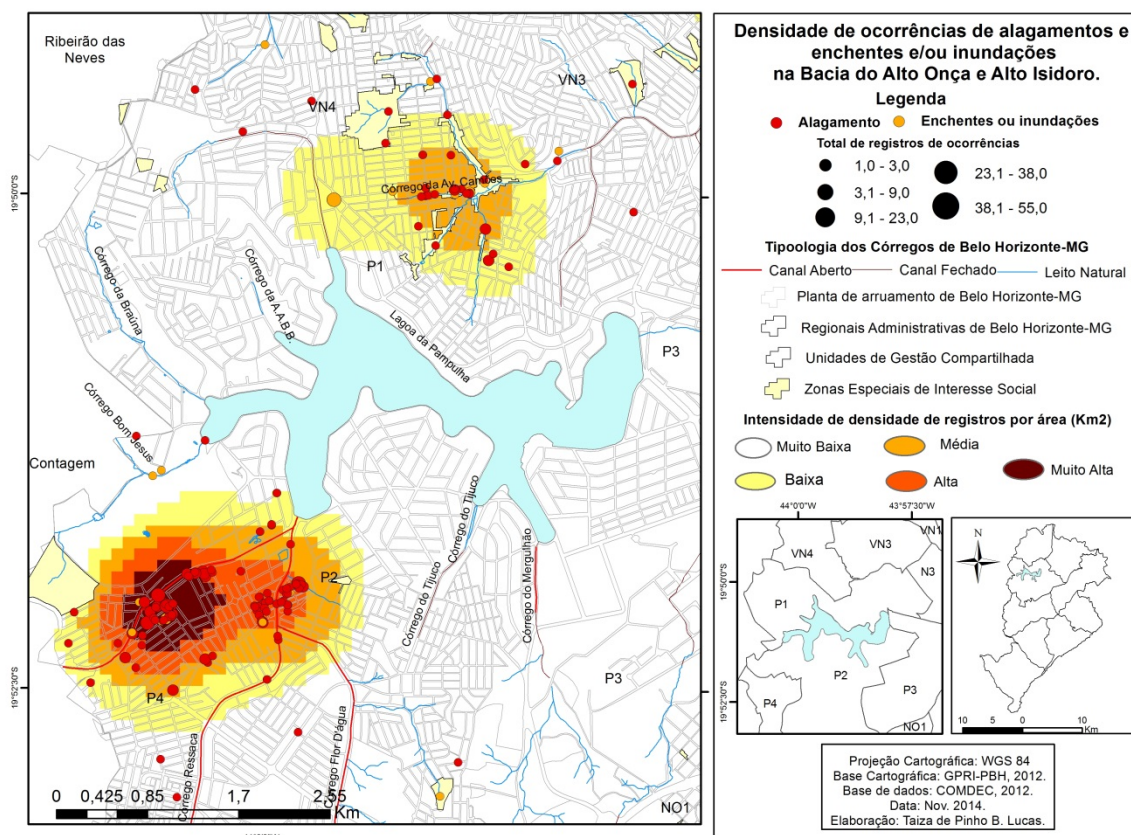


Fonte de dados: COMDEC; GPRI-PBH, 2012.

Três das quatro manchas de baixa e média intensidade de registros de ocorrências de impactos ocorreram na Regional Oeste, em todas elas verificam-se áreas de ZEIS à montante, que contribuem para degradação das nascentes e processos erosivos por corte de terreno que causam assoreamento no alto curso dos respectivos córregos e, devido à elevada declividade, favorecem o rápido escoamento e sobrecarga à jusante. Nessa Regional verifica-se maior número dessas comunidades, como apresentado na Tabela 6, assim como maior percentual de população residente nessas áreas, e também elevada densidade populacional, não só nas áreas de ZEIS, mas em relação ao total da população pela Regional, como apresentado na figura 7, que aliado aos demais fatores contribui para a sobrecarga no baixo curso, devido à ligações clandestinas de esgoto, produção de lixo e entupimento da rede de drenagem.

A figura 43 apresenta as áreas de maior densidade de registros de ocorrências de impactos hidrológicos do alto Onça, a montante da Lagoa da Pampulha, e do alto Isidoro. Nessa escala, verifica-se que diferentemente da figura anterior, as ocorrências de enchentes e alagamentos são mais concentrados ao longo dos leitos dos cursos d'água, particularmente no baixo curso dos córregos Ressaca e Sarandi, que se caracterizam pela tipologia de canal aberto, onde houve alta e muita alta densidade de registros de alagamentos. Verifica-se que deste total de registros de alagamentos georreferenciados, em torno de 220 ocorreram no baixo curso dos respectivos córregos, nos bairros: Santa Terezinha, Conjunto Lagoa, Urca, Bandeirantes e Itatiaia, representado na figura 85 (APÊNDICE D). A densidade populacional nessa escala é maior na Unidade P4, onde se situa os respectivos bairros, exceto o Bandeirantes, que se localiza no P2 e apresenta baixa densidade demográfica, como apresentado na figura 7. Nessas áreas predominam relevo de altitude entre 800 e 900 m, como mostrou a figura 12, de morfologia suave ondulado da DBH, e de baixa declividade, como representado na figura 13. As causas da sobrecarga se devem à retificação, que desencadeiam o rápido escoamento, além de acúmulo de lixo e esgotos clandestinos, que extrapolam os limites municipais devido à ocupação a montante, no município de Contagem. Ao norte da Lagoa se verifica uma mancha de média densidade de registros, que se situa sob o polígono de ZEIS, ao longo de cursos d'água em leito natural, nascentes do Ribeirão Isidoro, de padrão dendrítico, em áreas aplainadas, de altitude entre 700 e 800 m, de baixa declividade, entre as Unidades P1, VN4 e VN3. As comunidades inseridas nessas áreas são: Vila do Índio, Apolônia, Copacabana, Jardim Leblon, Várzea da Palma, Unidas, Vila Santa Mônica, Piratininga e São José do Céu Azul, que totalizam um contingente populacional de 20.429 pessoas, em 5.830 domicílios (URBEL, 2012). Os alagamentos registrados nessa localidade são eventos de inundações devido ao aumento de vazão dos córregos que dada à dinâmica fluvial ocupam as várzeas, que se encontram indevidamente ocupadas e que por isso geram os respectivos impactos hidrológicos. As diferenças entre os tipos de ocorrência relatados se devem ao fato da notificação, base de dados da planilha de registros da COMDEC, ser preenchida a partir do relato da vítima, o que torna as diferenças subjetivas e dependentes do entendimento do relator.

Figura 43 – Densidade de impactos hidrológicos por Km<sup>2</sup>, no alto curso da bacia do Onça e Isidoro, nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12, em Belo Horizonte.

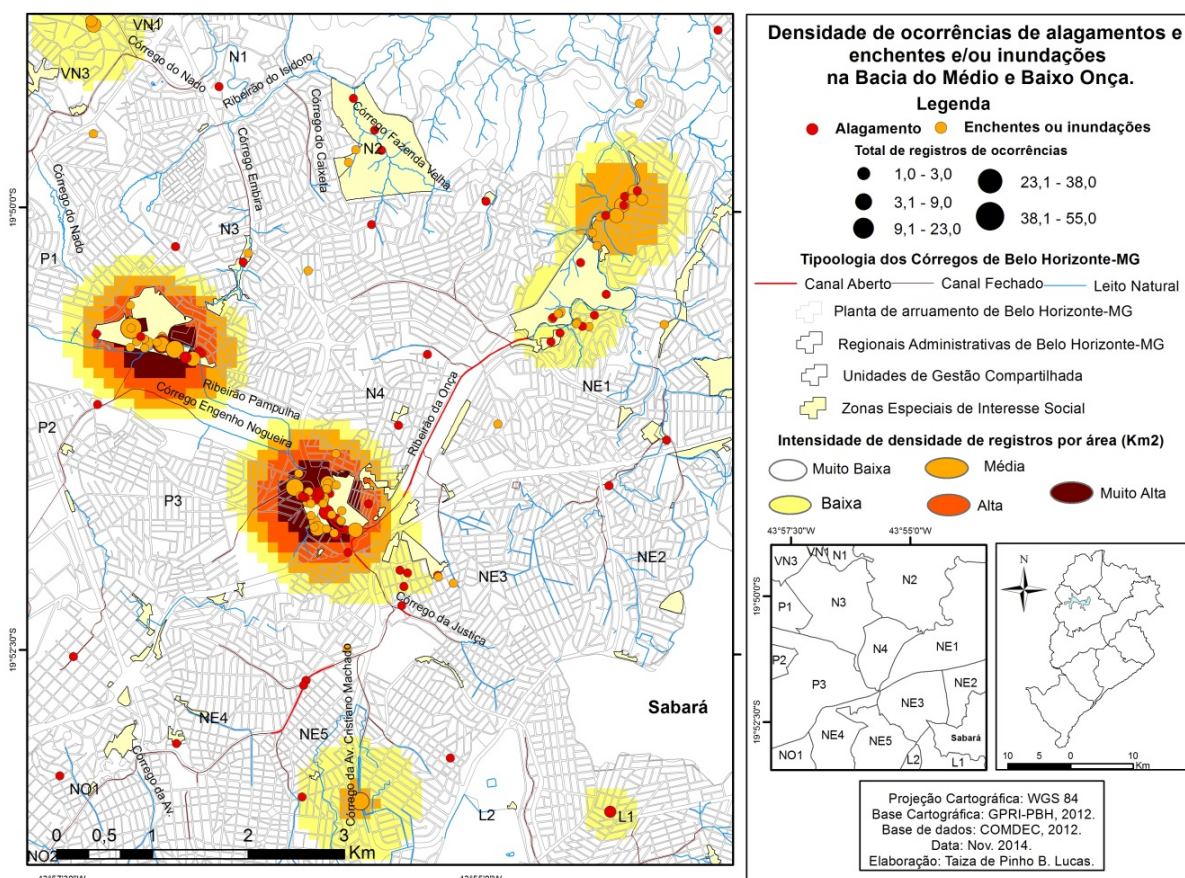


Fonte de dados: COMDEC; GPRI-PBH, 2012.

A figura 44 apresenta as áreas de maior densidade de registros de ocorrências de impactos hidrológicos do médio e baixo curso do Ribeirão Onça. Observam-se duas manchas de muito alta densidade de ocorrências de enchentes e/ou inundações, uma ao longo do Ribeirão Pampulha, a jusante da Lagoa, e outra já no médio Onça, após a confluência com o Córrego Engenho Nogueira. Ambas as áreas são ocupadas por ZEIS, na primeira encontram-se as Vilas São Tomáz e Aeroporto, e na segunda as Vilas Primeiro de Maio, Boa União I, Boa União II, Boa União Primeira Seção e Minaslândia, na margem direita, e Suzana Primeira Seção, São Gabriel, Andiroba e Vila São Paulo na margem esquerda. Na figura 84 (APÊNDICE D) verifica-se que mais de 90% dos registros de enchentes e/ou inundações ocorrem nessas áreas, que se situam nos limites territoriais dos bairros São Bernardo, Dona Clara, Minaslândia, Suzana, Primeiro de Maio, São Gabriel e São Paulo. A primeira mancha encontra-se na Unidade N3, já na segunda tem-se a margem direita na N4 e a margem esquerda na P3. A figura 7 mostrou que exceto a última, todas são áreas de significativa densidade demográfica, particularmente nas Vilas e Favelas, a Tabela 6 mostrou que 25,7% da população da Regional Norte são residentes nessas zonas e ocupam 7% da área territorial. Segundo dados da URBEL (2012), as respectivas vilas tem um contingente populacional de 23.486 habitantes, em 8.155 domicílios, a maior delas é a Vila

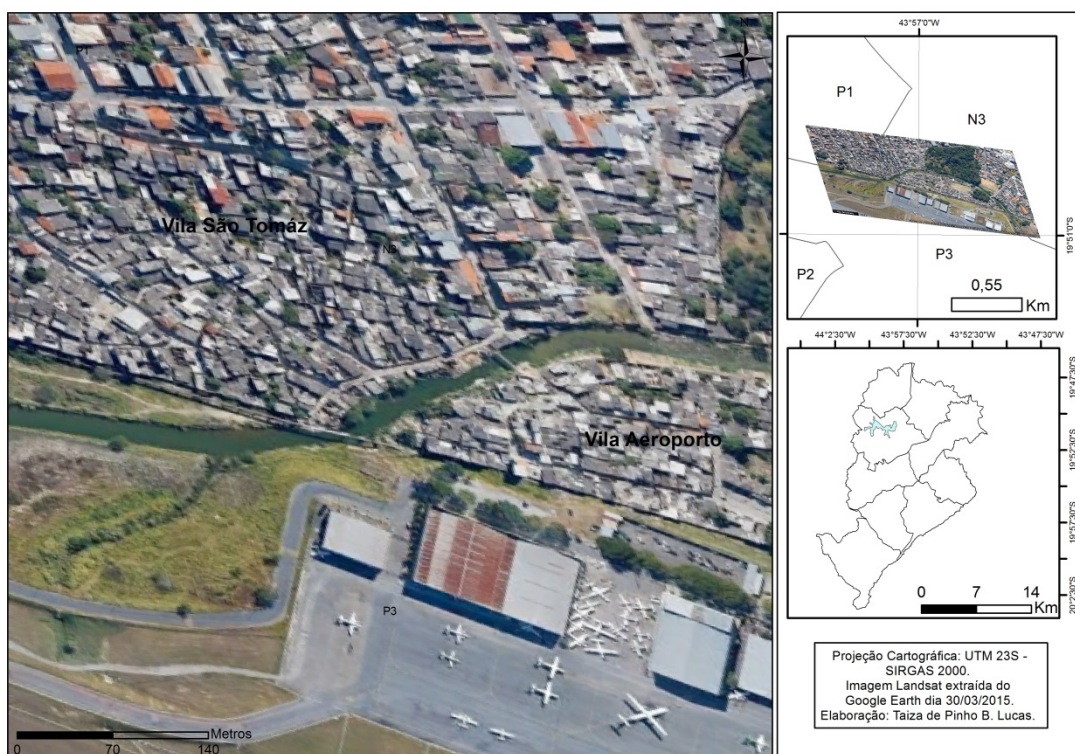
São Tomáz, com 7.913 habitantes e 3.205 domicílios. Ela se encontra nas margens do Ribeirão Pampulha, em leito natural, como ilustra a figura 45, em terraços aplainados, de altitude entre 700 e 800 m, como representa a figura 12. Verifica-se que a ocupação do leito menor é uma grande sujeição aos impactos, potencializados pela localização a jusante da Lagoa, que tem sua carga de amortecimento comprometida devido aos processos de assoreamento. A segunda mancha se encontra à jusante da primeira, em um trecho de 800m de canalização fechada, seguida de canalização aberta e, novamente, fechada, sob a Avenida Cristiano Machado, nas proximidades da intercessão com a Avenida Sebastião de Brito, corredor arterial entre importantes eixos metropolitanos de acesso ao vetor norte da RMBH.

Figura 44 – Densidade de impactos hidrológicos por Km<sup>2</sup>, no médio e baixo curso da bacia do Onça e Isidoro, nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12, em Belo Horizonte.



Fonte de dados: COMDEC; GPRI-PBH, 2012.

Figura 45 – Trecho do Médio Curso do Ribeirão Pampulha.

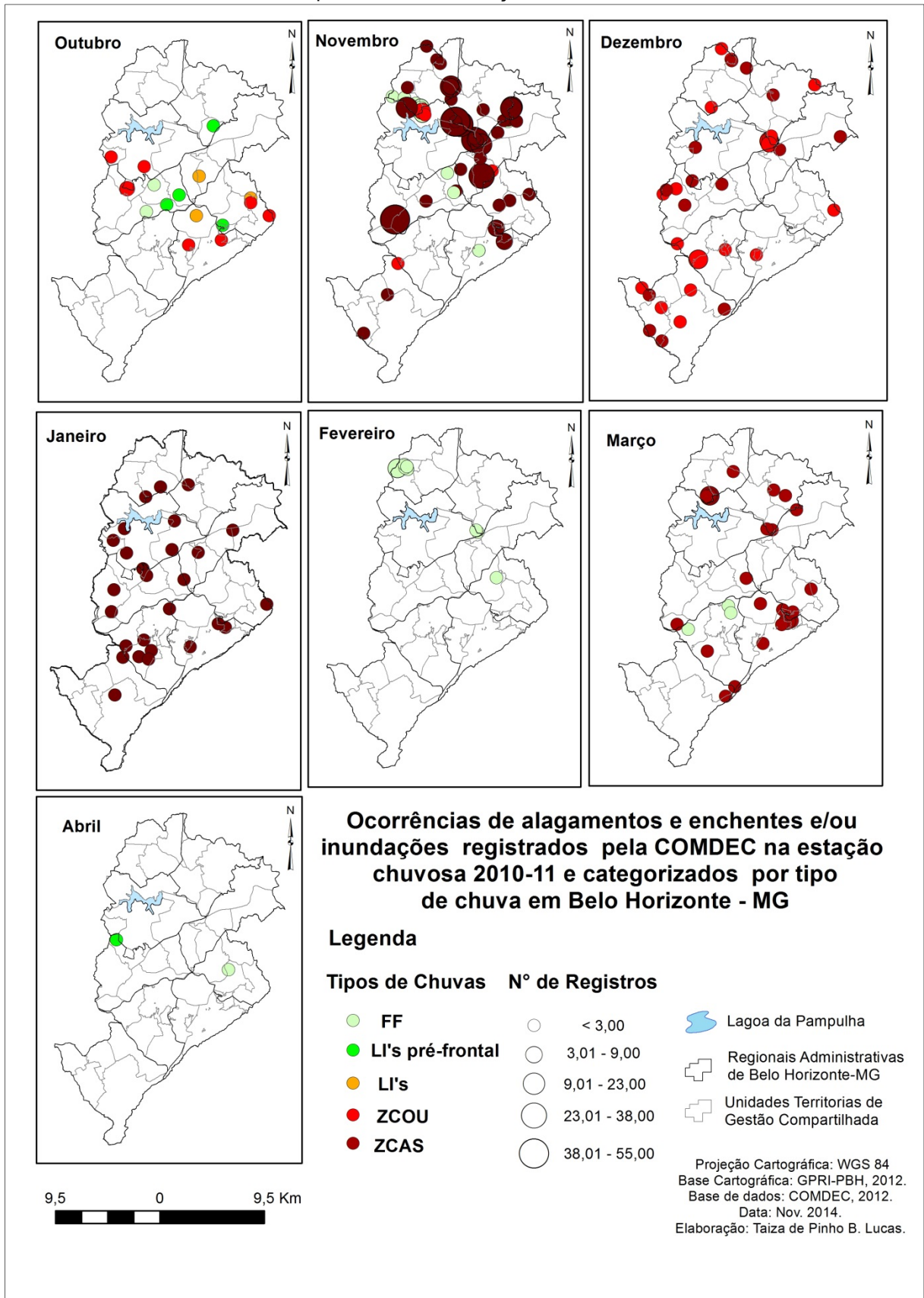


Fonte: Imagem Landsat extraída do Google Earth em 30 de março de 2015.

A figura 44 ainda representa duas áreas de média densidade de ocorrência de impactos por  $\text{Km}^2$  e duas de baixa. A maior mancha de média densidade se encontra no baixo Onça, na confluência com o Ribeirão Isidoro, importante afluente que drena as Regionais Norte e Venda Nova, que se caracteriza pela alta densidade demográfica. Nesse trecho ele encontra-se em leito natural e suas margens ocupadas pela Vila Ouro Minas, Vila Novo Aarão Reis, Vila Antônio Ribeiro e Conjunto Habitacional Ribeiro de Abreu. Elas se encontram nos limites territoriais de N2 e NE1, apesar de menor densidade demográfica, como apresentado na figura 7, somente as áreas de ZEIS da NE1 totalizam um contingente populacional de aproximadamente 15 mil pessoas (URBEL, 2012). A figura ainda apresenta um trecho de baixa densidade de registros de impactos, que se encontra na Rua Padre Pedro Pinto, na confluência dos Córregos Vilarinho e do Nado, afluentes do Ribeirão Isidoro, ambos canalizados fechados, limites territoriais entre VN1 e VN3. Outra mancha de baixa densidade de registros de ocorrência se encontra na Unidade NE5, de elevada densidade demográfica, sobre o Córrego da Avenida Cristiano Machado, na confluência com Rua Dom Leme, Bairro Cidade Nova.

As ocorrências de registros de alagamentos e enchentes e/ou inundações não só seguem o ritmo das máximas intensidades, como apresentam diferentes espacialidades devido aos tipos de chuvas e suas repercussões espaciais, particularmente nos locais de maior fragilidade ambiental e sujeição aos impactos hidrológicos. A figura 46 apresenta a distribuição do total de registros de ocorrências por tipo de chuva, em cada mês da estação chuvosa 2010-11. Verifica-se que a maior quantidade de registros ocorreu em novembro de 2010, como apresentado no gráfico 12, devido à atuação das ZCAS, que contribuiu não só para as anomalias positivas da respectiva primavera como para as configurações das manchas de muito alta, alta e média densidade apresentados nas figuras 42 a 44, particularmente à jusante da Lagoa da Pampulha, no médio e baixo Onça, assim como no alto Isidoro, médio Arrudas e em locais de menor recorrência de impactos, majoritariamente devido ao evento ocorrido entre os dias 22 a 27 de novembro de 2010, que gerou 46 locais de registros de ocorrência de impactos, totalizando 93 ocorrências. Neste evento, de V10 correspondente a 46 mm/h e V11 a 30,8 mm/h, os maiores registros foram no P15, seguido do P9 e P11, que desencadearam os numerosos impactos à jusante da Lagoa. No dia 26 esse sistema voltou a ocasionar chuvas fortes e muito fortes, as maiores intensidades ocorreram nos postos P4, P6, P12 e P16, repercutindo nos registros das Regionais Leste, Centro-Sul e Barreiro. Uma FF de V10 de 35,00 mm/h também gerou 28 registros de ocorrências no mês de novembro, a maior intensidade foi registrada no P12, seguido do P5, P2 e P4, entretanto os impactos hidrológicos ocorreram transversal a Serra, no sentido da FF, de NW-SE, particularmente nas Unidades CS2, NO1 e VN4, onde a máxima intensidade registrada no P10 foi 13,8 mm/h, no P5 - 30,5 mm/h e no P4 - 29,8 mm/h. Um evento de ZCOU também gerou 6 registros de ocorrência, V10 de 23,2 mm/h no P5, e de moderada a fraca intensidade nos demais postos, ressalta-se que a máxima intensidade no P10 foi 10,4 mm/h, P7 5,20 mm/h e P15 11,6 mm/h, e desencadeou mais de 10 ocorrências nos limites territoriais entre VN4, VN3 e P2.

Figura 46 – Distribuição do total de registros de ocorrência de impactos hidrológicos por mês e por tipo de chuva na estação 2010-11.



Fonte de dados: COMDEC; INMET; URBEL-PBH/UFMG.

O segundo mês de maior registro foi dezembro, em que as chuvas foram em grande parte ocasionadas pela maior atuação das ZCOU, como já mencionado, o segundo evento apresentou V10 de 39,8 mm/h no P4, seguido do P10 e P1, e repercutiu em 17 locais de registros difusos por todo território, já que os baixos valores de CV (V5 e V6) caracterizaram a homogeneidade espacial das chuvas. O evento de ZCAS gerou ocorrências de baixa frequência (registros menores de 3 ocorrências por localidade), mas também difusos devido a homogeneidade espacial, com chuvas fortes a moderada, sendo V10 - 27,2 mm/h no P16. No Apêndice C, para o respectivo mês, destaca-se o posicionamento mais ao sul das ZC, o que gerou maior acumulado mensal na Regional Barreiro e contribuiu para maior número de registros de ocorrências nessa respectiva Regional, diferentemente dos demais meses apresentados.

O terceiro mês de maior quantidade de registros foi janeiro de 2011 devido à atuação da ZCAS, que ocasionou 40 locais de ocorrências de frequência menor de 3 registros. Apesar de durante o segundo evento ocorrer o maior valor de V10 identificado nos 72 eventos de chuvas, como já comentado, registrado no P15, o número de ocorrências foi 23, o primeiro evento de ZCAS, de V10 de 36 mm/h, também na Pampulha, ocasionou os demais 17 eventos. Em ambos os eventos, os baixos valores de V5 e V6, apresentados na síntese mensal do respectivo mês, no Apêndice C, indicam a homogeneidade espacial das chuvas, repercutindo em registros de impactos difusos na maioria das Regionais.

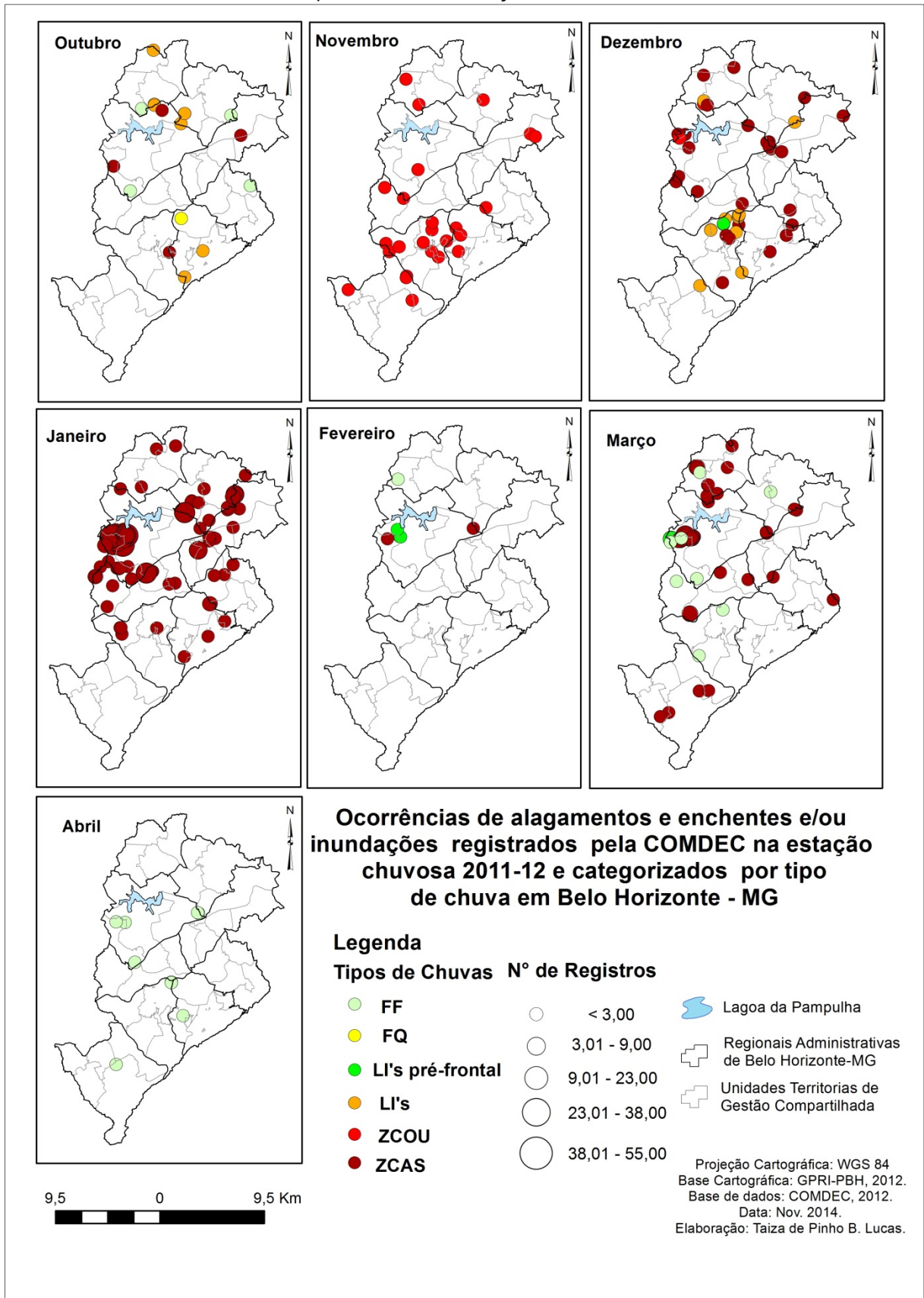
O quarto mês de maior registro de impactos também apresentou a grande maioria dos registros deflagrados pelas chuvas oriundas da ZCAS. Em março de 2011, o primeiro evento de ZCAS ocasionou 19 pontos de ocorrências, o segundo 6 e uma FF, 4. O primeiro apresentou V10 de 33,0 mm/h no P7, que gerou maior número de registros numa mesma localidade, entre as Unidades VN4 e VN3, seguido do P13, 32,6 mm/h, e chuvas fortes no P5, P4, P14, P8 e P11, que explicam a distribuição espacial dos registros de ocorrências. No segundo evento, as chuvas foram fortes no P9, P8, P15 e P5, ocasionado o aumento da frequência de registros nas localidades já apresentadas no médio e baixo Onça. No evento de FF, V10 de 51,4 mm/h registrado no P5, gerou 3 registros na Unidade O1 e um na O2, no médio Arrudas, as chuvas foram concentradas na Região Central, repercutindo na localização pontual das ocorrências.

Entre os meses de menor acumulado mensal de chuvas, como apresentado no gráfico 12, outubro é o mais chuvoso e de maior número de impactos, verifica-se similaridade entre a figura 33, espacialização do total mensal, e a localização dos registros de ocorrências de impactos, devido à atuação de sistemas mais transientes e de menor duração (V1 e V2). Os

meses de fevereiro e abril apresentaram menores quantidades de registros devido a menor ocorrência de chuvas, de menores acumulados e menores intensidades, além de mais concentradas espacialmente, devido aos maiores valores de V5 e V6, como comentado no Apêndice C.

A figura 47 apresenta o total de registros de impactos hidrológicos por tipo de chuvas a cada mês da estação chuvosa 2011-12, verifica-se que o mês de maior número de registros de ocorrências ocorreu em janeiro de 2012, como mostrou o gráfico 12, em função da atuação da ZCAS. O primeiro evento perdurou por 16 dias, o acúmulo médio de chuvas caracterizou as grandes anomalias do verão da respectiva estação, também apresentou V10 de 52,2 mm/h, V11 de 34,6 mm/h e repercutiu em 75 locais de registros, totalizando 180 ocorrências. V10 foi registrado no P7, seguido do P3 (51,4 mm), P9 (47,3 mm/h) e muito forte nos demais, ocasionando a grande quantidade de ocorrências no alto Onça, a montante da Lagoa da Pampulha, e no médio e baixo, à jusante, e de menor frequência nos demais locais representados na figura 47, já que na descrição do respectivo mês, no Apêndice C, verificou-se que foi um evento de grande homogeneidade espacial, pelos baixos valores de V5 e V6. O segundo evento de ZCAS ocorrido no mesmo janeiro também gerou 189 registros de ocorrências em 42 locais, a máxima intensidade foi registrada no P5, seguido do P3 (36,2 mm/h), P1 (35,6 mm/h), P16 (30,8 mm/h) e fortes nos demais, o que contribuiu para os registros nas demais localidades das Regionais Oeste, Centro-Sul e Leste. O mês de maior acumulado de chuvas foi dezembro de 2011, entretanto foram 45 locais de ocorrências, todas de menor frequência por localidade, 24 delas foram ocasionadas pelo segundo episódio de ZCAS, em que V10 foi 33,4 mm/h e V11 – 26,5 mm/h, comparado ao primeiro evento de janeiro de 2012, esse ocasionou praticamente a mesma quantidade de acumulado em 50% dos dias, entretanto as chuvas foram menos intensas e mais contínuas, o que desencadeou menor número de registros de ocorrências de impactos hidrológicos. Por outro lado, um evento de LI, de duração de duas horas, V7 de 54,4 mm, V10 de 28,4 mm/h, centrada sobre a região central da mancha urbana de Belo Horizonte, identificado pelos altos valores de CV (V5 e V6), como descrito no Apêndice C, gerou 12 ocorrências de alagamentos, particularmente na Unidade O1, o que contribuiu para a mancha de média densidade do médio curso do Arrudas.

Figura 47 – Distribuição do total de registros de ocorrência de impactos hidrológicos por mês e por tipo de chuva na estação 2011-12.



Fonte de dados: COMDEC; INMET; URBEL-PBH/UFMG.

O segundo mês de maior número de registros de impactos dessa estação chuvosa foi março de 2012, que gerou maior número de ocorrências que março do ano anterior, apesar do menor acumulado médio mensal. Foram 83 registros em 76 localidades, a maior quantidade (51) foi ocasionada pelo único episódio de ZCAS, com V10 de 46 mm/h, a máxima intensidade foi registrada no P10, seguido do P1 (36,6 mm/h), P15 (31,2 mm/h), P8 (28,0 mm/h), P9 (26,8 mm/h) e moderadas nos demais postos, portanto houve maior impacto nas Regionais Venda Nova e Pampulha, particularmente nos locais já representados pela densidade muito alta, alta e média de ocorrência de registros por Km<sup>2</sup>. As FF também ocasionaram 31 registros de ocorrências, o primeiro evento gerou maior número de impactos (27), os baixos valores de V5 e V6, diferentemente do segundo evento, como descrito no Apêndice C, explicam a repercussão nas Unidades O1, O4, NO3, P4, VN4 e entre N2 e N3, já que a máxima Intensidade foi registrada no P15 (29 mm/h), seguido do P8 (28,6 mm/h), P5 (24,2 mm/h), P3 (21,6 mm/h), P16 (19,6 mm/h), P10 (18,2 mm/h) e moderada nos demais postos. O segundo evento ocasionou V10 de 53,0 mm/h no P4, 43,0 mm/h no P7, 39,8 mm/h no P5, 26 mm/h no P8, 27,2 mm/h no P14, moderada e fraca intensidade nos demais, apesar da intensidade muito forte, houve registros de impactos só na Unidade P4.

A segunda estação chuvosa caracterizou-se pela grande anomalia nos meses de verão, particularmente dezembro e janeiro, e menores anomalias positivas nos meses de primavera e outono. O mês de novembro de 2011 apresentou menor acumulado em função da não configuração da ZCAS, entretanto foram dois episódios de ZCOU que geraram 26 locais de ocorrência de baixa frequência de impactos, como representado na figura 47. O primeiro ocasionou 11 e o segundo 15, sendo que a máxima intensidade no primeiro foi 31,2 mm/h, no P13, seguido de chuvas fortes nos postos: P5, P2, P14, P4, P7, P12, e moderadas nos demais. No segundo evento, os maiores valores de CV (V5 e V6) descritos no Apêndice C, apontam para a maior concentração espacial das chuvas, particularmente a intensidade (V6), que foram muito forte no P14 (35,8 mm/h) e P5 (30,6 mm/h), forte no P3 e P13, moderadas e fracas nos demais postos, o que ocasionou os impactos concentrados nas Unidades: B1, entre CS1 e CS4, CS5, majoritariamente na O1, que contribuiu para a mancha de média densidade no médio curso do Arrudas, e O2.

O mês de outubro de 2011, apesar de um pouco mais chuvoso que o ano anterior, apresentou somente um registro a mais, um total de 17 locais de ocorrências, todos eles de baixa frequência. Assim como a espacialização do primeiro outubro, como representado na figura 46, verifica-se a ocorrência de registros de impactos relacionados a eventos mais transientes e de menor durabilidade, a maior intensidade foi ocasionada por um evento de

LI, V10 correspondente a 31,4 mm/h no P4, seguido de chuvas fortes nos postos P5, P3 e P2, moderadas nos postos P1, P7, P13 e P15 e fracas nos demais, o que desencadeou o maior número de registros (8) por tipo de chuva do mês. Em seguida, foram 4 registros associados ao evento de ZCAS, 4 associados a FF e 1 a FQ, localizado na Unidade CS1, que apesar dos acumulados diários, desencadeou chuvas de fraca intensidade. Todos esses sistemas ocasionaram chuvas homogêneas, devido aos baixos valores de CV (V5 e V6), comentados no Apêndice C, o evento de ZCAS teve o valor de V10 (29,8 mm/h) registrado no P9, seguido de 21,6 mm/h no P8, de moderada e fraca nos demais postos, já a FF repercutiu em chuvas de menor intensidade, a máxima intensidade foi 26,6 mm/h, de forte intensidade somente nos postos P14 e P6, moderadas e fracas nos demais, entretanto ocasionou registros nas Unidades L1, P4, N2 e VN4.

Os meses de fevereiro e abril, de menores acumulados mensais, são também de menores registros de impactos devido à ocorrência de chuvas mais localizadas, comumente observada nas duas estações chuvosas. Em fevereiro de 2012, uma LIP gerou 3 ocorrências na Unidade P4, em função de uma chuva forte (V10 de 25,6 mm/h), registrada no P11, e de moderada intensidade nos postos vizinhos. O evento de ZCAS, de fraca intensidade, como já comentado, gerou chuvas moderadas no P1 e P16 (V10 correspondente a 17,1 mm/h) e fracas nos demais, entretanto ocasionou 2 registros de ocorrências em áreas de maior frequência desses impactos hidrológicos, na bacia do Onça. O mês de abril apresentou 9 ocorrências associadas as FF, o primeiro evento registrou 4 em função da intensidade muito forte no P4 (48,0 mm/h) e de fraca intensidade nos demais postos, que desencadeou os registros nas Unidades CS5, nos limites de CS1 com O1 e NO4 com P4. A segunda FF ocasionou 2 registros na Regional Barreiro em função das chuvas fortes somente ao longo da Serra, registrado no P6 (V10), 29,4 mm/h, seguido de 27 mm/h no P16 e 23,0 mm/h no P2, nos demais as chuvas foram de fraca intensidade, o que desencadeou os altos valores de CV (V5 e V6), como comentado no Apêndice C. O terceiro evento de FF, assim como o evento de ZCOU verificado no respectivo mês, ocasionaram chuvas homogêneas no território belo-horizontino, tanto em relação ao acumulado, como intensidade, devido aos menores valores de V5 e V6, mas de fraca e moderada intensidade. A chuva oriunda de ZCOU não repercutiu em impactos, a FF ocasionou 3 registros, sendo V10 correspondente a 12 mm/h no P15 e fraca nos demais.

## 5.4 Os agrupamentos de tipos de chuvas por análise fatorial e padrões espaciais de precipitação em Belo Horizonte

A partir de uma análise fatorial foi possível identificar 5 grupos de tipos de chuvas e suas gênese associadas às precipitações. Eles se diferenciam pelas variabilidades dos elementos meteorológicos observados próximos à superfície e pela distribuição de impactos hidrológicos associados.

### 5.4.1 Identificação dos fatores e análise de agrupamento

O Quadro 2 apresentou as 24 variáveis utilizadas para sumarizar os padrões de tipos de chuvas que se repercutem em diversas espacialidades no território belo-horizontino. A AF, por ACP, aplicada a partir da correlação entre elas (APÊNDICE A), possibilitou a identificação dos fatores comuns a essas variáveis e assim compreender como eles apreendem as características dos tipos de chuvas.

A partir do maior valor de KMO, definiram-se as variáveis selecionadas para AF, considerando primeiramente uma matriz com todos os valores de correlação de Pearson, apresentados no Apêndice A. Em seguida foi-se retirando as variáveis, a partir dos critérios já descritos, e pelo valor de KMO, a melhor adequabilidade ao ajuste fatorial foi dada por um valor igual a 0,805, que indicou a seleção das seguintes variáveis: V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9, V10, V11, V12, V17, V21, V22 e V23.

A Tabela 10 apresenta o número de fatores que explica a variabilidade dos dados, o valor foi obtido através dos autovalores extraídos da matriz de correlação maiores que 1. A partir dessa verifica-se que os quatro fatores descrevem 88,8% da variabilidade dos dados, o primeiro fator, autovalor de 6,9 explica 43,4%, o segundo autovalor de 2,6 explica 16,0%, juntamente com primeiro explicam 59,4%, e assim sucessivamente.

Tabela 10: Variância explicada por cada componente

Componente	Autovalor	Variância explicada (%)	Variância explicada acumulada (%)
Fator 1	6,944	43,400	43,400
Fator 2	2,562	16,011	59,411
Fator 3	2,537	15,857	75,268
Fator 4	2,174	13,590	88,858

Extraction Method: Principal Component Analysis

A Tabela 11 apresenta as cargas fatoriais, ou correlações entre os fatores e os dados originais. Verifica-se que o fator 1 tem maior correlação com as variáveis: V1, V2, V3, V4, V7, V8 e V9. O fator 2 está melhor correlacionado às variáveis V5, V6 e V17, já o fator 3 com as variáveis V21, V22 e V23. E, por fim, o fator 4 demonstra-se mais correlacionado com as variáveis V10, V11 e V12.

Tabela 11: Cargas fatoriais

	Fator			
	1	2	3	4
V1	<b>0,870</b>	0,218	0,056	0,253
V2	<b>0,962</b>	0,189	0,057	0,142
V3	<b>0,955</b>	0,185	0,050	0,183
V4	<b>0,950</b>	0,225	0,014	0,124
V5	-0,201	<b>-0,901</b>	-0,224	-0,221
V6	-0,183	<b>-0,910</b>	-0,226	-0,192
V7	<b>0,908</b>	0,109	0,139	0,341
V8	<b>0,914</b>	0,160	0,164	0,295
V9	<b>0,927</b>	0,169	0,134	0,234
V10	0,320	0,082	0,070	<b>0,888</b>
V11	0,501	0,326	0,219	<b>0,750</b>
V12	0,485	0,369	0,324	<b>0,526</b>
V17	0,495	<b>0,606</b>	0,131	-0,058
V21	0,122	0,167	<b>0,783</b>	0,250
V22	0,032	0,131	<b>0,884</b>	0,053
V23	0,085	0,165	<b>0,890</b>	-0,003

Extraction Method: Principal Component Analysis.  
 Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.  
 a. Rotation converged in 5 iterations.

Na AF, a parte da variabilidade original dos dados capturada pelos fatores é denominada de Comunalidades, quanto mais próximas de 1, indicam que a variância associada ao erro aleatório ou aos resíduos é próxima de 0, ou seja, demonstra que o modelo fatorial conseguiu capturar os fatores principais mais relacionados com as variáveis padronizadas. A Tabela 12 apresenta as Comunalidades das variáveis utilizadas na AF por ACP, verifica-se valores altos para todas as variáveis, os valores mais baixos correspondem as variáveis V17 e V21, que correspondem as que menos contribuem para o acumulado da variância explicada. Entretanto ressalta-se que os fatores obtidos explicam satisfatoriamente a variabilidade das 16 variáveis.

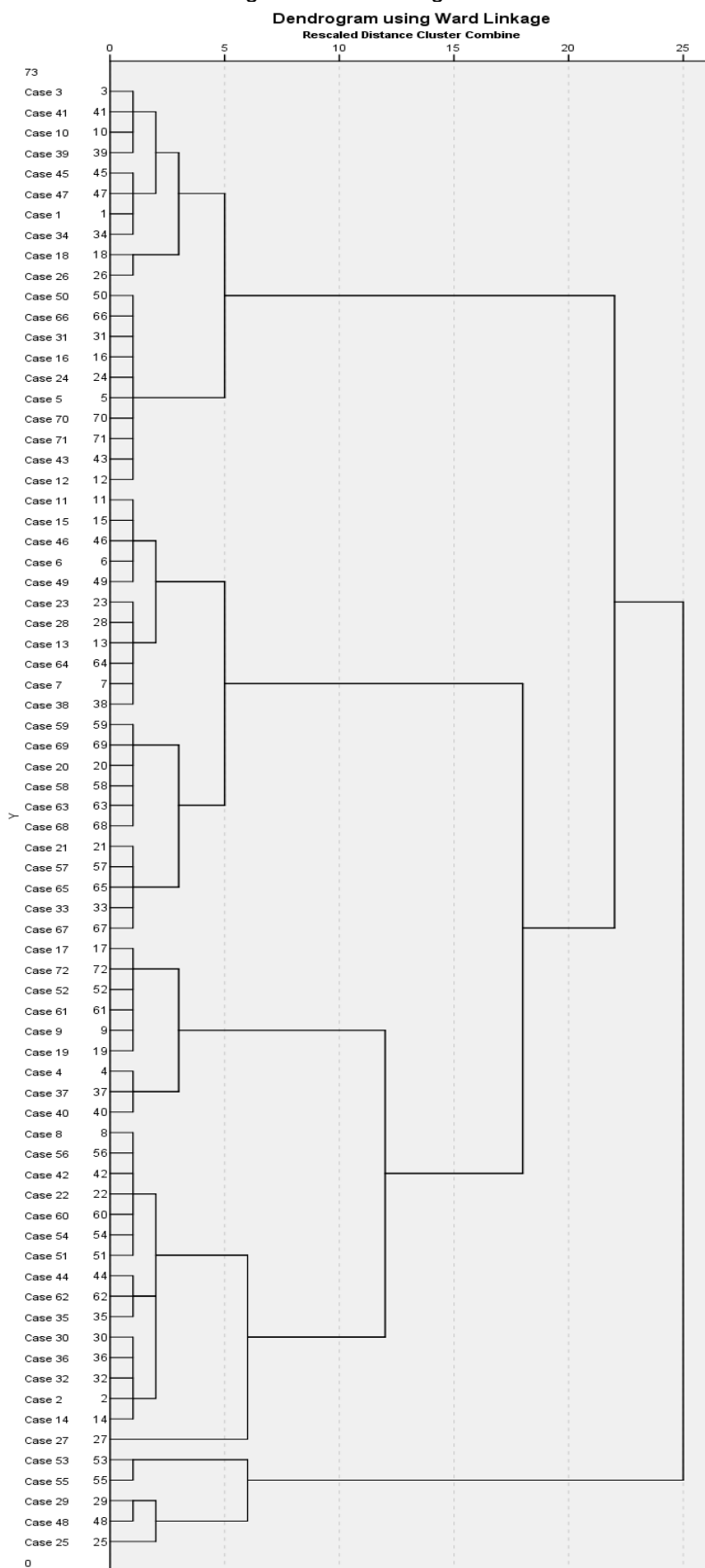
Tabela 12: Comunalidades

<b>Comunalidades</b>	
V1	0,871
V2	0,984
V3	0,983
V4	0,969
V5	0,952
V6	0,949
V7	0,971
V8	0,975
V9	0,960
V10	0,902
V11	0,968
V12	0,752
V17	0,632
V21	0,719
V22	0,803
V23	0,827

Extraction Method:  
Principal Component Analysis

A partir dos escores extraídos dos valores da Tabela 11 foi realizado a AC, pelo método hierárquico de Ward, identificando-se 5 grupos que se formaram pela proximidade, o inverso da distância euclidiana do centroide de cada escore. A qualidade do agrupamento dada pelo valor de  $R^2$  correspondeu a 75,13%. A figura 48 apresenta o dendrograma, resultado da AC, em que se capta o histórico de agrupamento, identificada pela proximidade entre os eventos. A escala horizontal indica a distância entre as observações, a partir do critério proposto por Rogerson (2012), verifica-se que na distância 10 já não se altera o número de grupos, os respectivos 5 “galhos” caracterizam os diferentes grupos de tipos de chuvas. Ao percorrer a figura para a esquerda, identificam-se os eventos que correspondem a cada agrupamento, o primeiro é composto por 20 casos, o segundo grupo por 16, o terceiro por 9, o quarto por 22 e o quinto composto por 5 eventos de tipos de chuvas.

Figura 48 – Dendrograma



Dendrogram using Ward Method.

#### 5.4.2 Os tipos de chuvas e as suas espacializações para cada agrupamento

Os agrupamentos foram realizados utilizando-se os escores das cargas fatoriais, obtidas através da AF. A Tabela 13 apresenta a média desses escores para cada fator, em cada grupo identificado na AC. Verifica-se que a maior média do grupo 1 corresponde ao fator 3, na Tabela 11 observou-se que o respectivo fator está melhor correlacionado as variáveis V21, V22 e V23. O grupo 2, no entanto, tem menor média no fator 2, indicando que as observações neste fator obtiveram maiores valores nas variáveis V5 e V6, bem como menores valores nas outras variáveis. O grupo 3 possui maior média no fator 2 e menor no fator 4, o que indica que o fator apresenta maiores valores nas variáveis V5, V6, V17 e menores nas variáveis V10, V11 e V12. O grupo 4 possui maior média no fator 4 e o grupo 5 possui maior média no fator 1, indicando que neste grupo, os elementos possuem valores os maiores nas variáveis V1, V2, V3, V4, V7, V8 e V9 e menores nas variáveis V5 e V6.

Tabela 13 – Média dos escores dos fatores por grupo identificados na AC

Variável	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
Fator 1	-0,188	-0,120	-0,233	-0,394	<b>3,288</b>
Fator 2	0,437	<b>-1,335</b>	0,722	0,242	0,162
Fator 3	<b>1,262</b>	-0,361	-0,340	-0,705	-0,176
Fator 4	0,124	-0,614	<b>-1,199</b>	<b>0,803</b>	0,094

Extraction Method: Principal Component Analysis.  
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.  
Component Scores.

##### 5.4.2.1 Grupo 1: as chuvas homogêneas e associadas aos ventos do quadrante W/NW/N

O grupo 1 é composto de 20 eventos de chuvas, caracterizadas pelos critérios apresentados no item 3.2.3 e sumarizados pelas variáveis do Quadro 2. A partir da figura 48 identificaram-se os casos na planilha de tipos de chuvas, sendo: 7 eventos de ZCAS, 7 de ZCOU, 4 de FF, 1 de LIP e 1 de LI. A Tabela 14 apresenta medidas de tendência central e variabilidade mais representativas das características dessas chuvas, observa-se que em média são eventos que perduraram por 3,3 dias, com duração média de 15,7 horas de registro pluviométrico, com média de V5 e V6 correspondente a 32,2% e 43,1%, baixa variabilidade espacial do total acumulado nos postos pluviométricos e baixa variabilidade da máxima intensidade (mm/h) registrada. As variáveis V7 e V8 mostram que, em média, o acumulado máximo e médio correspondeu a 73,5 mm e 49,9 mm. Pelos valores máximos e mínimos desses eventos nota-se maior variabilidade entre essas variáveis, já que o agrupamento foi dado pelas cargas fatoriais de V21, V22 e V23. Em todos os eventos, verifica-se que o escoamento predominante dos ventos é do quadrante W/NW/N, em pelo menos uma das

estações meteorológicas do INMET, particularmente de N na EMA da Pampulha, de W na EMA do Rola Moça e de NW no 5° DISME. A V24 corresponde ao somatório de registros de ocorrências associados a esses eventos, nota-se que 179 foram ocasionados por esses eventos de chuvas.

Tabela 14 – Medidas de tendência central de variáveis do grupo 1

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V17	V21	V22	V23	V24
Méd	3,3	15,7	19,7	12,0	32,2	43,1	73,5	49,9	28,2	25,9	14,5	6,7	77,3	360	270	315	179
Máx	7,0	46,9	62,0	38,0	69,4	80,8	222,6	176,6	130,4	54,2	30,9	25,8	84,3				
Min	1,0	2,7	3,0	2,0	11,9	17,6	12,0	7,5	0,6	10,0	3,0	0,4	65,2				

Nota: V21, V22 e V3 foram calculados pela moda. V24 corresponde ao somatório.

Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

Os eventos de LI e LIP ocorreram no mês de outubro de 2010, os dois primeiros eventos da primeira estação chuvosa, assim como a FF, posterior aos dois eventos, representados no gráfico 17 (APÊNDICE C). Duas das demais FF ocorridas nesse grupo ocorreram em outubro de 2011 e uma em abril de 2012. Todos os eventos de ZCAS e ZCOU de novembro de 2010 estão inseridos nesse grupo e desencadearam as anomalias positivas de precipitação do respectivo mês e caracterizaram a primeira primavera. Em seguida, o evento de ZCOU ocorrido entre os dias 23 e 25 de dezembro de 2010, assim como o segundo evento de ZCAS de janeiro e março, e ainda o primeiro de abril de 2011. Nesse grupo também se encontra o primeiro evento de ZCAS de outubro de 2011, assim como os dois eventos de ZCOU de novembro, o segundo de ZCAS de dezembro, e os únicos eventos de ZCOU de março e abril de 2012. As LI desse grupo corresponderam aquelas da planilha de tipo de chuvas de menores valores de V5 e V6, maiores de V8, ocasionadas por cavados na média troposfera, associados à mudança do escoamento zonal da atmosfera, no início da primavera.

