

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA 2012**

. CLIMATOLOGIA APLICADA À PRÁTICA GEOGRÁFICA .

MAGDA LUZIMAR DE ABREU

Magda Luzimar de Abreu

. CLIMATOLOGIA APLICADA À PRÁTICA GEOGRÁFICA .

Belo Horizonte
CAED-UFMG
2012

Magda Luzimar de Abreu

. CLIMATOLOGIA APLICADA À PRÁTICA GEOGRÁFICA .

*Belo Horizonte
CAED-UFMG
2012*

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Prof^o Clélio Campolina Diniz

Reitor

Prof^a Rocksane de Carvalho Norton

Vice-Reitora

Prof^a Antônia Vitória Soares Aranha

Pró Reitora de Graduação

Prof^o André Luiz dos Santos Cabral

Pró Reitor Adjunto de Graduação

CENTRO DE APOIO À EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA

Prof^o Fernando Selmar Rocha Fidalgo

Diretor de Educação à Distância

Prof^o Wagner José Corradi Barbosa

Coordenador da UAB/UFMG

EDITOR CAED-UFMG

Prof^o Fernando Selmar Rocha Fidalgo

CONSELHO EDITORIAL

Prof^a Ângela Imaculada Loureiro de Freitas Dalberto

Prof^o Dan Avritzer

Prof^a Eliane Novato Silva

Prof^o Hormindo Pereira de Souza

Prof^a Paulina Maria Maia Barbosa

Prof^a Simone de Fátima Barbosa Tófani

Prof^a Vilma Lúcia Macagnan Carvalho

Prof^o Wagner José Corradi Barbosa

COLEÇÃO EAD - GEOGRAFIA

Coordenadora: Prof^a Vilma Lúcia Macagnan Carvalho

Livro: Climatologia Aplicada à Prática Geográfica

Autor: Magda Luzimar de Abreu

Projeto Gráfico: Laboratório de Arte e Tecnologia para Educação/EBA/UFMG

Este livro recebeu apoio financeiro da UAB/CAPES.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

(Luciana de Oliveira M. Cunha, CRB-6/2725)

Abreu, Magda Luzimar de
A162c Climatologia aplicada à prática geográfica / Magda L. de Abreu.
– Belo Horizonte : CAED-UFMG, 2012.
88 p. : il. ; 27 cm.

Inclui bibliografia.
ISBN
1. Climatologia. 2. Meteorologia. 3. Ensino a distância. I.
Universidade Federal de Minas Gerais. II. Título.

CDD 551.6
CDU 551.58

A Universidade Federal de Minas Gerais atua em diversos projetos de Educação a Distância, que incluem atividades de ensino, pesquisa e extensão. Dentre elas, destacam-se as ações vinculadas ao Centro de Apoio à Educação a Distância (CAED), que iniciou suas atividades em 2003, credenciando a UFMG junto ao Ministério da Educação para a oferta de cursos a distância.

O CAED-UFMG (Centro de Apoio à Educação a Distância da Universidade Federal de Minas Gerais), Unidade Administrativa da Pró-Reitoria de Graduação, tem por objetivo administrar, coordenar e assessorar o desenvolvimento de cursos de graduação, de pós-graduação e de extensão na modalidade a distância, desenvolver estudos e pesquisas sobre educação a distância, promover a articulação da UFMG com os polos de apoio presencial, como também, produzir e editar livros acadêmicos e/ou didáticos, impressos e digitais, bem como a produção de outros materiais pedagógicos sobre EAD.

Em 2007, diante do objetivo de formação inicial de professores em serviço, foi criado o Programa Pró-Licenciatura com a criação dos cursos de graduação a distância e, em 2008, com a necessidade de expansão da educação superior pública foi criado pelo Ministério da Educação, o Sistema Universidade Aberta do Brasil – UAB. A UFMG integrou-se a esses programas visando apoiar a formação de professores em Minas Gerais, além de desenvolver um ensino superior de qualidade em municípios brasileiros desprovidos de instituições de ensino superior.

Atualmente, a UFMG oferece - através do Pró-licenciatura e da UAB - cinco cursos de graduação, quatro cursos de pós-graduação *lato sensu*, sete cursos de aperfeiçoamento e um de atualização.

Como um passo importante e decisivo o CAED-UFMG decidiu, neste ano de 2011, criar a Editora CAED-UFMG como forma de potencializar a produção do material didático a ser disponibilizado para os cursos em funcionamento.

Nesse sentido, publicamos mais esse livro da coleção Educação a Distância, série Geografia. Agradecemos aos autores e à equipe de produção pela competência e dedicação que garantiram, com certeza, o nível de excelência desta obra apresentada à comunidade acadêmica.

Fernando Selmar Rocha Fidalgo

Editor

Este texto apresenta o conteúdo desenvolvido na disciplina Climatologia Aplicada à Prática Geográfica, do Curso de Geografia, bacharelado, modalidade a distância. Ele se estrutura a partir do programa da disciplina. Trata-se de um material de apoio didático. Ele é composto de textos e atividades a serem desenvolvidas pelos alunos, objetivando a fixação dos conhecimentos adquiridos em quatro módulos temáticos.

Diferentemente da disciplina Climatologia, que é um pré-requisito para a aqui apresentada, o programa desta disciplina prevê uma participação maior dos alunos na construção do conhecimento a partir do conteúdo aqui apresentado. Desta forma cada aula terá uma apresentação inicial do conteúdo e várias atividades que serão propostas aos alunos para consolidar os conceitos e metodologias propostos.

A autora agradece:

Aos alunos da primeira oferta do Curso de Geografia – UFMG/UAB por contribuírem na motivação para finalizar este material.

Ao Ministério da Educação através da CAPES/UAB, pela iniciativa de implantar a educação a distância no ensino superior brasileiro e pelo apoio financeiro à implantação e desenvolvimento do Projeto Pedagógico do Curso de Geografia.

A Universidade Federal de Minas Gerais e ao seu Departamento de Geografia, particularmente às professoras Marly Nogueira e Vilma Lúcia Macagnam de Carvalho, por aceitarem o desafio da UAB, proporcionando-lhe condições para participar desta iniciativa.

A tutora da disciplina, Taíza de Pinho Barroso Lucas, pelas produtivas discussões não apenas sobre o conteúdo da disciplina, mas também sobre o nosso papel como educadoras e sobre o uso da informática no ensino.

A toda a equipe da UAB/UFMG, incluindo professores, tutores, técnicos administrativos do Centro de Apoio a Educação a Distância e estagiários (aqui lembrados na pessoa da aluna Aline Oliveira Conceição Gomes, por sua competência e dedicação ao trabalho).

Ao Instituto Nacional de Meteorologia cujos dados disponibilizados através do convênio nº D05/081/2008, datado em 06 de novembro de 2008, permitiram ilustrar vários conceitos climáticos abordados na disciplina.

À minha família por continuarem a me amar, apesar da ausência promovida pelas horas de dedicação ao desenvolvimento deste trabalho.

Magda Luzimar de Abreu

Janeiro de 2011.

APRESENTAÇÃO	06		
CAPÍTULO 1	10		
1. Manipulação de Dados Meteorológicos	12		
1.1. Os Dados Meteorológicos	12		
1.2. Manipulação e Uso dos Dados Climáticos	15		
1.3. Análise Rítmica	24		
1.4. Análise Climática	28		
Referências	32		
Bibliografia	32		
Sites	33		
Exercícios de Revisão	33		
CAPÍTULO 2	34		
1. Mudanças Climáticas	36		
1.1. Estrutura Simplificada do Balanço de Energia do Sistema Terra-Atmosfera	36		
1.2. Mudanças Climáticas Naturais	39		
1.3. Mudanças Climáticas Antrópicas	44		
Referências	53		
Bibliografia	53		
Sites	54		
Exercícios de Revisão	54		
CAPÍTULO 3	56		
1. Técnicas em Climatologia: O Balanço Hídrico	58		
1.1. Elementos do Balanço Hídrico	58		
1.1.1. Evapotranspiração	58		
1.1.2. Precipitação (P)	59		
1.1.3. Capacidade de Armazenamento de Água (CA)	59		
1.1.4. Negativo Acumulado (NA)	59		
1.1.5. Excedente Hídrico (EXC)	59		
1.1.6. Déficit Hídrico (DEF)	59		
2. Cálculo do Balanço Hídrico	59		
3. Representação Gráfica do Balanço Hídrico	64		
3.1. Precipitação X Evapotranspiração Potencial X Evapotranspiração Real	64		
3.2. Reposição X Excedente X Retirada X Déficit	65		
Referências	66		
Bibliografia	66		
Sites	67		
Exercícios de Revisão	67		
CAPÍTULO 4	68		
1. Dinâmica Atmosférica dos Climas Tropicais: Escalas Climáticas	70		
1.1. As Células de Circulação Geral da Atmosfera e sua Atuação no Brasil	70		
1.2. A Interação entre a Célula de Meridional de Hadley e a Zonal de Walker e sua Atuação na Região Sudeste do Brasil	76		
2. A Interação entre os Sistemas de Larga Escala e os Fatores Locais	79		
Referências	86		
Bibliografia	86		
Sites	86		
Exercícios de Revisão	86		



CAPÍTULO 1

1. MANIPULAÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS

Objetivos: Apresentar os principais dados meteorológicos utilizados nas aplicações da Climatologia à Ciência Geográfica; apresentar os métodos de manipulação dos dados meteorológicos e sua representação gráfica, utilizados para a elaboração de pesquisa em climatologia e variabilidade climática.

1.1. Os Dados Meteorológicos

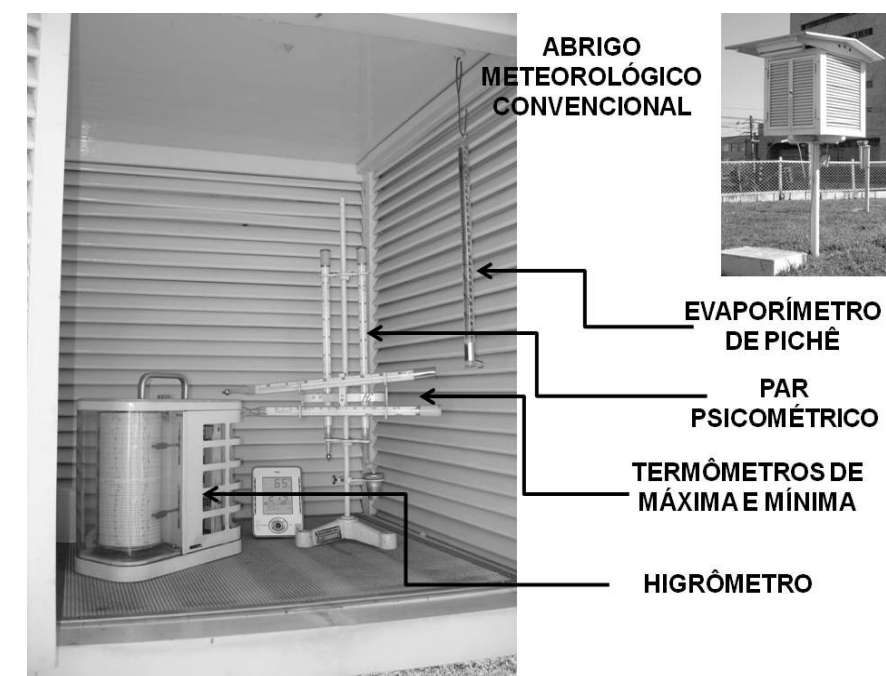
Os dados meteorológicos são a base da pesquisa em climatologia. Assim o primeiro passo para o entendimento do clima é a coleta destes dados. Oficialmente os dados são coletados através de um agrupamento de instrumentos que constituem a estação meteorológica. A rede de estações meteorológicas oficial é instalada e mantida no Brasil pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, através de seus distritos regionais. Minas Gerais é sede do 5o. Distrito de Meteorologia - 5º DISME/INMET, localizado em Belo Horizonte.

Os dados utilizados neste conteúdo constituem os denominados de superfície. Eles são coletados pelas estações de superfície. Em Belo Horizonte o INMET possui duas estações de superfície, uma convencional e a outra automática. A estação convencional está instalada no 5o. DISME e é denominada Estação Completa

Principal - ECP por conter todos os equipamentos necessários para um estudo climático (figura 1.1). A automática está instalada no campus da UFMG (figura 1.2).

A estação convencional possui vários instrumentos de medida. De modo geral os dados da ECP utilizados nos estudos de climatologia geográfica são temperaturas do ar instantânea, máxima e mínima, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, vento (velocidade e direção) e insolação. Os dados são coletados em horários sinóticos (horários estabelecidos pela Organização Mundial de Meteorologia - OMM, a partir do Tempo Médio de Greenwich - TMG que tem como referência a longitude zero, onde TMG é 0000). O objetivo é permitir a espacialização dos dados em horários padrões a fim de visualizarem-se os principais sistemas meteorológicos que atuam naquele horário, ao longo do globo. No Brasil o INMET coleta dados nos horários sinóticos de 1200, 1800 e 0000 TMG. Em Belo Horizonte estes horários sinóticos correspondem a 0900, 1500 e 2100 horas, local.

FIGURA 1.1
ECP instalada no 5º DISME/INMET em Belo Horizonte - MG.



Fonte da foto: Assis (2008).

FIGURA 1.2.
Estação automática instalada no campus da UFMG em Belo Horizonte - MG.



Fonte da foto: www.inmet.gov.br; acessado em 05 de junho de 2011.

Os dados coletados devem ser consistidos antes de serem manipulados. A consistência é feita para eliminar distorções nas séries históricas originadas de falhas ou erros de leitura na coleta dos dados. De modo geral os órgãos que coletam os dados os disponibilizam consistidos. Isto ocorre com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e com os da Agência Nacional de Águas - ANA.

Saiba mais

LEITURA COMPLEMENTAR: Pesquise sobre ECPs e automáticas

Atualmente o INMET disponibiliza, no seu site, os dados de superfície, não consistidos, tanto das ECPs, quanto das automáticas. Para acessá-los busca-se o link “observados” e em seguida os links “estações convencionais” ou “estações automática”.

Os dados das ECPs disponibilizados no site são temperaturas do ar instantânea, máxima e mínima, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, vento (velocidade e direção) e nebulosidade (resultante da observação visual do observador, meteorologista). O dado de chuva, diferentemente dos demais, é registrado apenas no horário das 1200 TMG, como o total acumulado nas últimas 24 horas. A tabela 1.1 mostra a tabela de dados de uma ECP encontrada no site.

DATA	HORA	TEMP.	UMIDADE	PRESSÃO	VENTO		NEBULOSIDADE	DADOS DIÁRIOS		
					VEL (M/S)	DIR. (°)		TEMP. MÁX (°C)	TEMP. MÍN (°C)	CHUVA (MM)
24/03/2009	00	0.0	0	0.0	0.0	0	0	26.7	-	-
24/03/2009	12	18.9	99	871.2	0.5	36	10	-	18.2	4.8
24/03/2009	18	25.7	63	867.5	2.1	23	10	-	-	-
25/03/2009	00	18.7	96	869.8	0.0	0	6	-	-	-

Dados da Estação Convencional: DIAMANTINA (MG)

Os dados das automáticas disponibilizados no site são os valores horários, instantâneo, máximo e mínimo, das variáveis temperatura e umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho e pressão atmosférica. Além destes encontram-se os dados horários instantâneos da velocidade e direção do vento, da radiação solar incidente e da chuva. A tabela 1.2 mostra a tabela de dados de uma estação automática encontrada no site.

DATA	HORA	TEMPERATURA (°C)			UMIDADE (%)			PTO. ORVALHO (°C)			PRESSÃO (HPA)			VENTO (M/S)			RADIÇÃO (KJM²)	CHUVA
		INST.	MAX.	MIN.	INST.	MAX.	MIN.	INST.	MAX.	MIN.	INST.	MAX.	MIN.	VEL.	DIR.	RAJ.		
24/03/2009	00	23.4	23.8	23.2	84	84	80	20.4	20.5	20.0	935.5	935.5	934.7	0.0	190°	1.8	0.000	0.0
24/03/2009	01	22.9	23.4	22.9	84	85	83	20.1	20.4	20.1	936.1	936.1	935.5	1.1	144°	2.6	0.000	0.0
24/03/2009	02	22.7	23.0	22.7	87	87	84	20.4	20.4	20.0	936.6	936.6	936.1	1.4	186°	2.0	0.000	0.0
24/03/2009	03	22.8	22.9	22.6	86	88	86	20.4	20.6	20.3	936.1	936.6	936.1	0.1	220°	2.0	0.000	0.0
24/03/2009	04	22.5	22.9	22.5	89	90	86	20.7	20.8	20.4	936.1	936.1	935.9	1.0	294°	1.9	0.000	0.0
24/03/2009	05	22.0	22.5	21.9	91	92	88	20.4	20.8	20.1	935.7	936.2	935.7	2.8	253°	4.6	0.000	5.2

Fonte: www.inmet.gov.br>. Acesso em 25/03/2009.

1.2. Manipulação e Uso dos Dados Climáticos

A radiação solar horária está disponibilizada nos dados da estação automática. O instrumento que coleta a radiação solar global ou difusa é o piranômetro. Esta variável representa a quantidade de energia que atinge uma unidade de área à superfície, por unidade de tempo. A unidade da variável radiação, disponibilizada no site do INMET, é Kjm².

O gráfico 1.1 mostra o ritmo dos dados de radiação solar ao longo de um dia na região tropical, para a cidade de Belo Horizonte, originado da estação automática. O horário é o TMG (duas horas a mais para o horário local de verão e três para o restante do ano) e as estações do ano são as de verão (representada pelo mês de dezembro) e inverno (representada pelo mês de julho). Observa-se que o primeiro registro horário é o das 0900 TMG (0700 local-verão), de 82 Kjm², em dezembro, e 1000 TMG (0700 local), de 23 Kjm², em julho. O valor máximo é de 3.945 Kjm², às 1600 TMG (1400 local-verão) em dezembro e 2.960 Kjm², às 1600 TMG (1300 local) em julho. O padrão horário observado reflete o percurso aparente, diário, do sol no céu em ambos os meses. Mínimos valores são registrados no nascer e pôr do sol e, máximo, no zênite. A diferença dos valores absolutos indica a influência da estação do ano, sendo os menores registrados no inverno.

GRÁFICO 1.1

Exemplo de dados de radiação solar global, disponibilizados no site do INMET para a estação automática de Belo Horizonte - Pampulha. Legenda: ___ 11/12/2009 e ___ 31/07/2009.

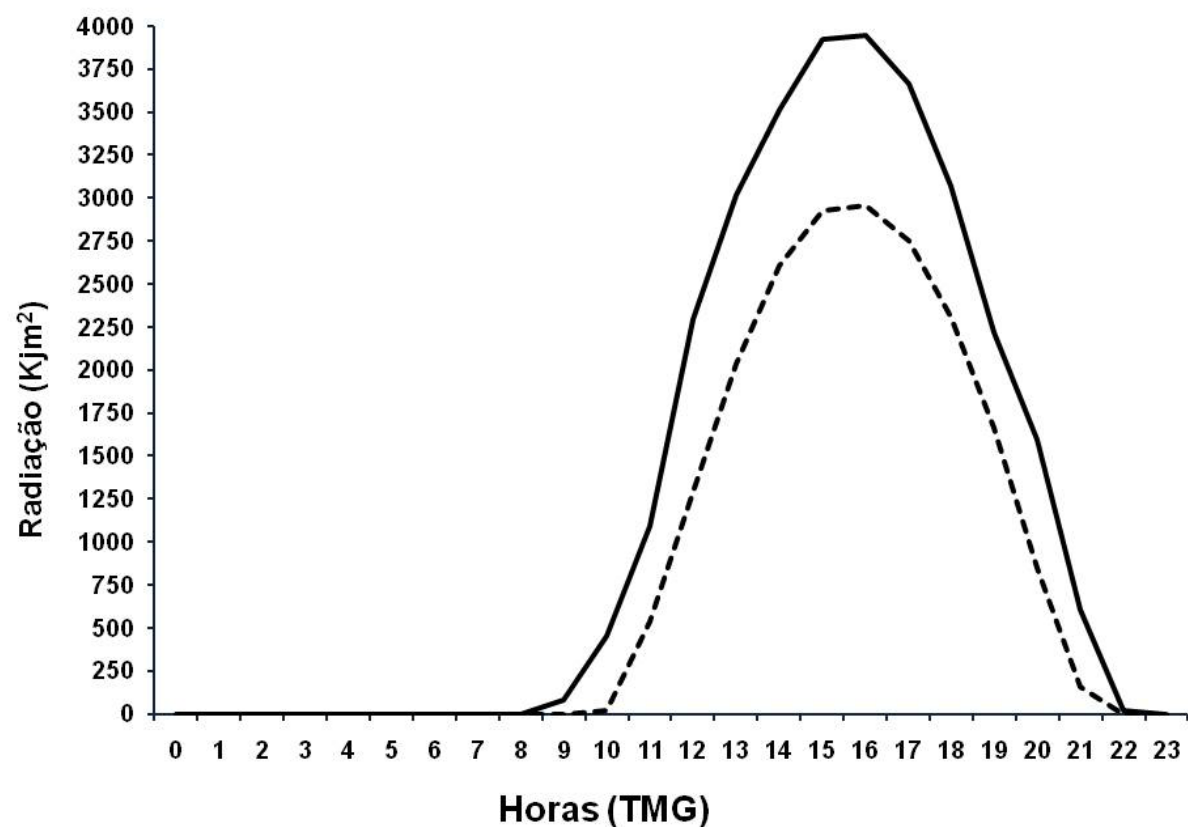


Gráfico elaborado pela autora.

O padrão diário observado no gráfico 1.1 representa o esperado teoricamente para a distribuição horária da radiação solar global. Este padrão sofre modificações em razão da atuação da nebulosidade. As nuvens refletem aproximadamente 30% da radiação solar incidente no planeta, como será discutido no módulo II. A nebulosidade (quantidade de nuvens presente no céu em determinado horário) é medida em décimos, sendo zero décimos denominado de céu claro, e dez décimos de céu encoberto. O gráfico 1.2 mostra a diferença de radiação solar global medida em um dia com baixa nebulosidade (11/12), comparada com um dia de céu encoberto (06/12), no verão. Observa-se que no dia encoberto (nebulosidade de 10 décimos registrada nos três horários sinóticos) o máximo valor de radiação registrado foi de 635 KJm², às 1600 TMG (1400 local-verão). Os valores registrados neste dia são menores que os registrados em um dia típico de inverno (31/07) mostrando a grande interferência da nebulosidade na radiação solar incidente na estação chuvosa da região tropical.

GRÁFICO 1.2

Exemplo do impacto da nebulosidade sobre a radiação solar global na estação chuvosa na região tropical, para a estação automática de Belo Horizonte - Pampulha. Legenda: ___ 11/12/2009, ___ 31/07/2009 e 06/12/2009 (dia com céu encoberto).

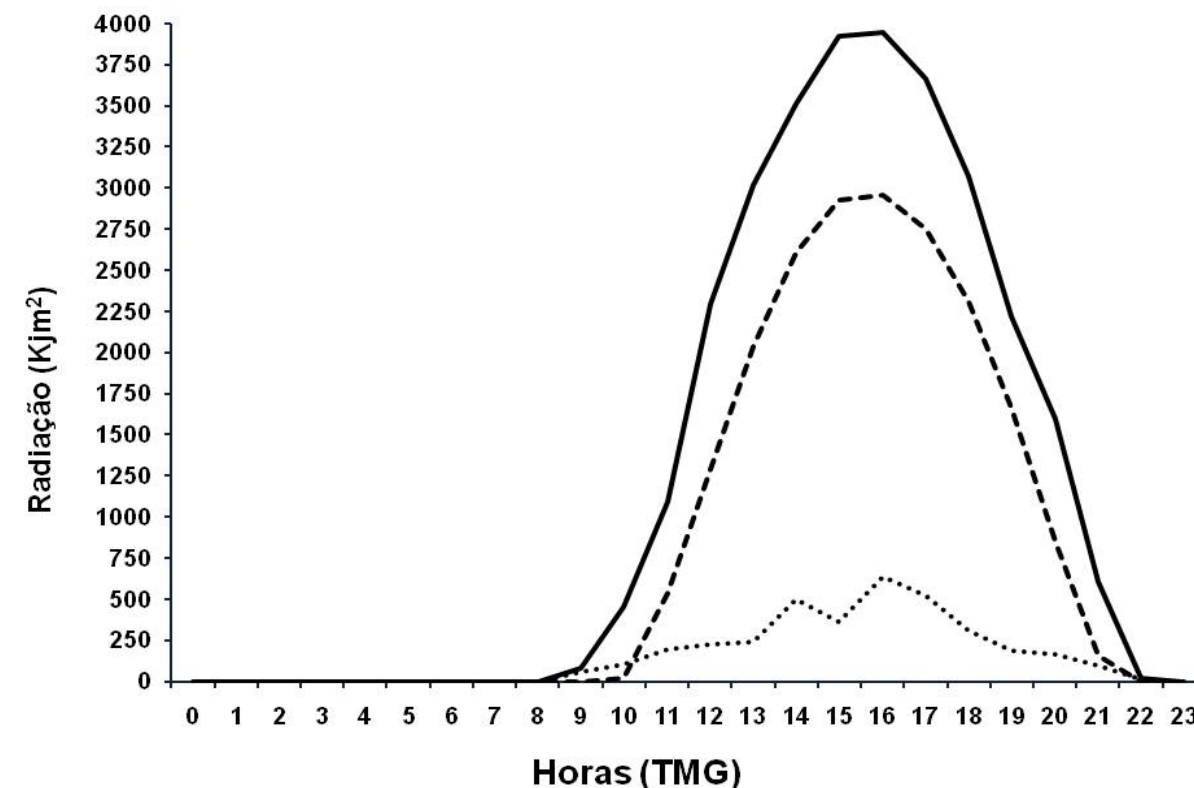


Gráfico elaborado pela autora.

A temperatura do ar à superfície sofre interferência da disponibilidade de radiação solar e conseqüentemente da nebulosidade. O gráfico 1.3 mostra a relação entre temperatura do ar e radiação solar em dias com baixa nebulosidade, dia 11/12/2009 (maiores valores de ambas as variáveis) e encobertos, dia 06/12/2009 (menores valores de ambas as variáveis).

GRÁFICO 1.3

Exemplo do impacto da nebulosidade sobre a radiação solar global e a temperatura do ar na estação chuvosa na região tropical, para a estação automática de Belo Horizonte - Pampulha. Legenda: ___ radiação solar, --- temperatura do ar.

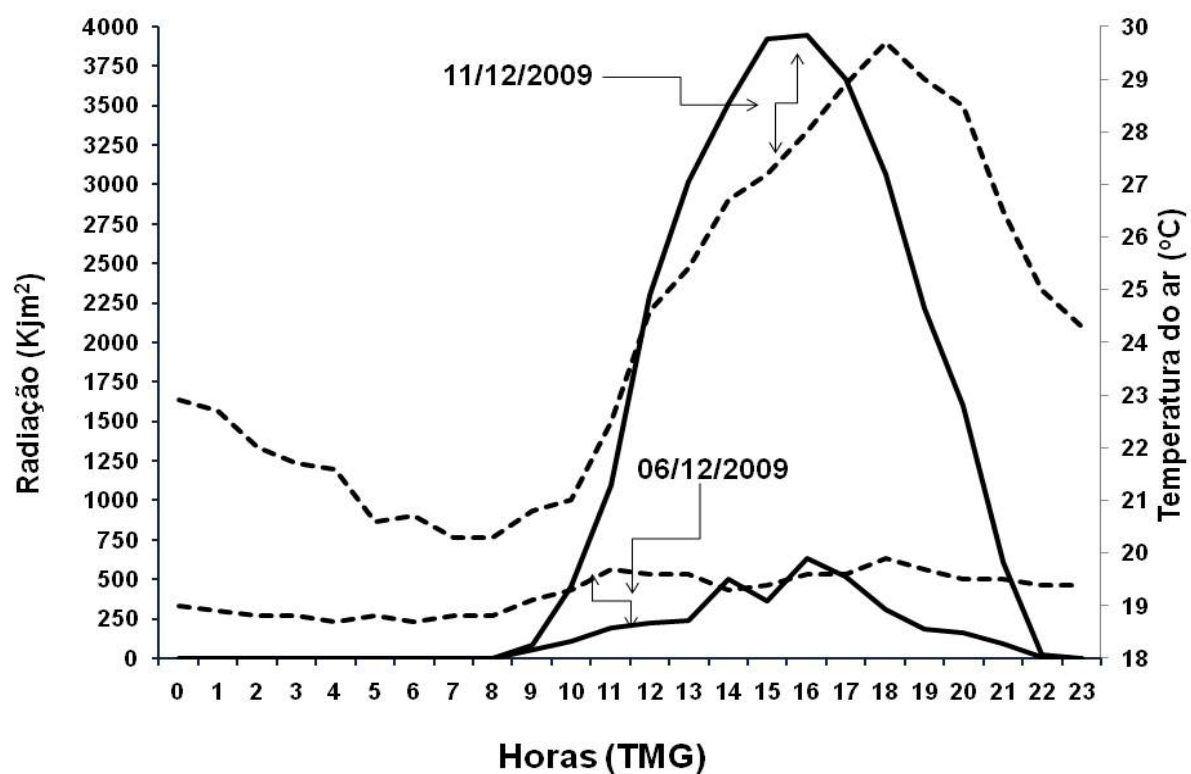


Gráfico elaborado pela autora.

