

**Fulvio Cupolillo**

**DIAGNÓSTICO HIDROCLIMATOLÓGICO DA BACIA DO RIO  
DOCE**

**Belo Horizonte  
Instituto de Geociências da UFMG  
Março - 2008**

**Fulvio Cupolillo**

**DIAGNÓSTICO HIDROCLIMATOLÓGICO DA BACIA DO RIO  
DOCE**

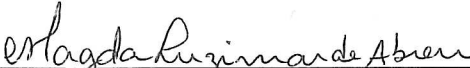
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte das exigências do curso de Geografia – Análise Ambiental, para obtenção do título de Doutor em Geografia.

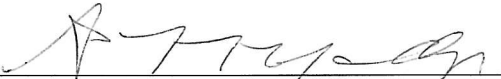
Área de Concentração: Análise Ambiental.


Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Magda Luzimar de Abreu.


**Belo Horizonte  
Instituto de Geociências da UFMG  
2008**

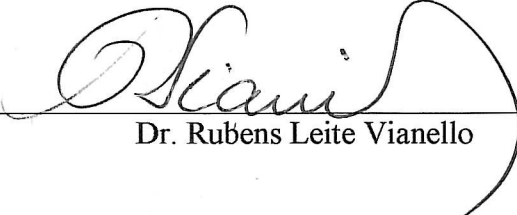
Tese defendida e aprovada, em 06 de março de 2008, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Magda Luzimar de Abreu

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Antônio Pereira Magalhães Júnior

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Cristiane Valéria de Oliveira

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Washington Luiz Assunção

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Rubens Leite Vianello

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela força nos momentos difíceis.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), na pessoa de seu Diretor, Antônio Divino Moura, que apoiou e possibilitou o desenvolvimento de boa parte das pesquisas necessárias para a realização deste trabalho.

À Agência Nacional das Águas (ANA) e ao INMET, por disponibilizar os dados pluviométricos, fluviométricos e climatológicos, permitindo as descobertas contidas neste trabalho.

À Universidade Estadual de Minas Gerais (UEMG), através da professora Wânia Maria Guimarães Lacerda, Diretora Pedagógica da Faculdade de Filosofia e Letras de Carangola (FAFILE/ Carangola), pelo apoio junto à FAPEMIG.

Ao Centro Universitário de Caratinga (UNEC), pelo apoio para a realização deste trabalho, por intermédio de seu magnífico Reitor, professor Antônio Fonseca da Silva.

Aos colegas meteorologistas do INMET/5°DISME, Alexandre Augusto Lopes Gadelha e Anete dos Santos Fernandes, pela paciência e permanente apoio.

À professora e amiga Magda Luzimar de Abreu, pela segura orientação, pelos ensinamentos e pela admirável dedicação durante o curso e no decorrer deste trabalho, transpondo todos os obstáculos aparentemente intransponíveis.

Aos professores Antônio Pereira Magalhães Júnior, Cristiane Valéria de Oliveira e Washington Luiz Assunção, integrantes da banca de defesa de tese, pelas sugestões e colaboração para que este trabalho pudesse ser finalizado de uma forma justa e perfeita.

Ao amigo, professor e pesquisador do INMET/5°DISME, Rubens Leite Vianello, pelas valiosas sugestões e apoio, para a conclusão desta pesquisa.

Aos amigos Jackson Cleiton Ferreira Campos e Frederico do Valle Ferreira de Castro, pelo apoio nos momentos difíceis, nas noites de estudo e insônia.

À minha família, especialmente à minha filha Gabriella Furtado Cupolillo e ao pequeno Felipe de Oliveira Teixeira, que não é mais tão pequeno assim, pela paciência e pelo estímulo.

À Adriana Mancini, mais do que uma amiga, que, nas horas difíceis, através do amor, compreendeu, apoiou e valorizou meus últimos passos.

Finalmente, a todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.



## RESUMO

No presente trabalho foi analisado o padrão de distribuição espacial e temporal da chuva na bacia do rio Doce, organizado de acordo com as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs), definidas pela Deliberação Normativa CERH-MG N° 06, de 04 de outubro de 2002. O diagnóstico hidroclimatológico da bacia constitui uma referência para o planejamento de recursos hídricos, minimizando os efeitos de eventuais riscos climáticos durante as estações chuvosa e seca.

Foram analisados dados de precipitação de cinquenta e dois postos pluviométricos, e, de vazão, de cinquenta e oito postos fluviométricos, todos pertencentes à Agência Nacional de Águas (ANA). Deles se originaram mapas decendiais de precipitação e vazão. Dados de dez estações climatológicas principais, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), permitiram a elaboração de balanços hídricos decendiais, climatológicos. Para a análise dos processos dinâmicos que influenciam o regime de chuva da bacia do rio Doce, utilizou-se dados de re-análise de linhas de corrente para os níveis de 200 e 850 hPa do NCEP (*National Center for Environment Prediction*), com resolução horizontal de 2,5°, referentes ao período de 1973 a 2003, nos domínios espaciais para América do Sul, Oceanos Pacífico e Atlântico, definidos entre as coordenadas geográficas entre 15° de latitude norte, 60° de latitude sul, 120° de longitude oeste e 10° de longitude leste.

A análise decendial dos dados permitiu traçar a evolução climatológica anual do regime de chuva na bacia, indicando a existência de um deslocamento do padrão pluviométrico no sentido de oeste para leste, ou seja, o início e o término da estação chuvosa a oeste antecedem ao início e ao término da estação a leste. Quanto às vazões, observou-se a existência de dois padrões bem distintos: 1°) vazões pouco expressivas e com pouca variabilidade nos subafluentes posicionados nas áreas serranas mais elevadas da bacia, e aqueles que representam as grandes bacias que drenam para o rio Doce, incluindo-se este. 2°) as maiores cotas de vazão durante todo ano nos rios afluentes e formadores do rio Doce, como o Suaçuí Grande, o Santo Antônio, o Piracicaba e o Piranga, além do próprio Doce. Tal fato deve-se à situação topográfica e hidrogeológica da bacia. Os decêndios de dezembro, janeiro e fevereiro apresentam os mais altos valores de vazão. A partir dos decêndios de março e abril ocorre o decréscimo da vazão, e, nos decêndios de maio a agosto, dão-se os menores valores de vazão.

As análises dos balanços hídricos indicam que os totais pluviométricos sofrem influência da altitude. O oeste da bacia apresenta estações secas curtas e longas estações chuvosas. À medida que se dirige para o leste, o número de decêndios que caracterizam a estação seca aumenta, enquanto os da estação chuvosa diminuem.

Os mecanismos atmosféricos dinâmicos que contribuem com os padrões de chuvas observados na bacia incluem: a Alta da Bolívia (AB), que contribui com o transporte de umidade da Amazônia para a região e conseqüentemente favorece as precipitações no oeste da bacia; o Anticiclone Subtropical do Atlântico do Sul (ASAS) e o Cavado do Nordeste (CN), responsáveis pela forte subsidência do ar, favorecendo a formação de uma descontinuidade pluviométrica caracterizada pela redução no regime de chuvas em sua porção central; e a formação de um bloqueio atmosférico, que se inicia no 2º decêndio de janeiro, estendendo-se até fevereiro e dissipando-se no 1º decêndio de março, caracterizando um *veranico climatológico* na bacia.

Devido à complexidade da área estudada e as diversas possibilidades de avanço na compreensão desse tema, os seguintes estudos são sugeridos: a) espacializar riscos climáticos como o veranico; b) aplicar novas metodologias para determinar o início e o fim da estação chuvosa na bacia; c) aplicar a metodologia deste estudo em outras bacias; d) aplicar estudos sobre veranicos, tomando como critérios de dia seco, 1 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm e 20 mm; e) aplicar estudos associados aos fenômenos de larga escala; f) melhoria na rede pluviométrica e fluviométrica da bacia, tanto em qualidade como em quantidade.

## ABSTRACT

In the following paper the pattern of spatial and temporal distribution of the Doce river area was analyzed, organized according to Units of Planning and Management of Hydrical Resources (UPGRHs), defined by Normative Deliberation CERH-MG number 06, of 4 of October of 2002. The hydro climatic diagnosis of the basin constitutes a reference to planning of hydrical resources, minimizing the effects of eventual climatic risks during the rainy and dry seasons.

Precipitation data from fifty-two pluviometric posts was analyzed and the flow of fifty-eight fluviometric posts, that belonged to the National Agency of Water (ANA), from which ten day precipitation and flow maps were made. For the analysis of the dynamic processes that influence the rain period in the Doce river area, re-analysis data from running lines for the levels of 200 and 850 hPa from NCEP (National Center for Environment Prediction) were used, with horizontal resolution of 2,5 degrees, referring to the period between 1973 and 2003, in the special domain of South America, Pacific and Atlantic Ocean, defined between the geographic coordinates of 15 degrees latitude north, 60 degrees latitude south, 120 degrees latitude west and 10 degrees latitude east.

The ten day period analysis of data allowed to trace the annual climate evolution of the rain period in the area, indicating the existence of a shifting in the pluviometric pattern from west to east, which means that the beginning and end of the rainy season to the west anticipate the beginning and end of the season to the east. As to draining, the existence of two very distinct patterns was observed: First) very little expressive drainage, with little variability, on the sub-bypasses positioned in the most elevated hill areas, and those that represent the greater areas that flow into Doce river, including this one. Second) the biggest rates of drainage throughout the whole year in the bypassing rivers and the ones that form Doce river, like the Suaçuí Grande, the Santo Antônio, the Piracicaba and the Piranga, besides Doce itself. Such occurrence is due to the topographical and hydro geological situation of the area. The ten day period of December, January and February show the highest rate of drainage. From the ten day period in March and April there's a decrease of drainage, and on the ten day period from May to August there are the lowest rates of drainage.

The analysis of the water values indicate that the pluviometric total is influenced by altitude. The west part of the area has short dry seasons and long rainy seasons. As you move

east, the number of ten day periods that characterizes the dry season increase, as the rainy season decreases.

The dynamic atmospheric mechanisms that contribute to the patterns of rains observed in the area include: the High of Bolívia (AB), that contributes with the transport of humidity of the Amazon to the region and consequently favors the precipitations to the west of the area; the South Atlantic Subtropical Anticiclone (ASAS) and the Northeast Drop (CN), responsible for the strong resistance of the air, favoring the formation of pluviometric discontinuity characterized by the reduction in the rain period in its central portion; and the build up of an atmospheric block, that starts on the 20<sup>th</sup> day of January, extending to February and dissipating on the first ten day period of March, characterizing a dry spells period in the area.

Due to the complexity of the studied area and the multiple possibilities of advancements in the understanding of this issue, the following studies are suggested: a) the spatial distribution climactic risks like the dry spells period; b) apply new methods to determine the beginning and end of the rainy season in the area; c) apply this study's method in other areas; d) apply studies on dry spells period, taking as criteria of dry day, 1mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm and 20 mm; e) apply studies associated to wide scale phenomena; f) improve the pluviometric and fluviometric grid in the area, quality wise and quantity wise.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. BACIAS HIDROGRÁFICAS: O CASO RIO DOCE .....</b>	<b>12</b>
2.1.1 AS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE MINAS GERAIS E SUA IMPORTÂNCIA NO CONTEXTO NACIONAL .....	12
2.1.2 A BACIA DO RIO DOCE.....	13
2.1.3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DA BACIA DO RIO DOCE .....	17
2.1.3.1. A Planície Litorânea .....	19
2.1.3.2. Tabuleiros .....	19
2.1.3.3. As serras Litorâneas e os pontões.....	20
2.1.3.4. Zona dos maciços elevados das bacias dos rios Caratinga e Manhuaçu.....	21
2.1.3.5. Planalto deprimido central.....	22
2.1.3.6. Zona ondulada do norte .....	23
2.1.3.7. Zona da Mantiqueira e do Espinhaço .....	23
2.1.4. CONSIDERAÇÕES AOS ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS .....	24
<b>2.2. ASPECTOS CLIMÁTICOS DA BACIA DO RIO DOCE.....</b>	<b>25</b>
2.2.1 ASPECTOS CLIMÁTICOS REGIONAIS E DE LARGA ESCALA.....	26
2.2.2 ASPECTOS CLIMÁTICOS LOCAIS .....	32
2.2.3 VERANICOS: AZARES CLIMÁTICOS QUE ATINGEM A BACIA DO RIO DOCE.....	35
2.2.4 VARIABILIDADE CLIMÁTICA EM MINAS GERAIS E NA BACIA DO RIO DOCE: CAUSAS E IMPACTOS .....	40
2.2.4.1. Os oceanos tropicais e seus efeitos sobre Minas Gerais .....	40
2.2.4.2. Bloqueios atmosféricos e seus efeitos sobre o Brasil .....	46
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>50</b>
<b>3.1. REGIÃO ESTUDADA.....</b>	<b>50</b>
3.1.1. BASE DOS DADOS .....	50
3.1.2. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DOS ELEMENTOS HIDROCLIMATOLÓGICOS NA BACIA DO RIO DOCE .....	51
3.1.2.1. Recursos computacionais .....	51
3.1.2.2. Regionalização dos resultados.....	52
3.1.2.3. Decêndios .....	56
3.1.2.4. Distribuição Temporal das Chuvas.....	58
3.1.2.5. Balanço Hídrico Climatológico .....	59
3.1.2.6. Os critérios hidroclimáticos.....	61
3.1.2.6.1. Critério adotado para cálculo dos períodos chuvoso (DPC) e seco (DPS) .....	61
3.1.2.6.2. Critério adotado para cálculo médio de vazão.....	62
3.1.2.7. Aspectos dinâmicos que influenciam na espacialização das chuvas na Bacia do rio Doce.....	63
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>67</b>
<b>4.1. DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DA MÉDIA DECENAL DAS PRECIPITAÇÕES NA BACIA DO RIO DOCE .....</b>	<b>67</b>
<b>4.2. ESPACIALIZAÇÃO DA MÉDIA DECENAL DAS PRECIPITAÇÕES NA BACIA DO RIO DOCE.....</b>	<b>74</b>
4.2.1 - INÍCIO DA ESTAÇÃO CHUVOSA .....	75
4.2.2 - EVOLUÇÃO DA ESTAÇÃO CHUVOSA .....	75
4.2.3 - EVOLUÇÃO DA ESTAÇÃO SECA .....	77
<b>4.3. ESPACIALIZAÇÃO DA MÉDIA DECENAL DAS VAZÕES NA BACIA DO RIO DOCE .....</b>	<b>82</b>
<b>4.4 ASPECTOS DINÂMICOS .....</b>	<b>89</b>
4.4.1 ASPECTOS DINÂMICOS NA ESTAÇÃO CHUVOSA .....	89
4.4.2 ASPECTOS DINÂMICOS NA ESTAÇÃO SECA.....	100

<b>4.5. BALANÇO HÍDRICO DECENDIAL DA BACIA DO RIO DOCE.....</b>	<b>102</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>120</b>
<b>6. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>123</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>133</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>139</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>145</b>
<b>ANEXO D.....</b>	<b>151</b>

# 1. INTRODUÇÃO

O clima de uma região é fator preponderante de influência na sociedade em atividades como: a agricultura, a produção de energia, o abastecimento de água, entre outras.

Ayoade (1996) considera que a interface entre o clima e a sociedade está relacionada à vulnerabilidade e à prevenção de impactos climáticos. Uma sociedade é mais vulnerável quando: mais sua atividade econômica depender dos fatores de produção sensíveis ao clima; maior for a variabilidade e a não dependência de certas variáveis climáticas essenciais, como a precipitação e a temperatura; mais baixo for a sua capacidade de reservar materiais para atender aos desabrigados, vítimas de catástrofes naturais; menos desenvolvida for a capacidade do seu sistema de transportes em deslocar suprimentos de áreas de excedentes para as áreas de déficits; menos preparada ela estiver para lidar com impactos climáticos adversos. A previsibilidade da sociedade para com os impactos climáticos torna-se eficiente quando há acúmulo, ou não, de estoques ou reservas de alimentos e outros materiais e capacidade de reserva, embutida no projeto de suas infra-estruturas, como o suprimento de água, energia elétrica, controle de recursos financeiros e materiais, tecnologia e transportes, com a qual possa combater os impactos climáticos.

Tavares (2004), referindo-se à relação entre o homem e o clima, dentro do contexto das mudanças climáticas, afirma que os seres vivos, os processos morfogenéticos, os regimes dos rios e as atividades exercidas pelo homem estão vinculados às situações atmosféricas vigentes, entendidas como essenciais à configuração do clima, e que a intensidade dos episódios pluviais propiciam maiores danos, tais como a erosão do solo ou a necessidade de abertura das comportas das barragens.

Quanto ao clima, Nimer (1989) afirma que este depende de fatores estáticos (condições físicas do planeta) e dinâmicos (a dinâmica da atmosfera) que definem suas características. Minas Gerais se destaca por apresentar grande diversidade de climas, em razão de ser uma região tropical de transição climática. A dinâmica climática deste Estado se origina de circulações globais, como as células de circulação atmosférica tropical, e os sistemas frontais (fatores dinâmicos) e de suas interações com a continentalidade tropical e a topografia regional (fatores estáticos), bastante acidentada.

A região leste de Minas Gerais, área de estudo neste trabalho, limítrofe ao Estado do Espírito Santo, é composta das bacias dos rios Doce e Mucuri. A ocupação populacional desta

região deveu-se, em meados do século XVIII, à descoberta de ouro e diamantes na porção oeste da região, nos municípios de Peçanha e Serro, e, a partir do século XIX, pela busca de áreas para a lavoura cafeeira. Recentemente, a economia regional está baseada nas atividades mineralógica, agropecuária e industrial.

A bacia do rio Doce, em termos econômicos, contribui com a produção mineral de mica, pedras coradas, calcário e minerais ferrosos. Na agricultura, destaca-se o cultivo de milho, feijão, café, mandioca, cana-de-açúcar, banana e arroz. Atividades industriais de destaque na região são: produção de minerais não-metálicos; produção de alimentos e bebidas; celulose e siderurgia. Há também destaque para o turismo. Salienta-se que a bacia do rio Doce, devido ao seu desenvolvimento urbano-industrial, a partir da década de 70, e o conseqüente aumento da demanda de energia elétrica, apresenta-se com o maior número de pequenas e médias barragens hidrelétricas (PCHs) em Minas Gerais. A partir de sua expansão regional, a população passou a obter serviços mais especializados, como o surgimento de novas instituições de ensino, hospitais, comércio, dentre outros, melhorando o seu Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Destacam-se, como centros regionais urbanos, as cidades de Governador Valadares, Ipatinga, Caratinga, Aimorés, Ponte Nova e Manhuaçu. Por outro lado, o comportamento do clima define ações e reações da sociedade. Fenômenos climáticos, conhecidos como “azares climáticos”, determinam procedimentos específicos da sociedade.

Entre estes “azares climáticos”, comuns na bacia do rio Doce, destacam-se as geadas nas regiões serranas da Mantiqueira e do Caparaó, observadas em condições naturais de temperatura muito baixa. Este fenômeno pode ser ocasionado por radiação, relacionado ao resfriamento do ar próximo ao solo, e por advecção, através da penetração de sistemas frontais na região e do granizo que precipita das nuvens cumulonimbus, em conseqüência da entrada de sistemas frontais na primavera ou por processos convectivos, observados na primavera e verão. Os “azares climáticos” causam prejuízos às lavouras e às áreas urbanas.

Na bacia do rio Doce, nas áreas de cafeicultura, localizadas na vertente oriental do Caparaó, no Espírito Santo, os produtores rurais utilizam técnicas para amenizar os efeitos destes riscos climáticos, dentre elas, a arborização, ou sombreamento das áreas, composta por um sistema agroflorestal. A arborização é feita de modo a sombrear cerca de 20 a 30% da área, utilizando espécies nativas e propiciando uma boa proteção contra as geadas e o granizo. Na porção da vertente ocidental do Caparaó, utiliza-se a técnica de nebulização artificial da atmosfera, que consiste na queima de óleo diesel ou de pneus, gerando uma névoa negra sobre a cultura, não permitindo, desta forma, a formação de geada junto ao solo.



A bacia do rio Doce também sofre a influência de estiagens relacionadas às secas sazonais, que se prolongam por quatro a seis meses, e de veranicos, caracterizados por pequenos períodos de déficit hídrico em plena estação chuvosa. Em todo o mês de janeiro de 2006, a bacia do rio Doce foi assolada por temperaturas anormalmente altas e um veranico de grande amplitude, acarretando prejuízos agrícolas e interrupção dos ciclos produtivos de várias culturas (VIANELLO *et al.*, 2006).

Muitos autores, como Prates (1994), Cupolillo (1995), Paiva (1995), Silva Dias e Marengo (2002), consideram o veranico como um período de curta estiagem (cuja duração varia entre dez a vinte dias) durante a estação chuvosa, podendo mostrar seus efeitos negativos cerca de cinco dias após a última chuva, quando coincidir com a emergência ou a floração de várias espécies vegetais. Este fenômeno vem sendo identificado por vários autores, como Silva *et al.* (1981), Assad e Sano (1993), Resende *et al.* (1996), Minuzzi (2003-2006), como de importância econômica primordial.

A proposta deste estudo encontra motivação em questões instigantes, tais como: A climatologia da bacia do rio Doce reflete a resposta da região a forçantes meramente locais, como a topografia? Qual é o papel da dinâmica atmosférica de larga escala que atua sobre o Brasil e região sudeste no comportamento espaço-temporal da bacia? O fenômeno veranico pode ser identificado na estação chuvosa da Bacia? Como este fenômeno se apresenta quando comparado com o comportamento observado para o Estado de Minas Gerais (CUPOLILLO, 1997)? Como as vazões ao longo da bacia respondem ao regime climático? São elas afetadas pela ocorrência dos veranicos?

Neste trabalho objetiva-se conhecer a potencialidade dos processos hidroclimatológicos na bacia do rio Doce e, a partir daí, oferecer aos órgãos governamentais informações que subsidiem uma maior compreensão do comportamento hídrico na região, possibilitando um melhor planejamento para as atividades agrícola, industrial e energética. Visa-se também mostrar de forma quantitativa as diferenciações hídricas existentes em dez áreas altimétricas da bacia de drenagem do rio Doce, ao longo de vinte e três anos (1980-2002). Essas diferenças hídricas tornam-se importantes quando associadas aos estudos de ocupação e uso do solo, como também para compreender possíveis mudanças no padrão climático da bacia.

Na busca das respostas a estas questões, este trabalho propõe como objetivo geral elaborar um diagnóstico climático para esta bacia, destacando a climatologia dos episódios chuvosos. Esta proposta encontra justificativa no fato de que outros trabalhos voltados para a região não enfatizaram a climatologia da estação chuvosa e do veranico com resolução

espacial, como a aqui apresentada. Tal detalhamento permite compreender a dinâmica espacial e temporal da estação chuvosa, desde o extremo oeste montanhoso da bacia até a foz do rio Doce no litoral capixaba, representada pela estação meteorológica de Linhares.

Visam-se, como objetivos específicos: (1) caracterizar a espacialização das chuvas da bacia do rio Doce nas estações chuvosa e seca; (2) identificar a ocorrência de veranicos na região; (3) entender a associação entre a topografia e a espacialização das chuvas no domínio da bacia; (4) estabelecer a dependência temporal das chuvas na bacia, dentro da estação chuvosa; (5) identificar as principais forçantes atmosféricas que contribuem para o padrão espaço-temporal das chuvas e do veranico na região; (6) caracterizar a espacialização das vazões.

Neste diagnóstico sobre a bacia do rio Doce, foram elaborados estudos dentro da seguinte estrutura organizacional: (1) Distribuição temporal da média decendial das precipitações. (2) Espacialização da média decendial das precipitações. (3) Espacialização da média decendial das vazões. (4) Aspectos Dinâmicos. (5) Balanço Hídrico Decendial da bacia do rio Doce.

Esta tese, organizada em cinco capítulos, apresenta os resultados ao padrão hidroclimatológico da bacia do rio Doce. A fundamentação teórica e a metodologia apresentada compõem, respectivamente, o segundo e terceiro capítulos. No quarto capítulo é feita a descrição da distribuição espaço-temporal das chuvas e da vazão, assim como dos aspectos dinâmicos e um estudo do balanço hídrico das estações climatológicas em dez localidades. A última parte deste trabalho refere-se às conclusões e recomendações com base nos resultados.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. Bacias Hidrográficas: o caso rio Doce**

#### **2.1.1 As bacias hidrográficas de Minas Gerais e sua importância no contexto nacional**

Segundo Garcez e Alvarez (2002, p.43):

A maioria dos problemas práticos de hidrologia tem como referência a bacia hidrográfica de um curso de água em uma seção determinada. Além disso, características topográficas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas e térmicas, bem como o tipo de cobertura e o uso de uma bacia, desempenham papel essencial no comportamento hidrológico, sendo importante medir numericamente algumas dessas influências. A tendência da ocupação, cada vez mais acentuada, numa bacia, contribui para que o tipo de cobertura do terreno se modifique, alterando as características da bacia no tempo.

A hidrografia continental do Brasil na drenagem do Estado de Minas Gerais, no decorrer dos tempos, em face da concentração e aceleração do desenvolvimento do espaço regional, vem merecendo atenção constante e crescente de empresas e órgãos voltados ao uso e à destinação complexa dos cursos de água. A cada ano, medições e observações são levadas a efeito para se alcançar, de certa forma, a necessária organização fluvial para o aproveitamento das bacias em atividades diversas, por exemplo, como a obtenção de energia elétrica. Minas Gerais representa o grande divisor de águas das principais bacias hidrográficas brasileiras. Nas regiões sul e sudoeste do Estado, separadas pelos divisores Espinhaço e Mantiqueira, onde ocorrem altos índices pluviométricos, localizam-se as cabeceiras dos principais formadores dos rios Doce, Grande, Paranaíba, Paraíba do Sul e São Francisco, rios de grande importância para a economia mineira e nacional, em razão das diversas utilizações, principalmente no setor de geração de energia elétrica. Vertendo-se em direção ao oceano Atlântico, encontram-se as bacias do Pardo, Jequitinhonha, Mucuri, Doce e Paraíba do Sul.

Segundo a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC (1983), o Estado apresenta uma rede extremamente rica com quatorze bacias hidrográficas, tendo como principais as dos rios: São Francisco, Grande, Doce, Paranaíba, Jequitinhonha e Paraíba do Sul. Outras bacias, como as dos rios Mucuri, Pardo, São Mateus, Itanhaém, Jucuruçu, Buranhém, Camanducaia e Itabapoana, têm uma importância menor, devido à localização e dimensão das mesmas. Essas bacias estão subordinadas às condições físico-geomorfológicas, geológicas e climáticas.

### **2.1.2 A bacia do rio Doce**

Segundo Lage *et. al* (2005), o Doce é um rio interestadual, com 875 Km, cuja nascente se localiza na Serra da Mantiqueira no município de Ressaquinha, Minas Gerais, a 1.200 metros de altitude acima do nível do mar. A região apresenta clima tropical de altitude com três subtipos: verões frios, nas altas elevações, brandos, nas altitudes médias, e quentes, nas áreas menos elevadas. Seus principais formadores são os rios: Xopotó, Piranga e Carmo. O rio recebe o nome de Doce no encontro dos rios Carmo e Piranga, abaixo da cidade de Ponte Nova, Minas Gerais, e sua foz se localiza no município de Regência, Espírito Santo. O rio constitui a bacia hidrográfica do rio Doce, com uma área de drenagem de 83.400 Km<sup>2</sup>, sendo 86% desta área localizada em Minas Gerais e 14 % no Estado do Espírito Santo (FIG. 1). 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.

Segundo Strauch (1958), a ocupação humana do leste de Minas Gerais e no vale do rio Doce orientou-se em dois sentidos diversos e em épocas diferentes. Do planalto, e seguindo em direção ao litoral, corresponde o ciclo minerador. Do litoral, seguindo para o interior, a ocupação das terras agrícolas. Citando Prado Júnior (1953), o autor refere-se a esta região de Minas como “um povoamento que fora aí muito mais intenso e, sobretudo, organizou-se em bases sociais mais sólidas. Sendo por isso possível renovar e reconstituir, parcialmente pelo menos, o perdido setor de mineração com outros elementos de vitalidade: a pecuária e a agricultura.”

Abrangendo duzentos e trinta municípios na região leste de Minas Gerais e parte do Espírito Santo, a bacia do rio Doce tem sua economia baseada num mosaico de atividades: grandes projetos de 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; além de atividades agrícolas de subsistência. Portanto, esta bacia não só desempenha um papel importante na economia mineira, mas também na brasileira.

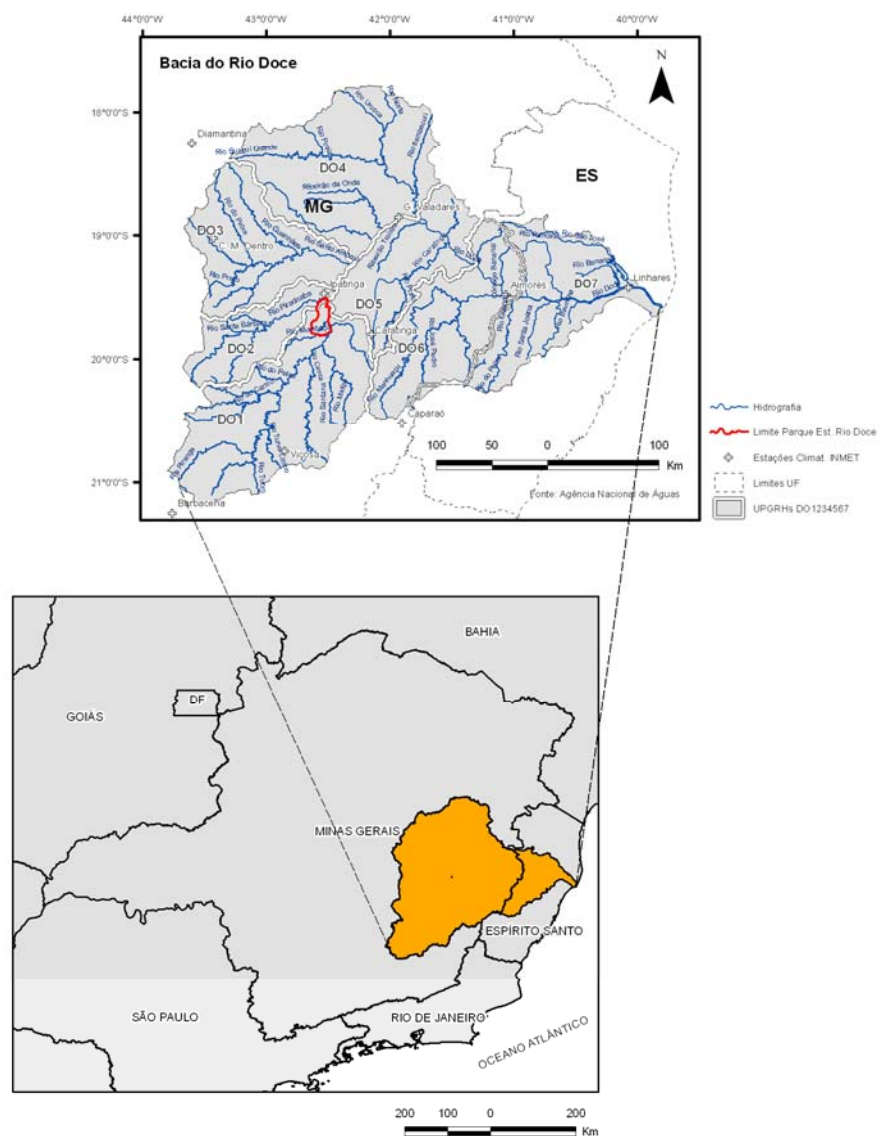


FIGURA 1 - Bacia do rio Doce.  
Fonte: ANA, 2000.