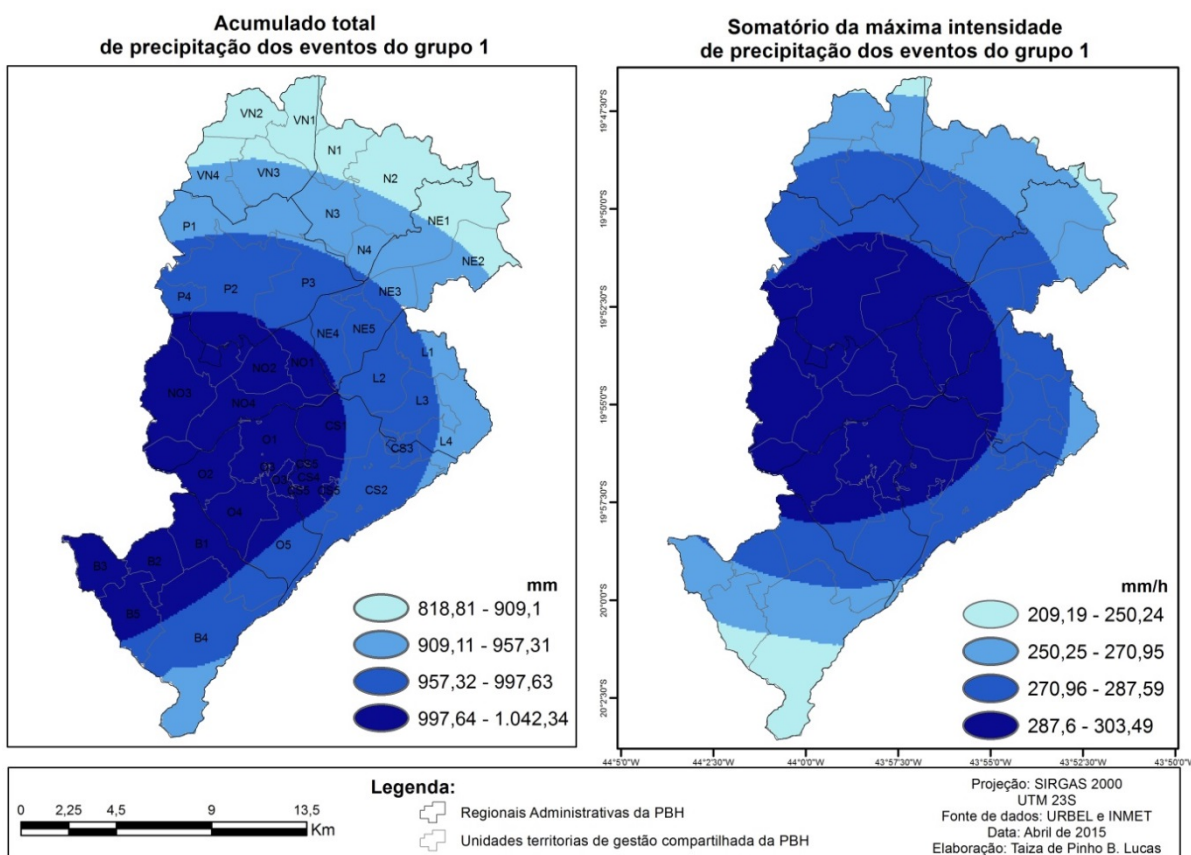
Em relação ao somatório de V8 de todos os eventos identificados nas duas estações chuvosas, o total do grupo corresponde a 31%, sendo 45% do total da primeira e 19% da segunda. As chuvas ocasionadas pelas LI e LIP geraram 5,3%, as FF ocasionaram 5,7%, os eventos de ZCOU 27,6% e os de ZCAS 61,4%. O somatório de V8 por primavera e outono de cada estação chuvosa correspondeu a 60% do total da primeira estação chuvosa e 47% do total da segunda.

Em relação a V10, verificam-se seis eventos com intensidade máxima superior a 30 mm/h, que ocasionaram 145 locais de registros do total desse grupo, descrito na Tabela 14, três deles identificados como ZCAS, dois como ZCOU e um como LIP. Foram observados nove eventos com intensidade máxima categorizada como chuva forte, que ocasionaram 27

locais de registros de impactos, um evento de LI, duas FF, três eventos de ZCAS e três de ZCOU. E cinco eventos como chuvas moderadas que desencadearam 7 locais de ocorrências, por duas FF, duas ZCOU e uma ZCAS.

A figura 49 apresenta a espacialização das chuvas ocorridas nesse grupo, tanto do somatório do acumulado como da máxima intensidade. Verifica-se que os maiores acumulados ocorreram na porção centro-sudoeste do município, nas Unidades B2, B3 e porção ocidental da B1 e B5 da Regional Barreiro, Regional Oeste, exceto a porção oriental da O5, situada nas escarpas da Serra do Curral, Regional Noroeste, nas Unidades CS4, CS5 e porção ocidental da CS1 da Centro-Sul e extremo sul da Pampulha. Os menores acumulados ocorreram nas unidades VN2, VN1, N1, extremo norte da N2, NE1 e NE2, das Regionais: Venda Nova, Norte e Nordeste. O polígono de maiores valores concentra-se na porção centro-oeste, engloba toda Regional Noroeste, grande parte da Pampulha, exceto a unidade P1, as unidades O1, O2, O3 e O4, exceto o seu extremo sul, e as unidades CS1, CS4 e C5 e ainda as unidades L2, NE4 e NE5, das Regionais Leste e Nordeste. A menor intensidade ocorre no extremo sul do município, na unidade B4, onde se encontra as maiores altitudes do município.

Figura 49 – Somatório do acumulado total e da máxima intensidade dos eventos de precipitação identificados no grupo 1



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

Os eventos 18, entre os dias 22 e 27 de novembro de 2010, e 26, ocorrido entre os dias 12 e 18 de janeiro de 2011, chuvas originadas pela atuação de ZCAS, foram o que mais contribuíram para a espacialização do acumulado total, como mostra os dados apresentados na Tabela 15 e os maiores valores das respectivas variáveis na Tabela 14. Essa tabela ainda permite observar que os eventos 18 e 26 foram os de maior número de dias de chuvas (V1), maior número de horas (V2), entre os menores valores de CV, ou seja, mais homogêneas espacialmente, maiores acumulados, tanto máximo (V7), como médio (V8), assim como as maiores intensidades (V10) e maiores valores de média intensidade (V11), e ainda, os que mais ocasionaram registros de impactos hidrológicos. O evento 18, oriundo de atuação da ZCAS, contribuiu com a grande quantidade de enchentes e inundações representadas na figura 40, e o total de impactos ocasionados por ZCAS, para o mês de novembro, representado na figura 46.

Tabela 15 – Dados de variáveis quantitativas dos eventos do grupo 1

		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V21	V22	V23	V24
1	LIP	1	4	6	2	55,4	70,7	42,4	19,5	6,6	32,2	13,0	5,0	315	270	270	3
3	LI	1	7	8	5	29,6	40,0	45,4	33,2	14,4	26,0	15,9	8,4	135	270	90	3
5	FF	1	3	3	2	16,3	21,1	20,8	17,1	12,6	18,0	13,9	10,2	270	270	360	1
10	ZCAS	4	22	25	20	11,9	24,2	88,8	74,8	56,4	24,6	17,2	10,8	315	180	90	1
12	ZCAS	4	20	26	16	24,5	26,4	76,2	55,7	33,8	17,2	11,5	5,4	45	315	315	4
16	ZCOU	3	8	10	6	25,7	37,2	34,4	25,8	13,8	23,2	12,4	5,2	360	315	315	6
18	ZCAS	6	35	43	29	16,1	17,6	222,6	176,6	130,4	46,0	30,9	25,8	360	315	315	93
24	ZCOU	3	8	10	6	39,2	46,1	41,0	21,2	9,0	20,4	17,4	3,4	360	315	360	1
26	ZCAS	7	47	62	38	28,2	43,6	221,6	145,9	69,6	54,2	29,2	12,2	360	315	315	23
31	ZCAS	5	23	30	17	45,7	47,1	122,4	70,0	9,6	28,2	15,9	1,2	360	225	270	6
34	ZCAS	5	14	20	8	69,4	80,8	104,4	35,9	9,2	32,0	11,7	2,8	315	180	270	0
39	ZCAS	6	29	33	22	28,1	46,5	68,2	54,4	43,8	29,8	14,2	6,2	360	90	270	4
41	FF	2	6	8	5	29,4	37,0	35,4	23,5	13,0	26,6	12,6	4,0	360	90	135	4
43	FF	2	5	8	2	50,9	61,7	18,8	8,5	1,8	10,0	4,2	1,6	180	270	180	0
45	ZCOU	3	25	29	21	14,5	30,9	103,0	81,6	66,2	31,2	19,5	12,8	315	270	270	11
47	ZCOU	2	14	17	12	33,8	54,6	82,0	52,7	24,0	35,8	17,1	5,8	315	270	270	15
50	ZCOU	3	16	21	10	19,6	41,7	50,4	38,7	27,6	21,4	13,4	7,0	315	270	315	1
66	ZCOU	3	16	19	12	35,1	38,4	61,4	41,4	18,2	17,2	10,6	4,6	360	225	360	0
70	FF	3	8	10	4	31,0	47,3	12,0	7,5	4,2	12,0	3,0	1,2	360	180	315	3
71	ZCOU	2	4	6	2	39,3	48,1	19,6	13,4	0,6	11,6	5,9	0,4	315	270	315	0

Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFGM.

Esse evento 18, com durabilidade de 6 dias, caracteriza-se como ZCAS devido à configuração da ZC nos campos médios de vento meridional e zonal, em 850 hPa, de ômega, em 500 hPa, de umidade específica, em 300 hPa, e de ROL, em 250 hPa, entre os dias 22 e 27 de novembro de 2010. Verifica-se, através do escoamento médio do vento no campo meridional, figura 50, um eixo escoamento de ventos de N, de orientação NW-SE. A figura 51 representa o escoamento da componente zonal, nota-se o eixo de ventos de W associado à ZC e de E associados ao anticiclone na retaguarda da ZC. A caracterização geral desta ZC também é ilustrada no comportamento dos campos de ômega, em 500 hPa (FIGURA 52), e umidade específica, em 300 hPa (FIGURA 53). A figura 54 apresenta a média de ROL, em 250 hPa, para o período, em que se nota a organização e tamanho da banda de nebulosidade, com valores de ROL menores de 200 W/m<sup>2</sup> ao longo de toda sua extensão, um núcleo menor de 180 W/m<sup>2</sup> situado entre as coordenadas 10°S e 20°S e 40°W e 50°W, onde se encontra a porção centro-norte de MG, o que indica maior extensão vertical das nuvens e maior quantidade de água precipitável. O campo de ROL ainda permite observar que sobre o NEB e o sul do Brasil predominam céu claro, áreas de circulação anticiclônica, em baixos níveis, que fortalecem o escoamento convergente para o eixo da ZC, dipolo característico da ZCAS. Em altos níveis, a média de escoamento do vento, entre

os dias 22 e 27, mostrou o alinhamento zonal do JS, entre 30° e 20°S, alimentando a convergência em baixos níveis, e o escoamento anticiclônico, associado à AB, configurada próxima a sua posição climatológica (disponível no Climanálise, 2010b), como mostra a figura 55.

Figura 50 - Campo médio do vento meridional em 850hPa entre os dias 22 e 27/11/2010.

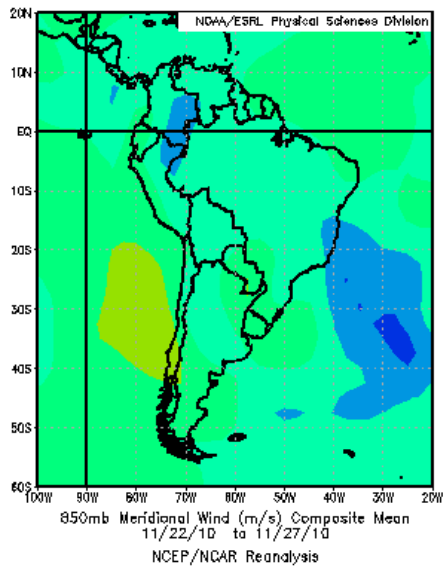
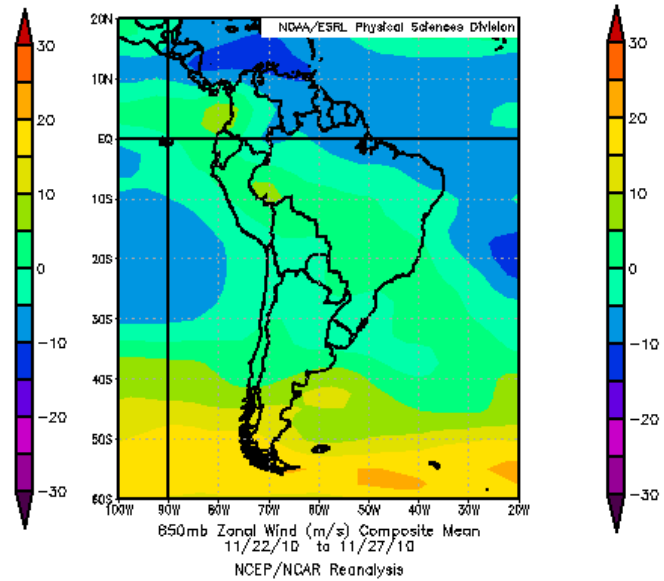


Figura 51 - Campo médio do vento zonal em 850hPa entre os dias 22 e 27/11/2010.



Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>. Acesso dia 02/05/2013.

Figura 52 - Campo médio de ômega em 500hPa entre os dias 22 e 27/11/2010.

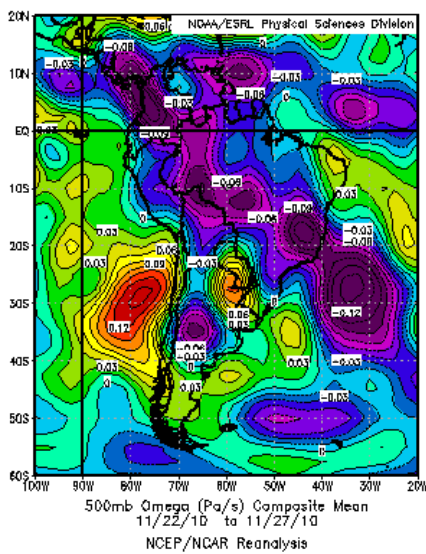
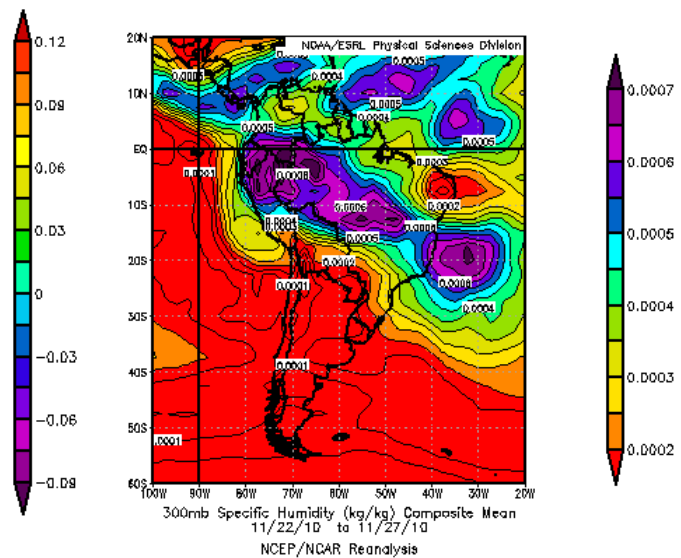


Figura 53 - Campo médio de umidade específica em 300 hPa entre os dias 22 e 27/11/2010.



Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>. Acesso dia 02/05/2013.

Figura 54 - Campo médio de ROL em 250hPa entre os dias 22 e 27/11/2010.

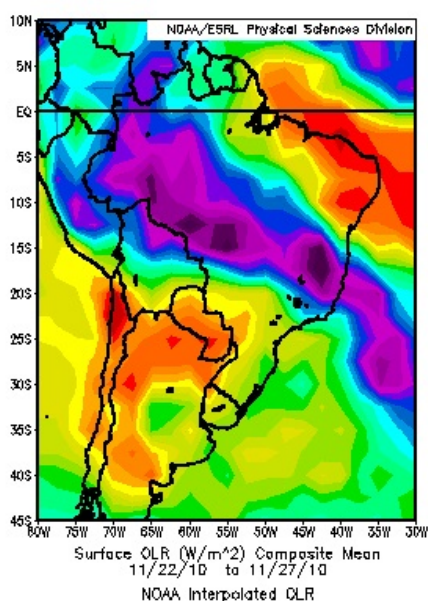
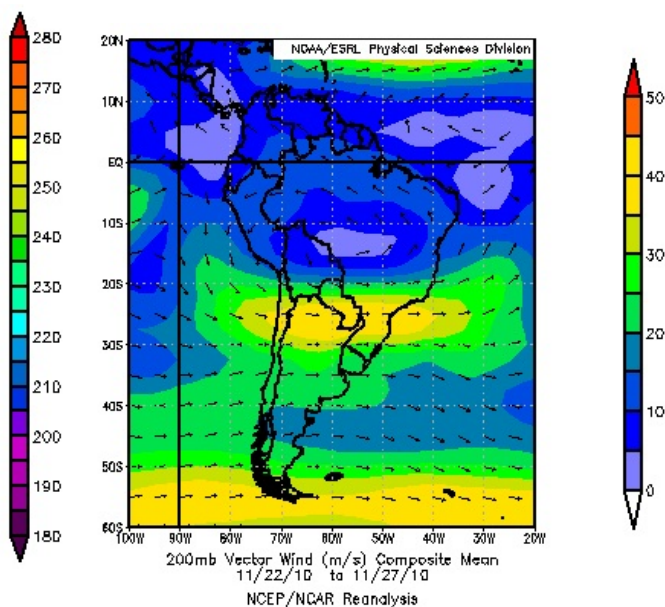


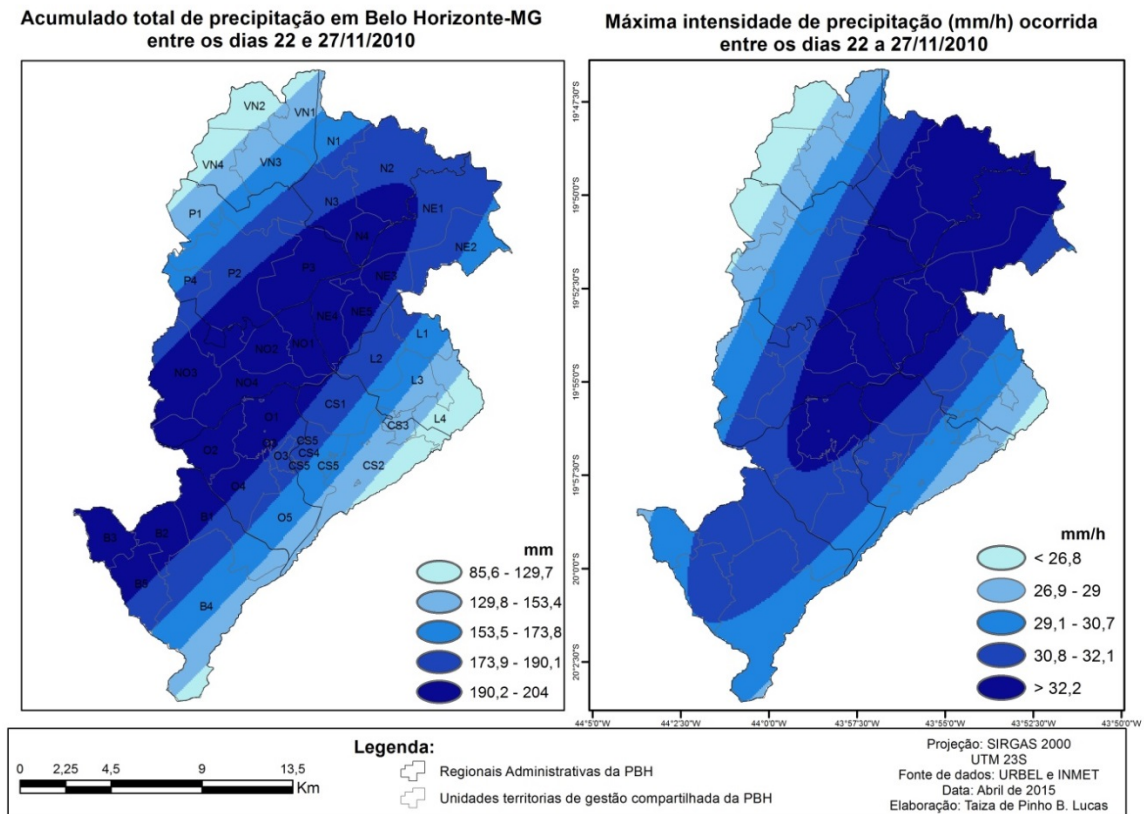
Figura 55 - Campo médio do vento em 200 hPa entre os dias 22 e 27/11/2010.



Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>. Acesso dia 02/05/2013.

Essas características geraram o comportamento observado em baixos níveis, como altos acumulados de chuvas, por 6 dias seguidos, de maior intensidade no início de sua atuação, com ventos oriundos de N/NW, de onde se originou o escoamento nas escalas superiores e repercutiram nas espacialidades representadas na figura 56, que apesar dos baixos valores de CV, demonstrados pelas variáveis V5 e V6, na Tabela 15, se distribuíram conforme a trajetória dos núcleos convectivos, paralela a Serra, no lado continental, assim como as espacializações dos demais eventos de ZCAS do mês de novembro de 2010, que desencadeou as significativas anomalias positivas da respectiva primavera e determinou a espacialização do total mensal, representado na figura 34. Essas espacialidades foram determinadas pelo maior acumulado diário do mês de novembro de 2010, registrado no dia 23, representado no gráfico 18 (APÊNDICE C), devido às chuvas fortes e muito fortes ocorridas entre 01 e 08 UTC, como esta espacialidade das máximas intensidades registradas nos respectivos postos, às 02:00 UTC. Elas foram oriundas de núcleos convectivos de topos de  $-70^{\circ}\text{C}$  à NW da RMBH e  $-40^{\circ}\text{C}$  à SW, como demonstra a sequência de imagens de satélite GOES – 12 IR realçada, a partir de 23 UTC do dia 22, figuras 57 e 58. A imagem de 02 UTC, figura 58, apresenta um formato de arco convectivo que abarcou o município de Belo Horizonte nas direções SW/W/NW/N/NE. Em baixos níveis, na escala local, os ventos foram W/NW, no horário de máxima intensidade, assim como na escala diária, como também representado gráfico 18 (APÊNDICE C).

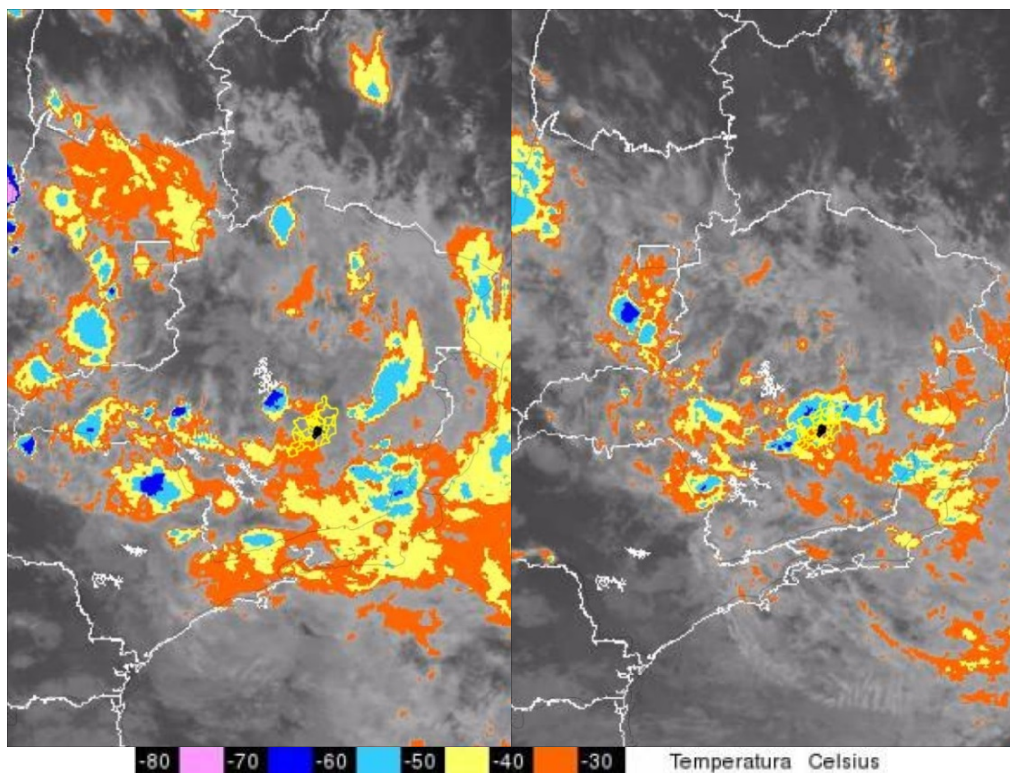
Figura 56 – Acumulado total de chuva ocorrida entre os dias 22 e 27/11/2010 e da máxima intensidade registrada as 02 UTC, dia 23/11/2010.



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

Figura 57 - Imagem de Satélite GOÉS 12 IR Realçada do dia 22/11/2011 às 23 UTC.

Figura 58 - Imagem de Satélite GOES 12 IR Realçada do dia 23/11/2011 às 02 UTC



Fonte: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic>. Acesso dia 30/04/2013.

#### 5.4.2.2 Grupo 2: As chuvas localizadas e de curta duração

O grupo 2 é composto por 16 eventos de chuvas, sendo: os três eventos de CPF, o único de ASAS, assim como um de ZCAS e um de ZCOU, dois de LIP, três de LI e cinco de FF. A Tabela 16 apresenta as médias e os valores máximos e mínimos das variáveis utilizadas na AF, entre os eventos desse grupo. Observa-se que em média são sistemas que atuaram por 1,4 dias, ocasionaram chuvas com duração média de 1,8 horas, as diferenças entre os valores máximos e mínimos entre V3 e V4, V7 e V9, V10 e V12 mostram que elas ocorreram concentradas, o que se verifica pelos altos valores de V5 e V6, já que o agrupamento foi dado pelas cargas fatoriais do inverso dessas variáveis. Os valores mínimos de V5 e V6 são maiores que os máximos das respectivas variáveis do grupo 1, apresentado na Tabela 14, assim como a média de V17 é menor que do primeiro grupo. Os ventos são predominantemente do quadrante E/SE e o número de impactos hidrológicos ocasionados por essas chuvas totalizaram 19 registros.

Tabela 16 – Medidas de tendência central de variáveis do grupo 2

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V17	V21	V22	V23	V24
Méd	1,4	1,8	3,9	0,4	149,6	144,5	20,1	4,2	0,1	11,8	2,8	0,1	68,6	135	90	90	19
Máx	4,0	5,8	10,0	2,0	293,1	268,4	54,4	10,3	1,0	28,4	6,7	0,6	81,2				
Mín	1,0	0,5	2,0	0,0	93,0	77,8	1,8	0,5	0,0	1,8	0,5	0,0	54,8				

Nota: V21, V22 e V3 foram calculados pela moda. V24 corresponde ao somatório.

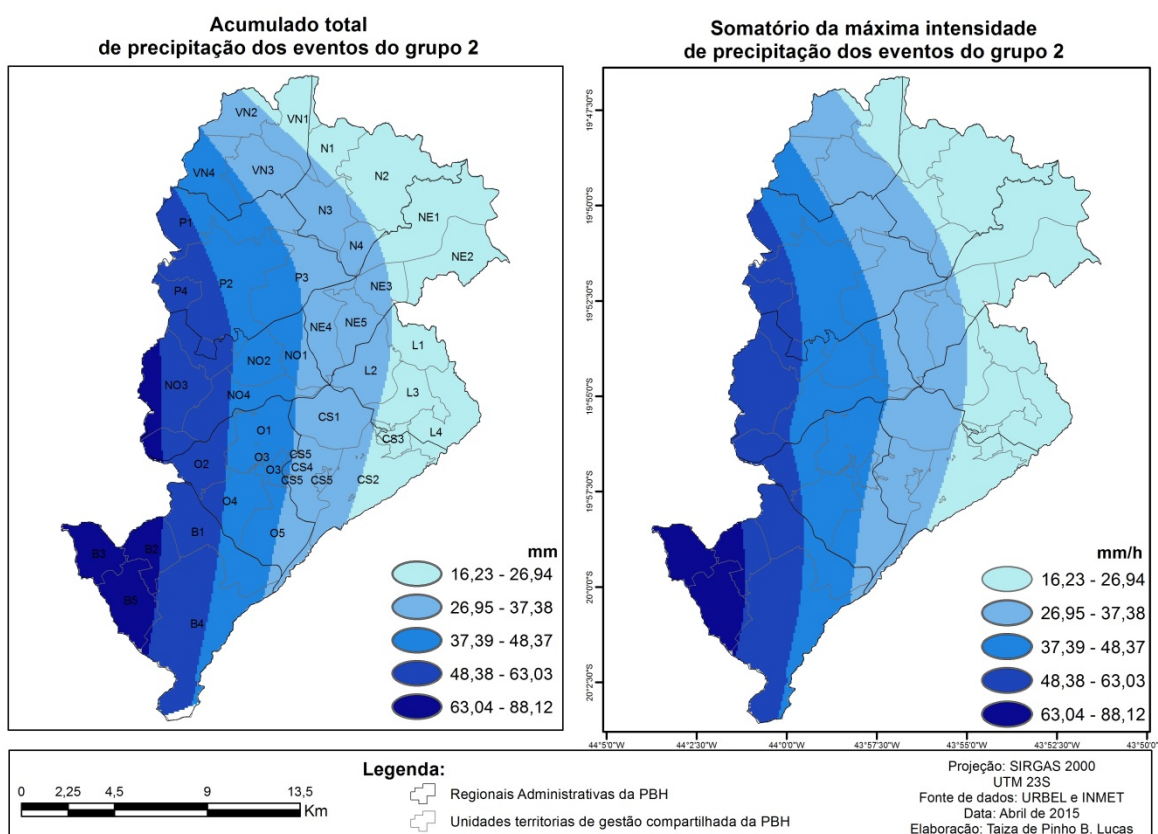
Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

O somatório de V8 de todos os eventos desse grupo correspondeu a 67,3 mm, um total de 2,1% do acumulado nos 72 eventos de chuvas, na primeira estação essas chuvas acarretaram 1,8% e, na segunda, 2,3%. Em relação ao total de chuvas originadas pelos sistemas do grupo 2, aquelas oriundas de CPF acarretaram 12,6%, o ASAS contribuiu com 4%, as chuvas de FF acumularam 18,1%, as de LI, 24%, LIP, 16,4%, as chuvas ocasionadas pelo evento de ZCOU acarretaram 15,1% e o evento de ZCAS contribuiu com 9,8%. Esse evento de ZCAS corresponde aquele ocorrido em fevereiro de 2012, cujas características já foram mencionadas.

Em relação a V10, verifica-se que em média a intensidade máxima do evento foi 11,8 mm/h, como apresentado na Tabela 16. Pelo valor máximo dessa variável, nota-se que não houve ocorrência de chuvas muito fortes associadas aos eventos desse grupo. As chuvas fortes foram registradas somente em um evento de FF, um de LI e um de ZCOU, o primeiro ocasionou um local de registro de ocorrência de impacto, o segundo doze, e o terceiro dois, do total de 19 apresentadas na Tabela 16. Dos demais quatro registros, três foram desencadeados por chuvas moderadas e um por chuva fraca, ocasionado por uma LIP.

A figura 59 apresenta as espacialidades, tanto do acumulado de chuvas como do somatório das máximas intensidades registradas em cada evento. Verifica-se uma variabilidade meridional, em que as chuvas são mais concentradas na porção ocidental e diminuem na direção oriental do município. Devido as suas características, chuvas rápidas e localizadas, verifica-se forte similaridade espacial entre o acumulado total dos eventos e o somatório de máxima intensidade, nota-se que esses maiores valores ocorreram nas Unidades B3, B5, B2 e extremo oeste da NO3 e os menores acumulados ocorreram nas Unidades do extremo norte, nordeste e leste.

Figura 59 – Somatório do acumulado total e da máxima intensidade dos eventos de precipitação identificados no grupo 2



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

A Tabela 17 mostra que o evento 51, advindo de uma LI no dia 12 de dezembro de 2011, e o 27, oriundo de uma FF, entre os dias 31 e 02 de fevereiro de 2011, foram os que ocasionaram os maiores valores de V7, nota-se que os valores de V8 são baixos, em função dessas características pontuais de tais chuvas, identificadas pelos altos valores de V5 e V6, assim como os valores próximos de zero nas variáveis V4, V9 e V12. Os ventos foram predominantemente de NE/E/SE, particularmente SE na Pampulha, E no Rola Moça e E no

5° Distrito. Ainda nota-se que o evento 51 se diferencia dos demais pela quantidade de registros de ocorrências de impactos.

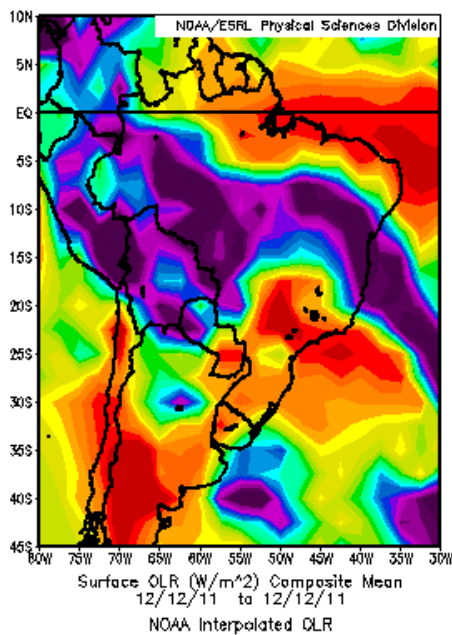
Tabela 17 – Dados de variáveis quantitativas dos eventos do grupo 2

		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V21	V22	V23	V24
8	LIP	1	4	5	2,0	93,0	77,8	30,8	10,3	1,0	13,4	5,8	0,6	45	180	45	1
14	FF	2	1	2	0,0	132,7	130,7	2,2	0,6	0,0	2,2	0,6	0,0	135	90	45	0
22	CPF	1	1	3	0,0	148,4	143,1	21,2	4,5	0,0	14,4	3,5	0,0	135	90	45	0
27	FF	1	1	5	0,0	293,1	268,4	50,6	5,2	0,0	24,8	2,8	0,0	135	90	90	1
30	CPF	1	1	3	0,0	157,8	152,6	10,8	2,3	0,0	6,8	1,7	0,0	90	135	135	0
32	CPF	1	1	2	0,0	156,3	165,1	9,0	1,7	0,0	8,4	1,5	0,0	90	90	90	0
35	LIP	1	1	3	0,0	192,7	169,4	4,4	0,8	0,0	2,2	0,5	0,0	45	135	90	1
36	FF	1	1	2	0,0	139,8	136,7	5,2	1,4	0,0	3,8	1,1	0,0	90	135	90	0
42	LI	1	1	2	0,0	105,0	103,9	8,4	2,5	0,0	8,4	2,2	0,0	135	135	90	0
44	FF	2	4	10	0,0	148,9	137,5	21,6	4,5	0,0	9,0	2,2	0,0	135	135	90	0
51	LI	1	2	4	0,0	155,5	128,7	54,4	9,9	0,0	28,4	6,7	0,0	135	90	45	12
54	ZCOU	2	3	4	1,0	136,3	119,8	48,4	10,2	0,2	24,4	6,5	0,2	135	90	90	2
56	ASAS	1	1	2	1,0	98,9	100,7	7,4	2,7	0,2	6,6	2,4	0,2	90	90	90	0
60	ZCAS	4	6	9	2,0	113,5	154,2	24,2	6,6	0,4	17,4	3,8	0,2	90	90	90	2
62	LI	1	1	3	0,0	186,1	189,9	21,8	3,7	0,0	16,0	2,6	0,0	90	90	45	0

Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

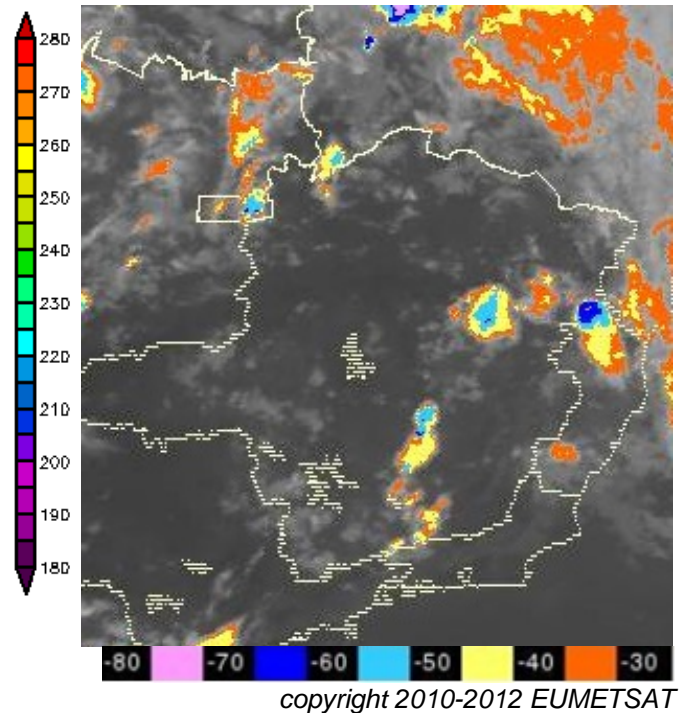
O evento 51 foi registrado entre 20 e 23 UTC, no P8 (V3), o máximo acumulado (V7) foi registrado no P5, em duas horas, onde também foi registrado o valor de V10, o maior da Tabela 17, e repercutiu nos maiores valores de V5 e V6 do mês de ocorrência da respectiva chuva, descrito na síntese mensal do mês de dezembro de 2011 (APÊNDICE C), devido à sua ocorrência pontual. A classificação desse tipo de chuva só é possível ao escalonar as características de escoamento atmosférico entre as escalas local à zonal, pois na larga-escala havia o predomínio de uma ZC, que atuava no eixo PA-BA, como pode ser verificado na figura 60, através dos valores de ROL, em 200 hPa. Observa-se, também, que entre as coordenadas de 15° e 20°S e 45° e 50°W houve predomínio de altos valores de ROL associado à retaguarda da ZC, o que não impediu a formação de nuvens convectivas sobre a região centro-norte de MG, afetando a capital mineira. A sequência de imagens de satélite, entre 20 e 23 UTC, permitiu identificar a formação das nuvens Cb, de topos frios, entre -40°C e -70°C, em linha, no sentido S-SW – N-NE, na região centro-nordeste de MG. A figura 61, imagem de satélite IR METEOSAT Canal SPW 10.8, do dia 12, as 21:15 UTC, mostra o núcleo convectivo de topo de -50 a -40°C sobre a RMBH.

Figura 60 – Média diária de ROL em 200 hPa para o dia 12/12/2011.



Fonte:  
<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>. Acesso dia 10/04/2015.

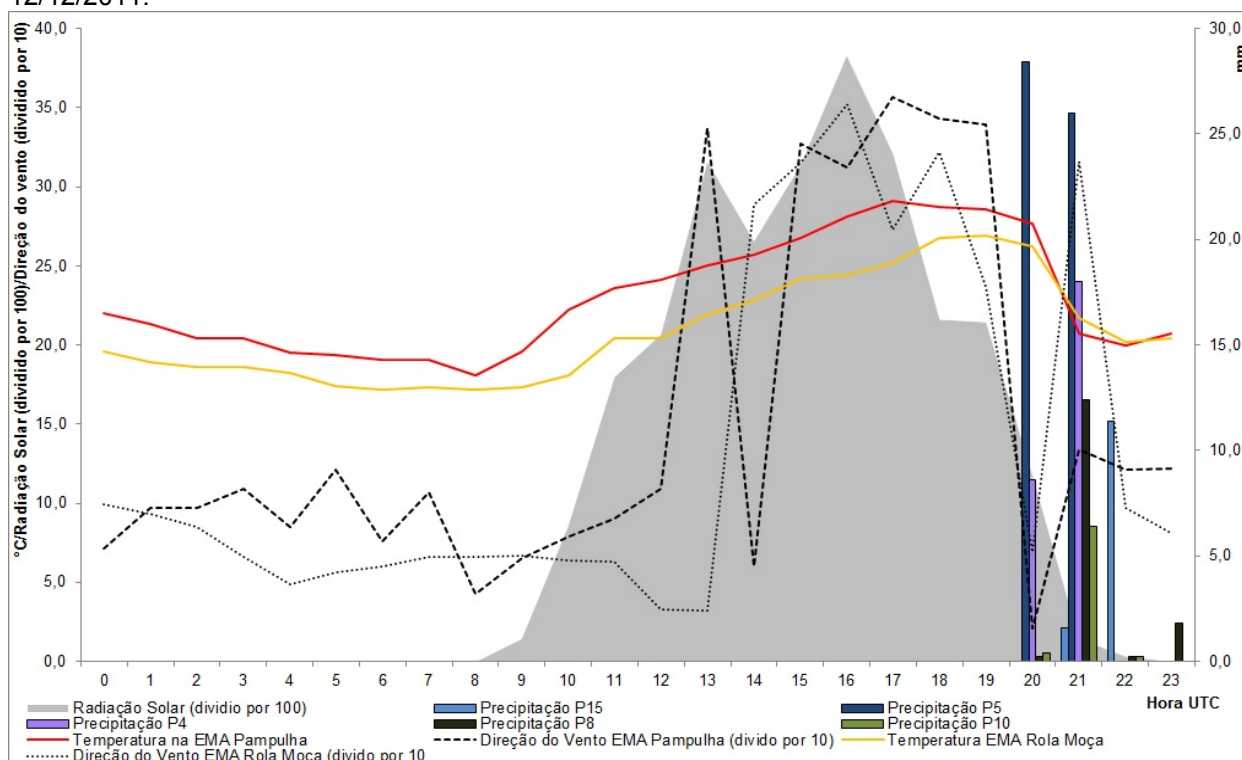
Figura 61 - Imagem de Satélite IR Realçada METEOSAT Canal SPW 10.8 do dia 12/12/2011 às 21:15 UTC.



Fonte:  
[http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/meteosat\\_formulario.logic](http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/meteosat_formulario.logic). Acesso dia 10/04/2015.

O gráfico 15 representa a direção horária do vento nas EMA's do INMET, assim como a temperatura, a radiação solar difusa registrada próximo à superfície, na EMA da Pampulha, e a precipitação acumulada, a cada hora, nos postos de maiores registros de precipitação. Verifica-se que ao longo do dia houve aumento de temperatura, em função da grande quantidade de radiação solar à superfície, típico de um dia de verão, em que o máximo foi registrado as 16 UTC. Observa-se que a partir das 13 UTC houve mudança no escoamento do vento, primeiramente na EMA da Pampulha, seguida da EMA Rola Moça, onde não houve registro pluviométrico. Verificou-se na Tabela 17 que os ventos predominaram de SE e E, particularmente devido à frequência entre 0 e 12 UTC, como se observa no gráfico 15. Assim como esse evento 51, outros oriundos de LI apresentaram direção predominante diária dos ventos de E/SE, como se nota na Tabela 24 (APÊNDICE B), pelos valores mínimos e medianas das variáveis V21, V22 e V23, que permite verificar que pelo menos 50% dos eventos de LI apresentaram direção predominante diária dos ventos dessa direção. A natureza desses eventos, associada à pontualidade têmporo-espacial das chuvas decorrentes, somente permitem identificar, na escala local, o escoamento desse sistema, oriundos do interior do continente, na escala horária.

Gráfico 15 – Registro horário de temperatura, radiação solar, direção do vento e precipitação do dia 12/12/2011.



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

A sequência do registro horário da chuva, observado no gráfico 15, e a respectiva espacialidade foi verificada pelo surgimento, crescimento, maturação e desaparecimento do núcleo convectivo a partir da observação da sequência de imagens de satélite. A sua formação foi identificada às 20 UTC, devido ao alinhamento de nuvens entre o centro-nordeste de MG, como mostra a figura 62. A fase de crescimento foi identificada na imagem de 20:45, figura 63, o que gerou chuvas fortes nos postos P4 e P5 devido ao núcleo convectivo de topo de  $-70^{\circ}\text{C}$ . Aquela da maturação foi identificada no horário de 21:15, figura 61, observada pelo tamanho e temperatura topo da nuvem de  $-50^{\circ}$  a  $-40^{\circ}\text{C}$ , em direção ao norte, o que gerou as chuvas na próxima hora nos postos: P8, P15 e P10, já de menor intensidade. Os 12 registros de ocorrências de impactos também seguiram o ritmo têmico-espacial das chuvas, elas iniciaram às 20:27 na Regional Oeste, bairro Prado, onde foram registradas 9 ocorrências e seguiu-se sentido norte, para Regional Venda Nova, a última ocorrência do dia foi às 23:29, na Vila Apolônia, localizada na Unidade VN4.

Figura 62 - Imagem de Satélite IR Realçada  
METEOSAT Canal SPW 10.8 do dia  
12/12/2011 às 20 UTC.

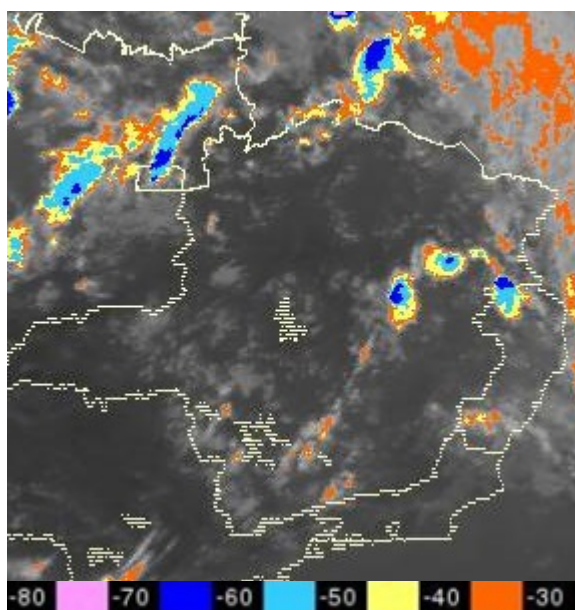
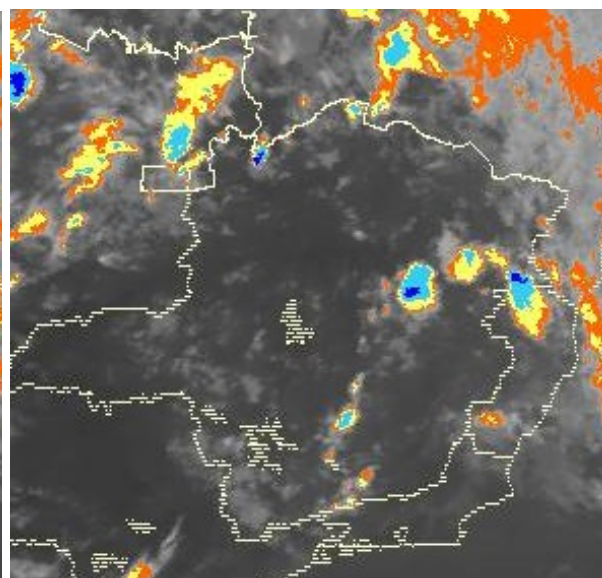


Figura 63 - Imagem de Satélite IR Realçada  
METEOSAT Canal SPW 10.8 do dia  
12/12/2011 às 20:45 UTC.

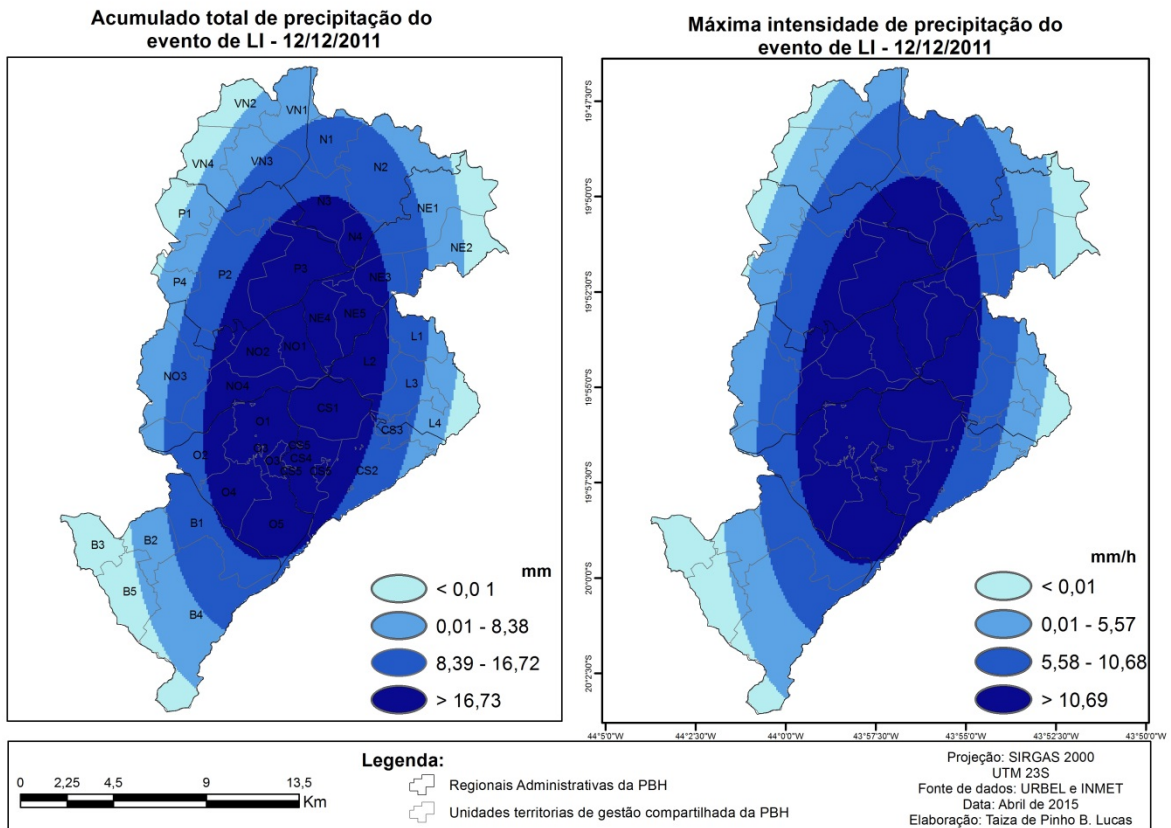


copyright 2010-2012 EUMETSAT

Fonte: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/meteosat.formulario.logic>. Acesso dia 10/04/2015.

A figura 64 apresenta a espacialização, tanto do acumulado, como da máxima intensidade, desse evento de chuva ocasionada pelas LI. Verifica-se forte similaridade espacial entre as duas espacializações, já que as chuvas foram bastante concentradas temporalmente, nota-se que o polígono de máxima intensidade, assim como maior acumulado foi configurado pelo registro nos postos P4, P5, P8 e P15. Verifica-se que essa centralidade é uma resposta ao máximo aquecimento diário da superfície, nas áreas de maior adensamento de população, como observado na figura 7, e maior percentual de uso do solo, como pode ser interpretado nas figuras 8 e 9, onde se encontra a grande malha de córregos impermeabilizados e retinizados da capital (FIGURA 14). Ressalta-se que a formação da nuvem convectiva, Cb, foi condicionada pelo escoamento atmosférico na escala regional, alinhada as nuvens de maior dimensão espacial, na porção nordeste de MG, que em baixos níveis desencadeou chuvas locais na mesma orientação do sistema na escala regional.