A radiação solar é tratada como o total acumulado diário e, médias, mensal e anual. O valor diário acumulado resulta da soma dos valores horários. Por outro lado a temperatura do ar é tratada como média diária, mensal e anual. O valor diário médio resulta da média das temperaturas registradas ao longo do dia ou da média compensada definida pelo INMET (1992), apresentado na 4^a. aula do conteúdo da disciplina Climatologia (Abreu, 2012). O gráfico 1.4 apresenta a relação entre as temperaturas média (calculada através da média simples de todos os horários do dia, em razão de tratar-se de uma estação automática), e máxima, e a radiação solar global acumulada, diárias, para o mês de dezembro, típico do verão da região tropical. Observa-se que ambas as temperaturas, média e máxima, respondem ao padrão da radiação solar. Nos dias em que a radiação é muito baixa, em razão da alta nebulosidade, as temperaturas também são muito baixas. O gráfico 1.5 mostra a relação entre a radiação solar e a nebulosidade.

GRÁFICO 1.4

Relação entre as temperaturas médias, diária e máxima, e a radiação solar global acumulada, diária, para a estação automática de Belo Horizonte - Pampulha, no mês de dezembro de 2009. Legenda: ___ radiação solar, --- temperatura média do ar, temperatura máxima.

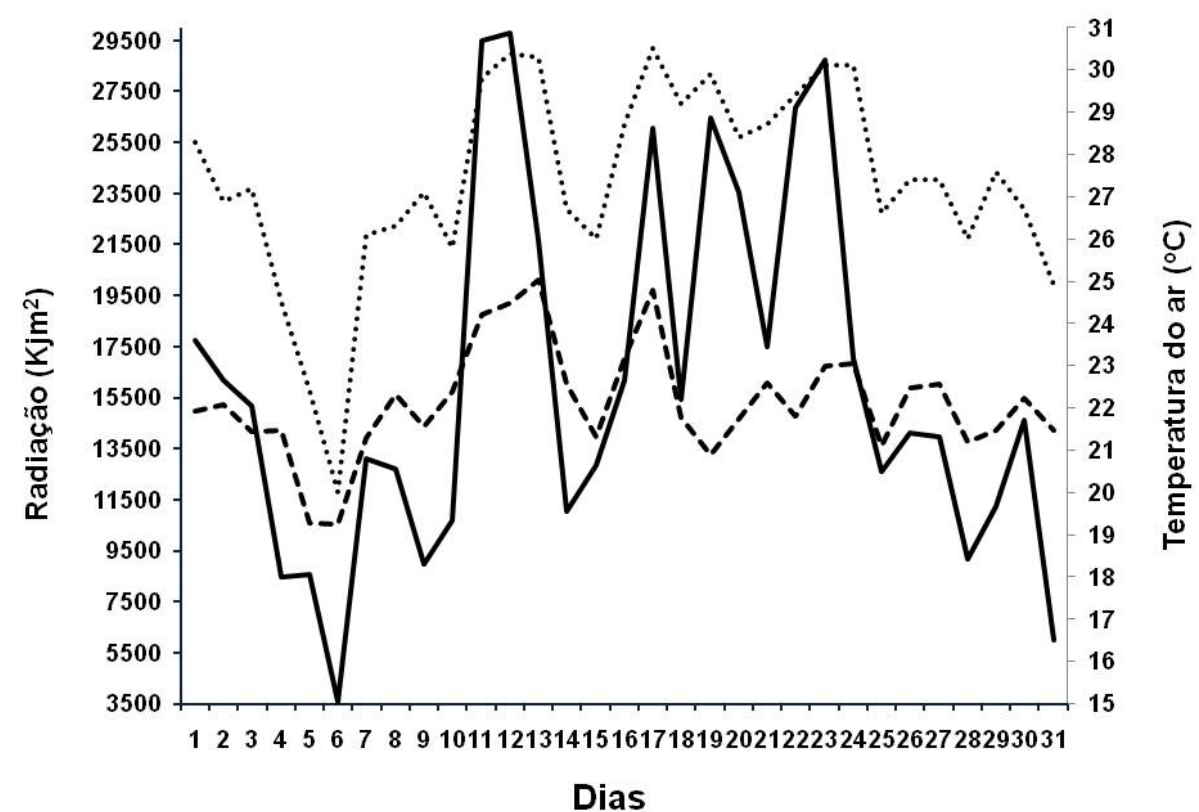


Gráfico elaborado pela autora.

A umidade relativa do ar, horária, sofre a interferência da temperatura do ar como indicado no gráfico 1.6. Seu ciclo diário indica que esta variável é máxima quando a temperatura é mínima e vice-versa. O cálculo diário desta variável também se origina da média horária (utilizada no gráfico 1.6) ou da média compensada definida pelo INMET (1992).

GRÁFICO 1.5

Relação entre radiação solar global acumulada e nebulosidade, para a estação automática de Belo Horizonte - Pampulha. Legenda: ___ radiação solar, ___ nebulosidade.

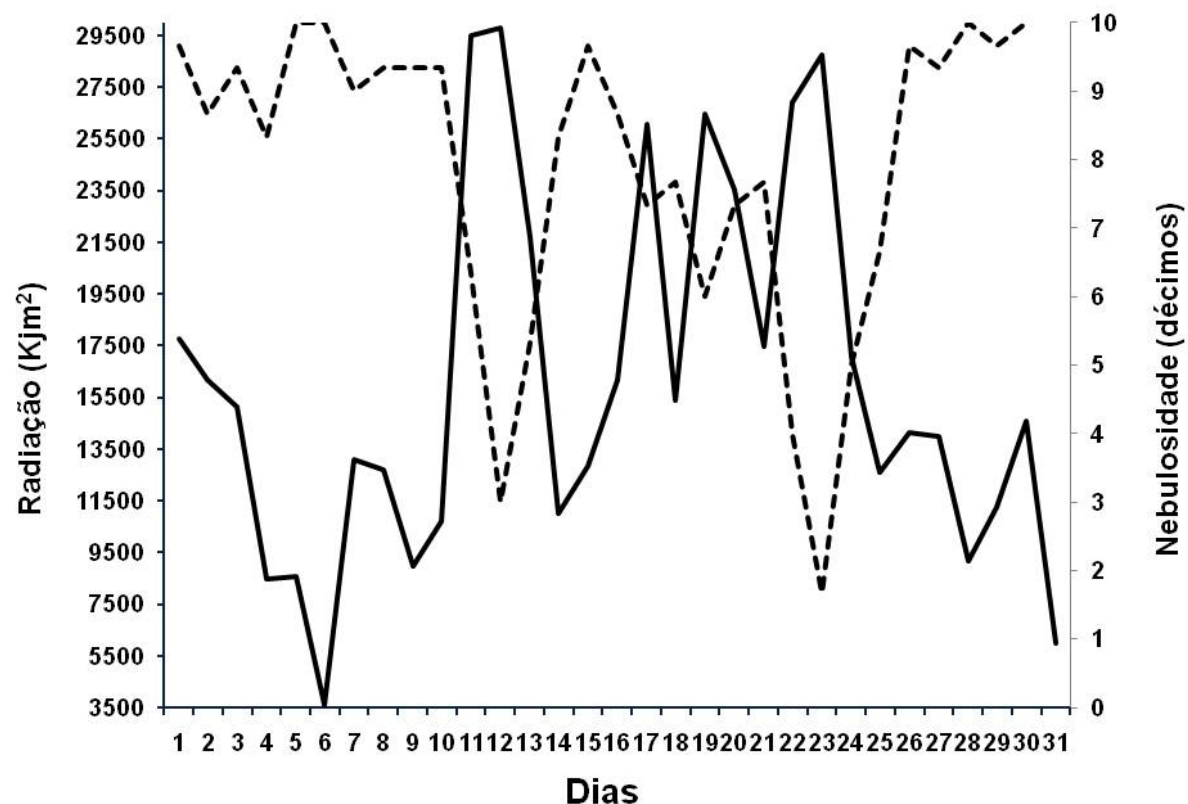


Gráfico elaborado pela autora.

GRÁFICO 1.6

Relação entre temperatura e umidade relativa do ar, horárias, para a estação automática de Belo Horizonte - Pampulha. Legenda: ___ umidade relativa do ar, ___ temperatura do ar.

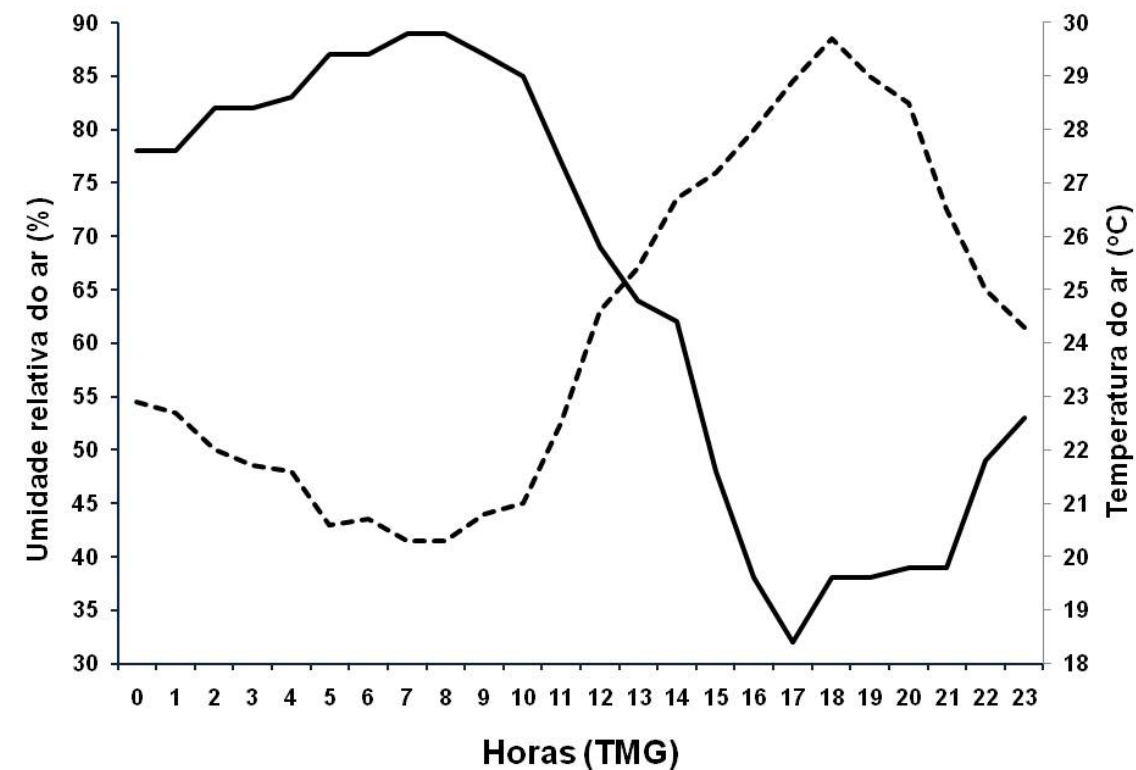


Gráfico elaborado pela autora.

A variável de maior interesse em estudos da Climatologia Geográfica e áreas afins como Engenharia Sanitária, Hidrologia e Geologia é a precipitação, medida em mm de água acumulada por dia ou mês. Ela é medida de duas maneiras. Na estação convencional as medidas são feitas nos horários sinóticos e na automática de forma contínua, disponibilizada no site do INMET a cada hora. Em ambas as situações seu uso mais comum é o valor diário que representa o total acumulado em 24 horas. Para o INMET o dia de chuva representa o total de 24 horas entre as 1200 TMG (0900 local em Belo Horizonte) do dia de coleta e do dia anterior. A Agência Nacional de Águas – ANA coleta os dados entre 1100 TMG (0800 local em Belo Horizonte) do dia de coleta e do dia anterior.

Dados de chuva típicos de verão, convectivas, na região tropical são apresentados em dois dias no gráfico 1.7. No dia 14/12 a chuva é de origem local e/ou regional, com total, concentrado em poucos minutos ao longo do dia, de 36,6 mm (1700 e 1800 TMG). No dia 28/12 a chuva está associada a sistemas de larga escala, regionais e/ou globais, que serão discutidos no módulo IV. Neste dia houve acúmulo de 96,4 mm de chuva em 24 horas, com total acumulado de 46,4 mm no período de 0300 e 0800 TMG.

GRÁFICO 1.7

Exemplos de chuvas típicas de verão na região tropical para a estação automática de Belo Horizonte - Pampulha. Legenda: __ 14/12/2009, ___ 28/12/2009.

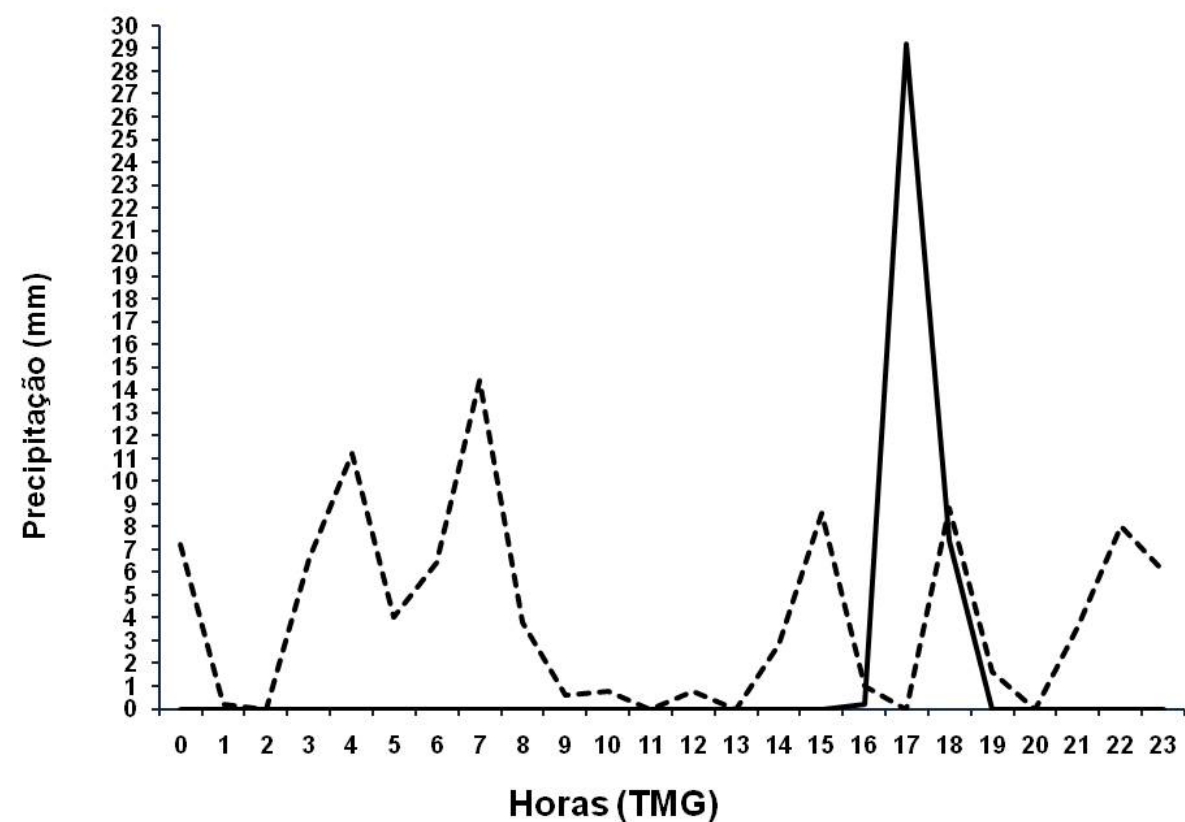


Gráfico elaborado pela autora.

É importante destacar que a análise anterior se aplica ao período de um dia cronológico, o que é possível com os dados coletados pela estação automática que são disponibilizados a cada hora. Porém os dados são oficialmente liberados nos horários sinóticos e, como indicado anteriormente, o total de chuvas é disponibilizado às 1200 TMG, representando um período de 24 horas. Desta forma o gráfico 1.7 deve ser refeito para ser utilizado em trabalhos de pesquisa. Os novos cálculos são representados no gráfico 1.8. Observe que a chuva do dia 14 mostrada no gráfico 1.7 na realidade é computada no dia 15, pois, ela ocorre no dia 14 entre 1600 e 1800 TMG. No período entre 1300 TMG do dia 13 e 1200 TMG do dia 14 não houve precipitação.

GRÁFICO 1.8

Exemplos de chuvas típicas de verão na região tropical, calculado no horário sinótico de 1200 TMG, para a estação automática de Belo Horizonte - Pampulha. Legenda: __ total acumulado registrado no dia 15/12/2009, ___ total acumulado registrado no dia 28/12/2009.

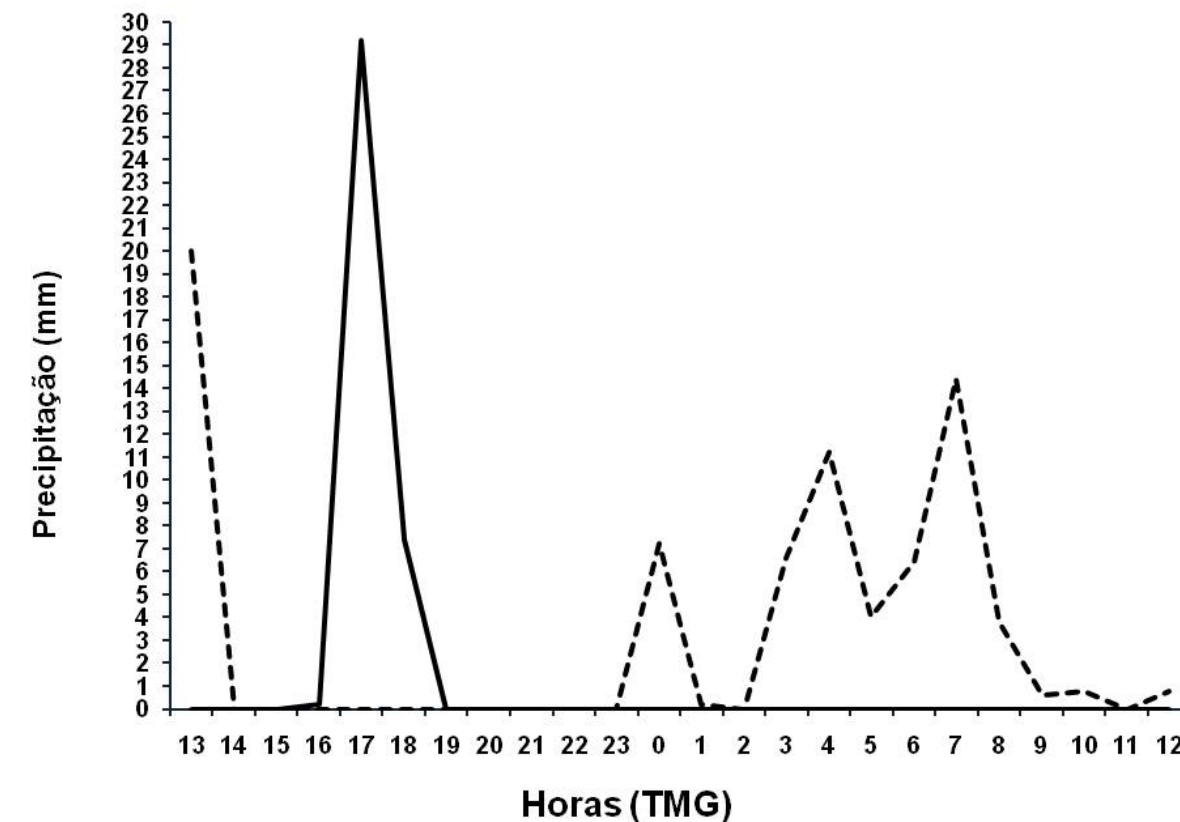


Gráfico elaborado pela autora.

1.3 – Análise Rítmica

Um método amplamente utilizado nos estudos de Climatologia Geográfica é a Análise Rítmica proposta pelo Prof. Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro (1969). Neste método o ritmo diário das variáveis meteorológicas de superfície é analisado ao longo de um período de tempo. As variáveis utilizadas são chuva, pressão, temperatura média, umidade relativa do ar e vento. O comportamento das variáveis é avaliado juntamente com a presença de sistemas de larga escala definidos pela avaliação dos tipos de massas de ar que predominam sobre a região. Os dados de superfície são os do INMET ou de estações meteorológicas disponíveis. Os sistemas de larga escala foram identificados por Monteiro (1969) através de cartas sinóticas de superfície, mas podem ser utilizadas também imagens de satélite meteorológico.

A análise rítmica, embora utilizada como análise climática, é na realidade uma análise do tempo predominante durante o evento estudado. Ela equivale à análise sinótica do tempo utilizada nos estudos de Meteorologia. Da forma como ela foi proposta ela não é apropriada para estudos climáticos, mas sim para estudos de caso, de interesse em climatologia, tanto os observados em episódios normais, como os relacionados a anomalias climáticas. Neste módulo utilizamos este método para analisar o comportamento do tempo em dezembro de 2009.

Os gráficos foram apresentados em uma única prancha na proposta de Monteiro (1969), mas hoje podemos organizá-la em planilha de cálculo. Os gráficos apresentados na figura 1.9 mostram a Análise Rítmica para o mês em estudo.

O primeiro gráfico (fig. 1.9.a) apresenta a análise da pressão atmosférica à superfície, local. Observa-se que ao longo do mês a pressão oscilou entre 913 (no período de 27 a 30), e 920 hPa (entre os dias 19 e 23). Ao longo do mês a pressão apresentou outros quatro mínimos (dias 4, 10, 12 e 17) e máximos (dias 3, 9, 11 e 16) que se destacaram.

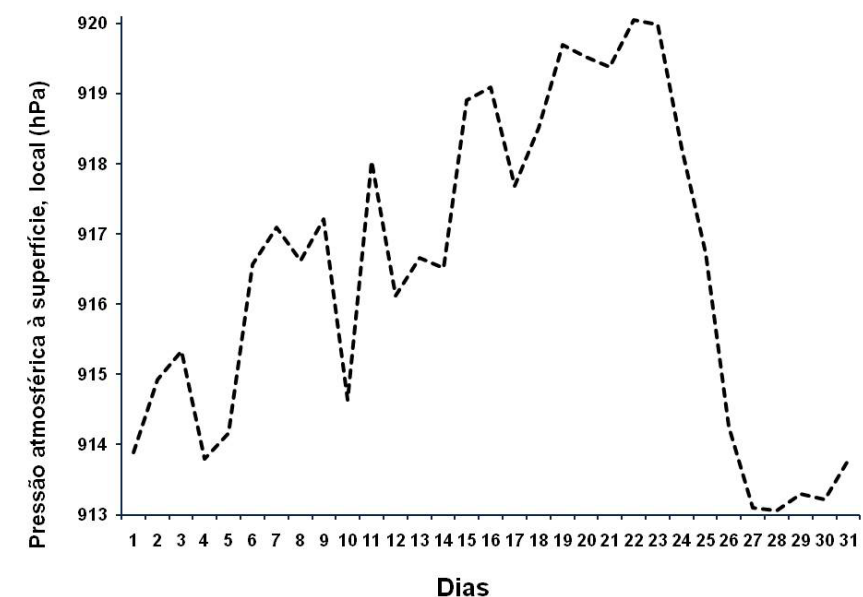
A análise das condições sinóticas, extraídas das cartas sinóticas de superfície do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC e da Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN e das imagens de satélite meteorológico, é resumida na tabela (figura 1.9.e) Ela indica que nos períodos de mínimo valor de pressão nos dias 4 e 10 atuaram sobre a região sudeste do Brasil uma região de convergência, associada à influência de frentes frias (FPA). Esta condição ocasionou forte queda de temperatura nos dois episódios (figura 1.9.b), devida à alta nebulosidade (figura 1.9.c). Os mínimos de pressão dos dias 12 a 14, e 17 apresentam altas temperaturas, e são devidos à atuação de centros de baixa pressão continentais (IT). De 24 a 30 a queda de pressão esteve relacionada à atuação de ITC que geraram intensa nebulosidade (figura 1.9.c), resultando também em forte queda de temperatura do ar (figura 1.9.b). Nos demais dias a queda de pressão esteve associada a aquecimento local (BP) e enfraquecimento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul - ASAS. Os máximos estiveram associados à atuação de centros de alta pressão, sendo nos dias 3, 9, e, 18 e 19, 22 e 23, a do ASAS e, no dia 11, e entre 15 e 16 a do Anticiclone Polar do Atlântico Sul - APAS.

O padrão dos sistemas atmosféricos atuantes no período analisado resultou em chuvas intensas que totalizaram 696 mm. Os dias mais chuvosos são os períodos entre 3 e 5, 14 e 19, e 28 e 30. Destaca-se que as chuvas são medidas entre 9 horas de um dia e 9 horas do dia seguinte (figura 1.9.d).

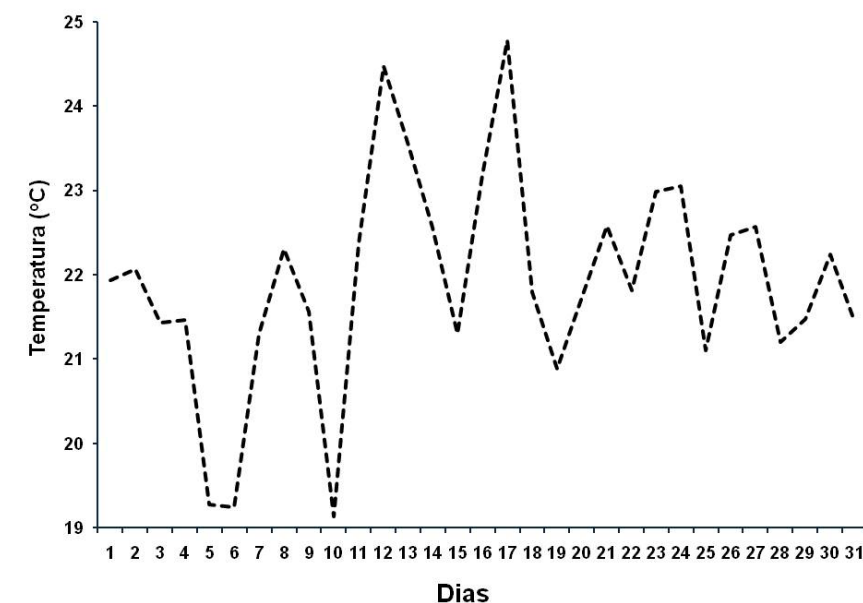
GRÁFICO 1.9

Análise sinótica do tempo no mês de dezembro de 2009, utilizando a técnica da análise rítmica, mostrando o comportamento diário das variáveis: a. pressão atmosférica; b. temperatura do ar; c. nebulosidade; d. precipitação; e. tabela com sistemas atmosféricos atuantes, para a estação automática de Belo Horizonte - Pampulha.