Apesar dos vários avanços na questão ambiental da região, o rápido crescimento econômico e a melhoria da infra-estrutura foram acompanhados por significantes impactos ambientais, como o aumento acelerado e insustentável da demanda de recursos naturais, os altos índices de poluição atmosférica e hídrica e as perdas de solos, o que contribui para o assoreamento dos rios.

Guerra e Barbosa (1996) afirmam que o modelo de desenvolvimento econômico-regional imediatista implantado na bacia do Doce, principalmente a partir dos anos 70, levou a um alto grau de degradação ambiental, influenciando negativamente as complexas interações existentes na dinâmica sócio-ambiental. Entre as conseqüências desta degradação estão as enchentes urbanas que ocorrem em vários municípios, resultantes da interação entre as fortes chuvas de dezembro e janeiro, e o uso e ocupação irregular do solo pela população (Foto 1). A maior parte destes municípios ocupa de maneira desorganizada o espaço que por direito e de fato pertence aos rios, ou seja, suas planícies de inundação.

Desta forma, as populações destas cidades convivem com a expectativa, durante a estação chuvosa, da ocorrência de novas inundações, que acarretam enormes prejuízos materiais em todos os setores sócio-econômicos.



FOTO 1 - Enchente ocorrida pelo transbordamento do rio Caratinga na cidade de Caratinga - MG, em janeiro de 2003.  
Fonte: Jornal de Caratinga.

### **2.1.3. Aspectos Geomorfológicos da bacia do rio Doce**

A geomorfologia da bacia do rio Doce tem sido investigada desde Strauch (1954), que observou rochas proterozóicas encaixadas em cunhas no arqueano. Rochas eruptivas graníticas recentes metamorfosearam-se e englobaram as rochas proterozóicas e arqueozóicas, ocupando extensa área. O reflexo da geologia se traduz perfeitamente na paisagem, pelas formas do relevo. Ora a hidrografia se adapta à estrutura, ora se impõem à mesma. Strauch (1954) afirma que a erosão, ao afetar rochas variadas e de estruturas tão diferentes, deu origem a relevos bastante diversos em grandes unidades. Souza (1995), aprimorando as idéias de Strauch (FIG. 2) sobre as grandes unidades geomorfológicas, denominadas de: planície litorânea; tabuleiros; serras litorâneas, médio e baixo rio Doce; zona dos maciços elevados dos rios Caratinga e Manhuaçu; planalto deprimido central; zona ondulada do norte; e zona da Mantiqueira e Espinhaço, fez uso dos mapas existentes, observações de campo e perfis topográficos, e classificou quatro macrocompartimentos, denominados de baixo rio Doce, baixo médio rio Doce, margem esquerda do médio rio Doce e alto rio Doce, subdividindo-os em dezessete Unidades Geomorfológicas. Estas foram classificadas como: planície costeira; tabuleiros; colinas rebaixadas litorâneas; pontões margem esquerda; pontões margem direita; maciço Manhuaçu; borda da serra da Mantiqueira/Caparaó; borda basculada do bloco de Mantena; planalto dissecado dos rios Piracicaba e Santo Antônio; planalto rebaixado de Guanhões; borda do Espinhaço; serra do Espinhaço; planalto deprimido do rio Piranga; planalto do rio Xopotó; e depressão do rio Doce.

O objetivo da apresentação deste detalhamento de Strauch (1954), para este trabalho, é demonstrar que os aspectos geomórfológicos são diversificados na bacia do Rio Doce e que, aliados aos mecanismos atmosféricos de larga escala, interferem no padrão de distribuição das chuvas na bacia.



## UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Segundo STRAUCH - 1955

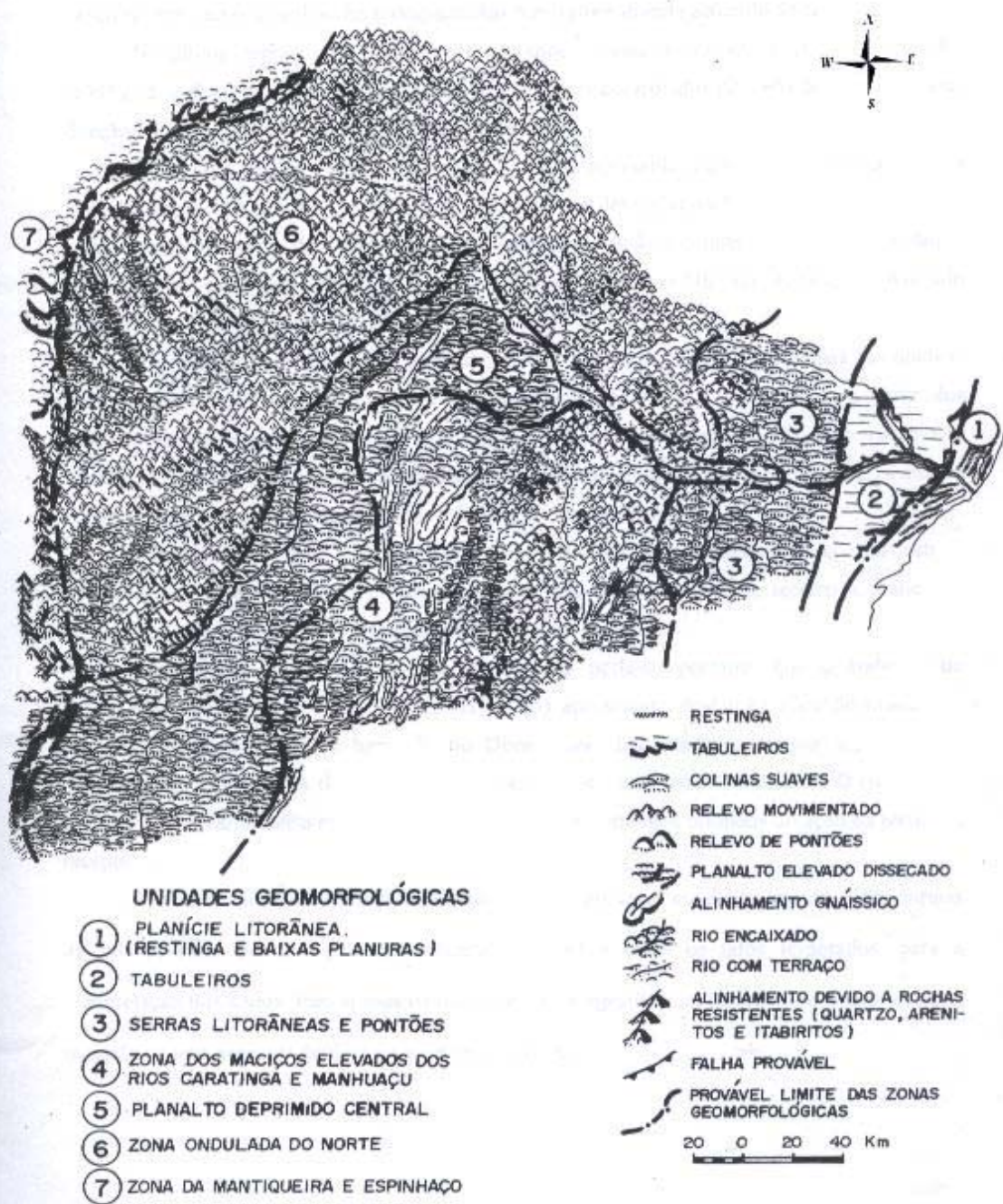


FIGURA 2 - Mapa geomorfológico da bacia do rio Doce.

Fonte: Strauch, 1955, organizado por Carla Juscélia de Oliveira Souza, 1995.

### *2.1.3.1. A Planície Litorânea*

A zona costeira do Espírito Santo se estende no sentido norte-sul, apresentando-se quase retilínea. Em Linhares, o rio Doce abandona a terra firme dos tabuleiros terciários passando a correr na direção sudeste. Suas margens são bastante baixas e inundadas periodicamente. Esta planície aluvial estende-se para o norte e para o sul, achando-se delimitada a leste pelo oceano e a oeste pelos tabuleiros terciários. Nas zonas das restingas observa-se uma sucessão de cômoros de areia separados por partes deprimidas, algumas vezes ocupadas por extensas lagoas, e podem ser divididas por dois tipos: por acumulação de água das chuvas e alimentadas pelos rios e lençóis subterrâneos; outras vezes por zonas pantanosas de fundo turfoso.

A formação das restingas é relativamente recente, sendo de idade holocênica. Os cordões litorâneos são formados em condições anormais do tempo pelas vagas que constituem o processo dominante de regularização do litoral. Alguns rios vão diretamente ao oceano; atravessam antes este sistema lacustre, correndo muitos quilômetros paralelamente à costa. A foz do rio Doce, pelas particularidades que apresenta, merece ser estudada. O rio perde seu caráter de rio profundo, tornando-se semelhante a um lençol de água doce, pois a maré não se faz sentir próximo à foz. A maré é obstruída por um lance de areia de direção norte-sul onde as ondas se quebram.

### *2.1.3.2. Tabuleiros*

Próximo à Linhares, deixando a planura já descrita e seguindo na direção oeste, começam a surgir uma série de relevos baixos cuja altitude não ultrapassa a trinta metros. A erosão, muitas vezes, dissecou este tabuleiro, resultando em vales que separam elevações alongadas. Os sedimentos mostram que foram depositados em condições subaéreas e constituem a extensa formação das barreiras litorâneas, que se estendem pelas costas brasileiras como uma verdadeira faixa. O talude destas barreiras em Juparanã varia de 25 a 45 metros de altitude e exhibe uma sucessão de sedimentos brancos e vermelhos. A forma das lagoas, nos tabuleiros, é bastante singular, correspondendo ao curso de um rio por vezes importante, mas pequeno. As lagoas apresentam-se quase sempre alongadas, cheias de braços,

os quais se relacionam com os afluentes e são testemunhos de um trabalho de erosão fluvial que se fez muito abaixo do nível atual. Os tabuleiros parecem corresponder a um nível marinho, com altitudes variando entre 25 a 40 metros, trabalhados ativamente pela erosão, dando origem a garupas alongadas, que dominam os vales de fundo chato, encontrando-se, por vezes, lagoas, como as de Juparanã, Limão e Pão Doce. Os depósitos terciários das barreiras não se confinam às zonas costeiras, ocorrendo também nas regiões elevadas do cristalino que foram niveladas durante o mesozóico. A erosão reduziu-os em ocorrências esporádicas entre os divisores de águas.

### 2.1.3.3. As serras Litorâneas e os pontões

A paisagem sofre mudanças à medida que penetra para o interior. Inicialmente, a forma de relevo permanece a mesma, pois as rochas cristalinas foram niveladas, mas, mais para o interior, surgem as primeiras serras na região de Colatina. No rio Doce surge uma série de pequenas corredeiras que balizam o trecho navegável do baixo rio. Algumas vezes, estas serras pouco nítidas são substituídas por um relevo de pontões (*monadnocks* – remanescentes duma superfície de erosão deslocada e erodida posteriormente) que lembram o famoso Pão de Açúcar (Rio de Janeiro), refletindo a existência de batólitos graníticos que irrompem em grande área do Espírito Santo e prolongam-se para o norte formando uma série de morros isolados. Em alguns lugares, como ao sul de Aimorés, o complexo apresenta-se cortado por uma série de diáclases, que tem influência na rede hidrográfica. A superfície primitiva, elevada e contínua, transformou-se em uma série de morros solitários.

Conforme relatos de Strauch (1954), o tectonismo do baixo rio Doce foi um pouco completo, pois, após o algonquiano, deu-se ali uma granitização que foi posterior à deposição dos sedimentos proterozóicos, testemunhada pelos fonolitos proterozóicos, observados em Conselheiro Pena, abaixo do Crenaque, onde os quartzitos são metamorfozados pelo granito. Na parte do vale, no Espírito Santo, surgem rochas gábricas associadas ao granito, à jusante do Baixo Guandu até os arredores de Itapina.

O sistema de fraturas que corta o granito é complexo, segue a direção leste-oeste aproveitada por muitos vales, entre eles o do rio Doce abaixo de Aimorés e o do rio Manhuaçu. Outros sistemas de rios têm direção NNE-SSW. Geomorfologicamente, a região é esquematizada por dois blocos: o primeiro pouco elevado, nos arredores de Colatina, bastante

rebaixado, existindo nele uma rede de vales adaptados ao mesmo sistema de fraturas; o segundo próximo à região dos tabuleiros no cristalino, neste podem ser vistos vales de fundo chato, penetrando a zona cristalina onde a erosão é mais intensa.

Ao norte do rio Doce, a erosão sobre um planalto que teria existido foi muito intensa, restando apenas alguns pontões esparsos em meio à planura.

#### 2.1.3.4. Zona dos maciços elevados das bacias dos rios Caratinga e Manhuaçu

Na direção sul, os pontões são substituídos por maciços muito mais elevados, compostos de gnaisses que se apresentam na direção NE-SW, refletindo na rede hidrográfica. As cristas copiam a direção dos vales, de modo que, ao se apresentar de leste para oeste, observa-se uma sucessão de cadeias e vales paralelos. Na parte leste da área em estudo, encontra-se, já no limite do sudeste, o pico da Bandeira, superfície elevada com paredes verticais voltados para o sul, sudeste e nordeste.

Os níveis mais elevados sofrem vigorosa ação erosiva e, assim, eles vão se reduzindo a pontões, onde a rocha viva aflora com frequência. As voçorocas aparecem no solo como resultado da decomposição do gnaixe e quando as inclinações das encostas ultrapassam os 15°, como na região de Caratinga. Quando a erosão se dá por ravinamento, formam-se pequenos rebordos às expensas da camada endurecida. As tempestades severas sobre um mesmo local, num curto espaço de tempo, provocaram grandes deslizamentos do terreno, e a argila, carregada pelas águas, entulhou completamente as calhas dos riachos e as plantações. Estas tempestades representam um tipo de risco climático comum e freqüente na região.

Segundo Tundisi (2002), no médio rio Doce, em uma área no planalto sudeste do Brasil, conhecida como as terras baixas interplanálticas do médio rio Doce, encontram-se cento e cinquenta lagos não conectados com o rio Doce, formando, portanto, um verdadeiro sistema lacustre natural. A vegetação original das bacias hidrográficas era constituída por Mata Atlântica Tropical, atualmente substituída por extensas plantações de *Eucalyptus*.

Meis, Moura e Tundisi afirmam que a origem deste sistema está relacionada a períodos de intensa precipitação e seca, os quais sucessivamente modelaram a paisagem, produzindo barramentos nos afluentes do rio Doce, dando origem aos lagos do atual sistema (MEIS; MOURA, 1984; MEIS; TUNDISI, 1997; TUNDISI, 2002). Fases de deposição e de erosão de sedimentos formaram, ao redor dos lagos, colinas côncavas ou convexas, as quais

são importantes quantitativamente para o transporte e deposição de sedimentos nos lagos. Os lagos atualmente representam redes hidrográficas seccionadas. As dimensões variam desde pequenos lagos de 1 a 2 Km<sup>2</sup> até lagos com 28 Km<sup>2</sup> e profundidades de aproximadamente 30 metros.

Este sistema foi considerado por Meis e Tundisi (1997) como um paradigma para a compreensão de processos geomorfológicos que deram origem a lagos de diferentes profundidades, morfometrias e dimensões. Estabilidade térmica de oito a nove meses, seguida de isotermia no inverno (2 a 3 meses), deve-se ao aquecimento e resfriamento térmico, ao efeito das águas de precipitação que produzem gradientes verticais acentuados de densidade e à ausência de ventos. O sistema de lagos foi impactado pela remoção da Mata Atlântica Tropical, pela plantação de *Eucalyptus*, pela pesca intensiva, pela introdução de espécies exóticas de peixes, pela remoção de áreas alagadas para uso intensivo em cultivo, pela construção de estradas e pelo uso de fertilizantes em plantações (TUNDISI *et. al*, 1997). Estudos recentes sobre palinologia (DUMONT; TUNDISI, 1997; SPADANO, 1998) demonstraram os efeitos de várias mudanças climáticas no funcionamento dos lagos.

Tundisi e Meis (1997) demonstraram a inter-relação entre a origem geomorfológica dos lagos e os mecanismos de funcionamento dos lagos do rio Doce. Os lagos mais profundos são resultados do barramento por sedimentação de rios localizados em terras baixas, e apresentam estratificação, grande estabilidade térmica e química e gradientes metalimnéticos bem estabelecidos. Os lagos mais rasos, resultantes do barramento de rios localizados em regiões mais altas, apresentam uma estratificação mais fraca e menos estabilidade, com circulação mais constante.

#### 2.1.3.5. Planalto deprimido central

No planalto deprimido central, a paisagem é representada por mares de morros. Por vezes observa-se uma tendência de cristas pesadas a se alinharem segundo uma direção que corresponde à direção das camadas. A inclinação das encostas é da mesma ordem das colinas médias da região elevada das bacias dos rios Caratinga e Manhuaçu. Enquanto na região elevada as camadas são fortemente inclinadas, aqui as rochas se apresentam com menor inclinação e, em algumas regiões, quase horizontais, por exemplo, como em Ponte Nova. Próximo aos grandes rios, como o Piranga e o Xopotó, as colinas apresentam encostas mais

íngremes, que dominam ora as planuras aluviais, ora o curso encaixado e acidentado dos mesmos.

#### *2.1.3.6. Zona ondulada do norte*

Na zona ondulada do norte, as elevações, que se sucedem em diferentes formas de relevo, ora são pesadas formas onde não se observa uma tendência à orientação, ora são formas alinhadas onde as cristas de quartzitos e itabiritos se sobressaem, dominando a região ondulada composta de rochas proterozóicas, encaixadas no arqueano. São cristas monoclinais que abandonam o corpo do Espinhaço, como em rio Vermelho e Conceição do Mato Dentro. Para o norte é possível ver o desenvolvimento de superfícies aplainadas, maduras, com vales correndo entre colinas e encostas suaves, como em Guanhães. Estas superfícies foram dissecadas pelo rio Santo Antônio, ao sul, e pelo Suaçuí e por seus afluentes ao norte.

#### *2.1.3.7. Zona da Mantiqueira e do Espinhaço*

Strauch (1954) descreve o aspecto da serra da Mantiqueira como um rebordo de planalto do que propriamente uma serra. A topografia da superfície elevada contrasta com a do planalto deprimido. Enquanto neste a superfície é relativamente acidentada, na zona elevada desenvolve-se uma topografia de colinas de encostas suaves, onde a mata é substituída por campos. Alguns rios da bacia do Doce têm suas cabeceiras neste planalto.

A região elevada continua para o norte, constituindo a serra Geral (Espinhaço). Para sudoeste segue-se a serra do Ouro Branco, com sua imponente escarpa de falha na parte sul. Suas encostas opostas são suavemente inclinadas para o norte, onde o Espinhaço se apresenta mais elevado, atingindo 2.107 metros na serra do Caraça. Esta falha, nos arredores dos Cocais, continua na direção norte por muitos quilômetros. A topografia do Espinhaço, no alto da serra do Cipó, se apresenta levemente ondulada. Na superfície do terreno os quartzitos afloram a cada instante – aí os afluentes do rio Doce começam o seu trabalho erosivo. De modo geral, o Espinhaço é constituído de rochas da série Minas, Itacolomi e Lavras, com raras ocorrências de rochas do complexo cristalino, como acontece próximo à Santa Bárbara.

A hidrografia do Espinhaço adapta-se à direção das camadas, formando gargantas profundas onde o rio corta os alinhamentos.

#### **2.1.4. Considerações aos Aspectos Geomorfológicos**

Apesar da caracterização apresentada anteriormente, cabe ressaltar que, do ponto de vista climático, três grandes compartimentos devem ser destacados. Tratam-se dos grandes marcos de transição topográfica existentes na bacia do rio Doce e que permitem a identificação de unidades espaciais de fácil delimitação.

O primeiro deles é representado por um conjunto de terrenos de altitudes modestas ou ainda correlatas ao nível do mar. Neste compartimento, podem-se incluir os domínios da planície costeira e os tabuleiros que marcam a transição da primeira para os domínios colinosos. Neste compartimento topográfico, a característica adicional, fora as baixas altitudes, é a presença de uma superfície de baixa a nula rugosidade, fato influente no caminho das massas de ar que circulam por tal domínio.

O segundo compartimento mostra-se um pouco mais complexo à medida que agrega em seu interior estruturas com evidentes diferenças em relação ao domínio espacial maior aqui considerado. Este compartimento pode ser considerado o mais amplo da bacia do rio Doce e se estende das imediações de sua foz até a base das serras que marcam o limite leste da mesma. Trata-se da vasta área dominada por feições do tipo “colinas meia-laranja”, que tipificam o domínio dos mares de morros. Trata-se de um domínio cujas altitudes crescem discretamente em direção a oeste e é provido de uma rugosidade evidente. Conforme destacado anteriormente, neste domínio encontram-se alojadas serras, algumas de dimensões mais pontuais, outras de abrangência regional, como o domínio Serrano do Caparaó. De forma geral, do ponto de vista da dinâmica climatológica, independentemente do contexto morfogenético que a caracteriza, tais aspectos devem influenciar no comportamento das massas de ar no contexto regional.

Por fim, deve-se destacar que o terceiro compartimento a ser evidenciado é representado por conjuntos de serras de influência continental, como as serras das Mantiqueira e Espinhaço, importantes fronteiras da ação de algumas massas de ar geradas no oceano Atlântico.

## 2.2. Aspectos climáticos da bacia do rio Doce

Dois conceitos básicos, citados por Garcez e Alvarez (2002, p. 43-45), devem ser considerados para analisar os estudos hidroclimáticos que compõem uma bacia:

Hidrográfico, que caracteriza uma área definida e fechada topograficamente num ponto do curso de água, de forma que toda a vazão afluyente possa ser medida ou descarregada através desse ponto e hidrogeológico que representa um conjunto de áreas cujo escoamento, superficial ou subterrâneo alimenta o deflúvio em determinada seção transversal do curso de água.

A bacia hidrogeológica pode identificar-se, eventualmente, com a hidrográfica, detalhando, assim, estudos de comportamento da drenagem através da identificação das regiões homogêneas. Valverde *et. al* (2003, p.157) consideram uma região homogênea “quando existem evidências suficientes de que as diferentes amostras do grupo possuem a mesma distribuição de frequência à exceção de um fator de escala local.”

Para delinear uma região homogênea é importante considerar o tipo de precipitação que ocorre na região de uma determinada bacia. Garcez e Alvarez (2002, p.61) afirmam que:

O resfriamento do ar atmosférico até o ponto de saturação, com a conseqüente condensação do vapor de água em formas de nuvens e posterior formação das precipitações, ocorre pela interferência, isolada ou conjunta, de três fatores básicos distintos, os quais dão origem aos três tipos principais de chuvas: frontal, orográfica e de convecção térmica.

As chuvas do tipo frontal e orográfica, no que se refere às extensões de áreas, atingem a todos os tipos de bacias, com grande duração e fraca intensidade, sendo importantes para o estudo de grandes e pequenas bacias hidrográficas. Já a chuva de convecção térmica é de forte intensidade e pequena duração, sendo restrita a pequenas bacias. Bertoni e Tucci (2000, p.41) consideram:



A bacia hidrográfica, como um sistema físico onde relacionam a entrada como um volume de água precipitado e a saída um volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados profundamente.

A medida de precipitações atmosféricas é simples, sendo feita através da computação da quantidade de água recolhida em uma determinada área. As grandezas características das medidas das chuvas são: altura pluviométrica ou altura de precipitação, duração, intensidade e frequência, que caracterizam o regime pluviométrico numa bacia.

Considerando o papel de várias escalas espaciais e temporais que definem o clima, a caracterização e a disponibilidade das chuvas, através da intensidade e da duração, numa bacia, durante o ano, é o fator determinante para quantificar a necessidade de irrigação de culturas e o abastecimento de água para uso doméstico e industrial. Por exemplo, uma chuva de 100 mm bem distribuída ao longo de um mês pode parecer pouca, mas em uma hora é catastrófica.

### **2.2.1 Aspectos climáticos regionais e de larga escala**

O clima da bacia do rio Doce é influenciado pela dinâmica atmosférica regional, que atua no Estado de Minas Gerais, e pela de larga escala, que atua no Brasil. Nimer (1989) afirma que o sudeste do Brasil, devido ao posicionamento latitudinal, caracteriza-se por ser uma região de transição entre os climas quentes de latitudes baixas e os climas mesotérmicos de tipo temperado das latitudes médias. O macro clima de Minas Gerais se caracteriza por uma sazonalidade responsável por duas estações distintas e bem definidas, um verão úmido e quente e um inverno seco e ameno, bem como outras duas de transição, o outono e a primavera.

A grande quantidade de energia solar, que atinge a região durante todo o ano, origina um inverno ameno. Nesta estação predomina a atuação das frentes frias e do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul – ASAS. O ASAS que afeta Minas Gerais é um sistema de larga

escala que se origina da circulação geral da atmosfera, tendo seu centro sobre o oceano Atlântico Sul. Nesta época do ano, ele atua com circulação continental, antes do sistema frontal atingir o Estado, e com circulação predominante do quadrante sul-leste, após a passagem da Frente Polar Atlântica – FPA, originada do sul do continente. Esta frente alcança o Estado com pouca atividade convectiva, ou seja, com pouca chuva, devido ao baixo teor de umidade no ar. A massa de ar na retaguarda desses sistemas frontais atinge o Estado, provocando queda de temperatura. Na região da bacia do rio Doce, a proximidade com a costa brasileira resulta em umidade disponível no ar, tanto no inverno quanto no verão, porém, no inverno, a atuação da circulação anti-horária e subsidente do ASAS, e a presença da Massa Polar Atlântica – MPA, faz com que a região experimente um inverno seco.

No verão, o anticiclone subtropical posiciona-se mais sobre o oceano. O Estado sofre forte influência de sistemas convectivos, responsáveis pelo padrão climático de precipitação sobre a região. Sobre a bacia, o efeito da circulação oceânica é minimizado por estes sistemas convectivos, também conhecidos como instabilidades tropicais (correntes de oeste provenientes da Massa Equatorial Continental – MEC). A origem destas instabilidades é de larga escala e está relacionada ao aquecimento do continente devido ao deslocamento aparente do Sol em direção ao hemisfério sul, favorecendo a ascendência das parcelas de ar úmidas e formando “torres” convectivas, responsáveis por tempestades severas. Tais tempestades se caracterizam por intensa precipitação, originada de células convectivas de meso-escala (até 50 km de extensão) que ocorrem, geralmente, durante a tarde. Nimer (1989) se refere a esse fenômeno como Instabilidades Tropicais, originárias do que ele denomina correntes perturbadas de oeste.

Atualmente, vários autores atribuem a formação das instabilidades tropicais ao fenômeno conhecido como Alta da Bolívia (AB). Segundo Jones e Horel (1990) e Silva Dias e Marengo (2002), trata-se de uma circulação anticiclônica nos altos níveis da troposfera e que atua no verão do hemisfério sul, com forte atividade convectiva e intensas precipitações na região tropical da América do Sul.

A presença da AB nos meses de verão pode ser entendida como uma compensação local ao grande movimento ascendente, associado à atividade convectiva, atuante nesta época do ano. Por este raciocínio, a convecção à superfície sustentaria a AB, no entanto, a literatura sugere que, apesar de atuarem simultaneamente, não há certeza em relação ao que seja a causa e o efeito, ou seja, a AB poderia induzir a convecção na faixa central da América do Sul. Grimm *et. al* (1995) demonstram que o posicionamento da AB tem relação com o posicionamento da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS). A divergência nos altos

níveis, associada à ZCPS, resultaria numa sucessão de áreas de alta e baixa pressão, convergências e divergências, em direção a América do Sul, contribuindo para a formação da AB. Desta forma, a AB teria a sua gênese associada a um padrão de teleconexões.

Prates (1994) indica que nos anos em que a Alta da Bolívia se encontra mais a leste, em torno de 50° W, verifica-se a ocorrência de verões chuvosos em Minas Gerais. Em anos nos quais ela se posiciona mais a oeste, predomina a ação do Cavado Compensador Leste (FIG. 4) sobre o Brasil Central, observando-se verões anormalmente secos na região (VIANELLO; MAIA, 1986).

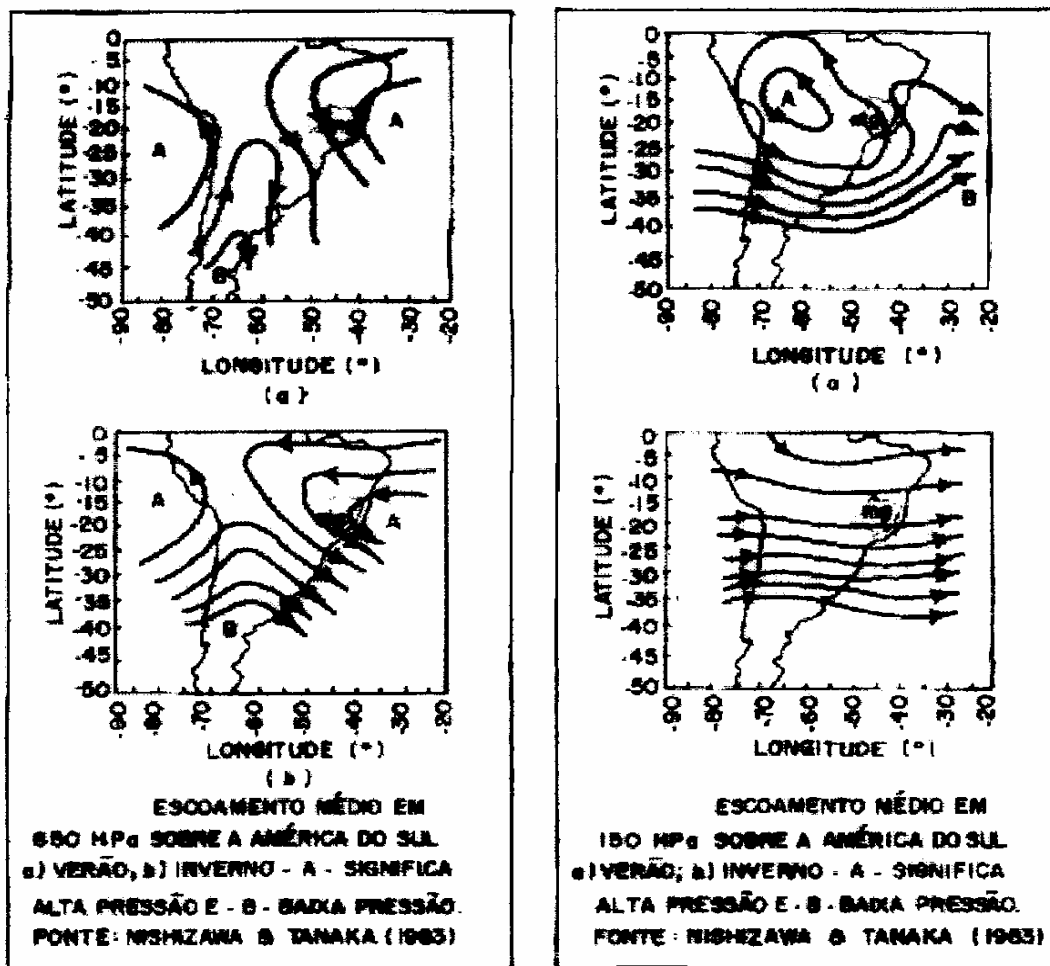


FIGURA 4 - Escoamento médio sobre a América do Sul, demonstra a Alta da Bolívia e o Cavado Compensador de Leste (VIANELLO; MAIA, 1986).