Figura 64 – Acumulado total de chuva ocorrida dia 12/12/2011 e de máxima intensidade registrada as 21 UTC



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

#### 5.4.2.3 Grupo 3: as chuvas de fraca intensidade

O grupo 3 é composto de 9 eventos de chuvas, sendo: um de FQ, dois eventos de FF, dois de LI, assim como dois de LIP e dois de ZCOU. A Tabela 18 apresenta a média e os valores máximos e mínimos das variáveis utilizadas na AF. Verifica-se que são eventos com duração média de 1,9 dias, com registro médio de chuvas por 8,4 horas, com média de V5 e V6 correspondente a 51,3% de variabilidade da média acumulada e 53,2% da máxima intensidade, maiores que do primeiro grupo, verificado pelos valores mínimos, e menores que do segundo, como pode ser observado pelos valores máximos, ao comparar às Tabelas 14 e 16. O agrupamento caracteriza-se pela maior média no fator 2 e menor no fator 4, ou seja, os menores valores se encontram nas variáveis V10, V11 e V12. A partir da Tabela 18 verifica-se que são chuvas em média de fraca intensidade, observado pelos valores médios e máximos de V11, a partir do valor máximo de V10 verifica-se que a máxima intensidade categorizou-se como chuva moderada, o que pelo somatório de registro de impactos, V24, ocasionou 9 ocorrências.

Tabela 18 – Medidas de tendência central de variáveis do grupo 3

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V17	V21	V22	V23	V24
Méd	1,9	8,4	10,7	6,7	51,3	53,2	19,3	11,4	6,8	7,4	3,4	1,3	75,1	135	90	90	9,0
Máx	4,0	46,5	50,0	44,0	93,1	93,1	71,2	49,1	37,2	15,2	7,2	3,4	86,9				
Min	1,0	1,3	2,0	0,0	12,0	13,3	1,6	1,2	0,0	1,2	0,8	0,0	67,7				

Nota: V21, V22 e V3 foram calculados pela moda. V24 corresponde ao somatório.

Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

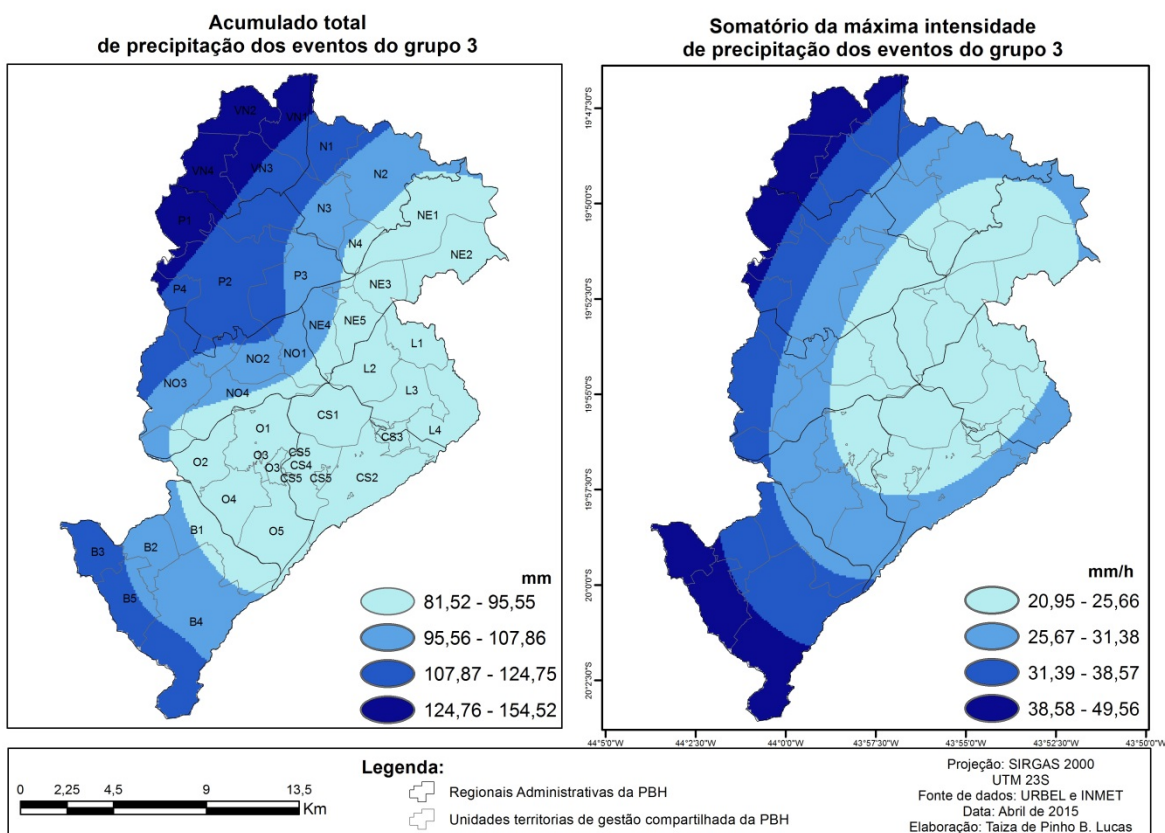
Dos 9 eventos, quatro ocorreram nos meses de outubro, um de LIP e outro de FF que ocasionou chuvas em outubro de 2010, já em outubro de 2011 foram dois eventos: um de ZCOU, o primeiro da estação, e um de FQ. As chuvas oriundas de LI em novembro de 2010 foi o único evento do mês novembro identificado nesse grupo 3. Em dezembro de 2010, verificou-se o primeiro evento de ZCOU, e em dezembro de 2011, um evento de LIP. Em fevereiro de 2012, o evento de LIP e abril de 2012, o último evento de FF da temporada.

Em relação ao somatório de V8, essas chuvas acumularam um total de 102,75 mm, o que correspondeu a 3,19% do total médio acumulado em todos os eventos, sendo que para a primeira estação correspondeu a 1,96% do total da mesma e 4,30% da segunda. As chuvas oriundas de LI e LIP contribuíram com 2,5% e 5,4% do somatório total de V8 dos eventos do grupo 3, as FF acarretaram 10,2%, já as chuvas FQ foram a que mais desencadearam maior acumulado médio, 47,8%, e as chuvas de ZCOU contribuíram com 34,0%.

Em relação à intensidade máxima da chuva, sete eventos apresentaram máxima intensidade categorizadas como fracas e dois eventos apresentaram chuvas moderadas, que acarretaram 8 locais de registros de ocorrência de impactos hidrológicos. Um desses eventos foi a LIP, em dezembro de 2011, V10 de 10,6 mm/h registrado no P15, que desencadeou duas ocorrências de alagamentos e, outro, o evento de ZCOU, em dezembro de 2010, V10 de 15,2 mm/h no P16, que ocasionou 6 locais de registros, que totalizaram 27 ocorrências de enchentes e/ou inundações.

A espacialização do acumulado total dos eventos do grupo 3, figura 65, mostra que as chuvas foram mais concentradas na porção NW de Belo Horizonte e diminuíram na direção NE-SE, verifica-se que as unidades VN1, VN2, VN4 e P1 são as que concentram grande parte do acumulado, já as P4, P2, VN3, N1 e parte de N3 encontram-se na segunda classe de maiores acumulados, assim como o extremo SW e S, nas unidades B3, B5 e extremo sul de B4. A espacialização do somatório de máxima intensidade também apresenta mesmo padrão espacial, e permite observar que a área centro-nordeste é onde se concentra a menor intensidade desses tipos de chuvas.

Figura 65 – Somatório do acumulado total e da máxima intensidade dos eventos de precipitação identificados no grupo 3



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

A Tabela 19 apresenta os respectivos valores das variáveis utilizadas na AF que constituíram o grupo 3. Verifica-se que esse padrão espacial da figura 65 foi dado pelos eventos: 19, 37 e 40, os demais apresentaram baixos valores, tanto da média acumulada, como da máxima intensidade. Entre os três eventos, verifica-se que a FQ contribuiu muito com o acumulado médio, mas não com a intensidade, a máxima foi 7,5 mm/h, no P15, esse evento ocasionou chuvas contínuas de fraca intensidade e de forma homogênea em todo município, como pode ser observado pelos baixos valores de V5 e V6. O evento 19, caracterizado como ZCOU, foi o evento que mais contribuiu para a espacialização da máxima intensidade e o que ocasionou o maior número de registros de ocorrência do grupo.

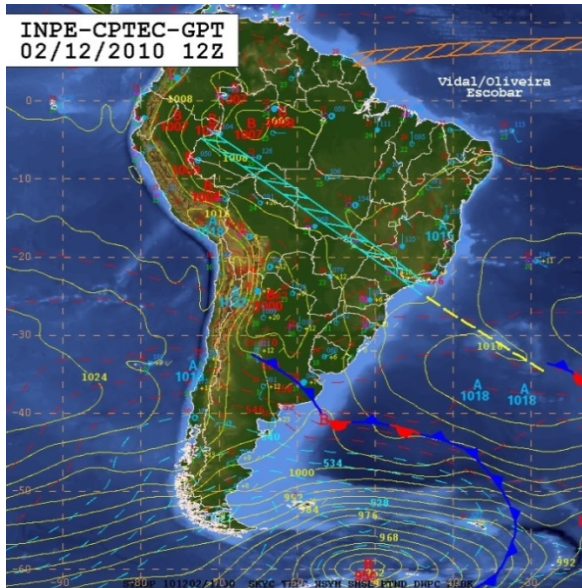
Tabela 19 – Dados de variáveis quantitativas dos eventos do grupo 3

		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V17	V21	V22	V23	V24
4	LIP	1	2	4	1	18,3	24,7	1,6	1,2	1,0	1,2	0,8	0,6	78,1	135	90	90	0
9	FF	1	3	7	1	59,0	55,9	14,0	5,9	1,4	9,6	4,3	0,8	74,3	90	90	315	0
17	LI	1	2	4	1	76,3	79,0	3,6	1,4	0,2	2,8	0,9	0,2	68,3	135	90	225	0
19	ZCOU	2	8	10	6	40,2	43,7	36,8	20,5	9,8	15,2	7,2	3,2	76,0	90	90	315	6
37	ZCOU	4	9	11	7	15,9	13,3	19,4	14,5	11,4	5,2	4,2	3,4	78,0	135	135	90	0
40	FQ	3	46	50	44	12,0	16,1	71,2	49,1	37,2	7,2	4,8	3,4	86,9	135	90	90	1
52	LIP	1	2	4	0	78,6	83,6	10,6	4,4	0,0	10,6	3,3	0,0	77,3	135	90	90	2
61	LI	1	1	2	0	68,5	69,7	5,4	1,2	0,0	5,4	1,1	0,0	67,7	135	90	90	0
72	FF	3	2	4	0	93,1	93,1	11,4	4,6	0,0	9,8	3,8	0,0	69,7	135	180	180	0

Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

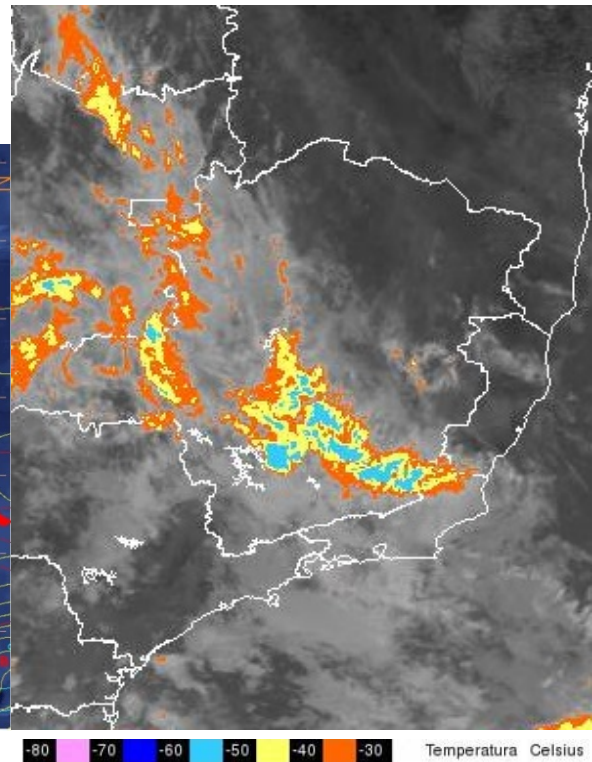
Esse evento de chuva, ocorrido entre os dias 01 e 02 de dezembro de 2010, foi desencadeado pela atuação de uma ZC que se configurou como as características descritas por Pallotta e Nakazato (2010) para um evento típico de ZCOU. Segundo o Climanálise (2010c), a ZC que atuou no período não atendeu a todos os critérios que definem a formação da ZCAS, o boletim ainda ressaltou o seu posicionamento sobre o centro-sul de MG, o que se verifica na carta sinótica de 12 UTC, figura 66, horário de máxima intensidade registrada em todos os postos representados na figura 4. A figura 67 mostra que sobre a RMBH houve ocorrência de nuvens de topos mais frios, de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $-50^{\circ}\text{C}$ , o que acarretou na maior intensidade no P16, e de topos mais quentes ao norte da cidade que caracterizaram chuvas mais fracas.

Figura 66 - Carta Sinótica do dia 02/12/2010 às 12 UTC.



Fonte: <http://tempo.cptec.inpe.br/>  
 Acesso: 05/01/2011.

Figura 67 - Imagem de Satélite GOES 12 IR Realçada do dia 02/12/2010 às 12 UTC.



Fonte: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic>  
 Acesso dia 08/04/2013

As figuras 68 e 69 representam a média, entre os dias 01 e 02, do escoamento do vento, em 850 hPa, dada pelos campos meridional e zonal. Verifica-se na figura 68 a desconfiguração do JBN, um bem marcado para o extremo sul do Brasil e outro para o SB.

Figura 68 - Campo médio do vento meridional em 850hPa para os dias 01 e 02/12/2010.

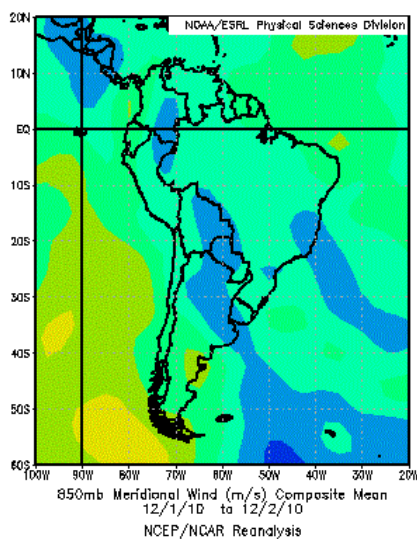
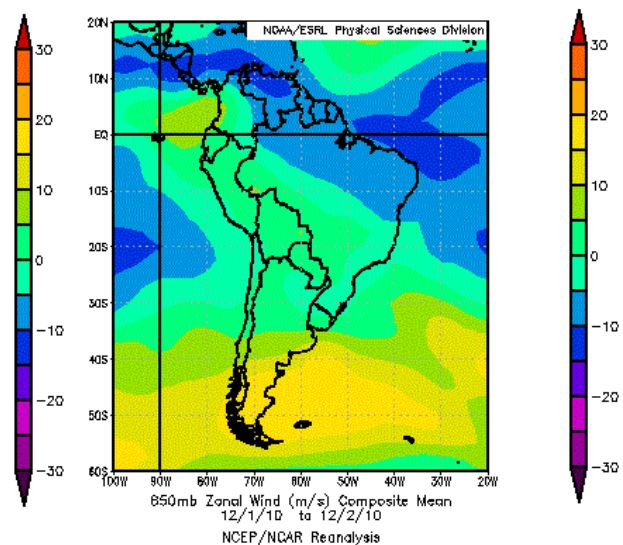


Figura 69 - Campo médio do vento zonal em 850hPa para os dias 01 e 02/12/2010.



Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>. Acesso dia 02/05/2013.

A figura 70 apresenta a média de ROL, em 200 hPa, entre os dias de atuação do sistema sobre a capital mineira. Verifica-se a presença do eixo de nebulosidade entre o NW da Amazônia e SW do Oceano Atlântico bem marcado, porém mais estreita sobre o SB que as verificadas em eventos de ZCAS, como representada na figura 54, e as manchas que representam os valores menores de  $200 \text{ W/m}^2$  mais descontínuas ao longo desse eixo de convergência. A partir da figura 71 nota-se a atuação da AB, centrada a leste da Bolívia, o JS ao norte de  $30^\circ\text{S}$ , ou seja, em altos níveis o escoamento típico de ZC.

Figura 70 - Média de ROL em 250 hPa para os dias 01 e 02/12/2010.

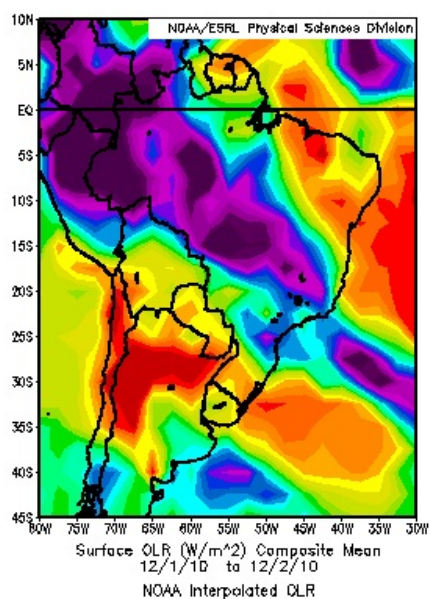
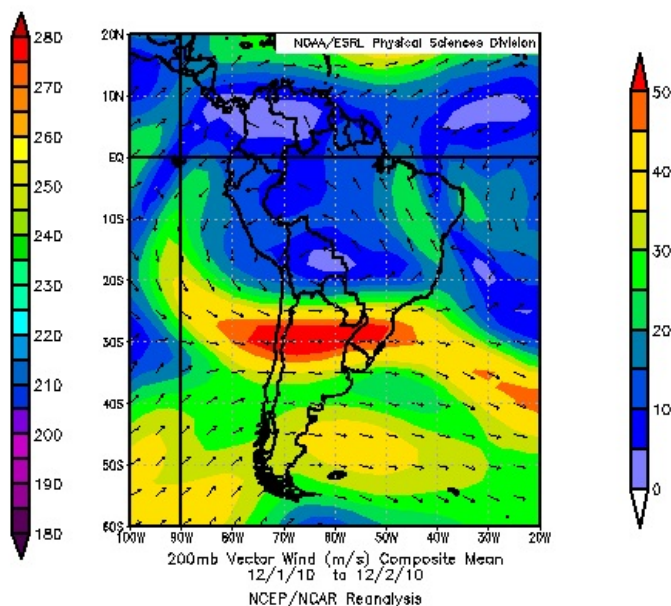


Figura 71 - Campo médio do vetor vento em 250hPa para os dias 01 e 02/12/2010.



Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>. Acesso dia 02/05/2013.

O campo de ômega em 500 hPa, figura 72, mostra a faixa de movimento ascendente do ar, de menor intensidade que a verificada na figura 52, devido aos maiores valores, assim como outras áreas de movimento ascendente associada à atuação de SF na Argentina e a saída do JBN, na região da BC. A figura 73 representa a umidade específica, em 300 hPa, média entre os dias do evento, verifica-se que ela não é contínua e apresenta maiores valores na região noroeste da AS, em que os valores de ROL são menores, como representado na figura 70. Ao compará-las, nota-se que elas não atuam em fase, como identificado por Pallotta e Nakazato (2010) para eventos típicos de ZCOU.

Figura 72 - Campo médio de ômega em 500hPa para os dias 01 e 02/12/2010.

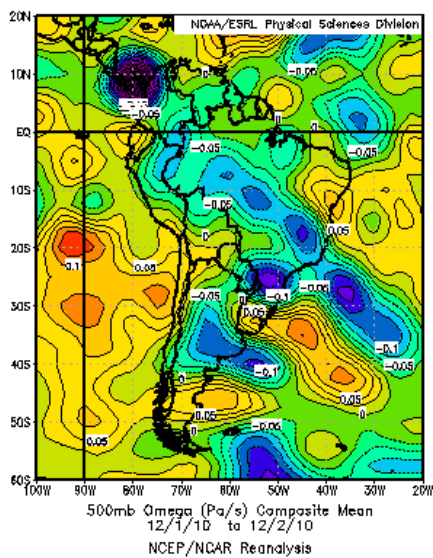
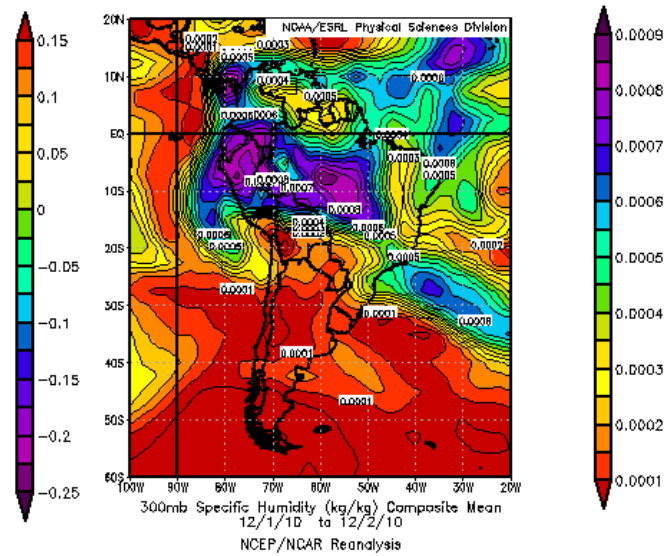


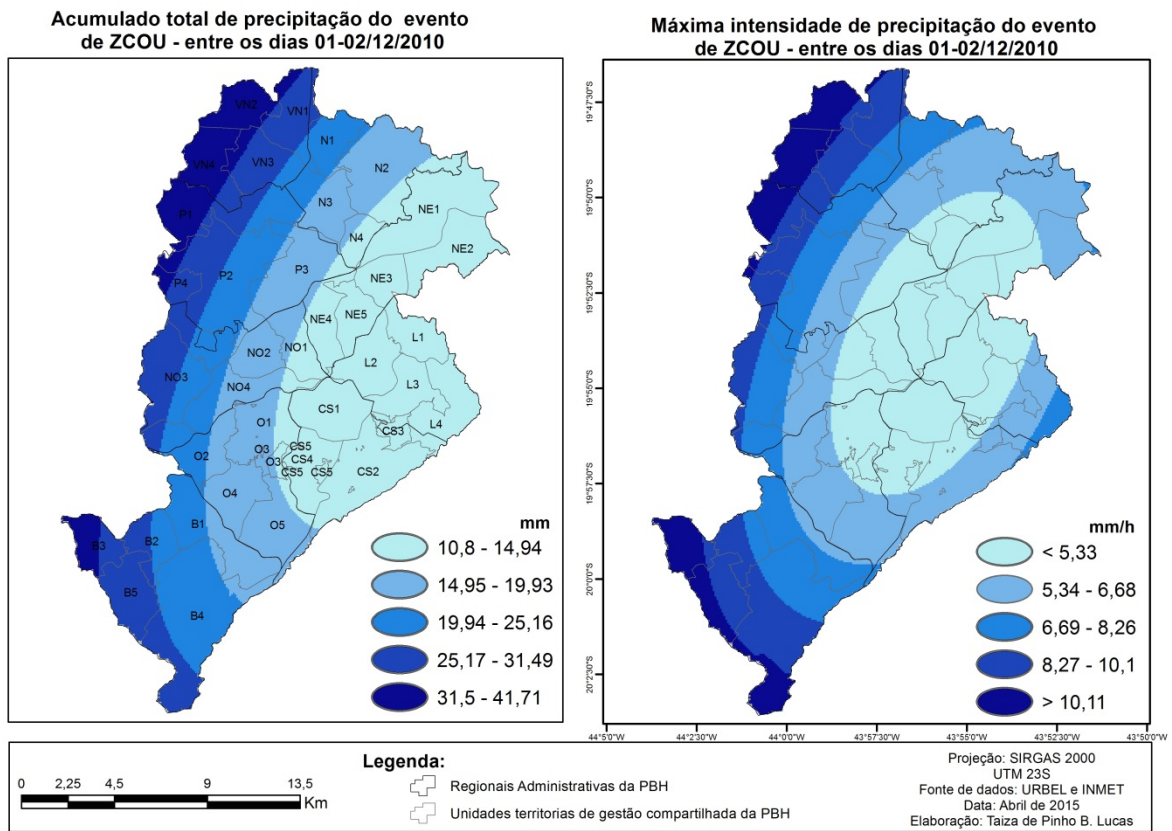
Figura 73 - Campo médio de umidade específica em 300hPa para os dias 01 e 02/12/2010.



Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>. Acesso dia 02/05/2013.

A figura 74 representa a espacialidade do total acumulado de precipitação ocasionado por esse evento de ZCOU, como da máxima intensidade em Belo Horizonte. Verifica-se que na escala local a distribuição da precipitação segue a orientação da banda de nebulosidade, na escala regional, como observado na figura 67. Nota-se ainda que elas se configuraram como representado na figura 65, já que foi um dos eventos que mais contribuiu para tal espacialidade.

Figura 74 – Acumulado total de chuva ocorrida entre os dias 01e 02/12/2010 e a máxima intensidade registrada as 12 UTC, do dia 02/12/2010.



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFGM.

#### 5.4.2.4 Grupo 4: as chuvas de forte e muito forte intensidade

O grupo 4 é composto por 22 eventos de tipos de chuvas, a partir da Tabela 13 verificou-se que a maior média desse grupo ocorreu associado ao fator 4, que corresponde aquele melhor correlacionado as variáveis V10, V11 e V12 e a menor média relacionada ao fator 3, associado as variáveis V21, V22 e V23. A Tabela 20 apresenta a média e os valores máximos e mínimos das variáveis quantitativas, nota-se que em média foram eventos ocasionados por sistemas de duração de 2,6 dias (V1), com chuvas de registro por 9,2 horas (V2), com variabilidade média espacial de 56% do acumulado total (V5) e 66,1% da máxima intensidade (V6), pelos valores máximos nota-se que esses respectivos valores foram menores somente que os do grupo 2. Em relação a V10, a média da máxima intensidade corresponde a 31,2 mm/h, o valor máximo foi 53,0 mm/h e o mínimo 13,8 mm/h, as variáveis V21, V22 e V23 correspondem a ventos do quadrante SE na Pampulha, E no Rola Moça e E no 5º Distrito. O somatório de V24 totalizou 203 locais de registros de ocorrências, o maior de todos os grupos, já que se trata de chuvas com as maiores intensidades e maior número de eventos.

Tabela 20 – Medidas de tendência central de variáveis do grupo 4

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V17	V21	V22	V23	V24
Méd	2,6	9,2	13,4	6,6	56,0	66,1	58,5	32,3	13,8	31,2	13,8	4,0	72,5	135	90	90	203
Máx	7,0	25,9	60,0	21,0	91,0	105,8	163,0	121,4	87,6	53,0	28,1	18,4	83,9				
Min	1,0	2,0	3,0	1,0	16,9	27,8	22,8	11,7	0,2	13,8	6,5	0,2	59,2				

Nota: V21, V22 e V3 foram calculados pela moda. V24 corresponde ao somatório.

Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

Dos 22 eventos, 10 ocorreram na primeira estação e 12 na segunda. Na primeira, 50% concentraram na estação de primavera, a maioria deles no mês de novembro de 2010, também ocorreu um evento no mês de dezembro, um em fevereiro e um em março de 2011. Já na segunda, a maioria ocorreu no outono, metade deles no mês de março de 2012, também se observou um evento em outubro, dois em novembro de 2011 e um em janeiro e dois em fevereiro de 2012. Dez deles foram caracterizados pela atuação das FF's, quatro por LIP, dois por FQ, assim como dois por ZCOU, três por ZCAS e um por LI.

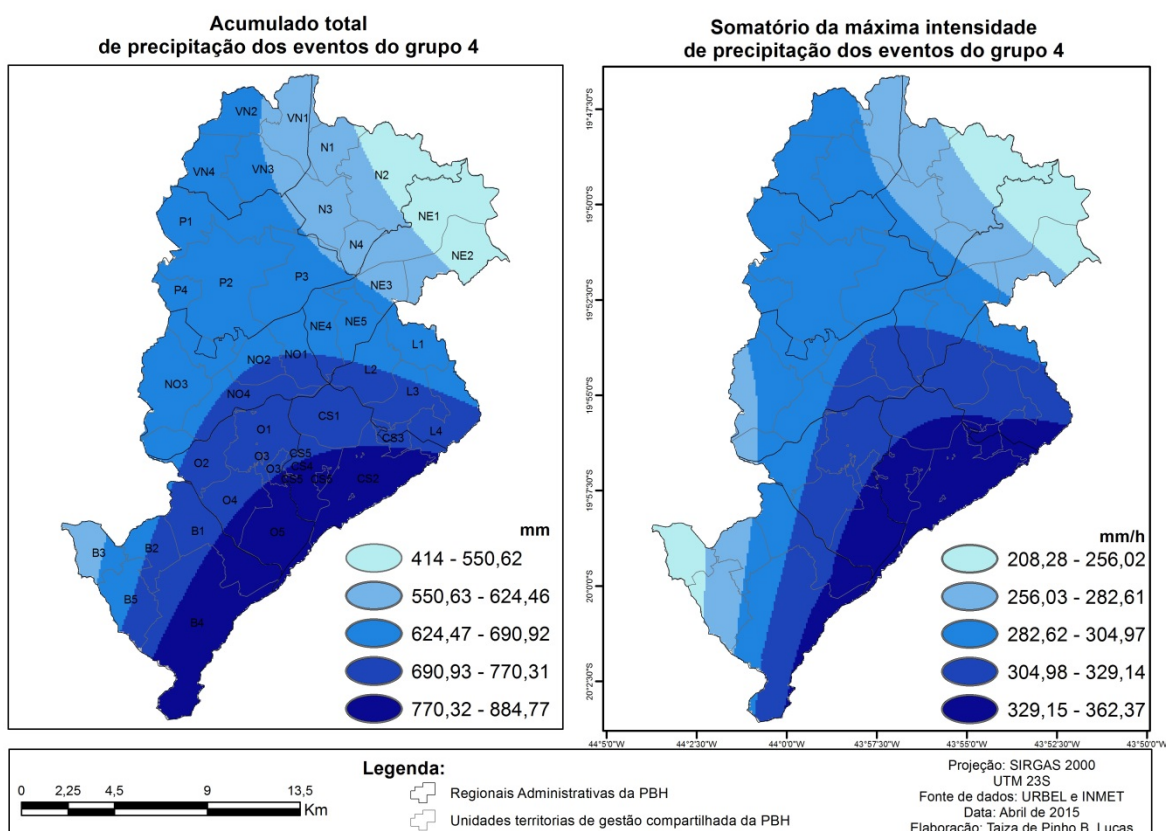
Em relação ao total de V8, os 22 eventos totalizaram 22,0% do acumulado médio de precipitação, sendo que corresponderam a 19,8% do total da primeira estação e 24,0% do total acumulado na segunda. Em relação ao somatório desse grupo 4, os eventos de FF totalizaram 40% do acumulado médio, seguido dos eventos de ZCAS, que totalizaram 33%, as chuvas oriundas de ZCOU 9,4%, as LIP 9,9%, as FQ 4,7% e as LI, 2,6%

Nesse grupo foram verificados 3 eventos de V10 classificado como chuva moderada, dois deles ocasionados por eventos de FF e um de LIP, o valor mínimo na Tabela 20. 10 eventos como chuvas fortes, sendo cinco de FF, dois de FQ, um de LIP, um ZCOU e um de ZCAS, e o restante, 9 eventos, como chuvas muito fortes, sendo quatro de FF, dois de ZCAS, dois de LIP e um de ZCOU. Do somatório de V10 por tipo de chuva, 48,3% deles foi registrado nas chuvas oriundas de FF, já as chuvas de ZCAS acarretaram 16,5%, as de LIP 15,2%, as de ZCOU 9,0%, as de FQ 6,6% e as chuvas de LI, 4,5%. Entretanto, em relação ao total de registros de ocorrências, 90 locais foram identificados nos eventos de ZCAS, 79 em eventos de FF, 22 em eventos de ZCOU, 8 no único eventos de LI e 4 no evento de FQ.

A figura 75 representa a espacialidade do total acumulado nos eventos desse respectivo grupo, como somatório das máximas intensidades, identificadas em cada evento. Verifica-se que os maiores acumulados de precipitação ocorreram ao longo da crista da Serra, particularmente, nas Unidades: B4, O5, CS5 e CS2. Nota-se forte similaridade entre as duas espacializações, mas a intensidade máxima tende a ser maior nas Unidades: O5, CS4, CS3, CS2, porção centro-sudeste da CS1, e extremo sul da L4. Ela se estende da área serrana

para as regiões onde se encontra o maior percentual de aproveitamento do solo, como pode ser inferido na figura 9. Observa-se que os menores acumulados, assim como ocorrência de chuvas menos intensas ocorreram no extremo nordeste, centro-leste das Unidades: NE1, NE2 e N2, assim como B3, no extremo sudoeste do município.

Figura 75 – Somatório do acumulado total e da máxima intensidade dos eventos de precipitação identificados no grupo 4



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

A Tabela 21 apresenta os valores de cada variável qualitativa, utilizada na AF, para cada tipo de chuva. Verifica-se que o padrão espacial da figura 75 foi dada pelo maior número de eventos de FF, apesar de que as chuvas com maiores valores de V8 foram os eventos 57, 21 e 65, devido ao maior número de dias de atuação dos respectivos eventos desencadeadores do total de precipitação. Entretanto, ao comparar o padrão espacial de cada evento ao padrão do acumulado total do grupo, representado na figura 75, verificou-se que ela representa aquela associada às chuvas de FF, devido ao maior número de casos nesse grupo. A espacialização do somatório de máxima intensidade desses eventos também foi dado pelos eventos de FF, já que neles ocorreram as chuvas mais intensas, como os eventos 68, 33 e 67.

Tabela 21 – Dados de variáveis quantitativas dos eventos do grupo 4

		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V21	V22	V23	V24
6	FF	3	10	11	8	27,5	33,8	46,0	30,2	20,0	14,4	7,7	5,2	135	90	90	1
7	ZCOU	3	6	7	4	33,5	42,1	34,8	23,6	13,4	22,2	13,5	5,2	135	135	45	7
11	LIP	1	4	6	3	56,2	57,6	22,8	12,6	3,4	13,8	7,3	2,6	135	90	45	0
13	FF	2	9	12	7	63,1	63,1	75,4	32,9	6,8	35,0	17,2	2,0	90	90	45	28
15	FQ	1	6	8	3	70,4	84,2	25,8	11,7	2,6	21,8	7,2	1,6	135	90	45	0
20	LIP	1	2	4	1	83,9	91,8	34,0	14,6	0,6	32,4	12,0	0,6	135	90	180	0
21	ZCOU	5	23	27	18	26,9	36,7	123,4	88,6	50,8	39,8	25,0	11,6	315	90	45	15
23	ZCAS	4	17	26	12	57,9	64,6	80,0	35,7	17,0	27,2	12,5	3,2	90	90	45	3
28	FF	4	9	11	4	40,0	67,4	44,4	26,0	11,0	26,2	9,4	3,8	135	135	90	11
33	FF	2	4	7	1	67,6	79,6	57,0	23,4	6,0	51,4	17,0	4,0	90	180	270	4
38	LI	1	3	3	2	49,7	58,3	31,6	17,0	3,2	30,8	15,1	2,8	90	90	45	8
46	FQ	2	6	9	4	62,4	66,3	42,2	19,1	3,2	23,2	10,5	1,2	90	90	90	0
49	FF	2	6	11	5	53,9	65,5	27,6	12,0	3,4	15,2	6,5	1,6	135	90	45	0
57	ZCAS	6	26	60	18	16,9	27,8	163,0	121,4	87,6	39,2	28,1	18,4	135	90	90	42
58	LIP	1	4	6	1	73,1	84,0	29,2	13,2	0,2	25,6	9,0	0,2	135	90	90	3
59	FF	2	3	4	2	77,2	91,8	33,0	11,7	2,6	29,6	9,4	1,8	315	90	135	1
63	LIP	1	7	9	5	76,4	90,7	64,8	25,2	9,0	32,8	13,2	2,8	135	90	90	1
64	FF	3	17	20	14	27,1	35,8	78,6	57,4	20,6	29,0	18,5	7,8	135	90	90	24
65	ZCAS	7	23	28	21	33,5	56,2	94,8	60,4	25,0	46,0	21,9	4,8	135	90	90	45
67	FF	3	8	13	5	72,8	53,0	72,8	38,3	11,0	53,0	21,7	3,4	135	90	90	4
68	FF	2	7	8	5	70,3	99,1	69,0	22,6	4,8	48,0	12,1	1,6	135	90	90	4
69	FF	2	3	4	2	91,0	105,8	37,4	13,0	1,6	29,4	9,8	1,0	180	180	180	2

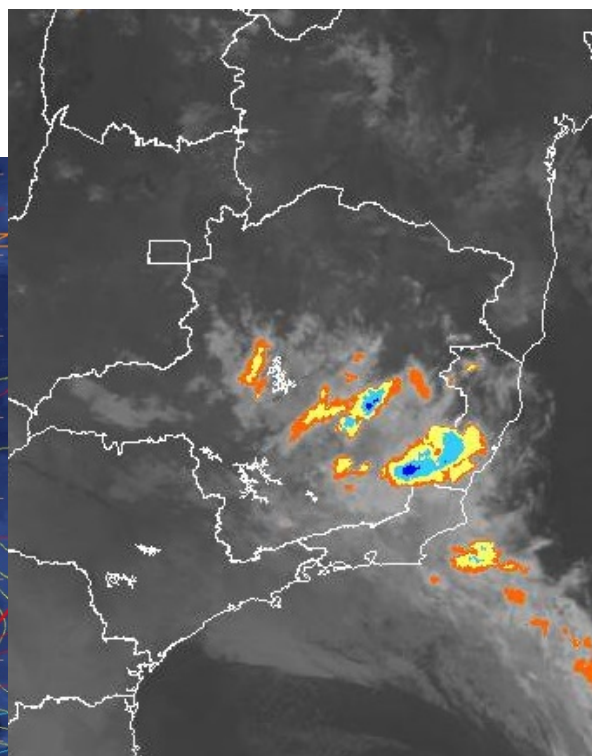
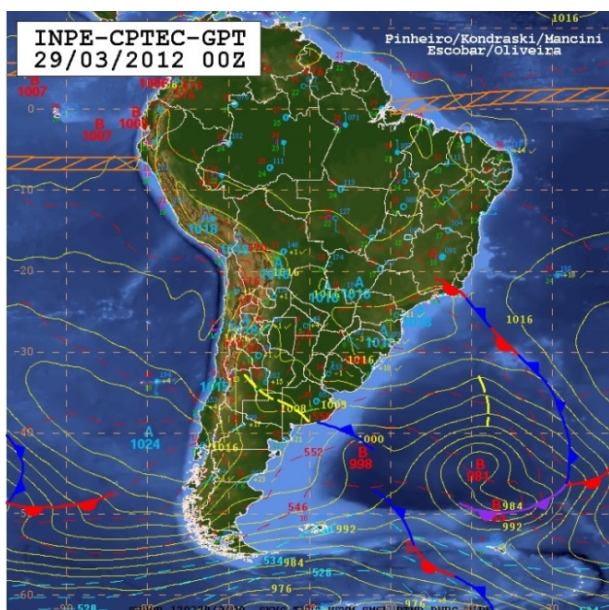
Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

Os eventos de maior intensidade não ocasionaram a maior quantidade de locais de registros de ocorrência de impactos hidrológicos, já que a máxima intensidade foi registrada no P4, situado na Regional Centro-Sul, o que foi observado em seis dos dez eventos de FF, pertencente a esse grupo 4, sendo os demais casos registrados em outras Regionais, dois no Barreiro e dois na Pampulha. Ao comparar a figura 75 a 10 e 12, nota-se que os maiores acumulados, assim como o somatório da máxima intensidade, ocorreram sobre as áreas de domínios do QF, no território belo-horizontino, onde o relevo é bastante acidentado, com vertentes ravinadas e vales em “V”, com altitudes superiores a 900m. Essas áreas também se caracterizam pelo padrão de drenagem paralela, como observado na figura 15, que favorecem o escoamento superficial para áreas mais rebaixadas, no leito do Arrudas, associadas as alterações na rede de drenagem e a existência da bacia de contenção de cheia, barragem Santa Lúcia, que desencadearam menor número de registros de ocorrências desses tipos de impactos, sendo eles: alagamentos, enchentes e/ou inundações.

O evento de maior intensidade da Tabela 21 foi ocasionado pela atuação do último SF do mês de março de 2012. Segundo o Climanálise (2012c), “[...] atuou no interior das Regiões Sudeste e Centro-Oeste, favorecendo a incursão da primeira massa de ar frio mais intensa de 2012” (CLIMANÁLISE, 2012c, p. 14). A figura 76, carta sinótica do dia 29, as 00 UTC, representa o SF atuando desde o ciclone extratropical, ao sul de 40°S e próximo ao meridiano de 40°W, até o sudeste de MG, na retaguarda verifica-se o anticiclone migratório com núcleo de 1018 hPa. A figura 77, imagem de satélite de satélite GOÉS-12 IR realçada, de 01 UTC, horário de máxima intensidade da precipitação em Belo Horizonte, mostra as nuvens de topo de -60 a -70°C alinhadas no sentido SW-NE.

Figura 76 - Carta Sinótica do dia 29/03/2012 às 00 UTC.

Figura 77 - Imagem de Satélite GOES 12 IR Realçada do dia 29/03/2012 às 01 UTC.



-80 -70 -60 -50 -40 -30 Temperatura Celsius

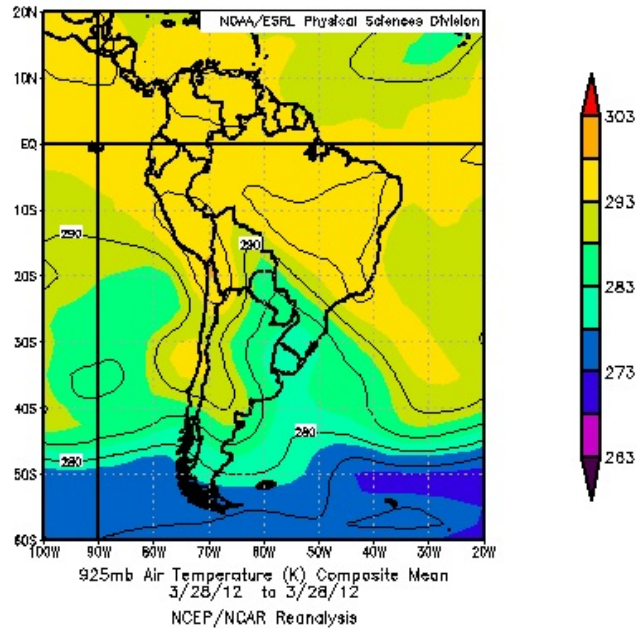
Fonte: <http://tempo.cptec.inpe.br/>  
Acesso: 10/04/2012.

Fonte:  
<http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic>  
Acesso dia 15/04/2013

A partir dos critérios de Cavalcanti e Kousky (2009), verificou-se diminuição de temperatura, no campo médio em 925 hPa, nos dias 27 e 28, assim como forte gradiente no eixo NW-SE, sobre a região centro-sul do Brasil, como mostra a figura 78, referente ao dia 28. O gráfico 16 representa o comportamento horário da radiação solar, direção do vento, temperatura e pressão atmosférica registrado na EMA da Pampulha, assim como o registro pluviométrico horário dos postos de maior acumulado. Verifica-se que na escala local, no dia 27, houve

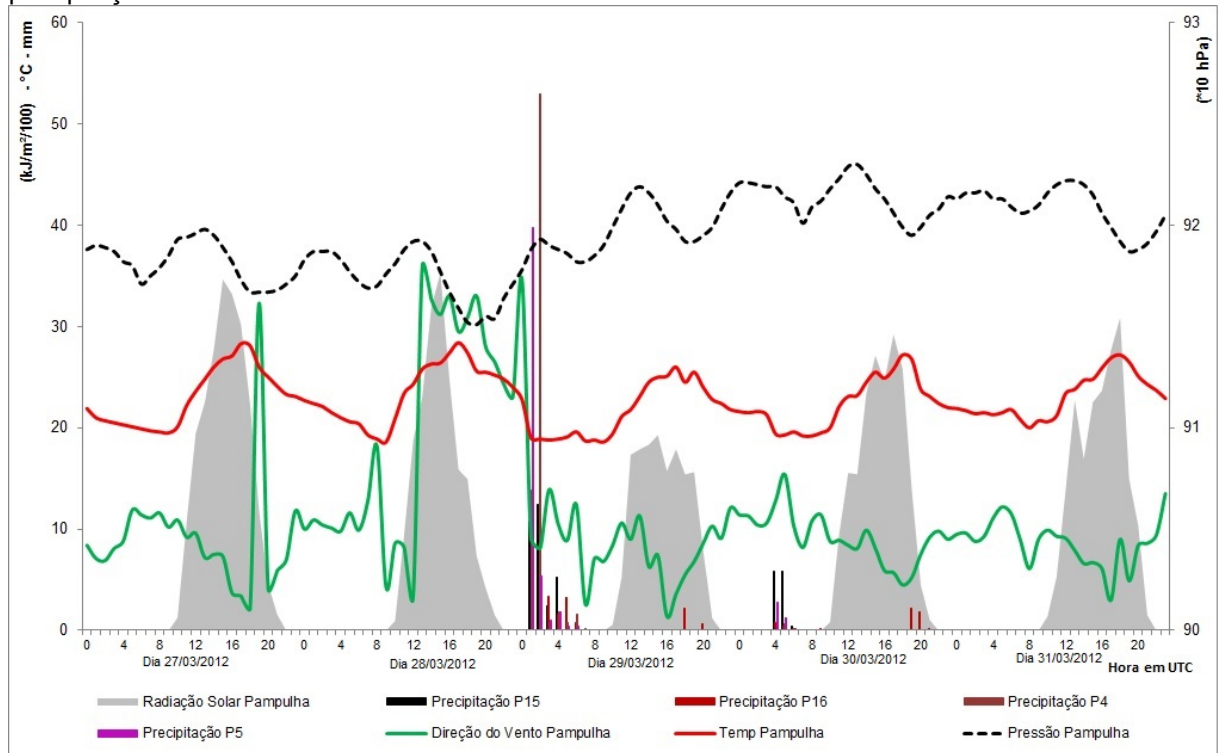
mudança da direção do vento às 20 UTC, assim como escoamento de Sul as 10 UTC do dia 28, seguido de ventos de N/NW até o horário de ocorrência das chuvas.

Figura 78 - Campo médio da temperatura do ar em 925hPa para o dia 28/03/2012.



Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>. Acesso dia 22/08/2014.

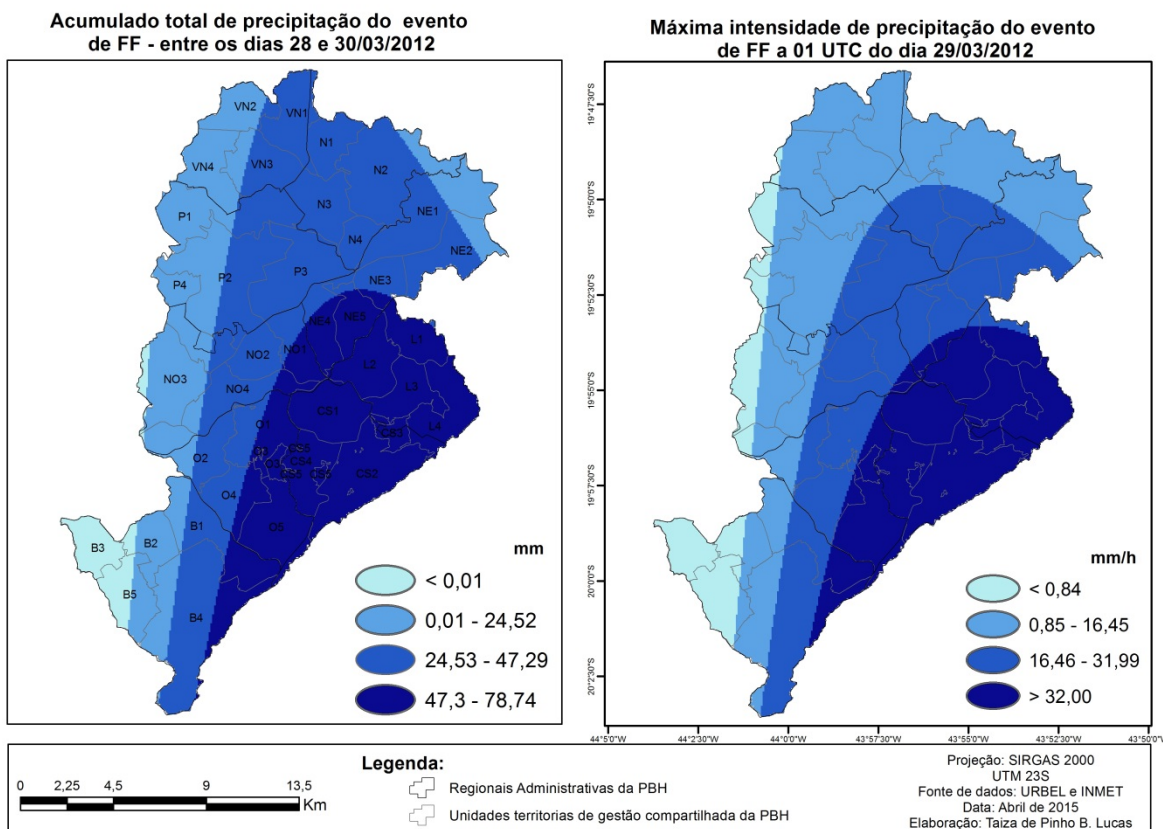
Gráfico 16 – Registro horário da radiação solar, direção do vento, temperatura, pressão atmosférica e precipitação dos dias 27 a 31/03/2012.



No campo de temperatura, observa-se que houve uma ligeira redução da máxima, entre os dias 28 e 29, apresentou uma queda de 2,6°C, em função da diminuição da radiação solar, neste dia. No campo de pressão nota-se maior variação no dia 28, seguido de tendência contínua de aumento, sob a atuação da CPF, que desencadeou tendência contínua de diminuição da temperatura e escoamento dos ventos de NE/E/SE, caracterizando as condições de retaguarda do SF.

A figura 79 representa a espacialização do total acumulado nesse evento 67, assim como da máxima intensidade. Verifica-se que os maiores acumulados, assim como a máxima intensidade, ocorreram concentrados das franjas da Serra à região central, em função dos maiores acumulados, dadas a maior intensidade no P4 e P5. Ao relacionar a imagem 77, nota-se que essa área seguiu a direção das nuvens de topos mais frios, assim como a origem da umidade nas escalas superiores. Verifica-se que o extremo oeste e sudoeste foram as áreas de menor ocorrência de chuvas, ainda ressalta-se a grande variabilidade de acumulado e intensidade de chuvas na Regional Barreiro. Nas partes mais altas, onde se situa o P16, como representado na figura 12, observa-se que as chuvas foram mais fracas, entretanto mais duradouras, foram 13 horas de registro, enquanto no P4 e P5 foram 6, como observado no gráfico 16.

Figura 79 – Acumulado total de chuva ocorrida entre os 28 e 30/03/2012 e a máxima intensidade registrada as 01 UTC, do dia 29/03/2012.



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFGM.