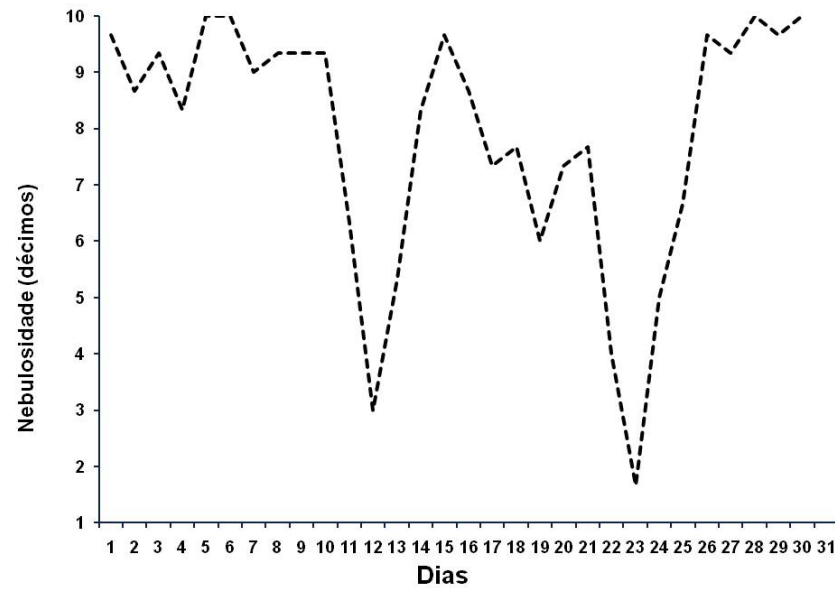
a)



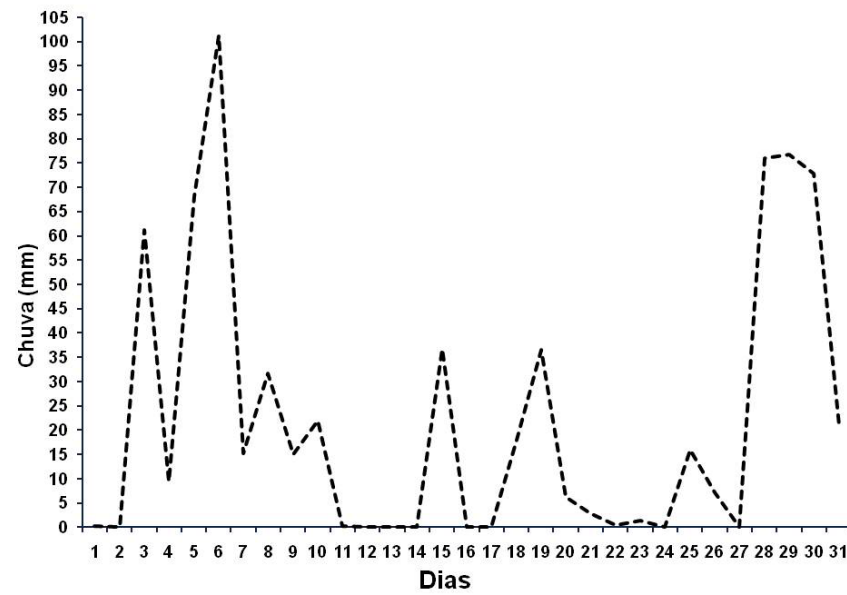
b)



c)



d)



e)

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Sistemas Atmosféricos predominantes	BP	BP	ASAS	FPA	FPA	BP	BP	BP	ASAS	FPA	APAS	BP	IT	IT	APAS	APAS	IT	APAS	APAS	IT	APAS	ASAS	ASAS	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	ASAS

Gráficos e tabela elaborados pela autora.

Saiba mais

LEITURA COMPLEMENTAR:

CARTAS SINÓTICAS

Cartas Sinóticas são representações espaciais das variáveis atmosféricas. Elas podem ser construídas para várias altitudes. No estudo da Climatologia Geográfica a carta sinótica mais utilizada é a de superfície. São utilizados símbolos para representar nuvens, ventos, centros de pressão, sistemas frontais, zonas de convergência, entre outros.

Acesse o site do serviço de meteorologia da Marinha Brasileira, o DHN veja como a carta sinótica é apresentada. O DHN a denomina Carta de Pressão.

Saiba mais

LEITURA COMPLEMENTAR:

IMAGENS DE SATÉLITE METEOROLÓGICO

A identificação de nuvens pode ser feita através de imagens de satélites meteorológicos, através de sensores que operam em frequências de ondas longas. As imagens são produzidas a partir da recepção desta energia emitida pelas nuvens e pela superfície. Na atmosfera os topos de nuvens emitem pouca energia infravermelha, pois eles são muito frios por estarem a grandes altitudes. A superfície, por outro lado, emite muita energia infravermelha por ter temperaturas muito altas, quando comparadas com as dos topos das nuvens.

A energia registrada pelos sensores é enviada para uma central de coleta de dados que, através de algoritmos numéricos, transforma esta informação em cores codificadas em tons de cinza. O branco indica baixos valores de energia, ou seja, baixas temperaturas, associadas a topos de nuvens muito altos, como ocorre com as nuvens convectivas que apresentam estruturas isoladas, muito brilhantes. O preto indica altos valores de energia associados a altas temperaturas, isto é, à superfície terrestre, indicando ausência de nuvens, ou céu claro. As cores entre o branco e o preto, tons de cinza, indicam os diferentes tipos de nuvens com topos em várias altitudes, como as estratiformes com estruturas contínuas.

Acesse os sites do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e do Instituto Nacional de Meteorologia veja as imagens de satélite meteorológico disponíveis.

1.4 - Análise climática

O estudo climático do mês de dezembro de 2009 indica que as temperaturas médias ficaram em torno da média climatológica, definida pelas Normais Climatológicas do período de 1961 a 1990 (INMET, 1992). Entretanto, os períodos entre os dias 4 e 6 registraram valores de até 15% mais baixos que a climatologia do mês, e temperaturas máximas de até 37% mais baixas, enquanto entre os dias 18 e 22 as mínimas estiveram até 23% mais frias do que o seu valor climatológico (gráfico 1.10). Novamente a nebulosidade, média mensal de 8 décimos, contribuiu para os menores valores de máximas observados.

GRÁFICO 1.10

Percentual das temperaturas do ar com relação as suas respectivas climatologias, para a estação automática de Belo Horizonte - Pampulha. Legenda: __ temperatura média, ___ temperatura máxima, temperatura mínima.

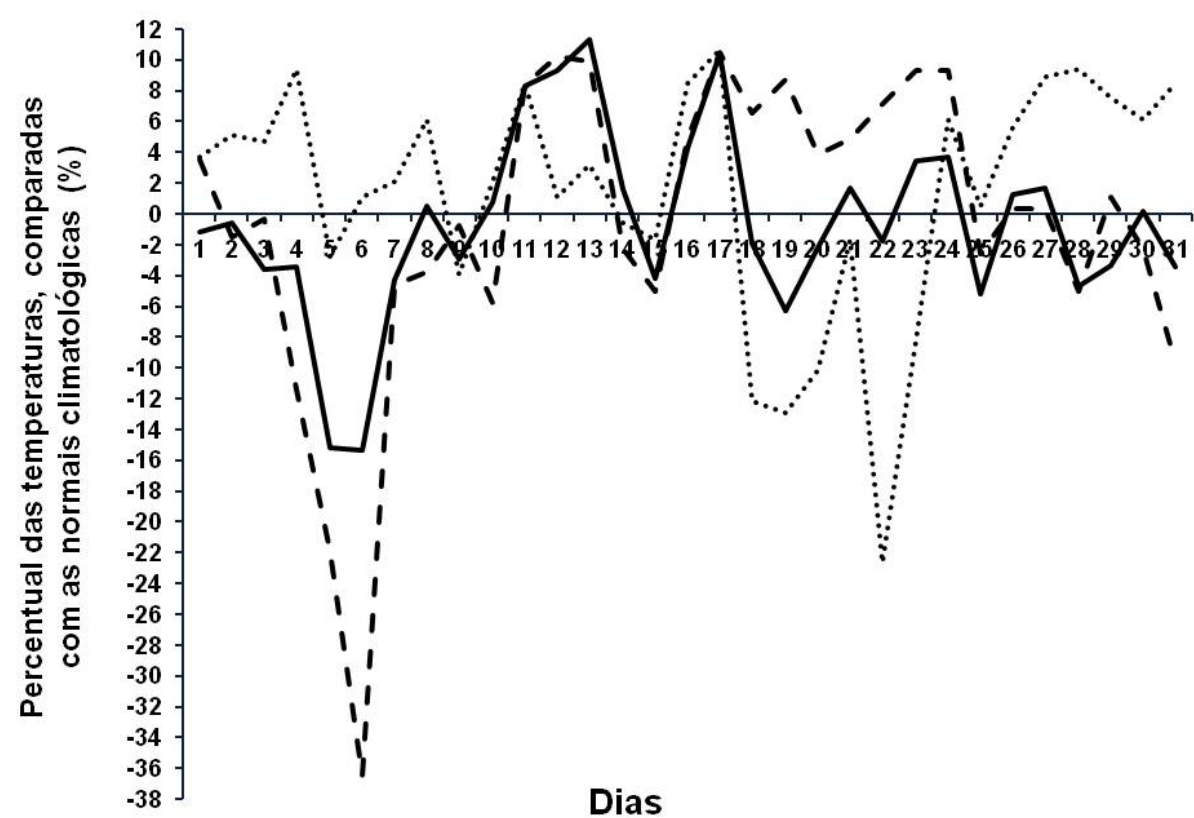


Gráfico elaborado pela autora.

A baixa temperatura média do mês de dezembro impacta a umidade relativa do ar. O gráfico 1.11 mostra o padrão diário da umidade relativa do ar (UR) e sua relação com a temperatura do ar.

GRÁFICO 1.11

Relação entre temperatura e umidade relativa do ar, diárias, para a estação automática de Belo Horizonte - Pampulha. Legenda: __ umidade relativa do ar, _ _ temperatura do ar.

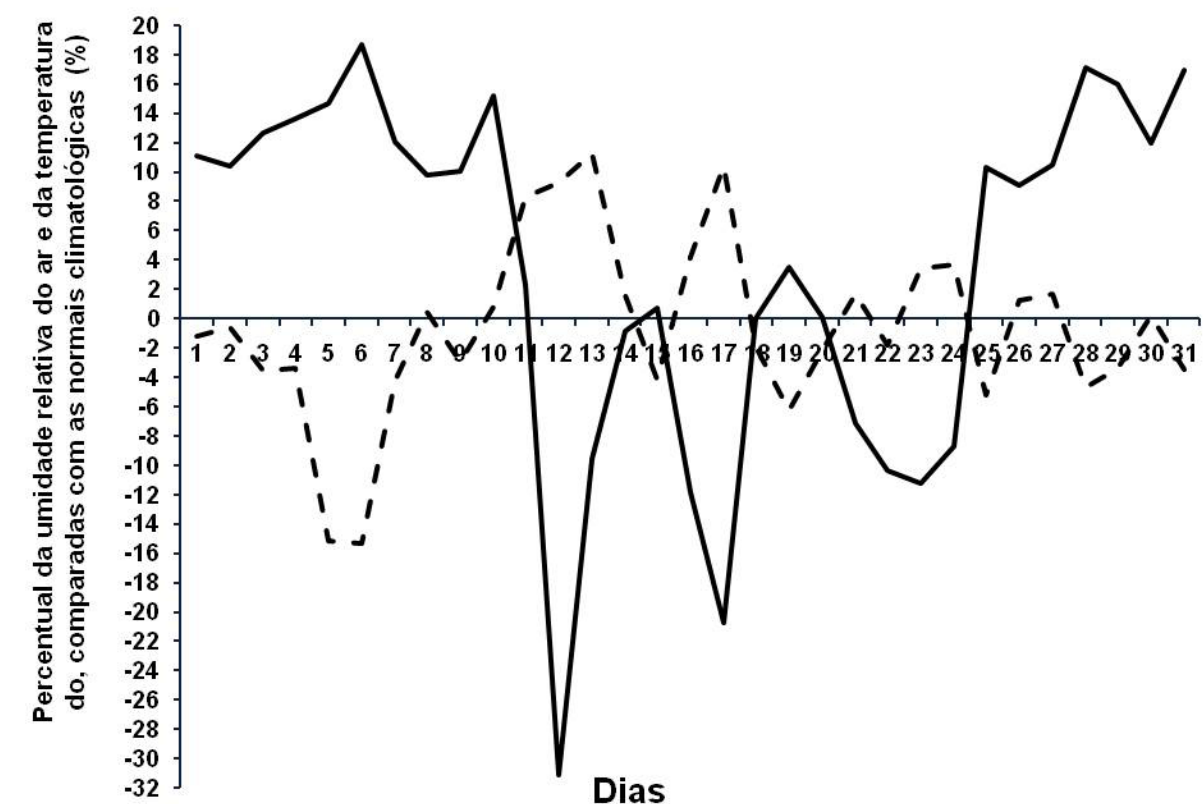


Gráfico elaborado pela autora.

Observou-se que a umidade esteve 3% acima da média climática. Destacam-se os períodos entre os dias 4 a 6 como os de maior UR, até 19% superior à climatologia de dezembro (gráfico 1.12), coincidindo com as menores temperaturas médias e máximas (gráfico 1.10).

GRÁFICO 1.12

Relação entre os percentuais, com relação às suas respectivas climatologias, da temperatura média do ar e da umidade relativa do ar, diárias, para a estação automática de Belo Horizonte - Pampulha. Legenda: __ umidade relativa do ar, __ temperatura do ar.

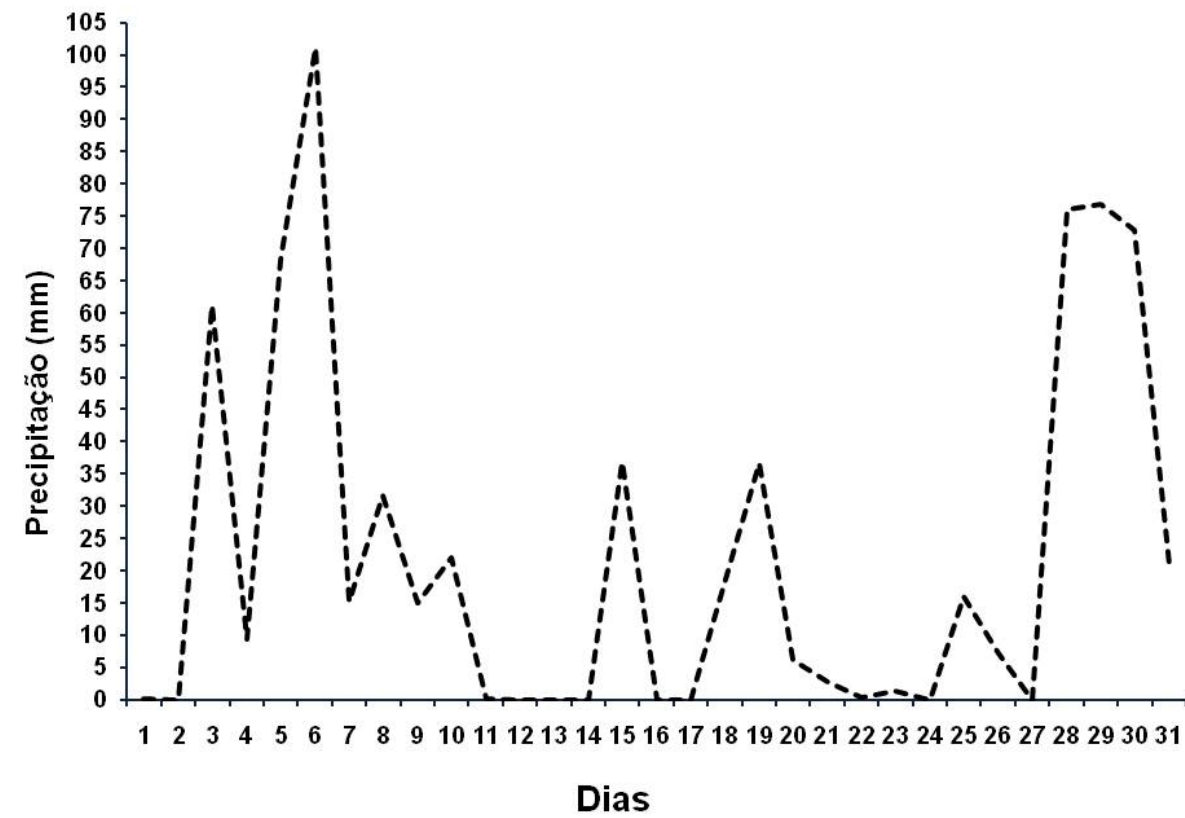


Gráfico elaborado pela autora.

O mês de dezembro de 2009 foi muito chuvoso. O total de chuva foi 218% a mais do que a climatologia. Este cálculo foi efetuado a partir da soma dos valores horários que totalizam os totais diários, sinóticos, e a soma dos valores diários totalizando o total mensal. É importante lembrar que a chuva é tratada como soma dos valores registrados em razão de sua característica descontínua.

O gráfico 1.13 mostra o comportamento da precipitação diária ao longo do mês de dezembro. Observa-se que dois períodos se destacam. O dia 6 quando a precipitação totalizou 101 mm e o período entre 28 e 30 que totalizou entre 73 e 77 mm.

GRÁFICO 1.13

mostra o percentual de chuva diária ao longo do mês, comparada com a climatologia mensal. Os dois períodos acima representam em torno de 30% e 25% do total climático do mês, respectivamente.

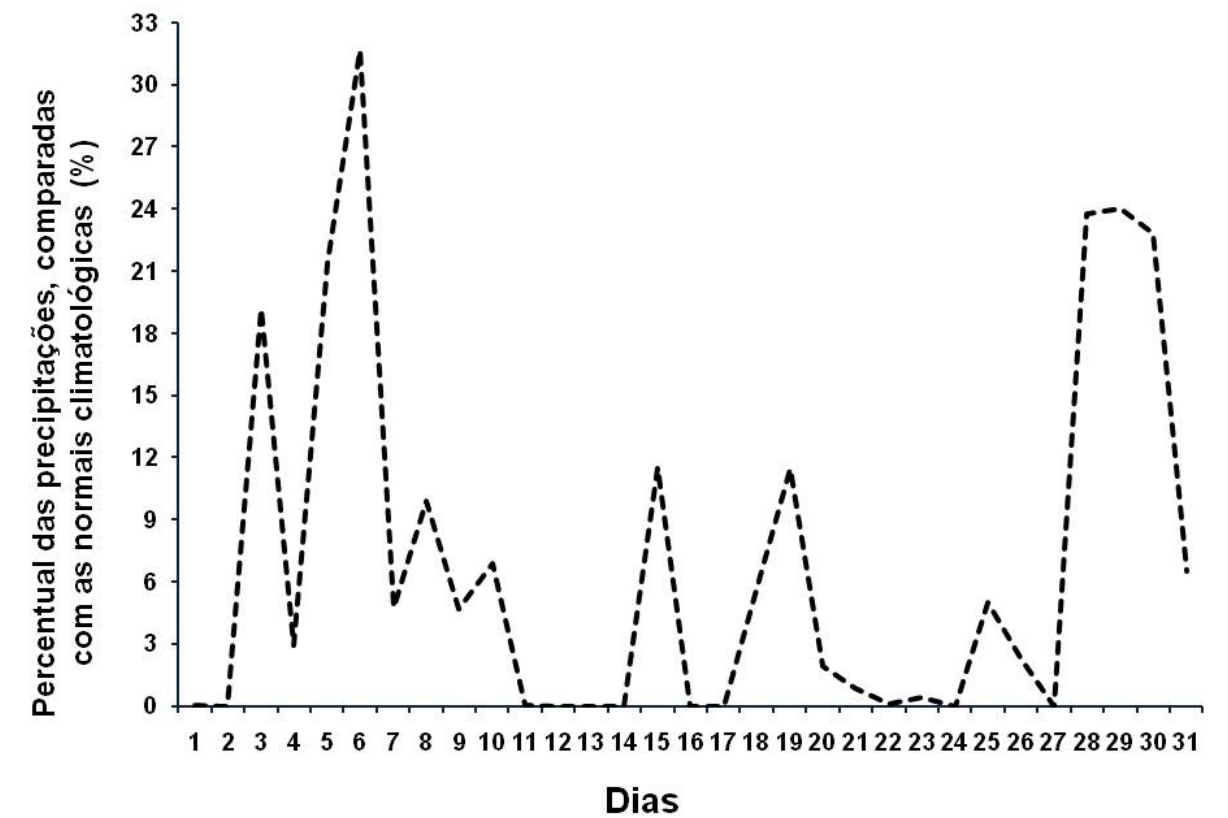


Gráfico elaborado pela autora.

GRÁFICO 1.14

COMPORTAMENTO PERCENTUAL, DIÁRIO, DA PRECIPITAÇÃO PARA A ESTAÇÃO AUTOMÁTICA DE BELO HORIZONTE - PAMPULHA.

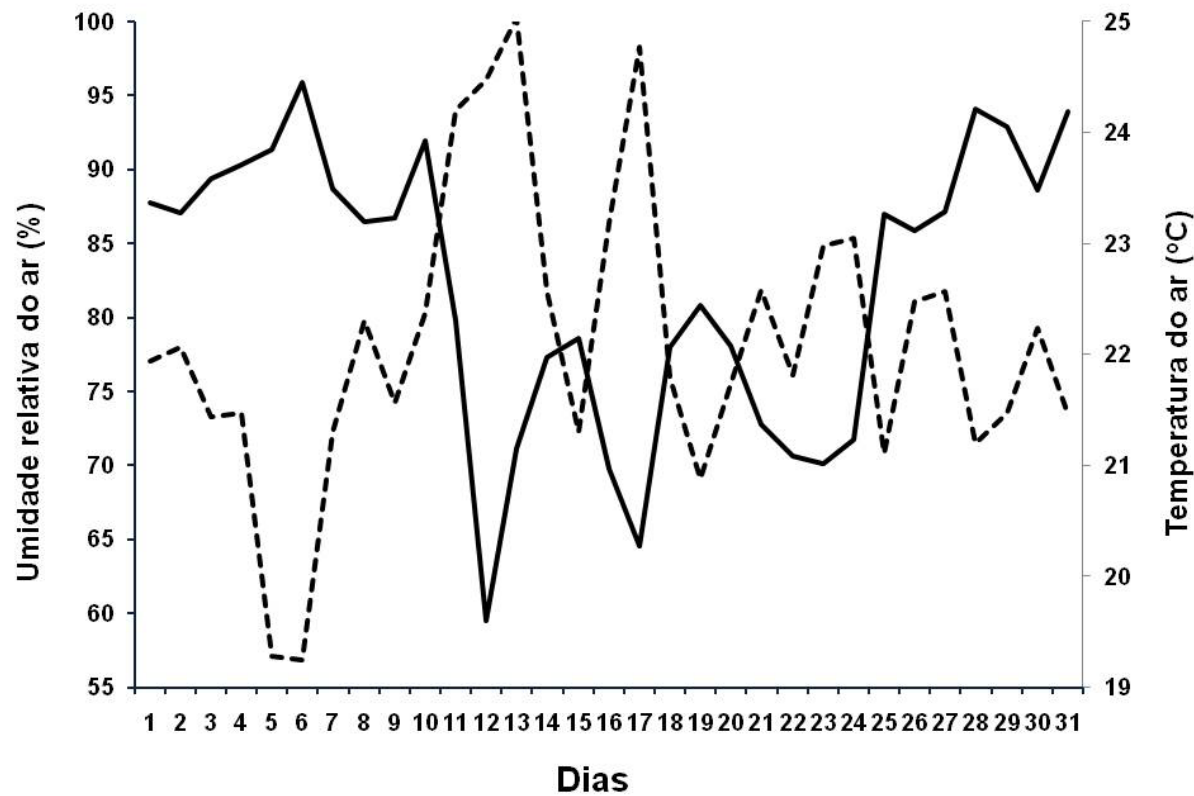


Gráfico elaborado pela autora.

Bibliografia de referência e para consulta

ABREU, M. L., **Notas de aula da disciplina Climatologia**. Belo Horizonte, 2009.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA **Normais climatológicas 1961-1990**, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, 1992, 84 p.

MENDONÇA, F & DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de Textos, São Paulo, 2007. 206 p.

MONTEIRO, C. A. F. **Frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada suboriental do Brasil**. São Paulo, Série Teses e Monografia 1, USP-IG, 1969, 68p.

OLIVEIRA, L. L., VIANELLO, R. L. E FERREIRA, N. J. **Meteorologia Fundamental**; EdiFapes - Livraria e Editora, Erechin, 2001. 432 p.

VIANELLO, R. L. & ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Universidade Federal de Viçosa - Imprensa Universitária, Viçosa, 1991. 449 p.

Sites que tratam de climatologia, relacionados a este conteúdo

Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, 2009: www.inmet.gov.br.

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC, 2009: www.cptec.inpe.br.

Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais - SIMGE, 2009: <http://www.simge.mg.gov.br>

Organização Mundial de Meteorologia - OMM, 2009: www.wmo.ch.

Varejão-Silva, M. A., 2006: *Meteorologia e Climatologia*; Versão digital 2; disponível no site <http://www.agritempo.gov.br>.

Exercícios de revisão

1. Acesse os dados de estações convencionais e automáticas de sua escolha, disponíveis no site do INMET. Construa um arquivo excel com uma planilha para os dados acessados no site.

2. Compare os dados diários de um mês do ano de uma estação convencional com as Normais Climatológicas para as variáveis Temperaturas média, mínima e máxima do ar, Umidade Relativa do Ar, nebulosidade e precipitação. Construa gráficos (semelhantes aos apresentados neste conteúdo) com as duas funções (médias diárias e climatologia) para cada variável. Lembre-se de calcular as médias diárias segundo as normais climatológicas e o discutido nos textos. Indique, na sua opinião, se o mês analisado foi anormalmente acima ou abaixo da climatologia, justificando-se para cada variável analisada.

3. Construa gráficos (semelhantes aos apresentados no texto) com dados diários de um mês de uma estação automática para as variáveis temperaturas média, mínima e máxima do ar, umidade relativa do Ar, radiação solar, velocidade e direção predominante do vento, e precipitação. Compare os valores diários com as Normais Climatológicas da estação convencional mais próxima da sua estação automática, para as variáveis comuns às duas estações, utilizando os mesmos procedimentos do exercício 2.



CAPÍTULO 2

Objetivos: Apresentar os principais conceitos e uma breve discussão relacionada ao tema Mudanças Climáticas.

Atualmente, discute-se a questão relacionada a mudanças climáticas globais. Esta discussão precisa considerar as escalas espaciais e temporais que promovem as mudanças no clima. Neste texto discutiremos os princípios científicos que apóiam as observações sobre tais mudanças. Deixaremos que as atividades a serem desenvolvidas, ao longo deste estudo, permitam que você, leitor, conclua, acerca da complexidade deste tema. Espera-se que tal conhecimento contribua para que você se posicione com relação às conclusões científicas, não apenas sobre as mudanças climáticas, mas também sobre suas causas.

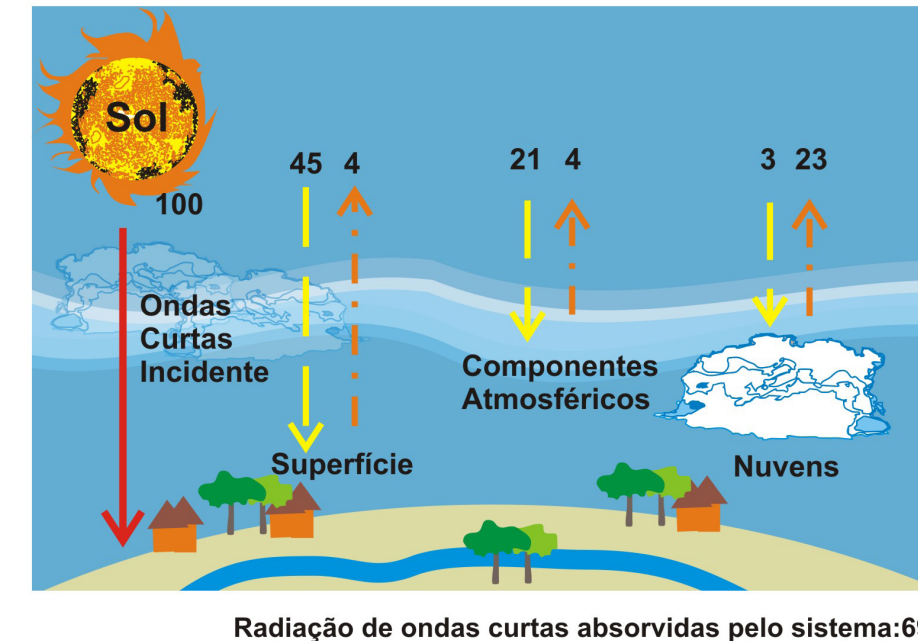
2.1 – Estrutura simplificada do Balanço de Energia do Sistema Terra-Atmosfera

A energia solar é a fonte de energia para o clima terrestre. Consideremos que 100 unidades (adimensionais) de energia solar (correspondentes a constante solar = 1.380 Wm^{-2}), aqui denominada de energia de ondas curtas (Abreu, 2012, aula 2), incidam no topo da atmosfera, considerando-se todo o planeta ao longo de um ano. Podemos estimar quanto desta energia, em valores percentuais, aproximados, é aproveitada pelo sistema terra-atmosfera. Apresentaremos aqui análise simplificada do balanço, deixando a você a responsabilidade de buscar textos que o tratem com mais aprofundamento, se for do seu interesse.