Nesta estação do ano, chuvas persistentes atingem o Estado e a bacia. Elas se originam da associação entre os sistemas convectivos tropicais e os sistemas frontais (FPA) que se estacionam no centro e sudeste do país. Esta associação, que caracteriza a interação entre fenômenos de larga escala, equatoriais e de latitudes médias, é denominada Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS (CLIMANÁLISE ESPECIAL, 1996; ABREU, 1998).

A Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS (FIG. 5) merece uma descrição mais detalhada pelas suas influências sobre todo o Estado de Minas Gerais, além da bacia do rio Doce. Segundo Abreu (1998, p.19):

A ZCAS está associada às conhecidas invernadas, que duram de 4 a 7 dias, provocando grandes transtornos à população, tais como, quedas de barreiras em estradas, desmoronamento de barrancos e casas em regiões urbanas inapropriadas à habitação, enchentes em centros urbanos e etc. Ela apresenta uma banda de nebulosidade orientada noroeste-sudeste que é observada tanto nos dados de precipitação, quanto nas imagens de satélites meteorológicos e nas observações de Radiação de Onda Longa emitida para o espaço.

Silva Dias e Marengo. (2002, p.71) afirmam que:

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é convencionalmente definida como sendo uma faixa de nebulosidade persistente orientada no sentido noroeste-sudeste, associada a um escoamento convergente na baixa troposfera, que se estende desde o sul da Amazônia ao Atlântico Sul-Central por alguns milhares de km, bem caracterizada nos meses de verão. A ZCAS ganhou alto destaque nos últimos anos, como um eficiente sistema meteorológico produtor de chuvas intensas, e merece um especial destaque devido à complexidade de sua estrutura e a polêmica em torno dos mecanismos de formação, manutenção e destruição.

A ZCAS é composta por uma combinação de mecanismos atmosféricos atuantes no continente sul americano. Estes mecanismos são: a Alta da Bolívia, a convecção tropical continental originária da Amazônia e os sistemas frontais oriundos da porção meridional do continente. Desta maneira, forma-se uma banda de nebulosidade, sentido NW-SE, sobre a América do Sul. Na superfície o ar úmido é transportado da Amazônia para o sudeste do

Brasil, atingindo a região da bacia do rio Doce. A ZCAS, durante a estação chuvosa, estaciona-se muitas vezes sobre os paralelos 19° e 20° de latitudes sul, correspondentes à localização da bacia do rio Doce, provocando catástrofes em muitos municípios da bacia, como enchentes, quedas de barreiras nas rodovias e em áreas urbanas.

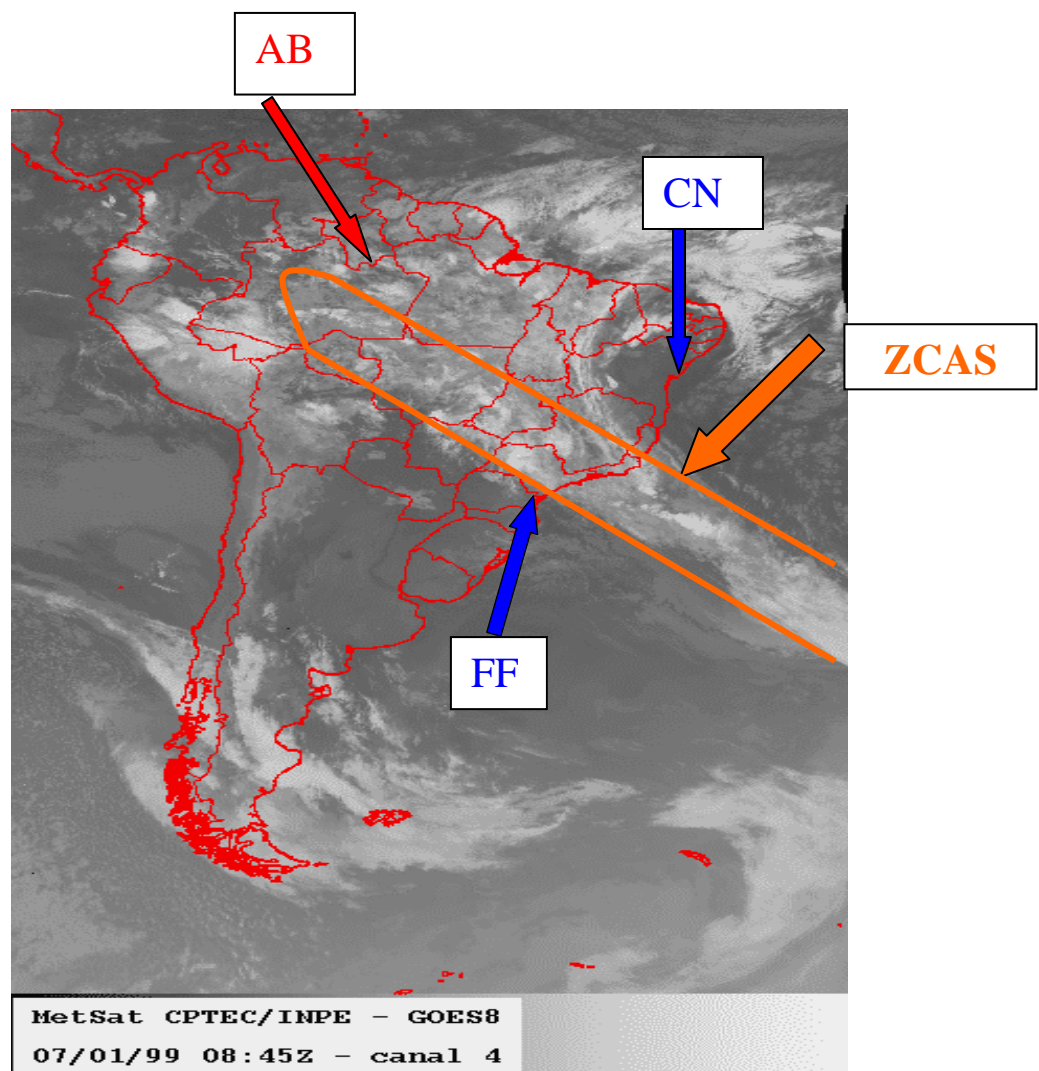


FIGURA 5 - Imagem do satélite meteorológico METEOSAT, IR, em 07/01/1999, às 05h45min local, mostrando atuação da ZCAS sobre Minas Gerais.

Fonte: <http://www.cptec.inpe.br>.

O papel da FPA é o de organizar a convecção tropical originária da região amazônica. Tal organização ocorre, pois a FPA funciona como uma esteira transportadora de umidade nos

baixos níveis. O ar úmido vindo da Amazônia é transportado para sudeste por ação dos ventos em baixos níveis que se desviam da Cordilheira dos Andes. Ao encontrar a convergência nos baixos níveis associada à FPA, o ar sobe, resfria e se condensa, formando nuvens que se alinham com a convecção tropical, relacionada à Alta da Bolívia (CLIMANÁLISE, 1996).

Vianello e Maia (1986), Abreu (1998) e Moreira (2002) afirmam que por estar associada à convecção tropical, que se estabelece na região amazônica, a ZCAS começa a se manifestar na primavera e, na região sudeste, muitas vezes no mês de outubro. Em novembro e dezembro, ela atua principalmente no norte de Minas Gerais e sul da Bahia. No início do verão, ela predomina sobre o centro-sul de Minas Gerais, norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo. Posteriormente, se desloca para o sul, atingindo os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Portanto, a ZCAS apresenta uma variabilidade espacial, deslocando-se latitudinalmente de norte (no início da estação chuvosa) para sul (no meio da estação chuvosa).

Silva Dias e Marengo (2002, p.72), sobre a ZCAS, afirmam que:

A circulação geral da alta troposfera sobre a América do Sul durante o verão possui uma característica muito particular por apresentar um anticiclone da Alta da Bolívia (AB) em altos níveis troposféricos (200 mb), durante os meses de verão, associado com a forte convecção da região amazônica e Brasil central. A localização geográfica da AB apresenta variação intra-sazonal e inter-anual associada com a convecção na Amazônia. As linhas de instabilidade perpendiculares às frentes freqüentemente estão associadas ao escoamento de NW que precede a entrada de frentes frias na região Sul/Sudeste. É possível que forçantes orográficas não muito intensas participem do processo de formação de linhas que se deslocam de NW/SE, partindo do Mato Grosso do Sul.

Vianello (2006) define, para Minas Gerais, a ocorrência da estação chuvosa entre os meses de outubro a março, sendo os meses de setembro e abril períodos de transição, respectivamente, do inverno para o verão e do verão para o inverno.

Dois outros mecanismos atmosféricos que atuam no clima do Brasil e em Minas Gerais são o Cavado do Nordeste (CN) e o Jato Subtropical (JS). Muitos autores citam estes mecanismos como importantes para os estudos climatológicos no Brasil e em Minas Gerais, como Casarin (1983), Vianello e Maia (1986), Prates (1994), Climanálise Especial (1996), Cupolillo (1997) e Moreira (2002).

Saucier (1969, citado por VAREJÃO-SILVA, 2001) afirma que “analogamente às configurações topográficas, as superfícies isobáricas também podem se apresentar com ondulações, formando cavados (vales) e cristas”. O CN, por ter um escoamento de leste para oeste, é classificado como do tipo cavado invertido atuante em Minas Gerais, ocasionando períodos longos de estiagens na estação seca e veranicos na estação chuvosa, em função da forte subsidência do ar.

Em altos níveis da atmosfera, próximo à tropopausa, existe uma região composta de ventos intensos que apresentam um sentido oeste-leste (zonal), denominados de Corrente de Jato ou Jato. O JS ocorre próximo à descontinuidade da tropopausa, localizado a 13 km de altitude, em torno de 25° de latitude Sul, e está associado à circulação da célula de Hadley, localizando-se na porção extrema desta célula, voltada para a região polar. Na zona entre o equador e aproximadamente 30° de latitude, a circulação se dirige para o equador na superfície e para os pólos em nível superior, formando a chamada célula de Hadley.

No inverno, o JS encontra-se mais zonal, destacando a maior intensidade dos ventos de oeste. No verão, menos intenso, praticamente desaparece, e no outono apresenta-se bem definido e em processo de intensificação. Na primavera começa a perder força e o escoamento começa a apresentar uma curvatura anticiclônica em resposta ao aparecimento da AB.

### **2.2.2 Aspectos climáticos locais**

A bacia, a exemplo do Estado de Minas Gerais (NIMER, 1989), é influenciada pelas massas de ar Tropical Atlântica (MTA), Polar Atlântica (MPA) e Equatorial Continental (MEC), caracterizada pelas correntes de oeste. A MEC atua na primavera e no verão causando altas temperaturas médias anuais, mínima e máxima. A região sofre influência da maritimidade, provocando temperaturas mais elevadas em Baixo Guandu, no Espírito Santo, e em Aimorés, Governador Valadares e na região do Vale do Aço (Timóteo, Coronel Fabriciano e Ipatinga), em Minas Gerais. No entanto, para toda bacia, a temperatura é mais amena no alto rio Doce. O regime pluvial apresenta dois períodos bem definidos: chuvoso, de outubro a março, e seco, de abril a setembro. Os mil e duzentos milímetros totais acumulados são distribuídos no período de outubro a março, sendo concentrados em dezembro, janeiro, fevereiro e março.

Em 1954, Strauch, através da classificação climática de William Köppen e com os dados fornecidos pelas estações da bacia, tornou possível classificar os tipos de clima dessa região com um maior nível de detalhe (FIG. 3). Denominou de clima tipo A aos que tivessem temperaturas médias no mês mais frio, superiores a 18°C e estabeleceu diferenças no padrão das chuvas. De tal forma que classificou de Af ao clima que tivesse chuvas uniformemente bem distribuídas, com um mínimo de 60 mm de chuva no mês mais seco; Am aos que tivessem um período seco correspondente ao inverno, porém compensado por um total de chuvas capaz de alimentar uma floresta tropical; e Aw aos que tivessem um período seco bem marcado.

Entretanto, Strauch argumentou que, em razão da diversidade topográfica na região, esta classificação deveria ser ajustada. A pouca exposição do relevo ao sul (mesmo a leste) não permite que as temperaturas do mês mais frio (abaixo de 18 °C) ocorram em cotas de altitude abaixo de 250 a 300 metros, a não ser excepcionalmente. As penetrações de ar frio do sul não são possíveis pela disposição do relevo. O limite médio de altitude para essa temperatura é de 300 metros aproximadamente, para a margem direita, e se eleva gradativamente para NW, pela margem esquerda.

Chove relativamente pouco nesses fundos de vale, em torno de 1.000 a 1.200 mm, o que, aliado às temperaturas elevadas, gera um alto valor de evaporação. As chuvas do interior da bacia, de caráter predominantemente convectivo, concentram-se progressivamente para o interior no verão, aumentando relativamente a estação seca de inverno. As maiores altitudes do relevo – como zonas de condensação – são as mais favorecidas pelas chuvas.

Segundo Strauch (1955, p.27):

Tão logo aumentam as altitudes ao longo dos vales principais, caem as temperaturas médias de mês mais frio, e passa-se do grupo de climas de tipo A para o tipo C, chamados mesotérmicos – temperaturas médias de mês mais frio abaixo de 18 °C. Os climas do tipo C quanto às chuvas, podem ser úmidos (f) ou terem um período seco, no caso da bacia do rio Doce, é o inverno (w). Quanto às temperaturas, podem ser verões quentes (a) ou frescos (b) se a temperatura média do mês mais quente estiver acima ou abaixo de 22 °C.



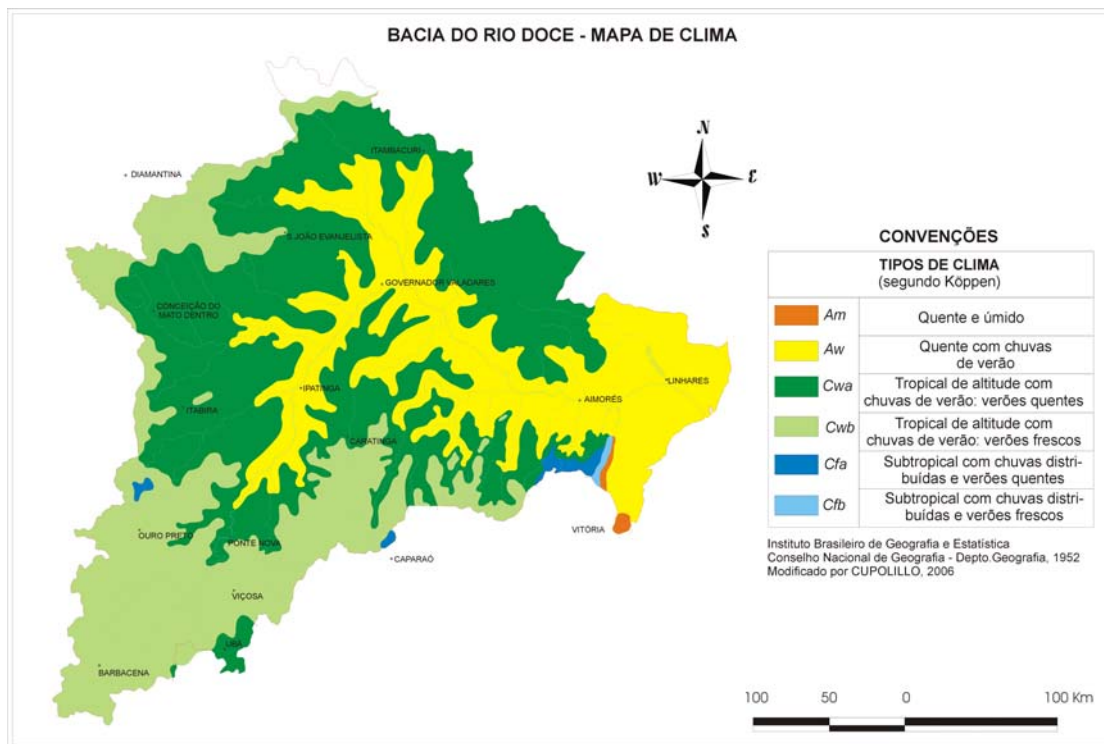


FIGURA 3 - Classificação climática de W. Köppen para a bacia do rio Doce, segundo Strauch (1954) e modificada por Cupolillo e Luciana D'Albuquerque Ferreira (2006).

Os valores das precipitações nas áreas de climas de tipo Cwa são maiores e ocorrem em torno de 1200 mm até alturas pluviométricas mais elevadas (Conceição, 1.732,9 mm), mas excepcionalmente. Os climas do tipo Cwb são amplamente distribuídos na parte sul da bacia, sobre planaltos florestais e úmidos. Seus verões brandos, com menos de 22°C de temperatura média, tornam essas áreas muito agradáveis e não são, geralmente, zonas muito sacrificadas pelas geadas no inverno, dadas as suas latitudes. As chuvas que correspondem a essas áreas são mais volumosas, geralmente acima de 1.300 mm ou mais, atingindo valores elevados.

Os climas mesotérmicos úmidos (Cfa e Cfb) são de ocorrência muito reduzida na bacia, restringindo-se aos planaltos do Espírito Santo e de seus limites com Minas Gerais, ao sul do rio Doce, onde ainda se sente um pouco da umidade litorânea e, mais escassamente, a penetração de ar frio do sul. Passa-se obrigatoriamente de Cfa para Cfb, mas sem controle preciso de estações de referência. Fora essas ocorrências, restam apenas as do maciço do Caparaó, no limite Minas – Espírito Santo, e a zona do Caraça, ao norte de Ouro Preto. Essas zonas seriam verdadeiros condensadores de umidade em clima frio, com as suas áreas consideravelmente elevadas, acima de 1.700 metros de altitude. Acrescido esse efeito ao caráter já focalizado do tipo de chuvas de convecção durante os meses de verão,

compreender-se-á que a essas maiores altitudes corresponderão a uma precipitação também grande e de taxa de umidade muito alta, em função de baixas temperaturas.

Outra forma de classificação climática foi sugerida por Paiva (1997, p.61), que classificou o clima da bacia do rio Doce a partir do padrão de chuvas, determinando o início e o fim da estação chuvosa, como também a ocorrência de veranico na bacia, e obteve as seguintes conclusões:

Nas partes sul e sudoeste da bacia do rio Doce, o início da estação chuvosa ocorre mais cedo, entre 17/10 e 01/11, do que no restante da bacia; as datas mais tardias, entre 17/11 e 01/12 ocorrem em áreas do centro e sudeste da bacia; os valores intermediários variam entre 02/11 e 16/11, na maior parte da bacia.

A partir destas observações, classificou as estações chuvosas em períodos curtos (150 a 170 dias) nas partes central e sudeste, períodos longos (191 a 210 dias) nas partes leste, extremo sul e sudoeste, e em períodos médios (171 a 190 dias) em quase toda bacia.

### **2.2.3 Veranicos: azares climáticos que atingem a bacia do rio Doce**

Durante a estação chuvosa, dependendo de sua duração e periodicidade, observa-se uma interrupção que provoca vários dias com baixos totais de precipitação, podendo ocasionar prejuízos às culturas e problemas no abastecimento de água potável ou para fins de geração de energia hidroelétrica, como ocorreu no ano de 2001, quando o Estado de Minas Gerais testemunhou o problema do apagão. Esta interrupção é observada em toda Minas Gerais e é conhecida como veranico. Vários processos de perturbações de escala sinótica têm sido mencionados como possíveis mecanismos associados ao fenômeno veranico em Minas Gerais.

Segundo Silva *et. al* (1994, citado por RESENDE *et. al*, 1996), alguns autores consideram o veranico como um período de curta estiagem de aproximadamente dez a vinte dias, durante a estação chuvosa, podendo mostrar seus efeitos negativos cerca de cinco dias

após a última chuva, quando coincidir com a emergência ou a floração de várias espécies vegetais.

Para as regiões tropicais, o conceito de veranico gera algumas divergências, muitas vezes devido ao padrão das condições climática e geográfica, peculiar de cada região, a começar pelo que se considera um dia seco. Castro Neto e Vilella (1986) consideram como veranico os períodos de precipitação pluviométrica inferior a 3,0 mm. Outros autores, como Assad e Sano (1993), consideram inferior a 1,0 mm ou simplesmente zero. Silva *et. al* (1981) consideram períodos de sete dias com precipitação inferior a 5,0 mm. Já Barron *et. al* (2003), citados por Minuzzi (2003), conceberam o dia seco como aquele em que a precipitação é inferior a 0,85 mm, e veranico ao número de dias seguidos. A variabilidade ambiental e a diversificação de culturas tornam esse termo sem contorno científico, quando usado como sinônimo de deficiência hídrica (RESENDE *et. al*, 1996).

Castro Neto e Vilella (1986, p.60) afirmam que:

A delimitação do espaço geográfico sujeito ao veranico e a avaliação de sua intensidade, bem como a definição de sua frequência média de incidência, são informações valiosas no planejamento das atividades agrícolas e no gerenciamento de recursos hídricos. Por isso, o conhecimento prévio sobre as condições climáticas de uma região, principalmente no que se refere à periodicidade e duração dos veranicos, bem como as exigências hídricas de cada espécie e cultivares, torna-se importante para que o agricultor programe suas atividades, evitando surpresas provenientes dos efeitos desse fenômeno.

Portanto, os veranicos podem ser classificados baseando-se no grau de intensidade, frequência e tempo de duração. Quanto maior a intensidade, a frequência de ocorrência e a longevidade de dias consecutivos em que ocorre este fenômeno durante um período chuvoso, maiores os impactos negativos nas atividades humanas.

Muitas vezes, os conceitos bem definidos de seca e veranico confundem-se, a ausência de uma compreensão maior deste fenômeno dificulta a tomada de decisão por órgãos gestores governamentais.

Heim Júnior (2002, citado por MINUZZI, 2003) descreve que para a Organização Meteorológica Mundial (OMM) as secas estão relacionadas às deficiências de precipitação, em períodos extensos, durante uma ou mais estações do ano.

Os veranicos ocorrem em períodos curtos de dias consecutivos sem chuva ou com baixos totais de precipitação, durante o período chuvoso. Vianello *et. al* (2006) descrevem a ocorrência de um veranico de grande amplitude em janeiro e fevereiro de 2006, com número de dias secos consecutivos variando entre 8 a 29 dias, o que ocasionou quebra nas safras agrícolas em todas as regiões de Minas Gerais.

Góis (2005), preocupado com os efeitos das secas em várias regiões de Minas Gerais, apontou diversos estudos que classificaram as secas como:

- Meteorológica: deficiência na quantidade de precipitação em um determinado local num período de tempo.
- Agrícola: deficiência de umidade do solo ao nível do sistema radicular da planta, impedindo ou reduzindo a produção agrícola, levando-se em conta as características geográficas da região (solo, relevo e topografia) e a cultura específica.
- Hidrológica: insuficiência no abastecimento de água nos lagos, reservatórios e lençóis freáticos, para atender a demanda em uma determinada região.
- Sócio-econômica: relaciona-se a prejuízos financeiros, sociais e ambientais causados pela ausência contínua de água em um determinado local, destacando-se os impactos e a vulnerabilidade desses locais, devido às práticas impróprias do uso do solo.

Heim Júnior (2002, citado por MINUZZI, 2003) descreve que a Sociedade Meteorológica Americana classificou as secas como:

- Meteorológica: uma consequência do efeito de fenômenos atmosféricos na redução da pluviometria da região
- Agrícola: quando as disponibilidades hídricas do solo são inadequadas ou insuficientes para atender à demanda evaporativa dos campos cultivados.
- Hidrológica: refere-se aos períodos com níveis dos fluxos superficiais de água (rios, riachos e córregos) e dos reservatórios abaixo do normal.
- Sócio-econômica: quando associa o fornecimento e suprimento de algum bem econômico com elementos das secas meteorológicas, agrícola e hidrológica.

Cupolillo (1997) trabalhou com uma série histórica de dados diários de precipitação de vinte e um anos (1968 a 1988), observados em sessenta e dois postos pluviométricos e vinte e

oito postos, com séries variando entre quinze e vinte e um anos, pertencentes à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), distribuídos ao longo de Minas Gerais. Por meio da análise dos dezoito mapas de frequência média de veranico, relacionados à estação chuvosa (outubro a março), o autor observou que os maiores valores de frequência média ocorreram no norte, noroeste, nordeste, leste e sudeste do Estado, principalmente no primeiro e segundo decêndios de fevereiro (FIG. 6a e 6b). Quanto à localização da frequência média do veranico em áreas isoladas, distribuídas por Minas Gerais, elas coincidem com as altitudes mais elevadas e são observadas no primeiro decêndio de dezembro (FIG. 6c). Cupolillo (1997) considerou a diferença de séries de dados pluviométricos, o que pode ter mascarado o grau de frequência do fenômeno veranico, em algumas áreas, especializado no Estado. Além disso, o critério utilizado na definição do veranico foi o aplicado à agricultura, tomando-se como base dez dias consecutivos com chuvas iguais ou inferiores a 1 mm diário. Acredita-se que esse critério limite o entendimento do veranico quando aplicado a bacias hidrográficas.

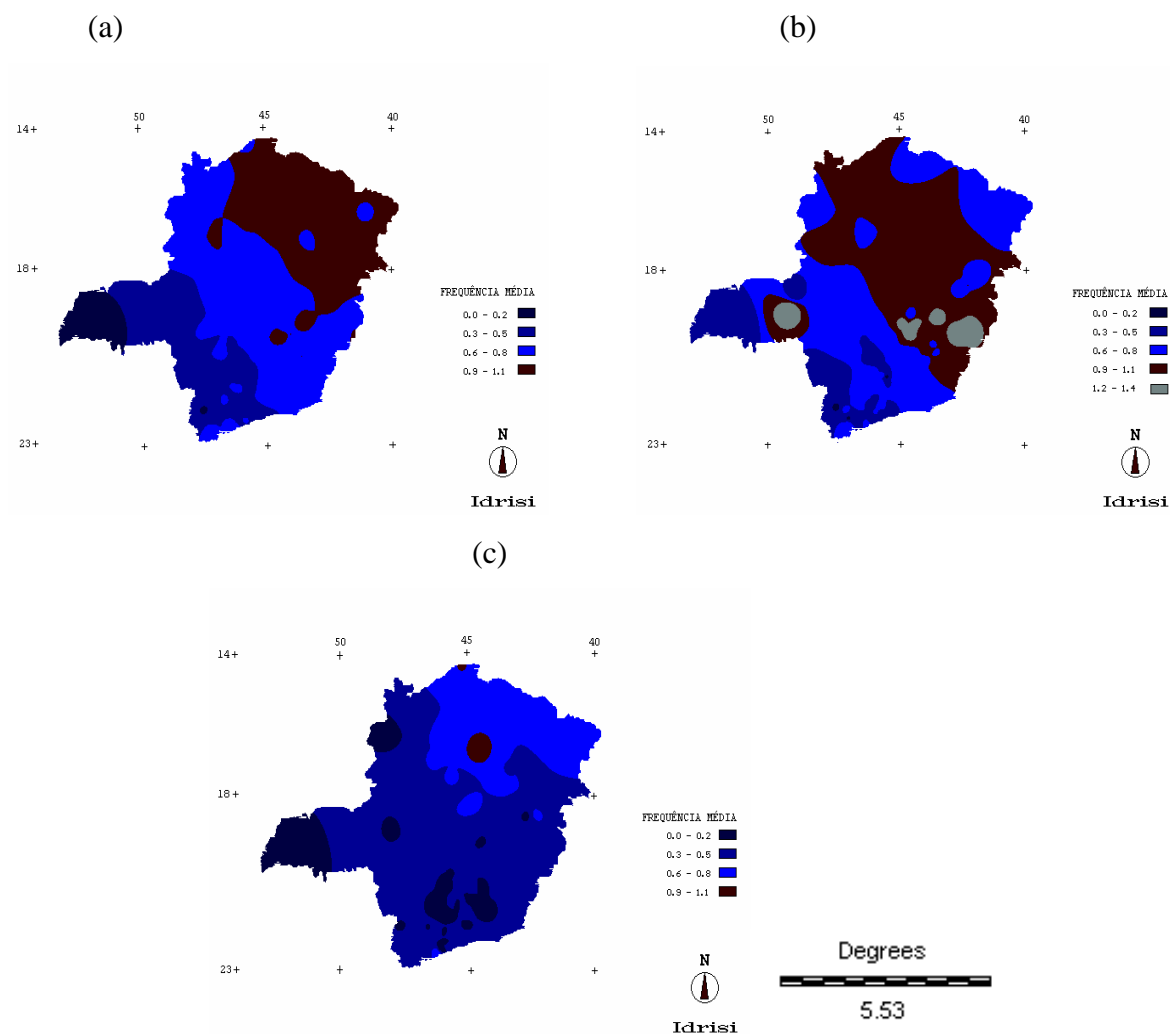


FIGURA 6 - Frequência média de veranico em Minas Gerais, 1º decêndio (a), 2º decêndio (b) e 3º decêndio (c) de fevereiro.  
 Fonte: Cupolillo, 1997.

Souza (1996) trabalhou com “medidas de radiação solar direta para todo Estado de Minas Gerais e detectou que o mês de fevereiro é o de maior incidência de radiação direta.” Tal fato sugere um forte indício de relação entre veranico e radiação solar direta durante a estação chuvosa.