#### 5.4.2.5 Grupo 5: as chuvas persistente, intensas e homogêneas espacialmente

O grupo 5 é composto por 5 eventos, aqueles de maior duração representados no gráfico 12. A Tabela 13 mostrou que a maior média do grupo ocorreu no fator 1, associada as variáveis V1, V2, V3, V4, V7, V8 e V9. A Tabela 22 mostra que foram eventos que perduraram por 11 dias, em média, com registro pluviométrico por 100,5 horas, em média, com altos valores médios acumulados e baixos valores de CV, como indicado pelas médias de V5 e V6. Nota-se que a média de V10 foi 38,9 mm/h e o valor mínimo superior a 30 mm/h, ou seja, eventos que ocasionaram chuvas por muitos dias, com altos acumulados diários e de intensidades muito fortes.

Tabela 22 – Medidas de tendência central de variáveis do grupo 5

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V17	V21	V22	V23	V24
Méd	11,0	100,5	113,0	82,2	18,0	32,8	357,3	269,4	185,1	38,9	25,2	11,6	84,7	90	135	90	139
Máx	16,0	135,5	155,0	110,0	19,7	41,1	453,8	361,8	237,8	52,2	34,6	18,6	89,5				
Min	7,0	68,8	77,0	63,0	16,4	19,7	226,0	168,2	112,6	33,0	19,0	9,4	81,5				

Nota: V21, V22 e V3 foram calculados pela moda. V24 corresponde ao somatório.

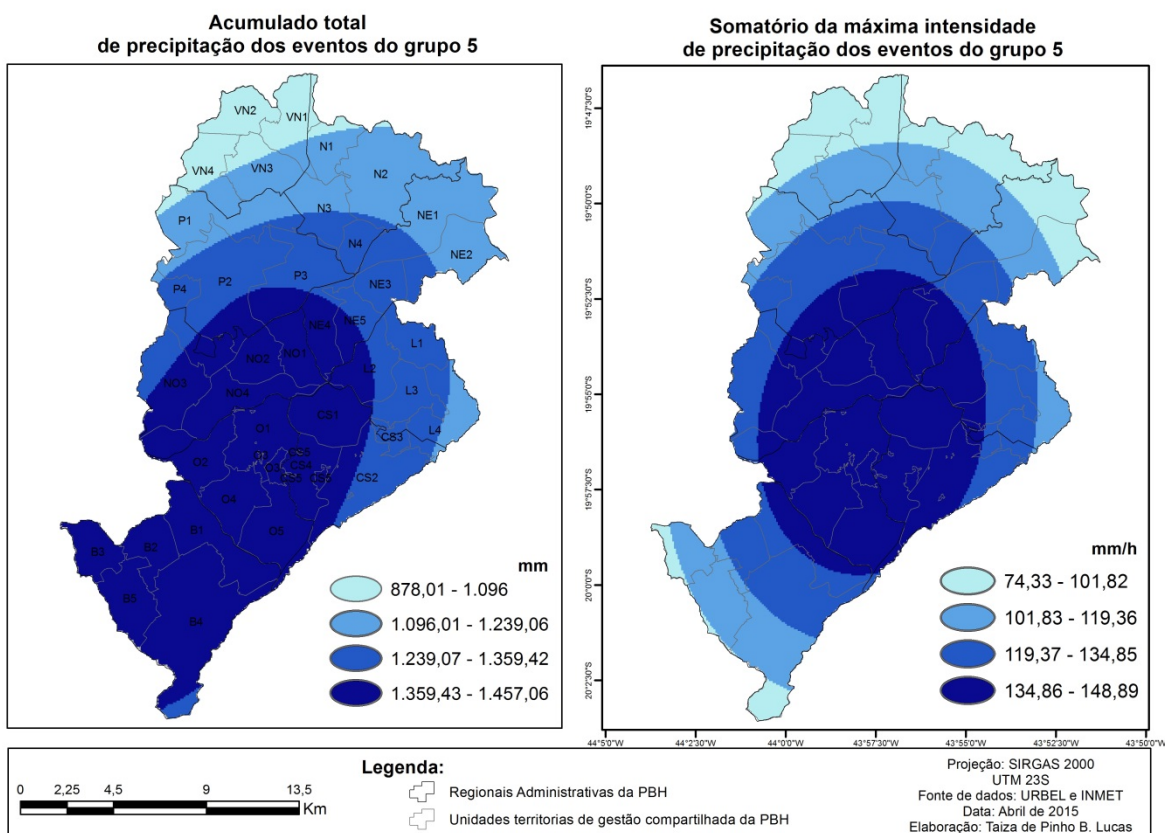
Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFGM.

Os cinco eventos que compõem esse grupo foram desencadeados pela ZCAS, dois ocorridos na primeira estação, nos meses de janeiro e março, e três na segunda, nos meses de dezembro e janeiro. Em relação ao total de V8, as chuvas ocasionadas por esses eventos totalizaram 41,8%, sendo que na primeira estação correspondeu a 31,6% e 50,6% do total da segunda estação chuvosa, em que o respectivo verão foi caracterizado pela grande anomalia positiva, quando o total pluviométrico foi maior que a média climatológica, assim como das médias decadais e a estação anterior.

Em relação a V10, a menor intensidade máxima foi ocasionada pelo evento de ZCAS ocorrido no mês de março de 2011 (V10 correspondente a 33 mm/h), o que ocasionou 17 locais de registros de ocorrências de impactos, já a maior intensidade foi registrada no episódio mais longo, 16 dias, em que V10 foi 52,2 mm/h, e acarretou 75 locais de ocorrências, representados na figura 46, que desencadeou alta densidade de ocorrência no baixo curso do Onça, apresentado na figura 43.

A figura 80 apresenta a espacialização do total acumulado nos eventos desse grupo 5, assim como o somatório da máxima intensidade. Verifica-se que o máximo acumulado ocorreu em toda Regional Barreiro, Oeste, praticamente toda Noroeste, exceto o extremo ocidental da Unidade NO3. Verificou-se maior acumulado também no extremo sul da P3, P2 e NE5, praticamente toda Unidade NE4, a porção ocidental da L2 e CS2, toda unidade CS1, CS4 e CS5. Os menores acumulados situam-se no extremo norte do município, na unidade VN2, grande parte da VN1, VN4 e porção noroeste da VN3. Em relação ao polígono de máxima intensidade, nota-se que ela apresenta-se mais circular sobre a área central de Belo Horizonte, englobando toda Regional Oeste, grande parte da Centro-Sul e Noroeste, assim como extremo sudeste da Pampulha e as unidades NE4 e NE5 e, praticamente, toda L2.

Figura 80 – Somatório do acumulado total e da máxima intensidade dos eventos de precipitação identificados no grupo 5



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

Verifica-se que essa figura 80 tem grande semelhança ao padrão da 49, em que a espacialização do total acumulado e da máxima intensidade foram condicionados aos episódios de ZCAS. Nessa espacialização do grupo 5, nota-se a extensão do polígono de maior acumulado às áreas de maior declividade, particularmente sobre as vertentes inclinadas da Serra na Regional Oeste e Barreiro, já a máxima intensidade mostra-se mais centralizada, assim como na figura 49, as menores intensidades ocorreram nos extremos norte e sul do município.

Todos os eventos contribuíram para tal espacialização, tanto do acumulado como da máxima intensidade, devido aos altos valores das variáveis V8 e V11 de cada evento, não muito discrepante entre os postos, como pode ser verificado a partir dos baixos valores de V5 e V6, apresentados na Tabela 23. Essa tabela ainda permite observar que o evento 53, apesar de menor número de dias de atuação do sistema (V1), apresentou valores de V2 maiores que os eventos 29 e 48, o maior valor de V7 apresentado na tabela, ou seja, o maior acumulado por evento, e, no entanto, não foi o período em que ocorreram as maiores intensidades, o que permite afirmar que ao longo dos sete dias houve ocorrência de chuvas, praticamente ininterruptas, com acumulados diários superiores a 70 mm, em três dias de

atuação do sistema, em todos os postos, e acima de 100 mm no P4, P5, P6, P7, P14 e P15, apresentado no Apêndice C. Esse evento, ocorrido entre os dias 14 e 20 de dezembro de 2011, também se destacou pelo escoamento dos ventos de N/NW, ao longo de todo o período.

Tabela 23 – Dados de variáveis quantitativas dos eventos do grupo 5

		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V21	V22	V23	V24
25	ZCAS	12	120	134	110	16,4	35,4	363,4	261,7	205,4	36,0	19,0	9,4	90	45	45	17
29	ZCAS	10	87	99	76	18,0	27,7	300,2	215,7	151,2	33,0	23,9	10,0	90	135	90	19
48	ZCAS	10	69	77	63	19,1	40,3	226,0	168,2	112,6	40,0	21,9	10,0	135	90	90	4
53	ZCAS	7	91	100	71	19,7	19,7	453,8	339,3	218,6	33,4	26,5	18,6	360	360	315	24
55	ZCAS	16	135	155	91	16,7	41,1	443,0	361,8	237,8	52,2	34,6	9,8	360	135	315	75

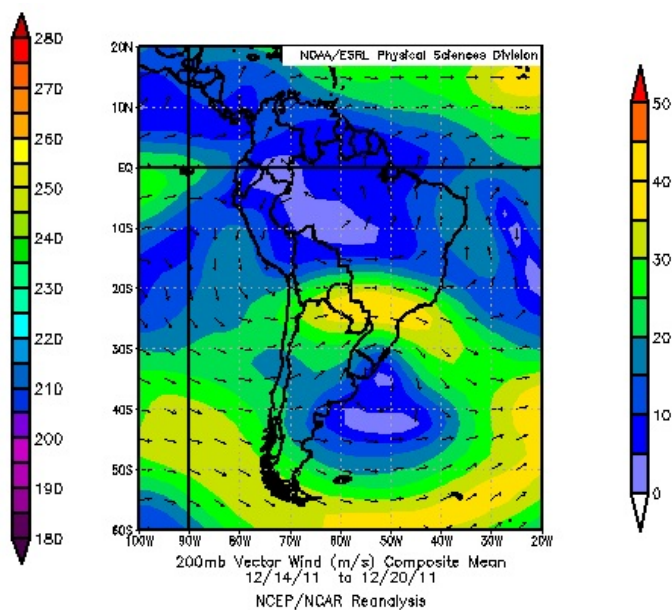
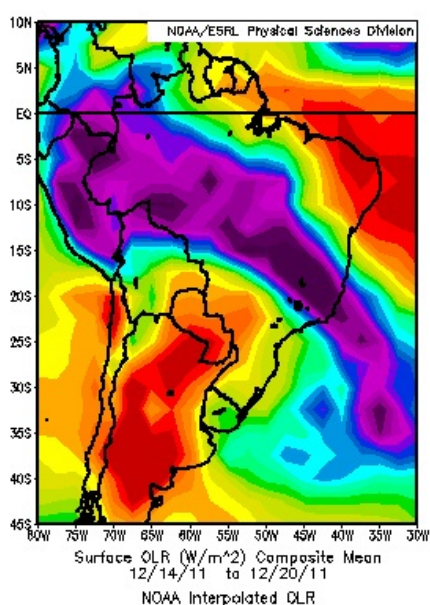
Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

A partir das análises do Climanálise, verificou-se que todos os eventos da Tabela 23 foram caracterizados em função da atuação de episódios típicos de ZCAS. Ao comparar a espacialização de cada evento ao acumulado total do grupo e ao somatório da máxima intensidade, observou-se que todos eles apresentam grandes diferenças de espacialidades entre o total acumulado e máxima intensidade, como observado na figura 80. Em relação ao total acumulado, verificou-se que nos eventos 25, 29, 48 e 55, os maiores acumulados ocorreram ao longo da crista da Serra, devido a maior permanência da banda de nebulosidade, identificados pelo maior número de horas de registro pluviométrico, o que determinou a espacialização apresentada na figura 80, já a espacialidade da máxima intensidade foi similar em todos os eventos, exceto o evento 55 em que ela foi registrada no P8.

O evento 53 foi deflagrado pela atuação típica da ZCAS que desencadeou sobre Belo Horizonte a maior anomalia positiva pluviométrica mensal do Brasil (CLIMANÁLISE, 2011g). A figura 81 apresenta a média de ROL, em 200 hPa, entre os dias de atuação do sistema, verifica-se o eixo de nebulosidade bem marcado, do NW da Amazônia ao SW do Oceano Atlântico, com mínimo de ROL sobre a região central de MG, assim como o dipolo característico devido a forte valores positivos sobre o NEB e a Argentina. Nos altos níveis também se verifica, a partir da figura 82, a atuação da AB e do VCAN do NEB, que contribuiu para a permanência da banda de nebulosidade no seu eixo clássico.

Figura 81 - Média de ROL em 250 hPa para os dias 14 e 20/12/2011.

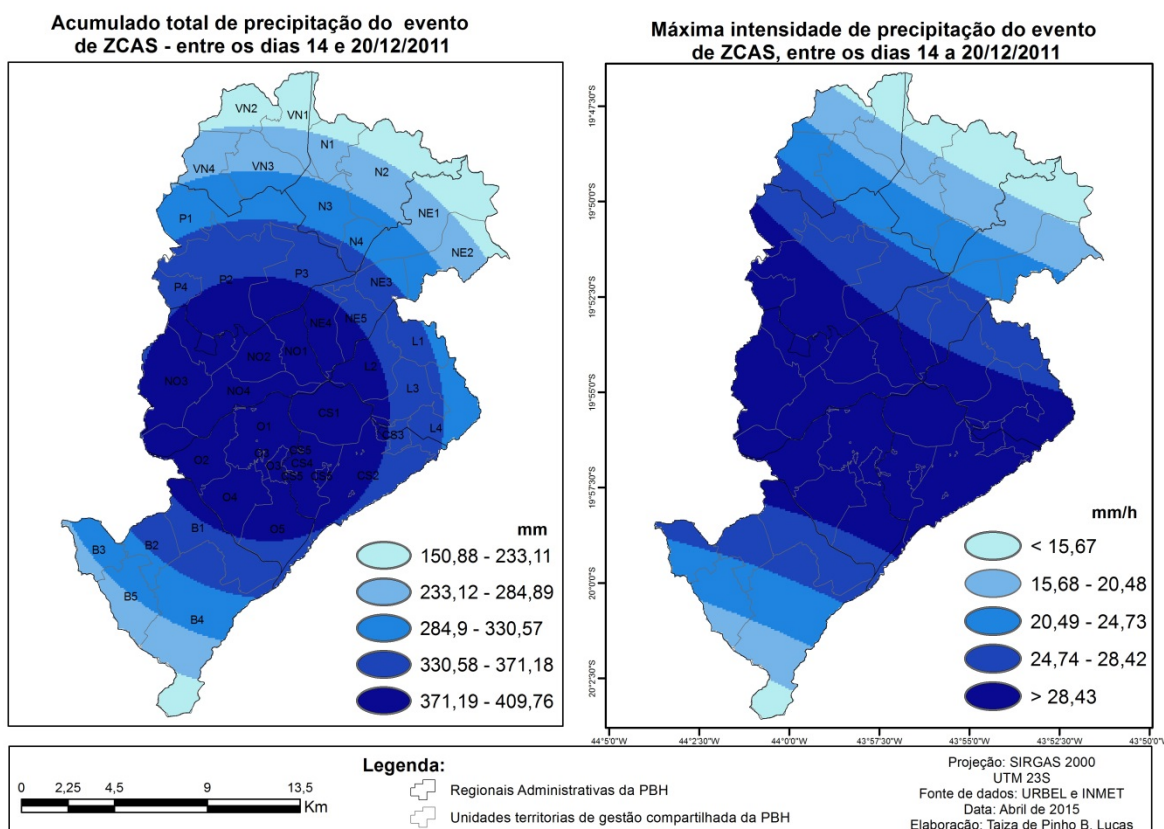
Figura 82 - Campo médio do vetor vento em 250hPa para os dias 14 e 20/12/2011.



Fonte: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/>. Acesso dia 10/06/2014.

Esse evento típico de ZCAS, na larga-escala, ocasionou uma espacialidade local diversa dos outros eventos desse grupo 5. A figura 83 apresenta essa espacialidade do acumulado total desse evento 53 e da máxima intensidade, verifica-se que ela diverge daquela apresentada na figura 80, pois o maior acumulado ocorreu na região central, abarcando as Regionais Oeste, Noroeste, grande parte da Centro-Sul, as Unidades NE4 e NE5, assim como a porção sul da P2 e P3 e, ainda, o extremo ocidental da L2. Os menores valores também ocorreram no extremo norte-nordeste e sul do município. Verifica-se pela distribuição do total acumulado pelas classes da legenda que as diferenças entre elas foi bastante significativas, particularmente entre os valores máximos, registrado no P15, e os mínimos nos postos P10 e P16.

Figura 83 – Acumulado total de chuva ocorrida entre os 14 e 20/12/2011 e a máxima intensidade.



Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG.

Ao contrário do acumulado total, não se verifica grandes diferenças entre a máxima intensidade registrada em cada posto pluviométrico, como se observa a partir das diferenças entre as classes. Esses registros de máxima foram diversos, não ocorrendo na mesma hora, pois ao longo do período houve vários picos de forte intensidade, com valores correspondente ou próximo da máxima intensidade, o que não permitiu definir a hora de ocorrência. Observou-se que ela se concentrou na área central, de sentido oeste – leste, mesma orientação da banda de nebulosidade, nas escalas superiores, e uma grande variabilidade no sentido norte – sul, em que os extremos apresentaram os menores valores, assim como o acumulado total do evento. O maior número de horas de registros de chuvas ocorreu no P4, mesmo número de horas que o P13 e os menores no P10 e P16, o que também contribuiu para esses menores valores nos limites territoriais de Belo Horizonte.

## 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Essa discussão refere-se a um diálogo entre os resultados desse trabalho e a contribuição de alguns dos autores apresentados nos itens 2.1 e 2.2. As repercussões espaciais dos eventos chuvosos associados às características dos sistemas genéticos permitem desenvolver de forma transversal diversos diálogos com a (re)produção do espaço urbano e, respectivamente, com as sujeições da população belo-horizontina aos riscos hidrológicos em episódios de precipitação intensa, porém delimita-se a distribuição da precipitação no espaço urbano devido ao objetivo geral de identificar padrões espaciais locais de tipos de chuvas.

Os autores Pinheiro e Naghettini (1998), Moreira (2002) e Reis *et al.* (2004), entre outros, destacaram a presença da Serra do Curral como condicionante da espacialização de totais diários e mensais de chuvas em Belo Horizonte, a partir de séries longas de dados pluviométricos. Os resultados desse trabalho mostram que a Serra se apresenta como uma condicionante na espacialização das chuvas geradas pela atuação de SF, oriundas do escoamento de E/SE/S, que tendem a acarretar maiores acumulados, assim como maiores intensidades, na Regional Barreiro, Centro-Sul e Leste. Ressalta-se que esse tipo de chuva foi o de maior frequência no período de outubro a abril, nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12, como identificado por Mendes (2001) para a cidade de Uberlândia.

Entretanto, os eventos de maior acumulado, que mais contribuíram para os totais mensais e sazonais, foram os ocasionados pelas ZC, como já identificado por Lucas (2007). Os resultados mostram que a Serra tende a ser uma condicionante na espacialização de chuvas persistentes por vários dias. Entre os eventos ocasionados pela ZCAS, aqueles de maior média de número de horas de registros de chuvas (V2), foram também os que apresentaram os maiores valores de V3 nos postos alinhados à crista da Serra, particularmente registrado nos postos P4 e P16.

As ZC ocasionaram 28 eventos de chuvas nas respectivas estações chuvosas, 15 deles apresentaram V3 nas Regionais Barreiro e Centro-Sul e V4 nas Regionais Nordeste, Venda Nova e Pampulha. Essa maior durabilidade do evento chuvoso se deve à permanência da banda de nebulosidade associada às áreas mais elevadas devido ao processo de retroalimentação das nuvens acopladas ao topo das vertentes. As diferenças hipsométricas entre as áreas mais aplainadas, particularmente áreas mais rebaixadas da DBH na bacia do Onça, que se situam no fundo de vale, e as áreas mais elevadas ao longo da Serra, no sentido SW-NE, na RMBH, gera uma circulação local do tipo vale-montanha.

Segundo Barry e Chorley (2013), essa circulação vale-montanha é comumente obscurecida pela circulação regional. Ela se caracteriza pelas diferenças de aquecimento, em que as áreas mais aquecidas das encostas, logo nas primeiras horas de incidência solar, favorecem um escoamento no sentido da encosta, em que a velocidade máxima ocorre no período da tarde. No período noturno ocorre o movimento inverso, devido ao maior resfriamento dessas áreas e menor perda calorífica do fundo de vale, logo após o pôr do sol já se inicia essa circulação atmosférica de sentido contrário.

Em Belo Horizonte, verifica-se pelo número de horas de chuvas e total acumulado em cada posto pluviométrico, representado na figura 4, que mesmo sob a atuação de sistemas atmosféricos de larga-escala, como a ZCAS, há uma circulação local que favorece a maior durabilidade dos eventos chuvosos nas áreas de maior altitude. Por outro lado, essa circulação também contribui para que as maiores intensidades ocorram nas áreas de fundo de vale, devido à convergência dessa circulação, após as 20 UTC, acrescida à maior disponibilidade calorífica e hídrica, o que favorece os processos convectivos.

Entretanto, tal fato não repercute em maiores acumulados nas áreas serranas. Somente 7 dos eventos de ZC apresentaram os maiores acumulados (V7) nessas respectivas áreas e, deles, só 4 registros de máximas intensidades (V10) ocorreram nas Regionais Barreiro e Centro-Sul. Exceto 2 eventos de maior número de dias de chuvas (55 e 26), os demais que apresentaram maiores acumulados e maiores intensidades nessas Regionais foram oriundos de ZC situadas no eixo São Paulo - Sul de Minas, identificados a partir da observação das cartas sinóticas de superfície, imagens de satélites GOÉS 12 IR Realçada e média diária de ROL em 250 hPa. Esses maiores acumulados nas áreas mais elevadas ocorreram em função da repercussão local da posição geográfica da banda de nebulosidade na escala regional.

Os eventos 55 e 26 caracterizaram-se como episódios típicos de ZCAS, em que o eixo de convergência permaneceu na posição climatológica, sobre o centro do SB, no qual se situa o município de Belo Horizonte. No primeiro evento foram em média 135,4 horas de registro de chuvas, em 16 dias, em que V3 foram 155 horas no P16, seguido de 147 no P4, 143 nos postos dos extremos oeste e sudoeste, 139 naqueles da Pampulha e 133 horas em Venda Nova e na Regional Nordeste. Essa permanência da banda de nebulosidade nas áreas serranas gerou maior acumulado nos respectivos postos, no P16 foram 443 mm, P4 foi 418,8 mm, enquanto no P8 foi 345,6 mm, P15 foi 290 mm e P10 foi 237,8 mm. Nestas áreas ocorreram as máximas intensidades, em que V10 foi 52,2 mm/h no P8, seguido de 51,4 mm/h no P11, assim como no P4, em que a máxima intensidade foi 47,6 mm/h. Os baixos

valores de CV (V5 e V6) indicaram que esses eventos caracterizaram-se pela homogeneidade da precipitação. Entretanto, ressalta-se que apesar de em todos os postos ocorreram chuvas fortes e muito fortes, os menores valores de máxima intensidade foram registrados no P1 e P16 (20,2 e 18,0 mm/h), ambos situados na Regional Barreiro. O evento 26, apesar de ocorrer em menor número de dias (7), apresentou mesmas características do evento 55. Assim, como identificou Jauregui e Romales (1996), o efeito orográfico para esses tipos de chuvas constituiu-se na sua durabilidade, o que não significa maiores acúmulos e, menos ainda, maiores intensidades.

O trabalho desses autores para a Cidade do México, a partir de dados diários de precipitação ao longo de uma série de 40 anos, identificou aumento de precipitação nas áreas urbanas associada à intensificação da ICU, que contribuem para o aumento de chuvas maiores de 20 mm/h, no final de tarde. Ao espacializar o número de dias seguidos de chuvas, eles salientaram que elas são mais fortes no centro e duradouras nas áreas serranas, a oeste e sudoeste do município. Os resultados desse trabalho mostram que as chuvas oriundas da atividade convectiva do interior do continente, devido à fase ativa do SMAS, geraram chuvas de maiores acumulados e mais intensas, particularmente fortes e muito fortes, nas áreas mais centrais da mancha urbana conurbada, densamente urbanizada, impermeabilizada e de grande fluxo de veículos e pessoas, verificado a partir dos registros nos postos P3, P5 e P15<sup>50</sup>, que situam sobre as áreas rebaixadas da DBH.

Nesses postos foram registradas 52% do total de V10 identificados nos 72 eventos de chuvas, no P15 foram: 9 eventos originários das ZC, 7 de LI e LIP, 6 de FF e 1 devido à CPF. Todos os eventos de chuvas classificadas como muito forte foram oriundas das ZC e as chuvas fortes de LI e LIP. Salienta-se que o P15 está situado dentro da E-Eco-UFMG, área de preservação permanente, na escala topoclimática, mas ao analisar na escala local, ressalta-se sua posição entre áreas densamente ocupadas, referente ao eixo oeste e norte metropolitano, como pode ser observado ao comparar as figuras 4 e 8.

No P3 foram 5 registros de V10: um de LI, um de ZCAS, um de FQ e dois de ZCOU, as chuvas de ZC desencadearam intensidades muito fortes, a FQ chuva forte e a de LI, de fraca intensidade. No P5, posto mais central da rede de pluviômetros, foram 6 registros de

---

<sup>50</sup> Os respectivos pluviômetros localizam-se em áreas de elevado adensamento populacional e nas proximidades de avenidas de grande fluxo metropolitano. P3 e P5 situam-se nas proximidades da Via Expressa (que apresenta vários nomes ao longo de sua extensão), P5 está localizado próximo à Av. Nossa Senhora de Fátima nº1.295, estação de metrô Lagoinha, e P3 na Av. Presidente Juscelino Kubitschek, nº 4000. P15 situa-se na área de preservação da E-Eco-UFMG, aproximadamente a 500m da BR-262 (Anel Rodoviário).

máxima intensidade, sendo 2 de ZC, 3 de LI e LIP e 1 de FF, sendo que só 1 evento de LIP ocasionou intensidade moderada, nos demais as chuvas foram extremamente fortes (acima de 48 mm/h).

Entretanto, ressalta-se que os resultados do METROMEX, aquele que se refere ao “[...] máximo de precipitação ocorre a 50 – 75 Km do centro da ICU refletindo no aumento de 5 – 25% de precipitação nessas áreas *downwind*, a leste das regiões metropolitanas [...]” (CHANGNON, 1981, p. 51), no qual se embasaram Jauregui e Romales (1996), não se verificam em Belo Horizonte, já que a leste/sudeste encontra-se uma barreira orográfica. As chuvas vindas de sistemas de W/NW/N tendem a ocorrer com maior acumulado e maior intensidade na área central, não pelo adensamento de edifícios e impermeabilização do solo, mas por se encontrar a barlavento da Serra para esses sistemas oriundos do interior do continente, o que condiciona o predomínio da circulação vale-montanha, na escala local.

Ressalta-se, porém, que o P5 situa-se no centro do maior núcleo de aquecimento, denominado de Núcleo I por Assis (2010), entre três ICU identificados por ele no município de Belo Horizonte. Esse núcleo está localizado na periferia do hipercentro, correspondente as Unidades Territoriais de Gestão Compartilhada da PBH: NO1, NE4, NE5, L2 e parte norte de CS1, representadas na figura 6.

“[...] o Núcleo Urbano Central tem sua ocorrência na região mais impermeabilizada e verticalizada [...] engloba o hipercentro e uma parte dos bairros periféricos imediatos (Floresta, Lagoinha, São Cristóvão, Santa Efigênia, Concórdia, Aparecida, Bonfim e Carlos Prates). Os principais controladores climáticos desta unidade são a verticalização e alta densidade de edificações, o intenso fluxo de veículos e pessoas e atividades relacionadas ao comércio e prestação de serviços (ASSIS, 2010, p. 197).

Essas formas de ocupação, identificados por Assis, na escala topoclimática, deve ser um atributo que reforça essas condicionantes da escala local e superiores, atuando como catalisadores de maiores intensidades, dada as recorrências de maiores intensidades, particularmente os valores observados no P5. Assis (2010) ressaltou que as ICU apresentaram melhor configuração no período seco, sob atuação de sistemas atmosféricos estáveis. Entretanto, no seu segundo experimento de campo, período com ocorrências de chuvas ocasionadas pelas ZCAS e LI, o autor identificou novamente núcleos de aquecimento contínuo e configuração de ilha de calor nesse respectivo Núcleo I, no período noturno, apesar de menor gradiente térmico e higrício, entre os postos, e maior variabilidade no escoamento dos ventos.

Segundo o autor, sob o domínio da ZCAS e LI, a formação da ICU urbana só se configurou no núcleo central. Entretanto, observa-se nos seus mapas de temperatura média, desse segundo experimento, que ela foi maior no núcleo I e III (entre as Unidades NO3 e P4) registrados nos períodos entre 19:00 – 00:00 e 01:00 – 06:00h, assim como verificados nos mapas de umidade relativa do ar média, em que os valores foram menores nestas áreas e nesse período, inversamente as áreas mais elevadas do município.

Ao considerar esses dois núcleos de calor situados na porção central da DBH, que se estendem da área central ao eixo oeste da mancha urbana, identificados separadamente na escala topoclimática, como única ICU na escala local, verifica-se que ela pode ser um fator climático, nas escalas inferiores de análise do fenômeno atmosférico, que contribua para a ocorrência de chuvas fortes e muito fortes na porção centro-oeste da cidade de Belo Horizonte, observado a partir da maior frequência de V10 nos postos P3, P5 e P15. Nestes, verificaram-se registros de V7 e V10, tanto pontuais como bastante homogêneas, dados pelos valores de V5 e V6, em que as máximas intensidades foram categorizadas como forte e muito forte, predominantemente oriundas de LI, LIP e ZC, como os eventos 16, 18, 24, 25, 26, 29, 45, 48, 51, 53, 54, 57, 58 e 63, descritos nas Tabelas 15, 17, 19, 21 e 23.

Os resultados de Alves Filho (2010) também mostraram que as ICU são atributos locais que contribuem para intensificação das chuvas nas áreas mais urbanizadas. Entretanto, ele ressaltou a especificidade geosistêmica da RMSP, em que a configuração do relevo favorece a entrada de brisa marítima, na área mais aplainada e mais próxima da costa, que contribui para advecção de umidade e núcleos de aerossóis, que favorecem a formação de chuvas convectivas, particularmente sobre as áreas de ICU. Já em Belo Horizonte, o efeito da continentalidade determina não só a distribuição anual das chuvas, mas a espacialidade dos maiores acumulados, como das máximas intensidades, que ao escalonar para as inferiores reforça a importância da circulação vale-montanha na espacialização desses maiores acumulados e máxima intensidade, particularmente a partir das 20 UTC.

Na RMBH, Coelho (2011) identificou a partir das trajetórias de nuvens de tempestades, *storm track*, que a grande maioria delas percorrem uma distância de 30 a 40 Km, ou seja, forma-se e dissipa-se na escala local, oriundas de SW, W e NW. Entretanto, ressalta-se que apesar dos controladores climáticos de superfície atuarem como reforço no aquecimento diurno e favorecimento do crescimento de nuvens de tipo Cb, a sua formação está condicionada a fatores de escala regional, associados aos sistemas de escalas superiores, como a circulação atmosférica típica de verão no HS. A circulação local, sem advecção de umidade de áreas remotas, não favorece eventos de chuvas em Belo Horizonte.

Os resultados deste trabalho também reforçam aqueles apresentados por Cajazeiro *et al.* (2007) e Parizzi *et al.* (2010). Eles identificaram que as áreas serranas são mais sujeitas aos escorregamentos devido às características de menor resistência mecânica dos filitos e xistos do conjunto morfoestrutural do QF, comparados aos solos residuais de gnaiss da DBH. Esses eventos geológicos são desencadeados pelo acumulado de precipitação diária, em função do processo de saturação do solo. Ressalta-se que nessas áreas as chuvas são mais duradouras e persistentes, o que contribui para a ocorrência dessa maior saturação do solo.

Augusto e Reis (2012) identificaram que 64% dos registros de impactos hidrológicos, entre enchentes e/ou inundações, risco de enchentes e/ou inundações, alagamentos e risco de alagamentos, foram registrados na Regional Pampulha, no período de 2009 – 2012, seguidos da Regional Norte, Noroeste e Oeste. Os resultados desse trabalho permitem afirmar que há maior concentração desses eventos nessas áreas devido à conjunção de fatores que se desdobram em todas as escalas geográficas.

Tais áreas situam-se em uma bacia hidrográfica que se caracteriza pela maior susceptibilidade a esses impactos devido à somatização de fatores, tanto de natureza física, como condicionantes históricos de uso e ocupação. A forma convergente da bacia do Ribeirão do Onça, com cursos d'água sinuosos, sobre um relevo suave-ondulado, com colinas côncavas e vales abertos, aliada às suas diversas formas de ocupação, particularmente das áreas de várzea, e das diferentes tipologias de córregos, em função das inúmeras transformações estruturais, de forma pontual, ao longo dos canais de drenagem, uma vez que a retificação e impermeabilização dos mesmos aumenta a velocidade do escoamento superficial e favorece as enchentes nas áreas de leito natural, além dos estrangulamentos de canais, tanto por erros pontuais nas obras de drenagem como pelo acúmulo de lixo nos córregos, aliadas à recorrência de chuvas mais intensas, particularmente associadas às chuvas oriundas de ZC e LI e LIP, tornam essas áreas mais sujeitas às enchentes e alagamentos.

## 7. CONCLUSÕES

A partir dos pressupostos teóricos do SCU, através do canal de percepção impacto meteórico, buscou-se identificar os padrões espaciais de tipos de chuvas em Belo Horizonte e sua repercussão no espaço geográfico. Devido à sua complexidade, que pressupõe o entendimento dos sistemas atmosféricos genéticos desde as escalas superiores, desencadeadores de chuvas e temporais que perturbam a rotina das cidades, até a sua repercussão espacial/social, foi necessário o emprego de técnicas tanto qualitativas como quantitativas, através de metodologias de SIG, da meteorologia e da estatística aplicada.

A análise rítmica é uma concepção metodológica de entendimento da sequência de tipos de tempo, identificada a partir da variabilidade temporal dos elementos meteorológicos, na menor escala espacial e temporal de disponibilidade desses dados, em uma relação causal com os sistemas atmosféricos predominantes no período correspondente. Essa perspectiva permitiu definir os procedimentos metodológicos necessários à compreensão dos tipos de chuvas, assim como suas recorrências no local de estudo, e dessa forma a sequência de tipos de tempo identificados nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12.

Seguindo a escala temporal mensal e sazonal identificou-se que os ritmos de dias chuvosos e percentuais de anomalia em cada estação foram diferentes, tanto entre elas como do padrão médio decadal, apesar de ambas estarem sob a atuação da LN na escala zonal. Entretanto, ressalta-se que na primeira estação, o índice ONI (descrito a cada mês no Apêndice C) foi mais intenso que o da segunda, quando as anomalias positivas de chuvas na primavera e outono foram maiores, o que evidenciou certa semelhança às médias da década de 70, período de recorrentes episódios de LN. Já na segunda estação chuvosa, as anomalias foram maiores nos meses de verão, particularmente dezembro e janeiro, o que evidenciou uma distribuição semelhante aos padrões médios decadais de 1980 e 2000, porém de maiores acumulados que essas médias apresentadas.

A primeira estação chuvosa foi anormalmente positiva nos postos da Regional Barreiro, Centro-Sul, Leste, Oeste, Noroeste e Pampulha, já as Regionais Venda Nova, Norte e Nordeste apresentaram pequenas anomalias negativas, em relação ao somatório das médias climatológicas para os meses de outubro a abril, referente ao P17. Na segunda estação chuvosa, as anomalias positivas foram maiores em todos os postos, particularmente naqueles da Regional Pampulha, Noroeste, Centro-Sul e Barreiro.

O ritmo sazonal das chuvas da primeira estação mostrou que os percentuais de anomalias positivas foram maiores na primavera, particularmente em novembro de 2010. Neste período, as maiores anomalias positivas ocorreram nos postos mais centrais da mancha urbana, P5, P15 e P17, e as menores nos postos na porção centro-sul, P4, P1 e P16, e extremo norte, P10. Esse padrão da distribuição espacial do total da estação de primavera ocorreu em função da maior atuação da ZCAS nesse mês, que acarretou 78% da precipitação mensal. A partir da sequência diária dos tipos de tempo do mês, representado no Apêndice C, verificou-se o total de 23 dias de chuvas, 15 em função da atuação das ZC. Diferentemente da segunda estação, em que os menores percentuais de anomalia na primavera caracterizaram-se pela não ocorrência de ZCAS no mês de novembro, 85% da precipitação foi ocasionada pela ZCOU, quando ocorreram 15 dias de chuvas, 10 oriundos das ZC.

No verão da primeira estação chuvosa, verificou-se que as menores anomalias positivas ocorreram em função da maior atuação da ZCOU, no mês dezembro de 2010, assim como em novembro da segunda. Entretanto, na segunda estação chuvosa, o mês de dezembro apresentou anomalia positiva em mais de 100% na maioria dos postos analisados, as chuvas oriundas de ZCAS ocasionaram 87% do total mensal de chuvas, enquanto na primeira foram só 19%. Essa diferença se deve às condicionantes atmosféricas nas escalas superiores, na estação chuvosa 2010-11, quando o JS atuou ao sul de sua posição climatológica nos meses de dezembro e janeiro, assim como a AB, o que repercutiu na atuação das ZC no eixo sul de Minas – norte de São Paulo. Na escala local, verificou-se que as anomalias positivas de chuvas foram registradas nos postos das Regionais Barreiro (P1 e P16), Centro-Sul (P4), assim como no extremo oeste (P3) e anormalmente negativa nas demais regiões de Belo Horizonte.

Para o mês de dezembro de 2011, o que mais contribuiu com as anomalias positivas de chuvas no respectivo verão, o Climanálise (2011g) destacou o fortalecimento das anomalias negativas de TSM no Oceano Atlântico Equatorial, assim como anomalia positiva de PNM, o que evidenciou uma intensificação do ASAS. Por outro lado, observaram-se áreas de anomalias ligeiramente negativas no leste da Região Sudeste, onde predominou a atuação de episódios de ZCAS. Em altos níveis, verificou-se a configuração do escoamento típico de verão, com a AB sobre o centro-oeste do continente e o cavado sobre o Atlântico adjacente, o que ocasionou o enfraquecimento da corrente de JS e seu deslocamento para latitudes mais baixas. Na escala local, foram verificadas chuvas oriundas de ZCAS, de distribuições bastante homogêneas no território belo-horizontino, em que sua espacialização total mensal mostrou que sob atuação de episódios clássicos de ZCAS (sobre o eixo central do SB), os

maiores acumulados ocorreram transversal à Serra, no sentido NW-SE, mesmo da banda de nebulosidade nas escalas superiores de análise climática.

Em ambos os janeiros, o total de precipitação mensal foi ocasionado pela ZCAS. No primeiro, as anomalias positivas de chuvas restringiram-se à porção centro-sul da capital, devido às características do escoamento atmosférico em altos níveis, como o dezembro da mesma estação chuvosa. No segundo janeiro, a distribuição espacial do total mensal também apresentou maiores acumulados ao longo da Serra devido à estacionaridade e durabilidade desses eventos de ZCAS, foram 28 dias de chuvas, desde o dia 26 do mês anterior, o que efetivamente desencadeou os maiores acumulados ao longo das áreas mais elevadas. Entretanto, as maiores intensidades, assim como os maiores acumulados do segundo evento, ocorreram nos postos da Regional Noroeste e Pampulha.

O primeiro outono apresentou maiores acumulados sazonais que o segundo. O mês de março foi o que mais contribuiu para o total sazonal da respectiva estação, assim como novembro para a primavera. No primeiro, 91% da precipitação total mensal foi ocasionada pela atuação da ZCAS, já no segundo este sistema contribuiu só com 27%. Neste segundo março, final da estação chuvosa de maior anomalia positiva, verificou-se a ocorrência de um veranico desde 25 de fevereiro ao dia 10, enquanto na primeira estação houve um veranico de maior extensão temporal, que acarretou maiores anomalias negativas, no último decêndio de janeiro e durante 20 dias de fevereiro de 2011.

A distribuição do total mensal de registros de ocorrências de impactos hidrológicos mostrou que elas seguem praticamente o mesmo ritmo do total mensal de precipitação. Na primeira estação chuvosa, quando as anomalias positivas foram maiores na primavera, verificou-se maior número de ocorrências no mês de novembro, assim como em dezembro e janeiro da segunda estação chuvosa, quando as anomalias positivas foram mais expressivas. Nos meses de março verificou-se correlação inversa, o segundo apresentou maiores registros de impactos devido à ocorrência de chuvas mais intensas, identificados pelos valores de V10 dos respectivos eventos chuvosos.

A matriz de correlação, apresentada no Apêndice A, mostrou que a variável V24 apresentou maior correlação com V11, categorizada como moderada positiva. Portanto, foi necessário definir a melhor classificação da intensidade máxima de precipitação identificada em cada episódio de chuva ocorrido nas estações 2010-11 e 2011-12. A classificação apresentada por Santoro (2012) se mostrou mais adequada devido à similaridade entre a variação da intensidade máxima com o total de registros de ocorrência, por evento de chuvas, e a

distribuição em histograma, a partir das classes propostas pelo pesquisador. Verificou-se que chuvas com V10 inferiores a 10 mm/h não tendem a acarretar registros de impactos hidrológicos, entre 10 e 17,9 mm/h verifica-se tendência ao aumento de registros, que se torna mais recorrente nas chuvas de intensidade entre 18 e 30 mm/h, e particularmente, quando registrada acima de 30 mm/h, já que 80% dos registros foram ocasionados por valores acima dessas intensidades.

A partir dessa distribuição de valores de V10 por tipo de ocorrência registrado pela COMDEC, enchentes e/ou inundações e alagamentos, verificou-se que chuvas fortes e muito fortes tendem a acarretar registros de alagamentos de maneira difusa no território da capital mineira, já as ocorrências de enchentes e/ou inundações ocorrem de maneira mais concentrada, particularmente na bacia do Ribeirão do Onça.

Partindo do número de ocorrências registradas em cada par de coordenadas geográficas, verificou-se a densidade de registros desses impactos hidrológicos, de muito baixa densidade, entre 0 e 3 registros, a muito alta densidade, ou seja, mais de 55 ocorrências, através da técnica de kernel. As maiores densidades foram identificadas nessa bacia do Ribeirão do Onça, em função da conjunção de fatores naturais e do processo histórico de ocupação dos leitos menores e áreas de várzea, já que no período seco se apresentam como favoráveis à ocupação, devido à suavização do relevo, associado à disponibilidade hídrica. Outro fator importante é o processo histórico de formação da cidade de Belo Horizonte, que inicialmente foi planejada, com rigoroso controle de ocupação no interior do polígono formado pela Av. do Contorno, situada nas áreas mais aplainadas do Arrudas. Esta área se caracteriza pelos domínios morfoestruturais do QF, que devido às características geológicas e geomorfológicas favorecem o rápido escoamento superficial e formação de enxurradas, que ocasionaram grandes transtornos à população nas primeiras décadas, entretanto nessa Bacia já se tem mais de 100 anos de obras de aplainamento, retilinização e impermeabilização dos córregos, favorecendo o escoamento rápido e os seus respectivos efeitos para além dos limites territoriais da metrópole.

Ao analisar as principais características de infraestrutura urbana e tipologia dos cursos d'água, onde se situam as manchas de média, alta e muito alta densidade de registros de ocorrências de impactos hidrológicos, identificaram-se duas manchas de baixa e duas de média densidade na bacia do Arrudas. A primeira mancha de média densidade se encontra na porção mais ocidental do município, sua ocorrência é favorecida pela ocupação irregular em áreas de alta declividade, próxima ao divisor de águas das duas principais bacias. A segunda situa-se no médio curso do Arrudas, próximo à área central, situado no mais antigo

eixo de expansão da urbanização de Belo Horizonte, para além da Av. do Contorno. A sua ocorrência se deve à retificação do córrego Pintos, Avenida Sanitária Francisco Sá, com elevada densidade demográfica, associada à sua configuração, como vale encaixado e altos percentuais de declividade à montante, que atualmente se encontram ocupados por áreas de ZEIS, que favorecem o assoreamento do córrego devido ao lixo e material oriundo de corte e aterro à montante da sub-bacia.

Entre as manchas de média, alta e muito alta densidade do Onça, destaca-se que, diferentemente das identificadas no Arrudas, se situam nas imediações de cursos d'água de canalização aberta ou em leito natural. A montante da Lagoa da Pampulha identificou-se uma mancha de alta e muito alta densidade formada na confluência dos córregos Ressaca e Sarandi. Ao norte da Lagoa identificou-se uma mancha de média densidade, ao longo das nascentes do Ribeirão Isidoro, que se deve à elevada densidade populacional, áreas de ZEIS, que ocupam as várzeas, assim como ocorre nas manchas do médio curso do Ribeirão do Onça. Nesta área se encontram duas manchas de muito alta densidade de registros de ocorrências, onde se verifica também a ocupação das várzeas pela população de baixa renda, tornando-as mais vulneráveis aos impactos hidrológicos.

Nesta área de alta e muito alta densidade de registros de impactos hidrológicos, verifica-se um somatório de condições favoráveis: aplainamento do relevo, córregos em leito natural com suas margens irregularmente ocupadas, à jusante da Lagoa da Pampulha, que tem sua capacidade de amortecimento minimizada devido ao processo de assoreamento, alta densidade demográfica e por ser importante eixo metropolitano no sentido norte. Os resultados da espacialização da máxima intensidade de chuvas mostram que nelas são recorrentes os valores de V10, particularmente as oriundas de ZC e LI, o que torna mais evidente a vulnerabilidade aos impactos hidrológicos da Bacia do Onça. Apesar de menor recorrência de V7 e V10 nas Regionais Venda Nova e Nordeste, as formas de ocupação e a elevada densidade demográfica, aliadas à ocupação dos leitos de inundações dos córregos também caracterizaram essas áreas como fortemente vulneráveis aos impactos hidrológicos.

Apesar das chuvas serem o agente deflagrador dos impactos hidrológicos, particularmente a sua intensidade, elas não são o principal fator que determina a localização geográfica dos mesmos. Esta distribuição e densidade espacial são dadas pelas características físicas da paisagem, como a interação entre a geologia, morfologia do terreno, forma da bacia hidrográfica e uso e ocupação do solo.

Ao analisar a distribuição do total de registros de impactos hidrológicos por tipos de chuvas, em cada estação, verificou-se que, na primeira, a maior quantidade de registros ocorreu no mês de novembro de 2010 em função das chuvas muito fortes ocasionadas pelo evento 18, apresentado na Tabela 15, onde a maior densidade ocorreu nessas áreas de maior fragilidade ambiental ao longo do médio e baixo curso do Onça. O segundo mês de maior ocorrência foi janeiro, também associado aos eventos de ZCAS, que apesar de maior acumulado no Barreiro, gerou maior número de registros nas Regionais Oeste, Noroeste e Pampulha, devido às maiores intensidades. As chuvas oriundas de ZCOU também ocasionaram vários pontos difusos de ocorrências no mês de dezembro de 2010, entretanto de muito baixa e baixa densidade, particularmente na porção mais ocidental do município. Os meses de menor número de registros são fevereiro e abril, em função da menor frequência de eventos de chuvas e dos menores acumulados mensais. E o mês de outubro se apresenta com maior diversidade de impactos oriundos de diferentes tipologias de chuvas, particularmente no eixo central da mancha urbana devido à ocorrência de chuvas derivadas de sistemas mais transientes, como as LI, LIP, FF e ZCOU que caracterizaram o início da estação chuvosa.

Na segunda estação, quando as anomalias positivas foram maiores no verão, verificou-se que as ZCAS também ocasionaram o maior número de ocorrências, em todas as Regionais, exceto o Barreiro, e mais concentradas nas áreas da mancha de alta densidade do alto curso do Onça. O mês de dezembro também se caracterizou pela grande quantidade de impactos ocorridos de forma difusa, entretanto as áreas da segunda mancha de média densidade do Arrudas registrou ocorrências oriundas de chuvas de LI, LIP e ZCAS. O mês de março, assim como do ano anterior, apresentou ocorrências de impactos ao longo de todo território, de baixa densidade, de forma difusa, associado a ZCAS e atuação das FF, que predominaram particularmente no mês de abril, como na estação anterior. Portanto, os registros de impactos associados às FF são menos frequentes, apesar de ocasionar o maior número de eventos de chuvas, de forte e muito intensidade, particularmente nas Regionais Barreiro e Centro-sul.

A Tabela 24 mostrou que os eventos de chuvas oriundos de ZCAS apresentaram as menores médias de CV, tanto do total acumulado (V5), como da máxima intensidade (V6), ou seja, tendem a apresentar de forma mais homogênea espacialmente, assim como maiores médias de V1, V2, V3, V4, V7, V8, V9, V10, V11 e V12. Portanto, essa tipologia é que gera os maiores acumulados mensais, os elevados percentuais de anomalias positivas, nos respectivos meses de ocorrência e maior quantidade de registros de impactos hidrológicos.

Ao distinguir as ZC entre ZCAS e ZCOU verificou-se que apesar de serem sistemas de mesma natureza atmosférica, associados à forte atividade ciclônica do interior do continente, devido à atuação de sistemas atmosféricos típicos do verão no HS, em altos e baixos níveis, as suas diferenças são refletidas na escala local, particularmente para os acumulados mensais. Na larga-escala, as diferenças entre as duas Zonas estão em processo de intensa investigação científica, a metodologia e contribuições de Pallotta e Nakazato (2010) foram extremamente importantes para a caracterização de cada um desses sistemas, o que permitiu verificar que, na escala local, a recorrência de eventos de ZCOU repercute em menores acumulados, assim como menores densidades de impactos. A configuração das ZCAS é que realmente contribui para os maiores acumulados, e, portanto, gera grandes transtornos à população, tanto pela estacionaridade do sistema que acarreta dias seguidos de chuvas, como pelas maiores intensidades observadas preponderantemente a elas associadas.

A técnica estatística multivariada utilizada, AF por ACP, permitiu encontrar os fatores representativos do conjunto de variáveis, apresentadas no quadro 1. A partir destes fatores foi possível utilizar a técnica de AC que permitiu identificar 5 grupos de tipos de chuva. Eles não se ajustam às tipologias classificadas de forma qualitativa a partir de produtos meteorológicos, já que são complexos e se diferenciam nas diversas escalas, podendo repercutir em diferentes características na escala local.

Entretanto, a partir de 16 variáveis estatísticas, de um total de 24, extraídas dos dados pluviométricos, dos elementos meteorológicos e do número de ocorrências de registros de impactos por par de coordenadas, foi possível observar padrões espaciais de tipos de chuvas que permitiram identificar aqueles que melhor caracterizaram cada grupo, tanto pela maior frequência de cada tipo no respectivo agrupamento, como pela identificação do evento que determinou a espacialização de cada grupo, calculada por técnicas de álgebra de mapas, e assim apresentar padrões espaciais locais de tipos de chuvas, dada pelas características dos elementos meteorológicos observados em superfície.

O grupo 1 compõem-se daqueles eventos de ZCAS, assim como de ZCOU, que se caracterizaram como o primeiro, na larga-escala, mas não tornaram-se estacionários por mais de três dias, e ainda, de menor recorrência, por eventos de FF, LI e LIP. A característica desse agrupamento foi dada pelo escoamento dos ventos de N/NW/W, em pelo menos uma das três estações meteorológicas do INMET. Esses eventos foram aqueles que mais contribuíram para anomalias positivas da primavera e outono, particularmente da primeira estação chuvosa. Essas chuvas ocasionaram 33% dos registros de impactos

contabilizados no período de estudo, particularmente aqueles localizados nas Regionais Pampulha, Norte e Nordeste, no médio e baixo curso do Ribeirão do Onça.