Das 100 unidades que atingem o topo da atmosfera, 45% a atravessam atingindo a superfície do planeta, sendo por ela absorvida (figura 2.1). 24 % das ondas curtas são interceptadas pela atmosfera, sendo 21% pelos seus componentes e 3% pelas nuvens. 31% da energia solar, denominado de albedo planetário é refletida para o espaço, sendo 4% pela superfície terrestre, 4% pelos componentes atmosféricos e 23 % pelas nuvens. Assim 69% da energia solar, ou seja, 69 unidades em ondas curtas, das 100 incidentes, são retidas no sistema terra-atmosfera. Podemos concluir que a superfície do planeta é o componente do sistema que mais absorve energia solar e que as nuvens jogam fora a maior parte da energia incidente, refletindo-a.

FIGURA 2.1
Componente de ondas curtas do Balanço de Energia Simplificado do Sistema Terra-Atmosfera.

Principais componentes do Balanço de Energia do Sistema Terra-Atmosfera: Ondas Curtas
Reflexão para o espaço-Albedo Planetário:31



Legenda:
 Radiação incidente → (seta vermelha)
 Radiação absorvida pela superfície e atmosfera → (seta amarela)
 Radiação refletida para o espaço → (seta laranja)

Figura elaborada por: Magda Luzimar de Abreu. Ilustração: Ubiranan de Lucena.

Esta conclusão permite elaborar considerações em torno de alguns aspectos climáticos que observamos no dia a dia. Dias claros, sem nuvens, apresentam momentos de grande calor. Isto ocorre em razão da ausência de nuvens que permite a incidência direta da energia solar sobre a superfície. Por outro lado dias nublados apresentam temperaturas mais amenas, uma vez que este componente atmosférico é excelente refletor de energia de ondas curtas, contribuindo com quase 80% do albedo planetário.

A energia absorvida pela superfície terrestre é utilizada de várias formas, porém sua emissão para o espaço é em onda longa, também denominada radiação infravermelha ou terrestre. Consideremos que a emissão de energia para o espaço pela atmosfera e pela superfície seja também tratada, adimensionalmente, como 100 unidades, porém emitidas em ondas longas.

A superfície terrestre emite aproximadamente 47% do total a ser liberado para o espaço, enquanto a atmosfera emite os restantes 53%. Aqui é importante destacar que, embora a atmosfera tenha absorvido menos energia de ondas curtas do que a superfície ela emite mais energia em ondas longas. Isto porque ao absorver energia emitida pela superfície os componentes atmosféricos, particularmente o vapor de água (H₂O vapor) e o gás carbônico (CO₂) geram um saldo positivo de energia em razão de sua capacidade de emitir energia infravermelha que é mantida dentro do sistema terra-atmosfera. Este processo é conhecido como efeito estufa, e é natural no nosso planeta. Os componentes atmosféricos mais eficazes na produção do efeito estufa são o vapor de água e o dióxido de carbono (Abreu, 2012, aula 3). Graças a este efeito a temperatura média da Terra é de aproximadamente 15°C. Sem ele o planeta seria, aproximadamente, 30°C graus centígrados mais frio.

Em razão da presença do efeito estufa o balanço de energia de ondas longas se opera, de forma simplificada, da seguinte maneira (figura 2.2): do total de energia emitido pela superfície para o espaço (100%), a atmosfera intercepta e absorve aproximadamente 96%. Os componentes que contribuem com a emissão de energia terrestre interceptada pela atmosfera são a radiação infravermelha (76%), a energia originada pela produção de calor latente (16%) e a originada pela produção de calor sensível (4%). Os restantes 4% são comprimentos de onda longa que passam pela atmosfera sem serem por ela interceptados, indo diretamente para o espaço. Este mecanismo é conhecido como janela atmosférica e se refere à condição de transparência da atmosfera para estes comprimentos de onda.

FIGURA 2.2

Componente de ondas longas do Balanço de Energia Simplificado do Sistema Terra-Atmosfera.

Principais componentes do Balanço de Energia do Sistema Terra-Atmosfera:
ondas longas emitidas pela superfície para o espaço: 100 unidades

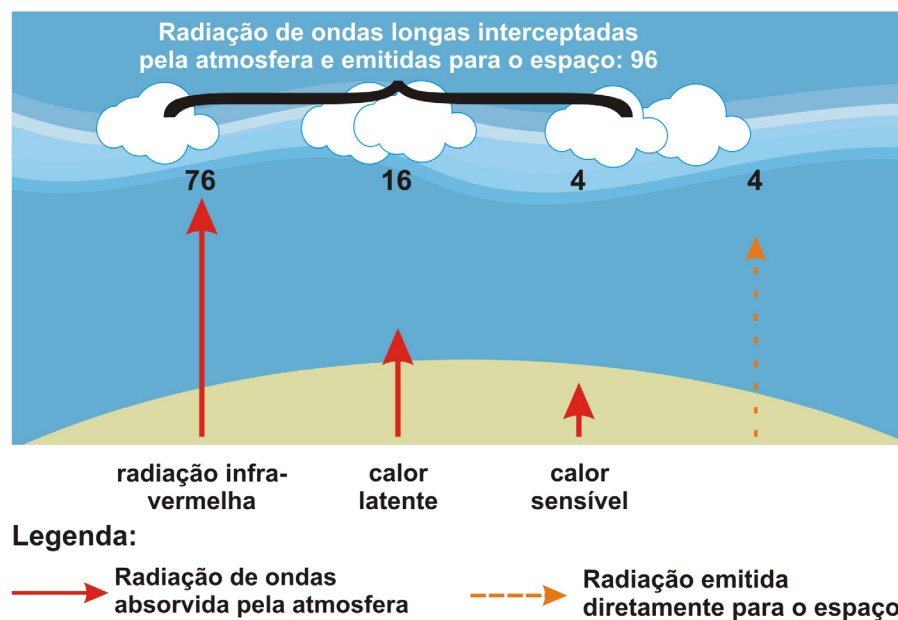


Figura elaborada por: Magda Luzimar de Abreu. Ilustração: Ubiranan de Lucena.

Merece destaque o papel do calor latente, que é a energia utilizada na mudança de fase do vapor de água. Este elemento tem grande importância no balanço de energia, pois ele representa a forma como a superfície repassa energia solar para a atmosfera de forma indireta. Em áreas urbanas, você já deve ter observado que o asfalto, nas ruas, é muito quente comparado com superfícies vegetadas. Isto ocorre porque este componente urbano tem grande capacidade de absorver energia solar e aquecer o ar sobre ele. Por outro lado, quando o sol aquece a superfície líquida ou vegetada ela evapora ou transpira produzindo vapor de água, que gasta energia na forma de calor latente de evaporação, resfriando a superfície e o ar próximo a ela. (Abreu, 2012, aula 6)

Finalmente, do total emitido pela atmosfera, 60% é reabsorvido pela superfície e 40% são emitidos para o espaço. Assim, do total das 69 unidades de radiação solar, mencionadas no segundo parágrafo deste item, absorvidas pelo sistema terra-atmosfera 9% são enviados ao espaço pela superfície e 91% pela atmosfera, em forma de ondas longas. Conclui-se que no que se refere à absorção e emissão de energia terrestre, a atmosfera é mais eficaz em absorvê-la.

2.2 - Mudanças Climáticas naturais:

O balanço de energia indica que qualquer alteração em seus componentes resulta em quantidades diferentes de absorção, reflexão e emissão de energia pela atmosfera e pela superfície. Tais alterações ocorrem no sistema terrestre. Elas podem ser ocasionadas por vários fatores. Enumeramos alguns deles e suas possíveis conseqüências para o clima terrestre:

1. Alterações na constante solar: Embora a energia solar incidente no planeta possa ser considerada constante (e por isso ser denominada de constante solar), ela apresenta variações em várias escalas de tempo, em razão de alterações na emissão da energia solar na superfície do sol. As variações mais conhecidas se relacionam ao aumento das atividades solares que produzem, entre outros fenômenos, as manchas solares que, no tempo geológico presente, ocorrem em ciclos de aproximadamente dez anos.

As manchas solares aumentam a quantidade de energia solar incidente. O balanço de energia permite concluir que, sob a atuação de maior ocorrência de manchas solares, e conseqüentemente maior incidência solar, a superfície absorve mais energia de ondas curtas e aquece mais o ar através da maior produção de calor sensível. **Tal situação, considerada isoladamente, e persistindo por longo tempo, poderia ocasionar um aumento das temperaturas globais.**

2. Alterações na geometria dos movimentos terrestres ocorrem ao longo do tempo, afetando o clima do planeta. Tais alterações são explicadas pelo Ciclo de Milutin Milankovitch, proposto por este pesquisador em 1941 para explicar as glaciações. Fazem parte deste ciclo os seguintes fenômenos:

2.a. A órbita de translação da terra varia com uma periodicidade de cerca de 92.000 a 400.000 anos. Hoje a órbita é elíptica. No periélio (janeiro) a terra recebe em torno de 4% mais energia do que no afélio (julho) (figura 2.3.a). Estima-se que dentro de 50.000

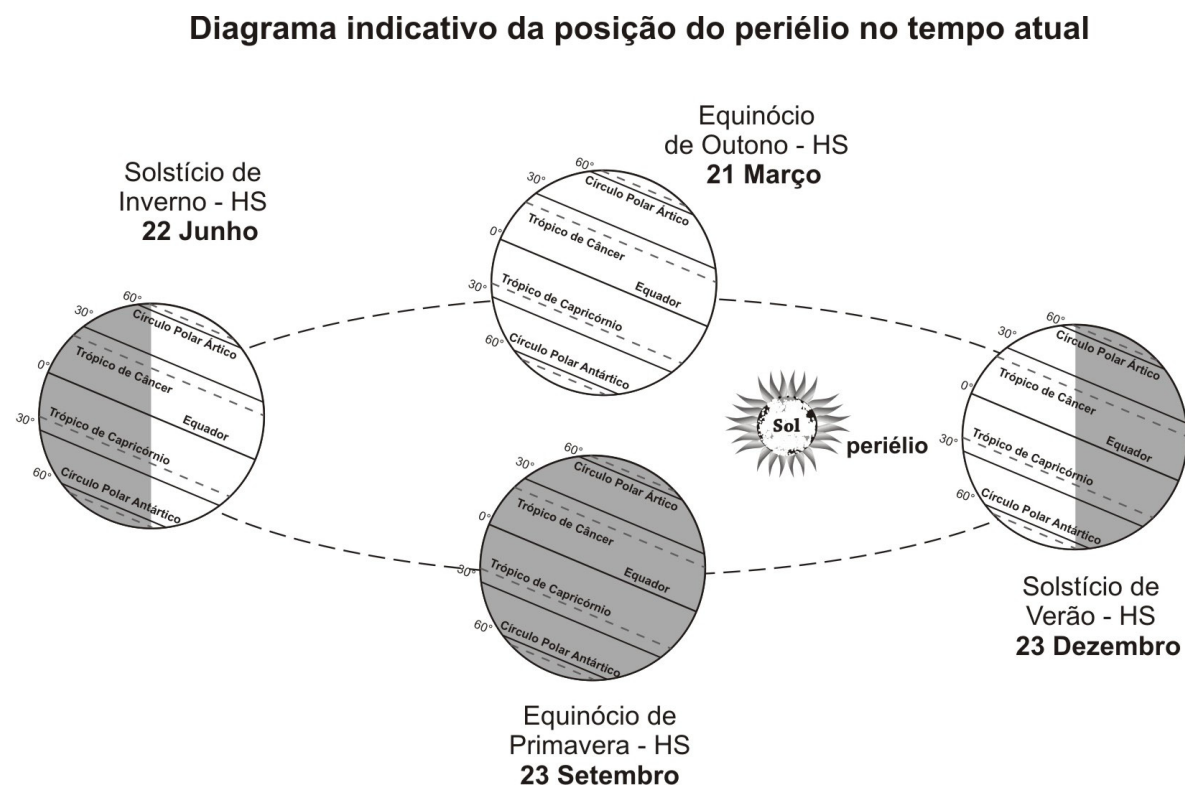
anos, em razão de flutuações nesta excentricidade da órbita terrestre, ou seja, a variação na órbita de translação do planeta, o periélio ocorrerá em junho (figura 2.3.b). Como consequência o verão no hemisfério Norte, que ocorrerá quando o planeta estiver mais próximo do sol, se tornará ainda mais quente e o inverno mais frio.

A razão está na presença da maior continentalidade neste hemisfério. Como indicado, no balanço de energia a superfície terrestre absorve mais eficazmente a energia solar. Uma propriedade dos continentes terrestres é o baixo valor do seu calor específico. Calor específico é a quantidade de energia necessária para elevar de um grau centígrado a temperatura de um corpo. Os continentes terrestres aumentam a sua temperatura com menor calor específico do que os oceanos. Desta forma o hemisfério que tem maior massa continental se aquece mais no verão, no caso, o hemisfério norte.

FIGURA 2.3

Diagrama da posição estimada do periélio: a. na atualidade; b. daqui a 50.000 anos

a)



b)

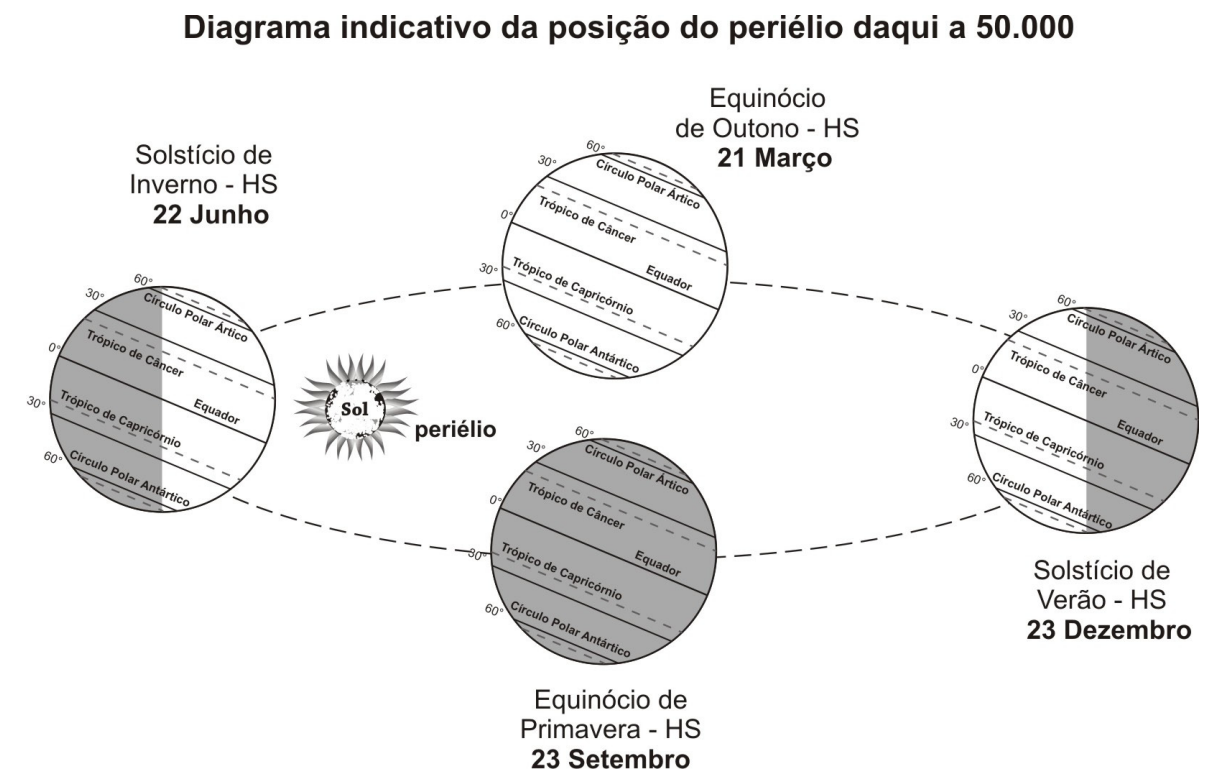


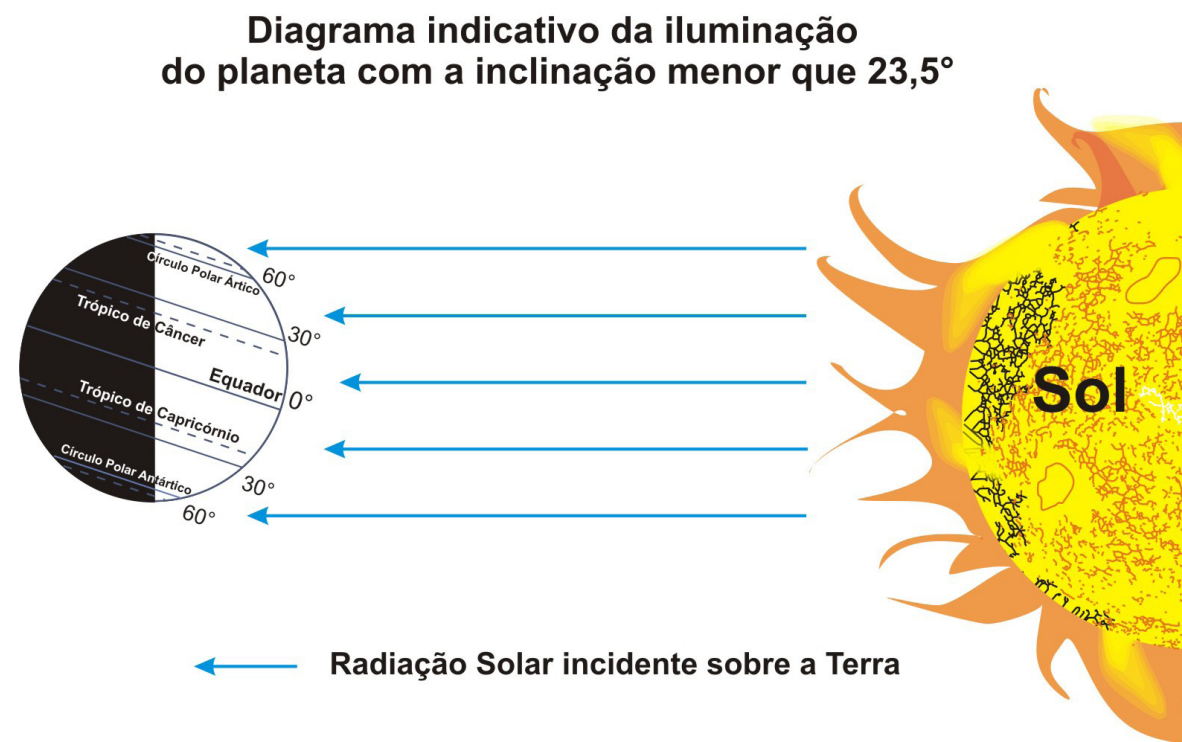
Figura elaborada por: Magda Luzimar de Abreu. Ilustração: Ubiranan de Lucena.

2.b. As estações do ano resultam da Terra estar inclinada em relação à eclíptica (Abreu, 2012, aula 2), fenômeno denominado obliquidade da eclíptica. Atualmente esta inclinação é de aproximadamente 23,5°. Porém ela varia entre o mínimo de 22,1° e o máximo de 24,5°, a cada 41.000 ou 54.000 anos. Quando a inclinação da órbita é maior/menor o pólo voltado para o sol recebe maior/menor quantidade de energia do que ocorre atualmente. Desta forma a diferença entre as estações do ano são mais/menos marcantes (figura 2.4).

FIGURA 2.4

Diagrama da iluminação esperada em cada hemisfério com a inclinação do planeta: a. na atualidade, 23,5°; b. menor que 23,5°.

a)



b)

Diagrama indicativo da iluminação do planeta com a inclinação menor que 23,5°

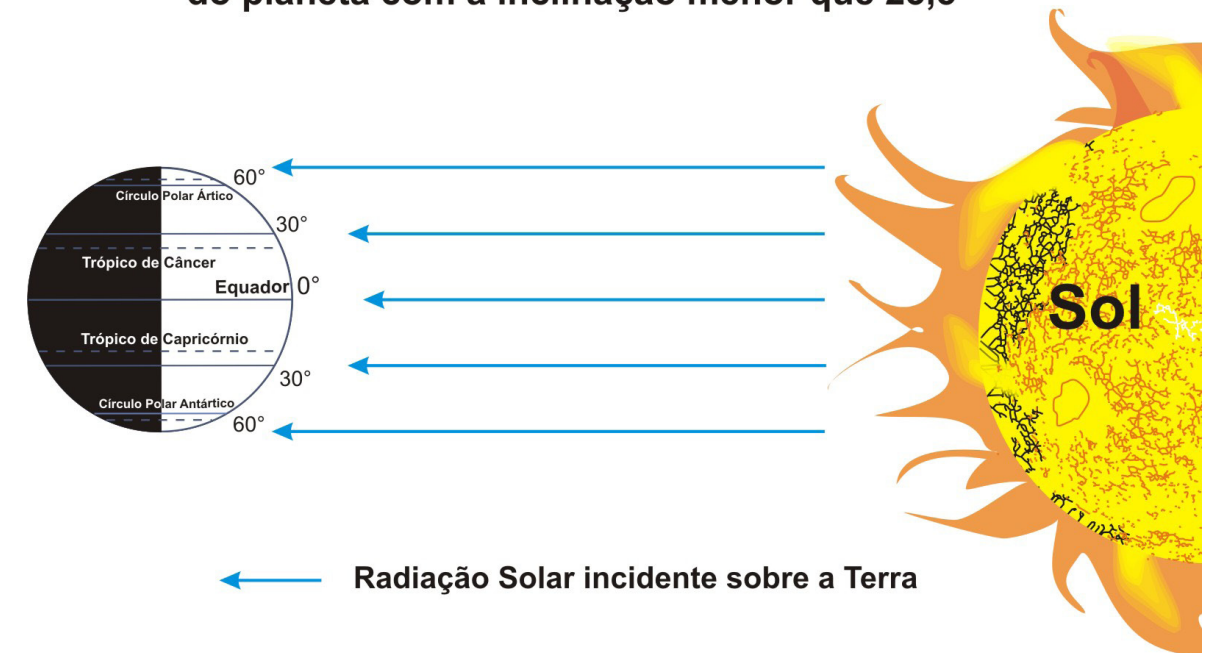


Figura elaborada por: Magda Luzimar de Abreu. Ilustração: Ubiranan de Lucena

2.c. O movimento de translação da terra e sua inclinação resultam em dois solstícios de verão, um em cada hemisfério (dezembro no hemisfério sul e junho no hemisfério norte) e dois equinócios (setembro e março, primavera e outono, respectivamente, no hemisfério sul). A combinação das alterações nos ciclos descritos anteriormente é conhecida como Precessão dos Equinócios.

A Precessão dos equinócios resulta no deslocamento temporal dos equinócios (ciclo de aproximadamente 22.000 anos) e conseqüentemente na variação da energia solar incidente. Quando o planeta recebe menos energia solar a superfície absorve menos energia incidente e a temperatura da superfície abaixa, resfriando o planeta. Os impactos mais conhecidos deste ciclo são as Glaciações. Estima-se que a última durou 100.000 anos, tendo terminado a aproximadamente 12.000 anos. Desta forma, atualmente, a Terra experimenta um período conhecido de transição entre eras glaciais, denominado de Era Interglacial. Esta é uma das razões pelas quais muitos pesquisadores defendem que o atual aquecimento global resulta predominantemente de fatores naturais e não de atividades humanas.

3. Vulcanismo: Os vulcões expõem partículas sólidas, conhecidas como aerossóis. Uma erupção vulcânica emite grandes quantidades de fuligem que podem penetrar até na estratosfera e permanecer em suspensão por até 3 anos. Estes aerossóis refletem a energia solar, o que, segundo o Balanço de Energia apresentado anteriormente, promove um resfriamento climático.

2.3 - Mudanças Climáticas antrópicas:

Atualmente discute-se o impacto das atividades humanas no clima terrestre. A discussão se baseia na indicação de grande aumento da temperatura do ar em pouco tempo, particularmente, nos últimos duzentos anos. O mesmo período de tempo se relaciona à intensificação das atividades humanas em escala global como, entre outras: a grande industrialização, a expansão das áreas agrícolas, a crescente urbanização.

No que se refere ao balanço de energia destacaremos duas causas de mudanças climáticas por origem antrópica discutidas atualmente. Deixamos ao leitor o compromisso de se aprofundar no assunto.

2.3.1. O aumento de CO₂ na atmosfera: As atividades humanas que resultam em queima de combustível fóssil produzem grandes quantidades de CO ou CO₂, que são capturadas pela atmosfera. O CO₂ atmosférico é eficiente na absorção de energia de ondas longas emitida pela superfície terrestre que intensifica o efeito estufa discutido no item 2.1. O Painel Intergovernamental de Estudos de Mudanças Climáticas – IPCC (IPCC, 2001), composto por pesquisadores de vários países concluiu que a emissão de CO₂ em larga escala pode estar relacionada ao aumento de até 0,4º C na temperatura média do ar, global, nos últimos 200 anos. Pode parecer pouco, mas sendo um valor global isto significa que em algumas regiões do planeta a temperatura do ar aumentou muito mais. Destaca-se a elevação da temperatura do ar nas regiões de latitudes médias e altas onde existe um maior acúmulo de gelo, como é o caso dos pólos. Isto pode resultar em degelo mais rápido das calotas polares, que o observado naturalmente no ciclo das estações do ano, no período de verão.

O IPCC liberou os resultados de modelos numéricos simulando a evolução do aumento da temperatura global comparada com o observado em três condições, quando se assume: apenas forçantes naturais na atmosfera, apenas forçantes antrópicas e a combinação de ambas. Os resultados indicam que a combinação de ambas melhor representa a evolução do aumento de temperatura do ar nos dados observados. Para conhecer os resultados acesse o link do IPCC (IPCC, 2001a) indicado na bibliografia e busque no ícone “**Presentations and Graphics** - Selection of figures from various IPCC Reports”, a figura intitulada “Comparison of temperature change between model and observation”.

As conseqüências de uma intensificação do degelo continental são dramáticas: maior acúmulo de água nos oceanos, impactando particularmente as regiões litorâneas, alteração do ritmo das correntes oceânicas modificando sua salinidade, densidade e temperatura. Estas alterações podem resultar em impactos atmosféricos associados à modificação do ciclo anual das tempestades extratropicais e dos furacões, para exemplificar alguns fenômenos de escala global.

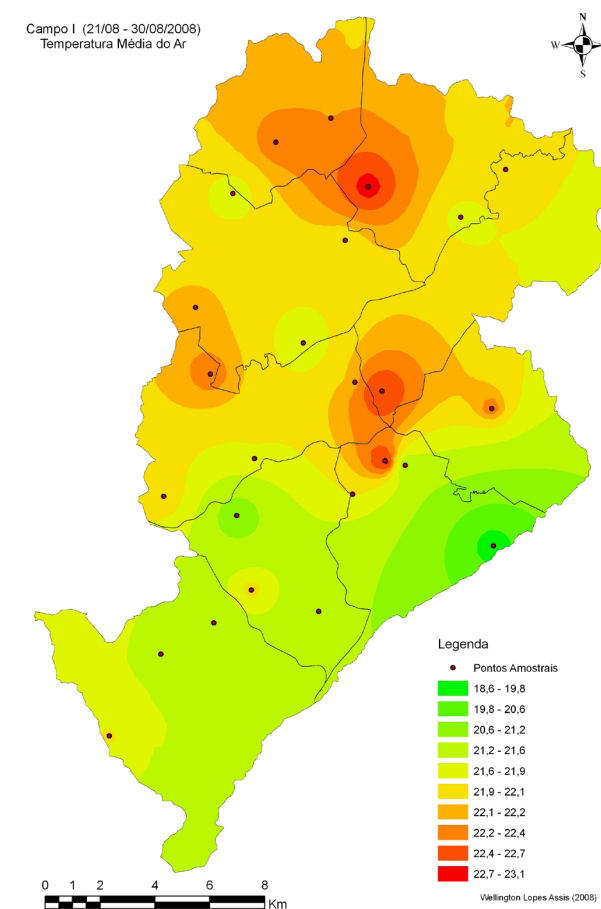
Evidentemente que estas conclusões não são aceitas passivamente por todos os pesquisadores da área de estudos climáticos. Alguns argumentam que as mudanças naturais nos parâmetros astronômicos e seus impactos na Terra são suficientes para justificarem as mudanças térmicas globais observadas atualmente. Deixamos que o leitor aprofunde seus conhecimentos nos conceitos teóricos apresentados pelos dois grupos antagônicos e chegue às suas próprias conclusões.