Referindo-se à bacia do rio Doce, Paiva (19957) concluiu que “a probabilidade de alta ocorrência de veranico para sete dias é de 70% nos meses de outubro, dezembro, janeiro, fevereiro e março; para dez dias, 70% nos meses de outubro, janeiro, fevereiro e março; e para quinze dias, 60% nos meses fevereiro e março.”

## **2.2.4 Variabilidade climática em Minas Gerais e na bacia do rio Doce: causas e impactos**

Dada a importância desta discussão, para o clima de Minas Gerais, e de suas conclusões nas tomadas de decisão, discute-se, a seguir, os trabalhos mais significativos sobre o fenômeno.

### *2.2.4.1. Os oceanos tropicais e seus efeitos sobre Minas Gerais*

Associado a um aquecimento anormal das águas do Pacífico na costa do Peru, durante muito tempo, o El Niño foi considerado um fenômeno estritamente local. Conhecido há mais de duzentos anos, inicialmente ele não ganhou muita atenção da ciência. Dentre os El Niños, os considerados mais fortes nos últimos anos foram os de 1982/1983 e os de 1997/1998, que provocaram uma série de anomalias por todo o planeta, ocasionando perdas materiais de milhões de dólares (SAMPAIO, 1999; SILVA, 2000). Segundo Sampaio (1999, p.7):

El Niño é o aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico Equatorial. Tratando-se, portanto, da combinação desse aquecimento com o enfraquecimento dos ventos alísios, que sopram de leste para o oeste na região equatorial, provocando mudanças na circulação geral da atmosfera, gerando secas e enchentes em várias partes do globo. Portanto, a La Niña é o resfriamento anormal das águas do Oceano Pacífico Equatorial e relaciona-se com a combinação desse resfriamento com o fortalecimento dos ventos alísios, que também provocam mudanças na circulação geral da atmosfera, gerando efeitos contrários aos do El Niño em várias partes do globo. Estes aquecimentos e resfriamentos anormais do Pacífico podem ocorrer em quatro áreas diferentes do Oceano e são denominados de Niños 1, 2, 3.4 e 4, que têm altas correlações com o clima de diversas partes do globo em anos de El Niño e La Nina. (FIG. 7).

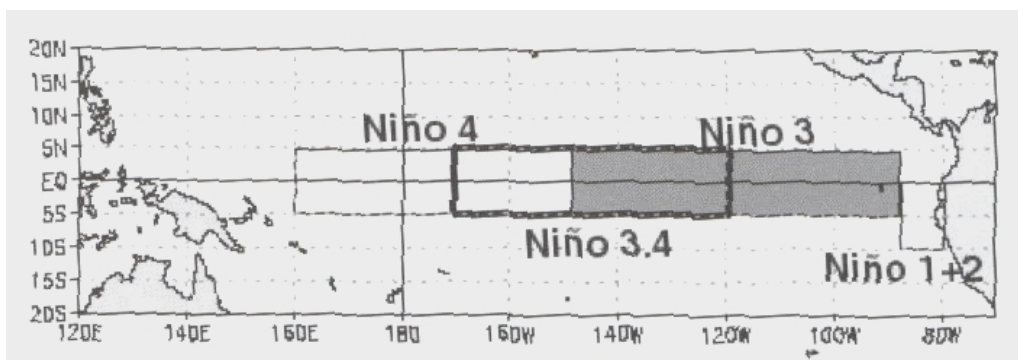


FIGURA 7 - Áreas do oceano Pacífico Tropical conhecidas como Niños 1, 2, 3, 3.4 e 4.  
Fonte: Sampaio (1999)

Entre os efeitos do El Niño observam-se a ocorrência de bloqueios atmosféricos. Segundo Rex (citado por MARQUES; RAO, 1994), bloqueio é uma situação na qual a progressão normal para o oeste dos sistemas transientes das latitudes médias é bloqueada pelo desenvolvimento de um anticiclone, quase estacionário, de grande amplitude. O que se destaca, entretanto, é que os eventos El Niño mais fortes são claramente relacionados com secas fortes em certas regiões dos trópicos e subtropicais e excessiva precipitação em outras regiões (KOUSKY; CAVALCANTI, 1984). Nos últimos cinquenta anos, treze El Niños afetaram a costa da América do Sul sendo os mais fortes ocorridos nos períodos de 1982/1983 e 1997/1998, manifestando-se, com certa regularidade, geralmente em intervalos de quatro a sete anos.

Segundo Kayano *et. al* (citado por MARQUES; RAO, 1994), a circulação global da atmosfera, de meados de 1982 até o final de 1983, e de dezembro de 1986 até setembro de 1987 (fase madura), foi afetada pela presença do fenômeno El Niño sobre o leste do Pacífico equatorial. Cada evento possui suas peculiaridades. O El Niño de 1982/1983 foi considerado forte e o El Niño de 1986/1987 foi tido como fraco ou moderado, com características diferentes do evento de 1982/1983. Sugere-se que a diminuição da frequência de bloqueios no leste da Austrália, principalmente em 1987, e o aumento na ocorrência do fenômeno na costa oeste da América do Sul, em 1982 e 1987, possui, de alguma forma, um elo com as anomalias na circulação geral da atmosfera ligadas ao fenômeno El Niño.

Grimm (2004) sugere que as alterações de temperatura da superfície do oceano Pacífico, durante episódios El Niño e La Niña, são acompanhadas de alterações climáticas globais. Há variações dos fluxos de calor sensível e de vapor de água da superfície do oceano Pacífico Equatorial para a atmosfera. Isto provoca mudanças na circulação atmosférica e na



precipitação em escala global. No Brasil há impactos significativos sobre a precipitação em várias regiões em diferentes fases do ciclo El Niño / Oscilação Sul.

Virji (1981, citado por VIANELLO; MAIA, 1986) ao estudar a circulação troposférica de verão sobre a América do sul, baseado nos dados de velocidade das nuvens, mostrou que os movimentos ascendentes sobre a maior parte da Bacia do São Francisco são compensados por movimentos descendentes sobre o nordeste do Brasil, inibindo, dessa maneira, a formação de nuvens e uma conseqüente precipitação sobre aquela região. Isto significa que o próprio clima de Minas Gerais pode ser influenciado também pelo El Niño (VIANELLO; MAIA, 1986). Como o fenômeno El Niño intensifica a circulação de Walker no Pacífico Sul, tal fato reflete no aumento da subsidência do ar no Nordeste do Brasil, influenciando numa estiagem mais intensa em algumas áreas no Estado de Minas Gerais.

Alves *et al.* (2002, *apud* KOUSKY; CAVALCANTI, 1984) afirmam que há evidências de que o El Niño pode influenciar a distribuição das chuvas em várias partes do Brasil, inclusive na região sudeste e afirmam que a estação chuvosa tem início mais provável no período de 23 de setembro a 7 de outubro, sendo estas datas aproximadamente coincidentes com as apresentadas por Kousky (1988) e Sugahara (1991). Como a região sudeste é uma área de transição climática entre o norte e o sul do Brasil, o fenômeno El Niño pode modificar o padrão das chuvas na região, interferindo no início na estação chuvosa.

Anomalias associadas também com o oceano Atlântico podem ocorrer e ter influência distinta daquela das anomalias associadas com o oceano Pacífico (GRIMM, 2002). Elliot *et al.* (2001), com relação ao El Niño de 1997/1998, mostram não só a intensidade com que ocorreu este evento como também uma forte relação entre o Atlântico Tropical interferindo no Pacífico Tropical. O Atlântico Norte apresentou um padrão de anomalias negativas fora da costa americana e positiva na costa norte e sul, enquanto o Atlântico Sul apresentou anomalias negativas no meio do ano 1997 e positivas no final do ano 1998. Elliot *et al.* (2001, *apud* CURTIS; HASTENRATH, 1995) usaram uma combinação de eventos de El Niño para estudar os efeitos distantes no sistema oceano-atmosfera no Atlântico Tropical. Eles identificaram uma sucessão de eventos que começam com o enfraquecimento de ventos de nordeste no inverno boreal, conduzindo a uma redução do resfriamento no oceano através de fluxo de calor de superfície e TSM moderada do equador em primavera boreal, forçando o fluxo de calor do equador para o norte, podendo se estender a uma cadeia de eventos mais adiante.

Em situações de Dipolo Positivo do Atlântico, a Alta Subtropical do Atlântico Sul fortalece-se e desloca-se em direção ao Equador, enquanto a Alta do Atlântico Norte se

enfraquece e se desloca em direção ao Pólo Norte; os ventos alíseos do Atlântico sul tornam-se mais fortes que a média, enquanto os ventos do Atlântico Norte se enfraquecem. Assim, o cavado equatorial e a convergência associada são deslocados mais para o norte em relação ao seu local médio. Conjuntamente, o aquecimento da TSM é observado no Atlântico tropical norte, enquanto a TSM do Atlântico tropical sul está abaixo da média (HASTENRATH *et. al*, 1984).

Segundo Minuzzi (2006), anomalias positivas de TSM registradas no Atlântico subtropical sul, ao longo das costas sul e sudeste do Brasil, ocorridas simultaneamente com chuvas intensas nos verões de 1995 e 1996 (dezembro a fevereiro), motivaram Abreu e Moura (1996) a investigar a possível relação de tais anomalias de precipitação ser uma resposta da atmosfera às anomalias do Atlântico, bem como dos outros oceanos. Utilizando o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera, os referidos autores concluíram que todos os oceanos são importantes na determinação dos padrões de precipitação no verão das Regiões Sul e Sudeste do Brasil e que seus efeitos apresentam características distintas, porém o Atlântico parece predominar na Região Sudeste.

O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), sobre o Pacífico Equatorial, e o gradiente meridional de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM), sobre o Atlântico Tropical, modulam conjuntamente uma grande parte da variância interanual do clima sobre a América do Sul. A combinação das circulações atmosféricas anômalas induzidas pelas distribuições espaciais de TSM sobre os oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical afetam o posicionamento latitudinal das ZCIT sobre o Atlântico, influenciando a distribuição da pluviometria sobre a bacia do Atlântico e norte da América do Sul.

Grandes secas no nordeste, assim como algumas enchentes no sul e sudeste do Brasil, podem ser decorrentes do fenômeno ENOS. Em algumas áreas observam-se temperaturas mais elevadas que o normal (como é o caso das regiões Central e Sudeste do Brasil, durante a estação de inverno), enquanto em outras ocorrem frio e neve em excesso.

Coelho e Ambrizzi (1998), baseando-se em estudos para episódios de El Niño 82/83 e 86/87, verificaram que existe grande variabilidade na localização da AB e a posição do JS mais ao Sul com relação a sua posição climatológica nos casos analisados, fazendo com que os sistemas frontais não atinjam as regiões Sul e Central da América do Sul. Esta pode ser a explicação do padrão de chuvas não sofrer grandes alterações nessas regiões. Desta forma, os autores alertam para certos cuidados quando se atribuem as causas de determinados fenômenos intensos de chuvas isoladas (locais) à Oscilação Sul, tendo em vista a existência da variabilidade de um evento para outro.

Silva Dias e Marengo (2002), baseados em estudos de autores como Hastenrath, Heller, Moura, Shukla, Nobre e Uno, concluíram que o espectro de frequências dos processos oceânicos e atmosféricos sobre o Atlântico é largo, englobando a variabilidade intra-sazonal, interanual e interdecadal das correntes oceânicas e do campo de temperatura das camadas superiores do mar. Além disso, as oscilações de frequência decadal detectadas nos campos atmosféricos de vento e precipitação sobre o Atlântico Tropical são possivelmente induzidas pelas condições de contorno oceânicas com variação lenta do ambiente marinho. Além disso, o ciclo anual dos ventos e do calor sensível armazenado nas camadas superiores do Atlântico Tropical sofre forte influência dos sistemas de monção dos continentes circunjacentes, fazendo com que a variabilidade interanual dos ventos e da TSM sobre o Atlântico seja modulada pelo ciclo anual do aquecimento solar. O padrão espacial predominante do ciclo anual e da variabilidade interanual das TSM e ventos à superfície sobre o Atlântico apresentam uma estrutura norte-sul mais pronunciada do que a estrutura leste-oeste. A estrutura norte-sul das anomalias de TSM observadas no Atlântico é conhecida como dipolo do Atlântico Tropical (FIG. 8).

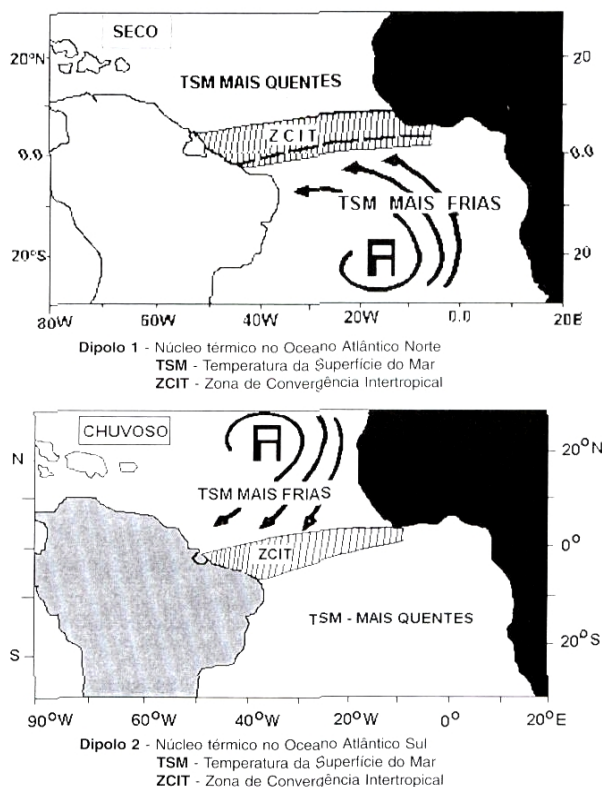


FIGURA 8 - Dipolo do oceano Atlântico.  
Fonte: Silva (2000).

Abreu e Cupolillo (1999) afirmam que a primeira e mais imediata consequência do ENOS é sentida pelos países na costa oeste da América do Sul, como Equador, Peru e Chile. Nas regiões desérticas costeiras desses países verifica-se intensa precipitação que causa grandes transtornos a uma população adaptada a condições de extrema aridez. Além disso, o aquecimento das águas costeiras afugenta os cardumes de peixes abundantes nessa região, perturbando a economia dessas nações. Porém, os efeitos do El Niño não se limitam aos países ao longo da costa oeste da América do Sul, uma vez que esse é um fenômeno de escala global que interage com outros sistemas de larga escala através de teleconexões (propagação de energia). Ele enfraquece o sistema de monções na Índia, inibindo as chuvas de verão nessa região. Constata-se também o aumento de enchentes no oeste dos Estados Unidos, em função da alteração de um padrão atmosférico que ocorre no Hemisfério Norte, conhecido como PNA (Pacific North America), e a intensificação da seca no sudeste da África (WMO, 1985).

Os efeitos deste extraordinário fenômeno são também observados sobre o Brasil. Nesse caso, tais efeitos se fazem sentir em diferentes regiões e estações do ano. Observam-se anomalias positivas de precipitação nos Estados da região sul (ROPELEWSKI; HALPERT, 1989) durante o inverno do Hemisfério Sul. O Nordeste do Brasil é a região brasileira mais afetada pelo fenômeno El Niño, que inibe a acanhada estação chuvosa dessa região, apenas observada entre os meses de março e maio.

As anomalias que ocorrem sobre a América do Sul são associadas principalmente ao deslocamento da célula de Walker, do fortalecimento do Jato subtropical e de um possível trem de ondas que se estende do Pacífico até o sul da América do Sul (CAVALCANTI, 1996). Gan e Rao (1991, citados por CAVALCANTI, 1996) observaram que, nos anos de El Niño a frequência de ciclogêneses era alta sobre o continente, indicando também uma explicação para as altas precipitações encontradas nesses anos, no Sul do país. Existem fortes indícios de que o El Niño pode atuar também nos climas de Minas Gerais (VIANELLO; MAIA, 1986).

Existem indícios observacionais de que o fenômeno ENOS afeta também a climatologia de Minas Gerais, particularmente o semi-árido mineiro (CUPOLILLO; ABREU, 1998), mas o conhecimento desses efeitos e sua dinâmica ainda são muito reduzidos. Acredita-se que o El Niño afeta o Estado provocando invernos quentes. Isso pode ser explicado pela intensa advecção de ar quente continental, devido ao bloqueio dos sistemas frontais no sul do país (CUPOLILLO; ABREU, 1998; LÚCIO *et. al.*, 1998). As regiões dos

vales do Jequitinhonha e Mucuri, no nordeste de Minas Gerais, experimentaram intensa estiagem durante a atuação do El Niño na estação chuvosa de 97/98. Essa situação contrasta com a estiagem menos intensa, no período 96/97, que coincidiu com a presença de um resfriamento no Pacífico central. Os autores sugerem que o fenômeno El Niño inibe a convecção associada à estação chuvosa no nordeste do Estado, agravando a semi-aridez e estendendo-a para um período de nove a dez meses, o que equivale às condições do sertão nordestino.

Reis e Ladeia (1999, p.43-44) argumentam que:

Durante o La Niña, as precipitações foram mais intensas nos meses de outubro e novembro, caindo abaixo da média histórica nos meses de dezembro e fevereiro, voltando a ficar acima da média no mês de março e que quanto aos dados de vazões médias no município de Três Marias observaram o mesmo comportamento.

Minuzzi (2003) conclui que a La Niña caracteriza chuvas abaixo da média em quase todo o Estado, sendo que na metade nordeste de Minas são notadas durante o mês de janeiro. Em eventos de El Niño ocorre uma irregularidade na distribuição de chuvas, ficando abaixo da média na metade nordeste e acima da média na metade sudoeste do Estado. O autor também sugere que eventos ENOS afetam o início da estação chuvosa em Minas Gerais.

Muitos autores, Vianello e Maia (1986); Cupolillo e Abreu (1998); Lúcio et al. 1998; Abreu e Cupolillo(1999); Reis e Ladeia (1999); Alves (2002); Minuzzi (2003) e Grimm (2004), tentaram demonstrar a influência do fenômeno global ENOS sobre o Continente sul-americano, no Brasil e no Estado de Minas Gerais.

#### *2.2.4.2. Bloqueios atmosféricos e seus efeitos sobre o Brasil*

Lemos e Calbete (1996) evidenciam os Sistemas Frontais como um dos maiores causadores de distúrbios meteorológicos sobre o país. Durante o regime de verão, as frentes frias ao ingressarem no Sul do país, associam-se a um sistema de baixa pressão em superfície sobre o Paraguai, conhecida como Baixa do Chaco, e intensificam-se. Estes sistemas, neste

período, freqüentemente ficam semi-estacionados no litoral da região sudeste, devido à presença de vórtices ciclônicos em altos níveis na região nordeste. A permanência dos Sistemas Frontais sobre esta região organiza a convecção tropical nas regiões central e norte do Brasil e caracteriza a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Segundo Casarin (1983), “os denominados bloqueios atmosféricos, no Hemisfério Sul, se caracterizam por um escoamento de oeste dividindo-se em dois ramos e mantendo-se por um período mínimo de seis dias.” Tal condição compromete a região centro-leste do Brasil, na superfície, contribuindo para a não-formação de nebulosidade e sugerindo um forte indício de existência de veranico à superfície.

Um exemplo de bloqueio que afeta o sudeste do Brasil é o posicionamento anômalo meridional da Alta da Bolívia que afeta o Estado de Minas Gerais e a ocorrência de veranicos. No verão, quando a Alta da Bolívia semi-estaciona sobre Minas Gerais, considera-se um padrão normal com verões chuvosos e, quando perde sua intensidade, deixa espaço ao avanço de um cavado que penetra no continente, ocasionando bloqueio atmosférico e forte subsidência sobre Minas, caracterizando verões secos.

As FIG. 9a, 9b, 9c e 9d (CASARIN, 1983) mostram uma seqüência de bloqueios atmosféricos e o posicionamento meridional da Alta da Bolívia nos dias 20, 21, 22 e 23 de abril de 1979 durante os quais observou-se a ocorrência do veranico em Minas Gerais.

Na figura 9d observa-se a existência de bloqueio atmosférico em forma de Omega atuando no SE do continente sobre as regiões sul e sudeste do Brasil. Na extremidade norte do bloqueio encontra-se o CN semi-estacionado sobre Minas Gerais, favorecendo a ocorrência de veranico. A AB encontra-se deslocada sobre a região amazônica e o JS bifurcado em função do bloqueio atmosférico.

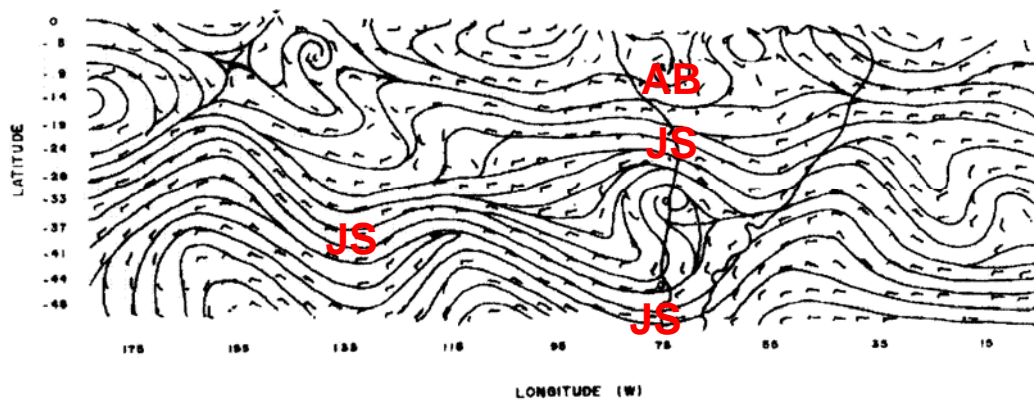


FIGURA 9a - Bloqueios atmosféricos e posicionamento meridional da Alta da Bolívia, em 20 de Abril de 1979. **AB** (Alta da Bolívia) e **JS** (Jato Subtropical).  
 Fonte: Casarin, 1983.

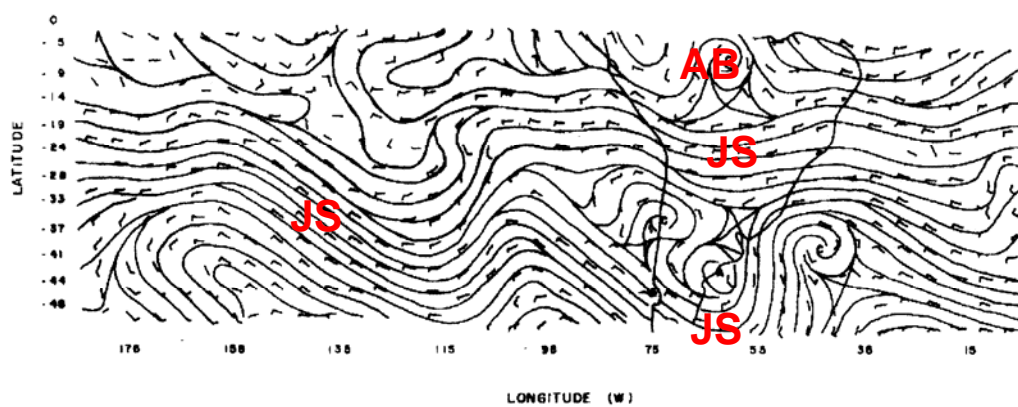


FIGURA 9b - Bloqueios atmosféricos e posicionamento meridional da Alta da Bolívia, em 21 de Abril de 1979.  
 Fonte: Casarin, 1983.

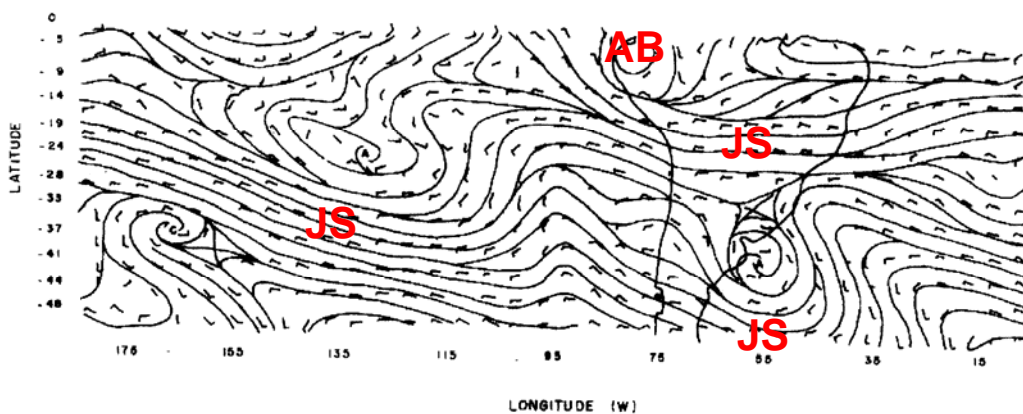
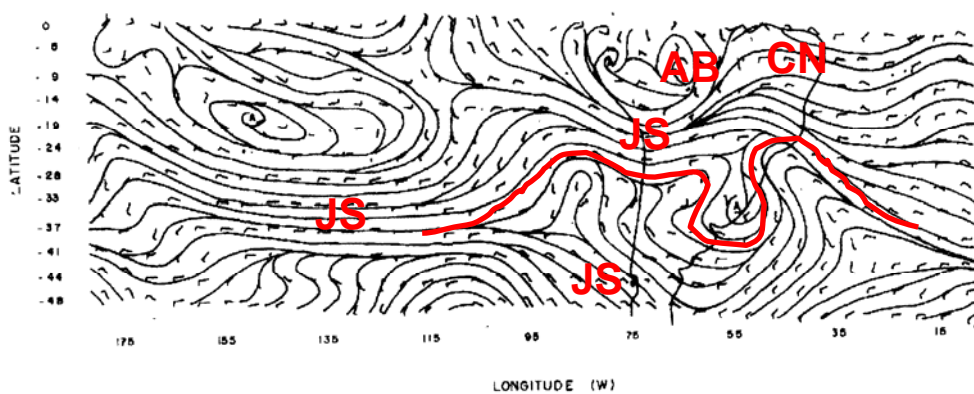


FIGURA 9c - Bloqueios atmosféricos e posicionamento meridional da Alta da Bolívia, em 22 de Abril de 1979. **CN** (Cavado do Nordeste).  
 Fonte: Casarin, 1983.



— (Bloqueio Ômega) **AB** (Alta da Bolívia) **JS** (Jato Subtropical) **CN** (Cavado do Nordeste)  
 FIGURA 9d - Bloqueios atmosféricos e posicionamento meridional da Alta da Bolívia, em 23 de Abril de 1979. Fonte: Casarin, 1983.



## **3. METODOLOGIA**

### **3.1. Região Estudada**

#### **3.1.1. Base dos Dados**

Os dados aqui utilizados são os de pluviosidade (em cinquenta e dois postos) e vazão (em cinquenta e oito postos) pertencentes à Agência Nacional das Águas (ANA). Eles abrangem um período de 30 anos (1973 a 2002). Para a elaboração do balanço hídrico climatológico decenal, foram utilizados dados de pluviosidade e temperatura de dez estações climatológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), nove no Estado de Minas Gerais (Aimorés, Barbacena, Caparaó, Caratinga, Conceição do Mato Dentro, Diamantina, Ipatinga, Governador Valadares e Viçosa) e uma no Estado do Espírito Santo (Linhares), abrangendo um período de 23 anos (1980– 2002). Salienta-se que as estações dos municípios de Barbacena, Caparaó e Diamantina não se localizam na bacia do rio Doce, mas estão próximas aos principais formadores e afluentes do mesmo (FIG. 10). É necessário esclarecer que foi visualmente desenvolvida a análise da qualidade dos dados da ANA e do INMET, além de terem sido tecnicamente consistidos por estes órgãos governamentais, ou seja, com boas condições de serem utilizados.

Dados do Portal do NOAA, de um período de vinte anos (1973 – 2002), foram utilizados, para o domínio espacial da América do Sul com as variáveis: precipitação, componentes meridional e zonal do vento, convergência e divergência e linhas de corrente ao nível de 200 hPa; e, para o domínio espacial da bacia do rio Doce, as variáveis: precipitação, componentes meridional e zonal do vento ao nível de 850 hPa.

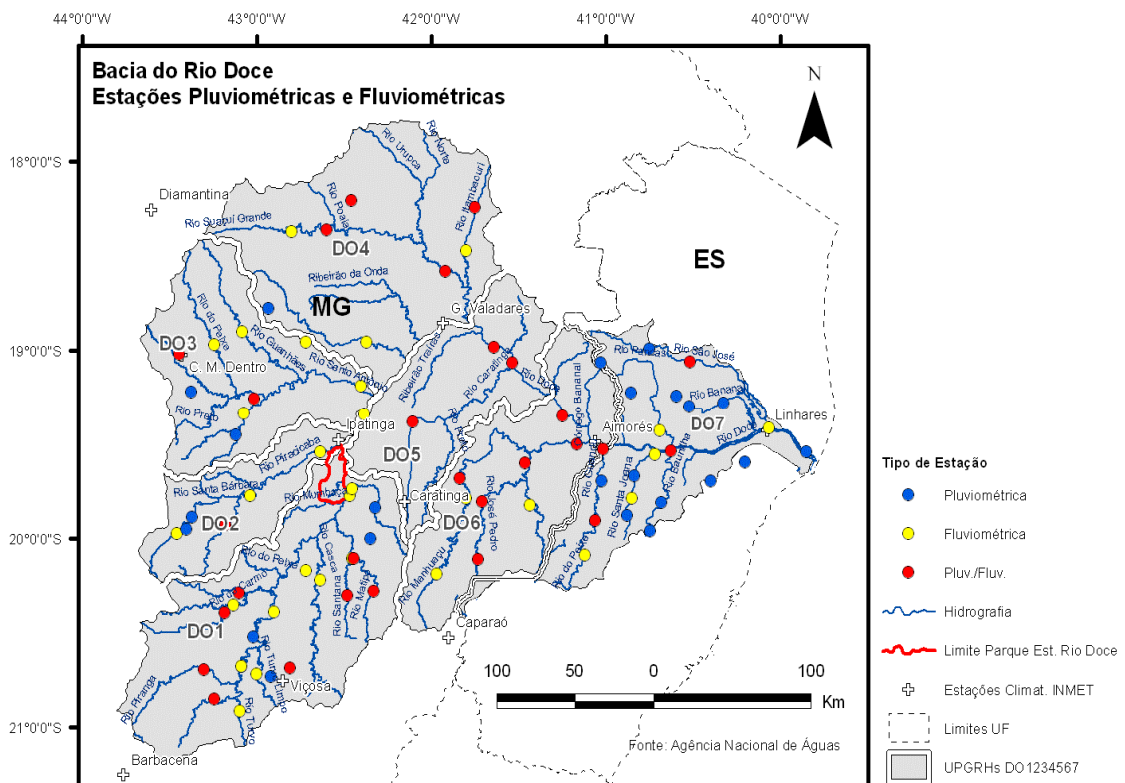


FIGURA 10 - Postos pluviométricos e fluviométricos da ANA e estações climatológicas do INMET, com dados disponíveis neste trabalho.