O grupo 2 caracterizou-se pelos altos valores de V5 e V6, chuvas bastante heterogêneas e concentradas espacialmente, que contribuíram somente com 2,1% do total de precipitação acumulada nos 72 eventos de chuvas. O grupo 3, assim como o 2, caracterizou-se pelo agrupamento de eventos que pouco contribuíram para esse total acumulado, 3,19%. Ao contrário do grupo 3, o 4 caracterizou-se pelos altos valores de V10, V11, V12, e maiores valores de V5 e V6, que foram, entretanto, menores que os respectivos valores do grupo 2. Devido à característica ser dada pelas maiores intensidades, foi ele o que apresentou maior percentual do total de registros de impactos hidrológicos, 37%. Apesar dos maiores acumulados, por evento, e maiores registros de impactos terem sido acarretados por chuvas oriundas das ZC, particularmente nas Regionais Oeste, Pampulha e Norte, foram as chuvas vindas da atuação de FF's que determinaram as espacialidades, tanto do acumulado total do grupo, como do somatório da máxima intensidade, devido à maior frequência desse tipo de chuva, com altos valores de V10. Esta tipologia de chuva demonstrou que tanto os maiores acumulados, como as maiores intensidades, ocorrem nas áreas mais elevadas do município, particularmente nas Regionais Barreiro e Centro-Sul.

O grupo 5 é aquele composto pelos eventos de maiores dias de chuvas, com maior durabilidade do registro pluviométrico e, portanto, maiores acumulados, ou seja, os eventos de ZCAS que acarretaram maiores acumulados mensais nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12. Ressalta-se que as chuvas deste grupo caracterizam os episódios de ZCAS típicos dos meses de dezembro e janeiro, enquanto os eventos do grupo 1, dos meses de primavera e outono. Na primeira estação, 45% do total sazonal foi desencadeado pelo grupo 1, enquanto o grupo 5 contribuiu com 19%, quando as anomalias foram maiores nessas estações. Na segunda, de maior total sazonal, particularmente o verão, o primeiro grupo contribuiu com 31,6% e o quinto com 50,6%.

A partir do objetivo proposto, identificaram-se padrões espaciais locais de tipos de chuvas, verificou-se que aquelas oriundas de sistemas atmosféricos devido ao desenvolvimento do SMAS, como as LI, ZCAS e ZCOU tendem a acarretar maiores acumulados na porção sudoeste-oeste-noroeste do município e os menores no extremo norte-nordeste-leste, como apresentado pelos eventos que determinaram as espacialidades dos grupos 1, 2, 3 e 5. Essas chuvas tendem a ser mais intensas no centro da mancha urbana conurbada da RMBH, na qual se insere a periferia imediata da área central de Belo Horizonte: Regional Oeste, extremo oeste da Regional Centro-Sul, Noroeste e, ainda, parte das Unidades da L2,

NE4, P2 e P3. Entretanto, ressalta-se que, nos eventos de ZCAS de grande durabilidade, os acumulados foram maiores ao longo da Serra do Curral, assim como a grande maioria das chuvas oriundas de FF, que tendem a apresentar maiores valores CV e, portanto, ocorrerem de forma mais heterogênea espacialmente. Elas se diferenciam, não só no total acumulado, mas na espacialidade das máximas intensidades, em que estas tendem a ocorrer também ao longo da Serra, na porção oriental das Regionais Barreiro, Centro-Sul e Leste, já as de ZCAS ocorrem centralizadas na área central da mancha urbana da RMBH, sobre aquelas Unidades de intenso uso e ocupação do solo e de altos percentuais de densidade demográfica do município de Belo Horizonte.

Devido a esses resultados, em que as áreas de maior recorrência de chuvas intensas, que geram grande número de registros de impactos hidrológicos ocorrerem na região central da mancha urbana conurbada, e dada a complexidade dos fatores que ocasionam as áreas de densidade alta e muito alta de registros de impactos, sugere-se o aprimoramento das pesquisas dentro da perspectiva do Clima Urbano, ainda incipientes na RMBH. Dessa forma, pode-se contribuir com o planejamento urbano da metrópole, considerando que os aspectos ambientais são subsídios para formulações de políticas públicas urbanas, que devem considerar a dinâmica metropolitana no uso de produção do espaço geográfico local. Para tanto, recomenda-se:

- melhorar as técnicas de pesquisa para identificação da relação entre ICU e aumento da intensidade da precipitação na RMBH, que utilize tanto dados do campo térmico, como pluviométrico e anemométrico;
- ampliar a rede de pluviômetros para toda a mancha conurbada de Belo Horizonte, particularmente para o município de Contagem, devido à sua localização a oeste, e grande densidade de ocupação urbana, eixo de expansão mais antigo e consolidado da RMBH. Destaca-se que ele se insere nas bacias do Arrudas e Onça, em que os efeitos de uso e ocupação repercutem na dinâmica hidrológica de Belo Horizonte.
- ampliar também para os municípios de Ribeirão das Neves e Ibité, por se apresentarem nos limites noroeste/sudoeste, onde os resultados deste trabalho sugerem que também ocorram chuvas oriundas do interior do continente, de forte e muito forte intensidade, dado o intenso processo de crescimento urbano desses municípios, é possível que eles apresentem suscetibilidade aos impactos hidrológicos, já que se situam no prolongamento da DBH.
- investigar os efeitos da impermeabilidade e retificação da bacia do Arrudas no município de Sabará, onde se encontra o exutório do Ribeirão Arrudas, confluência com o Rio das Velhas, cujas cheias podem ser intensificadas por eventos de ZCAS, de grande durabilidade.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, M. L. de. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) a Zona de Convergência do Atlântico Sul. *Revista Geonomos*, Belo Horizonte, v. 2, n. 6, p.17-22, dez. 1998.
- AB'SABER, A. N. Os domínios de natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê, 2003.
- ALVES FILHO, A. P. O ritmo climático e as enchentes de 1991 na Região Metropolitana de São Paulo: uma análise através do radar meteorológico. 2003. 296f. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CAMARGO JÚNIOR, H.; CASTRO, C. Início da estação chuvosa na região Sudeste do Brasil: Parte 1 – Estudos observacionais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 20, n. 3, p.385-394, 2005.
- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia oriental utilizando análise multivariada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 27, n° 4, p. 423-434, 2012.
- AMARAL, R. do; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Desastres naturais: conhecer para prevenir. 2 ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2012. Cap. 3, p.41-52.
- ANDRADE, K. M.; CAVALCANTI, I. F. A. Climatologia dos sistemas frontais e padrões de comportamento para o verão na América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2004, Fortaleza. [Anais eletrônicos...]. Fortaleza: SBMET, 2004. CD-ROM.
- ANDRIOTTI, J. L. S. Fundamentos de estatística e geoestatística. São Leopoldo: Unisinos, 2003.
- AROEIRA, R. de M. Programa Drenurbs: Prefeitura de Belo Horizonte - Brasil. In: MACHADO, A. T. G. da M.; LISBOA, A. H.; ALVES, C. B. M.; LOPES, D. A.; GOULART, E. M. A.; LEITE, F. A.; POLIGNANO, M. V. Revitalização de rios no mundo: América, Europa e Ásia. 1 ed. Belo Horizonte: Instituto Guaicuy – Projeto Manuelzão/Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.p.221-240.
- ASSIS, W. L. de. Variações temporais e espaciais da precipitação em áreas urbanas: estudo de caso na região oeste do município de Belo Horizonte. *Geosul*, Florianópolis, v. 24, n. 48, p. 177-196, jul/dez. 2009.
- ASSIS, W. L. de. O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial. 2010. 295f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- ASSIS, W. L. de; ABREU, M. L. Mudanças climáticas locais no município de Belo Horizonte ao longo do século XX. In: HOGAN, D. J; MARANDOLA Jr. E. (Org). População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais. 1 ed. Campinas: NEPO-UNICAMP, 2009. p. 249-75.

ATKINSON, B. W. The reality of the urban effect on precipitation: a case-study approach. In: CHANDLER, T. J. (Org.) Urban climate. Geneva: World Meteorological Organization, 1970. p.342-360, Technical Notes 108.

AUGUSTO, P; REIS, S. Impactos hidrometeorológicos entre 2009-2012 a partir das ocorrências registradas pela Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (COMDEC-PBH) em Belo Horizonte - MG. 2012. 15f. Monografia (Geografia e Análise Ambiental) - Centro Universitário de Belo Horizonte – UNIBH, Belo Horizonte, 2012.

AYOADE, J. Introdução a Climatologia para os trópicos. São Paulo: DIFEL, 1986.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. Atmosfera, tempo e clima. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BELO HORIZONTE. Lei 10.698, 12 de Março de 2014. Altera a Lei 9.691, 19 de janeiro de 2009, relativa à identificação de próprio público, de passagem, de bairro, de distrito e de imóvel urbano, entre outras providências. Disponível em: <http://portal6.pbh.gov.br/dom/iniciaEdicao.do?method=DetalheArtigo&pk=1117385>. Acesso em 05 de abr. 2014.

BELO HORIZONTE. Lei 9.691, 19 de janeiro de 2009. Dispõe sobre identificação de próprio público, de passagem, de bairro, de distrito e de imóvel urbano e dá outras providências. Disponível em: [portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/files.do?evento...Lei\\_9.691-09](http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/files.do?evento...Lei_9.691-09). Acesso em 05 de abr. 2014.

BELO HORIZONTE. Lei 4.158, 16 de Julho de 1985. Fixa área de jurisdição das Administrações Regionais criadas pelo Decreto Municipal nº 4.523, de 12 de setembro de 1983, define sua estrutura administrativa, atribuições, cria cargos e contém outras providências. Disponível em: <http://cm-belo-horizonte.jusbrasil.com.br/legislacao/238054/lei-4158-85>. Acesso em 05 de abr. 2014.

BELO HORIZONTE. Lei 6.936, 16 de Agosto de 1995. Cria o Distrito do Barreiro e da outras providências. Disponível em <http://cm-belo-horizonte.jusbrasil.com.br/legislacao/237794/lei-6936-95>. Acesso em: 03 de abr. 2014.

BELO HORIZONTE. Lei 10.231, 19 de Julho de 2011. Dispõe sobre a circunscrição das regiões administrativas do Município. Disponível em: <http://portal6.pbh.gov.br/dom/iniciaEdicao.do?method=DetalheArtigo&pk=1062300>. Acesso em: 05 de Abril de 2014.

BELO HORIZONTE. Lei 7.165, 27 de Agosto de 1996. Institui o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte. Disponível em: <http://cm-belo-horizonte.jusbrasil.com.br/legislacao/237742/lei-7165-96>. Acesso em: 14 de abr. 2014.

BELO HORIZONTE. SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL - SUDECAP. Plano de Controle Ambiental do Boulervad Arrudas: 5º Trecho. 2014. Elaborada por Aluvial Engenharia e Meio Ambiente Ltda. Plano de Controle Ambiental. Disponível em: [http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pldPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=transparenciacopa2014&lang=pt\\_BR&pg=9841&tax=26881](http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pldPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=transparenciacopa2014&lang=pt_BR&pg=9841&tax=26881). Acesso em: 28 mar. 2014.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. Caderno de Ciências da Terra, São Paulo, v. 13. p.1 – 27, 1972.

BISQUERRA, R.; SARRIERA, J. C.; MARTINEZ, F. Introdução à estatística: enfoque informático com o pacote estatístico SPSS. 1 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 255 p.

BORSAGLI, A. Os córregos e a metrópole: a inserção no espaço urbano dos cursos d'água que atravessam a zona urbana de Belo Horizonte. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA URBANA, 12., 2011, Belo Horizonte. [Anais eletrônicos...]. Belo Horizonte: ANPUR, 2011.

BRANDÃO, A. M. de P. M. Clima Urbano e enchentes na cidade do Rio de Janeiro. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Impactos ambientais urbanos no Brasil. 6° ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 47-109.

BRANDÃO, A. M. de P. M. O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro. 1996. 362f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BRANDÃO, A. M. de P. M.; RUSSO, P. R.; FIALHO, E. S. Planejamento e clima urbano. Revista de Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, v. 4, n. 4, p. 9 – 23. 2000.

BRITO, F.; SOUZA, J. de. Expansão urbana nas grandes metrópoles: o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza. São Paulo em perspectiva, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 48-63, out./dez. 2005.

BUKOVSKY, M. S.; KAROLY, D. J. A Brief Evaluation of Precipitation from the North American Regional Reanalysis. Journal of Hydrometeorology, v.8, p.837-846, 2007.

CAJAZEIRO, J. M. D.; PARIZZI, M. G.; ABREU, M. L.; NOGUEIRA, C. A.; VIANA, C. de S. Chuvas e escorregamentos em Belo Horizonte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS E TECNOLÓGICOS, 2., 2007, Santos. [Anais...]. Santos: ABGE, 2007, p. 1-12.

CÂMERA, G.; BARBOSA, C. M. F.; DAVIS, C.; FONSECA, F. Conceitos básicos em geoprocessamento. In: CÂMARA, G.; DAVIS, Jr.; MONTEIRO, C. A.; PAIVA, J. A.; D'ALGE, J. C. Geoprocessamento, teoria e aplicações. Livro online: INPE, 1999. Disponível em: [aplace.dcc.ufmg.br/npdii/uploads/c0a80a68-0895-565d.pdf](http://aplace.dcc.ufmg.br/npdii/uploads/c0a80a68-0895-565d.pdf). Acesso em: 17 de set. de 2012.

CARDOSO, A. S.; BAPTISTA, M. B. Metodologia para avaliação de alternativas de intervenção em cursos de água em áreas urbanas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 16, n.1, p. 129-139, 2009.

CARDOSO, L. Transporte público, acessibilidade urbana e desigualdades socioespaciais na Região Metropolitana de Belo Horizonte. 2007. 218f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. J.; SILVA DIAS, M. A. F. Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.94-110.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic Convergence Zone. *Journal of Climate*, v.15, n° 17, p. 2377-2394, 2002.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, v. 17, n° 1, p. 88-108, 2004.

CARVALHO, L. M. V.; SILVA, A. E.; JONES, C.; LIEBMANN, B.; SILVA DIAS, P. L.; ROCHA, H. R. Moisture transport and intraseasonal variability in the South America monsoon system. *Climate Dynamics*, v. 36, n° 9-10, p. 1865-1880, 2011.

CASTRO, I. E. O problema da escala. In: CASTRO, I. E. (Org). *Geografia: conceitos e temas*. 2° ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. J.; SILVA DIAS, M. A. F. *Tempo e Clima no Brasil*. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. J.; SILVA DIAS, M. A. F. *Tempo e Clima no Brasil*. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.135-147.

CAVALCANTI; I. F. A.; AMBRIZZI, T. Teleconexões e suas influências no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. J.; SILVA DIAS, M. A. F. *Tempo e Clima no Brasil*. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.318-335.

CHAMPS, J. R. Uma nova concepção para a drenagem urbana. In: LISBOA, A. H.; GOULART, E. M. A.; DINIZ, L. F. M. (org). *Projeto Manuelzão: a história da mobilização que começou em torno de um rio*. Belo Horizonte: Instituto Guaicuy, 2008. p.85-94.

CHANDLER, T. J. *The Climate of London*. 1965. 292f. Tese (Doutorado em Geografia). University College London, Londres, 1965.

CHANGNON, S. A. A climatological evaluation of precipitation patterns over an urban area: air over cities. US Public Health Service, Washington-DC, Technical Report, p. 37-67, 1962.

CHANGNON, S. A. METROMEX: a review and summary. *Meteorological Monograph: American Meteorological Society*, 1981, p.18.

CHANGNON, S. A. Recent studies of urban effects on precipitation in the United States. In: CHANDLER, T. J. *Urban Climate*. Technical Notes 108. Geneva: World Meteorological Organization, 1970. p.325-413.

CHRISTOFOLETTI, A. *Análise de sistemas em geografia*. São Paulo: Hucitec, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.

CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CLIMANÁLISE: boletim de monitoramento e análise climática. Cachoeira Paulista: Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais (INPE), v. 25, n. 10, 2010a. ISSN: 0103-0019. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0411.shtml>. Acesso em: 02 de abril de 2012.

CLIMANÁLISE: boletim de monitoramento e análise climática. Cachoeira Paulista: Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), v. 25, n. 11, 2010b. ISSN: 0103-0019. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0411.shtml>. Acesso em: 02 de abril de 2012.

CLIMANÁLISE: boletim de monitoramento e análise climática. Cachoeira Paulista: Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), v. 25, n. 12, 2010c. ISSN: 0103-0019. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0411.shtml>. Acesso em: 02 de abril de 2012.

CLIMANÁLISE: boletim de monitoramento e análise climática. Cachoeira Paulista: Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), v. 26, n. 01, 2011a. ISSN: 0103-0019. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0411.shtml>. Acesso em: 02 de abril de 2012.

CLIMANÁLISE: boletim de monitoramento e análise climática. Cachoeira Paulista: Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), v. 26, n. 02, 2011b. ISSN: 0103-0019. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0411.shtml>. Acesso em: 02 de abril de 2012.

CLIMANÁLISE: boletim de monitoramento e análise climática. Cachoeira Paulista: Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), v. 26, n. 03, 2011c. ISSN: 0103-0019. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0411.shtml>. Acesso em: 02 de abril de 2012.

CLIMANÁLISE: boletim de monitoramento e análise climática. Cachoeira Paulista: Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), v. 26, n. 04, 2011d. ISSN: 0103-0019. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0411.shtml>. Acesso em: 02 de abril de 2012.

CLIMANÁLISE: boletim de monitoramento e análise climática. Cachoeira Paulista: Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), v. 26, n. 10, 2011e. ISSN: 0103-0019. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0411.shtml>. Acesso em: 02 de abril de 2012.

CLIMANÁLISE: boletim de monitoramento e análise climática. Cachoeira Paulista: Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), v. 26, n. 11, 2011f. ISSN: 0103-0019. Disponível em:

<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0411.shtml>. Acesso em: 02 de abril de 2012.

CLIMANÁLISE: boletim de monitoramento e análise climática. Cachoeira Paulista: Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), v. 26, n. 12, 2011g. ISSN: 0103-0019. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0411.shtml>. Acesso em: 02 de abril de 2012.

CLIMANÁLISE: boletim de monitoramento e análise climática. Cachoeira Paulista: Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), v. 27, n. 01, 2012a. ISSN: 0103-0019. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0411.shtml>. Acesso em: 02 de abril de 2012.

CLIMANÁLISE: boletim de monitoramento e análise climática. Cachoeira Paulista: Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), v. 27, n. 02, 2012b. ISSN: 0103-0019. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0411.shtml>. Acesso em: 02 de abril de 2012.

CLIMANÁLISE: boletim de monitoramento e análise climática. Cachoeira Paulista: Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), v. 27, n. 03, 2012c. ISSN: 0103-0019. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0411.shtml>. Acesso em: 02 de abril de 2012.

CLIMANÁLISE: boletim de monitoramento e análise climática. Cachoeira Paulista: Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), v. 27, n. 04, 2012dc. ISSN: 0103-0019. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0411.shtml>. Acesso em: 02 de abril de 2012.

COELHO, C. W. G. A. Estudo da variabilidade espacial das chuvas em Belo Horizonte a partir da expansão da rede pluviométrica: uma análise qualitativa. 2006. 107f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

COELHO, C. W. G. A. Tempestades severas na Região Metropolitana de Belo Horizonte: Estudos de Storm Track em escala regional. 2011. 152f. Tese (Doutorado em Tratamento da Informação Espacial) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS – CBH Rio das Velhas: Projeto de valorização das nascentes urbanas. Belo Horizonte: Subcomitês das bacias hidrográficas dos Ribeirões Arrudas e Onça. Edição Especial, 2012.

COMPANHIA URBANIZADORA E DE HABITAÇÃO DE BELO HORIZONTE – URBEL (Belo Horizonte, MG). Assentamentos existentes em Belo Horizonte. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte: URBEL, 2012. Disponível em: <http://gestaocompartilhada.pbh.gov.br/mapas-e>

estatisticas/mapas-esticos?term\_node\_tid\_depth=All&area=692&field\_formato\_tid=All.  
Acesso em: 14 de jan. 2014.

COND, C.; PABÓN, D.; RODRÍGUEZ, R. S. La importancia de la información climática para la planificación del crecimiento y el desarrollo urbano. In: Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina. Santiago: CEPAL, 2013. Cap. 2, p.25-40.

COORDENADORIA MUNICIPAL DE DEFESA CIVIL – COMDEC (Belo Horizonte, MG). Gerência de Riscos Naturais: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Versão eletrônica de manuais [mensagem pessoal]. Mensagem enviada por isabelagon@pbh.gov.br, em 20 de jan. de 2013.

COSTA, G. M.; ARAÚJO, C. E. F. de. A expressão socioeconômica e espacial da dinâmica ocupacional na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. In: COSTA, H. S. de M. (Org). Novas periferias metropolitanas - a expansão metropolitana em Belo Horizonte: dinâmica e especificidades no eixo-sul. Belo Horizonte: C/ Arte, 2006.

COSTA, H. S. de M.; BONTEMPO, V.; KNAUER, S. Programa DRENURBS: uma discussão sobre a constituição de alianças de aprendizagem na Política de Saneamento de Belo Horizonte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 14., 2008, Caxambu. [Anais...]. Caxambu: ABEP, 2008. p.1 - 15. Disponível em: [http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2008/docsPDF/ABEP2008\\_1146.pdf](http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2008/docsPDF/ABEP2008_1146.pdf). Acesso em: 26 jun. 2014.

COSTA, H. S. M. Habitação e produção do espaço em Belo Horizonte. In: MONTE-MÓR, R. L. de M. Belo Horizonte: espaços e tempos em construção. Belo Horizonte: CEDEPLAR/PBH, 1994. p. 51-77.

COSTA, H. S. M. Mudanças climáticas e cidades: contribuições para uma agenda de pesquisa a partir da periferia. In: HOGAN, D. J; MARANDOLA Jr. E. (Org). População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais. 1 ed. Campinas: NEPO-UNICAMP, 2009. p.279-283.

CRESPO, A. A. Estatística fácil. 18° ed. São Paulo: Saraiva, 2002. p.115.

CUPOLILLO, F. Diagnóstico hidroclimático da bacia do Rio Doce. 2008. 156f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

D'ALMEIDA, C. Oscilações intrasazonais de precipitação na estação chuvosa em São Paulo e condições atmosféricas associadas. 1997. 113f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

DARAND, M.; DANESHVAR, M. R. M. Regionalization of Precipitation Regimes in Iran Using Principal Component Analysis and Hierarchical Clustering Analysis. Environmental processes, v. 1, p.517-532, 2014.

DE MARTONNE, E. Problemas morfológicos do Brasil tropical atlântico. Revista Brasileira de Geografia: IBGE, Rio de Janeiro, ano IV, vol. 2, 1944.

DIEM, J. E.; D. P. BROWN. Anthropogenic impacts on summer precipitation in central Arizona. U.S.A. Prof. Geography, v. 55, n. 3, p.343–355, 2003.

DREW, D. Processos interativos homem-meio ambiente. 5° ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. 206p.

DUARTE, D. H. S. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na Região de Clima Tropical Continental. 2000. 296p. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

DURKEE, J. D.; MOTE, T. L. A climatology of warm-season mesoscale convective complexes in subtropical South America. International Journal of Climatology. Oxford, v. 30, n° 3, p. 418-431, 2010.

ELY, D. F. Teoria da climatologia geográfica brasileira: uma abordagem sobre seus discursos e práticas. 2006. 208fls. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Campus Presidente Prudente, Presidente Prudente, 2006.

ENNES, Y. M. Vulnerabilidade dos sistemas de água potável e de esgotos sanitários, da cidade brasileira de Belo Horizonte, frente a inundações e as chuvas intensas. Convênio: CEPIS/OPAS/OMS. Belo Horizonte, 1998. 79p. Relatório.

ESCOBAR, G. Jatos de Altos Níveis. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. J.; SILVA DIAS, M. A. F. Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 127-147p.

ESRI. ArcGIS 9: Editing in ArcMap. Nova Iorque, 2003. 504p.

FABIANO, P. C. de A. Uma análise da influência da legislação urbanística na produção do espaço urbano de Belo Horizonte. 2005. 134f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

FEDOROVA, N. Meteorologia sinótica. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, Editora Universitária, v. 1, 1999. p. 259.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JR. A. P. Consequências da ocupação urbana na dinâmica das nascentes em Belo Horizonte MG. ENCONTRO NACIONAL SOBRE MIGRAÇÕES, 4., 2009, Belo Horizonte. [Anais...]. Belo Horizonte: CEDEPLAR/FACE/UFMG, 2009.

FERREIRA, A. G. Meteorologia Prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 188p.

FERREIRA, M. G. O sítio e a formação da paisagem urbana: o caso de Belo Horizonte - MG. Belo Horizonte: 1997. 180f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

FERREIRA, N. J.; RAMÍREZ, M. V.; GAN, M. A. Vórtices ciclônicos de altos níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. J.; SILVA DIAS, M. A. F. Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.43-60.

FERREIRA, V. O. Eventos pluviiais concentrados em Belo Horizonte – MG: caracterização genética e impactos físico-ambientais. 1996. 150f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1996.

FIALHO, E. S. A pesquisa climatológica realizada por geógrafos brasileiros. Revista Brasileira de Climatologia: ABCLIMA, v. 6, n. 6, p.193-213, 2010.

FIALHO, E. S. Ilha de calor em cidade de pequeno porte: caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira. 2009. 279f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FITZ, P. R. Cartografia básica. 1º Reimpressão. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 143p.

FRAGOSO, M.; GOMES, P. T. Classification of daily abundant rainfall patterns and associated large-scale atmospheric circulation types in Southern Portugal. International Journal of Climatology, v. 28, p.537-544, 2008.

GALLEGO, D.; RIBEIRA, P.; GARCIA-HERRERA, R.; HERNANDEZ, E.; GIMENO, L. A new look for the Southern Hemisphere jet stream. Climate Dynamics, v. 24, n. 6, p. 607-621, 2005.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. The South American Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil. Journal of Climate, v. 17, n° 1, p. 47-66, 2004.

GAN, M. A.; RODRIGUES, L. R.; RAO, V. B. Monção na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. J.; SILVA DIAS, M. A. F. Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 298-316.

GIOVANNINI, J. O clima de Belo Horizonte. Belo Horizonte: Imprensa Oficial de Minas Geraes, 1930. p.57.

GONÇALVES, N. M. S. Impactos pluviiais e desorganização do espaço em Salvador – Bahia. 1992. 268p. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

GONÇALVES, N. M. S. Impactos pluviiais e desorganização do espaço urbano em Salvador. In: MONTEIRO, C. A. F; MENDONÇA, F. Clima urbano. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2011. p. 69-89.

GRIMM, A. Variabilidade Interanual do Clima do Brasil In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. J.; SILVA DIAS, M. A. F. Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.353-374.

GROISMAN, P. Y.; KNIGHT, R. N.; KARL, T. R.; EASTERLING, D. R.; HEGERL, G. C.; RAZUAEV, V. N. Trends in Intense precipitation in the Climate Record. Journal of Climate, Oxford, v. 18, n° 1, p. 1326-1350, 2005.

GUIMARÃES, B. M. A concepção e o projeto de Belo Horizonte: a utopia de Aarão Reis. In: RIBEIRO, L. C. de Q.; PECHMAN, R. Cidade, povo e nação. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1996. p.123-140.

HERDIES, D. L.; SILVA, A.; SILVA DIAS, M. A. F.; FERREIRA, R.N. Moisture budget of the bimodal pattern of the summer circulation over South America. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), v. 107, n° D20, p.LBA42-1 - LBA42-10, 2002. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2001JD000997/full>. Acesso em: 20 de maio de 2014.

HOLTON, R. J. An introduction to dynamic meteorology. New York: Academic Press, 1979.

HOWARD, L. The Climate of London Deduced from Meteorological Observations Made in the Metropolis and at Various Places around It. 2 ed. London: J. & A. Arch, Cornhill; Longman & Co, 1833. 3 vols.

INOUE, T.; KIMURA, F. Urban effects on low-level clouds around the Tokyo metropolitan area on clear summer days. *Geophys. Res. Lett.* v. 31, L0510. 2004. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2003GL018908/full>. Acesso em: 03 de dez. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (Rio de Janeiro, RJ). Malha Municipal Digital. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default\\_prod.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm). Acesso em: 02 de fev. de 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (Rio de Janeiro, RJ). Cidades: Belo Horizonte – MG. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=310620&search=%7Cbe+lo-horizonte>. Acesso em: 05 de jan. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (Rio de Janeiro, RJ). Mapa de biomas do Brasil. Rio de Janeiro, 2004. Mapa físico. Escala 1: 5.000.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (Rio de Janeiro, RJ). Censo demográfico de 2010. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 25 jun. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT (São Paulo, SP). Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios. Brasília: Ministério das Cidades, 2007. 176p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET (Brasília, DF). Apresenta produtos e serviços oferecidos pelo INMET. Disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br). Acesso em 17 de mar. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET (Brasília, DF). Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1990. Brasília, 2009. 253p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET (Brasília, DF). Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET. Nota Técnica nº 001-2011. Brasília, 2011. p.11. Disponível em: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br). Acesso em: 03 de fev. de 2013.

JARDIM, C. H. Proposta de síntese climática a partir do comportamento térmico e higrométrico do ar em áreas urbanas. 357f. Tese (Doutorado em Geografia e Análise

Ambiental e Dinâmica Territorial) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

JAUREGUI, E. ROMALES, E. Urban effects on convective precipitation in Mexico city. *Atmospheric Environment*, v.30, n. 20, p.3.383 - 3.389. 1996.

JESUS, E. F. R. de, Algumas reflexes teórico-conceituais na climatologia geográfica em mesoescala: uma proposta de investigação. *GeoTextos*, v. 4, n. 1 e 2, 2008, p. 165-187.

KAYANO, M. T.; JONES, C.; SILVA DIAS, P. L. Variabilidade Intrassazonal. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. J.; SILVA DIAS, M. A. F. *Tempo e Clima no Brasil*. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.337-351.

LACOSTE, Y. A geografia, isso serve, em primeiro lugar, para fazer a guerra. 4. ed. Campinas: Papirus, 1997.

LANDSBERG, H. E. Inadvertent atmospheric modification trough urbanization. *Weather and climate modification*, Chichester: Wiley, p. 726-763, 1974.

LANDSBERG, H. E. Man-made climatic changes. *Science*, n. 170, p. 1.265-74, 1970.

LANDSBERG, H. E. O clima das cidades. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 18, p. 95-111, 2006.

LANDSBERG, H. E. The climate of tows. In: THOMAS, W. L. *Man's role in changing the face of the earth*. Chicago: University of Chicago Press, 1956. p. 584 -603.

LANDSBERG, H. E. *The urban heat island: The urban climate*, New York: Academic Press, v. 28, p. 275, 1981.

LEFEBVRE, H. A. *A revolução urbana*. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 1999. p.178.

LENTERS, J. D.; COOK, K. H. On the origin of the Bolivian high and related circulation features of the South American climate. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 54, n. 5, p. 656-678, 1997.

LINACRE, E. Características das várias escalas do clima. *Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia*, v. 5, p.11-14, 1981.

LÓPEZ-GÓMEZ, A. (Coord). *El clima de las ciudades españolas*. Madrid: Cátedra, 1993. 268p.

LOURENÇO, M. C. M.; FERREIRA, N. J.; GAN, M. A. Vórtices ciclônicos em altos níveis de origem subtropical. *Revista Climanalise*, Edição comemorativa de 10 anos, 1996. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/>. Acesso em: 13 de jun. 2014.

LOWRY, W. P. Urban effects on precipitation amount. *Progress in Physical Geography*, London, v. 22, n. 4, p. 447-520, 1998.

LUCAS, T. de P. B. *Chuvvas persistentes e ação da zona de convergência do Atlântico Sul na Região Metropolitana de Belo Horizonte*. 2007. 158f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

LUCAS, T. de P. B.; PLEC, D.; ABREU, M. L.; PARIZZI, M. G. Identificação de interpoladores adequados a dados de chuvas a partir de parâmetros estatísticos. *Revista Brasileira de Climatologia: ABCLIMA*, Curitiba, Ano 9, v. 13, p.7-21, jul-dez. 2013. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/revistaabclima/article/view/31259>. Acesso em: 30 jun. 2014.

LUCAS, T. P. B.; ABREU, M. L.; PARIZZI, M. G.; MARRA, J. F. O efeito de borda da interpolação IQD em mapas de chuvas: uma comparação entre malhas de postos pluviométricos. *Revista Geonorte, Edição Especial 2*, v. 2, n° 5, p. 1364-1376, 2012.

MACHADO, M. S. R. Dinâmica Espacial: a evolução das manchas de ocupação urbana de Belo Horizonte 1918-1995. In: PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Anuário Estatístico de Belo Horizonte. Belo Horizonte: Secretaria Municipal de Planejamento - Departamento de Informações Técnicas, v. 1, 2000. p. 1-29.

MAGALHÃES, D. M. de. Análise dos espaços verdes remanescentes na mancha urbana conurbada de Belo Horizonte – MG apoiada por métricas de paisagem. 2013. 163f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MANLY, B. J. F. Métodos estatísticos multivariados: uma introdução. 3° ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 400p.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; SOARES, W. R. Jato de Baixos Níveis ao longo dos Andes. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. J.; SILVA DIAS, M. A. F. Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.169-180.

MATOS, R. E. da S. Planejamento urbano e legislação urbanística: o caso de Belo Horizonte. Belo Horizonte: IGC/UFMG, 1988. p.87.

MATOS, R. E. da S. Reflexões acerca da expansão da grande cidade na atualidade e de seu papel na expulsão e recepção de população. In: COSTA, H. S. de M. (Org). *Novas periferias metropolitanas - a expansão metropolitana em Belo Horizonte: dinâmica e especificidades no eixo-sul*. Belo Horizonte: C/ Arte, 2006.

MCGREGOR, G. R. Climatology: its scientific nature and scope. *International Journal of Climatology*, v.26, n°1, p. 1-5, January, 2006. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1291/pdf>. Acesso em: 10 de outubro de 2013.

MELLO, C. R., VIOLA, M. R. Mapeamento de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 36, n° 5, Set/Out de 2012.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual e no período seco para o estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n° 1, p. 68-74, 2009.

MENDES, P. C. Gênese e estrutura espacial das chuvas na cidade de Uberlândia. 2001. 235f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise e Planejamento socioambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2001.

MENDONÇA, F. O estudo do clima urbano no Brasil: evolução, tendências e alguns desafios. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (Org). Clima urbano. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2011. p.175 - 191.

MENDONÇA, F.; OLIVEIRA, D. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MEURER, M. A restauração fluvial e a busca de reconciliação da Europa com os seus cursos d'água: o que o Brasil deve aprender com esta experiência? GEOgraphia, Rio de Janeiro, v.12, n. 23, 2010. Disponível em: <http://www.uff.br/geographia/ojs/index.php/geographia/issue/view/25>. Acesso em: 14 de jul. 2014.

MINGOTI, S. A. Análise de dados através de métodos de Estatística Multivariada: uma abordagem aplicada. 1º ed. Belo Horizonte: editora UFMG, 2007. 297p.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C. Influência da topografia na precipitação: uma análise estatística e via imagens de satélite. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 2004, Fortaleza. [Anais...]. Fortaleza: SBMET, 2004. CD-ROM.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C. Variabilidade do período chuvoso em regiões de alta e baixa altitudes. In: CONFERÊNCIA REGIONAL SOBRE MUDANÇAS GLOBAIS: AMÉRICA DO SUL, 2005, São Paulo. [Anais...]. São Paulo: IEA, 2005.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; BARBOSA, E. M.; MELO JÚNIOR, J. C. F. Climatologia do comportamento do período chuvoso da Região Sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, São José dos Campos, v. 22, nº 3, p. 338-344, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v22n3/07.pdf>. Acesso em: 17 de maio de 2014.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, J. M. N.; VIANELLO, R. L. Influência do fenômeno climático El Niño no período chuvoso da Região Sudeste do Brasil. Geografia, v. 15, nº2, jul-dez. 2006. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia>. Acesso em: 24 de junho de 2014.

MONTEIRO, C. A. F. A cidade como processo derivador ambiental e estrutura geradora de um "clima urbano". Geosul, Florianópolis, v. 5, n.9. p. 80-114, 1990b.

MONTEIRO, C. A. F. A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil (Contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil). 1969. 65f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1969.

MONTEIRO, C. A. F. Cidade e ambiente atmosférico. Geosul, Florianópolis, v. 5, n.9, p. 115-123, 1990c.

MONTEIRO, C. A. F. Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1991.

- MONTEIRO, C. A. F. Environmental problems in São Paulo metropolitan area: the role of urban climate with special focus on flooding In: SYMPOSIUM OF THE UGI COMMISSION ON ENVIRONMENTAL PROBLEMS, 1980. Tokyo. [Proceedings os Symposium of the UGI Commission on environmental problems]. Tokyo: IGU, 1980. p. 17-38.
- MONTEIRO, C. A. F. Geossistemas: a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000.
- MONTEIRO, C. A. F. O estudo geográfico do clima. Cadernos Geográficos, Florianópolis, n.1, 1999.
- MONTEIRO, C. A. F. Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de clima urbano no Brasil. Geosul, Florianópolis, v. 5, n 9, p. 7-19, 1990a.
- MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano. São Paulo: IG06-USP, 1976 (Série de Teses e Monografias n. 25).
- MONTEIRO, C. A. F. Teoria e Clima Urbano: um projeto e seus caminhos. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (Org). Clima urbano. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2011. p. 9 – 67.
- MOREIRA, J. L. B. Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno. 2002. 186f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.
- MUÑOZ-DIAZ, D.; RODRIGO, F. S. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912–2000) using cluster and principal component analysis: comparison. Annales Geophysicae: European Geosciences Union, v. 22, p. 1435-1448, 2004.
- NASCIMENTO, N. O. Avaliação de tendência em séries temporais. Belo Horizonte: Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2012. 7f. Notas de aulas.
- NASCIMENTO, N. O.; AROEIRA, R. Belo Horizonte Threats and Uncertainties. Convênio PBH/Sudecap – UFMG. Belo Horizonte, 2006. 38 p. Relatório.
- NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 421 p.
- NIMER, E. Um modelo metodológico de classificação de climas. Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro, v. 41, n. 4, p. 59-89, out/dez. 1979.
- NOGUEIRA, V. de F. B.; NOGUEIRA, V. da S.; CORREIA, M. de F.; BRAGA, C. C. Variabilidade espaço-temporal da razão de mistura para estações do Estado do Maranhão através de análise multivariada. Revista Brasileira de Geografia Física, v.7, n. 5, p.978-989, 2014.
- NUNES, L. H. A escala nas ciências atmosféricas. Revista Instituto Geológico, São Paulo, v. 19, n. 1/2, p. 71-73, jan/dez., 1998.
- NUNES, L. H.; VICENTE, A. K.; CANDIDO, D. H. Clima da Região Sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. J.; SILVA DIAS, M. A. F. Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.243-258.
- OKE, T. R. Boundary layer climates. London: Methuem, 1978.

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, n. 1, p. 237-254, 1981.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL – OMM (Genève). El estado del clima mundial 2001 – 2010: Un decenio de fenómenos climáticos. Genève, 2013. Disponível em: [http://www.wmo.int/pages/index\\_es.html](http://www.wmo.int/pages/index_es.html). Acesso em: 25 de Maio de 2013.

ORLANSKI, I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 56, n.5, p.527-530, 1975.

PALLOTTA, M.; NAKAZATO, R. Y. Caracterização de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) em Janeiro e Fevereiro de 2010. 2010. 14f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

PAOLUCCI, C. O. Risco Hidrometeorológico no município de Belo Horizonte: eficiências e deficiências desde os anos 1990 e sua gestão. 2012. 143 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/MPBB-8U4H54>. Acesso em: 26 jun. 2013.

PARIZZI, M. G. Condicionantes e Mecanismos de Ruptura em Taludes da Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG. 2004. 211f. Tese (Doutorado em Geociências) - Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

PARIZZI, M. G.; SEBASTIÃO, C. S.; VIANA, C. de S.; PFLUGER, M. de C.; CAMPOS, L. de C.; CAJAZEIRO, J. M. D.; TOMICH, R. S.; GUIMARÃES, R. N.; ABREU, M. L.; REIS, R. dos. Correlações entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte – MG. *Revista Geografias*, Belo Horizonte, v.6, n.2, p. 52 – 68, jul/dez. 2010.

PAULA, J. A.; MONTE-MÓR, R. L. M. As três invenções de Belo Horizonte. In: PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Anuário Estatístico de Belo Horizonte. Belo Horizonte: Secretaria Municipal de Planejamento - Departamento de Informações Técnicas, v. 1, 2000. p.01-49.

PEREIRA FILHO, A. J. Chuvas de verão e as enchentes na grande São Paulo: el niño, brisa marítima e ilha de calor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro [Anais.]. Rio de Janeiro: SBMET, 2000. CD-ROM.

PINHEIRO, M. M. G.; NAGUETTINI, M.; Análise regional da frequência e distribuição temporal das tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v.3 n. 4, out/dez. 1998.

PLANEJAMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE – PLAMBEL (Belo Horizonte, MG). O plano metropolitano de drenagem urbana. Belo Horizonte, 1975. 115p.

PRATES, J. E. Controles associados à distribuição espacial de precipitação no verão em Minas Gerais: aspectos fisiográficos e meteorológicos. 1995. 178f. Tese (Doutorado em

Meteorologia). - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Anuário Estatístico de Belo Horizonte. Belo Horizonte: Secretaria Municipal de Planejamento - Departamento de Informações Técnicas, v. 1, 2000.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Histórias de bairros de Belo Horizonte. Belo Horizonte: APCBH/ACAP-BH, 2008. Disponível em: [www.pbh.gov.br/cultura/arquivo](http://www.pbh.gov.br/cultura/arquivo). Acesso em: 18 de fev. 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Plano Municipal de Redução de Riscos de Belo Horizonte (MG). Convênio: FAPEMIG/UNESP. Rio Claro, 2006. Relatório Final.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Território de Gestão Compartilhada. Belo Horizonte: GPRI/ SMAGC, 2012. Disponível em: <http://gestaocompartilhada.pbh.gov.br/mapas-e-estatisticas/mapas-estaticos>. Acesso em: 08 de jan. de 2015.

QUADRO, M. F. L. Estudo de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. 1994. 94f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – INPE, São José dos Campos, 1994.

QUADRO, M. F. L. Estudo de Vórtices Ciclônicos de Mesoescala associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul. 2012. 158f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

RAIA, A.; CAVALCANTI, I. F. de A. The life cycle of the South American Monsoon System. *Journal of Climate*, v.21, p.6227-6246, 2008.

RAMÍREZ, M. C. V.; FERREIRA, N. J.; GAN, M. A. Vórtices Ciclônicos Desprendidos em Altos Níveis que originam-se no Leste do Pacífico Tropical Sul - Parte I: Aspectos Sinóticos Relacionados a sua Formação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro [Anais..]. Rio de Janeiro: SBMET, 2000. CD-ROM.

RASUL, G.; CHAUDHRY, Q.; ZHAO, S.; ZENG Q. A diagnostic study of record heavy rain in twin cities Islamabad - Rawalpindi. *Advances in Atmospheric Sciences*, v. 21, p. 976–988, 2004.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 25, n° 2, p.185-204, 2010.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. *Terra e Didática*, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

REIS, P. E. O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG: estudo de caso da sub-bacia córrego do Leitão, bacia do ribeirão Arrudas. 2011. 148f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

REIS, R. J. dos; GUIMARÃES, D. P.; COELHO, C. W. G. A.; PAIXÃO, G. M. da; NASCIMENTO, J. S. do; SIMÕES, T. K. de S. L. Determinação das áreas de potencial de riscos de precipitações intensas em Belo Horizonte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 2004, Fortaleza. [Anais...]. Fortaleza: SBMET, 2004. CD-ROM.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. Boletim de Geografia Teorética, Rio Claro, v. 23, n. 45-46, p.288-294, 1993.

RODRÍGUEZ, R. S. El cambio climático y las áreas urbanas de América Latina: a manera de introducción. In: Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina. Santiago: CEPAL, 2013. Cap. 1, p.9-24.

ROGERSON, P. A. Métodos estatísticos para geografia. Porto Alegre: Bookman, 2012. 348p.

ROSA, R. Análise espacial em Geografia. Revista da ANPEGE, Presidente Prudente, v.7, nº1, número especial, p.275-289, Out. 2011.

ROSENFELD, D. Suppression of rain and snow by urban air pollution. Science, n. 287, p.1793–1796, 2000.

ROTH, M. Review of urban climate research in (sub)tropical regions. International Journal Climatology, n. 27, p. 1859–1873, 2007.

SACRAMENTO NETO, O. B.; ESCOBAR, G. C. J.; SILVA, P. E. D. Método objetivo para identificar episódios de Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) no ambiente operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos-CPTEC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. [Anais...]. Belém: SBMET, 2010.

SANT'ANNA NETO, J. L. Decálogo da Climatologia do Sudeste Brasileiro. Revista Brasileira de Climatologia: ABCLIMA, Curitiba, v. 1, nº 1, p.43-60, dez. 2005.

SANTORO, J. Avaliação de riscos naturais. Rio Claro: Congresso Brasileiro de Desastres Naturais, Instituto Geológico, 2012. Notas de aulas.

SELUCHI, M. E.; CHOU, S. C. Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil. Theoretical and applied climatology, v. 98, nº 1-2, p. 67-77, 2009.

SELUCHI, M. E.; GARREAUD, R. D. Campos médios e processos físicos associados ao ciclo de vida da Baixa do Chaco. Revista Brasileira de Meteorologia, São José dos Campos, v.27, nº1, p.49-60, 2012.

SHEPHERD, J. M. A review of current investigations of urban-induced rainfall and recommendations for the future. Earth Interactions, Maryland, v. 9, n. 12, p. 01-27, 2005.

SHEPHERD, J. M. Evidence of urban-induced precipitation variability in arid climate regimes. Journal of Arid Environments, n. 67, p. 607– 628, 2006.

SILVA DIAS, M. A. F.; ROZANTE, J. R.; MACHADO, L. A. T. Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G.

J.; SILVA DIAS, M. A. F. Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p.181-194.

SILVA, A. S.; CARVALHO, E. T.; FANTINEL, L. M.; ROMANO, A. W.; VIANA, C. S. Estudos Geológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos e Geoambientais Integrados no Município de Belo Horizonte. Convênio: PBH/SMP/FUNDEP/UFMG. Belo Horizonte, 1995. 490p. Relatório Final.

SILVEIRA, A. L. L. Aspectos Históricos da Drenagem Urbana no Brasil. In: TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J.; DEPETTRIS, C.; PILAR, J. Hidrologia Urbana na Bacia do Prata. Porto Alegre: ABRH, CAPEs, IPH/UFRGS, SETCIP, UNNE, 2000. p.11-17.

SIMÕES, P. M. L. A alteração do uso do solo no município de Ibité e consequências associadas. 2007. 80f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SMITH, C. A.; COMPO, G. P.; HOOPER, D. K. Web-Based Reanalysis Intercomparison Tools (WRIT) for Analysis and Comparison of Reanalyses and Other Datasets. American Meteorological Society, v.4, p.1671-1678, 2014.

STOUT, G. E. Some observations of cloud initiation in industrial areas. Air over cities: Technical Report. Washington-DC: US Public Health Service, p. 147-153, 1962.

TARIFA, J. R. Fluxos polares e as chuvas de primavera - verão no Estado de São Paulo. 1975. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências Humanas e Filosofia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

TAYANÇ, M, KARACA, M, YENIGÜN, O. Annual and seasonal air temperature trend patterns of climate change and urbanization effects in relation to air pollutants in Turkey. Journal Research Geophys, v. D2, n. 102, p.1909–1920, 1997.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Desastres naturais. São Paulo: Ed. Instituto Geológico, 2009. 196p.

TUCCI, C. E. M. (org.) Hidrologia, ciência e aplicação. 20° ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS. 1993. 943p.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. Inundações urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 150 p. Disponível em: <http://www.eclac.cl/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23335/InBr02803.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2014.

TULER, M. O. Estudo de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte, MG. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

VERA, C.; BAEZ, J.; DOUGLAS, M.; EMMANUEL, C. B.; MARENGO, J.; MEITIN, J. NICOLINI, M.; NOGUES-PAEGLE, J.; PAEGLE, J.; PENALBA, O.; SALIO, P.; SAULO, C.; SILVA DIAS, M. A.; SILVA DIAS, P. L.; ZIPSER, E. The South American Low-Level Jet Experiment. Bulletin of the American Meteorological Society, v.87, n.1, p.63-77, 2006. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/BAMS-87-1-63>. Acesso em: 15 de abril de 2014.

VIANA, C. S. Caracterização dos Processos Erosivos no Município de Belo Horizonte: Uma Contribuição à Gestão Ambiental e ao Planejamento Urbano. 217f. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária, Ambiental, Hidráulica e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: UFV, 1991.

VICENTE-KOGA, A. Incertezas na espacialização da precipitação, impactos associados e previsão de risco no litoral paulista. 184f. 2010. Tese (Doutorado em Geografia e Análise Ambiental e Dinâmica Territorial) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

YAMADA, K. Estimation of monthly precipitation by geographical factors and meteorological variables. In: SYMPOSIUM ON IMPROVED METHODS OF HYDROLOGICAL MEASUREMENTS IN MOUNTAIN AREAS (S1) E SYMPOSIUM ON QUANTITATIVE AND QUALITATIVE WATER CYCLE (S2), n. 193., 1990, Lausanne/Switzerland. Proceedings... Oxfordshire: IAHS Press, 1990. p.405-412.

ZHOU, J.; LAU, K. M. Does a monsoon climate exist over South America? Journal of Climate, v. 11, n. 5, p. 1020-1040, 1998.