2.3.2. O Clima urbano: se as mudanças climáticas globais suscitam fervorosas discussões sobre suas causas, as mudanças climáticas locais são melhor documentadas. Não há dúvidas para a autora deste texto que as atividades humanas afetam o clima local. Um bom exemplo é o Clima Urbano. Ele se origina quando as condições atmosféricas são alteradas em razão da urbanização. Neste caso a superfície vegetada, produtora de calor latente que resfria o ar, é substituída por material que libera calor sensível, aquecendo o ar. A cidade então produz calor, aquecendo o ar mais eficazmente do que sua vizinhança.

Belo Horizonte é exemplo de cidade cujo clima já se caracteriza como modificado pela ação humana. Assis (2010) coletou dados de temperatura do ar na capital mineira e verificou características importantes que definem o clima urbano da cidade. A região norte da cidade (uso do solo com pavimentos residenciais, de baixa elevação) e a área central são as que mais retêm calor (figura 2.5). No ciclo diário, durante o dia a região norte apresenta altas temperaturas do ar, comparada com a região central onde as temperaturas são mais baixas (figura 2.6.b e figura 2.6.c). À noite as temperaturas caem mais na região norte do que na área central (figura 2.6.d e figura 2.6.a).

FIGURA 2.5

Mapa do campo térmico à superfície na região metropolitana de Belo Horizonte no período de 21 a 30 de agosto de 2008.

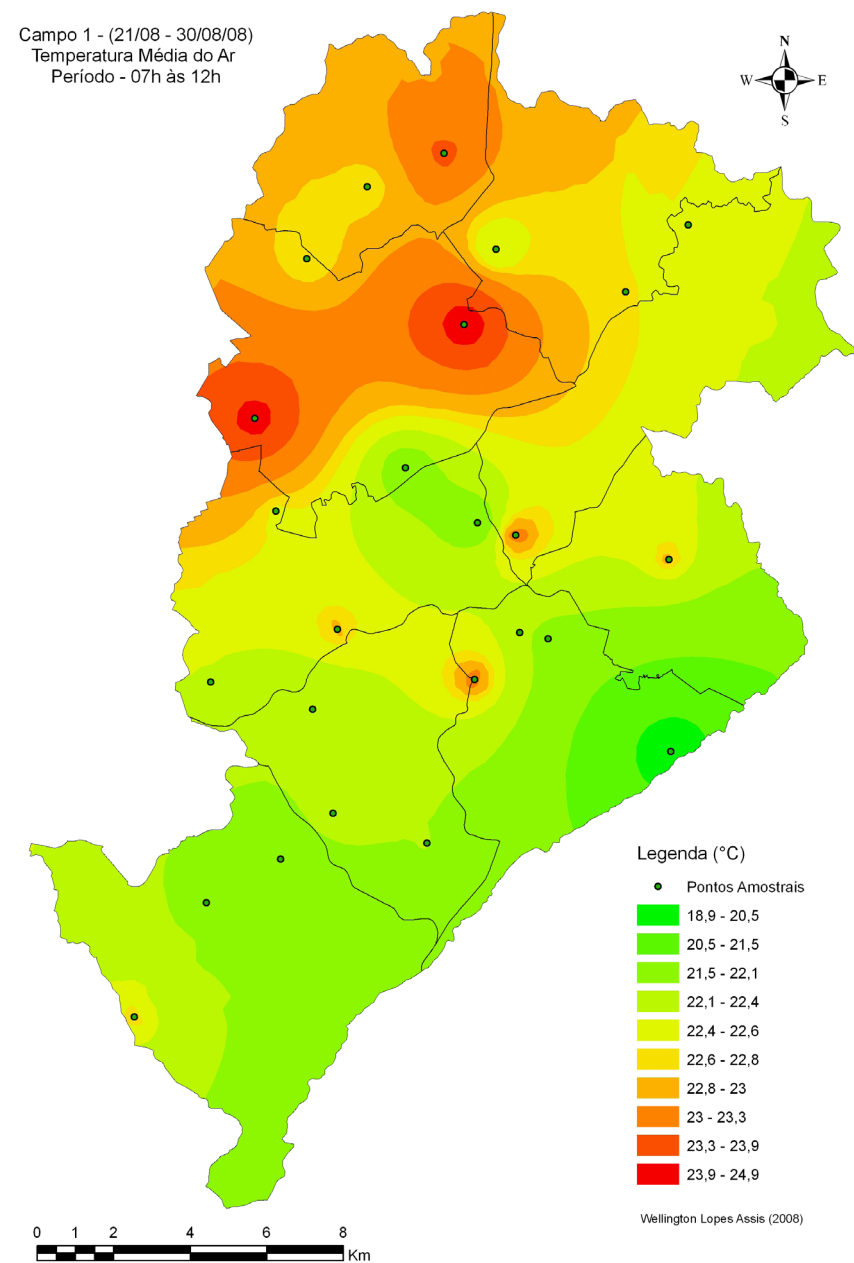


Fonte de dados: Assis (2010).

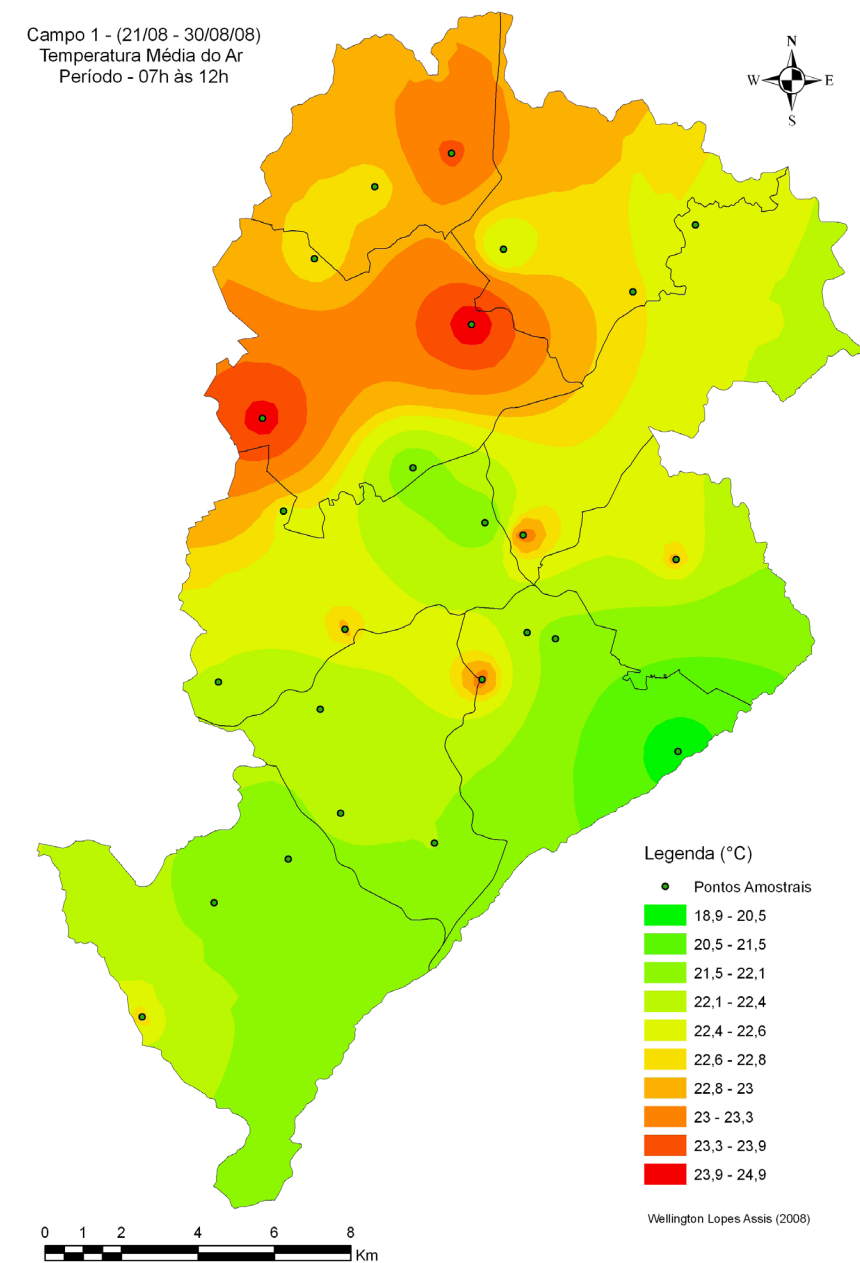
FIGURA 2.6:

Mapa do campo térmico à superfície na região metropolitana de Belo Horizonte no período de 21 a 30 de agosto de 2008, ao longo de quatro períodos horários diurnos: a. entre 01 e 06 horas; b. entre 07 e 12 horas; c. entre 13 e 18 horas; d. entre 19 e 00 horas.

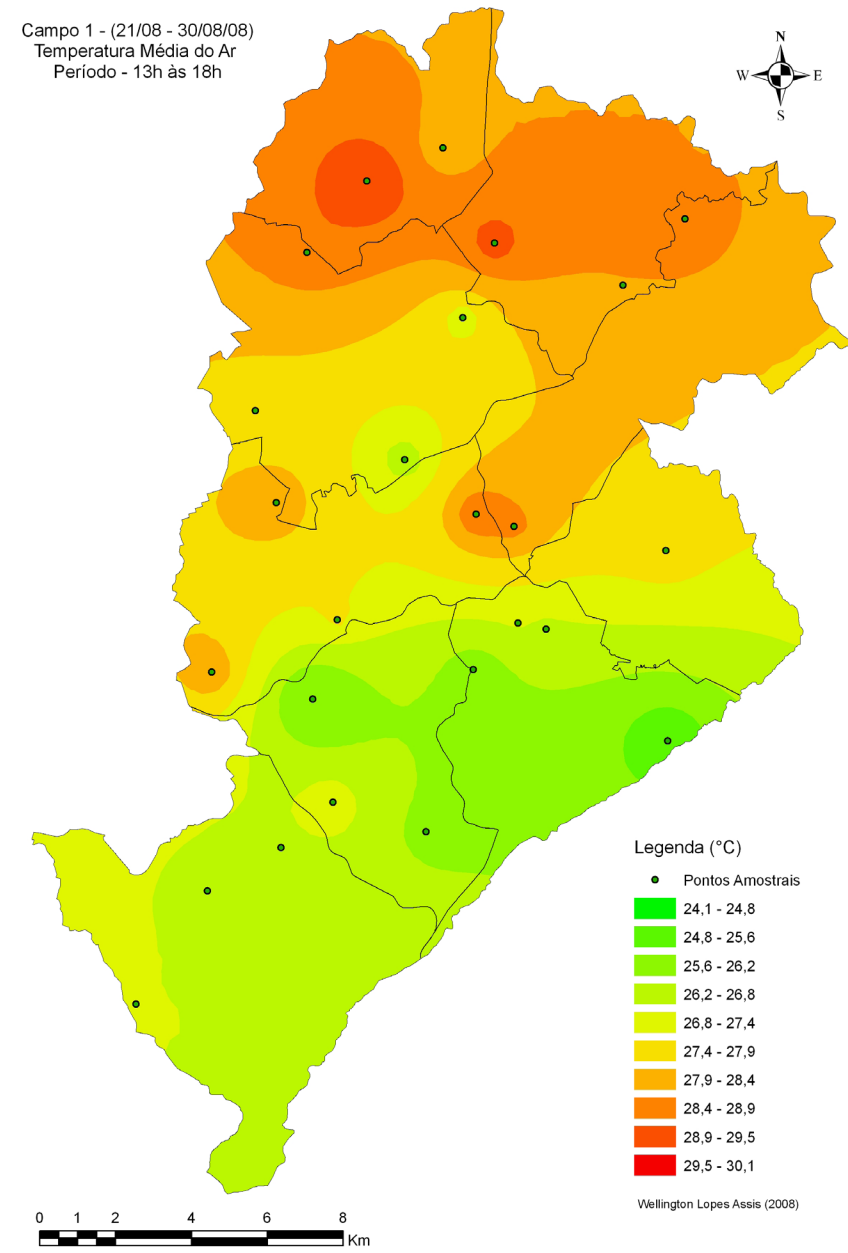
A. entre 01 e 06 horas



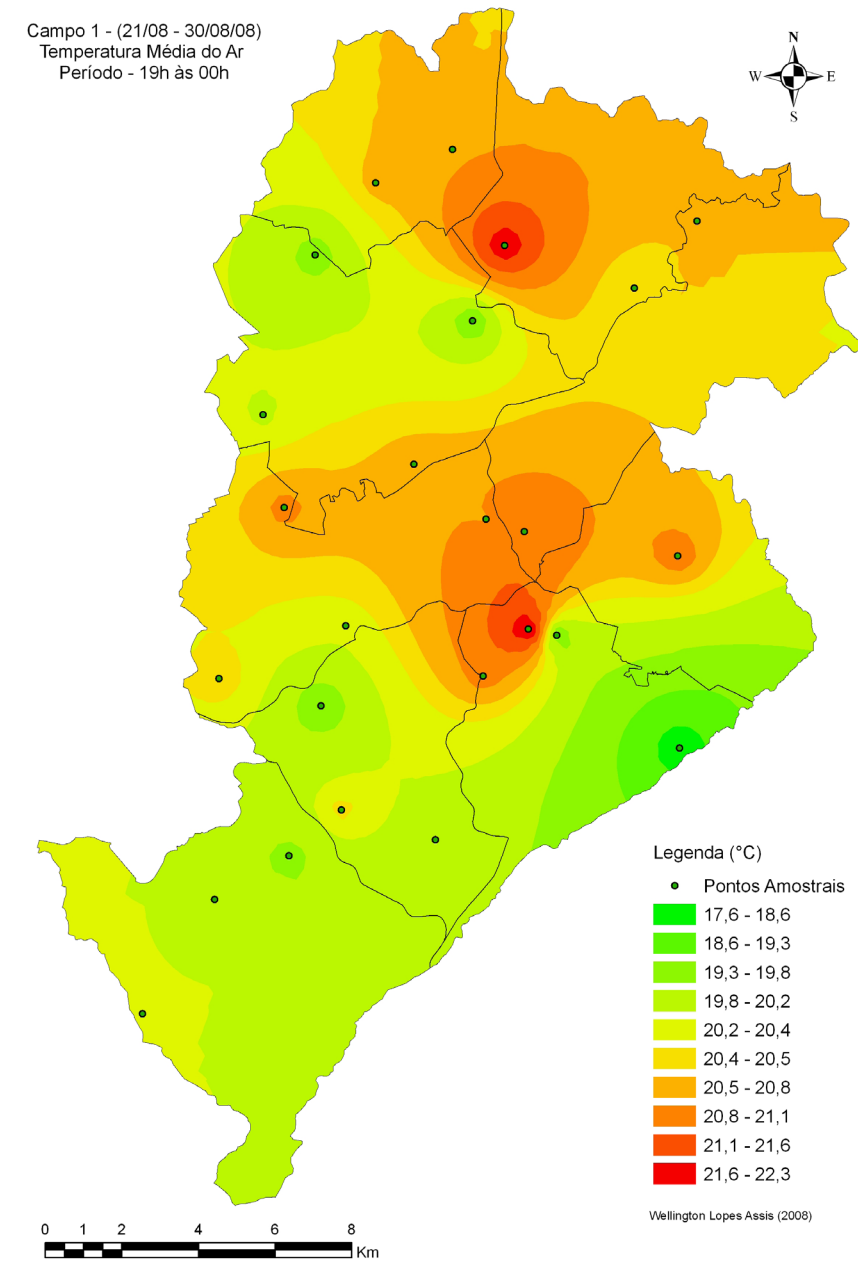
B. entre 07 e 12 horas



C. entre 13 e 18 horas



D. entre 19 e 00 horas



Fonte de dados: Assis (2010).

Ao analisar a geometria das construções na cidade observa-se que a região central, com prédios de vários pavimentos, retém calor à noite porque os prédios, próximos uns dos outros impedem a emissão eficaz de energia terrestre para o espaço. Esta energia, retida próximo à superfície, aquece o ar local.

Este padrão térmico com o centro da cidade acumulando energia e a região periférica resfriada é identificada como uma Ilha de Calor Urbano – ICU (Assis, 2010). O conceito é o de uma ilha que se forma com o máximo de aquecimento no centro da cidade. A ICU é medida principalmente à noite quando a superfície irradia energia para o espaço. Para Belo Horizonte e cidades da região subtropical no hemisfério sul, a coleta de dados sobre a ICU são feitos normalmente na estação de inverno quando a atmosfera está estável. Nestas condições a movimentação do ar é inibida e a diferença entre o calor liberado pelas áreas pavimentadas e as vegetadas é máxima.

2.4 – Flutuações climáticas:

O conceito de flutuações climáticas difere do de mudanças climáticas. A flutuação climática é uma mudança no clima observado em uma escala de tempo inferior a 30 anos. Desta forma, embora seus impactos sejam alterações nas variáveis climáticas com relação à climatologia da região, os processos dinâmicos relacionados aos fenômenos observados têm pequena duração, em torno de poucos anos. Um exemplo de flutuação climática bastante estudada recentemente é o fenômeno Oscilação Sul. Ele é conhecido como El Niño na sua fase quente e La Niña, na fria.

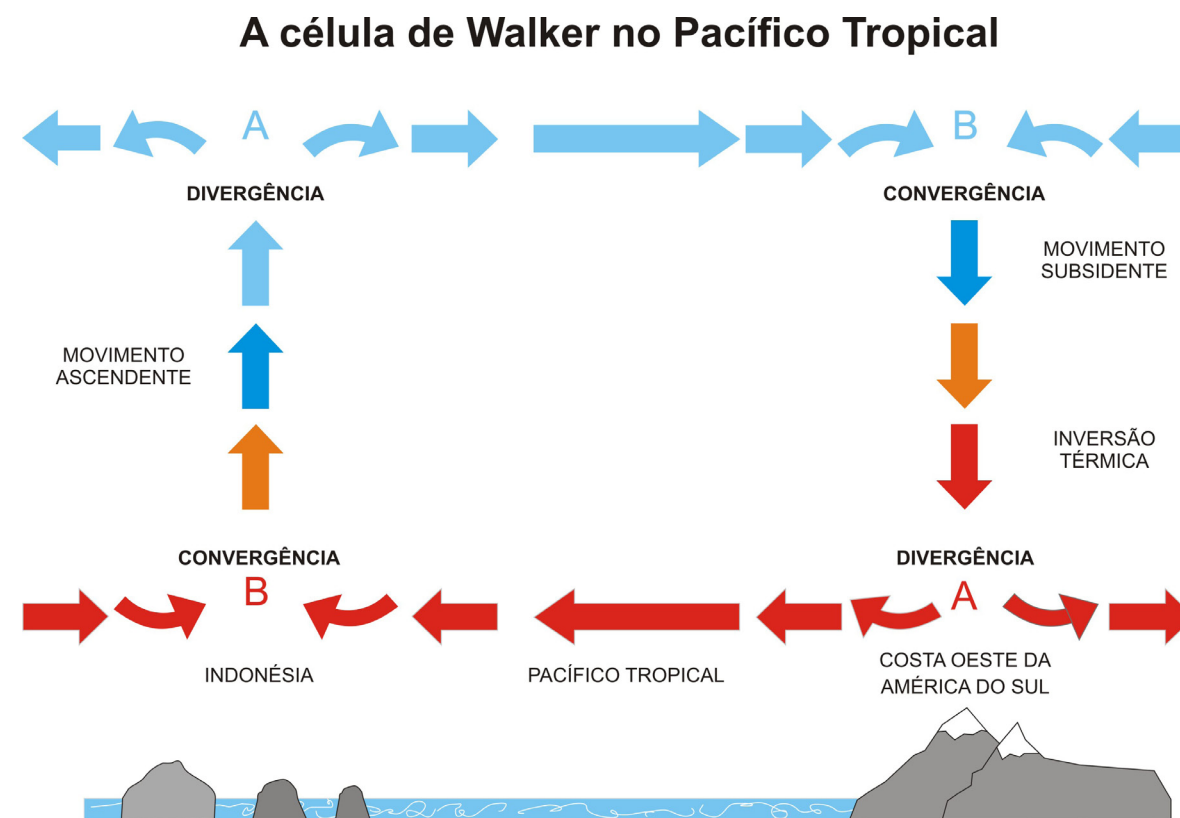
O fenômeno ENOS é uma alteração na Célula de Walker. Trata-se de uma célula de circulação térmica direta (Abreu, 2012, aula 8). Ela se manifesta na região equatorial do Oceano Pacífico. O ENOS é conhecido como um fenômeno relacionado à interação entre o oceano e atmosfera.

O oceano Pacífico, oeste, na região da Indonésia, é quente e aquece a atmosfera. Por outro lado o Pacífico oriental, na costa oeste da América do Sul é mais frio do que a média esperada para esta latitude. As razões para o surgimento destas águas frias na região equatorial são a presença da corrente oceânica de Humboldt e o fenômeno da Ressurgência. Esta condição resulta em uma atmosfera mais fria do que a climatologia no Pacífico leste. Um centro relativo de baixa pressão à superfície forma-se no Pacífico oeste e um de alta pressão no Pacífico leste. Na realidade a alta pressão na costa oeste da América do Sul é um reforço para o Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul, fenômeno dinâmico, associado à rotação do planeta que induz à formação de anticiclones, quentes na região intertropical.

A circulação entre os dois centros de pressão à superfície origina a circulação térmica direta, com ventos de leste reforçando os alísios, próximo ao equador e ventos de oeste acima da superfície, como indica a figura 2.7.

FIGURA 2.7

Célula atmosférica de circulação direta, de Walker, na região do Pacífico equatorial



Elaborado por: Magda Luzimar de Abreu. Ilustração: Ubiranan de Lucena.

A região da baixa pressão na indonésia causa chuvas convectivas intensas na área e o anticiclone no Pacífico leste, forte estabilidade. A presença de umidade originada do oceano causa a presença de nuvens estratiformes que se estendem, da costa oeste da América do Sul em direção ao Pacífico central (figura 2.8). Essa nebulosidade, originada da grande disponibilidade de umidade combinada com a forte estabilidade estática da atmosfera caracterizam o deserto costeiro da costa oeste do continente sul-americano que se estende do sul do Equador ao norte do Chile. Próximo ao litoral ele é denominado de deserto costeiro. No interior, na região do altiplano andino ele é conhecido como deserto de La Joya no Peru, e do Atacama no Chile (Abreu, 1991).

Quando o anticiclone enfraquece a estabilidade atmosférica na região também reduz sua intensidade e nuvens convectivas se formam no Pacífico central e leste. Estabelece-se o fenômeno El Niño que afeta a região originando chuvas no deserto costeiro (figura 2.9). Nestas condições a célula de Walker é “deformada” deslocando-se para leste. Este deslocamento resulta em enfraquecimento dos movimentos subsidentes e da inversão térmica na costa oeste da América do Sul, favorecendo chuva convectiva na região do deserto costeiro.

FIGURA 2.8

Nebulosidade associada à célula de Walker na região do Pacífico equatorial.

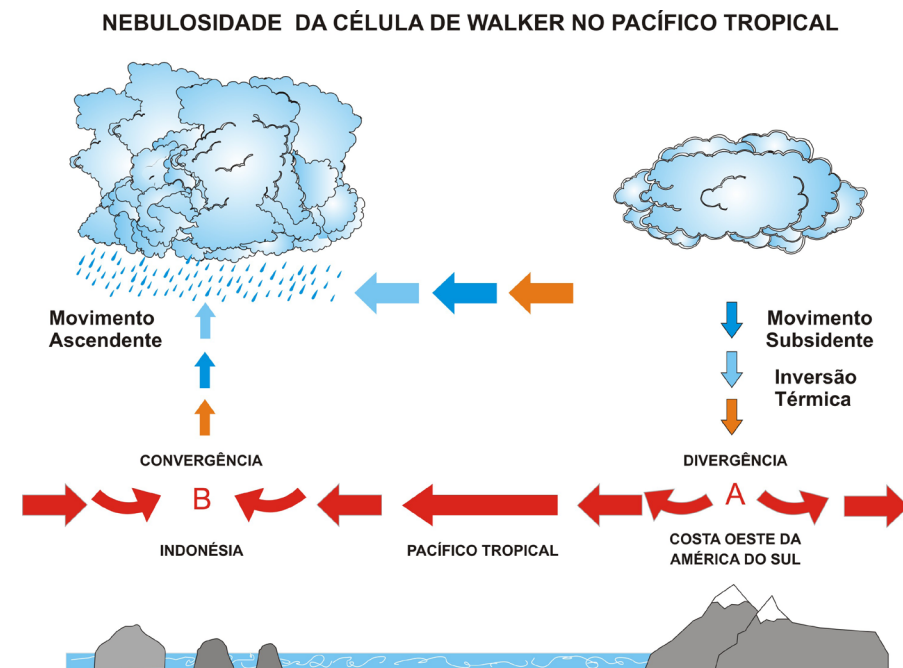


Figura elaborada por: Magda Luzimar de Abreu. Ilustração: Ubiranan de Lucena.

FIGURA 2.9

Esquema do fenômeno El Niño no pacífico equatorial.

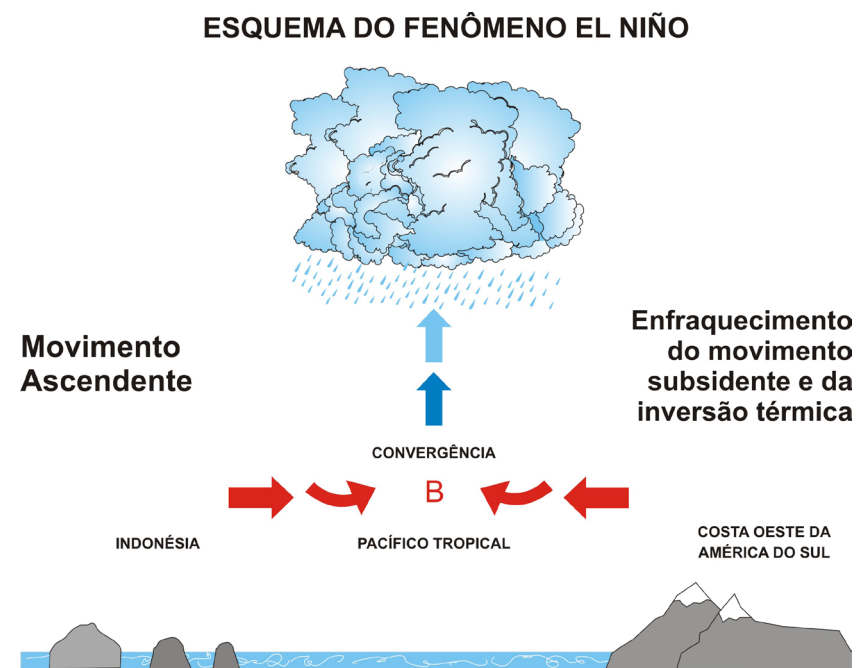


Figura elaborada por: Magda Luzimar de Abreu. Ilustração: Ubiranan de Lucena.

O impacto deste fenômeno não se limita a esta região, mas é observado em várias regiões do globo, e está associado às estações do ano. No Brasil seus efeitos mais conhecidos são a intensificação das chuvas na região sul e o aumento da aridez no norte do nordeste no verão. Em Minas Gerais sua maior influência é registrada na variável temperatura do ar, observando-se invernos e verões mais quentes que a climatologia prevista. Este fenômeno dura em torno de dois anos, após o qual a atmosfera retorna ao seu estado climatológico. Desta forma trata-se de uma flutuação climática. O fenômeno contrário ao El Niño é o La Niña. Neste fenômeno as águas superficiais do Pacífico leste equatorial ficam mais frias do que a média, intensificando a ação da Célula de Walker. Para visualizar os impactos globais esperados na temperatura do ar e na precipitação em razão dos fenômenos El Niño e La Niña, acesse o site do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Alguns estudos sugerem que as mudanças climáticas globais observadas atualmente podem afetar o fenômeno aumentando sua ocorrência, e/ou intensidade.

Bibliografia de referência e para consulta

ABREU, M. L., **On the dynamics of the low-level subtropical flow along the west coast of South America.** Tese de doutorado defendida em 10 de janeiro de 1991 no Programa de Pós-graduação do Departamento de Meteorologia da Pennsylvania State University.

ABREU, M. L., **Notas de aula da disciplina Climatologia.** Belo Horizonte, 2009.

ASSIS, W. L., **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva tempo-espacial.** Tese de doutorado defendida em 11 de agosto de 2010 no Programa de Pós-graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais. 299 p.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos.** Bertrand Brasil, São Paulo, 1991. 332 p.

CPTEC, s/data: <http://enos.cptec.inpe.br/>, acessado em 09/09/2010.