### 3.1.2. Distribuição Espacial e Temporal dos Elementos Hidroclimatológicos na bacia do rio Doce

#### 3.1.2.1. Recursos computacionais

Programas computacionais em linguagem PL/SQL foram elaborados pelo INMET para a criação do banco de dados *Oracle*, versão 8.04, como também foram elaborados pela ANA, bancos de dados *ACCESS*, transformando-os em tabelas com dados decendiais, de média, frequências médias e ocorrência dos elementos hidroclimatológicos na bacia do rio Doce em Minas Gerais e no Espírito Santo. Para a manipulação dos dados, foram utilizados recursos computacionais como os programas *Statistical Pocked Social Science* (SPSS), versão 11.0, *Excel* e *ArcView*, versão 9.2, em ambiente *Windows*. Através do programa

computacional *Grid Analysis and Display Systems* (GrADS), construíram-se mapas decendiais para o domínio espacial da América do Sul, com as variáveis: precipitação, componentes meridional e zonal do vento, convergência e divergência e linhas de corrente ao nível de 200 hPa; e, para o domínio espacial da bacia do rio Doce, as variáveis: precipitação, componentes meridional e zonal do vento ao nível de 850 hPa.

### 3.1.2.2. Regionalização dos resultados

Neste trabalho, no mapa base da bacia do rio Doce identificaram-se sete Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs), definidas pela Deliberação Normativa CERH-MG N°. 06, de 04 de outubro de 2002. As informações foram espacializadas nas UPGRHs DO1, DO2, DO3, DO4, DO5 e DO6. A porção da bacia do rio Doce no Espírito Santo foi denominada de DO7 como uma nova unidade de planejamento (FIG. 11).

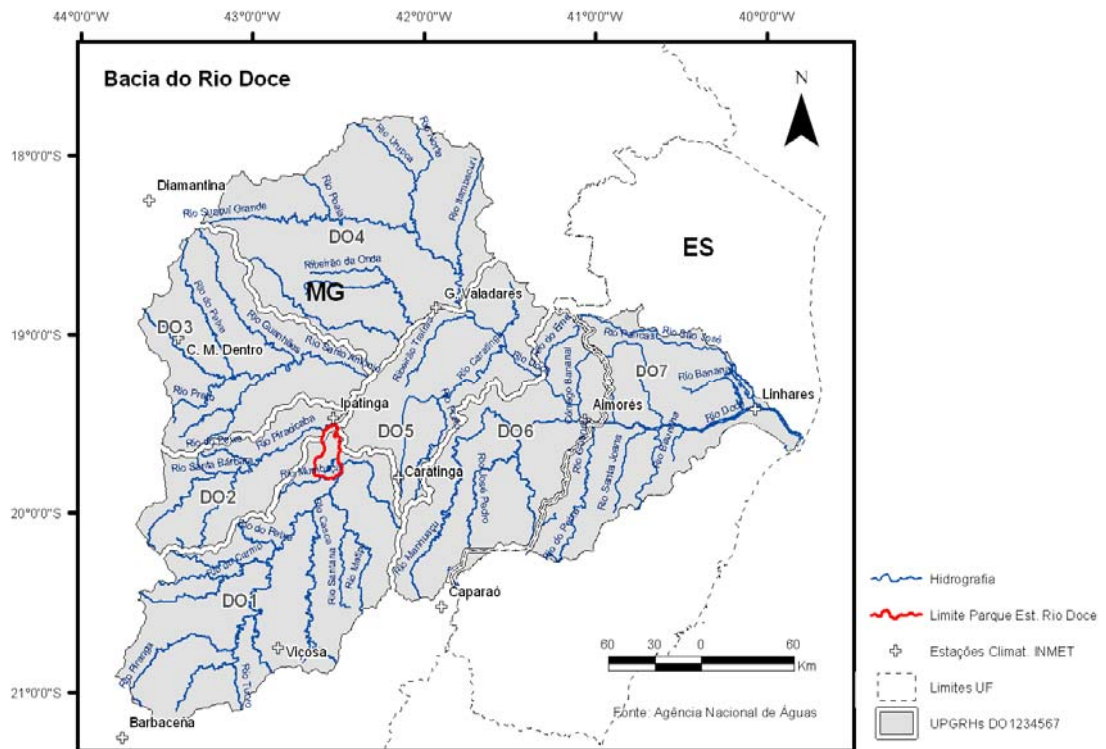


FIGURA 11 - Unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos de Minas Gerais (UPGRHs)

A incorporação das informações, mencionadas em um SIG, possibilitam análises estatísticas sofisticadas, cruzamento e superposição de informações e, principalmente, a apresentação dos resultados por meio de mapas que poderão ser úteis para o manejo, a conservação e o uso de solos, bem como para projetos de reflorestamento. O *software* de Sistema de Informação Geográfica, *ArcView*, versão 9.0, desenvolvido pelo *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), foi utilizado para a geoespacialização dos dados hidroclimáticos. De uma maneira geral, a interpolação é a maneira estatístico-matemática de geoespacializar um conjunto de dados. Os dados coletados por estações pluviométricas próximas entre si são interpolados e representados por um valor médio representando uma área. Existem vários métodos de interpolação. Neste trabalho, para a interpolação, comparou-se o método da *Krigeagem* com o método Inverso do Quadrado das Distâncias (*Inverse Distance Weighted* – IDW). A diferença básica entre os métodos é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras. Segundo Camargo (CAMARGO *et al.*, 2004), no caso de interpolação linear simples, os pesos são todos iguais a  $1/N$  ( $N$  = número de amostras); na interpolação baseada no inverso da medida do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores observados, quanto mais distante a estação pluviométrica estiver de um ponto X em relação às estações vizinhas, menor será seu peso.

Na *Krigeagem* o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, exceto que nesse método os pesos são determinados com base no semivariograma experimental (FIG. 12). Segundo Macedo (MACEDO, 2001), o interpolador de média ponderada calcula o valor de cota ( $z$ ) de cada ponto da grade, a partir da média ponderada das cotas de  $n$  estações pluviométricas vizinhas mais próximas, porém atribui pesos variados para cada ponto amostrado através de uma função matemática, que considera a distância do ponto cotado ao ponto da grade.

A FIG. 12 demonstra que através do interpolador por *Krigeagem* Universal a espacialização dos dados decendiais de chuva não apresenta a realidade geográfica da bacia do rio Doce, pois os contornos de cada campo de chuva são retilíneos (vectorizados), não levando em conta as características topográficas da área analisada. Pelo interpolador Inverso do Quadrado da Distância, estes contornos são respeitados, demonstrando cartograficamente a influencia das condições topográficas na distribuição das chuvas, tornando-se o mais próximo da realidade em questão (FIG. 13).

Após análise e comparação, obteve-se o resultado de que o melhor método para interpolar os dados climatológicos foi o Inverso do Quadrado das Distâncias (FIG. 13), resultados também obtidos por Coelho (2006), Amorim (2005) e Minuzzi (2003).

Para a geoespacialização das médias pluviométricas decendiais, utilizou-se o interpolador *Inverse Distance Weighting* (IDW) do *software ArcView*, versão 9.2, em ambiente *Windows*, em que o peso da célula a ser interpolada ( $G_i$ ) é dado por uma média ponderada que utiliza o peso dos pontos de controle mais próximos (definido pelo usuário), ponderados pelo inverso da distância elevado a um expoente  $m$  (definido pelo usuário), sendo representado, matematicamente, por:

$$G_i = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i}{d_i^m} \right)}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{d_i^m} \right)} \quad (1)$$

$x_i$  = o peso do  $i$ -ésimo ponto amostrado;

$d_i$  = a distância euclidiana do  $i$ -ésimo ponto amostrado ao ponto atual;

$m$  = expoente da função de distância euclidiana.

Utilizou-se arquivos *shape*, que compõem o formato nativo do programa computacional *ArcGIS*. Estes arquivos formam o que se conhece como formato *Shapefile* e extensão *shp*, para imagens vetoriais, contendo as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais e Hidrografia, disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas, IGAM, e a porção espacial da bacia hidrográfica do rio Doce referente ao Espírito Santo, disponibilizado pela Agência Nacional de Águas, ANA; todos os arquivos possuem sistema de coordenadas geográficas e *South American Datum 1969/SAD69*.

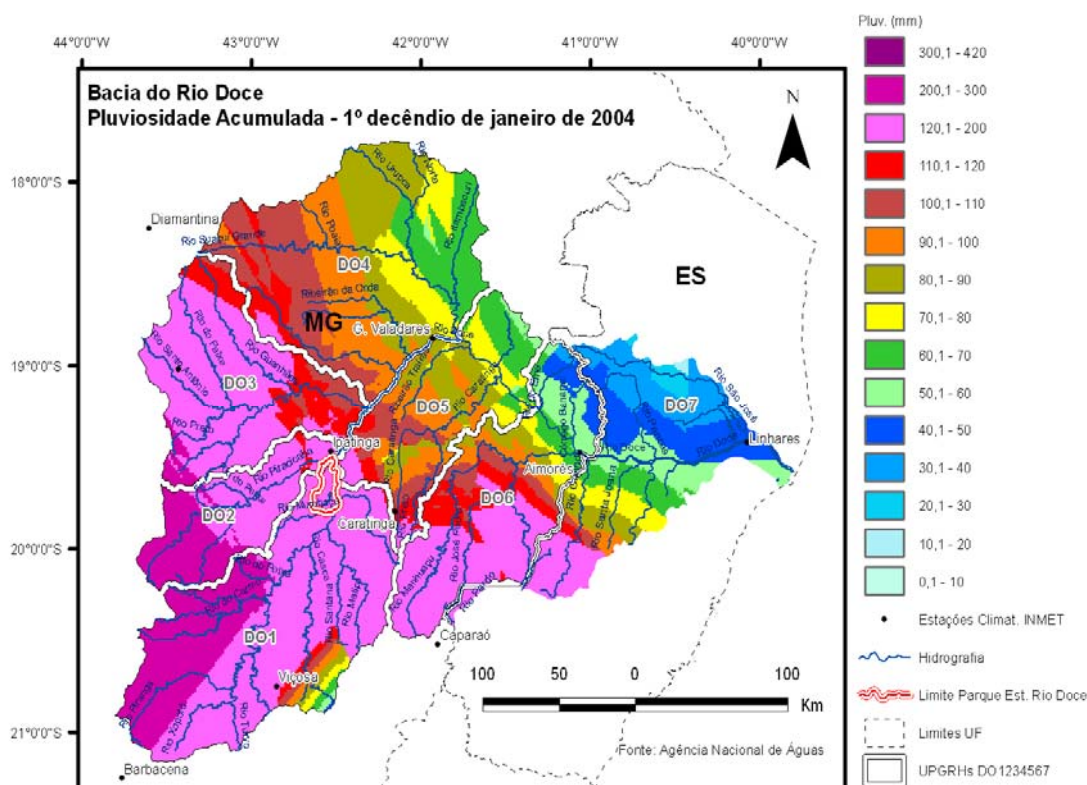


FIGURA 12 - Interpolação pelo método Krigagem Universal.

Sobre o mapa da bacia do rio Doce, compreendendo uma área de 71.690 Km<sup>2</sup> em Minas Gerais e 11.290Km<sup>2</sup> no Espírito Santo, num total de 82.980Km<sup>2</sup>, foram plotados, separadamente, os valores médios de pluviosidade de cada um dos trinta e seis decênios para as estações pluviométricas.

Foram considerados os quatro pontos mais próximos para interpolação (*neighbors to include*) e o emprego da segunda potência (*power*) para o cálculo da distância euclidiana, sendo gerados trinta e seis mapas *raster* decenciais de interpolação da pluviosidade com *pixel*<sup>1</sup>, de tamanho 0,556Km (FIG. 13).

<sup>1</sup> Mapas que representam dez dias, contendo a descrição de cada *pixel*, em oposição aos gráficos vetoriais. *Pixel* é o menor ponto que forma um mapa digital, sendo que o conjunto de milhares de *pixels* forma o mapa inteiro.

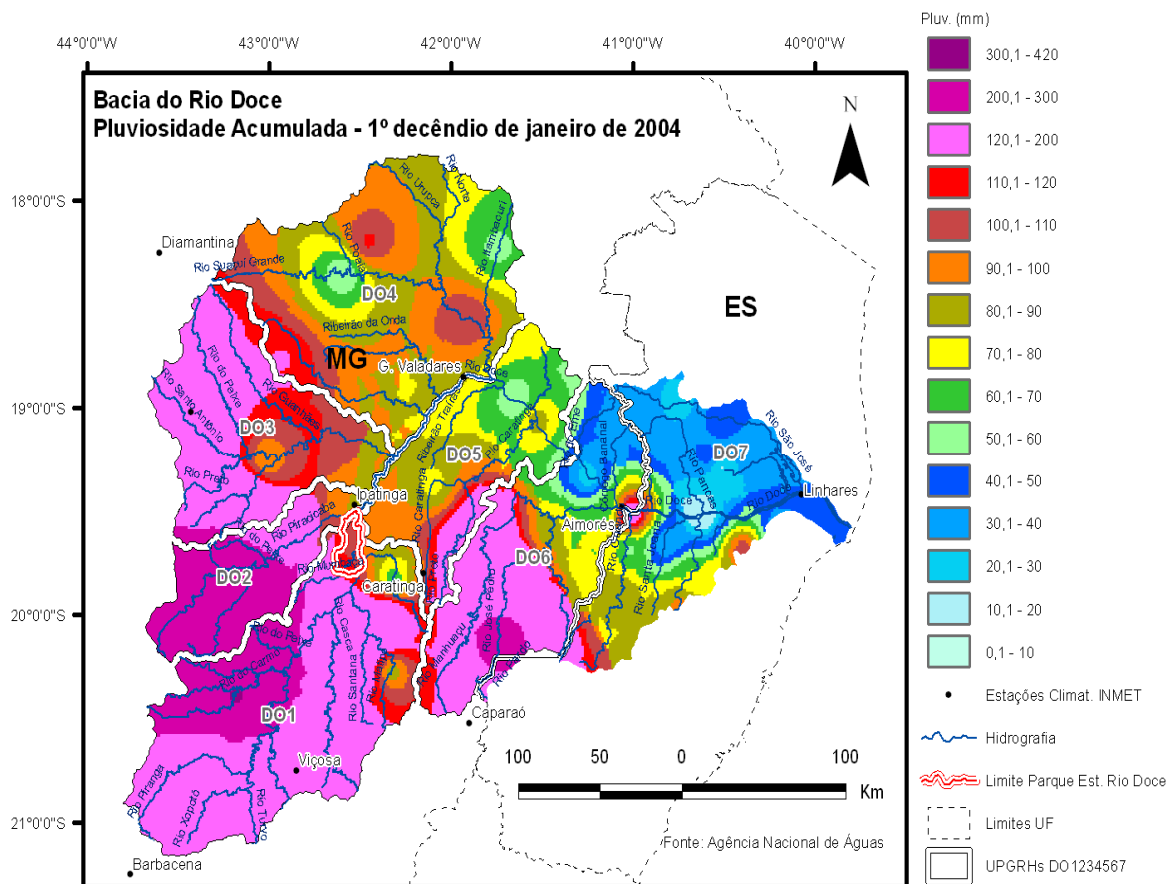


FIGURA 13 - Resultado do processo *Inverse Distance Weighting* (IDW).

### 3.1.2.3. Decêndios

A bacia do rio Doce representa, numa escala menor, se comparada com o Estado de Minas Gerais, uma grande diversidade climática. Ela apresenta um padrão de chuvas bastante irregular, em função da sua localização geográfica, distribuição de seu relevo e influência da maritimidade. Tal fato indica que a elaboração de mapas mensais de média de precipitação não é suficiente para obter informações mais precisas do padrão de chuvas na bacia. Por esta razão, foram elaborados mapas decêndiais na tentativa de se obter peculiaridades regionais para toda a bacia, esta dividida em unidades conforme descritas no item 3.1.2.2.

O decêndio equivale a um período de dez dias consecutivos para os quais se calcula a média de uma variável. Portanto, um mês contém três decêndios e o ano trinta e seis. A tabela 1 demonstra a distribuição do número de decêndios e as datas correspondentes ao calendário convencional. Nota-se que nos meses que apresentam trinta e um dias, a média do 3º decêndio é elaborada para onze dias. Outra característica refere-se ao mês de fevereiro, cuja média do 3º decêndio é calculada para oito dias, sendo que para anos bi sextos a média refere-se a nove dias.

TABELA 1

Número de decêndios e as datas correspondentes ao calendário convencional

Decêndios	Datas	Decêndios	Datas
1	01 - 10 de janeiro	19	01 - 10 de julho
2	11 - 20 de janeiro	20	11 - 20 de julho
3	21 - 31 de janeiro	21	21 - 31 de julho
4	01 - 10 de fevereiro	22	01 - 10 de agosto
5	11 - 20 de fevereiro	23	11 - 20 de agosto
6	21 - 29 de fevereiro	24	21 - 31 de agosto
7	01 - 10 de março	25	01 - 10 de setembro
8	11 - 20 de março	26	11 - 20 de setembro
9	21 - 31 de março	27	21 - 30 de setembro
10	01 - 10 de abril	28	01 - 10 de outubro
11	11 - 20 de abril	29	11 - 20 de outubro
12	21 - 30 de abril	30	21 - 31 de outubro
13	01 - 10 de maio	31	01 - 10 de novembro
14	11 - 20 de maio	32	11 - 20 de novembro
15	21 - 31 de maio	33	21 - 30 de novembro
16	01 - 10 junho	34	01 - 10 de dezembro
17	11 - 20 de junho	35	11 - 20 de dezembro
18	21 - 30 de junho	36	21 - 31 de dezembro



#### *3.1.2.4. Distribuição Temporal das Chuvas*

Neste trabalho, adotou-se uma nova metodologia para caracterizar as estações chuvosa e seca e seus respectivos períodos de transição. Tal metodologia consistiu, inicialmente, na identificação de duas estações, contendo máxima em Conceição do Mato Dentro, UPGRH – DO3, e mínima em Ipatinga, UPGRH – DO5, para precipitação anual acumulada. Considerou-se também uma estação representativa de toda a bacia, mediante média temporal e espacial das chuvas incidentes. Os dados médios decendiais das três séries foram representados em um gráfico ao qual se acrescentaram médias anuais de toda a bacia e dos períodos outubro–março e abril–setembro, como se observa na FIG. 14.

Para determinada localidade ou área representada, assumiu-se que o início da estação chuvosa corresponde à data em que a curva ascendente cruza a média do período outubro–abril. O final da estação se refere à data em que a descendente cruza a mesma média. Analogamente, a duração da estação seca limita-se entre as datas em que a curva descendente cruza a média maio–setembro e a data em que a ascendente volta a cruzá-la. Para a mesma localidade, o período de transição entre a estação chuvosa e a estação seca limita-se entre o final da chuvosa e o início da seca.

O critério de médias em longo prazo, assumido para um histórico de dados decendiais, é suficientemente próximo do real início e fim das estações chuvosa e seca. De tal maneira que, traçando as curvas do gráfico, da média em longo prazo para toda bacia, com base no histórico de dados decendiais, observou-se que o início da estação chuvosa ocorre no período entre o 2º e o 3º decêndios de outubro e finaliza-se entre os decêndios 3º de março e 1º de abril (FIG. 14).

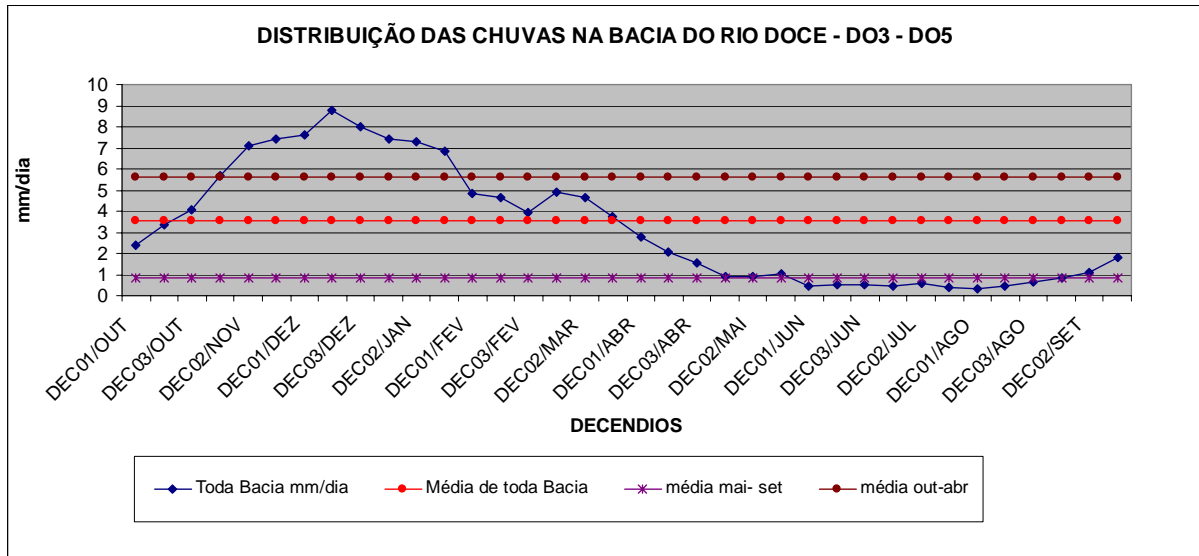


FIGURA 14 - Distribuição temporal da média decendial da precipitação na bacia do rio Doce – UPRHS DO3 a DO5.  
Fonte de Dados: ANA.

### 3.1.2.5. Balanço Hídrico Climatológico

Neste estudo foram calculados os balanços hídricos pelo método Thornthwaite e Mather (1955), que fornecem as deficiências de umidade, os excedentes de água sujeitos a percolação e escoamento superficial, a evapotranspiração real e a umidade armazenada nas zonas das raízes.

Para caracterização do Balanço Hídrico da Bacia Hidrográfica do rio Doce, foram selecionadas as Estações Climatológicas Principais (ECPs) de Diamantina, Conceição do Mato Dentro, Barbacena, Caparaó, Viçosa, Caratinga, Ipatinga, Governador Valadares, Aimorés e Linhares que pudessem representar todas as condições ambientais existentes na mesma. Foram consideradas estações representativas do Alto, Médio e Baixo rio Doce, bem como aquelas que expressam o comportamento das porções mais elevadas da bacia, como a serra do Espinhaço e parte do domínio também serrano da Mantiqueira.

Como a bacia tem grande extensão e acentuados desnivelamentos, as chuvas e as temperaturas não se distribuem de maneira uniforme. Isso é percebido por meio dos cálculos dos balanços hídricos com dados de dez estações climatológicas do INMET (Aimorés, Barbacena, Caparaó, Caratinga, Conceição do Mato Dentro, Diamantina, Ipatinga, Governador Valadares, Viçosa e Linhares), em sete áreas bem distintas, quanto ao tamanho da bacia, rios principais e a paisagem geográfica. Para a elaboração do balanço hídrico utilizou-

se o programa computacional SIM (Sistema de Informações Meteorológicas) para organização e análise de dados meteorológicos. Este programa foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para o cálculo do balanço hídrico, os dados utilizados foram obtidos do INMET e referem-se às precipitações e temperaturas médias decendiais, por um período de vinte e três anos (1980 – 2002).

A capacidade de campo assumida para a região foi de 100 mm, em razão da presença de latossolos (NIMER *et. al*, 1989), encontrados em áreas onde se situam as nove estações climatológicas, assim como a composição de argilas e areias argilosas na região de Linhares no Espírito Santo (STRAUCH, 1954) (FIG. 15).

A representação do balanço hídrico tem por finalidade permitir a visualização do ritmo anual dos elementos básicos e facilitar sua interpretação quanto à determinação de épocas com excedentes ou com deficiências de água no solo para atendimento das necessidades agrícolas e hidroclimatológicas.

A FIG. 15 exemplifica um balanço hídrico para a região onde se identificam as variáveis. A deficiência hídrica é o resultado (negativo) do balanço hídrico no qual o total de água que entra no sistema via precipitação é menor que a quantidade total de água perdida pela evaporação e pela transpiração por meio das plantas; o excedente hídrico representa resultado (positivo) do balanço hídrico no qual o total de água que entra no sistema via precipitação é maior que a quantidade total de água perdida pela evaporação e pela transpiração pelas plantas; a retirada hídrica é a máxima capacidade de perda da quantidade total de água no solo e pelas plantas, e atinge cotas acima da deficiência; a reposição hídrica representa as primeiras chuvas que começam a repor a água, retirada na estação seca, ao solo.

Os dados decendiais de precipitação, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real são plotados, dando origem às barras representando as variáveis deficiência, excedente, retirada e reposição. Da esquerda para direita, na FIG.15, ordenam-se os decêndios referentes aos meses de: janeiro (J1, J2, J3), fevereiro (F1,F2 , F3), março (M1, M2, M3), abril (A1, A2, A3), maio (M1, M2, M3), junho (J1, J2, J3), julho (J1, J2, J3), agosto (A1, A2, A3), setembro (S1, S2, S3), outubro (O1, O2, O3), novembro (N1,N2,N3) e dezembro (D1, D2, D3).

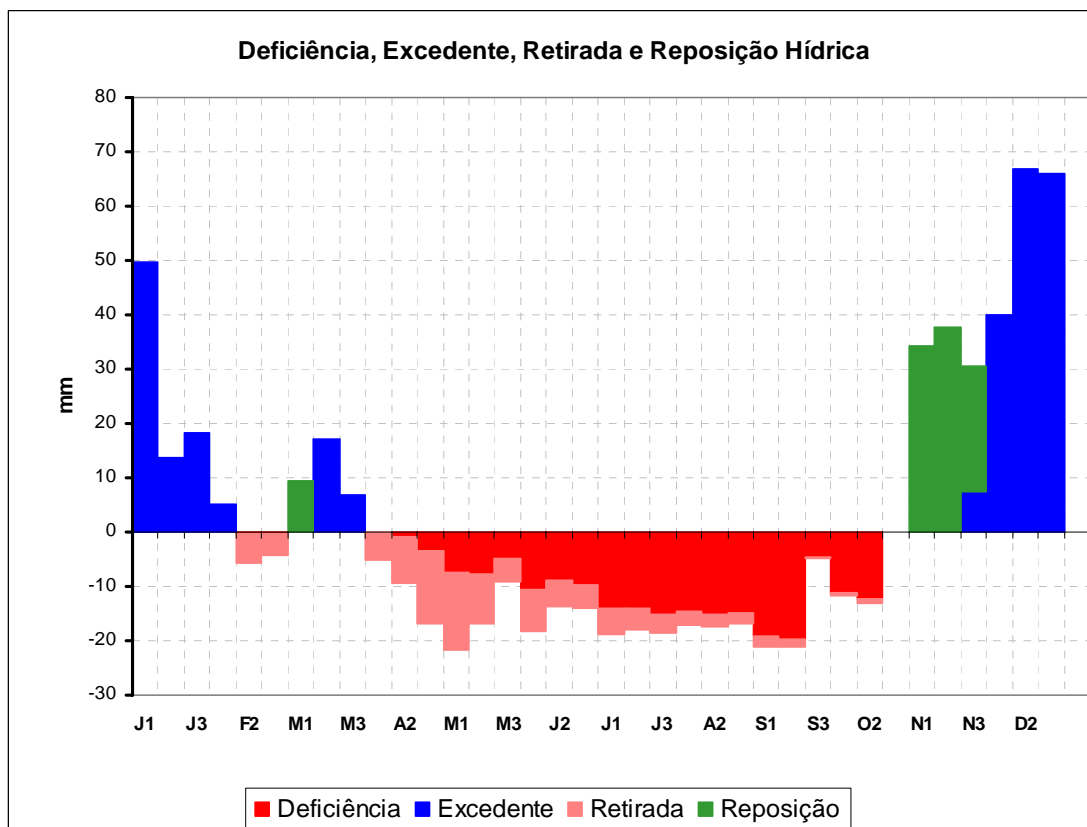


FIGURA 15 - Balanço hídrico decendial de Ipatinga - MG, 1980-2002, INMET.

### 3.1.2.6. Os critérios hidroclimáticos

#### 3.1.2.6.1. Critério adotado para cálculo dos períodos chuvoso (DPC) e seco (DPS)

Para calcular a precipitação média sazonal da chuva, foi computado o somatório da frequência de ocorrência da variável pluviosidade para a série dos trinta e seis decêndios (Tabela 1), para as estações chuvosa e seca, dividido pelo período de anos correspondente a cada um dos cinquenta e dois postos pluviométricos da ANA, tal que:

$$Pm = \frac{\sum_{i=1}^{nd} di}{N} \quad (2)$$

$Pm$  = Precipitação média sazonal DPC e DPS por ano

$nd$  = número de decêndios DPC e DPS

$\sum_{i=1}^{nd} di$  = somatório das precipitações acumuladas por decêndio, DPC e DPS

$N$  = número de anos de dados para cada local

### 3.1.2.6.2. Critério adotado para cálculo médio de vazão

Para calcular a vazão média para cada estação fluviométrica e cada decêndio, usou-se a expressão:

$$V_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^N v_{i,j,k}}{N} \quad (3)$$

$V_{i,j}$  = Vazão média anual para cada decêndio ( $i = 1, \dots, 36$ ) e para cada estação fluviométrica ( $j = 1, \dots, 58$ );

$v_{i,j}$  = vazão acumulada para cada decêndio ( $i = 1, \dots, 36$ ), para cada estação fluviométrica ( $j = 1, \dots, 58$ ) e para cada ano (1 a N);

$N = 20$  é o número de anos em estudo.

A partir desta expressão, foram gerados trinta e seis mapas de média decendial da vazão na bacia do rio Doce (FIG. 16), para cada uma das cinquenta e oito estações fluviométricas, objetivando detectar os decêndios nos quais a vazão atinge cotas acima e abaixo da média, para relacioná-los com os mapas decendiais das médias de precipitação.

Nos mapas de vazão cada ponto representa a média histórica dos dados no período de 1973 – 2002, para uma estação fluviométrica, totalizando cinquenta e oito pontos. Esta média pontual é variável para cada decêndio. A unidade de medida é expressa em metros cúbicos ( $m^3/s$ ).