## APÊNDICE A

Correlações de Pearson entre as variáveis quantitativas descritas no Quadro 2:

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
V2	0,919 0,000								
V3	0,930 0,000	0,991 0,000							
V4	0,898 0,000	0,989 0,000	0,976 0,000						
V5	-0,457 0,000	-0,424 0,000	-0,423 0,000	-0,434 0,000					
V6	-0,413 0,000	-0,400 0,001	-0,400 0,001	-0,413 0,000	0,978 0,000				
V7	0,876 0,000	0,947 0,000	0,951 0,000	0,926 0,000	-0,389 0,001	-0,376 0,001			
V8	0,883 0,000	0,956 0,000	0,959 0,000	0,931 0,000	-0,435 0,000	-0,422 0,000	0,990 0,000		
V9	0,873 0,000	0,958 0,000	0,959 0,000	0,942 0,000	-0,426 0,000	-0,413 0,000	0,966 0,000	0,986 0,000	
V10	0,543 0,000	0,466 0,000	0,490 0,000	0,448 0,000	-0,343 0,003	-0,293 0,012	0,607 0,000	0,554 0,000	0,486 0,000
V11	0,708 0,000	0,658 0,000	0,687 0,000	0,638 0,000	-0,590 0,000	-0,570 0,000	0,773 0,000	0,767 0,000	0,716 0,000
V12	0,588 0,000	0,590 0,000	0,621 0,000	0,592 0,000	-0,582 0,000	-0,584 0,000	0,704 0,000	0,733 0,000	0,742 0,000
V13	-0,307 0,009	-0,351 0,003	-0,331 0,005	-0,366 0,002	0,398 0,001	0,394 0,001	-0,286 0,015	-0,310 0,008	-0,314 0,007
V14	-0,358 0,002	-0,384 0,001	-0,365 0,002	-0,403 0,000	0,268 0,023	0,266 0,024	-0,289 0,014	-0,309 0,008	-0,323 0,006
V15	-0,333 0,004	-0,343 0,003	-0,325 0,005	-0,359 0,002	0,345 0,003	0,361 0,002	-0,233 0,049	-0,267 0,023	-0,281 0,017
V16	-0,110 0,359	-0,147 0,218	-0,139 0,243	-0,159 0,181	0,258 0,029	0,282 0,017	-0,054 0,652	-0,087 0,465	-0,110 0,359
V17	0,539 0,000	0,557 0,000	0,548 0,000	0,581 0,000	-0,554 0,000	-0,540 0,000	0,500 0,000	0,522 0,000	0,514 0,000
V18	-0,061 0,608	-0,056 0,638	-0,048 0,688	-0,066 0,579	0,240 0,043	0,250 0,034	0,000 0,997	-0,020 0,867	-0,049 0,682
V19	-0,026 0,827	-0,031 0,795	-0,034 0,780	-0,017 0,887	0,020 0,870	0,003 0,980	-0,112 0,351	-0,089 0,457	-0,064 0,595
V20	0,432 0,000	0,373 0,001	0,383 0,001	0,369 0,001	-0,343 0,003	-0,326 0,005	0,305 0,009	0,317 0,007	0,313 0,007
V21	0,291 0,013	0,245 0,038	0,238 0,044	0,205 0,084	-0,421 0,000	-0,396 0,001	0,305 0,009	0,327 0,005	0,291 0,013
V22	0,082 0,492	0,105 0,378	0,100 0,405	0,085 0,478	-0,321 0,006	-0,334 0,004	0,204 0,086	0,225 0,057	0,193 0,105

V23	0,189 0,111	0,172 0,149	0,170 0,154	0,129 0,281	-0,375 0,001	-0,369 0,001	0,210 0,076	0,235 0,047	0,205 0,083
-----	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	----------------

V24	0,621 0,000	0,559 0,000	0,593 0,000	0,514 0,000	-0,315 0,007	-0,307 0,009	0,653 0,000	0,675 0,000	0,657 0,000
-----	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	----------------

	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18
V11	0,866 0,000								

V12	0,564 0,000	0,826 0,000							
-----	----------------	----------------	--	--	--	--	--	--	--

V13	0,005 0,969	-0,166 0,163	-0,207 0,081						
-----	----------------	-----------------	-----------------	--	--	--	--	--	--

V14	0,082 0,495	-0,060 0,617	-0,097 0,418	0,818 0,000					
-----	----------------	-----------------	-----------------	----------------	--	--	--	--	--

V15	0,064 0,595	-0,118 0,322	-0,158 0,184	0,680 0,000	0,757 0,000				
-----	----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	--	--	--	--

V16	0,043 0,722	-0,069 0,566	-0,148 0,214	0,079 0,511	0,045 0,706	0,482 0,000			
-----	----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	--	--	--

V17	0,262 0,026	0,472 0,000	0,466 0,000	-0,587 0,000	-0,566 0,000	-0,590 0,000	-0,339 0,004		
-----	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	--	--

V18	0,030 0,803	-0,037 0,755	-0,089 0,456	0,068 0,571	-0,044 0,712	0,116 0,331	0,256 0,030	-0,111 0,352	
-----	----------------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------	----------------	----------------	-----------------	--

V19	-0,182 0,125	-0,143 0,230	-0,114 0,341	0,024 0,842	-0,181 0,129	-0,321 0,006	-0,416 0,000	0,090 0,454	-0,113 0,347
-----	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------

V20	0,300 0,010	0,418 0,000	0,284 0,016	-0,141 0,238	-0,001 0,993	-0,278 0,018	-0,384 0,001	0,320 0,006	-0,228 0,054
-----	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------

V21	0,314 0,007	0,444 0,000	0,445 0,000	-0,180 0,131	-0,067 0,576	-0,108 0,366	-0,057 0,632	0,245 0,038	-0,209 0,078
-----	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------

V22	0,119 0,319	0,313 0,007	0,430 0,000	-0,239 0,043	-0,065 0,590	-0,093 0,435	-0,052 0,664	0,225 0,057	-0,040 0,738
-----	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------

V23	0,162 0,175	0,293 0,013	0,320 0,006	-0,320 0,006	-0,193 0,105	-0,082 0,496	0,092 0,444	0,257 0,029	-0,063 0,600
-----	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------	-----------------

V24	0,569 0,000	0,716 0,000	0,698 0,000	-0,116 0,332	-0,064 0,593	-0,106 0,377	-0,083 0,489	0,362 0,002	0,006 0,963
-----	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	----------------

	V19	V20	V21	V22	V23
V20	0,238 0,044				

V21	-0,315 0,007	0,107 0,372			
-----	-----------------	----------------	--	--	--

V22	-0,298 0,011	0,054 0,653	0,586 0,000		
-----	-----------------	----------------	----------------	--	--

V23	-0,427 0,000	0,034 0,775	0,663 0,000	0,721 0,000	
-----	-----------------	----------------	----------------	----------------	--

V24	-0,107 0,369	0,267 0,023	0,270 0,022	0,164 0,168	0,189 0,112
-----	-----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

## APÊNDICE B

Tabela 24: Análise Estatística Descritiva

Variável	Tipo de Chuva	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Mínimo	Máximo
V1	CPF	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0
	ASAS	1,0	1,0	*	*	1,0	1,0
	FF	2,1	2,0	0,8	39,7	1,0	4,0
	FQ	2,0	2,0	1,0	50,0	1,0	3,0
	LI	1,0	1,0	0,0	3,1	1,0	1,1
	LIP	1,0	1,0	0,0	0,0	1,0	1,0
	ZCAS	7,1	6,0	3,4	47,8	4,0	16,0
	ZCOU	2,9	3,0	0,9	30,9	2,0	5,0
V2	CPF	1,1	1,0	0,2	21,7	1,0	1,4
	ASAS	1,4	1,4	*	*	1,4	1,4
	FF	5,2	4,0	3,9	74,5	0,5	16,6
	FQ	19,3	6,0	23,5	121,4	5,6	46,5
	LI	2,3	1,8	1,9	83,1	1,0	6,6
	LIP	3,4	3,7	1,8	53,2	1,0	7,2
	ZCAS	47,8	27,5	40,2	84,1	5,8	135,5
	ZCOU	11,6	8,4	7,3	63,0	2,6	25,2
V3	CPF	2,7	3,0	0,6	21,7	2,0	3,0
	ASAS	2,0	2,0	*	*	2,0	2,0
	FF	7,8	8,0	4,5	57,6	2,0	20,0
	FQ	22,3	9,0	24,0	107,3	8,0	50,0
	LI	3,9	3,0	2,1	54,9	2,0	8,0
	LIP	5,2	5,0	1,8	34,2	3,0	9,0
	ZCAS	57,9	38,0	43,6	75,3	9,0	155,0
	ZCOU	14,3	10,5	8,2	57,8	4,0	29,0
V4	CPF	0,0	0,0	*	*	0,0	0,0
	ASAS	1,0	1,0	*	*	1,0	1,0
	FF	3,2	2,0	3,5	109,8	0,0	14,0
	FQ	17,0	4,0	23,4	137,6	3,0	44,0
	LI	1,1	0,0	1,9	163,1	0,0	5,0
	LIP	1,7	1,0	1,6	94,9	0,0	5,0
	ZCAS	38,4	21,5	33,0	85,9	2,0	110,0
	ZCOU	8,8	6,5	6,1	70,0	1,0	21,0
V5	CPF	154,2	156,3	5,1	3,3	148,4	157,8
	ASAS	98,9	98,9	*	*	98,9	98,9
	FF	81,9	67,6	62,7	76,5	16,3	293,1
	FQ	48,3	62,4	31,7	65,6	12,0	70,4
	LI	95,8	76,3	56,9	59,4	29,6	186,1
	LIP	80,8	76,4	47,3	58,5	18,3	192,7
	ZCAS	33,5	22,1	26,9	80,2	11,9	113,5

	ZCOU	38,3	33,7	32,2	83,9	14,5	136,3
V6	CPF	153,6	152,6	11,0	7,2	143,1	165,1
	ASAS	100,7	100,7	*	*	100,7	100,7
	FF	86,6	67,4	55,1	63,6	21,1	268,4
	FQ	55,5	66,3	35,3	63,6	16,1	84,2
	LI	95,6	79,0	50,8	53,1	40,0	189,9
	LIP	83,4	83,6	38,4	46,1	24,7	169,4
	ZCAS	47,1	40,7	33,2	70,6	17,6	154,2
	ZCOU	46,1	41,9	25,4	55,1	13,3	119,8
V7	CPF	13,7	10,8	6,6	48,2	9,0	21,2
	ASAS	7,4	7,4	*	*	7,4	7,4
	FF	35,0	33,0	24,9	71,0	1,8	78,6
	FQ	46,4	42,2	23,0	49,5	25,8	71,2
	LI	24,4	21,8	20,2	82,9	3,6	54,4
	LIP	26,7	29,2	19,9	74,5	1,6	64,8
	ZCAS	190,8	142,7	136,3	71,4	24,2	453,8
	ZCOU	54,6	44,7	32,6	59,8	19,4	123,4
V8	CPF	2,8	2,3	1,5	51,6	1,7	4,5
	ASAS	2,7	2,7	*	*	2,7	2,7
	FF	16,5	12,0	14,7	88,8	0,5	57,4
	FQ	26,6	19,1	19,8	74,4	11,7	49,1
	LI	9,9	3,7	11,8	119,7	1,2	33,2
	LIP	11,3	12,6	8,2	72,5	0,8	25,2
	ZCAS	136,5	98,1	109,9	80,5	6,6	361,8
	ZCOU	36,0	24,7	26,2	72,6	10,2	88,6
V9	CPF	0,0	0,0	*	*	0,0	0,0
	ASAS	0,2	0,2	*	*	0,2	0,2
	FF	5,8	3,4	6,5	113,2	0,0	20,6
	FQ	14,3	3,2	19,8	138,2	2,6	37,2
	LI	2,5	0,0	5,4	210,8	0,0	14,4
	LIP	2,4	1,0	3,3	135,1	0,0	9,0
	ZCAS	88,0	63,0	79,6	90,4	0,4	237,8
	ZCOU	20,4	13,6	19,8	96,9	0,2	66,2
V10	CPF	9,9	8,4	4,0	40,6	6,8	14,4
	ASAS	6,6	6,6	*	*	6,6	6,6
	FF	21,8	18,0	15,6	71,2	1,8	53,0
	FQ	17,4	21,8	8,9	50,9	7,2	23,2
	LI	16,8	16,0	11,6	69,1	2,8	30,8
	LIP	18,2	13,8	12,8	70,2	1,2	32,8
	ZCAS	34,8	33,2	11,1	31,8	17,2	54,2
	ZCOU	22,3	21,8	9,8	44,0	5,2	39,8
V11	CPF	2,2	1,7	1,1	50,5	1,5	3,5
	ASAS	2,4	2,4	*	*	2,4	2,4
	FF	8,5	7,7	6,4	75,9	0,5	21,7
	FQ	7,5	7,2	2,8	37,9	4,8	10,5

	LI	6,4	2,6	6,5	102,5	0,9	15,9
	LIP	7,2	7,3	5,0	69,2	0,5	13,2
	ZCAS	20,2	20,5	8,4	41,8	3,8	34,6
	ZCOU	12,7	12,9	6,3	49,2	4,2	25,0
V12	CPF	0,0	0,0	*	*	0,0	0,0
	ASAS	0,2	0,2	*	*	0,2	0,2
	FF	2,4	1,6	2,7	114,6	0,0	10,2
	FQ	2,1	1,6	1,2	56,7	1,2	3,4
	LI	1,6	0,0	3,2	194,0	0,0	8,4
	LIP	1,4	0,6	1,7	124,8	0,0	5,0
	ZCAS	9,3	9,6	7,0	74,8	0,2	25,8
	ZCOU	5,2	4,9	3,8	73,1	0,2	12,8
V13	CPF	17,9	17,1	5,7	31,8	12,7	24,0
	ASAS	26,1	26,1	*	*	26,1	26,1
	FF	17,3	17,8	3,6	21,0	10,4	23,4
	FQ	14,7	15,3	4,1	28,1	10,3	18,4
	LI	18,3	17,4	5,9	32,4	11,8	26,5
	LIP	16,5	16,7	5,5	33,4	9,2	23,5
	ZCAS	13,9	13,7	2,8	20,3	9,1	19,7
	ZCOU	15,7	15,4	3,3	20,9	12,2	23,3
V14	CPF	8,5	9,2	2,2	26,2	6,0	10,4
	ASAS	10,3	10,3	*	*	10,3	10,3
	FF	9,0	9,2	1,5	16,4	6,4	11,6
	FQ	6,6	7,1	1,5	22,5	4,9	7,8
	LI	9,8	10,8	2,4	24,6	6,3	13,0
	LIP	9,1	9,2	2,4	26,1	4,5	11,9
	ZCAS	7,4	7,3	1,3	17,7	5,4	10,0
	ZCOU	8,2	8,1	1,2	14,6	6,3	10,3
V15	CPF	27,1	27,4	1,0	3,8	26,0	28,0
	ASAS	30,2	30,2	*	*	30,2	30,2
	FF	27,6	28,0	2,1	7,5	23,0	31,1
	FQ	24,0	24,4	5,4	22,7	18,4	29,2
	LI	28,5	28,5	1,4	4,7	26,5	30,0
	LIP	27,4	27,7	2,0	7,5	24,7	30,5
	ZCAS	25,9	25,8	1,5	6,0	23,2	28,2
	ZCOU	26,6	26,9	1,9	7,3	22,4	30,1
V16	CPF	19,1	19,1	0,9	4,7	18,1	19,9
	ASAS	16,9	16,9	*	*	16,9	16,9
	FF	18,3	18,4	1,1	6,0	16,0	20,4
	FQ	15,5	15,6	2,0	13,1	13,5	17,5
	LI	18,4	18,8	1,2	6,5	17,0	20,2
	LIP	18,6	18,6	0,9	4,8	17,3	20,2
	ZCAS	18,2	18,2	0,6	3,5	16,9	19,0
	ZCOU	18,1	18,3	1,4	7,6	15,4	20,5
V17	CPF	75,5	76,5	6,2	8,2	68,9	81,2

	ASAS	62,6	62,6	*	*	62,6	62,6
	FF	71,4	71,2	7,2	10,1	54,8	83,9
	FQ	82,5	81,8	4,1	5,0	78,8	86,9
	LI	67,9	68,3	3,7	5,4	60,3	71,2
	LIP	68,8	69,6	6,7	9,7	59,2	78,1
	ZCAS	80,7	83,0	5,3	6,6	68,5	89,5
	ZCOU	76,5	76,7	4,2	5,4	69,7	83,8
V18	CPF	901,8	901,3	1,7	0,2	900,4	903,7
	ASAS	904,4	904,4	*	*	904,4	904,4
	FF	902,5	903,7	3,6	0,4	891,5	906,0
	FQ	901,4	902,5	2,3	0,3	898,7	902,9
	LI	900,0	902,8	5,5	0,6	892,0	904,5
	LIP	903,1	902,8	1,7	0,2	901,1	905,9
	ZCAS	901,3	902,3	3,1	0,3	891,0	904,2
	ZCOU	901,3	901,9	1,9	0,2	896,4	903,0
V19	CPF	2,4	2,1	0,6	24,7	2,0	3,0
	ASAS	1,7	1,7	*	*	1,7	1,7
	FF	2,2	2,2	0,7	30,8	1,2	3,9
	FQ	3,1	3,0	0,5	17,2	2,7	3,7
	LI	2,0	2,3	0,5	27,1	0,9	2,4
	LIP	2,1	2,1	0,5	24,5	1,4	3,0
	ZCAS	2,0	2,0	0,3	16,8	1,5	2,7
	ZCOU	1,9	1,8	0,6	30,0	1,1	3,3
V20	CPF	14,2	14,2	2,6	18,0	11,6	16,7
	ASAS	9,0	9,0	*	*	9,0	9,0
	FF	13,9	14,4	1,8	13,3	10,4	17,0
	FQ	16,1	16,3	3,2	19,5	12,9	19,2
	LI	13,8	12,7	4,6	33,3	8,2	20,8
	LIP	12,7	12,7	2,5	19,7	8,9	16,8
	ZCAS	16,0	14,8	3,9	24,3	11,6	22,5
	ZCOU	15,1	15,5	3,8	25,1	9,1	22,0
V21	CPF	105,0	90,0	26,0	24,7	90,0	135,0
	ASAS	90,0	90,0	*	*	90,0	90,0
	FF	169,3	135,0	84,1	49,7	90,0	360,0
	FQ	120,0	135,0	26,0	21,7	90,0	135,0
	LI	122,1	135,0	22,0	18,0	90,0	135,0
	LIP	135,0	135,0	77,9	57,7	45,0	315,0
	ZCAS	225,0	225,0	130,4	58,0	45,0	360,0
	ZCOU	262,5	315,0	104,8	39,9	90,0	360,0
V22	CPF	105,0	90,0	26,0	24,7	90,0	135,0
	ASAS	90,0	90,0	*	*	90,0	90,0
	FF	135,0	90,0	58,7	43,5	90,0	270,0
	FQ	90,0	90,0	0,0	0,0	90,0	90,0
	LI	122,1	90,0	67,3	55,1	90,0	270,0
	LIP	125,0	90,0	62,7	50,2	90,0	270,0

	ZCAS	171,6	135,0	102,9	60,0	45,0	360,0
	ZCOU	206,3	247,5	90,9	44,1	90,0	315,0
V23	CPF	90,0	90,0	45,0	50,0	45,0	135,0
	ASAS	90,0	90,0	*	*	90,0	90,0
	FF	143,6	90,0	95,1	66,2	45,0	360,0
	FQ	75,0	90,0	26,0	34,6	45,0	90,0
	LI	90,0	90,0	63,6	70,7	45,0	225,0
	LIP	110,0	90,0	71,5	65,0	45,0	270,0
	ZCAS	188,4	180,0	115,3	61,2	45,0	315,0
	ZCOU	232,5	292,5	125,6	54,0	45,0	360,0
V24	CPF	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	ASAS	0,0	0,0	*	*	0,0	0,0
	FF	4,2	1,0	7,7	184,3	0,0	28,0
	FQ	0,3	0,0	0,6	172,7	0,0	1,0
	LI	3,3	0,0	4,8	145,5	0,0	12,0
	LIP	1,2	1,0	1,2	98,3	0,0	3,0
	ZCAS	22,6	11,5	27,9	123,3	0,0	93,0
	ZCOU	5,3	1,5	5,7	105,7	0,0	15,0

Fonte de dados: INMET; URBEL-PBH/UFMG

## APÊNDICE C

Análise mensal dos eventos de chuvas, da gênese atmosférica à repercussão espacial.  
Quadro Síntese Mensal de Outubro de 2010

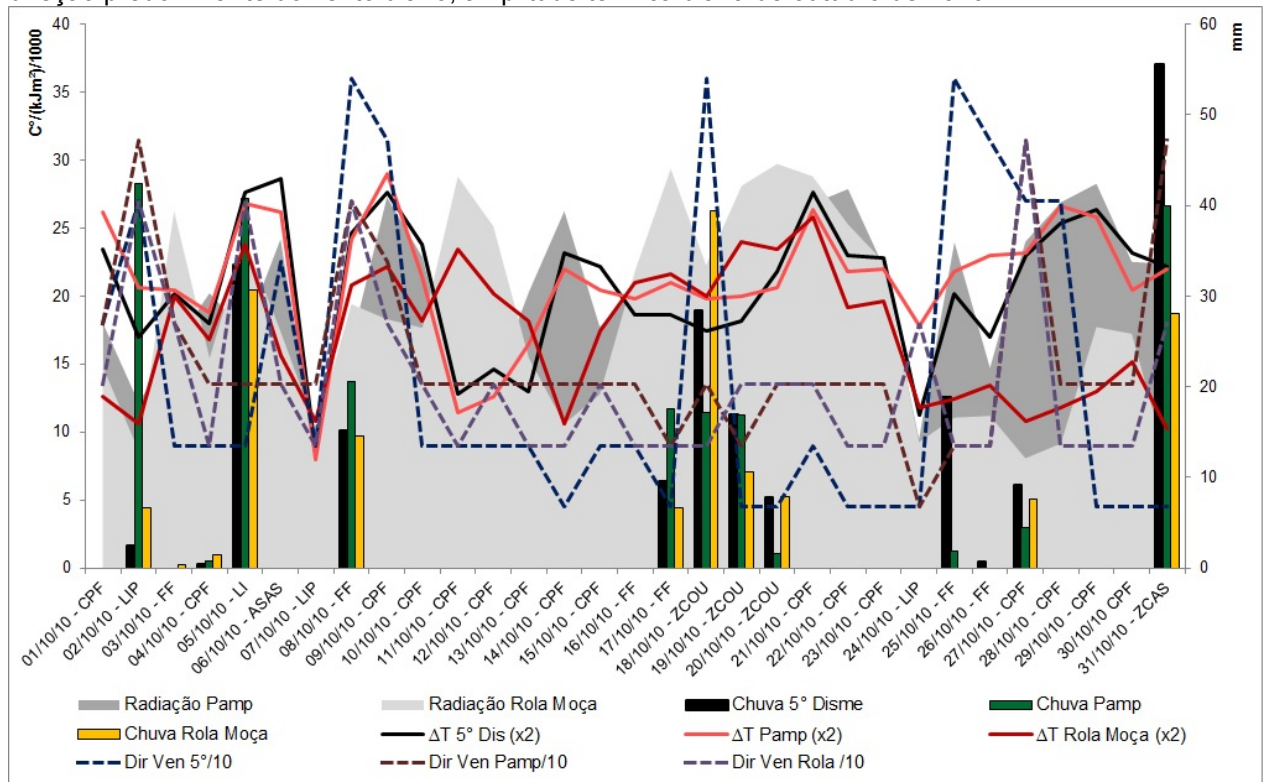
<b>Escala zonal</b>
Evolução do episódio La Niña. O índice ONI <sup>51</sup> foi registrado -1,4 pelo NCEP/NOAA. O Climanálise (2010a) destacou as anomalias positivas de TSM no Atlântico, entre o Caribe e norte da AS até a costa da África, onde variaram entre 1°C e 2°C acima da média e anomalias negativas de TSM na região do Atlântico Sul. Em relação à PNM, particularmente “[...] na região de atuação do sistema de alta pressão semipermanente, onde se observou uma área de anomalia negativa centrada em aproximadamente 30°S/30°W (CLIMANÁLISE, 2010a, p.6).
<b>Escala regional/sinóticos</b>
Em altos níveis, o Climanálise (2010a) destacou a atuação do JST, que atuou sobre o norte da Argentina e Chile, com magnitude média mensal de 40 a 50 m/s. No escoamento médio mensal, o centro da AB esteve configurado em aproximadamente 12°S/56°W, a SE de sua posição climatológica. Ocorreram nove episódios de VCAN sendo que os que se configuraram sobre o NEB caracterizaram o escoamento típico de verão e outros estiveram associados à bifurcação do jato entre 30°-50°S. Em baixos níveis, observou-se a atuação de quatro episódios FF, dos nove listados pelo Climanálise: um associado à ZCOU, que não se configurou como ZCAS devido ao posicionamento do VCAN, no eixo de bifurcação do Jato, três de LIP, associados à vanguarda das FF e um de LI, associados aos cavados na média troposfera.
<b>Escala local</b>
O total mensal de precipitação foi anormalmente positivo nos seguintes postos pluviométricos: P3, P5, P6, P7, P8, P9, P11, P12 e P17, com percentuais maiores que 30% no P17, P7 e P5, nas demais houve anomalia negativa, a menor no P15, aproximadamente 20%. Foram 10,3 dias de chuvas, em média, assim como a média climatológica de 1960-1991 (P17). Os quatro episódios de FF desencadearam acúmulo médio (V8) de 54 mm, particularmente o segundo e o terceiro, como se observa no gráfico 17. O segundo sistema que mais ocasionou chuvas foram as LI, 23%, um único gerou acumulado médio de 33 mm (V8) e com uma duração média de 7 horas (V2). 22% foram ocasionados por LIP, foram três eventos associados à vanguarda das FF, elas ocasionaram V8 de 31 mm, a primeira durou 4,4 horas, V8 de 19,5 mm, a segunda com V2 de 2,3 horas, V8 de 1,2 mm, e a terceira, V2 de 4 horas, com V8 de 10,2 mm. O único evento de ZCOU gerou V8 de 23,6 mm, com V2 de 6 horas, a primeira ZC da estação chuvosa 2010-11.
<b>Escala topoclimática</b>

<sup>51</sup> ONI (OCEANIC NIÑO INDEX) é baseado na anomalia de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) da região Niño 3.4, considerada pelo NCEP/NOAA o principal índice para definição de eventos de EN e LN. Eventos de EN são caracterizados por valores maior ou igual +0,5°C e valores de LN menor ou igual a -0,5°C, da temperatura média sazonal, a partir da média móvel de três meses consecutivos, juntamente com padrões atmosféricos consistentes com a ocorrência do fenômeno. A intensidade é dada pelo distanciamento de zero, entre (-) 0,5 a (-) 0,9, EN (LN) de fraca intensidade, de (-) 1,0 a (-) 1,4 de moderada intensidade e maior ou igual a (-) 1,5, de forte intensidade.

Fonte: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml). Acesso em 19 de junho de 2014.

As chuvas originárias de FF apresentaram altos valores de V5 e V6 para os eventos de menores valores de V8 e maiores tendências à homogeneidade para os de maiores acumulados. O segundo de FF gerou maiores acumulados nas Regionais Pampulha, Norte e Venda Nova, em que as chuvas foram de maior intensidade, classificadas como forte no P7 e nas demais como moderada. O terceiro evento de FF ocasionou o maior acumulado, até porque foi o único com duração de três dias. O maior valor de V8 ocorreu no P16, assim como V10. Classificadas como moderadas, essas chuvas apresentaram-se mais homogêneas, devido aos menores valores de V5 e V6 (27,5 e 33,8). O único evento de LI apresentou-se de forma homogênea devido aos baixos valores de V5 e V6 (29,6% e 40,0%), os maiores acumulados ocorreram nos postos P5, P6, P7, P11 e P12, em todos eles as chuvas foram de forte intensidade, sendo que em uma hora ocorreu 60% do acumulado. Os menores valores ocorreram no Barreiro e no extremo Nordeste de Belo Horizonte. Os eventos de LIP foram semelhantes, já os eventos 1 e 3, com maiores valores de V5 e V6, entre 50 e 90, apresentaram maiores valores de V8. O segundo caso apresentou os menores valores de CV devido ao baixo acumulado, V8 foi 1,18 mm. Os maiores acumulados do primeiro evento ocorreram na Pampulha, como se verifica no gráfico 17, assim como a intensidade, com chuvas muito fortes no P15 e forte nos postos P5, P7 e P11. As chuvas geradas pela ZCOU apresentaram-se homogêneas, com baixos valores de V5 e V6, os maiores acumulados ocorreram na porção leste, onde as chuvas foram de forte intensidade.

Gráfico 17 – Somatório diário da radiação solar, precipitação diária nos postos P15, P16 e P17, direção predominante do vento diário, amplitude térmica diária de outubro de 2010.



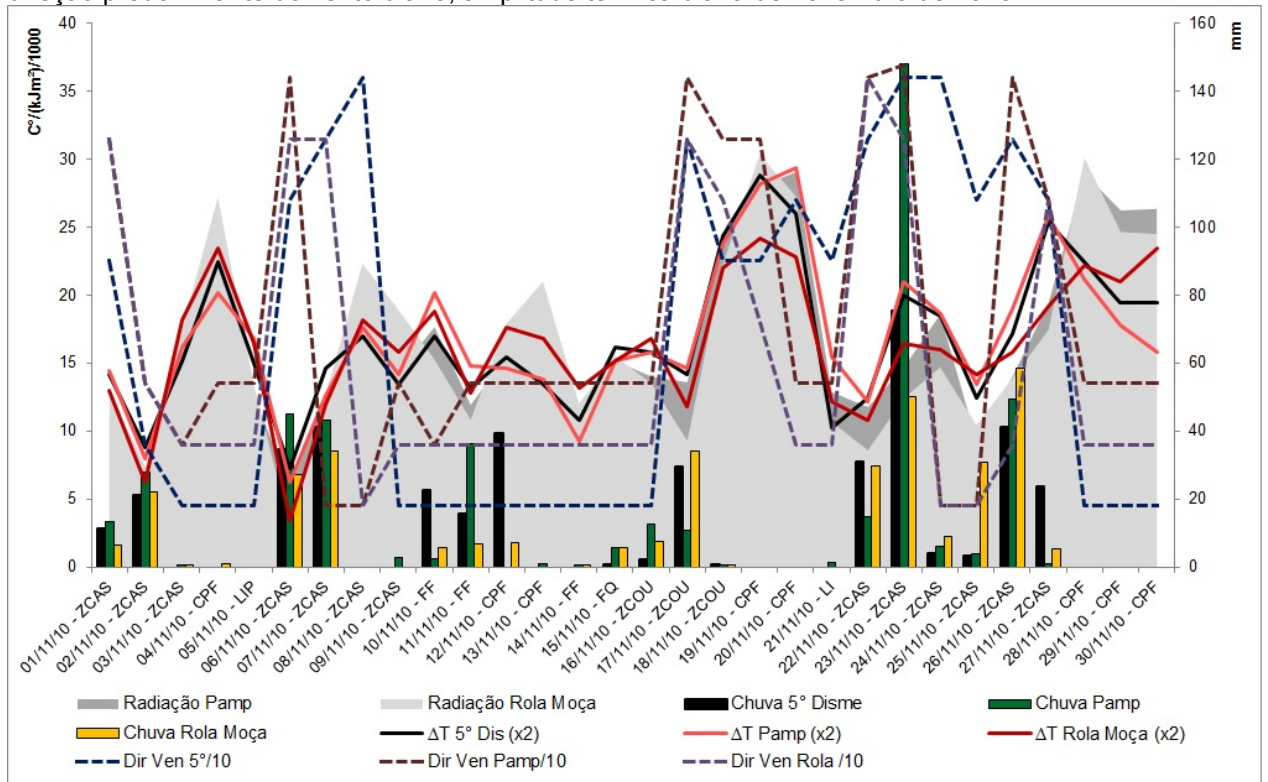
Fonte de dados: INMET.

## Quadro Síntese Mensal de Novembro de 2010

<b>Escala zonal</b>
Evolução do episódio La Niña. O índice ONI foi registrado -1,5, pelo NCEP/NOAA. Segundo o Climanálise (2010b), o Atlântico Norte, incluindo a faixa equatorial, continuou apresentando anomalias positivas de TSM, e no Atlântico Sul os campos de TSM ficaram dentro da média climatológica. Nas maiores latitudes as anomalias de TSM continuaram positivas. O boletim ainda destacou o fortalecimento do ASPS, particularmente na costa oeste da AS. Já no Atlântico Sul as anomalias negativas nas áreas subtropicais e positivas em maiores latitudes foram consistentes com a situação de bloqueio verificada, particularmente, na segunda quinzena, o que comprometeu a incursão de SF no sul do Brasil e favoreceu a persistências de ZC.
<b>Escala regional/sinóticos</b>
Segundo o Climanálise (2010b), a AB esteve bem configurada em 24 dias do mês, em média posicionou-se em 11°S/59°W, próximo de sua posição climatológica. Em relação ao VCAN, o boletim destacou três curtos episódios ao norte de 15°S. Os outros estiveram associados a bifurcação do Jato Subtropical em torno de 30°- 45°S. O Jato atuou com maior frequência sobre o norte do Chile e Argentina, centro-sul do Paraguai e sul do Brasil, com magnitude média entre 30 m/s e 40 m/s, notou-se o seu eixo deslocado um pouco mais ao norte, porém dentro da magnitude esperada para o mês de novembro (CLIMANÁLISE, 2010b). Em baixos níveis, sobre Belo Horizonte, foram identificados três eventos de ZCAS, um de ZCOU, duas FF, uma FQ, uma LI e uma LIP.
<b>Escala local</b>
O total mensal de precipitação foi anormalmente positivo em todas as estações meteorológicas, a maior anomalia positiva ocorreu no P5, 81,0%, seguido do P15, 76,4%, e a menor foi no P10, 27,7%. Foram 20,4 dias em média de chuvas, enquanto na média climatológica são 14. Ao analisar o gráfico 18, verifica-se diminuição de radiação solar na superfície devido ao número de dias de chuvas associadas às ZC, quando houve predomínio de ventos oriundos de W/NW. Nesses respectivos eventos e de NE/E/SE quando associados a chuvas oriundas de sistemas mais transientes, nota-se que elas foram ininterruptas de 09 a 18, ocasionada por uma sequência de diferentes sistemas, bem caracterizadas pela direção predominante do vento nas três estações do INMET. Os maiores acumulados ocorreram nos eventos de ZCAS, particularmente, no terceiro, quando V8 foi de 176,7 mm, V2 de 35 horas, em seis dias, e V11 de 30,9 mm/h. O primeiro evento de ZCAS teve V1 de 4 dias, V2 de 22 horas, V8 de 74,8 mm e V11 de 17,2 mm/h. O segundo apresentou V1 de 4 dias, V2 de 20 horas, V8 de 55,7 mm, V11 de 11,5 mm/h. O evento de ZCOU teve V1 de 3 dias, V2 de 8 horas, V8 de 25,8 mm e V11 de 12,4 mm/h. Os eventos FF tiveram atuação de dois dias, um com V8 de 32,9 mm em média de 9 horas (V2) e V11 de 17,2 mm/h (moderadas). O outro gerou muito pouca chuva (menor de 2 mm). A FQ teve V8 de 11,7 mm, com V2 de 6 horas e V11 de 7,2 mm/h (fracas), assim como as LI que tiveram V2 menores, mas também ocasionaram baixos percentuais das chuvas acumuladas e de fraca intensidade.
<b>Escala topoclimática</b>
Os maiores valores de CV ocorreram no segundo evento de FF, onde foi registrado o menor acumulado, V8 correspondeu a 0,60 mm. O primeiro evento já apresentou menor variabilidade espacial, com valores de V5 e V6 iguais a 63,1. Esse evento gerou chuva de intensidade muito forte (V10) de 35,0 mm/h no P12, seguido do P5, P4 e P2. Já nos demais, particularmente no Barreiro e norte do município de Belo Horizonte, os acumulados foram menores e as chuvas de fraca intensidade. Os eventos de LI e FQ apresentaram V5 e V6 entre 70,4 e 84,3, no primeiro V8 foi 1,35 mm e V10 2,8 mm/h, já no segundo, V8 foi 11,7 mm e V10 21,8 mm/h, esse evento teve V2 de 6 horas, e ocorrência de chuvas fortes no P12, moderadas no P1 e P9, fracas nas demais. As chuvas originárias de LIP apresentaram V5 e V6 de 56,2 e

57,6, com V8 12,6 mm e V10 de 13,8 mm/h, as chuvas foram moderadas no P5, P6, P8, P9 e P12, nas demais de fraca intensidade. As ZC apresentaram os menores valores de CV, entre 11,9, V5 do evento de ZCAS, e 37,2, V6 do evento de ZCOU. Todos eles apresentaram baixos valores de CV tanto em relação ao acumulado como a intensidade. No primeiro evento de ZCAS, as maiores intensidades ocorreram no P3, P4, P5 e P15, onde as chuvas foram de fortes intensidades. Nos demais foram moderadas. No segundo evento de ZCAS, foi registrado V10 de 17,2 mm no P7, 16 mm/h no P5 e nos demais as chuvas foram menores de 13 mm/h. O último evento gerou chuvas muito fortes em todos os postos, o valor de V10 (46 mm/h) foi registrado no P15.

Gráfico 18 – Somatório diário da radiação solar, precipitação diária nos postos P15, P16 e P17, direção predominante do vento diário, amplitude térmica diária de novembro de 2010.



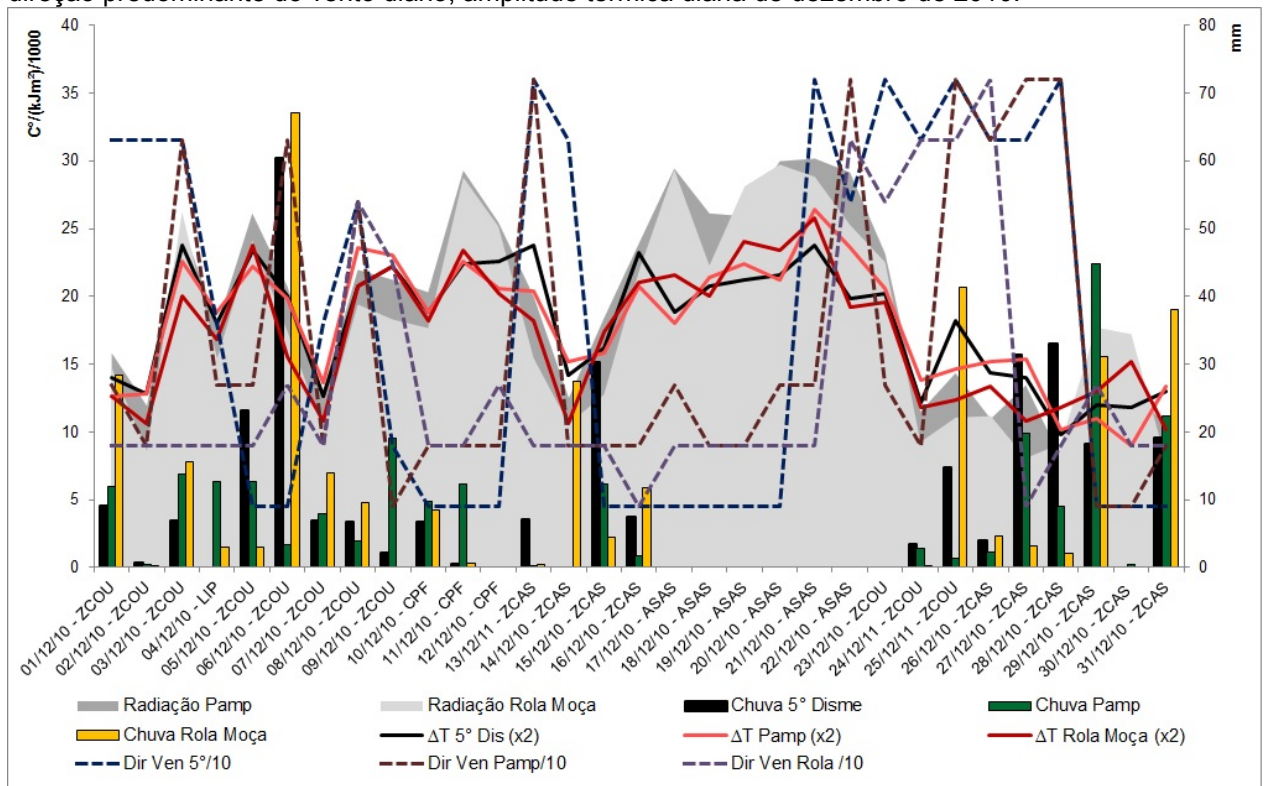
Fonte de dados: INMET.

## Quadro Síntese Mensal de Dezembro de 2010

<b>Escala zonal</b>
Fase madura do episódio La Niña. O índice ONI foi registrado -1,4 pelo NCEP/NOAA. O Climanálise (2010c) destacou a intensificação da Célula de Walker, como consequência do episódio frio do ENOS, com ventos de oeste mais fortes, em altos níveis, assim como enfraquecimento dos ventos alísios próximo à costa norte e nordeste da América do Sul, em baixos níveis. Sobre a América do Sul, o Climanálise (2010c) destacou dois centros anômalos: um anticiclônico, em torno de 20°S, e outro ciclônico, em torno de 35°S, refletindo o deslocamento do JS para latitudes mais ao sul, especialmente durante a segunda quinzena de dezembro.
<b>Escala regional/sinóticos</b>
A anomalia média de ROL, no mês, mostrou-se positiva sobre a região sul do Brasil e negativa sobre as regiões norte e nordeste, como esperado devido à intensidade do fenômeno LN. Na primeira quinzena, o JS esteve mais ao norte e com maior intensidade sobre o setor central da AS, “[...] o que foi consistente com o maior número de SF, variou entre 30 m/s e 40 m/s e foi notado nos setores centrais do Chile e Argentina, no Uruguai e extremo sul do Brasil” (CLIMANÁLISE, 2010c, p.22). A AB esteve bem configurada durante 26 dias do mês, ao sul de sua posição climatológica, preferencialmente sobre a Bolívia e o Centro-oeste (CO) brasileiro (19°S/64°W). O VCAN tropical atuou ao longo de todo o mês sendo que no início da primeira quinzena se posicionou ao norte do NEB, de maneira bastante variável entre os dias 10 a 21, e de 28 a 31, a leste do NEB. Em baixos níveis, o campo de anomalia de PNM, em 850 hPa, apresentou-se negativa ao sul de 40°S e dentro da normalidade climatológica para o restante do continente. Segundo o Climanálise (2010c), foram três episódios de ZC, sendo as ZCAS bem configuradas entre os dias 13 a 17 e 27 a 31. Verificou-se dois eventos de ZCOU nesse período, um entre os dias 01 e 02 e outro entre os dias 05 e 09. Ainda verificou-se a atuação de um evento de LIP (dia 04) e um devido à CPF (dia 10), associados ao segundo evento de ZCOU, que gerou maior acumulado mensal.
<b>Escala local</b>
O total mensal de precipitação foi anormalmente positivo nas estações pluviométricas da Regional Barreiro (P1 e P16) e Centro-Sul (P4), assim como no extremo oeste (P3). A maior anomalia foi no P4, em que o total mensal foi 26,3% a mais que a média climatológica (292 mm). A região central, norte, noroeste e nordeste de Belo Horizonte caracterizaram-se pela anomalia negativa, o menor acumulado mensal ocorreu no P9, foram 40,75% a menos que a média. Foram 19,9 dias de chuvas, em média, considerando todas as estações analisadas, sendo a média climatológica de 1960-1991 para o P17, 16 dias. Entre os dias 17 e 23 os valores de radiação foram os mais altos, assim como a amplitude térmica, devido à ausência de chuvas, como mostra o gráfico 19. Os menores valores foram registrados nos últimos dias do mês, acompanhados de ventos do quadrante W/NW/N em todos os postos do INMET.
<b>Escala topoclimática</b>
A partir dos valores de CV verificou-se que eles foram mais altos para os sistemas de ocorrência média de 1 dia. O episódio de CPF apresentou os maiores valores, V5 igual a 148,4% e V6 igual a 143,1%, o V8 correspondeu a 4,50 mm e V10 14,4 mm/h, no P7, seguido do P11 (11,6 mm/h) e P15 (11,8 mm/h). As demais chuvas foram de fraca intensidade (V8 menores de 2 mm). O evento ocasionado por LIP teve V5 de 83,4% e V6 de 91,8%, V8 igual a 14,6 mm e V10 32,4 mm/h, enquanto V11 foi 12 mm/h. As chuvas foram muito fortes no P10, seguido do P4 (30,4 mm/h) e forte no P5 (25,2 mm/h), nos demais as chuvas foram de moderada a fraca intensidade. O primeiro e terceiro evento de ZCOU apresentaram V5 em torno de 40,0% e V6 de 45,0%, V8 em torno de 20 mm. No primeiro V10 foi 15,2 mm/h e V11 7,2 mm/h e no segundo V10 foi 20,4 mm/h e V11 17,4 mm/h. No primeiro evento, V10 ocorreu no P16 (chuvas moderadas) e os demais registraram chuvas fracas, como a média

(V11). No segundo, V10 foi registrado no P1 (chuva forte), seguido do P16 (moderada) e fracas nas demais, em função da atuação da ZC no eixo sul de Minas. O segundo evento de ZCOU, de maior acumulado no mês, apresentou V5 de 26,5% e V6 de 36,7%, quando V8 foi 88,6 mm, V11 25,0 mm/h (chuvas fortes, em média) e V10 39 mm/h (chuvas muito fortes). O maior acumulado ocorreu no P4, seguido do P10, P1 e P2. As maiores intensidades, acima de 30 mm/h, ocorreram no P16, P10, P6 e P4, já os demais apresentaram V10 maior que 18 mm/h (chuvas fortes) e P7 e P9 moderadas. O primeiro evento de ZCAS apresentou V5 igual a 57,9%, V6 64,6%, V8 igual a 35,7, V2 igual a 17 horas, V11 igual a 12,49 mm/h e V10 igual a 27,2 mm/h. O maior acumulado (78 mm), assim como a maior intensidade, foram registradas no P16, seguido do P2 e P5, com chuvas fortes e moderadas a fracas nas demais, particularmente nos postos das Regionais Norte, Nordeste, Pampulha e Venda Nova.

Gráfico 19 – Somatório diário da radiação solar, precipitação diária nos postos P15, P16 e P17, direção predominante do vento diário, amplitude térmica diária de dezembro de 2010.



## Quadro Síntese Mensal de Janeiro de 2011

### Escala zonal

Fase madura do episódio La Niña. O índice ONI foi registrado -1,4 pelo NCEP/NOAA. Segundo o Climanálise (2011a), o campo de anomalia de ventos mostrou os alísios mais fracos na região equatorial do Atlântico. As anomalias de TSM continuaram abaixo da climatologia na maior parte do Pacífico Equatorial e Leste, com diminuição das anomalias negativas adjacentes à costa oeste da América do Sul, em comparação com dezembro de 2010. No Atlântico Norte, as anomalias positivas de TSM persistiram e os maiores valores foram observados próximos à costa NW da África. O sinal positivo da OMJ persistiu até meados de janeiro, o que favoreceu e intensificou o segundo episódio de ZCAS.

### Escala regional/sinóticos

A anomalia média de ROL apresentou-se negativa sobre a região Norte e Nordeste do Brasil. Por outro lado, as anomalias positivas ocorreram ao sul do NEB e em todo SB, devido à atuação da ZCAS ao sul de sua posição climatológica. As anomalias positivas também ocorreram sobre o setor sul da Bacia La Prata e refletiram a atual condição de LN. A anomalia de ventos em 200 hPa mostrou um anticiclone atuando na costa do SB, que, segundo o Climanálise (2011a), explica a baixa atividade de SF sobre a AS. Essa anomalia de vento em 200 hPa mostra também que o JS atuou ao sul da sua posição climatológica, com ventos de magnitude inferior a 30m/s. A AB esteve bem configurada durante 29 dias do mês, a SW de sua posição climatológica, preferencialmente sobre o sul do Peru, norte do Chile e Pacífico adjacente (20°S/70°W). O VCAN tropical atuou ao longo de todo o mês de janeiro de 2011 sobre o leste da AS e oceano adjacente. A relação entre a atividade convectiva e o posicionamento do VCAN (através das médias da atividade convectiva dada pela Temperatura de Brilho Médio em períodos pênadais) mostra que o seu posicionamento na segunda pênada (6 a 10/01/2011), quarta (16 a 20/01/2011) e quinta (21 a 25/01/01/2011) não permitiu a convecção sobre o sul do NEB e centro-norte de MG e Espírito Santo. O Climanálise (2011a) destacou a atuação de três episódios de ZCAS, entre os dias 01 a 07/01, continuidade do último de dezembro (sendo de 26/12 a 07/01), o segundo ocorreu de 11 a 19 e o terceiro posicionou-se ao sul da posição climatológica, atuando entre norte do RS e SP.

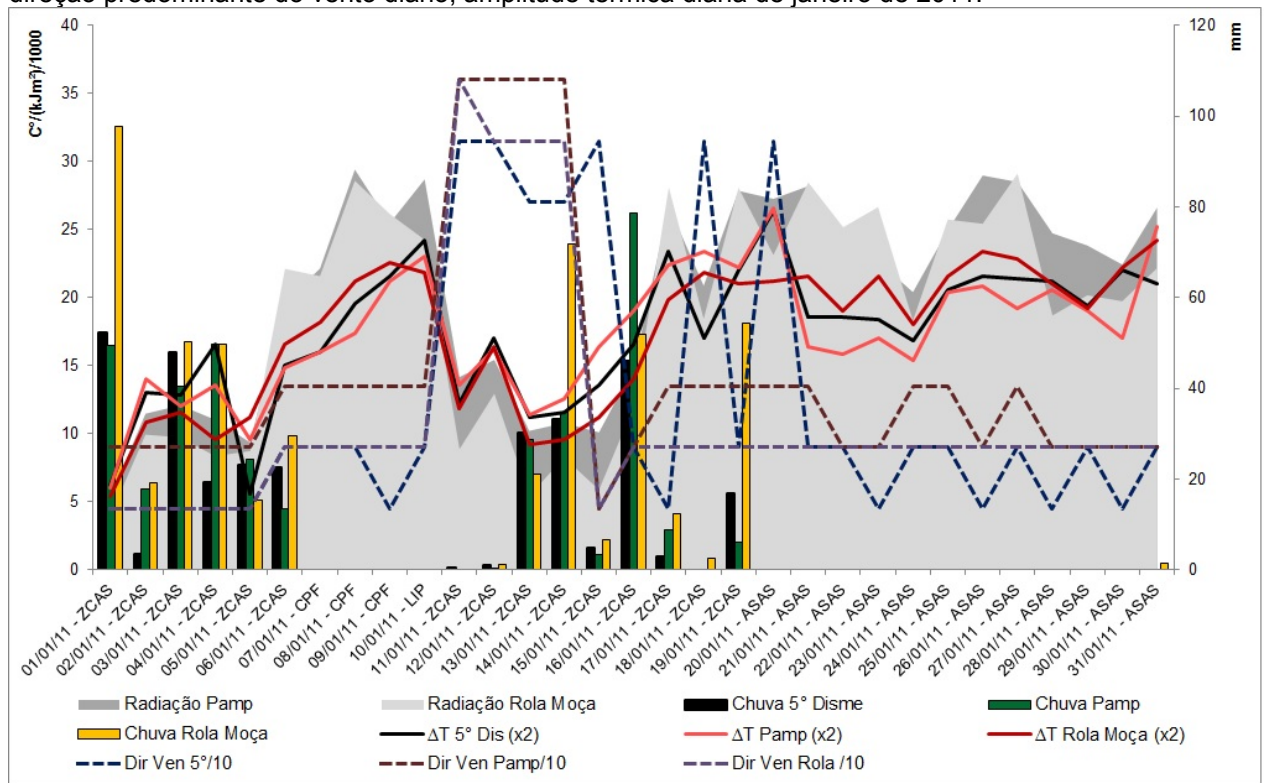
### Escala local

O total mensal de precipitação foi anormalmente positivo nas estações pluviométricas da Regional Barreiro e Centro-Sul (P16, P1, P2, P4), assim como P3 e P15. A maior anomalia ocorreu no Rola Moça, em que total mensal foi 77% a mais que a média climatológica (274,1 mm, para o P17). A região central, norte, noroeste e nordeste de Belo Horizonte caracterizaram-se pela anomalia negativa. O menor acumulado mensal ocorreu no P9, foram 41,19% a menos que a média. Foram 13,18 dias de chuvas, em média, considerando todas as estações analisadas, sendo a média climatológica de 1960-1991 para o P17, 15 dias. Ao analisar o comportamento das variáveis atmosféricas na escala diária, a amplitude térmica e a radiação solar incidente a superfície foram menores nos primeiros cinco dias, em função da permanência da banda de nebulosidade. O mínimo registrado nesse período ocorreu no dia 01, devido ao sétimo dia de ocorrência da ZCAS. Entre os dias 06 e 10 e 17 e 31 os valores de radiação foram os mais altos, assim como a amplitude térmica, devido à ausência de chuvas, a maior foi no dia 20/01, 13,3°C, representado no gráfico 20. Os ventos foram predominantes de E e NE no P17 e P16 e de E e SE no P15, ao longo do mês. Entretanto entre os dias 11 e 15 verifica-se o escoamento predominante de W/NW/N em função do escoamento do segundo episódio de ZCAS. No primeiro, V8 correspondeu a 261,7 mm, V2 a 120 horas, em 12 dias de atuação da ZC e ocasionou chuvas de intensidade média (V11) de 19 mm/h (chuvas fortes). No segundo, V8 foi 145,9 mm, V2 - 47 horas, em 7 dias, com chuvas de intensidade média de 29,2 mm/h.

### Escala topoclimática

A partir de V5 e V6 verifica-se que nos dois eventos as chuvas foram homogêneas. No primeiro, V5 correspondeu a 16,4% e V6 a 35,4%, sendo que a maior intensidade ocorreu no P7 (chuvas muito fortes), nos postos P1, P2, P4, P11 e P16 as chuvas foram fortes e nos demais moderadas. No segundo, V5 foi 28,2% e V6 43,6%, V10 foi 54,2 mm/h, a maior intensidade entre todos os eventos, no P15, seguido do P5 (53,0 mm/h). As chuvas também foram de intensidade muito forte, em torno de 30 mm/h, nos postos do Barreiro, Oeste e Centro-Sul, em torno de 20 mm/h no Leste e menor de 18 mm/h no Norte, Nordeste e na Regional Venda Nova. Verificou-se nos dois eventos de ZCAS que as chuvas foram mais duradouras no Barreiro, mas não de maiores intensidades, localizadas na porção central a noroeste do município.