INTERGOVERNMENTAL PAINEL FOR CLIMATE CHANGE – IPCC, **Climate Change 2001: Working Group I: The Scientific Basis**, 2001a. http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/, acessado em 07/09/2010.

INTERGOVERNMENTAL PAINEL FOR CLIMATE CHANGE – IPCC, **Climate Change 2001: Working Group I: Impacts, adaptation and vulnerability**, 2001b. http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/, acessado em 09/09/2010.

INTERGOVERNMENTAL PAINEL FOR CLIMATE CHANGE – IPCC, **Climate Change 2001: Working Group I: Mitigations**, 2001c. http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/, acessado em 09/09/2010.

OLIVEIRA, L. L., VIANELLO, R. L. E FERREIRA, N. J., 2001: **Meteorologia fundamental**; EdiFapes - Livraria e Editora, Erechin, 2001. 432 p.

SALGADO-LABOURIAU, M. L., **História ecológica da terra**; Editora Blucher, São Paulo, 1994. 307 p.

VIANELLO, R. L. E ALVES, A. R., **Meteorologia básica e aplicações**; Universidade Federal de Viçosa - Imprensa Universitária, Viçosa, 1991. 449 p.

MOLION, L. C. B., **Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e oscilação Decadal, do pacífico**; 2010a. http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista/pdf/Artigo_Aquecimento_0805.pdf, acessado em 02/09/2010.

MOLION, L. C. B., **Desmistificando o aquecimento global**; 2010b. www.alerta.inf.br/files/molion_desmist.pdf, acessado em 02/09/2010.

MOLION, L. C. B., **Considerações sobre o aquecimento global antropogênico**; 2010c. http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/diaadia/diadia/arquivos/File/conteudo/artigos_teses/Ciencias/Artigos/luizcarlosmolion_artigo.pdf, acessado em 02/09/2010.

Sites que tratam de climatologia, relacionados a este conteúdo

Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, 2009: www.inmet.gov.br.

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC, 2009: www.cptec.inpe.br.

Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais - SIMGE, 2009: <http://www.simge.mg.gov.br>

Organização Mundial de Meteorologia - OMM, 2009: www.wmo.ch.

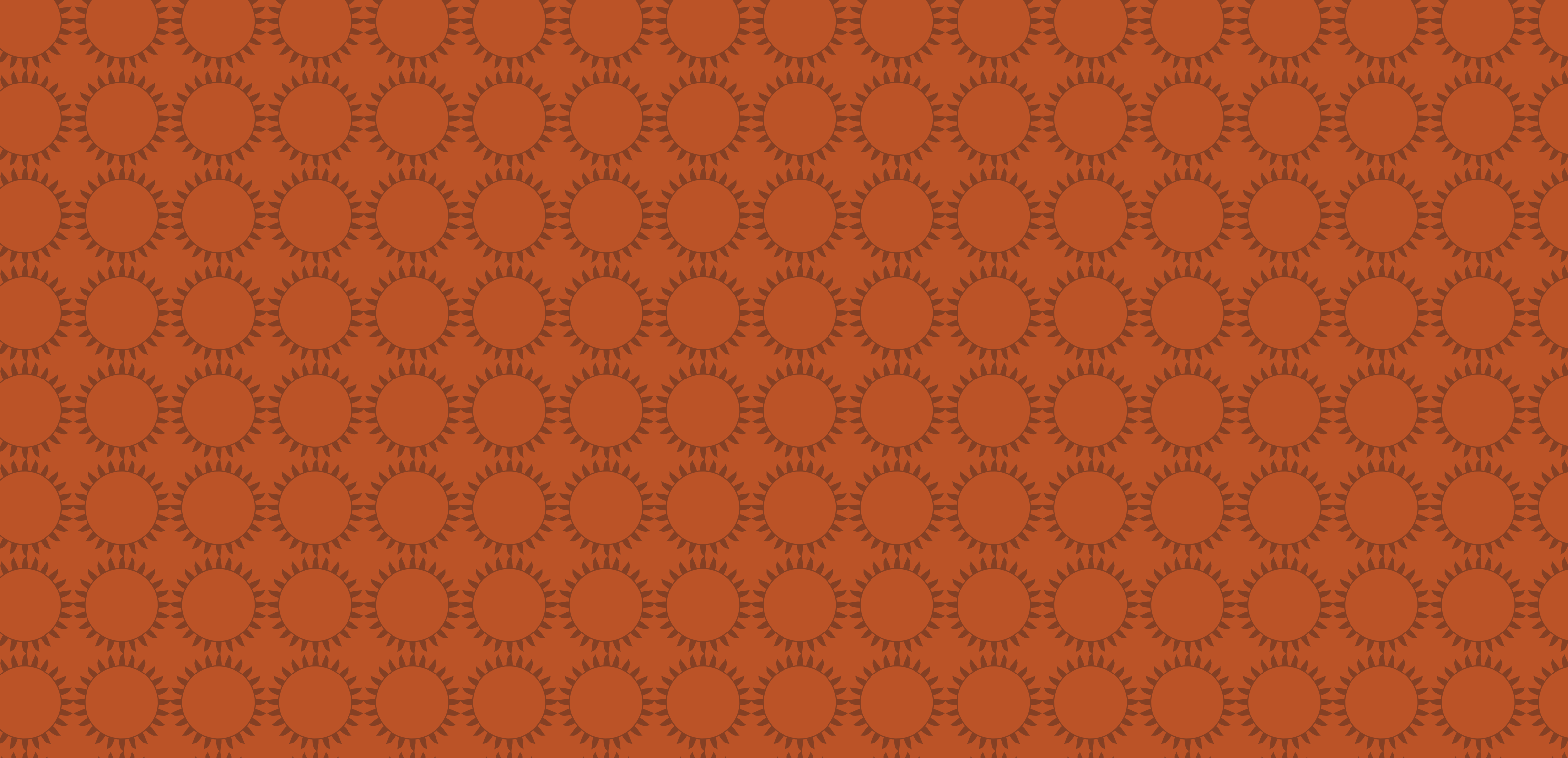
Varejão-Silva, M. A., 2006: Meteorologia e Climatologia; Versão digital 2; disponível no site <http://www.agritempo.gov.br>.

Indique quais meses apresentaram anomalias climáticas e especifique o tipo de cada anomalia (positiva ou negativa). Indique os dias dos meses que podem ter contribuído com as anomalias constatadas.

3. Analise os resultados de precipitação e discuta se eles podem ser justificados pela ação dos fenômenos El Niño e La Niña que atuaram nos anos de 2009 e 2010, justificando sua análise com as discussões sobre seus impactos na região sudeste do Brasil, disponibilizadas no site do CPTEC: <http://enos.cptec.inpe.br/>.

Exercícios de revisão:

1. Construa gráficos com os dados diários dos meses de janeiro, fevereiro e março de um ano de sua escolha, de uma estação automática de Minas Gerais. Faça os gráficos para as variáveis temperaturas média, mínima e máxima do ar, umidade relativa do ar, pressão e precipitação. Utilize métodos de manipulação das variáveis, comuns às estações convencionais, como indicados no Módulo I.
2. Compare os valores diários com as Normais Climatológicas das estações convencionais abaixo. Construa gráficos com a contribuição percentual de cada variável para a climatologia mensal. Faça o mesmo para as médias mensais.



CAPÍTULO 3



Objetivos: Apresentar a técnica do Balanço Hídrico de Thornthwaite-Matter, 1955; aplicar a técnica a uma cidade na região tropical.

Neste conteúdo será apresentada a técnica do Balanço Hídrico. Trata-se de técnica amplamente utilizada na avaliação da disponibilidade de água para o solo de uma localidade a partir dos dados de precipitação e evapotranspiração. Esta técnica tem aplicações nos estudos agroclimáticos, de bacias hidrográficas e análise ambiental. O balanço pode ser pensado como os balanços contábeis. Nele a precipitação representa a entrada de água e evapotranspiração, a saída. O solo é considerado um armazenador de água que só é utilizado quando não há água proveniente da atmosfera, suficiente para compensar a saída de água da superfície.

3.1 – Elementos do Balanço Hídrico

Todas as variáveis do balanço hídrico são expressas em milímetros (mm).

3.1.1 – Evapotranspiração: Como apresentado na 6ª aula de Abreu (2012) trata-se do mecanismo de produção de vapor para a atmosfera através da combinação entre a evaporação de um corpo líquido e a transpiração produzida pela vegetação.

Definem-se dois tipos de evapotranspiração. A Evapotranspiração Potencial (ETP) é estimada a partir da temperatura e da pressão de saturação do ar. Ela indica a quantidade de vapor que pode ser produzido pela vegetação, dependendo apenas da capacidade da atmosfera de absorvê-lo para uma dada temperatura e pressão de saturação do ar, ou seja, sem restrição por parte da fonte evaporante.

Em 1962 A. P. Camargo e C. W. Thornthwaite propuseram uma tabela de cálculo para a Evapotranspiração Potencial, conhecida como nomograma. Dada a temperatura média anual uma reta une este valor a um ponto no nomograma, criando uma função que relaciona os valores de temperatura média e evapotranspiração mensais. Para cada valor mensal de temperatura estima-se o de evapotranspiração. Após este cálculo utiliza-se uma tabela através da qual, para cada mês e latitude da localidade, define-se um fator p de correção da Evapotranspiração Potencial mensal, calculada pelo nomograma.

Por exemplo, para uma cidade localizada em 20° S a Evapotranspiração Potencial (ETP_n) estimada por este nomograma, para o mês de dezembro (T_{anual} = 21 °C e T_{dez} = 22 °C), é 90 mm. O valor corrigido para a ETP_n é 104 mm.

A Evapotranspiração Real (ETR) é a produção de vapor considerando que a vegetação não atende apenas a demanda da atmosfera, mas sua própria possibilidade de liberar vapor, sem perder uma quantidade de água que a leve a um déficit hídrico, e provoque uma condição de murcha.

3.1.2 – Precipitação (P): É a quantidade de água que precipita da atmosfera e atinge a superfície.

3.1.3 – Capacidade de armazenamento de água (CA): É a quantidade de água armazenada efetivamente no solo, após a ocorrência, se houver, de escoamento superficial e percolação.

3.1.3 – Negativo acumulado (NA): Quando a capacidade de campo é alterada o solo e a vegetação perdem água. Para preservá-los assume-se que a quantidade de água utilizada da capacidade de armazenamento de água é determinada pelo negativo acumulado. Desta forma a capacidade de água utilizada é sempre menor do que a que o sistema solo-vegetação poderia disponibilizar, retardando o stress hídrico da planta. O negativo acumulado é um dado empírico, estimado em tabelas de cálculo disponíveis na literatura.

3.1.4 – Excedente hídrico (EXC): Quantidade de água excedente registrada no balanço quando a precipitação for superior à quantidade de água necessária para atender a demanda da evapotranspiração potencial e a do armazenamento de água. Antecedendo a ocorrência de excedente hídrico existe a reposição de água (REP). Ela é definida pela quantidade de água que abastece a capacidade de armazenamento.

3.1.5 – Déficit hídrico (DEF): Déficit de água registrada no balanço quando o valor da capacidade de armazenamento de água não conseguir complementar a precipitação, no atendimento da demanda da evapotranspiração potencial. Antecedendo a ocorrência de déficit hídrico existe a retirada de água (RET). Ela é definida pela quantidade de água retirada da capacidade de armazenamento para atender a evapotranspiração.

3.2 – Cálculo do Balanço Hídrico

O primeiro passo para o cálculo do balanço hídrico é a construção de uma tabela (tabela 1) contendo os valores mensais, totais, médios (quando for o caso) das variáveis precipitação (P) e evapotranspiração potencial (ETP), bem como colunas para a entrada dos cálculos das variáveis: diferenças entre precipitação e evapotranspiração potencial (P-ETP), negativo acumulado (NA), capacidade de armazenamento e sua variação mensal (CA), alteração da capacidade de armazenamento (A), evapotranspiração real (ETR), déficit (DEF) e excedente (EXC).

O cálculo do balanço hídrico (tabelas 2 a 6) aqui apresentado é para a cidade de Belo Horizonte, assumindo CA = 100 mm. Os valores de ETP foram estimados a partir do nomograma de Thornthwaite – Camargo e os de NA foram calculados a partir das tabelas. Os dados de temperatura do ar e precipitação são os das Normas Climatológicas do INMET. Os passos para o cálculo do balanço hídrico são:

1. Cálculo da diferença entre precipitação e evapotranspiração potencial (P-ETP), tabela 2.
2. Define-se o mês de início do cálculo do balanço hídrico. *(texto retirado) O mês inicial é aquele para o qual P-ETP é positivo após uma série de meses positivos e cuja soma seja igual ou maior que CA (tabela 3). Para a região semi-tropical úmida, como é o caso da capital mineira, consideramos que o balanço pode começar em janeiro, pois a estação chuvosa se estende entre outubro e março.

Tabela 1: Exemplo de Tabela para Cálculo do Balanço Hídrico									
Todas as variáveis são expressas em mm									
Mês	P	ETP	P-ETP	NA	CA	A	ETR	DEF	EXC
jan									
fev									
mar									
abr									
mai									
jun									
jul									
ago									
set									
out									
nov									
dez									
anual									

Tabela elaborada pela autora.

3. O cálculo de ETR considera a disponibilidade de água no solo a ser evaporada. Quando (P-ETP) é zero ou positivo ETR = ETP. Quando a diferença for negativa significa que não há água suficiente para ser disponibilizada. ETR será a dada pela água disponível da chuva (P), acrescida da disponibilizada por CA. Esta água só será disponibilizada a partir do valor de NA, que é igual a zero sempre que CA é 100. Por exemplo, no balanço hídrico de Belo Horizonte no mês de março:

P-ETP = 64; CA = 100; NA = 0; A = 0 (por que não houve mudança no valor de CA entre março e fevereiro); ETR = ETP = 100.

Tabela 2: Balanço Hídrico Climatológico de Belo Horizonte, MG 19,56S/43,56W/850,02m.									
Todas as variáveis são expressas em mm. CA = 100 mm.									
Mês	P	ETP	P-ETP	NA	CA	A	ETR	DEF	EXC
jan	296	108	188						
fev	188	96	92						
mar	164	100	64						
abr	61	78	-16						
mai	28	67	-39						

jun	14	53	-39						
jul	16	52	-37						
ago	14	61	-48						
set	41	80	-40						
out	123	93	30						
nov	228	98	130						
dez	319	104	216						
anual	1491	990	502						

Tabela elaborada pela autora.

Tabela 3: Balanço Hídrico Climatológico de Belo Horizonte, MG 19,56S/43,56W/850,02m.									
Todas as variáveis são expressas em mm. CA = 100 mm.									
Mês	P	ETP	P-ETP	NA	CA	A	ETR	DEF	EXC
jan	296	108	188						
fev	188	96	92						
mar	164	100	64		100				
abr	61	78	-16						
mai	28	67	-39						
jun	14	53	-39						
jul	16	52	-37						
ago	14	61	-48						
set	41	80	-40						
out	123	93	30						
nov	228	98	130						
dez	319	104	216						
anual	1491	990	502						

Tabela elaborada pela autora.

No mês de abril NA é igual $NA_{\text{março}} + (P-ETP)_{\text{abril}}$ e CA é dado por tabelas que definem seu valor. Sua alteração é dada pela diferença entre o valor de CA no mês em análise e o do mês anterior. Os valores acima são:

P-ETP = - 16; CA = 86 (definido a partir do valor de NA); $NA = NA_{\text{março}} + (P-ETP)_{\text{abril}} = - 16$; $A = (CA \text{ de abril} - CA \text{ de março}) = 86 - 100 = - 14$; $ETR = P + A = 61 + 14 = 75$.

Enquanto (P-ETP) for negativo, NA é calculado como determinado para o mês de abril.

A tabela 4 exemplifica os cálculos para os meses nos quais (P-ETP) é negativo.

Tabela 4: Balanço hídrico climatológico de Belo Horizonte - MG - 19,56S/43,56W/850,02m.
Todas as variáveis são expressas em mm. CA = 100 mm.

Mês	P	ETP	P-ETP	NA	CA	A	ETR	DEF	EXC
jan	296	108	188				108		
fev	188	96	92				96		
mar	164	100	64	0	100		100		
abr	61	78	-16	-16	86	-14	75		
mai	28	67	-39	-56	56	-30	58		
jun	14	53	-39	-94	38	-18	32		
jul	16	52	-37	-131	26	-12	28		
ago	14	61	-48	-179	16	-10	24		
set	41	80	-40	-218	11	-5	46		
out	123	93	30				93		
nov	228	98	130				98		
dez	319	104	216				104		
anual	1491	990	502				861		

Tabela elaborada pela autora.

Quando a estação chuvosa recomeça, em outubro, (P-ETP) é positivo e a chuva é suficiente para atender a ETP. ETR é então igual a ETP. (P-ETP) é usado inicialmente para recompor CA até que ele atinja seu valor máximo de 100 mm. NA é definido pela leitura inversa de seu valor nas tabelas de relação entre este variável e CA. O mês de outubro, por exemplo, terá os valores abaixo, e o restante é indicado na tabela 4.

$P-ETP = 30$; $ETR = ETP = 93$; $CA = CA \text{ setembro} + (P-ETP) \text{ outubro} = 11 + 30 = 41$; $NA = -87$; $A = (CA \text{ de outubro} - CA \text{ de setembro}) = 41 - 11 = 30$.

A partir de novembro o cálculo é exemplificado abaixo para este mês, e o restante é indicado na tabela 5.

$P-ETP = 130$; $ETR = ETP = 98$; $CA = CA \text{ outubro} + (P-ETP) \text{ novembro} = 41 + 130 = 100$, isto porque 100 é o máximo valor de CA; $NA = 0$; $A = (CA \text{ de novembro} - CA \text{ de outubro}) = 100 - 41 = 59$.

Tabela 5: Balanço hídrico climatológico de Belo Horizonte - MG - 19,56S/43,56W/850,02m.
Todas as variáveis são expressas em mm. CA = 100 mm.

Mês	P	ETP	P-ETP	NA	CA	A	ETR	DEF	EXC
jan	296	108	188	0	100	0	108		
fev	188	96	92	0	100	0	96		
mar	164	100	64	0	100	0	100		
abr	61	78	-16	-16	86	-14	75		
mai	28	67	-39	-56	56	-30	58		
jun	14	53	-39	-94	38	-18	32		
jul	16	52	-37	-131	26	-12	28		
ago	14	61	-48	-179	16	-10	24		
set	41	80	-40	-218	11	-5	46		
out	123	93	30	-87	41	30	93		
nov	228	98	130	0	100	59	98		
dez	319	104	216	0	100	0	104		
anual	1491	990	502			0	861		

Tabela elaborada pela autora.

3. A água que sobra em (P-ETP), após CA atingir seu valor máximo, 100 mm, é utilizada como água excedente (EXC) na estação chuvosa. Na estação seca a quantidade de água que faltou para atender a ETP é considerada deficiente (DEF). As variáveis EXC e DEF são calculadas abaixo para os meses de novembro e abril, respectivamente. O restante do balanço é apresentado na tabela 6.

$EXC \text{ (novembro)} = (P-ETP) - A = 130 - 4 = 126$.

$DEF \text{ (abril)} = ETR - ETP = 75 - 78 = -3$.

Tabela 6: Balanço hídrico climatológico de Belo Horizonte - MG - 19,56S/43,56W/850,02m.
Todas as variáveis são expressas em mm. CA = 100 mm.

Mês	P	ETP	P-ETP	NA	CA	A	ETR	DEF	EXC
jan	296	108	188	0	100	0	108	0	188
fev	188	96	92	0	100	0	96	0	92
mar	164	100	64	0	100	0	100	0	64
abr	61	78	-16	-16	86	-14	75	-2	0
mai	28	67	-39	-56	56	-30	58	-9	0

jun	14	53	-39	-94	38	-18	32	-21	0
jul	16	52	-37	-131	26	-12	28	-25	0
ago	14	61	-48	-179	16	-10	24	-38	0
set	41	80	-40	-218	11	-5	46	-35	0
out	123	93	30	-87	41	30	93	0	0
nov	228	98	130	0	100	59	98	0	71
dez	319	104	216	0	100	0	104	0	216
anual	1491	990	502			0	861	-129	631

Tabela elaborada pela autora.

3.3 - Representação gráfica do Balanço Hídrico

Apresentamos duas das formas de representação gráfica do balanço hídrico, deixando ao leitor pesquisar outras possibilidades de representações.

3.3.1 - Gráfico Precipitação x Evapotranspiração Potencial x Evapotranspiração Real

Neste gráfico são representadas, simultaneamente, as variáveis Precipitação x Evapotranspiração Potencial x Evapotranspiração Real. A relação entre elas indica a disponibilidade de chuva para o sistema comparada com a demanda de evapotranspiração da atmosfera e a resposta da superfície a esta demanda (gráfico 1).

GRÁFICO 3.1

Balanço hídrico de Belo Horizonte - MG. Legenda: - - - precipitação (mm); ___ evapotranspiração potencial (mm); evapotranspiração real (mm).

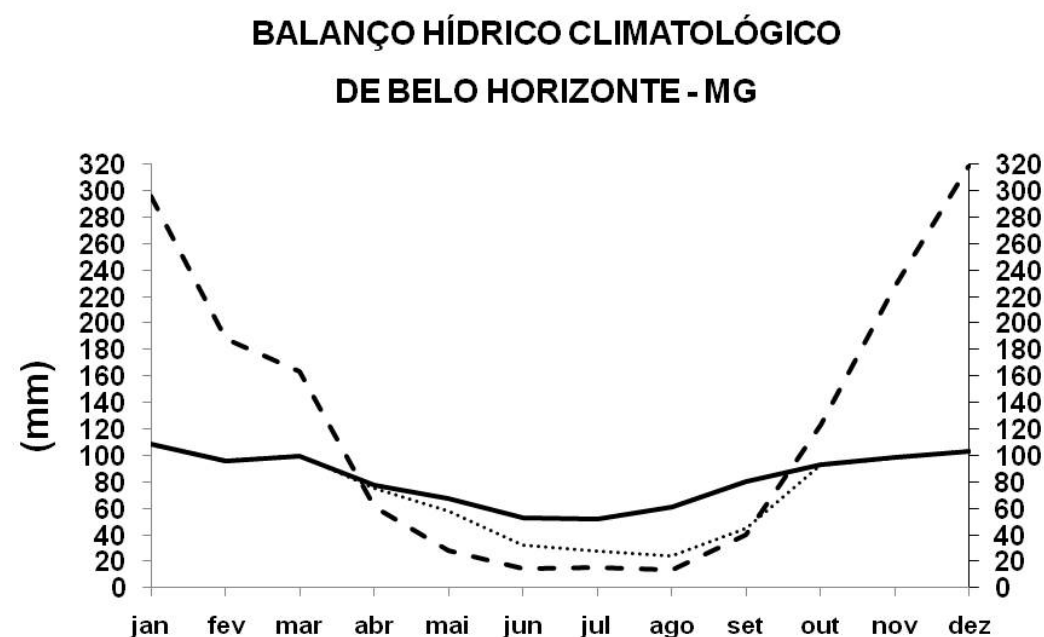


Tabela elaborada pela autora.

A área definida entre a evapotranspiração potencial e a real indica o déficit de água para a superfície uma vez que ela é formada quando ETP é maior que ETR. Nestas condições a precipitação não é suficiente para atender a demanda atmosférica de vapor de água. A área definida entre a evapotranspiração potencial e a precipitação indica o excedente de água para a superfície uma vez que ela é formada quando P é maior que ETP. Nestas condições a precipitação não só atende a demanda atmosférica de vapor de água, como oferece água excedente para a superfície. Esta água pode percolar ou infiltrar.

3.3.2 - Gráfico Reposição x Excedente x Retirada x Déficit

Neste gráfico são representadas, simultaneamente, as variáveis reposição (REP), excedente (EXC), retirada (RET) e déficit (DEF). A retirada (RET) é dada pela alteração da capacidade de armazenamento (A), nos meses nos quais ela é negativa, e zero quando ela é igual ou maior que zero. O inverso ocorre para a reposição, que é igual à alteração da capacidade de armazenamento (A), nos meses nos quais ela é positiva (tabela 7).

Tabela 7: Balanço hídrico climatológico de Belo Horizonte - MG - 19,56S/43,56W/850,02m. Todas as variáveis são expressas em mm. CA = 100 mm.											
Mês	P	ETP	P-ETP	NA	CA	A	ETR	DEF	EXC	RET	REP
jan	296	108	188	0	100	0	108	0	188	0	0
fev	188	96	92	0	100	0	96	0	92	0	0
mar	164	100	64	0	100	0	100	0	64	0	0
abr	61	78	-16	-16	86	-14	75	-2	0	-14	0
mai	28	67	-39	-56	56	-30	58	-9	0	-30	0
jun	14	53	-39	-94	38	-18	32	-21	0	-18	0
jul	16	52	-37	-131	26	-12	28	-25	0	-12	0
ago	14	61	-48	-179	16	-10	24	-38	0	-10	0
set	41	80	-40	-218	11	-5	46	-35	0	-5	0
out	123	93	30	-87	41	30	93	0	0	0	30
nov	228	98	130	0	100	59	98	0	71	0	59
dez	319	104	216	0	100	0	104	0	216	0	0
anual	1491	990	502			0	861	-129	631	-89	89

Tabela elaborada pela autora.

A representação gráfica destas variáveis é dada pelo gráfico 3.2 e as informações de seu comportamento são obtidas pela leitura direta do gráfico. Por exemplo, no mês de junho o déficit é o valor total do eixo em mm, subtraído do valor da retirada, ou seja:

$$DEF = -39 - (-18) = -21.$$

Outro exemplo, no mês de novembro, o excedente é o valor total do eixo em mm, subtraído do excedente, ou seja:

$$\text{REP} = 130 - 59 = 71.$$

GRÁFICO 3.2

Balanço hídrico de Belo Horizonte - MG.

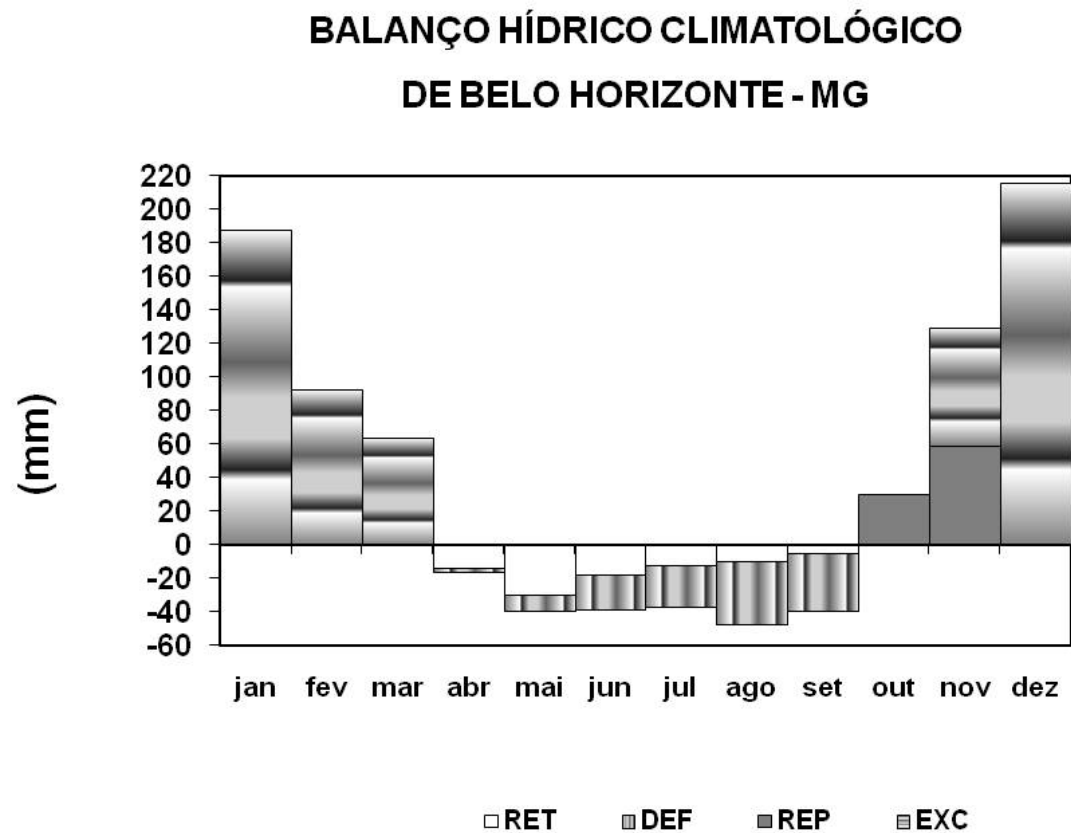


Tabela elaborada pela autora.