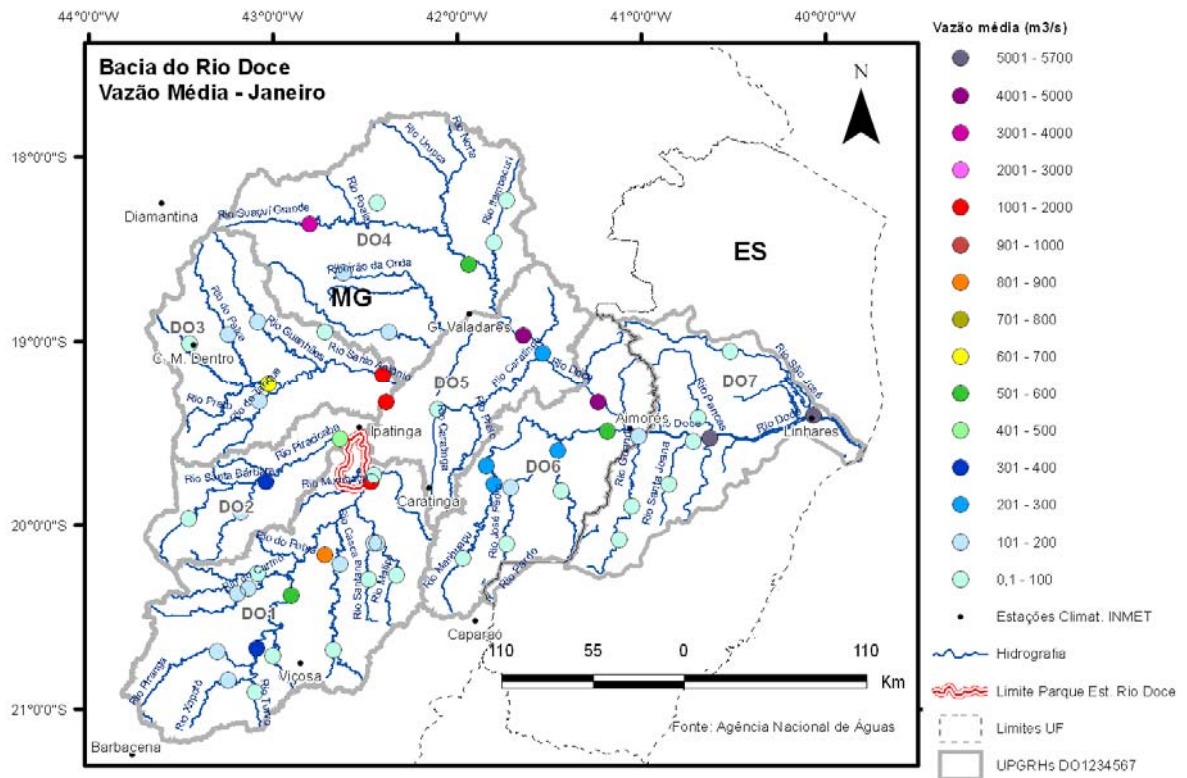


FIGURA 16 - Média da vazão na bacia do rio Doce para o mês de janeiro.  
Fonte de dados: ANA.

### 3.1.2.7. Aspectos dinâmicos que influenciam na espacialização das chuvas na Bacia do rio Doce.

Para verificar os processos dinâmicos que atuam sobre a América do Sul e oceanos adjacentes, durante a estação chuvosa, e que influenciam o regime de chuva da bacia do rio Doce, foram gerados mapas climatológicos decendiais referentes ao período de 1973 a 2003. Para tanto, foram utilizados dados de re-análise do NCEP (*National Center for Environment Prediction*), obtidos via portal do CDC/NOAA (*Climate Diagnostic Center/National Oceanic and Atmospheric Administration*). Foram considerados dados diários de vento, com resolução

horizontal de 2,5° e trabalhados no visualizador gráfico GrADS (*Grid Analysis and Display System*).

Os campos decendiais de chuva foram gerados a partir dos dados pentadais (cinco dias) de precipitação extraídos do CMAP (*CPC Merged Analysis of Precipitation*). O CMAP consiste na média pentadal de taxa de precipitação (mm/dia) obtida pela combinação de estimativa de satélites e re-análises do NCEP. O conjunto de dados apresenta setenta e três pentadas por ano, sendo que a segunda pênada corresponde ao período de 25 de fevereiro a 01 de março. A resolução dos dados é de 2,5° x 2,5° e o período considerado foi 1979 a 2003.

O domínio espacial para América do Sul, Oceanos Pacífico e Atlântico, foi definido entre as coordenadas geográficas entre 15° de latitude norte, 60° de latitude sul, 120° de longitude oeste e 10° de longitude leste, englobando as variáveis: componentes meridional e zonal do vento; convergência e divergência; e linhas de corrente para os níveis de 200, 500 e 850 hPa. Outro domínio espacial, referente às coordenadas 17,5° de latitude sul, 21,5° de latitude sul, 39,5° de longitude oeste e 44° de longitude oeste foi definido para a bacia do rio Doce, para as variáveis: componentes meridional e zonal do vento no nível de 850 hPa (FIG. 17).

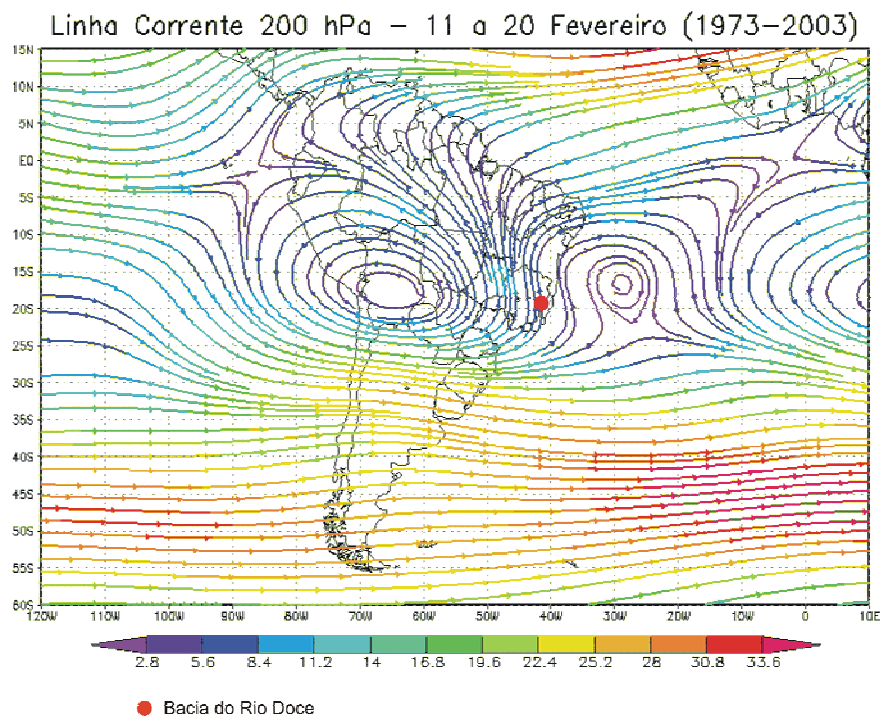


FIGURA 17 - Campos de linhas de corrente 200 hPa (a,b,c) e 850 hPa (d,e,f), 2° decêndios de fevereiro (1973-2003) com a localização da Bacia do rio Doce.  
Fonte: NOAA.

As variáveis atmosféricas analisadas nestes domínios são assim definidas e justificadas:

- *Componentes do Vento*: O vento é uma variável vetorial, ou seja, tem magnitude, direção e sentido. Desta forma, ele pode ser decomposto em duas componentes: meridional ( $v$ ), quando a parcela de ar se desloca no sentido norte-sul; e zonal ( $u$ ), quando o deslocamento é leste-oeste.
- *Convergência*, FIG.18: É a capacidade que o ar possui de se deslocar horizontalmente em direção a um ponto (ou área) de referência. Quando isto ocorre, o ar deve ascender ou descer em um plano perpendicular ao plano de área para onde ele converge.
- *Divergência*, FIG.18: É a capacidade do ar de se deslocar horizontalmente, afastando-se de um ponto (ou área) de referência.
- *Linhas de Corrente*: É a capacidade de visão instantânea, puramente sinótica, do escoamento atmosférico. As linhas de correntes são tangentes à velocidade observada simultaneamente em diferentes pontos do escoamento. A evolução temporal do escoamento é estudada pela disposição dessas linhas em instantes sucessivos. Elas representam a trajetória das parcelas de ar em várias altitudes, apresentadas em níveis de pressão constante.



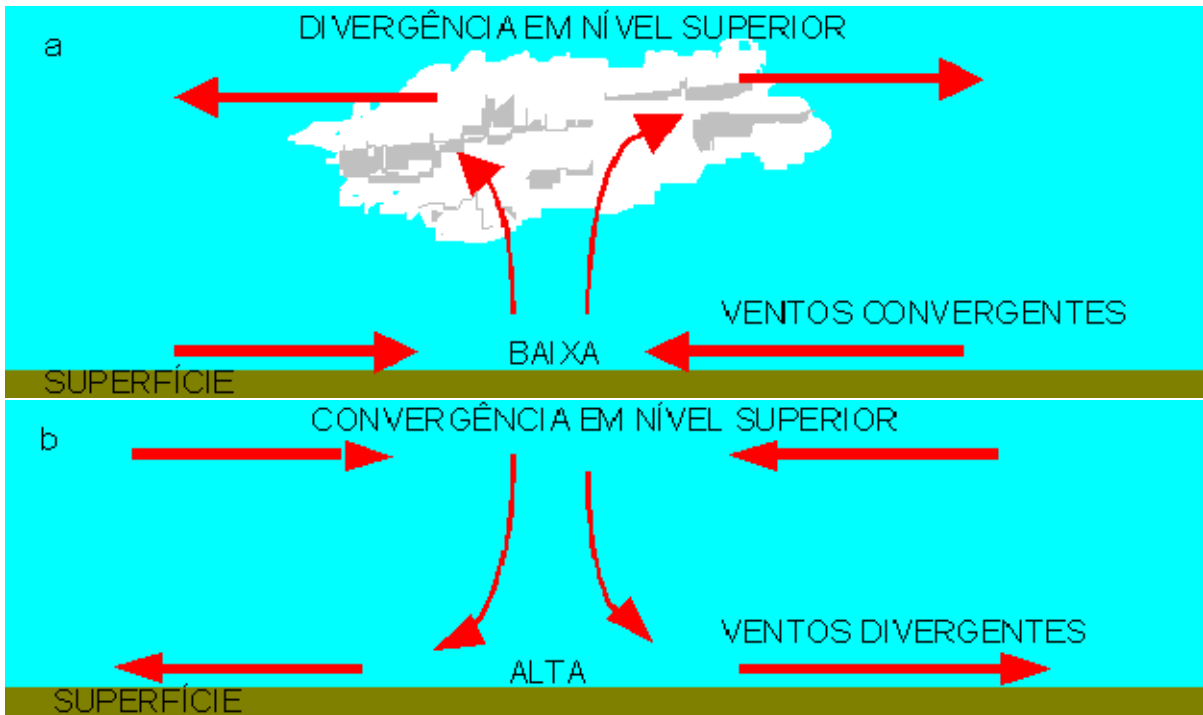


FIGURA 18 - Esquema das correntes de ar associadas à divergência e convergência do ar  
 Fonte: QUADRO *et. al*, 2003.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Distribuição temporal da média decencial das precipitações na bacia do rio Doce

Devido a sua extensão latitudinal e longitudinal, a bacia do rio Doce apresenta início e fim das estações chuvosa e seca em períodos diferentes, de acordo com cada Unidade de Planejamento.

Foram comparadas nas sete Unidades (DOs) a média do total anual de chuvas para cada UPGRHs e verificou-se que dentre das que apresentou maior total foi a DO3 e o menor foi a DO5.

A FIG. 19 demonstra estas diferenças. Compara-se a UPGRHs mais chuvosa (DO3) e a mais seca (DO5) da bacia:

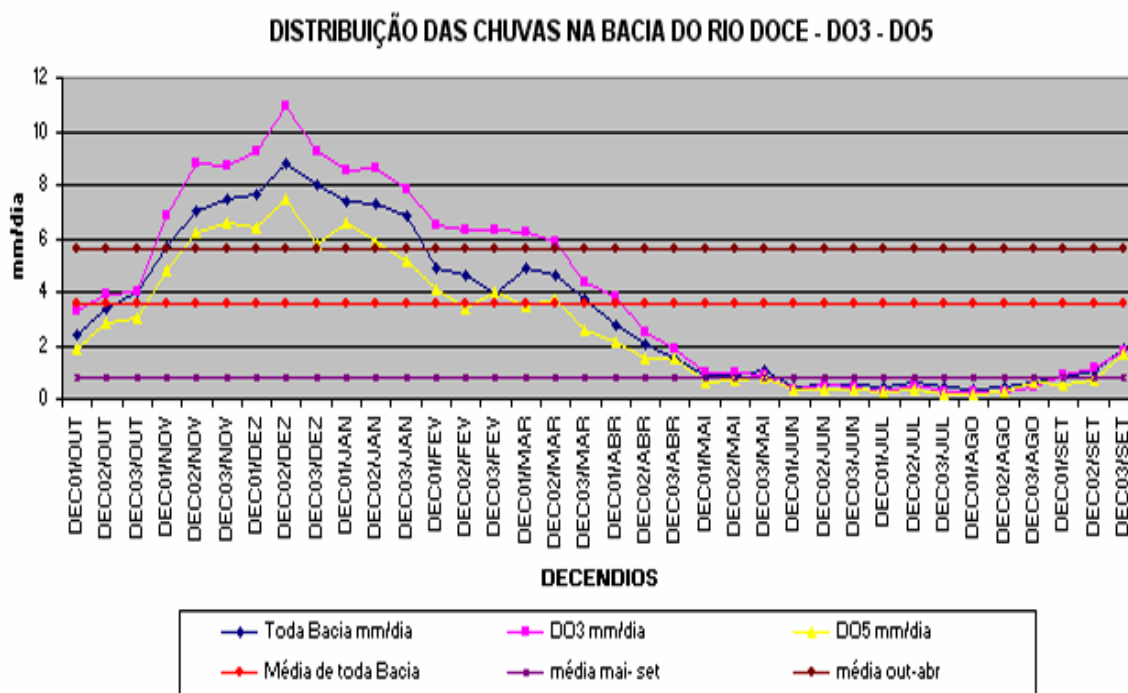


FIGURA 19 - Distribuição temporal da média decencial da precipitação na bacia do rio Doce – UPGRHs DO3 a DO5.

Fonte de dados: ANA.

Observa-se que a estação chuvosa, em toda a bacia, inicia-se em média a partir do 1º decêndio de novembro e finaliza-se com transição para a estação seca entre os decêndios 3º de janeiro e 1º de fevereiro com duração aproximada de 3 meses. A estação seca, por sua vez, inicia-se em média a partir do 1º decêndio de maio e finaliza-se com transição para a estação chuvosa no 1º decêndio de setembro, com uma duração aproximada de 3 meses.

Na UPGRHs DO3, a estação chuvosa inicia-se entre os decêndios 3º de outubro e 1º de novembro, antecedendo o início médio da bacia e termina no 2º decêndio de março, com duração de aproximadamente 4 meses e meio. O início da estação seca ocorre no 3º decêndio de maio e termina no 1º decêndio de setembro, com duração média de aproximadamente 3 meses, coincidindo com a média da bacia.

Na UPGRHs DO5, o início da estação chuvosa ocorre entre os decêndios 1º e 2º de novembro, e termina no 2º decêndio de janeiro, apresentando uma duração de 2 meses. A estação seca inicia-se no 1º decêndio de maio e termina no 2º de setembro, com duração média de aproximadamente 4 meses e meio. Como se vê, na unidade DO5 (região central da bacia), a estação chuvosa é significativamente menor que na unidade DO3 (região oeste da bacia) e a estação seca, ao contrário, é consideravelmente maior.

Considerando a existência de sete UPGRHs (DO1 a DO7) e com a finalidade de caracterizar a distribuição temporal da média decendial das precipitações na bacia do rio Doce, foram produzidos dois gráficos (FIG. 20 e 21). Os gráficos produzidos para cada uma das UPGRHs referem-se às duas estações que marcam a sazonalidade da área de estudo. O primeiro corresponde à estação chuvosa (outubro a abril), enquanto o segundo representa o período de estiagem (maio a setembro).

A FIG. 20 mostra que o 1º e o 2º decêndios de outubro e o 2º e 3º de abril representam as menores médias pluviométricas na estação chuvosa. Nestes decêndios a média pluviométrica varia entre 19 a 21 mm. No 1º e 2º decêndio de outubro, 3º de março e 1º do mês de abril, o intervalo das médias decendiais pluviométricas varia entre 21 a 38 mm, enquanto no 3º decêndio de outubro, no 1º de novembro, no 1º, 2º, 3º de fevereiro, bem como no 1º, 2º de março, o intervalo varia entre 64 e 78 mm. No 3º decêndio de janeiro e em todos os decêndios de fevereiro ocorre uma queda da média da pluviosidade, de 64 mm para 42 mm, caracterizando um processo de veranico. Os decêndios de dezembro e o 1º de janeiro, são os que apresentam, para todas as unidades, as maiores médias de precipitações, com intervalo variando entre 57,92 a 108,98 mm.

A FIG. 20 ainda mostra que, durante a estação das chuvas, as maiores médias das precipitações concentram-se no mês de dezembro, enquanto que as menores médias são

registradas em abril. Como citado anteriormente, o mês de fevereiro apresenta uma brusca redução da precipitação, configurando-se a existência de um veranico climatológico em toda a bacia, além do fato de ser o único mês a apresentar 28 dias. Em seguida mostra uma pequena elevação no 1º decêndio de março e a partir deste uma redução gradual da precipitação em direção ao início da estação seca. A partir de abril, inicia-se a transição para o período de estiagem, para toda a bacia.

A FIG. 21 mostra médias pluviométricas muito reduzidas entre os decêndios de maio a setembro, com variação entre 2 a 20 mm, caracterizando um período longo de estiagem. O último decêndio de julho e o 1º de agosto compõem o período mais seco das UPGRHs (DO1 a DO6). Nestes decêndios os valores apresentados para a unidade DO1 são muito reduzidos e sua distribuição temporal mostra-se correlata ao período de maior evidência do caráter decidual, período em que ocorre queda das folhas, que se expressa nas coberturas florestais, localizadas na porção sudoeste da bacia do rio Doce.

É importante destacar que esta porção da bacia comporta as unidades de relevo de maior expressão altimétrica da área de estudo, favorecendo, nesta mesma época, a ocorrência das temperaturas mais baixas do ano. Nas áreas serranas, como no conjunto da Mantiqueira, é registrada a presença da floresta mista, que se configura como um domínio de floresta atlântica associada à ocorrência da *araucária angustifolia*, o Pinheiro do Paraná. Cabe destacar que, do ponto de vista topográfico, o domínio da Mantiqueira, que caracteriza a unidade DO1, apresenta-se como uma unidade de relevo mais contínua, diferentemente das serras do Quadrilátero Ferrífero, que se mostram como unidades estreitas e alongadas.

Os decêndios de dezembro e de janeiro são os que apresentam, dentro da unidade DO2, as maiores médias de precipitações, com variação pluviométrica entre 84 a 102 mm. Do 3º decêndio de janeiro aos decêndios de fevereiro, ocorre uma queda brusca da pluviosidade de 94 mm para 54 mm, caracterizando um intenso processo de veranico.

É importante observar que as unidades DO2 e DO3 são as que apresentam maiores alturas pluviométricas para quase todos os decêndios analisados. Para os decêndios de dezembro e janeiro esta diferença é muito evidente.

Os dados observados para a unidade DO3 mostram que os decêndios 1º, 2º de outubro e todos os de abril comportam as menores médias pluviométricas, com uma variação entre 38,93 a 16,35 mm (FIG. 20). Nos decêndios 3º de outubro e fevereiro, 2º e 3º de março, os intervalos das médias pluviométricas são menores e estas estão compreendidas entre 41,44 a 58,56 mm. No 1º decêndio de novembro e no 1º e 2º decêndios de fevereiro, o intervalo das médias pluviométricas varia de 63,45 a 68,68 mm. A FIG. 20 mostra que os decêndios 2º e 3º

de novembro, o 1º de dezembro e os de janeiro apresentam médias pluviométricas maiores, variando entre 85,40 a 92,53 mm. Os decêndios 2º e 3º de dezembro são os que apresentam, dentro da unidade DO3, as maiores médias de precipitações, com um intervalo variando entre 101,91 a 108,98 mm. Salienta-se que do 3º decêndio de janeiro para os decêndios de fevereiro ocorre uma queda brusca da pluviosidade, de 86,52 mm para 50,15 mm.

A análise da distribuição dos decêndios para as unidades DO1, DO2 e DO3 mostra um aumento no índice pluviométrico de sul para norte nos decêndios de dezembro, alinhado à orientação das estruturas serranas que configuram a porção mais ocidental da bacia hidrográfica do rio Doce. Esta diferença é mais nítida durante os decêndios mais chuvosos, como aqueles concentrados entre os meses de dezembro e janeiro. Geograficamente, pode-se afirmar que há um aumento no índice pluviométrico decendial das terras altas da Mantiqueira em direção às serras do Quadrilátero Ferrífero. Considerando as três unidades citadas, o volume pluviométrico anual é de 1248,2 mm para DO1, de 1394,3 mm para DO2 e de 1449,0 mm para a unidade DO3.

A FIG. 21 mostra médias pluviométricas muito reduzidas entre os decêndios dos meses de maio a setembro, com variação entre 2 a 20 mm, caracterizando um período longo de estiagem. Mais uma vez, trata-se de um comportamento característico para toda a bacia do rio Doce. A comparação entre a distribuição decendial dos períodos de estiagem para a bacia, mostrada pela FIG. 21, permite concluir que das três primeiras unidades a DO3 mostra-se como a portadora dos decêndios de menor índice de precipitação. Trata-se de um aspecto a ser destacado, já que em tal unidade registraram-se as médias mais elevadas de precipitação de toda a área estudada, ao longo da estação chuvosa. Tal fato pode estar relacionado a fatores locais, como a topografia e a latitude, favorecendo, na estação seca, o direcionamento da umidade para o sudoeste da bacia, nas unidades DO1 e DO2.

As Unidades DO2 e DO3 também abrangem áreas de domínios tipicamente serranos. Trata-se da porção do rio Doce que possui suas nascentes localizadas na região do conjunto das serras que formam a borda leste e sul do Quadrilátero Ferrífero. Este conjunto de terras altas desta porção do Estado de Minas Gerais aloja as nascentes que compõem a bacia hidrográfica do rio Piracicaba, importante afluente do rio Doce pela margem esquerda. Este conjunto serrano representa uma transição abrupta entre os domínios rebaixados do domínio colinoso do leste e sul de Minas, representando, assim, uma importante influência estrutural nas chuvas, tanto no volume como na distribuição, quando comparado com dados registrados nos domínios do oeste do Quadrilátero Ferrífero. Esta transição climática marca, também, a

transição do bioma da floresta atlântica para as áreas savânicas da bacia do rio São Francisco, demonstrando um indício de que o Espinhaço é um divisor climático.

As alturas pluviométricas na vertente oeste do Espinhaço são mais elevadas que as da porção leste, pois este relevo serrano, através de seu efeito orográfico, potencializa e direciona o escoamento da umidade, vinda da Amazônia, para a vertente oeste desta região serrana.

Na unidade DO4, o 3º decêndio de abril é portador da menor média pluviométrica para o período analisado, com uma altura de 16,35 mm (FIG. 20). Em seguida, os decêndios 1º e 2º de outubro, 3º de fevereiro e março, 1º e 2º de abril apresentam médias pluviométricas pouco mais elevadas, variando de 21,17 a 36,41 mm. Os decêndios 3º de outubro, 1º de novembro, 1º e 2º de fevereiro e março apresentam médias com variação entre 40,82 a 53,09 mm. Nos decêndios 2º e 3º de novembro, 1º e 3º dezembro e todos os de janeiro, o intervalo das médias pluviométricas varia entre 61,04 a 78,09 mm. Nesta unidade, o 2º decêndio de dezembro destaca-se, com média de precipitação de 83,34 mm.

É importante salientar que a unidade DO4 mostra uma redução na tendência de elevação das médias decendiais pluviométricas de sul para norte. Dentre as quatro unidades já analisadas, esta se apresenta como a de menor precipitação, cerca de 1140,5 mm ao ano. Ela se encontra posicionada na transição dos domínios tropical de altitude para o semi-árido mineiro. Além do mais, esta transição deve-se ao alinhamento norte-sul da porção setentrional da serra do Espinhaço, como divisor climático, que em sua vertente oriental orienta a subsidência do ar à superfície, fato este que será explorado no item 4.4. Tais características devem ser consideradas para a explicação das médias decendiais de precipitação mais reduzidas que caracterizam esta porção da bacia do rio Doce.

Por se tratar da estação seca (FIG. 21), observaram-se médias pluviométricas muito reduzidas entre os decêndios dos meses de junho, julho e agosto, variando entre 2,43 a 5,38 mm. Os decêndios 1º e 2º de setembro apresentam alturas pluviométricas variando entre 7,36 a 7,97 mm. Por se tratar de um período de transição da estação seca para a chuvosa, o 3º decêndio de setembro tem a maior média pluviométrica na unidade DO4, 16,39 mm.

Na unidade DO5 (FIG. 20), observam-se nos decêndios 1º de outubro, 2º e 3º de abril, as menores médias pluviométricas na estação chuvosa, com cotas variando entre 18,76 a 14,75 mm. Para os decêndios 2º de outubro, 1º de abril e 3º de março as médias de precipitação variam entre 21,76 a 28,39 mm. Nos decêndios 3º de outubro, 2º e 3º de fevereiro e 1º e 2º de março, o intervalo das médias decendiais pluviométricas varia entre 31,67 a 37,48 mm, enquanto que os decêndios 1º de novembro e os de fevereiro apresentam o intervalo variando entre 40,65 a 47,94 mm. Nesta unidade, os dados referente aos decêndios 2º e 3º de

novembro, 2º e 3º de dezembro e os de janeiro apresentam um intervalo das médias pluviométricas variando entre 56,22 a 66,02 mm. Destaca-se o 1º decêndio de dezembro como o de maior média de precipitação dentro da estação chuvosa, 74,62 mm.

Dentro da unidade DO5 (FIG. 21), durante a estação seca, os decêndios de junho, julho, 1º e 2º de agosto são os que apresentam as menores médias de precipitação, variando entre 1,72 a 3,88 mm, enquanto que nos decêndios de maio, 3º de agosto e 1º e 2º de setembro, as médias variam de 5,39 a 9,14 mm. O decêndio de maior média pluviométrica refere-se ao 3º de setembro, 16,98 mm.

Ressalta-se que na unidade DO5 observam-se as menores médias pluviométricas de toda a bacia do rio Doce, tanto nos decêndios da estação chuvosa, variando entre 14,75 a 74,62 mm (FIG. 20), quanto na estação seca, 1,72 a 16,98 mm (FIG. 21). Tal fato pode estar relacionado a uma existência de uma descontinuidade no padrão de chuvas ocasionadas por mecanismos atmosféricos que induzem a subsidência do ar à superfície, como será visto no item 4.4. Salienta-se que estes mecanismos atmosféricos combinados com fatores geográficos, como as terras mais baixas compostas por fundo de vale, e a longa distância do oceano podem contribuir para esta descontinuidade.

Na unidade DO6 (FIG. 20) observam-se nos decêndios 1º e 2º de outubro e os de abril, médias pluviométricas da estação chuvosa com cotas variando entre 14,61 a 29,63 mm. Os decêndios 3º de outubro, fevereiro e março variam entre 32,27 a 44,75 mm, enquanto que nos de novembro, 1º e 3º de dezembro e nos de janeiro as médias variam de 53,09 a 71,76 mm. Observa-se que o 2º decêndio de dezembro é o que apresenta a maior média de precipitação da unidade, 82,20 mm.

Na FIG. 21, na unidade DO6, observam-se médias pluviométricas muito reduzidas entre os decêndios dos meses de maio a setembro, com cotas variando entre 3,16 a 14,6 mm, caracterizando um período longo de estiagem.

Na FIG. 20 (unidade DO7) observam-se nos decêndios de outubro, fevereiro, 2º e 3º de março e os de abril, as menores médias pluviométricas na estação chuvosa, com valores variando entre 16,35 a 39,30 mm. Enquanto que os decêndios 1º de novembro, 1º e 3º de janeiro apresentam médias de chuvas mais elevadas, variando entre 47,64 a 57,92 mm. Destacam-se os decêndios com as maiores médias da estação chuvosa: 2º e 3º de novembro; os de dezembro; e o 2º de janeiro, com intervalos que variam entre 61,73 a 70,63 mm.

Na estação seca (FIG. 21), comparada às outras UPGRHs, a DO7 é a que apresenta as maiores médias pluviométricas da bacia do rio Doce, com intervalos variando de 6,01 a 12,71 mm. Destaca-se, como o decêndio de maior média pluviométrica, o 3º de setembro. Tais fatos

sugerem que esta posição de destaque em relação às outras unidades esteja relacionada à influência da maritimidade.

É importante destacar que esta porção da bacia comporta as unidades de relevo de menor expressão altimétrica da área de estudo, favorecendo, nesta mesma época, a ocorrência das temperaturas mais altas durante o ano. Nas áreas menos elevadas, vale médio e área litorânea, é registrada a presença do domínio de floresta atlântica associada à ocorrência de vegetação litorânea rasteira. Cabe destacar que, do ponto de vista topográfico e geomorfológico, o domínio litorâneo, que caracteriza a unidade DO7, apresenta-se como uma unidade de relevo composta por Planície Litorânea, Tabuleiros e Colinas Rebaixadas Litorâneas.

Considerando as três últimas unidades citadas, o volume pluviométrico anual é de 979,25 mm para DO5, de 1093,37 mm para DO6 e de 1089,65 mm para a unidade DO7. Conclui-se que a unidade que apresenta, para toda bacia, o maior total pluviométrico é a DO3 e o menor a DO5.