Gráfico 20 – Somatório diário da radiação solar, precipitação diária nos postos P15, P16 e P17, direção predominante do vento diário, amplitude térmica diária de janeiro de 2011.



Fonte de dados: INMET.

## Quadro Síntese Mensal de Fevereiro de 2011

### Escala zonal

O Climanálise (2011b) ressaltou o enfraquecimento do fenômeno LN ao longo do mês de fevereiro. O campo de anomalia de PNM evidenciou o seu típico padrão, ou seja, anomalias positivas estendendo-se por todo o Pacífico Central e Leste e anomalias negativas em parte do Pacífico Oeste e Oceano Índico. Esse padrão foi consistente com a baixa frequência dos SF sobre o sudeste da AS. O campo de anomalia de ROL mostrou que a ZCIT atuou ao norte de sua posição climatológica, e ainda destacou que os ventos alísios foram mais fracos que a climatologia.

### Escala regional/sinóticos

A anomalia média de ROL mostrou-se positiva sobre o extremo sul da Região Sul do Brasil, negativa nos estados do Paraná e sul de São Paulo, na porção ocidental do continente e sobre a Região Norte e extremo norte do NEB, como esperado devido atuação do fenômeno LN. O centro-leste do NEB e praticamente todo SB apresentaram anomalias positivas de ROL, na média mensal do mês de fevereiro. As imagens de temperatura de brilho médio por pântadas, presente no Climanálise (2011b), mostraram o posicionamento médio do VCAN próximo ao leste do NEB e SB, o que contribuiu para inibição das chuvas nos estados da BA, MG, ES e RJ. O único evento de ZCAS do mês (entre 09 e 16) se configurou como o último do mês anterior (entre o extremo oeste da Amazônia, o CO, norte da Região Sul e extremo sul do SB). Em altos níveis, o Climanálise (2011b) destacou a bifurcação do Jato, o que resultou numa maior variabilidade espacial do JS, que esteve mais intenso sobre o norte da Argentina, Uruguai e sul do Brasil. O seu fortalecimento no início de fevereiro favoreceu o deslocamento do segundo SF, no litoral sul do país, e no dia 25, quando voltou a intensificar-se, sua magnitude chegou a 50 m/s, sobre o nordeste da Argentina. A AB esteve bem configurada durante todos os dias do mês, ao sul de sua posição climatológica, preferencialmente sobre o SW da Bolívia (20°S/66°W). O VCAN tropical atuou ao longo de todo o mês fevereiro de 2011, entre os dias 01 e 23 ele se configurou ao sul de sua posição climatológica, sobre o estado da Bahia e norte e leste de MG, o que não permitiu a formação de nuvens e forçou o posicionamento do único evento de ZCAS ao sul de sua posição climatológica. Os dois eventos de chuvas foram ocasionados por FF que atuaram sobre o SB, um entre os dias 31 e 01 e outro entre os dias 23 e 26. A partir do dia 27 o escoamento passou a predominar de NW e houve a formação de uma ZCAS que perdurou até dia 09 do mês seguinte.

### Escala local

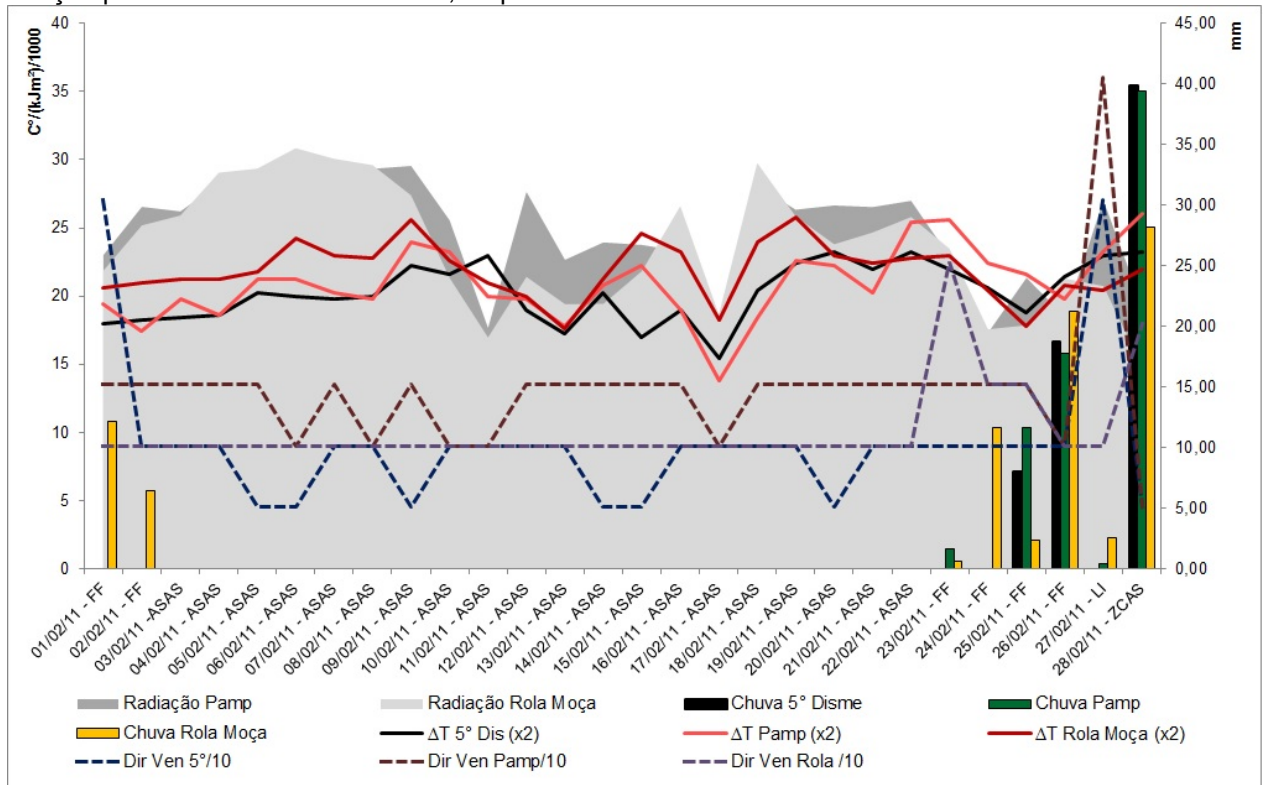
O total mensal de precipitação foi anormalmente negativo em todas as estações pluviométricas. A maior anomalia negativa foi no P8, -85,2% (retirado os postos 2, 6, 9, 13 e 14 devido ao grande número de falhas). A menor anomalia foi no P16, -58,7 mm, em relação à média climatológica de 206,30 mm. Somente na Regional Barreiro choveu nos dois primeiros dias de fevereiro, e depois só na última pântada do mês, foram 5 dias, em média de chuvas, sendo a média climatológica 12. O maior número de dias de chuvas foi no Rola Moça, 8 dias, e o menor número na estação convencional do INMET (P17) e no posto Santa Lúcia (P4), ambos na Regional Centro-Sul, com registro em apenas 3 dias. O gráfico 21 mostra a forte incidência de radiação à superfície nos primeiros dez dias, com elevados valores de amplitude térmica. No restante do mês, houve variação de radiação, particularmente entre os dias 10 e 15, em função da diminuição da pressão atmosférica que desencadeou também diminuição da amplitude térmica. Os ventos foram significativamente do quadrante E/SE, em função da atuação do ASAS.

### Escala topoclimática

O primeiro evento de chuva apresentou os maiores valores de CV, tanto de acumulado (V5), como de intensidade (V6), dos 72 eventos de chuvas identificados nas duas estações. Essas chuvas foram originárias da atuação de uma FF sobre o

Sul do Brasil que ocasionou chuvas só na Regional Barreiro, com V8 de 5,2 mm, V2 de 1 hora, e V11 de 2,8 mm/h, entretanto verifica-se que V7 foi 50,6 mm (referente ao P1) e V10 24,8 mm/h, enquanto no P16, a máxima intensidade foi 6,0 mm/h, ou seja, só choveu no Barreiro, com grande diversidade espacial. O segundo evento apresentou V5 de 40% e V6 de 67,4%, as chuvas foram originárias de FF, com V8 de 26 mm, V2 de 4 horas, V11 de 9,4 mm/h, sendo que V10 foi 26,2 mm/h, no P7.

Gráfico 21 – Somatório diário da radiação solar, precipitação diária nos postos P15, P16 e P17, direção predominante do vento diário, amplitude térmica diária de fevereiro de 2011.



## Quadro Síntese Mensal de Março de 2011

### **Escala zonal**

Desintensificação do episódio LN. O índice ONI foi registrado -1,2 pelo NCEP/NOAA, entretanto continuou influenciando o padrão da convecção sobre o Brasil, com aumento na Região Norte e diminuição na Região Sul. O campo de anomalia de TSM do Atlântico mostrou áreas acima da média em grande extensão do Oceano Atlântico, especialmente nas proximidades da costa sul-africana, onde as anomalias positivas atingiram 2°C, “[...] nas regiões extratropicais do Atlântico Sul, também ocorreram anomalias positivas de TSM. A exceção ocorreu na região subtropical do Atlântico Sul e adjacente à costa sul do Brasil, onde se observou uma área de anomalias negativas de TSM” (CLIMANÁLISE, 2011c, p. 3). O campo de anomalia de PNM mostrou a atuação dos anticiclones semipermanentes mais intensos, o que contribuiu para o aumento da convergência sobre o SB, em baixos níveis.

### **Escala regional/sinóticos**

A anomalia média de ROL, no mês, apresentou-se negativa sobre as regiões CO e SB. Por outro lado, as anomalias positivas ocorreram sobre todo o NEB e no extremo sul do Brasil devido à atuação da ZCAS. O Climanálise (2011c) destacou que os ventos próximos à superfície estiveram mais fracos que o normal, consistente com a ocorrência de chuvas abaixo da média na faixa que se estende desde o norte do Maranhão até o nordeste da Bahia. Por outro lado, a circulação anticiclônica anômala próxima à costa sul e sudeste do Brasil, contribuiu com o aumento da convergência de umidade e consequentemente das chuvas em parte da Região Sul. Essa anomalia anticiclônica também foi identificada em altos níveis, o que favoreceu uma situação de bloqueio e forçou a restrição dos SF à Região Sul do país. O escoamento dos ventos em altos níveis mostrou que o JS apresentou-se mais enfraquecido sobre o setor central da AS no decorrer da primeira quinzena (CLIMANÁLISE, 2011c), o que caracterizou sua velocidade média menor que 30 m/s, nesse período a maior intensidade média ocorreu sobre o oceano. A partir do dia 14, o JS voltou-se a intensificar sobre o Sul do Brasil, favorecendo o avanço dos SF. A AB esteve bem configurada durante 19 dias do mês, a SE de sua posição climatológica (18°S/56°W), o que favoreceu a atuação da ZC sobre o SB. O VCAN tropical atuou em apenas 10 dias do mês, entretanto sua posição foi extremamente importante para o posicionamento das ZCAS. O VCAN subtropical também esteve bem configurado sobre o SW da Bolívia e Norte do Paraguai, o que também contribuiu para o posicionamento da ZCAS. O Climanálise (2011c) destacou a atuação de dois episódios de ZCAS, o primeiro entre os dias 28 a 09/03 e o segundo entre 11 a 19/03 e no final do mês (30 e 31), uma ZC configurou-se ao sul do SB, mas não se configurou como ZCAS, ao sul de sua posição climatológica.

### **Escala local**

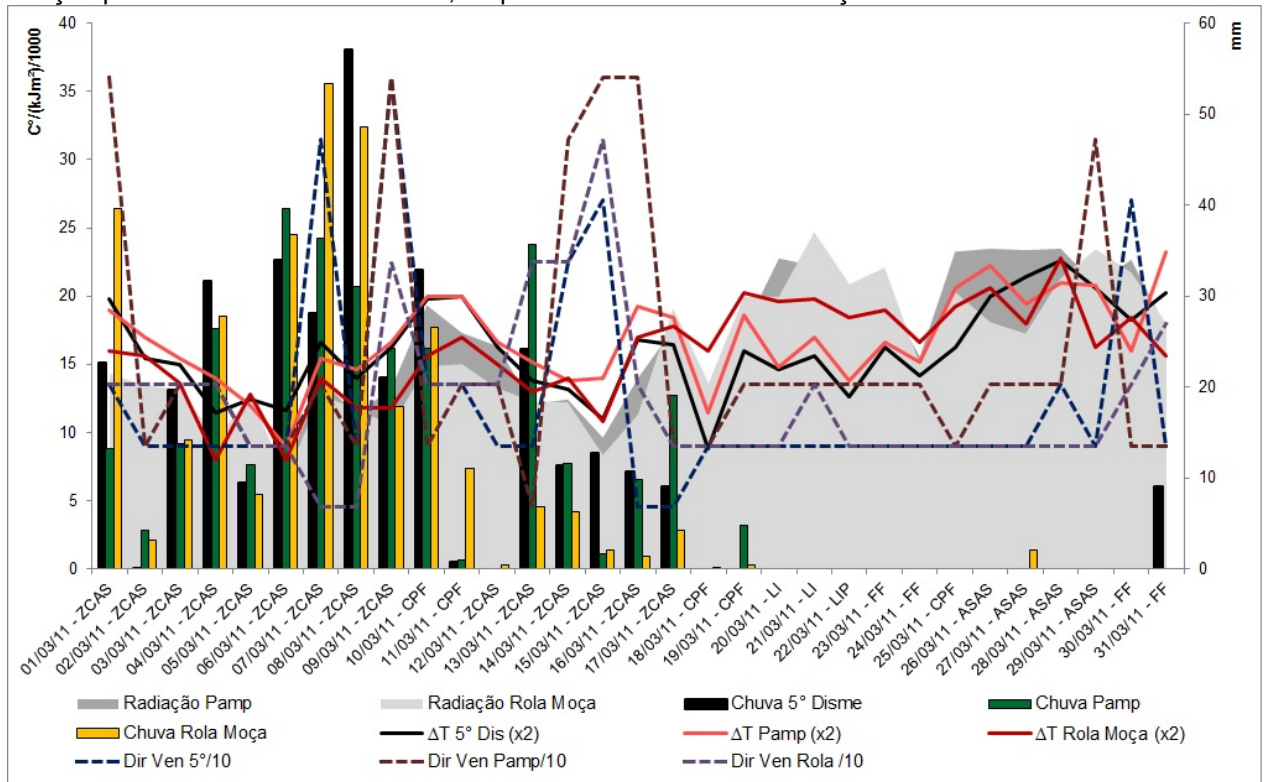
O total de precipitação mensal foi anormalmente positivo em todas as estações de Belo Horizonte. Em grande parte, houve mais de 100% de anomalia, a maior foi no P15, Pampulha, onde o total mensal foi 124,39% a mais que a média climatológica. Foram 17,2 dias de chuvas, em média, considerando todas as estações analisadas, sendo a média climatológica, de 1960-1991, 09 dias. Ao analisar o comportamento das variáveis atmosféricas na escala diária, a amplitude térmica mostrou-se congruente com o somatório da radiação solar incidente a superfície, como esperado, sendo menor nas três primeiras pênaldas. Em função da permanência da banda de nebulosidade, o mínimo registrado nesse período ocorreu no dia 06, devido ao sétimo dia de ocorrência da ZCAS, como mostra o gráfico 22. Entre os dias 09 e 10 houve aumento de radiação próximo à superfície e amplitude térmica, em função da atuação da CPF, e voltaram a diminuir do dia 12 até dia 15 em função do segundo episódio de ZCAS. Os ventos foram predominantes de E e SE nas três estações climatológicas do INMET. Entretanto, verifica-se o escoamento do quadrante N/NW/W associado à atuação das ZC e de E/NE associado à circulação anticiclônica, particularmente nas duas últimas pênaldas. As chuvas de ZCAS tiveram V8 de 215,7 e 70,0 mm, V2 de 87

e 23, sendo que a primeira atuou por 10 dias e a segunda por 5, V11 de 23,9 e 15,9 mm/h. As chuvas originadas de uma FF nos últimos dias do mês apresentou V8 de 23,4 mm, com V2 de 4 horas e V11 de 17,0 mm/h.

### Escala topoclimática

Os eventos de ZCAS apresentaram os menores valores de CV. No primeiro V5 foi 18% e V6 27,9% , no segundo teve V5 de 45,7% e V6 de 47,1%. O maior valor de V10 ocorreu no primeiro, 33,0 mm, no P7, assim como no P13, acompanhado de chuvas fortes no P5, P4, P8 e P14, com chuvas moderadas no P1, P12 e P10. A chuva foi mais duradoura no P16, 12 horas a mais, entretanto não apresentou maior acumulado de chuva. O segundo evento apresentou V10 de 28,2 mm no P9, 27,4 mm/h no P8, 19,4 mm/h no P15, 18,8 mm/h no P5 e moderada intensidade nos demais, exceto nos postos P1 e P16, que foram de fraca intensidade. A chuva foi mais duradoura no P10 e de maior acumulado no P8, devido à permanência da ZC no eixo norte de Minas Gerais. O evento de FF apresentou V5 de 67,6% e V6 79,6%, V10 de 51,4 mm no P5, 37,0 mm/h no P14, de forte intensidade no P9 e P15, e moderada a fraca intensidade nos demais.

Gráfico 22 – Somatório diário da radiação solar, precipitação diária nos postos P15, P16 e P17, direção predominante do vento diário, amplitude térmica diária de março de 2011.

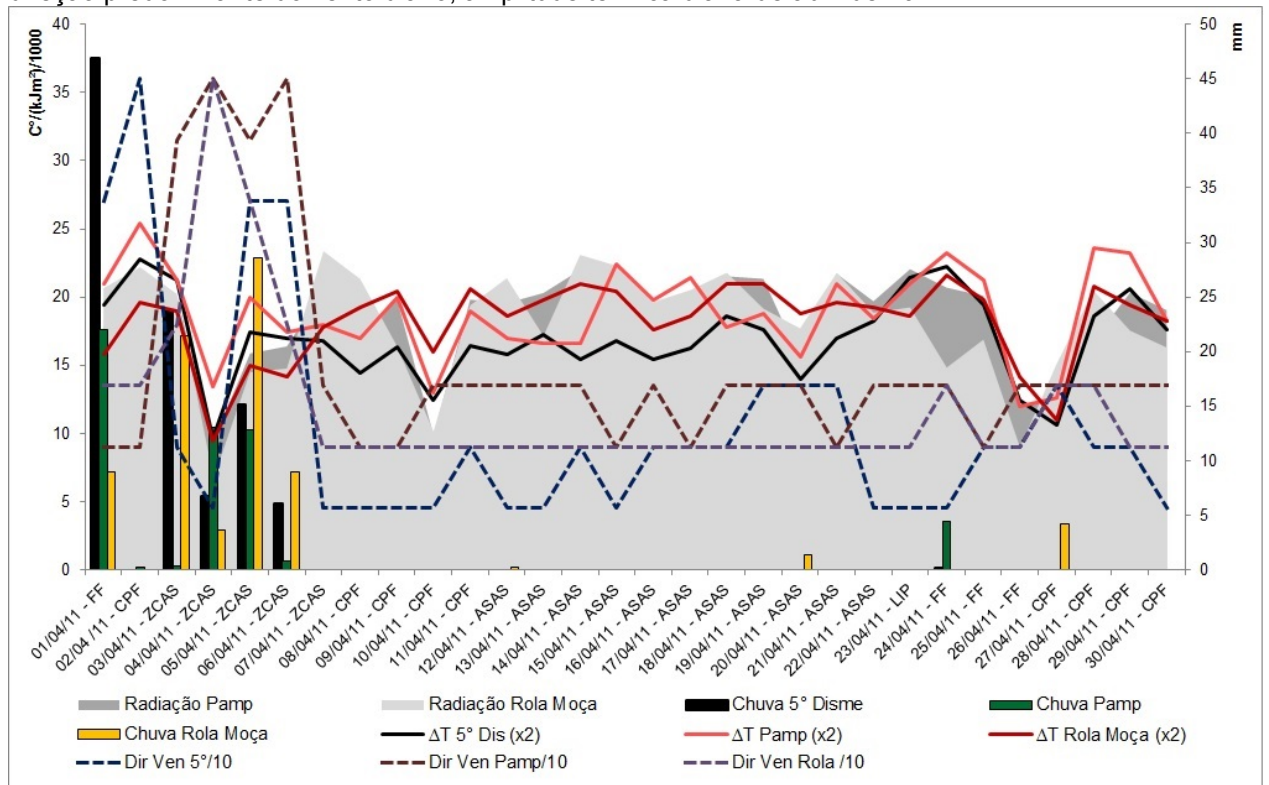


Fonte de dados: INMET.

## Quadro Síntese Mensal de Abril de 2011

<b>Escala zonal</b>
Desintensificação do episódio LN. O índice ONI foi registrado -0,9 pelo NCEP/NOAA. Segundo o Climanálise (2011d), o campo de anomalia mostrou os ventos de E mais intensos na região equatorial Atlântica, concomitante com ventos mais intensos que o normal em 200 hpa. O que contribuiu com a intensificação dos ventos alísios associados à atuação mais ao sul de sua posição climatológica, como aumento dos distúrbios de leste sobre o NEB.
<b>Escala regional/sinóticos</b>
A anomalia média de ROL apresentou-se positiva sobre a região CO e SB. Segundo as médias por pântadas de convecção por temperatura de brilho médio, na primeira e segunda houve atividade convectiva associada à banda de nebulosidade sobre o SB. Nas demais prevaleceu-se sobre o Norte e NEB e Região Sul do Brasil, devido à atuação mais ao sul do VCAN, que nos primeiros quinze dias atuou no litoral do NEB e na segunda quinzena no litoral e sobre o SB, contribuindo para ausência de convergência úmida e ocorrência de chuvas. O JS atuou mais ao norte de 30°S na primeira quinzena, o que também contribuiu para a formação das instabilidades sobre o SB. Na segunda quinzena predominou-se ao sul de 35°S, o que contribuiu para a estacionaridade dos SF na costa do RS. AB esteve bem configurada em torno de 10°S/58°W, próximo a sua posição climatológica, durante 14 dias do mês. O Climanálise (2011d) destacou a atuação de um episódios de ZCAS, entre os dias 03 a 07/04, o último da estação chuvosa 2010/2011.
<b>Escala local</b>
O total mensal de precipitação foi anormalmente positivo significativamente nos postos P1, P4, P16 e P17 e anormalmente negativo nas estações P8, P10 e P11, em relação à média climatológica de 55,8 mm. Foram 7 dias, em média, de ocorrência de chuvas, sendo 5 ocasionadas pela ZCAS, entre a primeira e segunda pântada do mês, dois dias a mais que a média climatológica. O evento de ZCAS apresentou V8 de 35,9 mm, com V2 de 14 horas, V11 de 11,7 mm/h. Para o evento de LIP foi verificado V8 de 0,79 mm, em 1 hora, e V11 de 0,46 mm/h e para o evento de FF, V8 de 1,37 mm, em 1 hora e V11 de 1,1 mm/h, como representado no gráfico 23.
<b>Escala topoclimática</b>
As chuvas oriundas de ZCAS apresentaram V5 e V6 de 69,4% e 80,8%, elas foram mais concentradas na porção S-SW de Belo Horizonte, onde houve ocorrência de chuvas muito fortes (P1 e P4). Nos postos P3, P9, P12 e P16 as chuvas foram moderadas e fracas nos demais. As chuvas oriundas de LIP apresentaram V5 de 192,7% e V6 de 169,4%, já que ocasionaram chuvas pontuais, com ocorrência média de 1 hora, registrado somente nos postos P16 e P4, com V10 2,2 mm/h, no P16. A FF também ocasionou chuvas com distribuição bastante heterogênea, V5 de 139,8% e V6 de 136,7%, por ocasionar chuvas de fraca intensidade (V10 de 3,8 mm/h) no P16, no extremo sul da capital.

Gráfico 23 – Somatório diário da radiação solar, precipitação diária nos postos P15, P16 e P17, direção predominante do vento diário, amplitude térmica diária de abril de 2011.



Fonte de dados: INMET.

## Quadro Síntese Mensal de Outubro de 2011

### Escala zonal

Evolução do episódio LN. O índice ONI foi registrado -0,8 pelo NCEP/NOAA. Segundo o Climanálise (2011e), o campo de anomalia PNM foi consistente com o padrão atmosférico associado, com o predomínio de valores positivos em toda a extensão do Oceano Pacífico. O Climanálise (2011e) destacou o enfraquecimento dos ventos alísios próximo à costa norte e nordeste da AS, em baixos níveis, devido ao enfraquecimento do sistema de pressão semipermanente do Atlântico Norte. Na região do Atlântico Sul, o ASAS deslocou-se para leste da sua posição climatológica, favorecendo a formação das ZC.

### Escala regional/sinóticos

Segundo o Climanálise (2011e), em média, no mês de outubro verificou-se o estabelecimento da AB e do cavado a leste da AS, já indicando características dos meses de verão sobre a AS e oceano adjacente. A anomalia média de ROL mostrou-se positiva sobre a Região Sul do Brasil e o NEB e negativa sobre as Regiões Norte, CO e SB. A partir da temperatura de brilho médio de topo das nuvens, verificou-se que a convecção no eixo da ZCAS sobre o SB foi maior na 3<sup>o</sup>, 4<sup>o</sup> e 5<sup>o</sup> pântada em função do primeiro episódio de ZCAS da temporada 2011/12. Em altos níveis, o Climanálise (2011e) destacou a atuação do JS, que atuou ao norte da Argentina, com magnitude de 50 a 70 m/s. No escoamento médio mensal, o centro da AB esteve configurado em aproximadamente 11°S/65°W, um pouco a sudoeste de sua posição climatológica. O VCAN se configurou em quatro episódios, no período de 12 a 14 foi associado à amplificação de um cavado, cujo eixo foi notado sobre o nordeste da AS e oceano adjacente. O Climanálise (2011e) destacou a atuação da ZC que atuou no início de outubro, “forçada dinamicamente pelo cavado em médios e altos níveis” (CLIMANALISE, 2011e, 22p). Os eventos de chuva do mês foram ocasionados por essa ZCOU, seguindo de LI (2 casos), o primeiro episódio de ZCAS, que se configurou entre os dias 16 a 21, dois eventos de FF, ambos no final do mês, e uma FQ que se configurou na retaguarda dessa ZCAS, que atuava no eixo Pará-sul da Bahia.

### Escala local

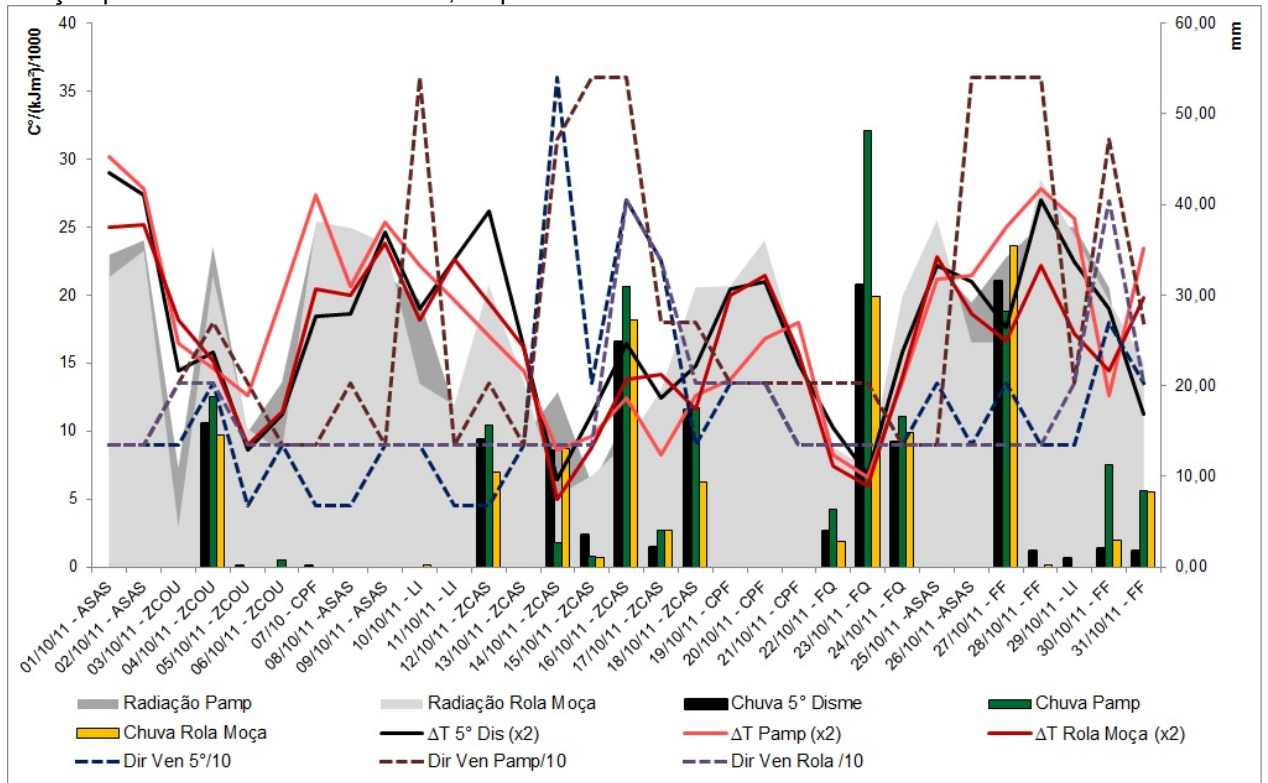
O total mensal de precipitação foi anormalmente positivo em todas as estações meteorológicas, exceto naquelas com registro de falhas maior de 10%. A maior anomalia positiva ocorreu no P15, 48,6%. As demais apresentaram anomalia em torno de 20%, sendo destaque a estação central, P5, com 27% de anomalia. Foram 13,33 dias de chuvas, em média, considerando todas as estações analisadas, 3 dias a mais que a média climatológica. Ao analisar o comportamento das variáveis atmosféricas na escala diária, a amplitude térmica mostrou-se congruente com o somatório da radiação solar incidente à superfície, como esperado, sendo bastante variável ao longo do mês. O mínimo registrado nesse período ocorreu no dia 03, no primeiro evento chuvoso da temporada, o que acarretou diminuição da amplitude térmica, como se verifica no gráfico 24. Nota-se que o evento de ZCOU apresentou escoamento de sul no P15, e SE no P16 e P17. O evento de ZCAS gerou o maior percentual de chuvas, 32%, seguido da FQ, que gerou 29% do acumulado mensal, as FF ocasionaram 19%, as LI - 12% e o episódio de ZCOU - 9%.

### Escala topoclimática

Os maiores valores de CV ocorreram no último evento de LI, onde foi registrado o menor acumulado (V8). O primeiro já apresentou menor variabilidade espacial, com valores de V5 e V6 menores que 50. Esse evento gerou chuva de intensidade muito forte, Vq0 de 30,8 mm/h no P4, seguido do P5, e V2 de 3 horas. O primeiro evento de ZCOU teve V8 de 14,2 mm, V2 de 8 horas, em um dia, e V10 de 18,6 mm, os baixos valores de CV (menores de 15%) indicam como a chuva foi homogênea entre os postos. O evento ocasionado pela ZCAS apresentou V5 de 28,1% e V6 de 46,1%, sendo que os maiores acumulados ocorreram em P9, P4, P8, P14, P15, com V2 igual

29, em seis dias, o maior valor de V10 foi no P9, chuva forte, nas demais ocorreram chuvas moderadas. O evento de FQ apresentou o maior valor de V2, 46,5 horas, em três dias, V8 de 49,1 mm e V10 de 7,2 mm, o que caracteriza a persistência da precipitação de fraca intensidade ocasionando grandes acumulados diários de chuvas. Os eventos de FF apresentaram-se homogêneos, devido aos baixos valores de CV, o primeiro gerou um valor de V8 igual a 23,4 mm, com V2 igual a seis horas e V10 de 26,6 mm/h e chuvas fortes no P14. O segundo e último do mês teve V8 de 8,5 mm, com V2 de 5,3 horas e V10 de 10 mm no P15, nos demais as chuvas foram de fraca intensidade.

Gráfico 24 – Somatório diário da radiação solar, precipitação diária nos postos P15, P16 e P17, direção predominante do vento diário, amplitude térmica diária de outubro de 2011.



Fonte de dados: INMET.

## Quadro Síntese Mensal de Novembro de 2011

### Escala Zonal

Evolução do episódio LN. O índice ONI foi registrado -1,0 pelo NCEP/NOAA. O Climanálise (2011f) destacou as áreas com anomalias negativas de TSM que se estenderam desde a costa do SB até próximo ao sul da África, no Atlântico Sul. Na região do Atlântico Norte, a TSM apresentou-se próxima à normalidade, sendo consistente com o posicionamento da ZCIT em torno do padrão climatológico, que oscilou entre 5°N e 10°N. O campo de anomalia de PNM evidenciou a maior intensidade das altas semipermanentes de ambos os hemisférios, especialmente do sistema de alta pressão do Atlântico Sul, cuja magnitude em seu centro foi maior que 1025 hPa, ou seja, acima da climatologia entre 6 a 8 hPa. Nas latitudes extratropicais do Atlântico Sul, o destaque foi o escoamento anticiclônico anômalo que se estendeu sobre o leste da Região Sul do Brasil, Uruguai e nordeste da Argentina.

### Escala regional/sinóticos

Segundo o Climanálise (2011f), no escoamento médio, pode-se notar o início da configuração típica de verão sobre a AS, com o desenvolvimento da AB, mais a oeste e o cavado do Nordeste mais ao norte. No escoamento médio mensal, o centro da AB esteve configurado em aproximadamente 13°S/75°W, a SW da sua posição climatológica. O Climanálise (2011f) destacou a atuação de 8 eventos de VCAN no Atlântico Sul, sendo que só dois deles se configuraram no litoral norte do NEB e favoreceram a ocorrência dos dois episódios de ZC. O Climanálise (2011e) destacou a atuação do JS, cuja posição média mensal apresentou-se mais ao norte, comparativamente ao escoamento climatológico, em particular durante a primeira quinzena, quando foi notada uma maior frequência de bifurcação do JS. A magnitude média mensal variou entre 30 m/s e 40 m/s e foi notada nos setores central do Chile e Argentina e no oeste do Uruguai e no sul do Brasil. O boletim também destacou que, sobre parte das Regiões Sudeste e Sul do Brasil, uma circulação ciclônica anômala, sugestiva da passagem de cavados na média e alta troposfera, deram suporte dinâmico aos episódios de ZC que se configuraram no decorrer deste mês. A partir da temperatura de brilho médio de topo das nuvens, verificou-se que a convecção no eixo da ZCAS sobre o SB foi maior na 5ª e 6ª pênstada. O evento de ZCAS estabelecido na última pênstada atuou sobre Belo Horizonte até dia 03/12/2010, sendo contabilizado nos eventos do mês de dezembro.

### Escala local

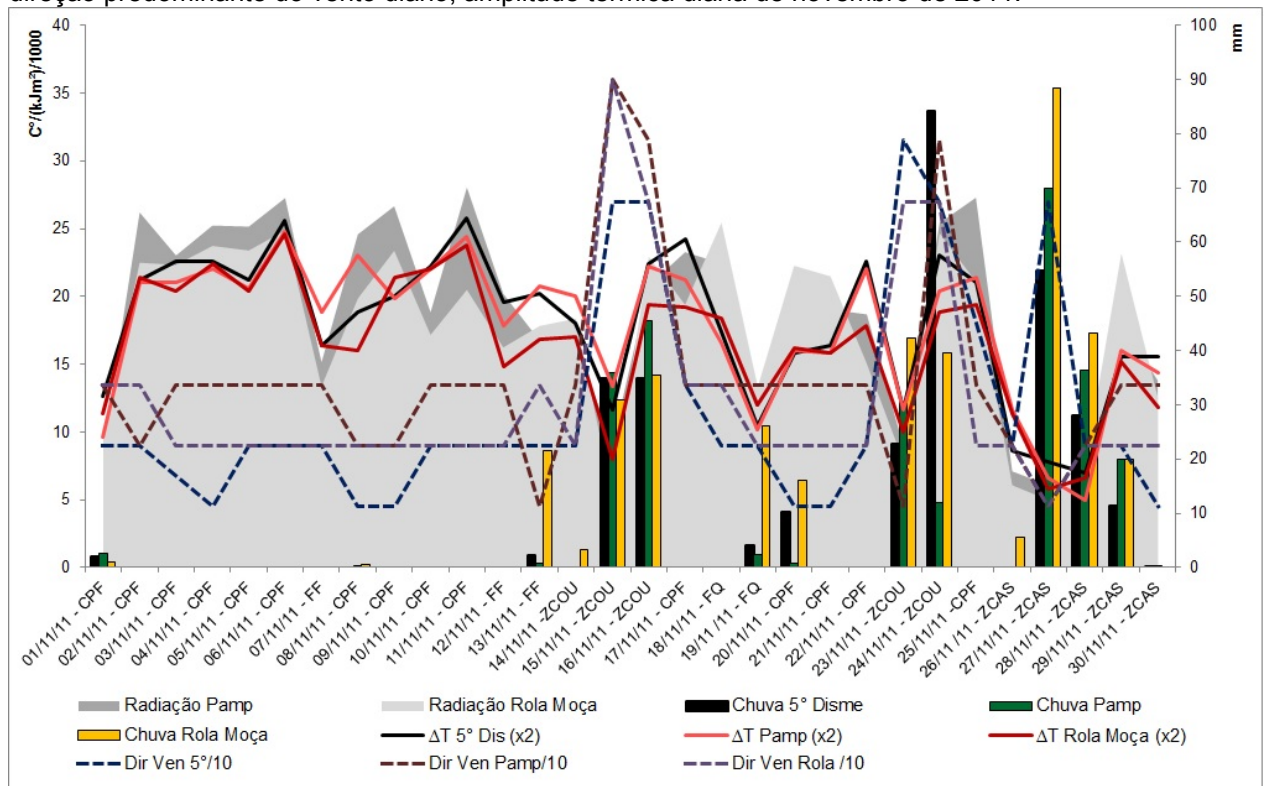
O total mensal de precipitação foi anormalmente positivo no P16, P1, com menor percentual no P14, P13, P6 e P4. No P15 e P5, a anomalia positiva ficou abaixo de 10% e nas demais estações foi negativa, sendo que as estações e P11 apresentaram mais de 10% de falhas e não entraram na análise. Observou-se que houve maior ocorrência de chuvas ao longo da linha da Serra do Curral, num sentido SW-NE e que a região de menor ocorrência foi a norte e noroeste. Foram 13,3 dias de chuvas, em média, considerando todas as estações analisadas, sendo a média climatológica de 1960-1991, 14 dias. Ao analisar o comportamento das variáveis atmosféricas na escala diária, a amplitude térmica mostrou-se congruente com o somatório da radiação solar incidente à superfície, como esperado, sendo bastante variável ao longo do mês. Durante a primeira quinzena, em função da ausência de chuvas, houve os maiores registros, sofrendo uma queda a partir do dia 14, quando houve mudança no padrão de ventos, que passaram a predominar do quadrante N/NW, no dia 15, como representado no gráfico 25. A segunda quinzena apresentou um padrão mais variável em função dos eventos de chuvas, a primeira chuva foi ocasionada pela passagem de um FF, que apresentou V8 de 4,5 mm, V2 de 4 horas e V11 de 2,2 mm/h. O segundo evento de chuva ocasionou 85% da precipitação mensal, devido a formação de uma ZCOU, com V8 de 81,4 mm, em 25 horas (V2) e V11 de 19,5 mm (chuvas fortes), já o terceiro evento ocorreu devido a uma FQ, com V8 de 19,1 mm, em 6 horas (V2) e V11 de 10,5 mm/h (chuvas moderadas).

### Escala topoclimática

Os maiores valores de CV ocorreram no primeiro evento, V5 igual a 148,9 e V6 igual a

137,5, em que houve baixo valor de V8 e chuvas de fraca intensidade. Em seguida, foram os valores de V5 e V6 do evento ocasionado por uma FQ, V5 igual 62,4 e V6 igual a 66,3, a maior intensidade (V10) foi 23,2 mm/h (chuvas fortes) foi registrada no P13, seguido do P3, nas demais as chuvas foram de moderadas a fracas sendo o maior acumulado no P16. Os eventos de ZCOU apresentaram menores valores de CV, sendo o primeiro (de maior acumulado) menor que o segundo. No primeiro, V5 foi 14,8% e V6 30,9% e no segundo, V5 - 33,9% e V6 - 54,7%. Os maiores acumulados, no primeiro, ocorreram no P14, seguido do P5, P13 e P4 e os menores no P16, P3, P8 e P9. A maior intensidade ocorreu no P13 (31,2 mm/h) e a menor no P9 (12,8 mm/h). No segundo, os maiores acumulados ocorreram no P16, seguido do P14. As maiores intensidades (chuvas muito fortes) ocorreram no P14 (35,8 mm/h) e P5 (30,6 mm/h), chuvas fortes no P3 (28,6 mm/h) e P13 (18,4 mm/h) e moderadas a fracas nos demais postos.

Gráfico 25 – Somatório diário da radiação solar, precipitação diária nos postos P15, P16 e P17, direção predominante do vento diário, amplitude térmica diária de novembro de 2011.



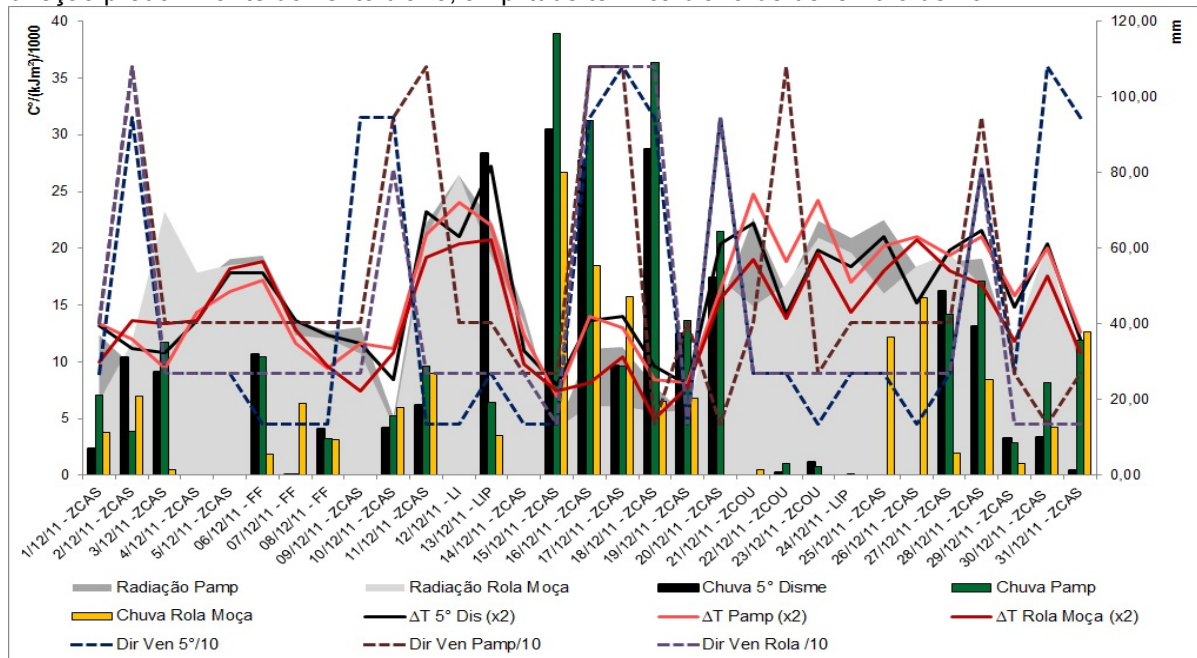
Fonte de dados: INMET.

## Quadro Síntese Mensal de Dezembro de 2011

<b>Escala zonal</b>
Fortalecimento do episódio LN. O índice ONI foi registrado -1,0 pelo NCEP/NOAA. O Climanálise (2011g) destacou, no Atlântico Sul, anomalias negativas que se estenderam até o continente africano. O campo de anomalia de PNM evidenciou uma intensificação do ASAS, assim como a área de anomalias ligeiramente negativas no leste da Região Sudeste, onde predominou a atuação de episódios de ZCAS no decorrer deste mês.
<b>Escala regional/sinóticos</b>
Sobre a AS, o Climanálise (2011g) destacou a configuração do escoamento típico de verão, com a AB sobre o continente e o cavado sobre o Atlântico adjacente. A Alta caracterizou-se em 24 dias, no escoamento médio mensal, o centro esteve configurado a noroeste de sua posição climatológica. No campo de anomalias, destacou-se a circulação ciclônica em altos níveis, ocasionando o enfraquecimento da corrente de JS e seu deslocamento para latitudes mais baixas. A anomalia ciclônica notada no setor leste da AS refletiu a bifurcação da corrente de jato na alta troposfera durante o mês de dezembro de 2011, a sua magnitude variou entre 30 m/s e 40 m/s sobre o sul do Paraguai e o sul do Brasil, a partir do escoamento médio mensal. Durante a primeira quinzena, o JS apresentou-se mais intenso sobre o centro-sul do Brasil, contribuindo para a ZC ao norte de sua posição climatológica. A partir da distribuição pentadal da atividade convectiva, apresentada pelo Climanálise (2011g), verificou-se que esta atividade sobre o SB foi maior no eixo clássico da ZCAS na primeira e quarta pênstada. O primeiro episódio de ZCAS atuou no eixo norte de MG e sul da Bahia. O segundo episódio foi um caso clássico que atuou entre as regiões CO e SB e o sul da Amazônia e o terceiro e último episódio foi notado no período de 25 a 30, com maior convergência de umidade sobre o centro-sul de MG. Em dezembro, apenas dois episódios de SF atuaram no território brasileiro, este número ficou abaixo da climatologia para latitudes entre 25°S e 35°S. O último SF do mês anterior deslocou-se até Vitória-ES, onde se posicionou no dia 03. Este sistema contribuiu para a organização e manutenção do primeiro episódio de ZCAS. Entre os dias 09 e 10, o aprofundamento de um centro de baixa pressão sobre o oceano, na altura do litoral do Paraná e de Santa Catarina, foi associado a outro SF. No decorrer do dia 11, tornou-se um ciclone extratropical centrado em 35°S/35°W, cujo ramo frio alinhou-se com a região de convergência de umidade que se organizou sobre o norte do SB e sul da Região Nordeste no período de 10 a 13. O primeiro SF a se formar no litoral argentino deslocou-se até o litoral do RGS, contribuiu para a formação de vórtices ciclônicos em altos níveis e assim uma situação de bloqueio sobre o Mar Del Plata e a contribuição para formação de um clássico episódio de ZCAS entre os 14 e 21, sobre o SB. O segundo episódio do SF avançou pelo litoral do RGS a partir do dia 23 e contribui para a formação do terceiro evento de ZCAS.
<b>Escala local</b>
Os totais mensais registrados em Belo Horizonte foram muito superior a média climatológica. Foram superior a 100% de anomalia em 9 estações sendo que 5 apresentaram anomalia entre 40 a 100%. As maiores anomalias foram registradas nos postos P15, P17, P13, P5, P4, P7 e P8. Foram em média 19,3 dias de chuvas, sendo a média climatológica de 1960-1991, 16 dias. Ao analisar o comportamento das variáveis atmosféricas na escala diária, verifica-se que a maioria dos dias apresentou nebulosidade igual ou acima de 8/10, o que ocasionou menores valores de radiação à superfície e menores valores de amplitude térmica. Os ventos foram predominantes do quadrante N/W no dia 02, depois entre os dias 09 e 11, seguidos pelos dias 16 a 18, dias 20 e 23 e 28 e 31, como representado no gráfico 26. Foram 8 episódios de chuvas, o primeiro iniciou-se no dia 26 do mês anterior e o último durou até 10 de janeiro de 2012. Foram 4 episódios de ZCAS, 1 de ZCOU, 1 de FF, 1 de LI e 2 de LIP.
<b>Escala topoclimática</b>

Os maiores valores de CV ocorreram nos episódios de LI e ZCOU. No primeiro, V5 correspondeu a 155,5% e V6 128,7%, foram chuvas pontuais ocasionadas as 21 UTC, final de tarde de verão em função da grande quantidade de umidade advinda da circulação regional. No P5 foi acumulado 54,4 mm (V7), V2 de 2 horas e V10 de 28,4 mm/h, o P4 também apresentou V8 de 26,6 mm e V10 de 18 mm/h. Nos demais as chuvas foram de intensidade moderada, sendo que no Barreiro não houve registro de chuvas. No segundo, V5 igual a 136,3 e V6 119,8, com V2 igual a 3 horas, com V8 igual a 10,2 mm e V11 igual a 6,5 mm/h, esse ocorreu no final do segundo episódio de ZCAS, que gerou o maior acumulado mensal. Em seguida, foram as LIP, V5 de 78% e V6 de 83,6%, V8 de 4,4 mm, com V2 de 2 horas, V11 de 3,6 e V10 de 10,6 mm/h, chuvas de fraca intensidade à moderadas, com maiores acumulado no P16. Os eventos de ZCAS apresentaram V5 entre 16,7 e 19,7% e V6 entre 19,7 e 41,9%, o maior acumulado ocorreu no terceiro episódio de ZCAS (entre os dias 14 a 21), V8 de 339,3 mm, V2 de 91 horas, V11 de 26,5 mm/h (chuvas fortes) e chuvas muito fortes (V10 de 33,4 mm/h) nos postos P15, P9 e P2. O primeiro evento de ZCAS teve V8 de 168,2 mm, V11 de 21,9 mm/h (chuvas fortes) e V10 de 40,0 mm/h no P13. Ao contrário do anterior, o maior acumulado ocorreu nas Regionais Centro-Sul e Barreiro. O curto episódio de ZCAS, entre os dias 09 e 11, apresentaram V8 de 38,7 mm, V11 de 13,4 mm/h (chuvas moderadas) e V10 de 21,4 mm/h no P7, seguidos do P9 (20,0mm/h), P8 (18,4 mm/h) e P6 (19,8 mm/h), nos demais as chuvas foram moderadas a fracas.

Gráfico 26 – Somatório diário da radiação solar, precipitação diária nos postos P15, P16 e P17, direção predominante do vento diário, amplitude térmica diária de dezembro de 2011.



Fonte de dados: INMET.

## Quadro Síntese Mensal de Janeiro de 2012

### Escala zonal

Fortalecimento do episódio LN. O índice ONI foi registrado -1,0 pelo NCEP/NOAA. O Climanálise (2012a) destacou que nas áreas subtropicais do AS predominaram anomalias negativas de TSM, enquanto que anomalias positivas ocorreram nas latitudes extratropicais. O campo de anomalia de PNM mostrou que o sistema de alta pressão do AS atuou mais intenso e deslocado para leste, quando comparado ao padrão climatológico. A maior intensidade da alta subtropical favoreceu o aumento da convergência de umidade no interior do continente sul-americano, contribuindo para a configuração dos episódios de ZCAS. Notaram-se, também, alísios mais fracos que o normal na região equatorial, refletindo a atuação mais ao norte da ZCIT.