Bibliografia de referência e para consulta

ABREU, M. L., **Notas de aula da disciplina Climatologia**. Belo Horizonte, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 1992: **Normais climatológicas 1961-1990**, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, 84 p.

TUBELIS, A. E. NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia Descritiva - Fundamentos e Aplicações Brasileiras**. Livraria Nobel, São Paulo, 1992, 374 p.

Sites que tratam de climatologia, relacionados a este conteúdo:

Instituto Nacional de Meteorologia-INMET: www.inmet.gov.br.

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ: www.esalq.usp.br.

Exercícios de revisão:

1. Calcule o balanço hídrico para as normais climatológicas de estações meteorológicas de Minas Gerais.
2. Represente os balanços hídricos do item 2 em gráficos com as variáveis: 1) excedente x déficit x reposição x retirada; 2) evapotranspiração real x evapotranspiração potencial x precipitação.



CAPÍTULO 4

Objetivos: Apresentar a dinâmica atmosférica que origina os climas tropicais, tomando como exemplo o clima de Minas Gerais.

Neste conteúdo será apresentada a dinâmica atmosférica que origina os climas tropicais. Trabalharemos os climas de Minas Gerais, tendo como referência o de Belo Horizonte. A análise aqui apresentada destaca a importância da escala espacial no estudo do clima de uma localidade.

1.1- As células de circulação geral da atmosfera e sua atuação no Brasil

A região intertropical se caracteriza pelo saldo positivo de radiação solar (ver gráfico 2.2, aula 2, em Abreu, 2012). Esta energia aquece a superfície e conseqüentemente o ar (ver módulo II, Balanço de Energia do Sistema terra-atmosfera).

Em 1735 o inglês George Hadley, explicando a origem dos alísios, propôs uma circulação global, termicamente direta originando-se na região equatorial e fechando-se na região dos pólos. No equador aquecido origina-se queda de pressão à superfície, movimentos ascendentes e alta pressão em altitude (ver figura 7.6, aula 7, em Abreu, 2012). Nos pólos o ar converge em altos níveis, desce em movimento subsidente e diverge em centros de alta pressão à superfície. Os ventos frios à superfície retornam ao equador. Esta célula de circulação direta foi denominada de célula de Hadley em homenagem ao distinto pesquisador. Atualmente entende-se que a célula de Hadley não se estende até aos pólos, mas até as latitudes subtropicais em cada hemisfério. Ela possui assim um ramo ascendente, quente, no equador que define um cinturão de centros de baixa pressão à superfície, e dois ramos subsidentes, um em cada hemisfério, caracterizando os centros de alta pressão subtropicais. Os centros de alta pressão são denominados Anticiclones Subtropicais do Atlântico Norte (ASAN) e Sul (ASAS) (figura 4.1).

FIGURA 4.1

Célula atmosférica de circulação direta, intertropical, de Hadley, na região equatorial, global. Legenda: A - centro de alta pressão; B - centro de baixa pressão.

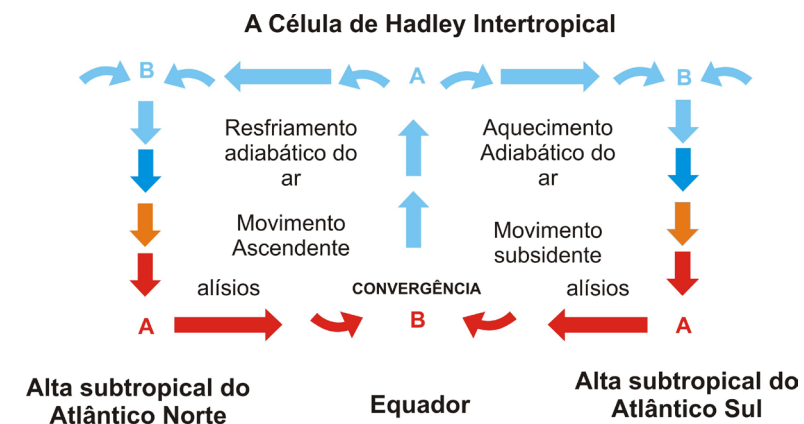


Figura elaborada por: Magda Luzimar de Abreu. Ilustração: Ubiranan de Lucena.

A circulação de Hadley faz parte da Circulação Geral da Atmosfera – CGA. Ela é conhecida como Célula de Hadley e apresenta como características dinâmicas: um cinturão de baixas pressões de origem térmica ao longo do equador, com movimentos ascendentes e convergentes à superfície, e dois cinturões de altas pressões dinâmicas, um em cada hemisfério, com movimentos subsidentes e divergência à superfície (figura 4.2). A célula de Hadley é também referida como uma célula de circulação meridional que resulta do gradiente de temperatura entre os pólos e o equador.

FIGURA 4.2

Domínio espacial da Célula de Hadley e suas características termo-dinâmicas.

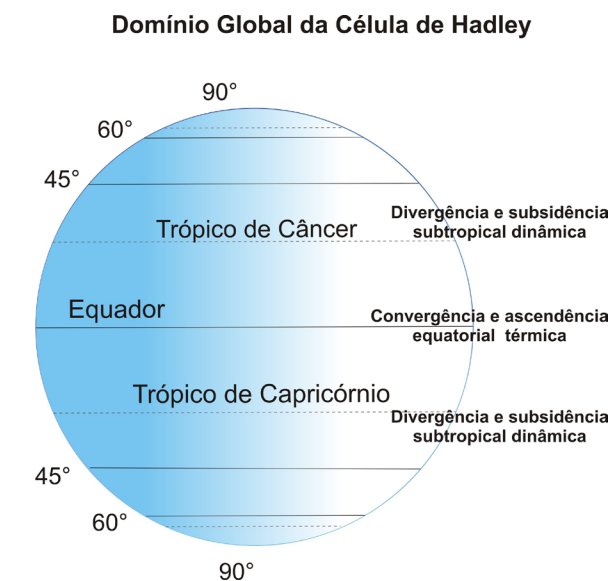


Figura elaborada pela autora.

Na região equatorial observa-se também saldo positivo de umidade no ar. Esta umidade em movimento ascendente contínuo origina **instabilidade atmosférica, convectiva**, como mostrada na figura 4.3 (ver também aula 8, da disciplina Climatologia em Abreu, 2012). Nestas condições os movimentos ascendentes intensos resultam em subida da parcela úmida até o nível de condensação onde ela condensa ou sublima, e a partir do qual ela cresce produzindo gotas de água de tamanho suficiente para promoverem precipitação de chuvas torrenciais.

FIGURA 4.3

Instabilidade convectiva observada na região equatorial produzida por grande disponibilidade de radiação solar e umidade do ar.

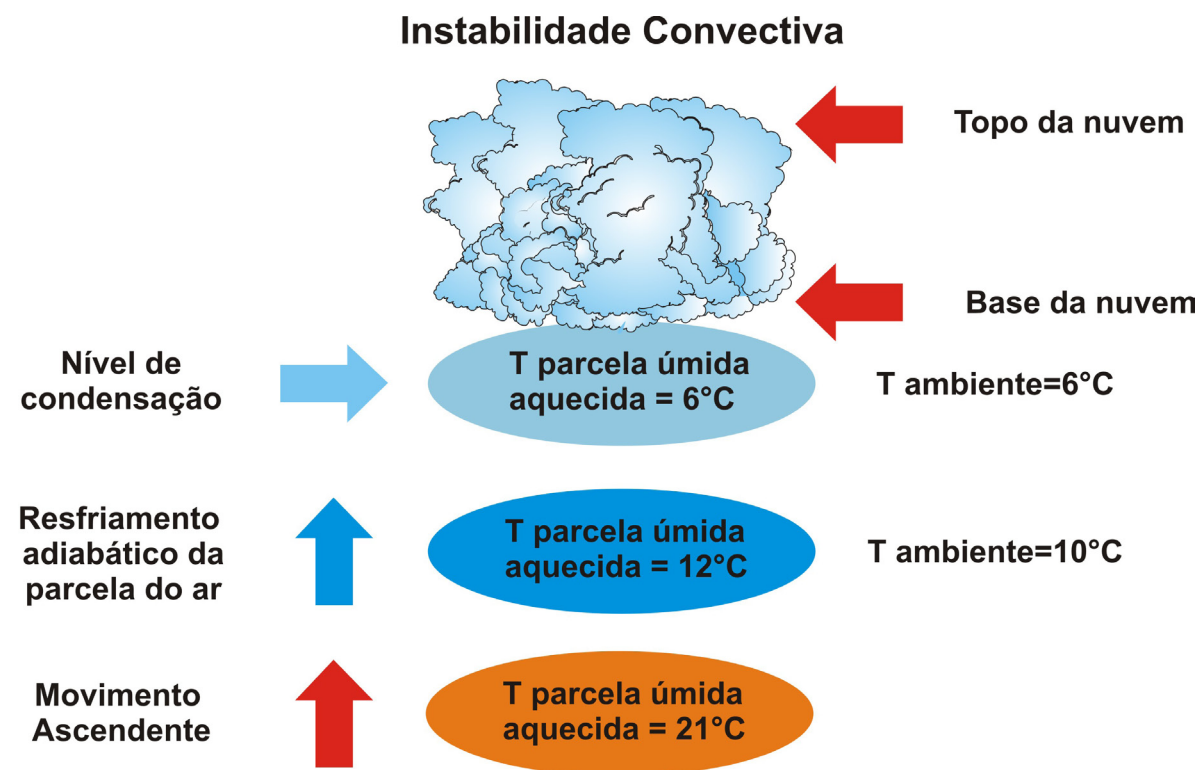


Figura elaborada por: Magda Luzimar de Abreu. Ilustração: Ubiranan de Lucena.

A instabilidade convectiva na região equatorial caracteriza o ramo ascendente da célula de Hadley. Nesta região ela recebe o nome de Zona de Convergência Intertropical – ZCIT (figura 4.4). A ZCIT é observada nas imagens de satélite meteorológico através de uma banda de nebulosidade próxima ao equador. Em razão da descontinuidade entre continentes e oceanos ela se apresenta preferencialmente sobre os continentes quentes no verão e sobre os oceanos aquecidos no inverno. Ela migra entre o hemisfério norte e sul seguindo o equador térmico.

FIGURA 4.4

A Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, ramo ascendente da célula de Hadley. Legenda: B – centro de baixa pressão.

A Zona de Convergência Intertropical - ZCIT

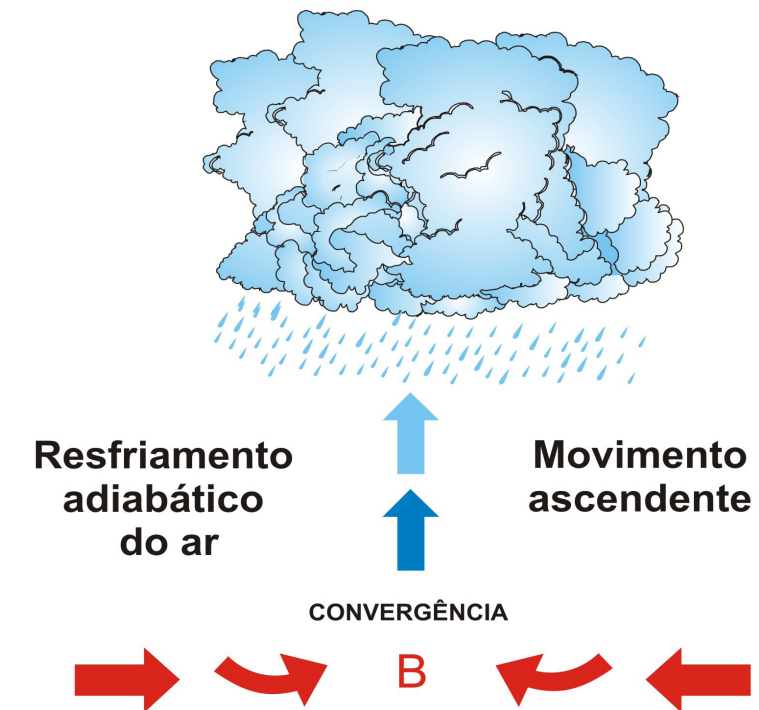


Figura elaborada por: Magda Luzimar de Abreu. Ilustração: Ubiranan de Lucena.

O equador térmico é a zona latitudinal de máximas temperaturas que migra entre o hemisfério norte e sul acompanhando a distribuição sazonal de energia solar incidente. No verão do hemisfério norte ele se posiciona em torno de 10° N em razão da grande massa continental que aquece o ar. No verão do hemisfério sul ele se posiciona em torno de 5° S uma vez que este hemisfério possui mais oceanos do que continentes. Esta diferença se apóia no fato dos oceanos terem maior calor específico do que os continentes. Desta forma os continentes se aquecem mais rapidamente do que os oceanos e aquecem mais rapidamente a atmosfera.

A célula de Hadley afeta o Brasil. Na região Norte a ZCIT provoca chuvas (figura 4.5.a). Sua ação é intensificada pelo aquecimento do continente no verão e pela advecção de ar úmido, oceânico, através dos alísios de nordeste, provenientes do Hemisfério Norte. Da mesma forma ela afeta o norte da região Nordeste do Brasil na estação de outono (figura 4.5.b). No litoral leste do Nordeste a célula de Hadley se manifesta através dos alísios de sudeste que sopram do ASAS em direção ao continente com maior intensidade no inverno (figura 4.5.c).

FIGURA 4.5

Ação direta da Célula de Hadley no clima brasileiro: a. na região norte; b. no norte da região nordeste; c. no leste da região nordeste.

a. na região norte



b. no norte da região nordeste



c. no leste da região nordeste.



Figura elaborada por: Magda Luzimar de Abreu. Ilustração: Ubiranan de Lucena.

A ação da célula de Hadley pode ser observada através do ritmo mensal da precipitação em cidades representativas das regiões indicadas na figura 4.5, como exemplificado no gráfico 4.1. Em Manaus a estação chuvosa inicia em setembro e estende até abril. Em Fortaleza a estação chuvosa ocorre entre fevereiro e abril. Em João Pessoa a estação chuvosa ocorre entre maio e julho. Estes períodos ilustram a atuação da ZCIT sobre o continente, da ZCIT sobre o Atlântico norte, e do ASAS sobre o Atlântico sul, respectivamente.

GRÁFICO 4.1

Comportamento mensal climatológico da precipitação. Legenda: - - - Manaus/AM (3S/60W/67m) — Fortaleza/CE (3S/38W/27m) e João Pessoa/PB (7S/35W/7m).

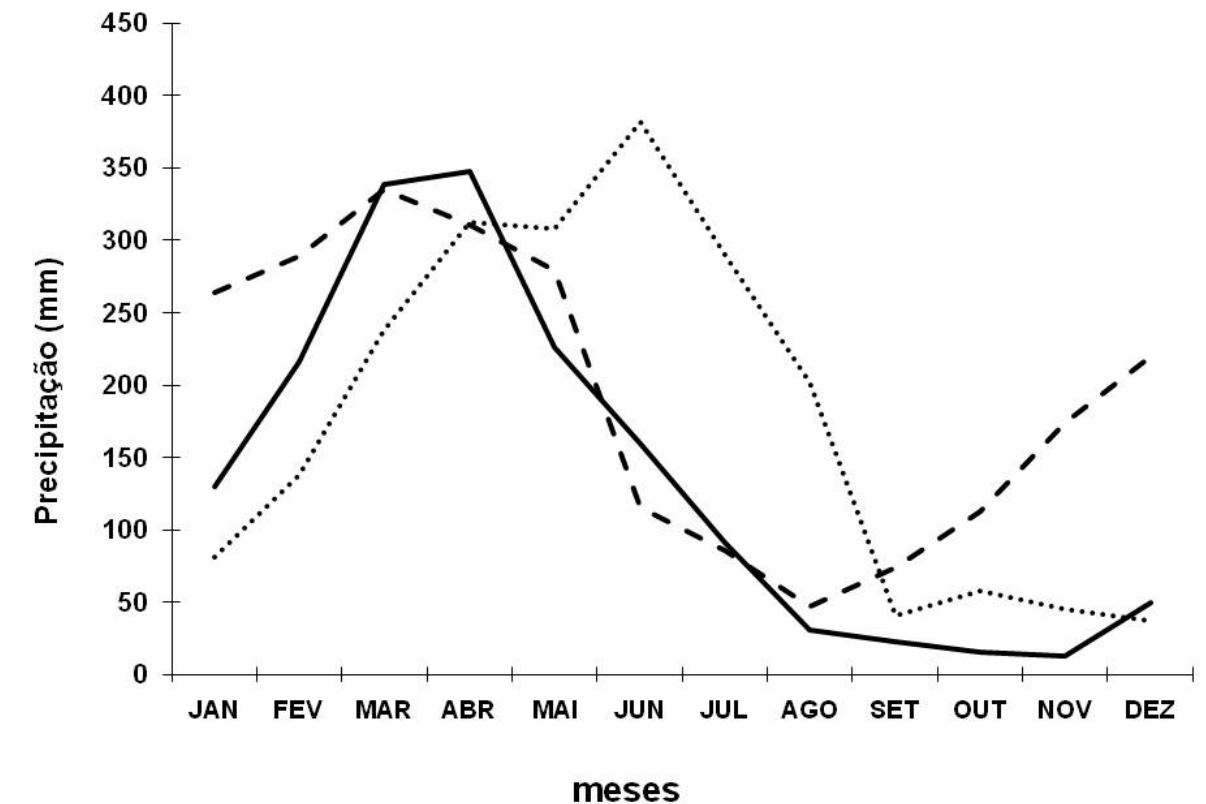


Gráfico elaborado pela autora.

Outra forma de entender a dinâmica atmosférica nesta região foi proposta por Edmon Nimer, geógrafo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, na década de 1970. Para Nimer, no norte das regiões Norte e do Nordeste do Brasil, predominam correntes perturbadas de norte na gênese das chuvas, que representam a atuação da ZCIT. Podemos entender a corrente perturbada como o elemento indicador da direção predominante do vento na região de estudo, associada a chuvas climatológicas. Neste caso a direção predominante do vento é de norte, representando a atuação dos alísios de nordeste, procedentes do Hemisfério Norte.

No oeste da região Nordeste predomina as correntes perturbadas de oeste. Estas correntes estão associadas às Instabilidades tropicais, ou seja, instabilidades convectivas ocasionadas pelo aquecimento continental. No leste desta região predomina as correntes perturbadas de leste. Elas interagem com os fatores estáticos da região (latitude e topografia) e estão associadas aos fatores dinâmicos que nela predominam dependendo da estação do ano, tais como os sistemas frontais, no inverno e o ASAS nas demais estações do ano.

4.2 – A interação entre a célula de meridional de Hadley e a zonal de Walker e sua atuação na região sudeste do Brasil

A combinação entre as células de Hadley (item 4.1) e de Walker (ver módulo II) atua sobre o clima brasileiro. No continente sul-americano o ramo ascendente da célula de Walker é identificado na convecção associada à Instabilidade Tropical, fortalecendo o ramo ascendente da célula de Hadley (a ZCIT). Os ramos subsidentes de ambas as células fortalecem a atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul – ASAS.

Esta interação é melhor observada nas regiões norte e nordeste, discutidas anteriormente. A intensa convecção na região norte, caracterizada como clima equatorial continental úmido está associada aos ramos ascendentes das células. O semi-árido nordestino se origina da atuação intensa do ASAS.

Na região sudeste do Brasil, particularmente no Estado de Minas Gerais a atuação destas células define as principais características de larga escala do seu clima. Entendemos a região como de transição climática. Um bom exemplo é o clima da capital mineira. Belo Horizonte apresenta temperatura média anual de 21,1° C, o mês mais quente, fevereiro, tem média mensal de 23,2° C e o mais frio, julho, 18,1° C. O ritmo mensal da temperatura local coincide com o da radiação solar incidente (variável relacionada a aspectos de larga escala), sendo máxima/mínima em dezembro/junho.

Na estação chuvosa, no período entre outubro e março, as chuvas representam mais de 80% do seu total anual. As chuvas ocorrem em toda a cidade. Elas se originam de sistemas de escala regional e planetária. O mesmo padrão, por se originar de fenômenos de larga escala e sua interação com os de escala regional, é observado em várias localidades do estado de Minas Gerais (tabela 4.1).

Tabela 4.1		
CIDADE	TOTAL DE CHUVAS DA ESTAÇÃO CHUVOSA (OUTUBRO A MARÇO)	% DE CHUVAS DA ESTAÇÃO CHUVOSA COMPARADA COM TOTAIS ANUAIS
Belo Horizonte	1318	88
Aimorés	956	82
Caratinga	952	80
Uberaba	1324	83

A instabilidade convectiva associada ao aquecimento continental é um sistema de escala regional que atinge grande parte do Brasil. Ela se origina do aquecimento do continente e promove o deslocamento de umidade da região amazônica para o sudeste. Ela causa tempestades severas de curta duração que incluem a ocorrência de episódios de chuva de granizo, ventos intensos e descargas elétricas. Este sistema de escala regional pode ser reforçado pela ZCIT, sistema de escala planetária (ou larga escala), descrito no item 4.1, alimentando a região amazônica com vapor de água originada do oceano Atlântico Norte.

Este sistema denominado por Nimer de corrente perturbada de oeste, como discutido anteriormente, atinge não só a capital mineira. O gráfico 4.2 ilustra as chuvas em várias regiões de Minas Gerais, representadas pelas cidades de Aimorés, Caratinga e Uberaba, além de Belo Horizonte. As cidades apresentam o mesmo padrão de precipitação de Belo Horizonte. Ou seja, chuvas no verão e seca no inverno. As diferenças entre as curvas, particularmente na estação chuvosa, devem-se aos fatores estáticos locais como a topografia.

GRÁFICO 4.2

Comportamento mensal climatológico da variável precipitação para as estações meteorológicas convencionais das localidades mineiras de __ Aimorés (19S/41W/83m), Caratinga (19S/42W/610m), - - - Belo Horizonte/MG (20S/44W/850m), _._._ Uberaba/MG (19S/48W/737m).

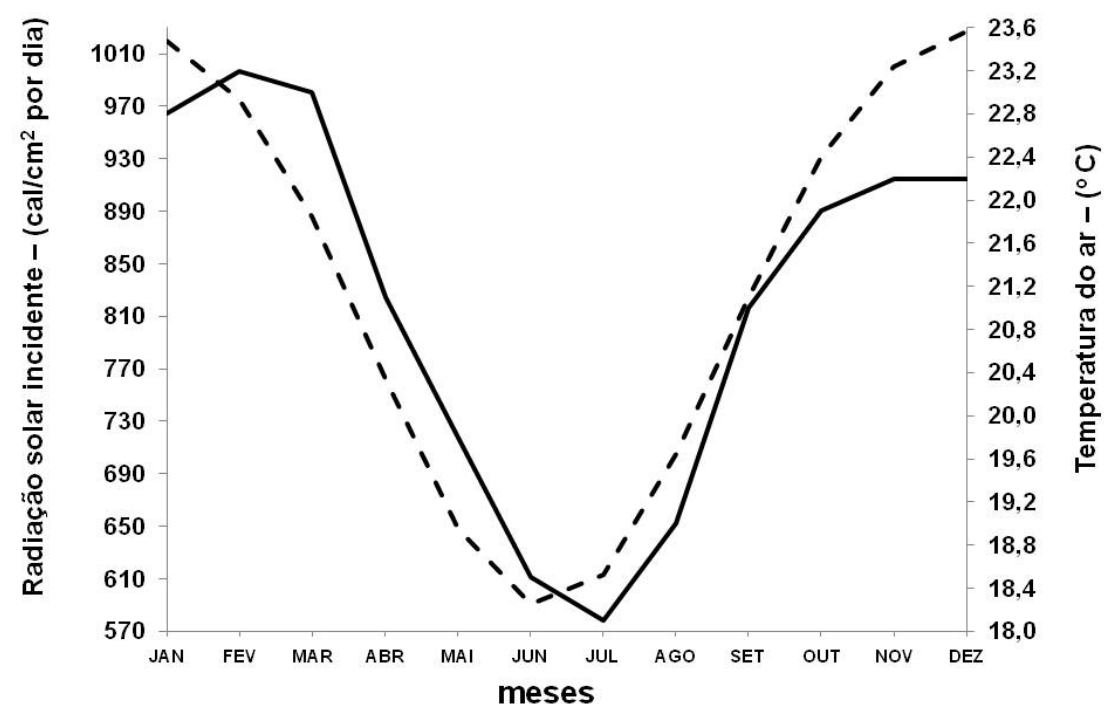


Gráfico elaborado pela autora.

O segundo sistema, de larga escala, que atua na América do Sul atingindo o sudeste do Brasil são os sistemas frontais (ver aula 8, da disciplina Climatologia, Abreu, 2012), identificados, por Nimer (1972), como perturbações de sul. No inverno estes sistemas apresentam baixa atividade convectiva e contribuem apenas com 12% dos totais de precipitação na capital mineira. Nesta estação do ano a maior contribuição destes sistemas é o resfriamento atmosférico causado pelas massas de ar frio associado às frentes frias.

Na estação chuvosa, as frentes frias e quentes, associadas à ampla zona de convergência de ventos e a forte decréscimo de pressão atmosférica à superfície se associam à instabilidade convectiva continental criando uma extensa região de convergência de umidade. Esta associação pode originar a Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS (ver aula 9, da disciplina Climatologia, Abreu, 2012) que age sobre Minas Gerais.

Na estação seca predomina o ASAS responsável pelos maiores registros de pressão atmosférica, insolação (horas de brilho solar) e evaporação, e baixa umidade relativa do ar (gráfico 4.3). Este sistema de larga escala corresponde à atuação da corrente perturbada de leste, segundo Nimer. Ele atua originando intensa subsidência que mantém o céu claro. Sem nuvens o heliógrafo registra grandes valores de brilho solar.

A umidade relativa do ar é baixa permitindo que a superfície, exposta a intensa radiação solar, se aqueça e produza vapor de água localmente. Porém com a subsidência que mantém a atmosfera estável e a baixa umidade relativa que sustenta o ar distante de seu ponto de saturação, a alta evaporação não permite a formação de nuvens. Estas características são apresentadas no gráfico 4.3.

GRÁFICO 4.3

Comportamento mensal climatológico das variáveis - - - pressão atmosférica, umidade relativa .._ insolação e __ evaporação para a estação meteorológica convencional de Belo Horizonte/MG (20S/44W/850m).

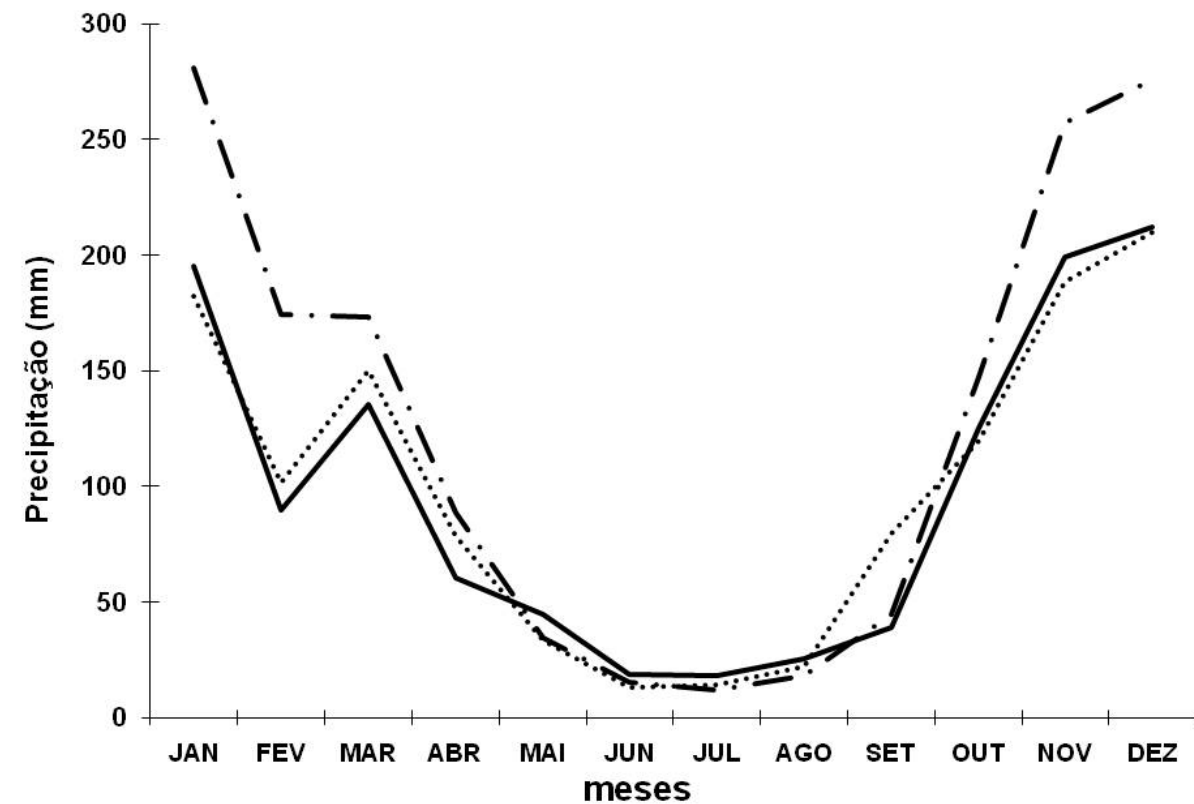


Gráfico elaborado pela autora.