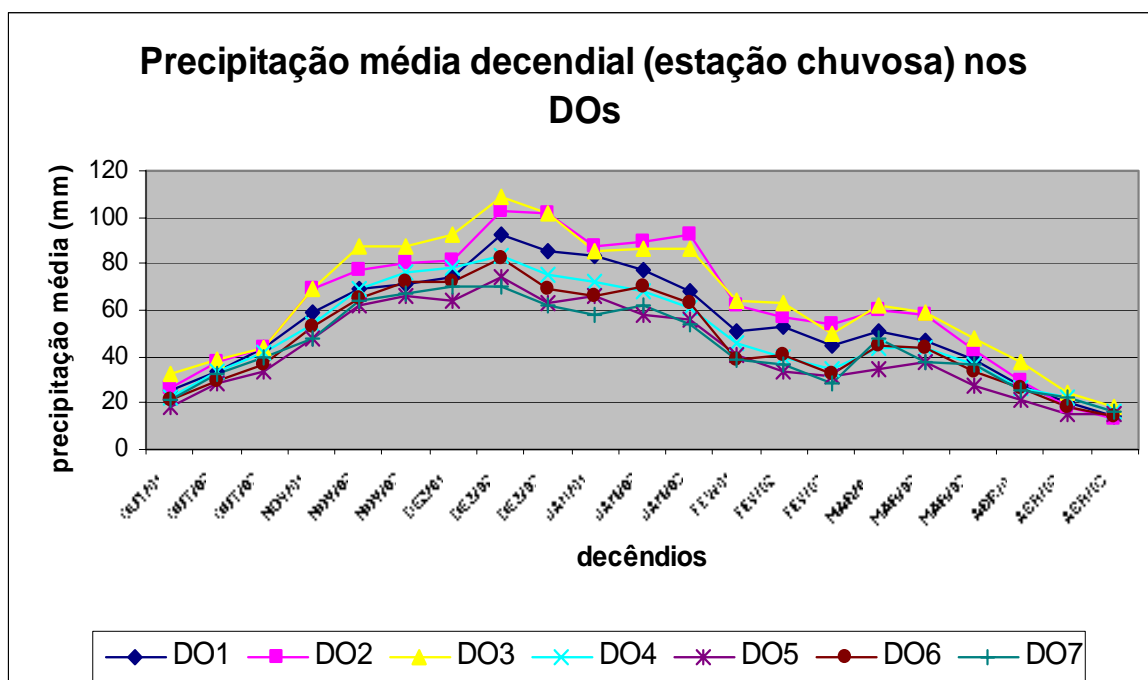


FIGURA 20 - Distribuição temporal da média decendial da precipitação na bacia do rio Doce – UPRHS DO1 a DO7, estação chuvosa. Fonte de Dados: ANA.



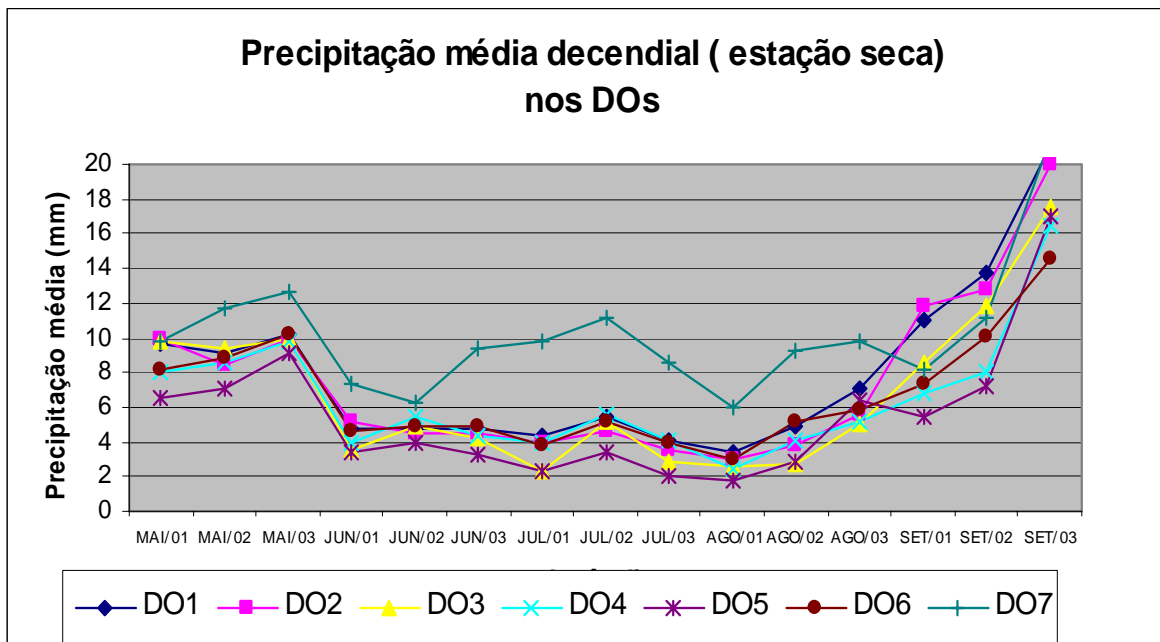


FIGURA 21 - Distribuição temporal da média decendial da precipitação na bacia do rio Doce – UPGRHS DO1 a DO7, estação seca.  
Fonte de Dados: ANA.

## 4.2. Espacialização da média decendial das precipitações na Bacia do rio Doce

Por meio da análise dos trinta e seis mapas decendiais, caracterizou-se a espacialização climática do regime pluviométrico da bacia do rio Doce. O padrão das chuvas na bacia do rio Doce é caracterizado por uma estação chuvosa composta por um período de vinte e um decêndios (28° ao 12°) (ANEXO A, FIG. 1A à 2A), (FIG. 22 à 26), enquanto a estação seca é composta de 15 decêndios (13° ao 27°) (ANEXO A, FIG. 3A à 5A). As FIG. 22 à 26 ilustram a espacialização dos decêndios chuvosos de dezembro a fevereiro. Os demais mapas encontram-se no ANEXO A.

As cabeceiras dos rios, a oeste da bacia, regiões de topografia mais elevada, apresentam um período chuvoso mais longo, do 1° decêndio de outubro ao 3° decêndio de abril, com chuvas de maior intensidade. O balanço hídrico climatológico da bacia, que será discutido no item 4.5, corrobora tais observações. Isso demonstra a importância do fator orográfico no regime de chuvas da bacia.

### **4.2.1 - Início da Estação Chuvosa**

Na bacia do rio Doce, salientam-se dois padrões de chuvas que seguem dois sentidos diferenciados. O primeiro de oeste para leste a partir do sudoeste da bacia e o segundo de leste para oeste a partir do exutório da bacia.

O início da estação chuvosa é visualizado nos mapas decendiais de outubro, ou seja, as primeiras UPGRHs atingidas pelas chuvas são a DO1 e DO2, localizadas à sudoeste da bacia, no 1º decêndio (ANEXO A, FIG. 1Aa, 1Ab e 1Ac). Simultaneamente, iniciam-se as chuvas no litoral.

Enquanto o início da estação chuvosa não se generaliza para toda a bacia (ANEXO A – FIG. 1Aa, 1Ab e 1Ac), nota-se uma ruptura na distribuição espacial das chuvas, localizada na faixa central da bacia (DO5 a DO6), demonstrando que nesta faixa a estação chuvosa inicia-se mais tardiamente em relação às áreas montanhosas a oeste e no litoral. Na faixa central da bacia, as chuvas iniciam a partir do 2º decêndio de outubro (ANEXO A, FIG. 1Ab), caracterizando um retardamento de aproximadamente 40 dias. Apesar de tal ruptura repetir-se em outros decêndios<sup>2</sup>, a precipitação acumulada anual na faixa central é inferior à do litoral (FIG. 20), significando que as deficiências pluviométricas durante as rupturas são compensadas por excedentes pluviométricos no litoral. Os mecanismos dinâmicos associados à distribuição de chuvas na bacia serão discutidos no item 4.4.

### **4.2.2 - Evolução da Estação Chuvosa**

No mês de outubro, as chuvas se estendem pela bacia com maior intensidade, atingindo, finalmente, a faixa central no 3º decêndio (ANEXO A, FIG. 1Aa, 1Ab e 1Ac).

Em novembro (ANEXO A, FIG. 1Ad, 1Ae e 1Af) e em dezembro (FIG. 22a, 22b e 23a), as chuvas se intensificam, atingindo, neste último mês, sua maior intensidade e generalizando-se para toda a bacia, com destaque para as unidades DO1, DO2 e DO3, com médias decendiais superando 100 mm.

---

<sup>2</sup> Ver: FIG 24a, 24b e 25a; ANEXO A, FIG 2Aa, 2Ab, 2Ac, 2Ad, 2Ae, 2Af.

Embora o mês de janeiro apresente ainda precipitações elevadas (FIG. 23b, 24a e 24b), principalmente nas áreas montanhosas do oeste, as chuvas começam a reduzir-se em relação a dezembro em toda a bacia. Os maiores decêndios não chegam a 100 mm decendiais.

A grande transformação no padrão das chuvas na bacia do rio Doce ocorre na passagem do 3º decêndio de janeiro (FIG. 24b) para o 1º decêndio de fevereiro (FIG. 25a). Abruptamente, as chuvas sofrem uma intensa redução em toda a bacia, o que pode ser expresso como uma *brusca queda climatológica no padrão das chuvas* (FIG. 20). Esta queda apresenta reduções que variam em intervalos de 70,1 a 90 mm para 20,1 a 50 mm. No 2º decêndio de fevereiro (FIG. 25b), o padrão mantém-se bastante similar ao decêndio anterior, enfatizando a redução das chuvas. No 3º decêndio (FIG. 26), a bacia sofre nova modificação no padrão espacial das chuvas, afetando principalmente os setores sudoeste e oeste. Esta sensível redução das chuvas no mês de fevereiro caracteriza a ocorrência de um *veranico climatológico* (FIG. 20). Tal fenômeno, como mencionado no capítulo 2, também foi observado por Paiva (1995), Cupolillo (1997) e Minuzzi (2003).

O veranico, pela extensão do espaço geográfico observado, sugere influências de sistemas atmosféricos de larga escala em toda a bacia do rio Doce. Alguns autores afirmam que o enfraquecimento da convecção associada à Alta da Bolívia, a localização preferencial da ZCAS na porção meridional da Região Sudeste e a presença estacionária do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, associado ao Cavado do Nordeste, intensificam o processo de estiagem na estação chuvosa (VIANELLO *et al.*, 1986; PRATES, 1994; CUPOLILLO, 1997).

Na mudança do mês de fevereiro (FIG. 26), para o 1º decêndio de março (ANEXO A, FIG. 2Aa), a intensidade das chuvas aumenta ligeiramente, principalmente nos setores oeste, sudoeste e leste. A partir do 2º decêndio de março (ANEXO A, FIG. 2Ab), claramente observa-se o início da transição da estação chuvosa para estação seca, uma vez que todos os decêndios posteriores se caracterizam por uma progressiva redução das chuvas na bacia.

Merece destaque a faixa central da bacia: a mesma região, onde se verificou um atraso no início da estação chuvosa, apresenta-se agora como a primeira área a ocorrer uma redução substancial das chuvas, caracterizando um início antecipado da estação seca. Equivale dizer que tal faixa é a mais árida de toda a bacia. Este fenômeno pode ser visualizado comparando as FIG. 1Ac e 2Ae (ANEXO A). As principais razões para ocorrência deste fato podem estar relacionadas a uma interação entre mecanismos atmosféricos que favorecem a subsidência do ar e o tipo de configuração do relevo colinoso com vales de fundo chato, onde o aquecimento adiabático do ar é muito intenso, favorecendo o aumento de temperatura e da evapotranspiração e conseqüentemente a deficiência hídrica neste ponto da bacia.

### 4.2.3 - Evolução da Estação Seca

Com o término da estação chuvosa em abril, inicia-se em maio e continua por junho (ANEXO A, FIG. 3Aa, 3Ab, 3Ac, 3Ad, 3Ae e 3Af) a estação seca com chuvas variando entre 0,1 a 20 mm. O 1º decêndio caracteriza-se por apresentar áreas reduzidas de maior total pluviométrico, principalmente nas UPGRHs: DO1, DO2, DO3, DO4 e DO7. No 2º decêndio, o padrão das chuvas é semelhante, divergindo apenas na unidade DO7, que apresenta cotas pluviométricas mais elevadas. No 3º decêndio, toda a bacia apresenta alturas pluviométricas que variam de 20,1 a 30 mm, com exceção da unidade DO7, que apresenta cotas mais elevadas, principalmente no exutório da bacia, sugerindo uma forte influência da maritimidade.

Nos decêndios de junho a agosto (ANEXO A, FIG. 3Ad, 3Ae, 3Af, 3Ba, 3Bb, 3Bc, 3Bd, 3Be e 3Bf), a bacia hidrográfica do rio Doce mantém um padrão chuvoso com baixos totais pluviométricos e pequena variabilidade, entre 0,1 a 10 mm em todo o território mineiro e 0,1 a 30 mm no território capixaba. Sugere-se que tal comportamento deve-se às condições atmosféricas, como o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul semi-estacionário à superfície, favorecendo o processo de subsidência do ar atmosférico e bloqueando a entrada de sistemas frontais na Região Sudeste, favorecendo, assim, a longa estiagem que caracteriza o inverno seco na região.

O mês de setembro caracteriza-se pelo término da estação seca nas porções sudoeste, oeste e leste da bacia no 1º decêndio, em transição para a estação chuvosa no 2º e 3º decêndios (ANEXO A, FIG. 5Aa, 5Ab e 5Ac).

A partir da interpretação da climatologia da bacia do rio Doce, pode-se concluir que a estação chuvosa inicia-se no 1º decêndio de novembro e finaliza-se entre o 3º decêndio de janeiro e o 1º de fevereiro, enquanto a estação seca inicia-se no 1º decêndio de maio e encerra-se no 1º decêndio de setembro.

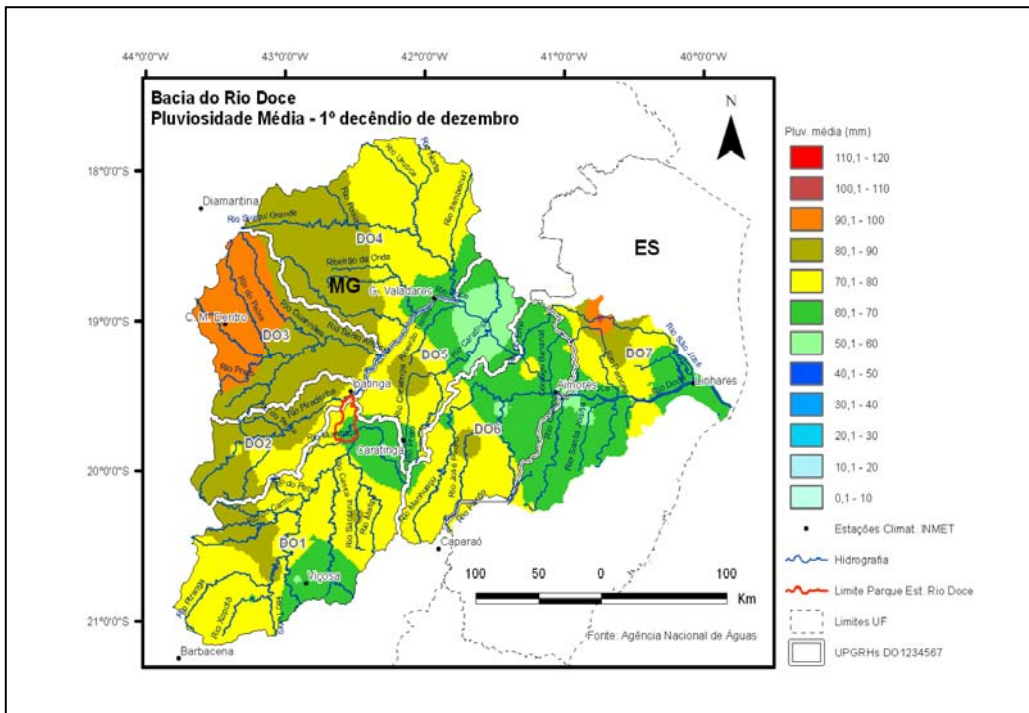


FIGURA 22a - Média decenal de precipitação na bacia do rio Doce do 1º decêndio de dezembro. Fonte de dados: ANA.

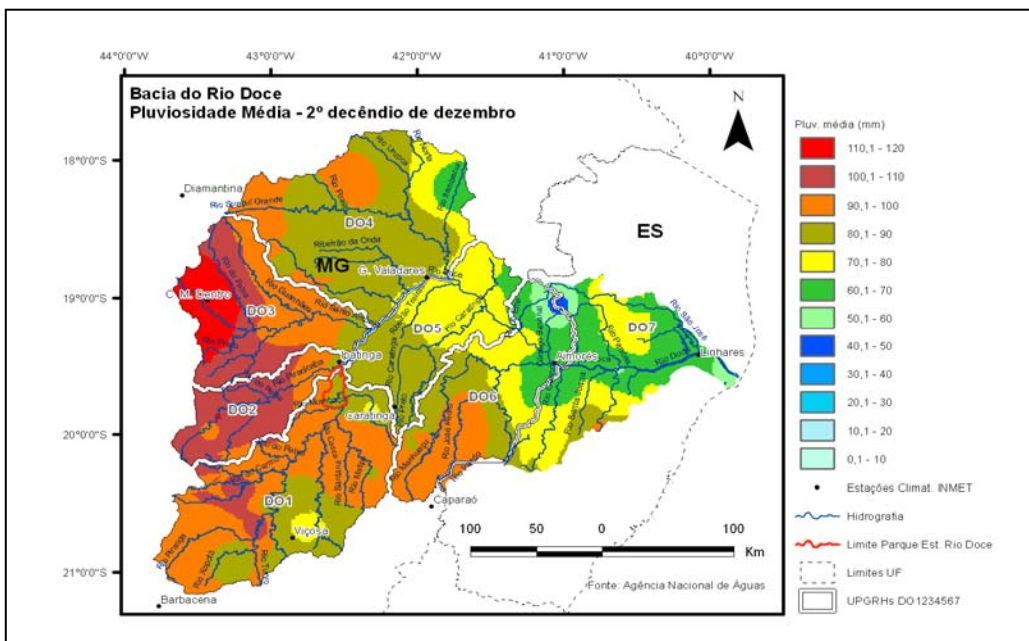


FIGURA 22b - Média decenal de precipitação na bacia do rio Doce do 2º decêndio de dezembro. Fonte de dados: ANA.

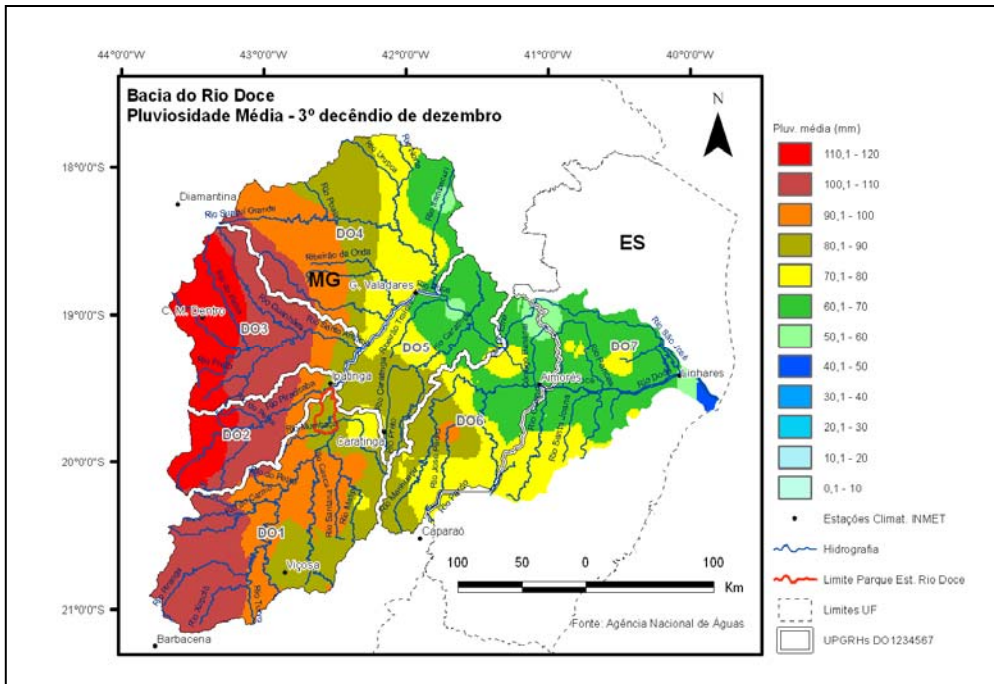


FIGURA 23a - Média decenal de precipitação na bacia do rio Doce do 3º decêndio dezembro. Fonte de dados: ANA

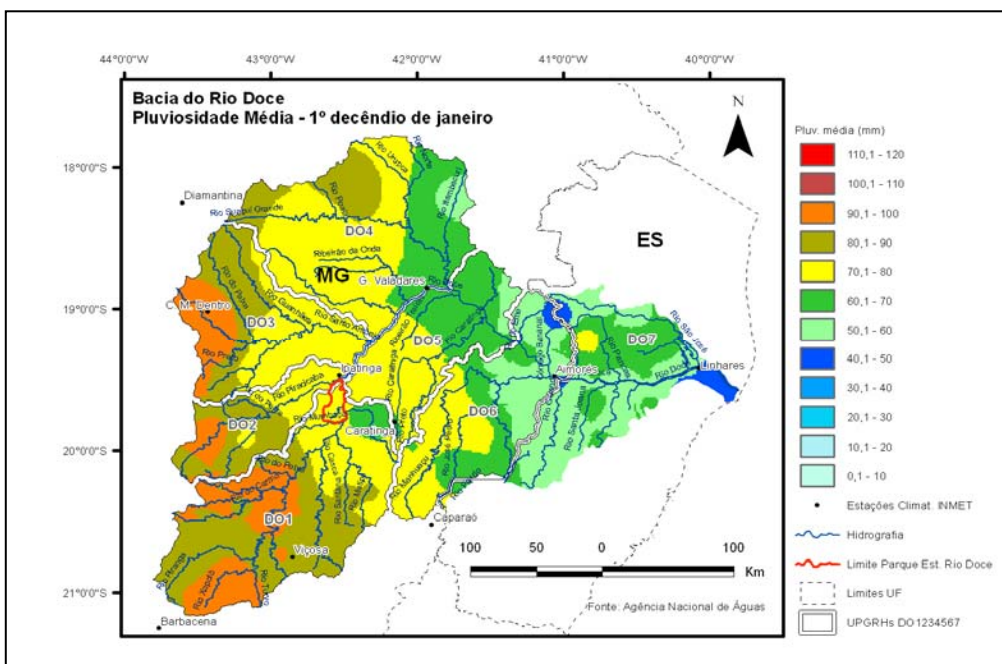


FIGURA 23b - Média decenal de precipitação na bacia do rio Doce do 1º decêndio de janeiro. Fonte de dados: ANA.



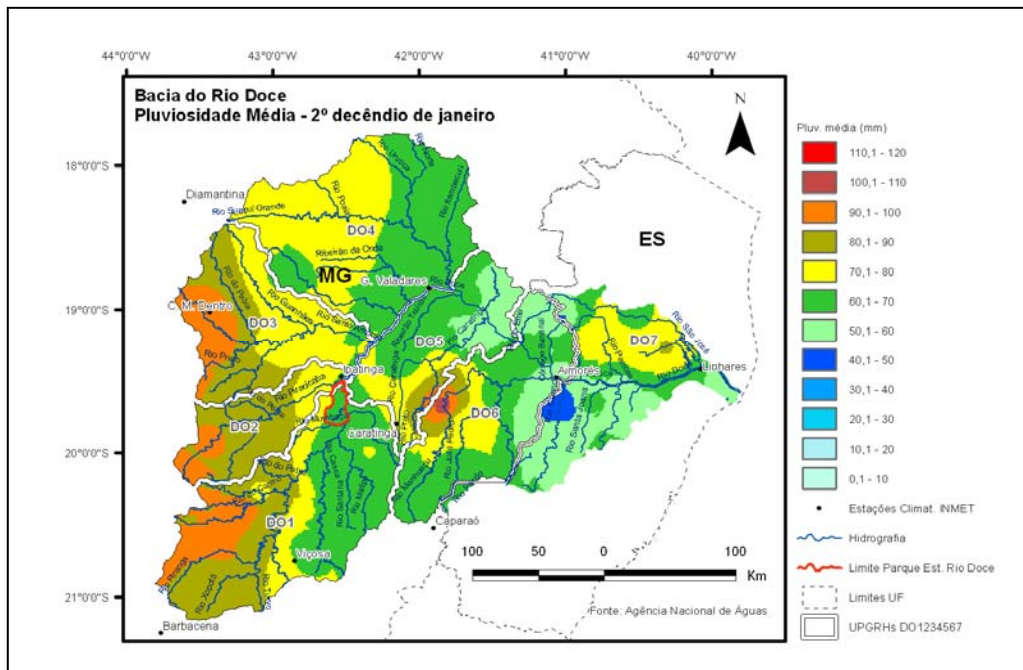


FIGURA 24a: Média decenal de precipitação na bacia do rio Doce do 2º decêndio de janeiro. Fonte de dados: ANA.

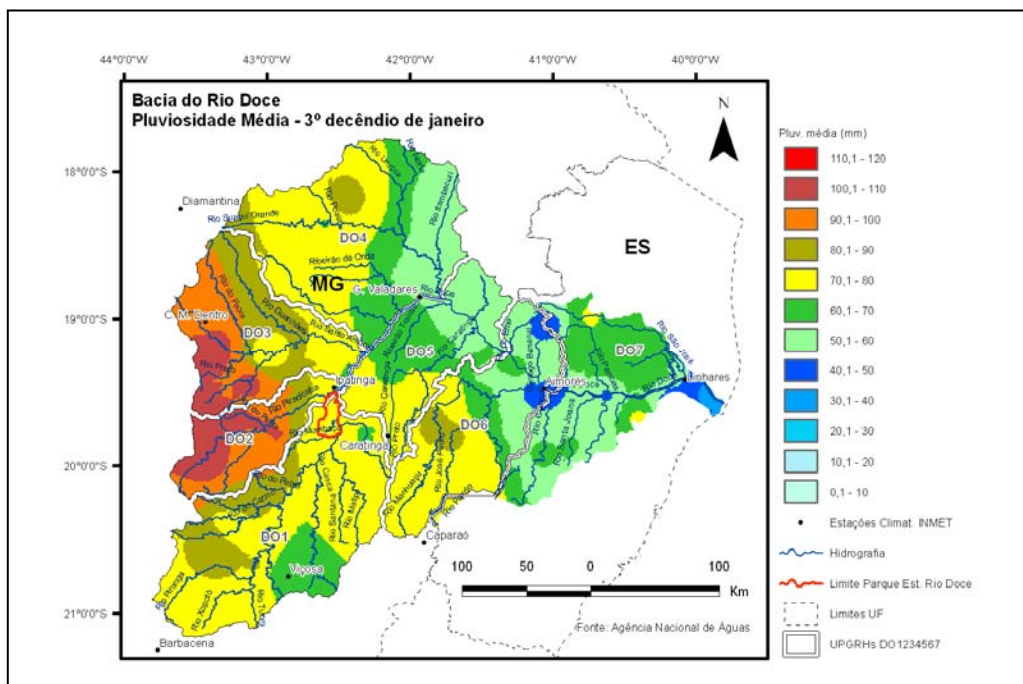


FIGURA 24b: Média decenal de precipitação na bacia do rio Doce do 3º decêndio de janeiro. Fonte de dados: ANA.

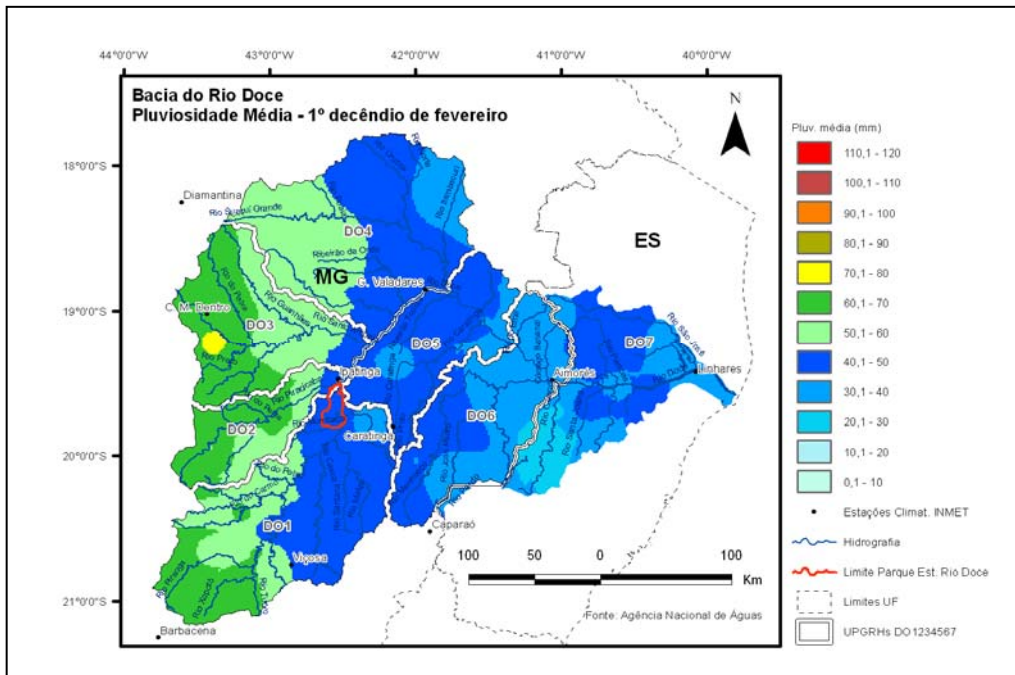


FIGURA 25a - Média decenal de precipitação na bacia do rio Doce do 1º decêndio de fevereiro. Fonte de dados: ANA.

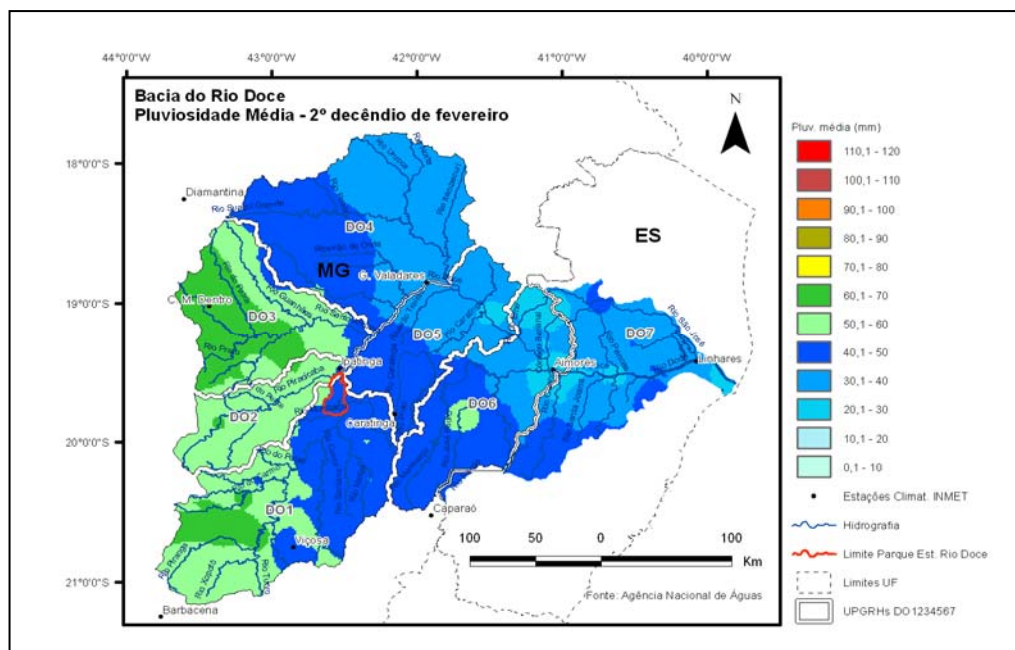


FIGURA 25b - Média decenal de precipitação na bacia do rio Doce do 2º decêndio de fevereiro. Fonte de dados: ANA.