### Escala regional/sinóticos

Em janeiro, o escoamento da AB, a 200 hPa, mostrou-se bastante variável sobre o continente sul-americano, de modo geral, o centro da circulação anticiclônica configurou-se por 19 dias. No escoamento médio mensal, o centro da alta esteve configurado em torno de 14°S/65°W, a noroeste de sua posição climatológica. Os VCAN que se configuraram durante o mês de janeiro foram observados próximos a costa leste do Brasil. Os episódios que se formaram na segunda quinzena contribuíram para as anomalias positivas de precipitação sobre o norte do NEB, porém inibiram as chuvas em grande parte da Bahia, MG e ES. A partir do escoamento médio mensal, a magnitude do JS não foi superior a 30 m/s. No início do mês apresentou magnitude entre 40m/s e 50 m/s sobre o oeste do Brasil, associado ao cavado sobre o SB, o qual contribuiu para manutenção do primeiro evento de ZCAS. No dia 25, a sua magnitude atingiu 60 m/s sobre o centro sul da AS. A distribuição pentadal da atividade convectiva sobre o Brasil, a partir da temperatura de brilho médio do topo das nuvens, mostra que a atividade convectiva sobre o SB foi maior no eixo clássico da ZCAS na primeira, segunda e terceira pênstada. O primeiro episódio, que se configurou no período de 01 a 08, proporcionou os maiores acumulados de chuva nos setores leste e sul de MG, no norte do RJ e ES. Este evento de ZCAS também foi o que mais contribuiu para as anomalias positivas de precipitação sobre grande parte do setor central do Brasil. O segundo episódio de ZCAS ocorreu mais ao sul, no período de 14 a 20 de janeiro, com a banda de nebulosidade direcionada para o centro-sul do SB. No período de 26 a 30, configurou-se o terceiro evento de ZCAS, este episódio foi o mais fraco, porém voltou a contribuir para os maiores acumulados de chuva sobre o sudeste de MG. Em janeiro, apenas três episódios de SF atuaram no território brasileiro, este número ficou abaixo da climatologia para latitudes entre 25°S e 35°S (CLIMANÁLISE, 2012a). O segundo evento de ZCAS não atuou em Belo Horizonte, que ficou sob atuação do ASAS, na vanguarda do eixo de convergência.

### Escala local

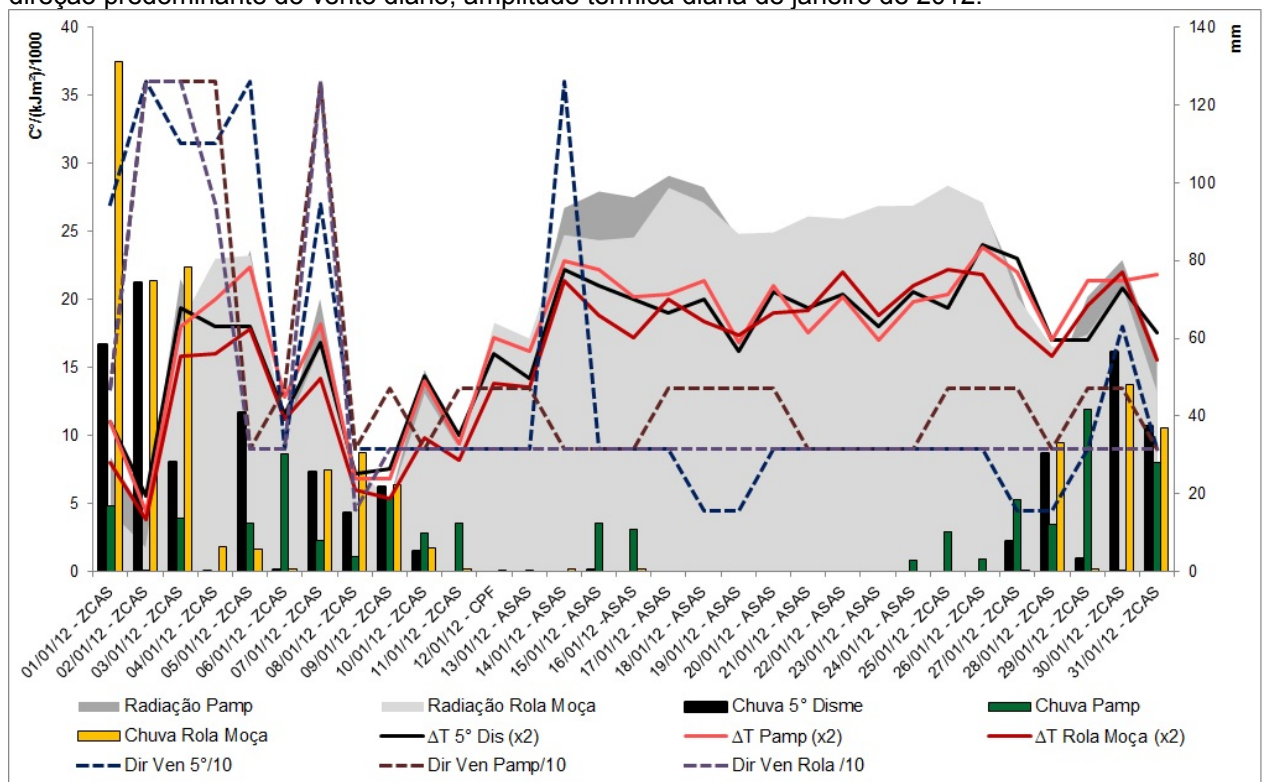
Os totais mensais registrados em Belo Horizonte foram superiores a 60% de anomalia positiva nos postos P4 e P16, entre 30 e 60% nos postos P1, P3, P5, P11, P14, P17 e no P8 a anomalia foi menor de 10%. Eles foram de anomalia negativa no P6, P9, P10 e P15, o menor acumulado ocorreu no P6, onde a anomalia foi -21,3%. O primeiro evento registrou V8 de 361,84 mm, com V2 de 135 horas, em 16 dias, em que o Climanálise (2012a) destacou como um caso típico de ZCAS. O terceiro evento de ZCAS teve V8 de 121,4 mm, em 26 horas, durante 6 dias, e V11 de 28 mm/h (chuvas fortes). O segundo evento de chuva foi ocasionado pelo ASAS, na vanguarda do eixo da ZCAS, por isso gerou um de V8 de 4,5 mm, com V11 de 2,76 mm/h e V10 6,6 mm/h no P7, com V2 de 1 hora. Foram 16,3 dias de chuvas, em média, considerando todas as estações analisadas, sendo a média climatológica de 1960-1991, 15 dias. Ao analisar o comportamento das variáveis atmosféricas na escala diária, a amplitude térmica e a radiação solar incidente à superfície foram mais baixas no início e meio do mês, em função do aumento de nebulosidade associado ao primeiro evento de ZCAS. Na segunda quinzena, as temperaturas foram mais altas em função da diminuição das chuvas, que voltaram a ocorrer no final do mês (a partir do dia 24), como mostra o gráfico 27. A direção predominante do vento foi do quadrante N/NW entre os dias 02 e 05, e no dia 07 nas três

estações do INMET em Belo Horizonte. No dia 14, predominou de N só no P17, e nos demais dias do mês predominou de E/SE e com menor recorrência de NE.

### Escala topoclimática

O primeiro e terceiro evento de ZCAS apresentaram baixos valores de CV, V5 de 16,7 e 16,5% e V6 de 41,1% e 27,8%. No primeiro, os maiores acumulados foram no P16, devido a maior durabilidade da ocorrência de chuvas, 155 horas de registro de chuvas, como no P1, 143 horas, enquanto no P15 perdurou por 91 horas. A intensidade foi maior no P8, 52,2 mm/h, seguido do P4 (51,4 mm/h), P11 (47,6 mm/h), P5 (43,4 mm/h), P14 (39,2 mm/h), P6 (37,6 mm/h), P15 (33,6 mm/h) e menor de 30 mm nos demais, sendo que no P16 (18,0 mm/h) e P10 (9,80 mm/h) ocorreram as menores intensidades. No terceiro evento, os maiores acumulados ocorreram no P3 (163 mm), em 23 horas, sendo que a maior durabilidade ocorreu no P16 (acumulado de 121,2 mm em 27 horas), as maiores intensidades foram registradas no P5 (39,2 mm/h), seguido do P3 (36,2 mm/h), P1 (35,6 mm/h), P4 (33,6 mm/h) e P16 (30,8 mm/h), nos demais as chuvas foram fortes no P14, P9, P8, P10, P15 e moderadas no P6. O segundo evento foi de altos valores de CV (V5 de 139,8% e V6 de 94%) devido à ocorrência pontual de chuvas de fraca intensidade na porção centro-norte do município.

Gráfico 27 – Somatório diário da radiação solar, precipitação diária nos postos P15, P16 e P17, direção predominante do vento diário, amplitude térmica diária de janeiro de 2012.



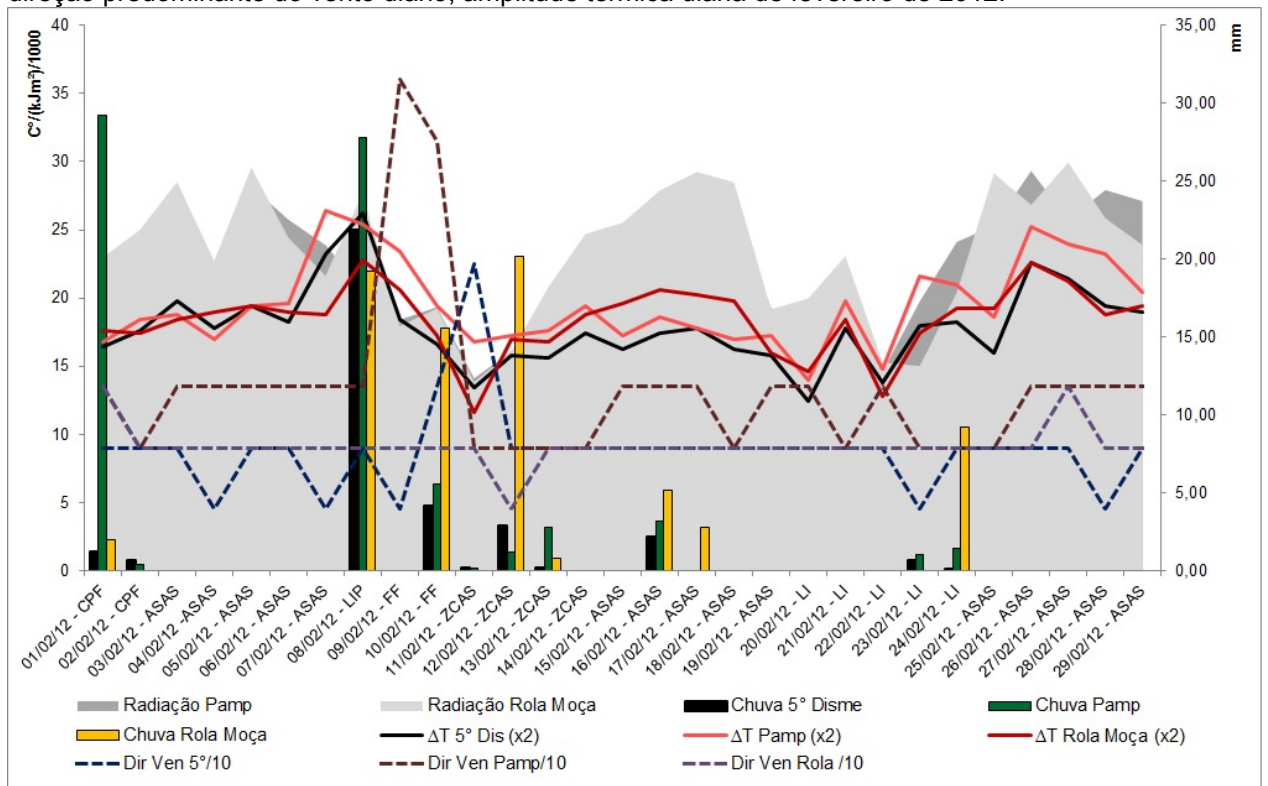
Fonte de dados: INMET.

## Quadro Síntese Mensal de Fevereiro de 2012

<b>Escala zonal</b>
O Climanálise (2012b) ressaltou o enfraquecimento do fenômeno LN ao longo do mês de fevereiro. O índice ONI foi registrado -0,6, pelo Centro de Previsão Climática do NCEP/NOAA. Nas latitudes subtropicais do AS, a proximidade do anticiclone semipermanente resultou em anomalias positivas de PNM que refletiram a intensificação do escoamento de sudeste.
<b>Escala regional/sinóticos</b>
O escoamento médio mensal em 200 hPa evidenciou o centro da AB bem configurado sobre AS, porém ligeiramente deslocado de sua posição climatológica. No escoamento médio mensal, a alta troposférica configurou-se em aproximadamente 21°S/68°W, a sudoeste de sua posição climatológica e esteve bem configurado durante 21 dias. A formação do cavado imediatamente a leste desta circulação ocorreu próximo à costa leste sul-americana, contribuindo para a diminuição das chuvas em praticamente em todo o SB. Os VCAN atuaram sobre o continente sul-americano e áreas oceânicas adjacentes durante quase todo o mês de fevereiro, contribuindo para anomalias negativas de precipitação que predominaram nos setores NE e E do Brasil durante os primeiros dias de fevereiro. A partir do dia 12, o posicionamento deste sistema favoreceu o aumento da atividade convectiva sobre o norte da Região Nordeste, porém continuou inibindo a convecção sobre a Bahia e praticamente todo SB. De modo geral, este sistema contribuiu para que os totais mensais de precipitação ocorressem abaixo da média histórica, principalmente no leste do Brasil. A presença de um escoamento anticiclônico anômalo adjacente à costa leste do Brasil impediu a formação de mais episódios de ZCAS. Apenas um curto episódio foi notado no período de 11 a 14. A partir da análise de temperatura de brilho médio do topo das nuvens por pântadas, verificou-se que houve maior nebulosidade sobre a região central do SB somente na terceira pântada e bastante enfraquecida na quinta.
<b>Escala local</b>
O total mensal de precipitação foi anormalmente negativo em todas as estações pluviométricas. Em 6 estações as anomalias foram superior a 90%, sendo: P6, P8, P9 e P10, todas elas na porção E/NE/N de Belo Horizonte. Entre 50 e 90%, em praticamente todas as demais estações, só P1 apresentou percentual mensal de anomalia negativa em torno de 35%, em relação à média climatológica de 206,3 mm. Foram 8 dias, em média, de chuvas, sendo a média climatológica 12 dias. Os postos de maior número de dias de chuvas foram: P1, P5, P11, P15 e P17, com 10 dias. O menor acumulado foi no P10, Regional Venda Nova, com apenas 5 dias de registro pluviométrico. Os dados de superfície, apresentados no gráfico 28, mostram o aumento de radiação à superfície nos primeiros oito dias, com elevados valores de amplitude térmica. No restante do mês houve variação de radiação, particularmente entre os dias 10 e 15, em função da diminuição da pressão atmosférica, que desencadeou também diminuição da amplitude térmica. A maior altura pluviométrica diária ocorreu dia 08, em função de uma LIP, 36% do total acumulado mensal. As FF que atuaram entre os dias 09 e 10 contribuíram com 32%, o evento de ZCAS, caracterizado como fraco pelo Climanálise (2012b), contribui com 18%, também em função de atuar deslocado sobre o eixo sul de Minas e SP. Nos dias 22 e 23 ocorreram chuvas de duração média de 1 hora, típicas de verão, que contribuíram com 13,7% do acumulado total.
<b>Escala topoclimática</b>
A maior variação de total de chuva por evento ocorreu naqueles ocasionados por LI. Foram chuvas rápidas, de fraca intensidade, sendo o valor de V5 igual a 186,1% e de V6 a 189,9%. O único evento de ZCAS também apresentou

valores altos de V5 (113,5%) e V6 (154,2%), com V2 de 6 horas, V8 de 6,6 mm, V11 de 3,5 mm/h e V10 de 17,4 mm/h. As chuvas foram moderadas somente nos postos P1 e P16, onde os acumulados foram maiores, em função da atuação da ZCAS no eixo sul de Minas e São Paulo. Os eventos de chuvas ocasionados por FF apresentaram menores valores de CV, V5 igual a 77,2% e V6 - 91,8%, sendo que a maior intensidade e acumulado ocorreu no P7. O evento de chuva de LIP foi o que ocasionou o maior acumulado diário e menores valores de CV, ou seja, mais homogêneas. V5 correspondeu a 73,1% e V6 84,0%, os maiores acumulados ocorreram no P1 e a maior intensidade no P12.

Gráfico 28 – Somatório diário da radiação solar, precipitação diária nos postos P15, P16 e P17, direção predominante do vento diário, amplitude térmica diária de fevereiro de 2012.



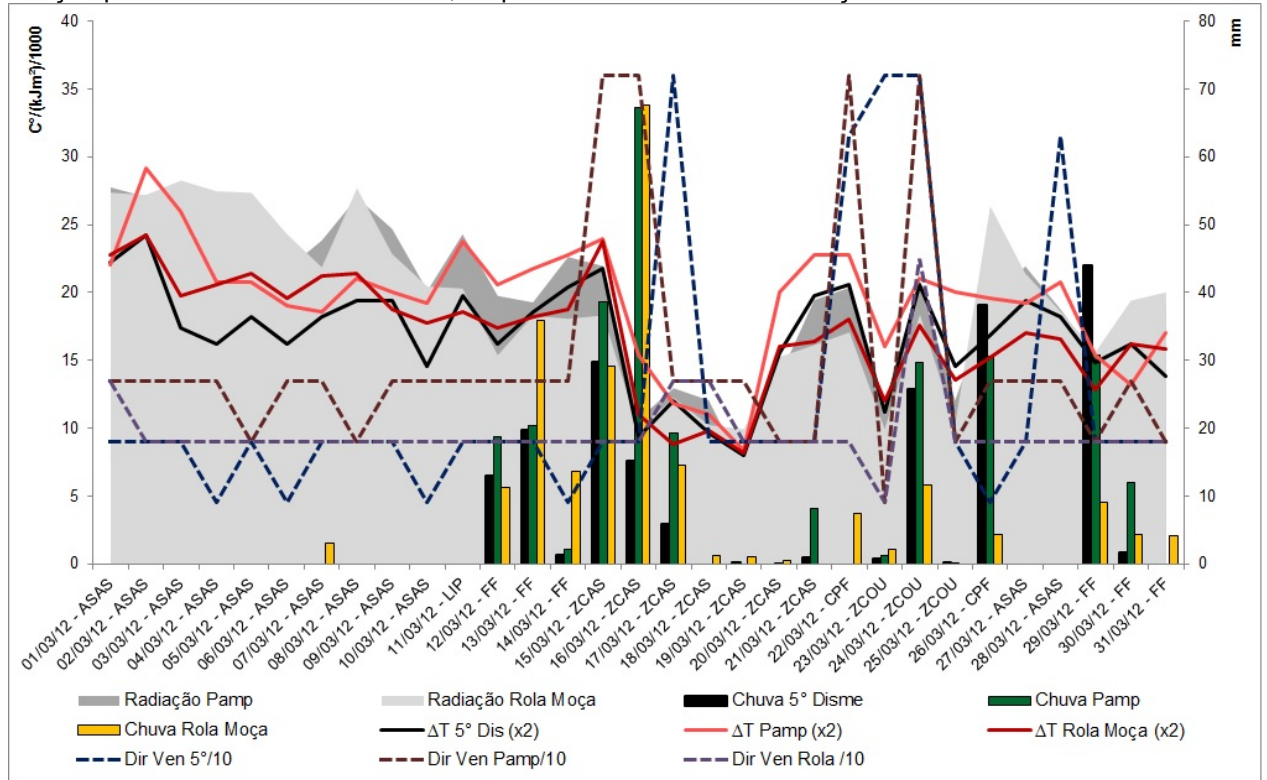
Fonte de dados: INMET.

## Quadro Síntese Mensal de Março de 2012

<b>Escala zonal</b>
Desintensificação do episódio LN. O índice ONI foi registrado $-0,6^{\circ}\text{C}$ pelo NCEP/NOAA. Segundo o Climanálise (2012c), as anomalias positivas de PNM, notadas sobre os oceanos Pacífico e AS, evidenciaram a intensificação dos sistemas de alta pressão semipermanentes. Da mesma forma, as anomalias negativas de PNM notadas entre as latitudes $30^{\circ}\text{S}$ e $40^{\circ}\text{S}$ , sobre o Atlântico Sudoeste, refletiram a atuação mais ao sul dos SF, particularmente durante a primeira quinzena.
<b>Escala regional/sinóticos</b>
A atividade convectiva, dada em pântadas de temperatura de brilho médio, pelo Climanálise (2012c), mostrou que a atividade convectiva foi maior na 3 <sup>o</sup> e 4 <sup>o</sup> pântadas. Nas duas primeiras não houve atividade convectiva sobre o SB devido à atuação do VCAN próximo à costa do NEB, com atuação interiorizada sobre o continente. O centro da circulação da AB esteve melhor caracterizado em dezessete dias do mês de março de 2012, em aproximadamente $15^{\circ}\text{S}/75^{\circ}\text{W}$ , a oeste de sua posição climatológica. O JS apresentou-se bastante variável sobre o centro-sul da AS no decorrer de março de 2012. Sua magnitude média mensal foi inferior a 30 m/s. Segundo o Climanálise (2012c), considerando o escoamento climatológico em 200 hPa, este valor ficou abaixo da magnitude média esperada para este período do ano. Portanto, houve a formação de apenas um episódio de ZCAS no período de 16 a 21 de março devido ao segundo SF que organizou a ZC.
<b>Escala local</b>
O total mensal de precipitação foi anormalmente positivo em todas as estações de Belo Horizonte. A maior anomalia positiva ocorreu no posto P15, seguido dos postos P7, P10 e P8, ambos no extremo N-NW de Belo Horizonte e com anomalias superiores a 70%. A segunda classe de anomalias positivas correspondeu ao intervalo de 50 a 60%, ocorrida nos postos: P5, P4 e P16. A terceira, aos percentuais entre 30 a 50%, registrados no P17, P1, P11, P14 e P3. A menor anomalia positiva foi registrada no P9, 12,1%. Foram 13,25 dias de chuvas, em média, 4 dias a mais que a média climatológica de 1960-1991. Ao analisar o comportamento das variáveis atmosféricas na escala diária, a amplitude térmica mostrou-se congruente com o somatório da radiação solar incidente à superfície, como esperado, sendo bastante variável nas duas primeiras pântadas, e só apresentou uma queda significativa a partir do dia 16, em função da primeira ZC. Os ventos predominaram de N nos dias 15 e 16, no P15 e P17, devido à atuação da ZCAS, assim como entre os dias 22 e 24, em função da formação de uma ZCOU, como representado no gráfico 29. As chuvas também foram ocasionadas pela atuação de duas FF e uma LIP que atuou anterior à primeira ZC.
<b>Escala topoclimática</b>
As chuvas ocasionadas pelas ZC foram as mais homogêneas, devido aos menores valores de CV, no primeiro V5 correspondeu a 33,5% e V6 a 56,2%, já no evento de ZCOU, V5 correspondeu a 35,1% e V6 a 38,4%. No primeiro, V8 foi 60,4 mm, em 23 horas (V2), com V11 de 21,9 mm/h e V10 de 46 mm/h, no P10. A maior durabilidade da chuva ocorreu no P16, 5 horas a mais que a média (V2), mas o maior acumulado foi registrado no P15. O evento de ZCOU apresentou V8 de 41,4 mm, V2 de 16 horas, com V10 de 17,2 mm/h no P15, assim como o maior acumulado, 61,4 mm (V7). O primeiro evento de FF ocorreu de forma mais homogênea (anterior ao evento de ZCAS), V5 de 27,1% e V6 de 35,8%, com V8 igual a 57,4 mm em 17 horas (V2). A maior intensidade foi registrada no P15, 29 mm/h, seguido do P8, P5, P3 e P10, onde as chuvas foram fortes, nos demais foram de moderada a fraca intensidade. O segundo evento de FF, nos últimos dias do mês, ocasionou chuvas extremamente fortes no P4 (53,0 mm/h), seguido do P7 (43,0 mm/h), P5 (39,8 mm/h), forte no P8 (26,0 mm/h) e no P14 (27,2 mm/h), moderadas e fracas nos demais. O maior acumulado ocorreu no P4 (72,8 mm), sendo que a média (V8) foi 38,3 mm e a

intensidade média 17,2 mm/h, essas diferenças ocasionaram V5 de 59,5% e V6 de 79,6%. O evento de LIP, o primeiro evento de chuva do mês, foi o mais heterogêneo, com V5 de 76,4% e V6 de 90,7%, V8 de 25,2 mm, em média de 7 horas, com V10 de 32,8 mm/h, no P10, e o maior acumulado no P7, onde as chuvas também foram de forte intensidade.

Gráfico 29 – Somatório diário da radiação solar, precipitação diária nos postos P15, P16 e P17, direção predominante do vento diário, amplitude térmica diária de março de 2012.

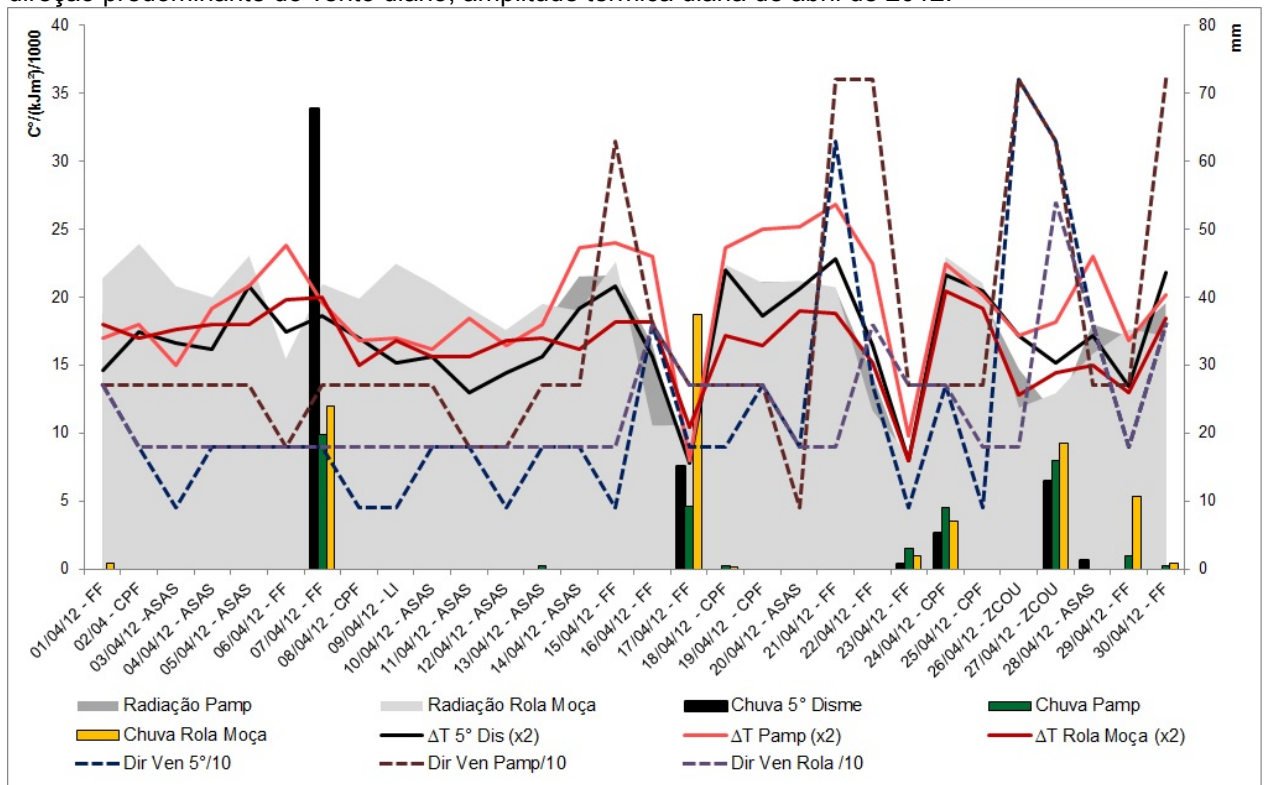


## Quadro Síntese Mensal de Abril de 2012

<b>Escala zonal</b>
Desintensificação do episódio LN. O índice ONI foi registrado $-0,6^{\circ}$ pelo NCEP/NOAA. Segundo o Climanálise (2012d), no Atlântico Tropical, permaneceu o padrão de anomalias negativas de TSM, o boletim destacou os valores negativos próximos à costa noroeste da África.
<b>Escala regional/sinóticos</b>
A anomalia média de ROL apresentou-se positiva sobre a região CO e SB. Segundo as médias por pântadas de convecção, sobre MG, as temperaturas de brilho médio foram menores na segunda pântada. Nas demais, observa-se menores valores de temperaturas associadas à passagem de SF no litoral do SB ou ao sul de MG. O JS atuou anormalmente intenso em torno $30^{\circ}\text{S}$ na segunda quinzena, onde sua magnitude média mensal atingiu valores entre 40 m/s e 50 m/s, o que contribuiu para a intensificação dos SF. O centro da AB esteve configurado em aproximadamente $11^{\circ}\text{S}/60^{\circ}\text{W}$ , a SW de sua posição climatológica. Segundo o Climanálise (2012d), a AB esteve bem configurada, em 200 hPa, em 15 dias do mês de abril de 2012. Durante a primeira quinzena, os VCAN atuaram principalmente sobre os oceanos Atlântico e Pacífico Sul, associados à bifurcação do escoamento na alta troposfera. Durante a segunda quinzena, estes cavados amplificaram-se sobre o NEB, configurando três episódios de VCAN, o que contribuiu para diminuição do acumulado de chuva nesta região, caracterizando um mês de chuvas abaixo da média histórica. Seis SF atuaram no Brasil no mês de abril de 2012, o número ficou dentro da média histórica para as latitudes de $25^{\circ}$ - $35^{\circ}\text{S}$ . O primeiro SF avançou no dia 06, no dia seguinte, alinhou-se às instabilidades que se formaram sobre SB. O segundo SF se formou no litoral do RS no dia 15, e atuou na faixa litorânea entre 15 e 17 (sul de SP a Caravelas – BA). O terceiro se deslocou desde o nordeste da Argentina até o SB, entre os dias 20 e 23. Pelo interior, este sistema avançou apenas até os setores norte e oeste do PR. O quarto atuou somente na costa da Argentina. Um cavado invertido na altura da Bolívia e norte do Paraná configurou um sistema de baixa pressão que originou o $5^{\circ}$ SF, pelo interior, o ramo frio atingiu SP e MS. O $6^{\circ}$ SF se formou próximo ao nordeste da Argentina, entre os dias 28 e 29. Esse sistema avançou pelo interior até Diamantino – MT. Desses SF, 4 atuaram sobre Belo Horizonte e o penúltimo organizou uma ZC de fraca intensidade, entre os dias 26 e 27.
<b>Escala local</b>
O total mensal de precipitação foi anormalmente positivo significativamente nos postos P5, P7, P16 e P17. E anormalmente negativo nos postos P6, P9 e P10, em relação à média climatológica de 55, 8 mm. Foram 8,1 dias de chuvas, 3 a mais que a média climatológica. Os SF geraram 78% da precipitação acumulada e a ZCOU 22%. O maior acumulado foi ocasionado pelo primeiro SF que atuou sobre o SB nos dias 06 e 07, V8 de 22,6 mm, V11 de 12,1 mm/h, com V2 de sete horas. A segunda FF atuou entre os dias 16 e 17, V8 de 13 mm, V11 de 9,8 mm/h, e ocorreu durante um período médio de 3 horas. O terceiro SF atuou entre os dias 21 e 23, ocasionou um V8 de 7,5 mm, V11 de 12 mm/h, em 8 horas, em média. O quarto sistema alinhou a convecção e formou o último episódio de ZCOU da temporada, com V8 de 13,4 mm, V11 de 0,40 mm/h, e V2 de quatro horas. O último SF perdurou entre os dias 29 a 01 de maio, apresentou V8 de 4,6 mm, V11 de 3,8 mm/h, durante um período médio de 2 horas. Os menores valores de radiação e amplitude ocorreram entre os dias 17 e 23. No dia 15 houve predomínio de vento de NW no P15, e no dia 16 observou-se de S no P16 e P17. No segundo evento, os ventos predominaram de N no P15, de NW no P17, e no dia seguinte de S no P16. No dia 27, houve forte rajada de vento na Pampulha (18,8 m/s ou 67,9 km/h), ventos de N no dia anterior, de NW no dia 27, como também no P17 e W no P16, como se verifica no gráfico 30.
<b>Escala topoclimática</b>
Os menores valores de CV ocorreram no terceiro SF e no evento de ZCOU, no

primeiro V5 correspondeu a 31,1% e V6 a 47,3%, com V10 de 12 mm/h no P15, as chuvas também foram moderadas no P14, onde houve maior número de horas de registro. No segundo, V5 foi 39,3% e V6 48,1%, V10 foi 11,6 mm/h no P1 e também foram moderadas no P16, nos demais as chuvas foram de fraca intensidade. O maior número de horas de registro de chuvas ocorreu no P15. As demais chuvas ocasionadas por FF apresentaram altos valores de CV, o primeiro SF do mês teve V5 de 70,2% e V6 de 99,1%, V10 de 48,0 mm/h no P4. Nos demais postos, as chuvas foram moderadas e de fraca intensidade, nesse posto também foi registrado o maior acumulado sendo que o maior número de horas ocorreu no P14. O segundo SF ocasionou uma chuva com os valores: V5 de 91,0% e V6 de 105,8%, V10 de 29,4 mm/h no P7, as precipitações também foram de forte intensidade no P2 e P16, neste registrou maior número de horas de chuvas e o maior acumulado no evento. O último SF ocasionou chuvas fracas, em poucas horas, o maior número de horas foi 4, no P16, assim como maior acumulado e maior intensidade (V10) de 9,8 mm/h. No P9 não houve registro de chuvas e nos postos P1, P5, P14 e P15, o acumulado foi menor de 3,0 mm e a intensidade menor de 1,2 mm/h.

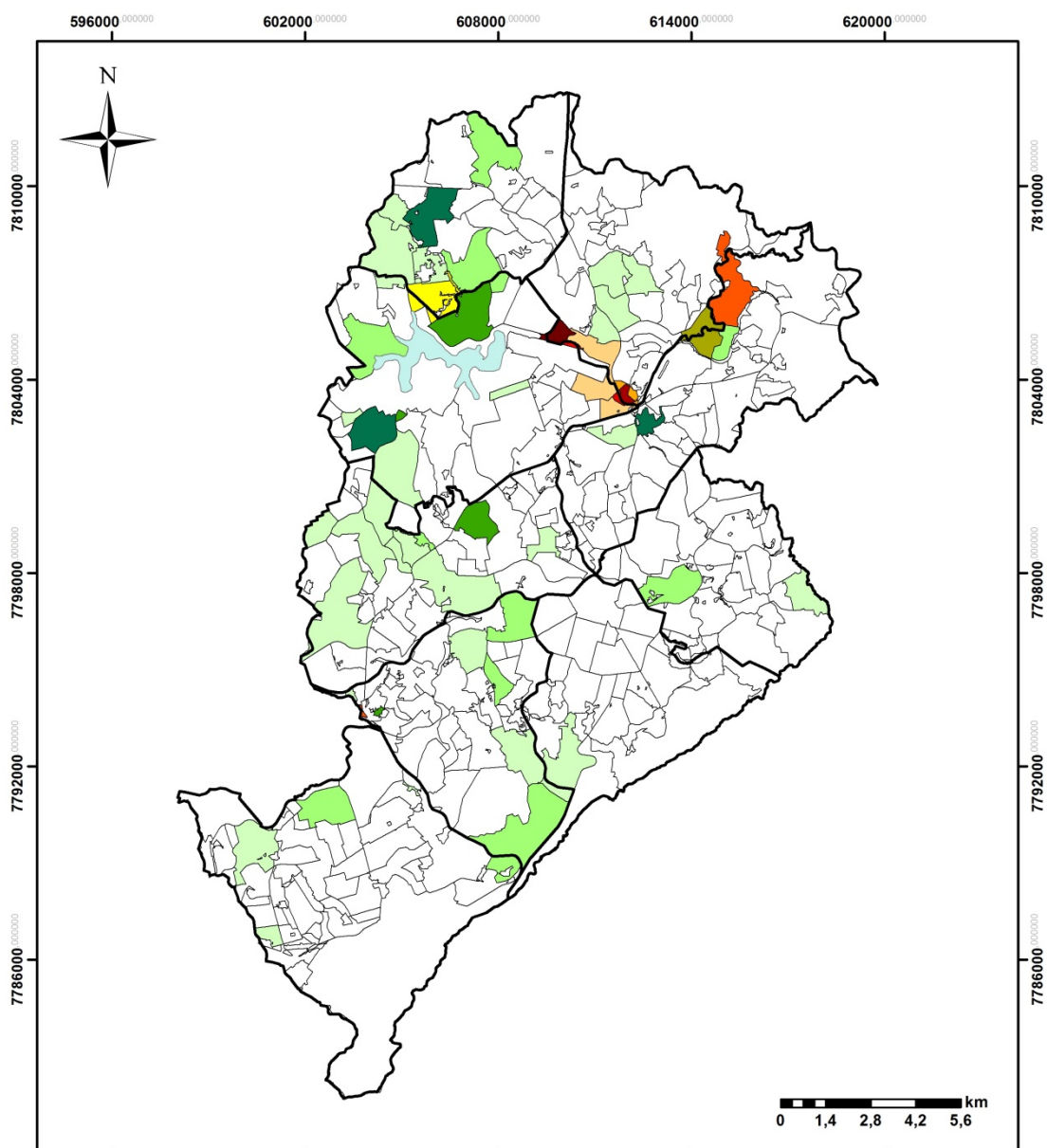
Gráfico 30 – Somatório diário da radiação solar, precipitação diária nos postos P15, P16 e P17, direção predominante do vento diário, amplitude térmica diária de abril de 2012.



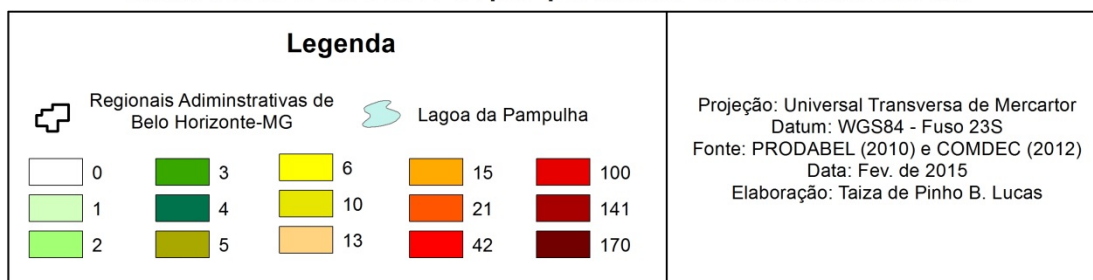
Fonte de dados: INMET.

## APÊNDICE D

Figura 84 - Distribuição espacial por Bairro do total de enchentes e/ou inundações nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12

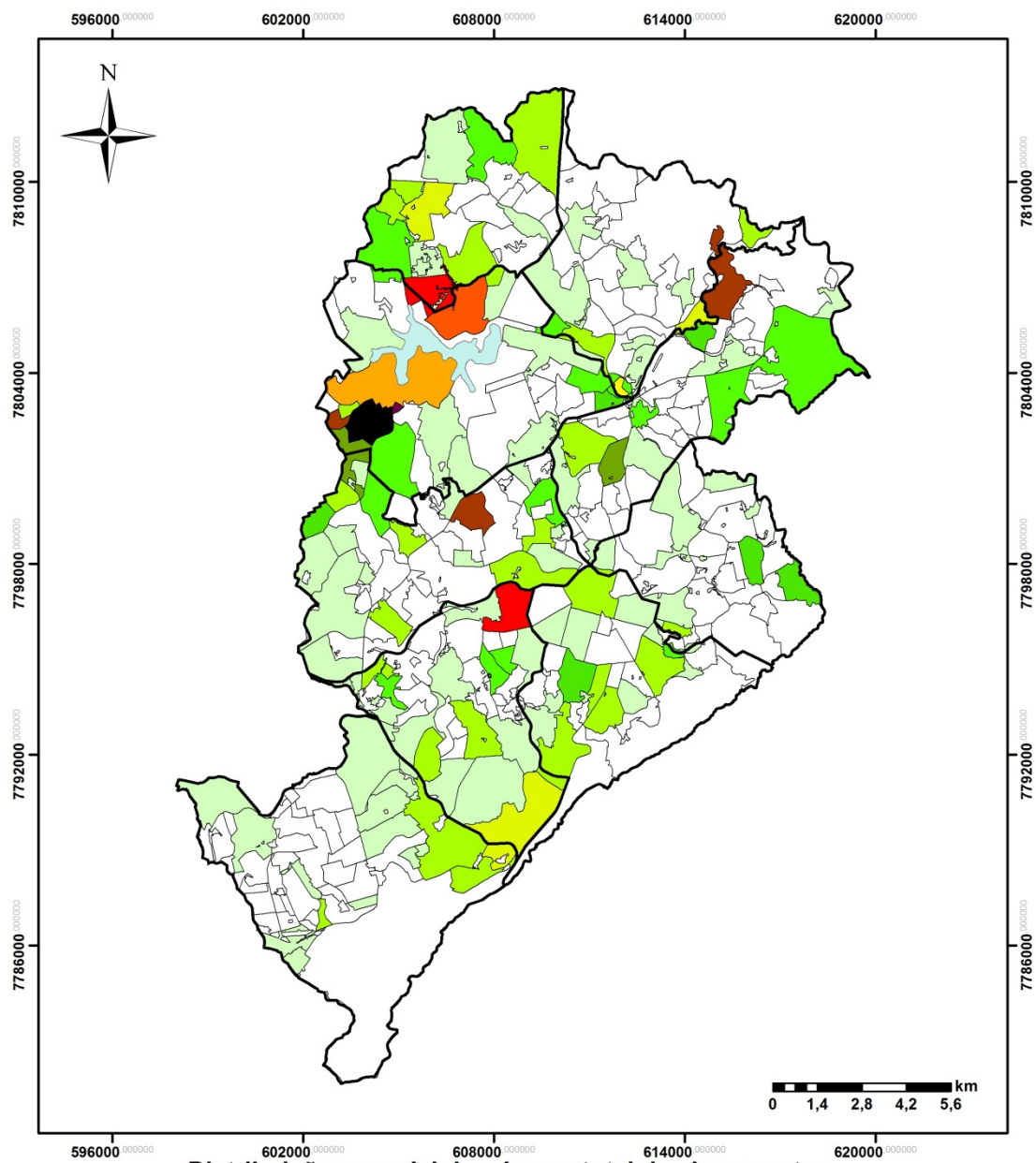


Distribuição espacial do número total de enchentes e/ou inundações nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12 por por bairros de Belo Horizonte-MG

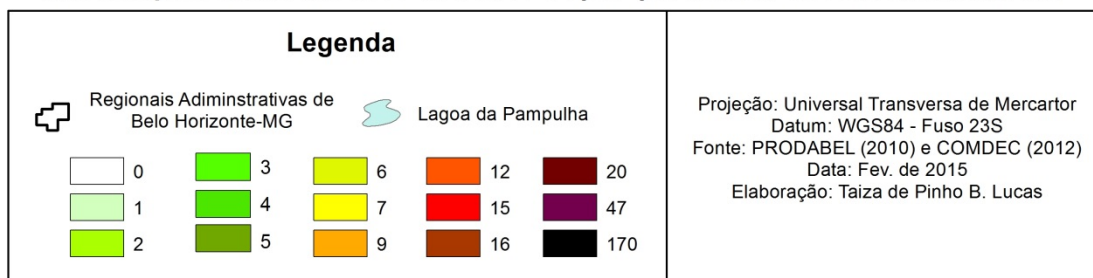


Fonte de dados: COMDEC.

Figura 85 - Distribuição espacial por Bairro do total de alagamentos nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12



**Distribuição espacial do número total de alagamentos nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12 por por bairros de Belo Horizonte-MG**



Fonte de dados: COMDEC.

## ANEXO 1

Quadro 4 – Localização e base de dados geográficos dos postos pluviométricos.

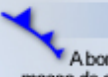
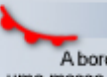
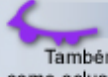


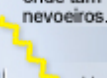

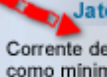

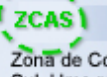
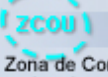
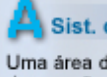
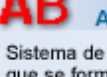

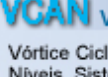
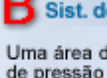

Posto Pluviométrico	Estação	Regional Administrativa	Característica	Recorrência de registro	Início da série	Longitude	Latitude	Altitude
						UTM		
1	Vale do Jatobá	Barreiro	Pluviométrica	A cada 15min	24/01/09	7787470	600950	955
2	Vale dos Olhos D'agua	Barreiro	Pluviométrica	A cada 15min	14/10/08	7788558	607089	1120
3	Santa Maria	Oeste	Pluviométrica	A cada 15min	04/11/08	7795560	604020	895
4	Santa Lúcia	Centro-Sul	Pluviométrica	A cada 15min	09/12/08	7793230	610330	907
5	Carlos Prates	Noroeste	Pluviométrica	A cada 15min	09/12/08	7797748	610467	847
6	ETE Arrudas -Caetano Furquim	Leste	Pluviométrica + Fluviométrica	A cada 5min	09/12/08	7798665	616398	797
7	FZB Bandeirantes	Pampulha	Pluviométrica	A cada 15min	09/12/08	7803586	603174	823
8	SARMU São Bernardo	Norte	Pluviométrica	A cada 15min	22/01/09	7804690	611501	783
9	ETE Onça - Ribeiro de Abreu	Nordeste	Pluviométrica + Fluviométrica	A cada 5min	22/01/09	7807858	615691	687
10	SARMU Letícia	Venda Nova	Pluviométrica	A cada 15min	09/12/08	7809848	607531	775
11	Jardim Montanhês	Noroeste	Pluviométrica	A cada 15 min	09/12/08	7799853	606397	975
12	URBEL Fazendinha	Leste	Pluviométrica	A cada 15min	09/12/08	7796188	614922	905
13	BHTrans Estoril	Oeste	Pluviométrica	A cada 15min	04/10/10	7791416	608749	959
14	Granja de Freitas	Leste	Pluviométrica	A cada 15min	05/10/10	7797624	616503	897
15	Pampulha - INMET	Pampulha	Climatológica Automática	A cada 1 hora	10/10/06	7801018	607891	869
16	Rola Moça - INMET	Barreiro	Climatológica Automática	A cada 1 hora	07/06/08	7784730	603428	1200
17	5° DISME - INMET	Centro-Sul	Climatológica Convencional	Horário Sinótico	15/03/86	7795487	609687	915

Fonte de dados: INMET e URBEL

## ANEXO 2

Legenda da simbologia de sistemas atmosféricos representados nas cartas sinóticas de superfície e de 250hPa.

**Legenda Análise Sinótica** CPTEC

<p><b>Frente Fria</b></p>  <p>A borda dianteira de uma massa de ar frio que está avançando sobre uma massa de ar quente. Com a passagem de uma frente fria a temperatura e a umidade caem, a pressão aumenta e o vento muda de direção. A precipitação está, geralmente atrás da frente fria, podendo também formar-se áreas de instabilidade na linha ou na dianteira da frente fria.</p>	<p><b>Frente Quente</b></p>  <p>A borda dianteira de uma massa de ar quente que está avançando sobre uma massa de ar frio. Com a passagem de uma frente quente a temperatura e a umidade aumentam, a pressão diminui e o vento muda de direção, porém não tanto como no caso da frente fria. A precipitação está, geralmente, na dianteira da frente quente, onde também formam-se nevoeiros.</p>	<p><b>Frente Oclusa</b></p>  <p>Também conhecida como oclusão, é uma frente complexa formada quando uma frente fria alcança uma frente quente. Ela se forma quando três massas de ar termicamente diferentes se encontram. As características dessa frente oclusa vão depender da maneira com que essas três massas de ar se encontrarem.</p>	<p><b>Frente Estacionária</b></p>  <p>Uma frente que está quase-estacionária ou com muito pouco deslocamento. Também chamada de frente quase-estacionária.</p>
<p><b>Cavado</b></p>  <p>Uma área alongada de baixa pressão atmosférica que está associada a uma área de circulação ciclônica mínima. Oposto de crista. Geralmente está associado a mudanças no tempo com formação de nebulosidade e precipitação.</p>	<p><b>Crista</b></p>  <p>Uma área alongada de pressão atmosférica elevada que está associada com uma área de máxima circulação anticiclônica. Oposto de cavado. Geralmente associada a melhoria nas condições de tempo com poucas nuvens e temperaturas relativamente mais elevadas.</p>	<p><b>Jatos Polares</b></p>  <p>Corrente de ventos fortes (como mínimo de 150 Km/h podendo atingir os 300 km/h) entre os 8 e os 10 de quilômetros de altitude, e nas latitudes entre 30°S e 70°S. JPN = Jato Polar Norte JPS = Jato Polar Sul</p>	<p><b>Jato Sub-Tropical</b></p>  <p>Corrente de ventos fortes (como mínimo de 150 Km/h podendo atingir os 300 km/h) acima dos 13 quilômetros de altitude, e nas latitudes de 20°S a 40°S.</p>
<p><b>ZCIT</b></p>  <p>Zona de Convergência Inter Tropical. Cinturão de nuvens formado pelo encontro dos ventos alísios na faixa equatorial do globo.</p>	<p><b>ZCAS</b></p>  <p>Zona de Conv. do Atlântico Sul. Uma região de conv. de umidade em baixos e médios níveis que ocorre em uma faixa orientada de noroeste para sudeste atravessando o Brasil. Geralmente esta região está associada com abundante nebulosidade e precipitação que persiste no mínimo 3 dias e ocorre entre os meses de outubro e abril.</p>	<p><b>ZCOU</b></p>  <p>Zona de Convergência. Uma região de convergência de umidade em baixos e médios níveis que ocorre em uma faixa orientada de noroeste para sudeste atravessando o Brasil. Geralmente esta região está associada com abundante nebulosidade e precipitação que atua no máximo 2 dias e ocorre entre os meses de outubro e abril.</p>	<p><b>Sist. de Alta Pressão</b></p> <p><b>A</b></p>  <p>Uma área de máximo relativo de pressão que tem ventos divergentes (sopram do centro para fora) e com rotação oposta à rotação da Terra (anti-horário no Hemisfério Sul). Também chamado de anticiclone.</p>
<p><b>AB Alta da Bolívia</b></p>  <p>Sistema de alta pressão que se forma na alta troposfera (entre 10 e 13km de altitude) no verão, sobre a América do Sul.</p>	<p><b>Isotacas</b></p>  <p>Linhas de igual intensidade de vento. (em nós=1,8km/h)</p>	<p><b>VCAN V. Cicl. A. Níveis</b></p>  <p>Vórtice Ciclônico em Altos Níveis. Sistema de baixa pressão, de escala sinótica, que se forma na média e alta troposfera (entre 5 e 13 quilômetros de altitude).</p>	<p><b>Sist. de Baixa Pressão</b></p> <p><b>B</b></p>  <p>Uma área de mínimo relativo de pressão que tem ventos convergentes (sopram em direção ao centro) e com rotação no mesmo sentido da rotação da Terra (horário no Hemisfério Sul). Também chamado de ciclone. É o oposto do anticiclone.</p>
<p><b>Símbolos</b></p> <p>Quantidade Total de Nuvens (6/8)</p>			
<p>Temperatura (22°C)</p> <p>Tempo Presente (Pancada de chuva)</p> <p>Ponto de Orvalho (19°C)</p> <p>Direção de onde sopra o Vento (SW=240°)</p>			<p>Pressão Atmosférica ao Nível do Mar (1009,3 milibares)</p> <p>Tendência da Pressão nas últimas 3 hs (Sobe 1,5 mb / em décimos de milibares)</p> <p>Tempo Passado (Fenômenos produzidos nas últimas 3 hs)</p> <p>Velocidade do Vento (25 nós, cada traço = 10 nós meio-traço = 5 nós)</p>

Fonte: CPTEC-INPE. Disponível em:

[http://img0.cptec.inpe.br/~rgrafico/portal\\_tempo/legendas/legenda\\_sinoticaN.jpg](http://img0.cptec.inpe.br/~rgrafico/portal_tempo/legendas/legenda_sinoticaN.jpg)

Acesso em 15 de fevereiro de 2015.