Os sistemas que predominam sobre o clima de Minas Gerais podem ser sintetizados no diagrama da figura 4.6. Nela apresentam-se as correntes perturbadas propostas por Nimer e os fenômenos dinâmicos descritos pela Climatologia Dinâmica atual, que a ela se associam. A corrente perturbada de oeste representa a atuação das Instabilidades Tropicais e da ZCAS. A de sul a das frentes frias. A de leste, a do ASAS.

FIGURA 4.6

Ação das correntes perturbadas de Nimer (oeste, sul e leste) e sua relação com a ação da Célula de Hadley (ASAS), do aquecimento continental (instabilidades tropicais) e sistemas frontais (ação das latitudes médias) no clima de Minas Gerais.



Figura elaborada por: Magda Luzimar de Abreu. Ilustração: Ubiranan de Lucena.

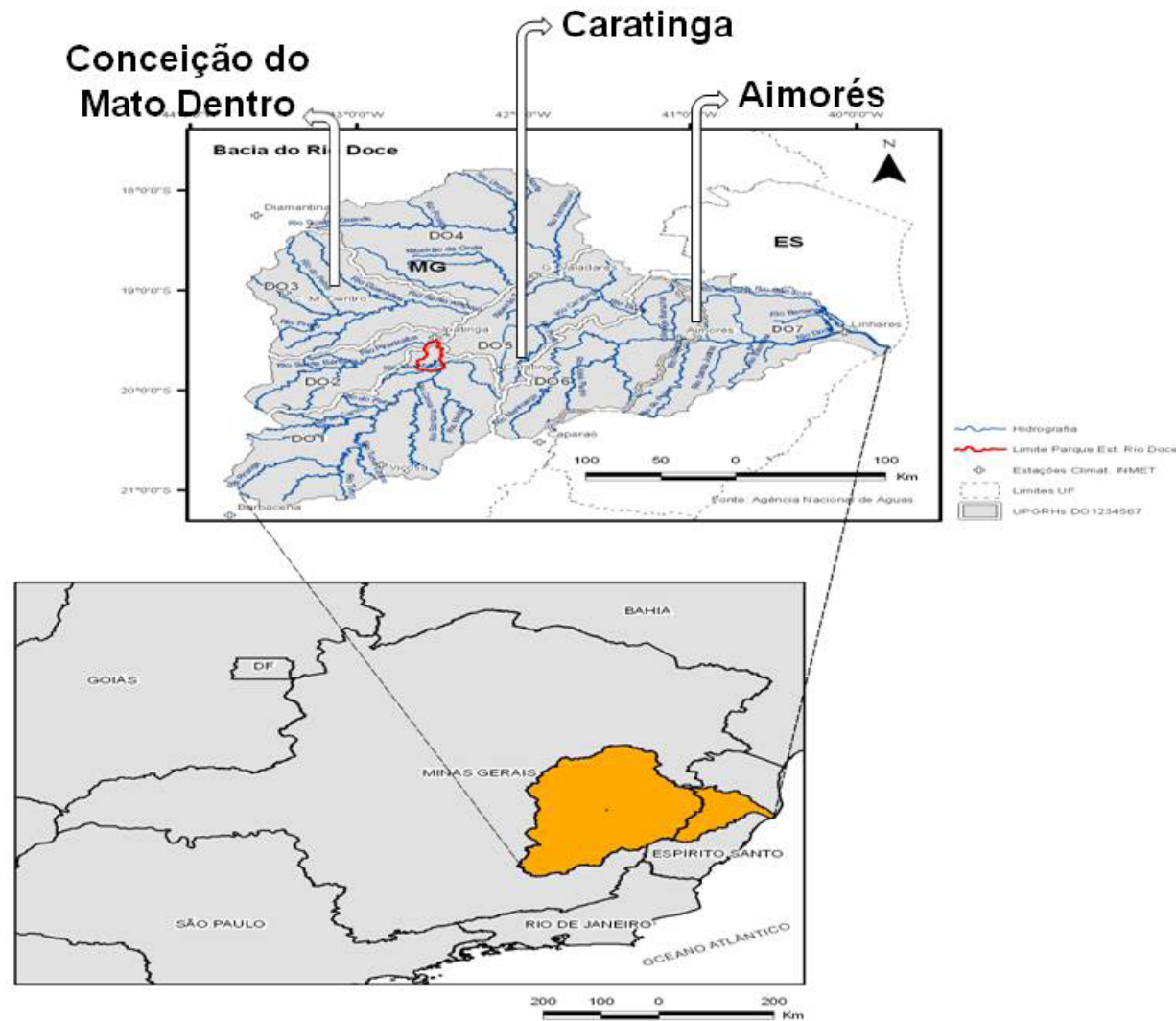
4.3 - A interação entre os sistemas de larga escala e os fatores locais

A bacia hidrográfica do Rio Doce foi objeto de estudo da tese de doutorado de Fulvio Cupolillo em 2008. Os estudos da precipitação e do balanço hídrico permitem definir o início e o fim da estação chuvosa e compreender a interação entre os sistemas de larga escala e os fatores locais, particularmente a topografia. Trataremos aqui da análise de três localidades na bacia que representam o clima da região, Conceição do Mato Dentro, Caratinga e Aimorés.

Segundo Cupolillo a bacia hidrográfica do rio Doce tem uma área de drenagem de 83.400 Km², sendo 86% em Minas Gerais e 14 % no Estado do Espírito Santo (figura 4.7). Os principais limites geográficos da bacia são: ao norte, as serras, Negra e Aimorés; a oeste, a serra do Espinhaço; a sudoeste e ao sul, a serra da Mantiqueira; a sudeste, a serra do Caparaó; a leste o oceano Atlântico.

FIGURA 4.7

Localização da Bacia do Rio Doce.



Fonte da figura: Adaptada de Cupolillo (2008).

A bacia abrange 230 municípios no leste de Minas Gerais e Espírito Santo. A economia compreende entre outras atividades: mineração, silvicultura de eucaliptos, siderurgia de grande porte, geração de energia hidrelétrica, exploração de pedras preciosas e semi-preciosas, pecuária de corte e leiteira, suinocultura, cana de açúcar, cafeicultura e atividades agrícolas de subsistência.

Na bacia a chuva nas estações de outono e inverno é quase inexistente nas três localidades apresentadas (gráfico 4.4). Nesta estação registram-se os maiores déficits hídricos (gráfico 4.5). Atua na região o ASAS indicando que a topografia local não é capaz de produzir precipitação por não conseguir superar a ação da subsidência de larga escala deste anticiclone. A umidade relativa é maior em Aimorés em razão da advecção de umidade oceânica para o interior da bacia, através da circulação da corrente perturbada de leste, associada ao ASAS.

GRÁFICO 4.4

Comportamento mensal climatológico da variável precipitação para as estações meteorológicas convencionais das localidades mineiras de __ Aimorés (19S/41W/83m), Caratinga (19S/42W/610m) e ... Conceição do Mato Dentro (19S/43W/652m).

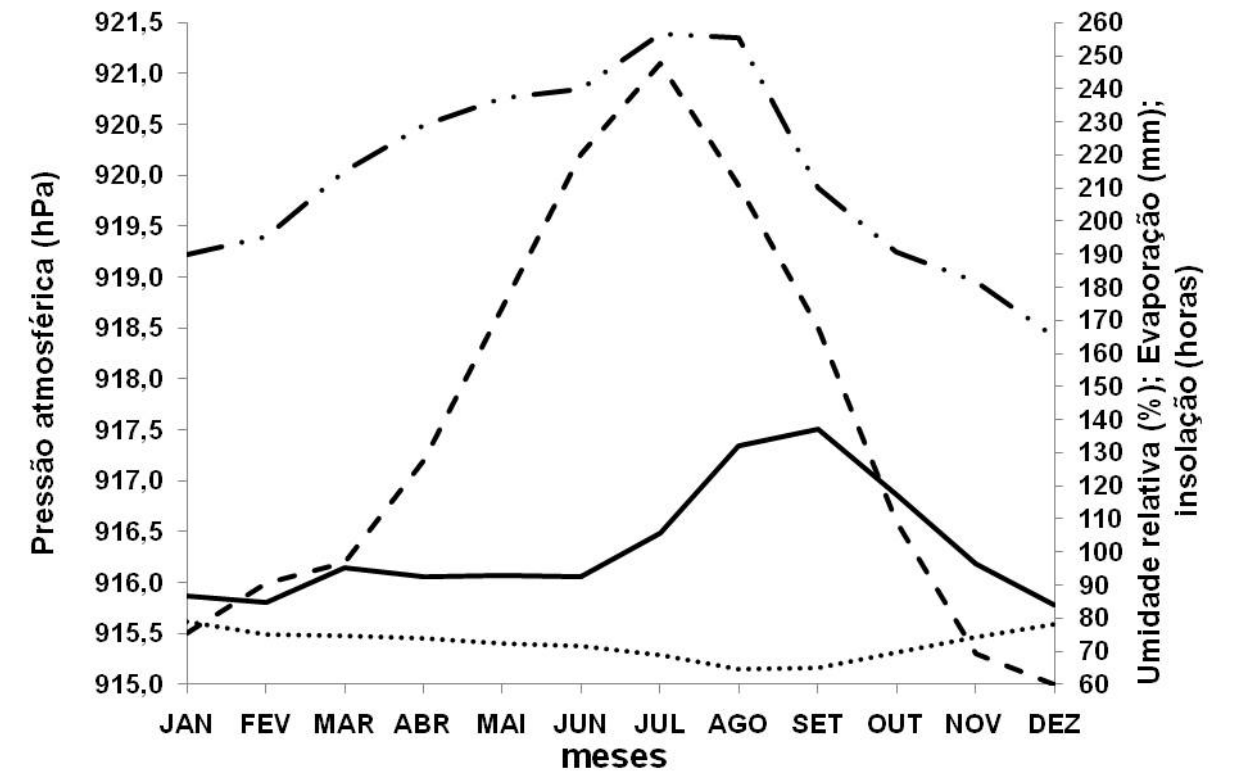
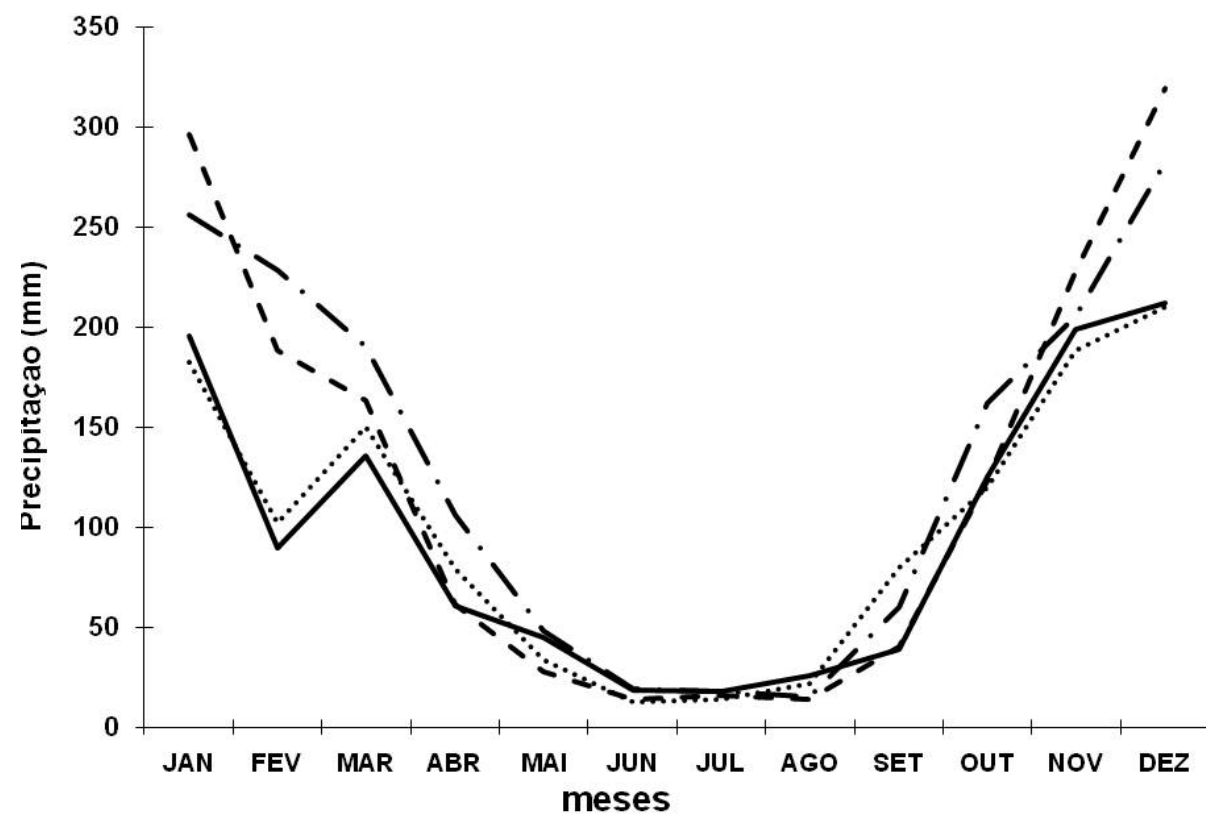


Gráfico elaborado pela autora.

GRÁFICO 4.5

Balço Hídrico mensal climatológico para as estações meteorológicas convencionais das localidades mineiras na Bacia do Rio Doce: a. Conceição do Mato Dentro (19S/43W/652m), b. Caratinga (19S/42W/610m) e c. Aimorés (19S/41W/83m).



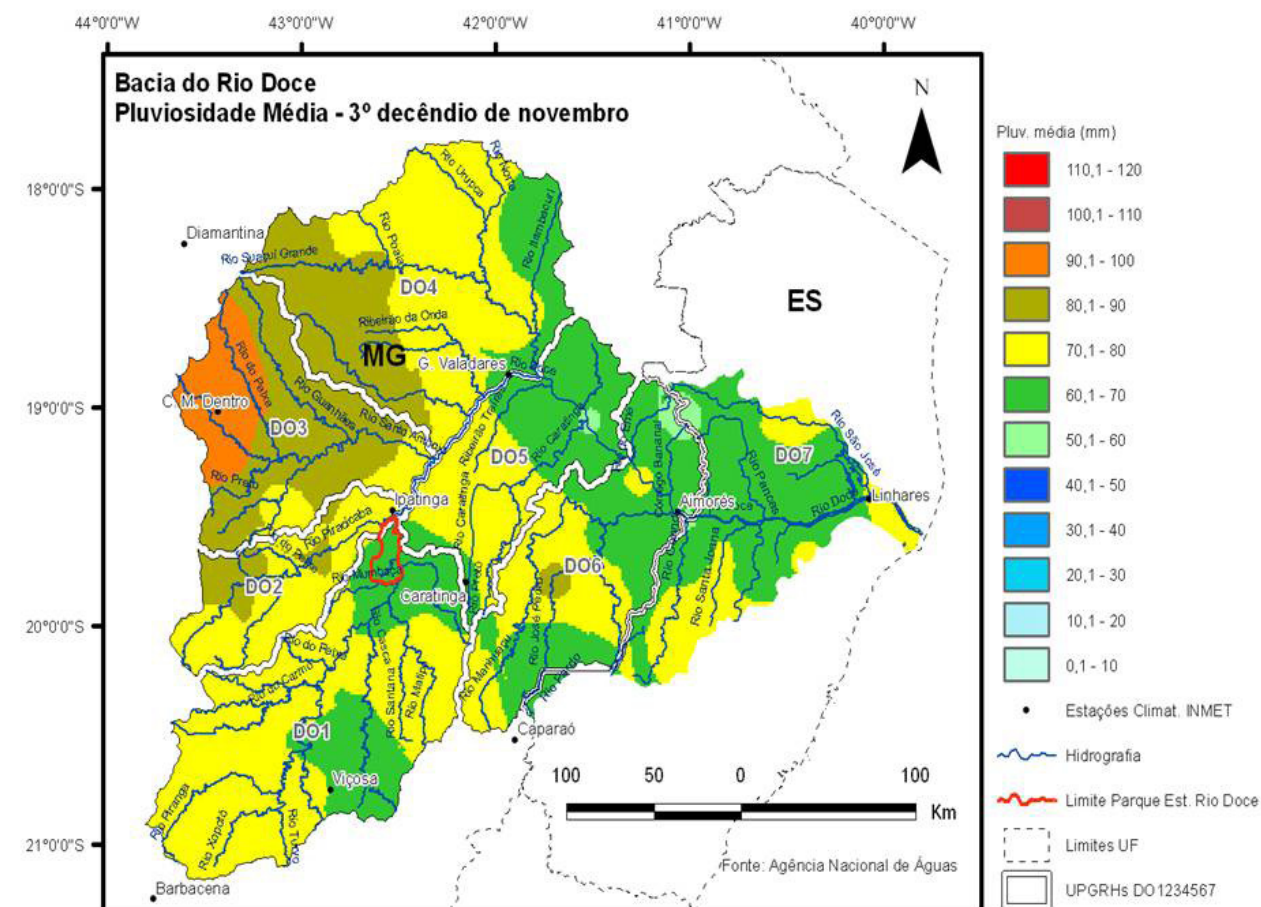
Fonte dos gráficos: adaptado de Cupolillo (2008).

Na escala local os maiores totais mensais de precipitação são acumulados na porção oeste da bacia, com maiores altitudes (gráfico 4.4, ver curva de Conceição do Mato Dentro, e figura 4.8). A advecção de umidade do Brasil central para a região sudeste pelas instabilidades convectivas atinge o oeste da bacia causando chuvas que se deslocam, em direção ao oceano Atlântico entre novembro (figura 4.8.a) e janeiro (figura 4.8.c), quando as chuvas começam a diminuir na bacia. A presença da topografia durante este período potencializa a instabilidade convectiva originando o padrão de maiores registros de precipitação mensal nesta porção da bacia. Os maiores excedentes hídricos ocorrem na estação chuvosa (gráfico 4.5).

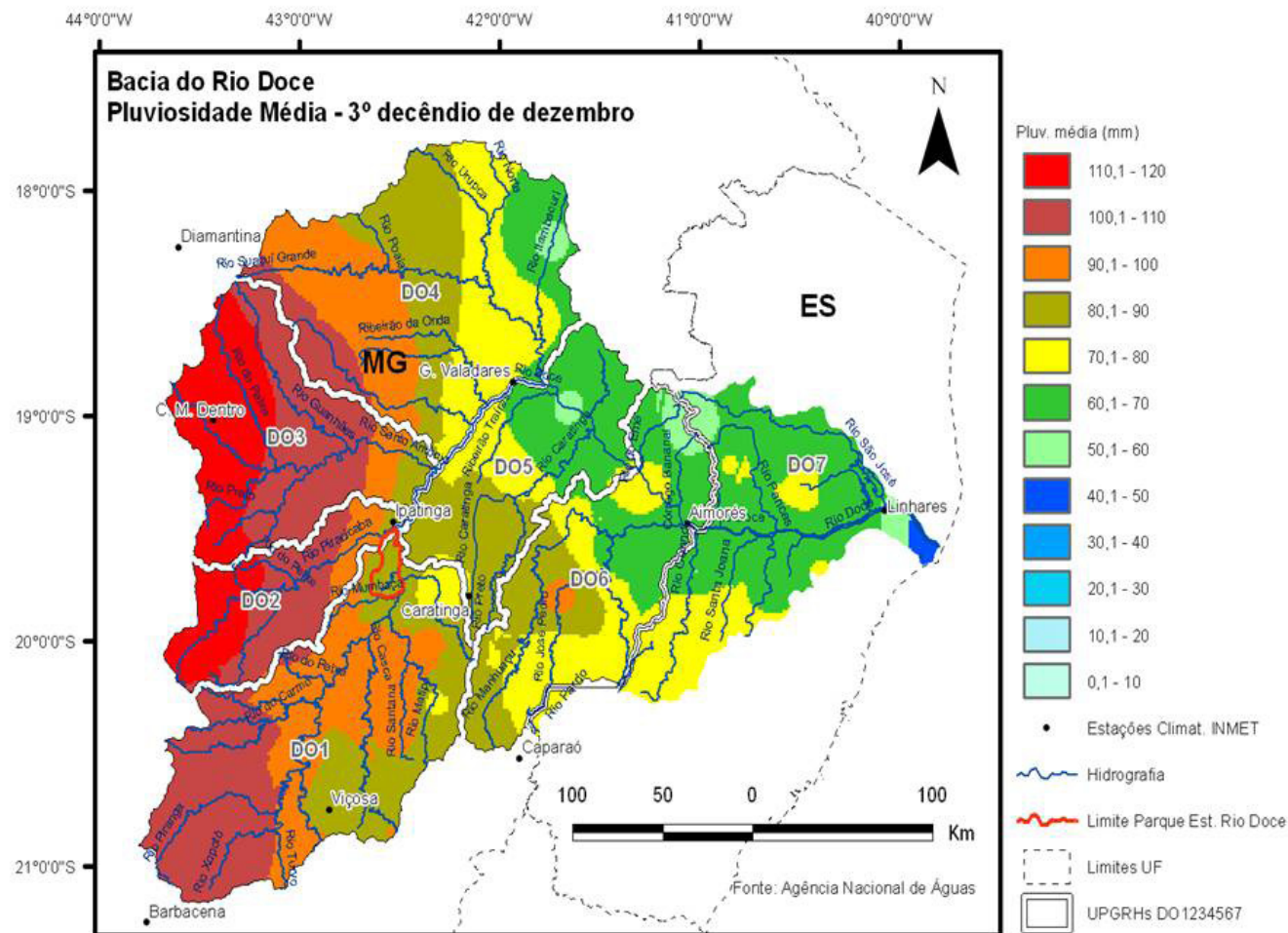
FIGURA 4.8

Comportamento climatológico decenal da precipitação durante a estação chuvosa na Bacia do Rio Doce nos meses de: a. novembro, b. dezembro e c. janeiro.

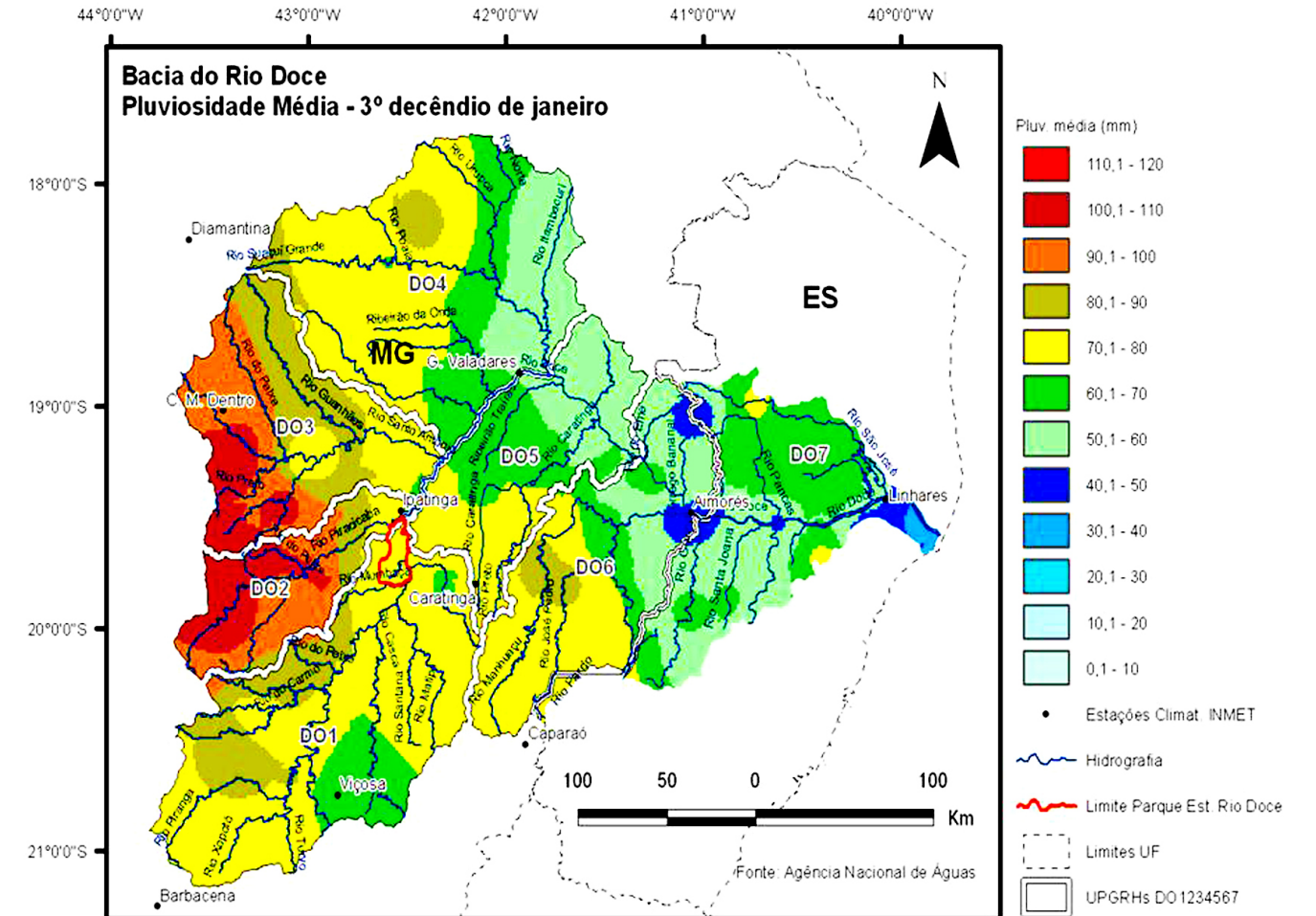
a. novembro



b. dezembro



c. janeiro



Fonte das figuras: Adaptadas de Cupolillo (2008).

Concluimos que a interação entre as escalas global (larga escala), regional (continental) e local determinam os padrões de precipitação de inverno e verão na bacia do Rio Doce na região sudeste do Brasil. Este padrão mostra a interação das escalas espaciais. As diferenças de totais pluviométricos entre as várias localidades do estado mineiro indicam a atuação de fatores estáticos tais como o relevo. Desta forma é fundamental considerar em qualquer análise climática local as diversas escalas espaciais que atuam sobre a região.

Bibliografia de referência e para consulta

ABREU, M. L., **Notas de aula da disciplina Climatologia**. Belo Horizonte, 2012.

CUPOLILLO, F. **Diagnóstico hidroclimatológico da Bacia do Rio Doce**. Tese de doutorado defendida em março de 2008 no Programa de Pós-graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais. 153 p.

INMET E INPE - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA e INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária e Ministério da Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 1986, 125 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 1992: **Normais climatológicas 1961-1990**, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, 84 p.

NIMER, E. **Circulação Atmosférica do Brasil**; 1966. http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/RBG/RBG%201966%20v28_n3.pdf

NIMER, E. **Climatologia da Região Nordeste**; 1972a. http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/RBG/RBG%201972%20v34_n2.pdf

NIMER, E. **Climatologia da Região Norte**; 1972b. http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/RBG/RBG%201972%20v34_n3.pdf

TUBELIS, A. E. NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia Descritiva - Fundamentos e Aplicações Brasileiras**. Livraria Nobel, São Paulo, 1992, 374 p.

Sites que tratam de climatologia, relacionados a este conteúdo:

Instituto Nacional de Meteorologia-INMET: www.inmet.gov.br.

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC: www.cptec.inpe.br.

Exercícios de revisão

1. Explique o que significam os seguintes conceitos do texto do Nimer: fatores estáticos e dinâmicos, correntes perturbadas, instabilidades tropicais e centros de ação.
2. Explique como os fatores estáticos e dinâmicos do texto do Nimer explicam a diversidade climática do Estado de Minas Gerais.
3. Analise o balanço hídrico de localidades mineiras e indique quais os fenômenos meteorológicos discutidos neste módulo explicam o padrão de comportamento climatológico das variáveis, precipitação, déficit e excedente hídrico das cidades analisadas.



ISBN 978-85-64724-10-5



9 788564 724105