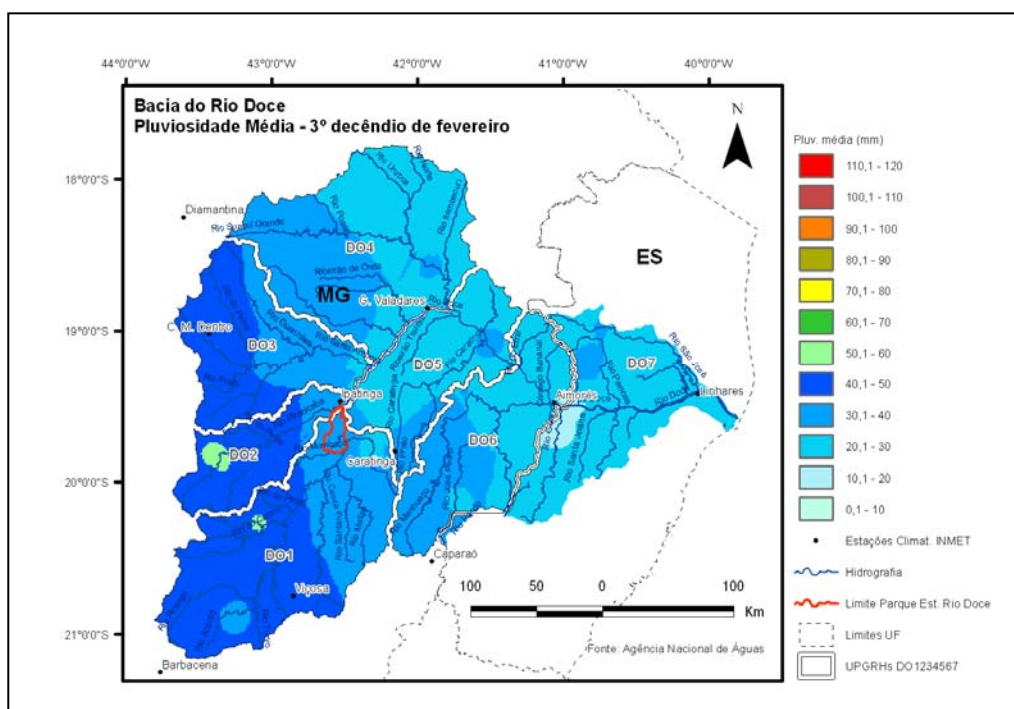


FIGURA 26 - Média decenal de precipitação na Bacia do rio Doce do 3º decêndio de fevereiro  
 Fonte de dados: ANA.

### 4.3. Espacialização da média decenal das vazões na bacia do rio Doce

O ano hidrológico tem seu início marcado pelo mês de menor descarga, fato intimamente relacionado com a precipitação e o comportamento do lençol freático. Na bacia do rio Doce, o ano hidrológico se inicia em agosto. Na realidade, a partir de abril inicia-se um processo de baixa de vazão com o final da estação chuvosa e início da estação seca, culminando com as mínimas vazões no mês de agosto, pico da estação seca na bacia.

Ao chegar, entretanto, em agosto, as chuvas não são suficientes para provocar descarga elevada, porque o lençol está esgotado e absorve grande parte da água do solo. Ocorre, então, o mínimo de descarga. Forma-se, desse modo, um ciclo: descarga mínima – aumento da descarga até atingir um máximo – diminuição de descarga até atingir um mínimo – constituindo o ano hidrológico.

Por meio da análise dos trinta e seis mapas decendiais, caracterizou-se o histórico do regime médio das vazões na bacia do rio Doce.

A partir da interpretação da climatologia da bacia do rio Doce, pode-se concluir que a estação chuvosa inicia-se no 1º decêndio de novembro e finaliza-se entre o 3º decêndio de janeiro e o 1º de fevereiro, enquanto a estação seca inicia-se no 1º decêndio de maio e encerra-se no 1º decêndio de setembro.

Apesar de a estação chuvosa iniciar-se em novembro, estendendo-se entre janeiro e fevereiro (ANEXO B, FIG. 1B, 2Ba, 2B b, 2Bc, e FIG. 27a, 27b, 28a e 28b), e a estação seca, de maio até início de setembro (ANEXO B, FIG. 3Bd, 3Be, 3Bf à 5B), o reflexo das chuvas no aumento da vazão faz-se sentir a partir do mês de novembro (ANEXO B, FIG. 1Bd, 1Be e 1Bf). Tal fato relaciona-se às chuvas que ocorrem nos primeiros meses da estação chuvosa, outubro e novembro (ANEXO B, FIG. 1Ba, 1Bb, 1Bc, 1Bd, 1Be e 1Bf). Nesses meses, o solo não está saturado de água, tornando o processo de infiltração de água no solo superior ao de escoamento superficial (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1977).

A partir dos decêndios de dezembro, o *Runoff* (escoamento superficial) passa a ser predominante em relação ao processo de infiltração de água no solo, ou seja, a resposta ao aumento de vazão torna-se mais rápida, saltando de valores que variam de 0,1 a 300 m<sup>3</sup>/s para intervalos de 301 a 600 m<sup>3</sup>/s, na maior parte da bacia.

Os decêndios de dezembro, janeiro e fevereiro são os que apresentam os mais altos valores de vazão, caracterizados por intervalos que variam, respectivamente, de 401 a 900 m<sup>3</sup>/s em dezembro, 501 a 2000 m<sup>3</sup>/s em janeiro e 501 a 1000 m<sup>3</sup>/s em fevereiro (FIG. 27a, 27b, 28a, 28b, 29a e 29b).

A partir dos meses de março e abril (ANEXO B, FIG. 2Bd, 2Be, 2Bf e 3Ba, 3Bb e 3Bc), o decréscimo da vazão torna-se mais acentuado, variando em intervalos entre 0,1 a 700 m<sup>3</sup>/s. Tal fato pode estar relacionado a uma possível influência da brusca diminuição das chuvas que ocorre no mês de fevereiro, sugerindo a ação do veranico climatológico na redução da vazão.

No período de maio a junho dá-se início a estação seca, o que acarreta num decréscimo da vazão ainda maior, atingindo valores em intervalos que variam de 0,1 a 500 m<sup>3</sup>/s (ANEXO B, FIG. 3Bd a 4Bf).

Nos meses referentes ao término da estação seca, agosto e setembro (ANEXO B, FIG. 5B), o decréscimo da vazão persiste em intervalos maiores, alcançando valores que oscilam entre 0,1 a 400 m<sup>3</sup>/s.

Afluentes importantes localizados nas UPGRHs da bacia do rio Doce, como o Suaçuí Grande, localizado a norte-noroeste na unidade DO4, e o Santo Antônio, localizado a oeste na DO3, como também os rios formadores do rio Doce – o rio Piracicaba, localizado a oeste-sudoeste na DO2, e o rio Piranga, a sudoeste da bacia na DO1 –, apresentam características semelhantes, no que se refere ao comportamento da altura das cotas de vazão, que se mantêm relativamente elevadas durante todo ano, além do próprio rio Doce. Tal fato é justificado em função das nascentes destes rios que se localizam na porção Setentrional, oriental e meridional da bacia, nas regiões serranas do Espinhaço e Mantiqueira, com topografias bastante irregulares e com altitudes variando entre 652 a 1296 metros. Concomitante a este fato, estas mesmas regiões são as que apresentam os maiores índices pluviométricos da bacia, principalmente nos meses de dezembro e janeiro.

O comportamento das vazões da bacia hidrográfica do rio Doce possui uma dinâmica de forte influência das unidades geológicas, das condições topográficas e do uso antrópico que caracterizam seu domínio. A combinação destas características permite compreender e explicar a dinâmica hidrológica vigente na área, objeto de investigação neste trabalho. As condições climáticas, especialmente a precipitação, se somam como um atributo essencial na análise das vazões observadas em toda bacia do rio Doce.

Pela análise dos dados, observa-se a existência de dois padrões bem distintos de comportamento das vazões. Os afluentes posicionados nas áreas mais elevadas da bacia mostram variações nas vazões decendiais menos expressivas do que aquelas observadas nos rios que marcam posição em níveis de base, como aqueles que representam as grandes bacias que drenam para o rio Doce, incluindo-se este.

Segundo a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC (1983), a análise da estrutura geológica da bacia do rio Doce permite identificar a existência de grandes domínios de litologias sedimentares ou metassedimentares, como as formações que caracterizam a grande cordilheira do Espinhaço e alguns altos do Quadrilátero Ferrífero, bem como as formações ferríferas que neste último são abundantes. Este contexto geológico marca a porção da bacia do rio Doce onde estão posicionadas as nascentes dos rios: Piracicaba, Carmo, Gualaxo do Sul, Gualaxo do Norte, Santo Antônio, Tanque, Corrente Grande e Suaçuí Grande.

As drenagens que abastecem os citados cursos de água posicionam-se, em grande parte, no domínio das unidades litológicas citadas. Estas se apresentam como sistemas aquíferos de alta qualidade, em decorrência do elevado grau de fraturamento destas rochas,

aliado ao contexto estrutural representado por grandes falhas geológicas, que registram a evolução do substrato até o presente.

Assim, a existência de sistemas aquíferos de alta capacidade de “produção de água”, associados a regimes de precipitação, marcados pelos mais altos índices observados na bacia, conferem, a estas porções cimeiras serranas, reservas hidrogeológicas que garantem a regularização das vazões nos cursos de primeira ordem, formadores dos subafluentes do rio Doce. É importante salientar que este domínio geológico, dada a natureza dos terrenos associados a ele, mostra-se como um dos ambientes menos afetados pela intervenção humana no contexto espacial analisado. Como representação simbólica da importância dos sistemas aquíferos associados a tais domínios serranos, pode-se citar o indicativo popular de se reconhecer Minas Gerais como a “caixa d’água do Brasil”. A princípio, pode parecer um tanto exagerado tal reconhecimento, no entanto, explicita-se a importância das serras mineiras na alimentação de rios que atravessam outros Estados, como é o caso do rio Doce.

Outra porção territorial de destaque na identificação do comportamento das vazões dos afluentes ou drenagens formadoras do rio Doce, diz respeito aos altos da serra da Mantiqueira. Trata-se de um domínio no qual se alojam importantes nascentes do rio Piranga, drenagem que dá origem ao rio Doce.

Nesta área observa-se também a ocorrência de elevados índices de precipitação, com um padrão de distribuição anual que expressa uma sazonalidade mais discreta do que no restante da bacia. Assim, apesar da inexistência de aquíferos de reconhecida qualidade na área, por tratar-se de um domínio de rochas cristalinas, as chuvas abastecem espessas coberturas pedológicas, conferindo a estas um papel equivalente a um aquífero poroso, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC (1983).

Outro aspecto, em relação ao comportamento hidrológico do rio Doce, são as vazões dos rios principais formadores deste, bem como o seu próprio comportamento. Nestes cursos de água a diferença entre as vazões máximas e mínimas é muito significativa (FIG. 27a, 27b, 28a, 28b, 29a, 29b e ANEXO B). Na bacia do rio Doce, as estações fluviométricas registram dados de contribuições de extensas áreas caracterizadas por fortes declives e grandes variações altimétricas. Conclui-se que as chuvas concentradas tendem a produzir respostas rápidas nas vazões registradas a jusante. Além destas características, Strauch (1955) adiciona a este cenário a forte pressão antrópica observada ao longo de grande parte da bacia, onde o desmatamento, herança de diferentes ciclos econômicos, produziu um ambiente marcado pela inexistência de formações florestais, domínio de solos compactados e padrões de uso sempre favoráveis à potencialização do escoamento superficial. Deve-se considerar que grande parte

da bacia do rio Doce e seus afluentes encontram-se sobre sistemas aquíferos de baixa qualidade, como o domínio das rochas que compõem o embasamento cristalino. Assim, as reservas de água subterrânea pouco influenciam as vazões durante os períodos de estiagem.

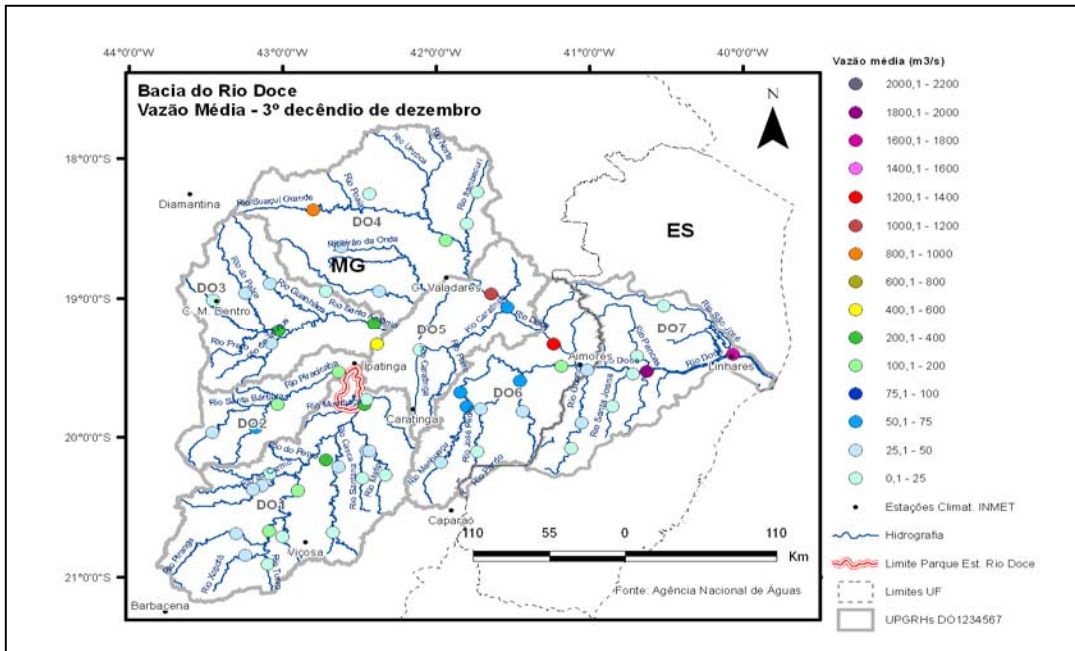


FIGURA 27a - Mapa do 3º decêndio de dezembro.  
Fonte de dados: ANA.

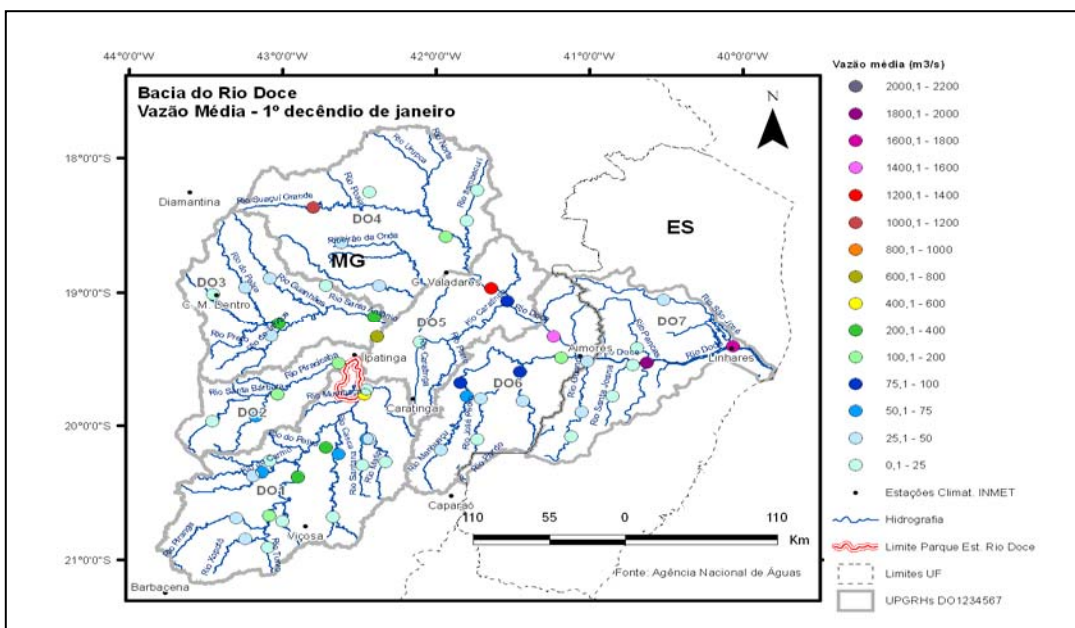


FIGURA 27b - Mapa do 1º decêndio de janeiro.  
Fonte de dados: ANA.

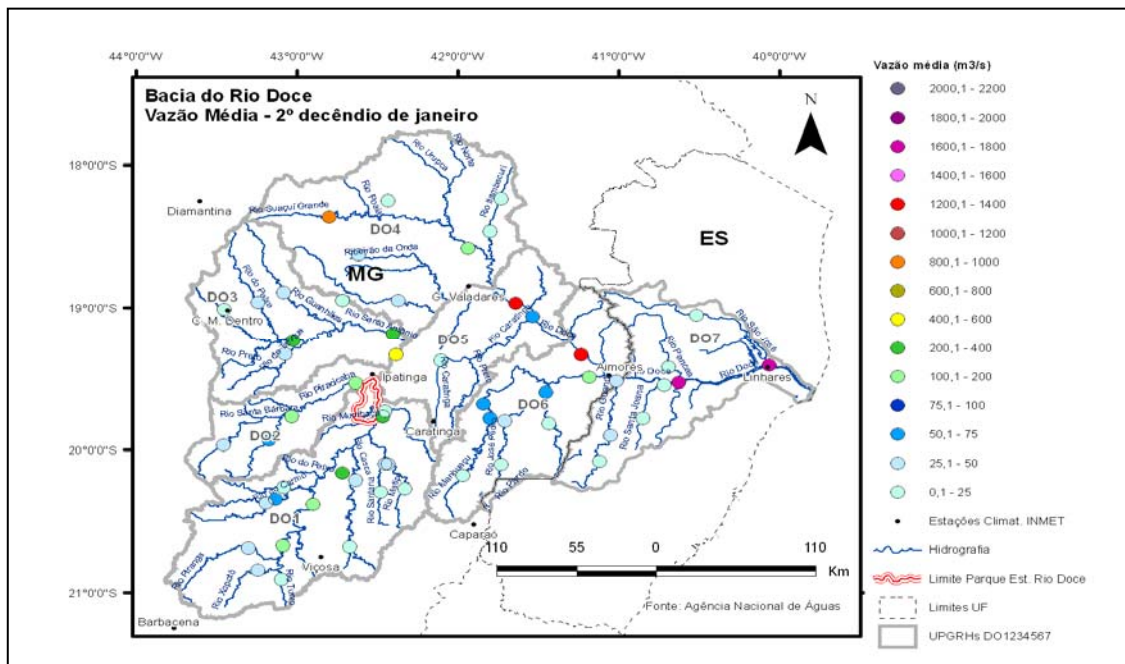


FIGURA 28a - Mapa do 2º decênio de janeiro.  
Fonte de dados: ANA.

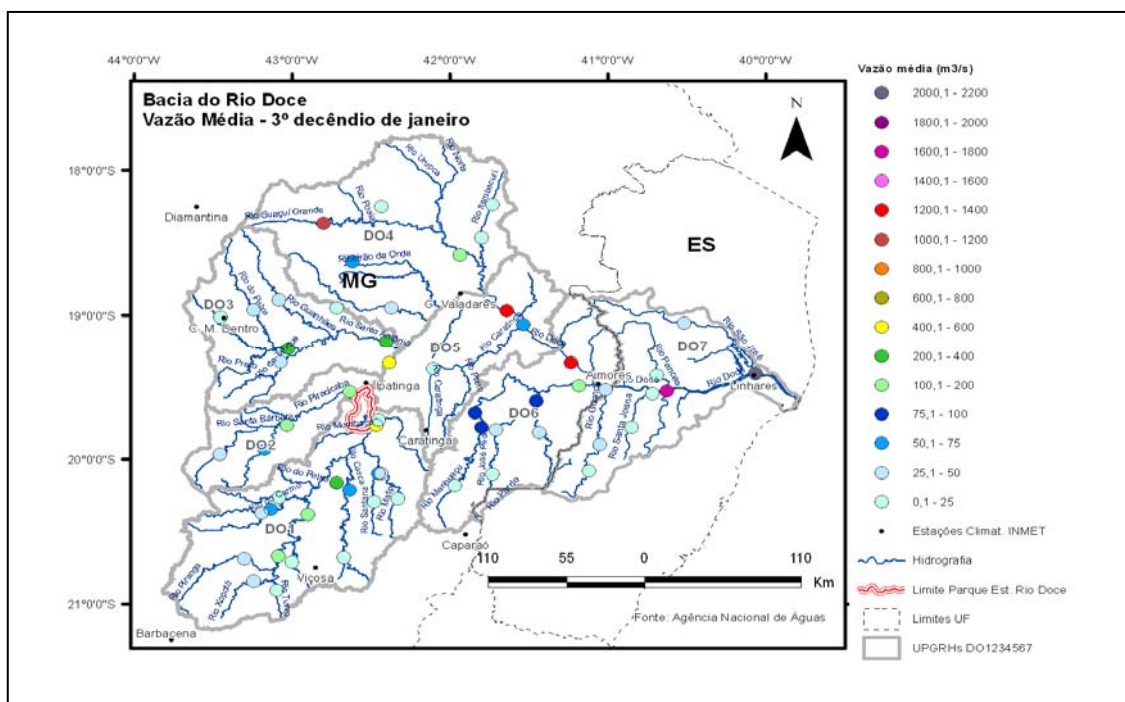


FIGURA 28b - Mapa do 3º decênio de janeiro.  
Fonte de dados: ANA.



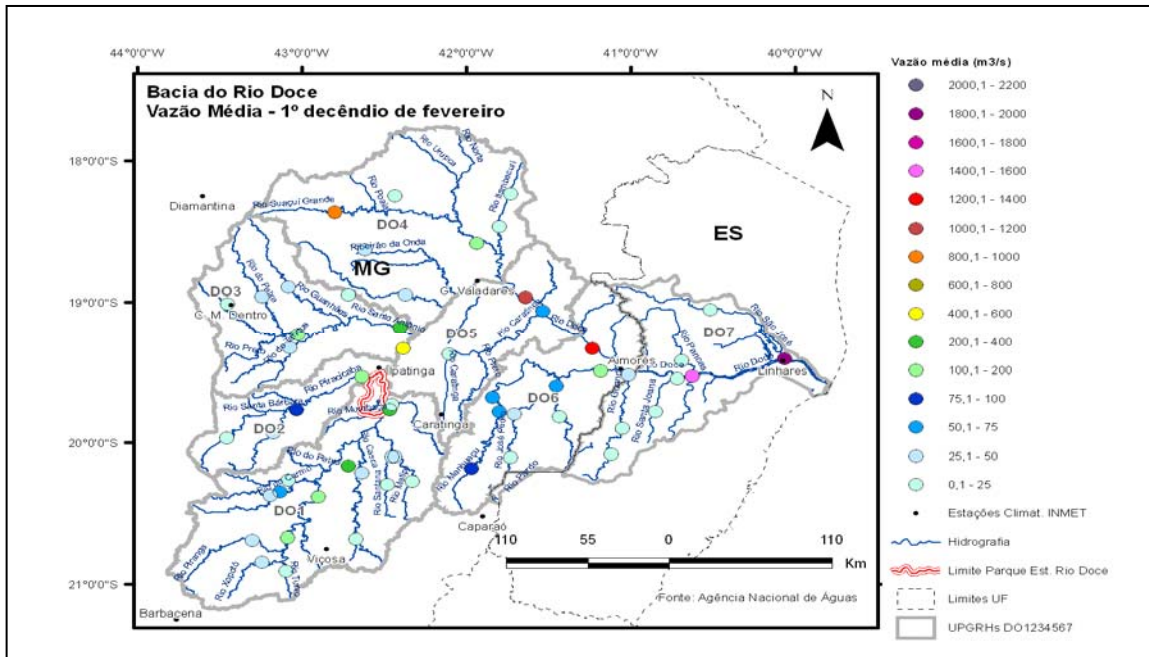


FIGURA 29a - Mapa do 1º decênio de fevereiro.  
Fonte de dados: ANA.

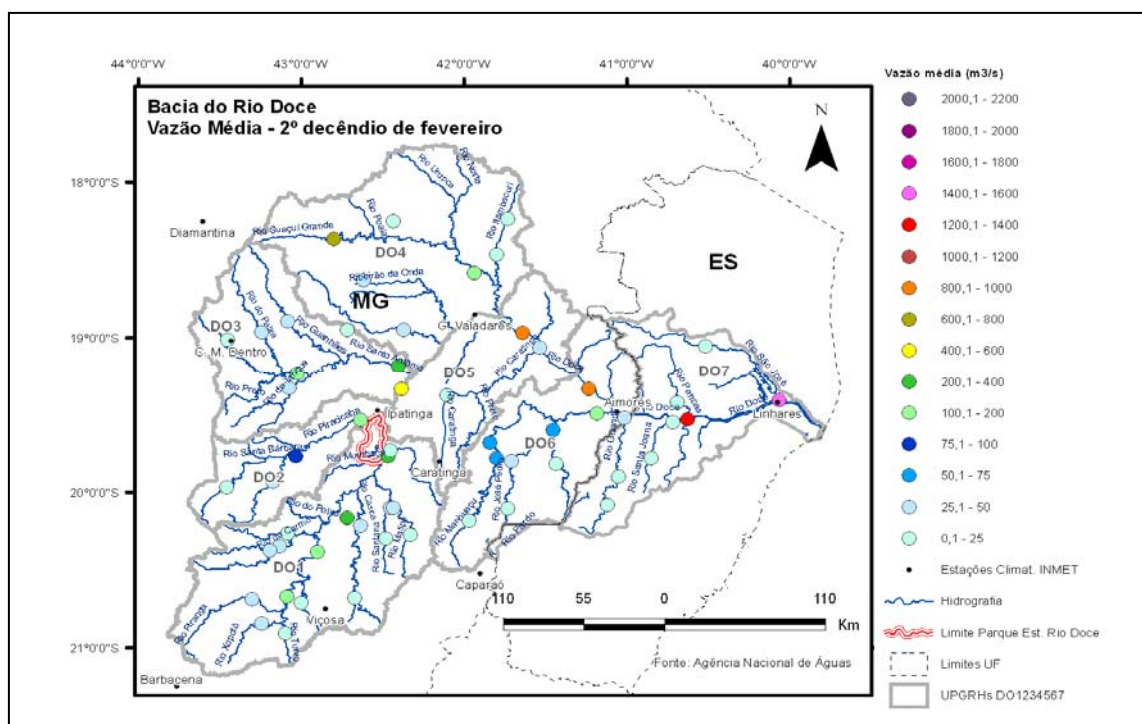


FIGURA 29b - Mapa do 2º decênio de fevereiro.  
Fonte de dados: ANA.

## **4.4 Aspectos Dinâmicos**

O Estado de Minas Gerais apresenta uma climatologia bastante complexa. Devido a sua posição latitudinal e situação geográfica topograficamente irregular, o Estado apresenta-se como uma região de forte transição climatológica. A bacia do rio Doce, em menor escala, retrata bem este comportamento irregular. Os mecanismos dinâmicos de meso e grande escala que atuam no Estado são os mesmos que influenciam o regime hídrico da bacia, portanto, analisar-se-á, através da climatologia dos campos decendiais das linhas de corrente, nos níveis de 200 hPa e 850 hPa; e os mecanismos atmosféricos atuantes sobre a bacia do rio Doce, no período da estação chuvosa entre os meses de novembro a início de fevereiro.

As condições dinâmicas analisadas a partir dos campos de linha de corrente a 200 hPa e 850 hPa, mostram que mecanismos atmosféricos como a Alta da Bolívia (AB), o Anticiclone Subtropical do Atlântico do Sul (ASAS), o Cavado do Nordeste (CN) e a posição do Jato Subtropical (JS), e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) são imprescindíveis no comportamento do regime hídrico da bacia do rio Doce, como abordado a seguir.

Estas condições dinâmicas, mencionadas no capítulo 2, também foram observadas por Casarin (1983), Vianello e Maia (1986), Prates (1994), Climanálise Especial (1996), Cupolillo (1997), Abreu (1998), Silva Dias e Marengo (2002) e Moreira (2002).

### **4.4.1 Aspectos Dinâmicos na Estação Chuvosa**

A partir dos campos no nível de 200 hPa e 850 hPa, verifica-se que até no 1º decêndio do mês de setembro, FIG. 30a e 30d, o escoamento é predominantemente zonal e, a partir do 2º decêndio, inicia-se a configuração da AB na porção noroeste do país (FIG. 30b e 30c). Configura-se a partir deste decêndio, um processo de transição para o início da estação chuvosa em outubro.

A partir do 2º decêndio de setembro (FIG. 30b), evoluindo para outubro (FIG. 31a, 31b e 31c) e novembro (FIG. 32a, 32b, 32f), os campos decendiais demonstram que a posição da AB avança em direção à Região Centro-Oeste. Concomitante a este fato, na porção leste do



continente, limítrofe ao oceano Atlântico, começa a se configurar um mecanismo denominado de Cavado do Nordeste (CN).

A partir de outubro (FIG. 31a, 31b, 31c), a AB, a 200 hPa, desloca-se para o sudeste da Amazônia. No nível de 850 hPa (FIG. 31d, 31e, 31f), o ASAS inicia seu deslocamento para o leste, diminuindo gradativamente sua influência sobre Minas Gerais.

Segundo Vianello e Maia (1986), o fortalecimento da AB sobre o continente brasileiro favorece a configuração da Baixa do Chaco, fortalecendo os mecanismos convectivos à superfície. O JS, antes predominantemente zonal, inicia um processo de ondulação sobre o sudeste, favorecendo a penetração de sistemas frontais em Minas Gerais. A partir dos decêndios de novembro, inicia-se um processo de acoplamento entre estes dois mecanismos. Observa-se que quando a AB está mais intensa sobre o continente o CN desloca-se para o leste, favorecendo a precipitação sobre Minas Gerais.

A intensidade da AB contribui para ocasionar chuvas mais intensas nas regiões centro-oeste, sul-sudoeste e sudeste do Estado, enquanto na bacia do rio Doce estas chuvas atuam a oeste, nas regiões serranas da Mantiqueira e Espinhaço (UPGRHs DO1, DO2, DO3 e DO4), como comentado no item 4.2.

Em dezembro, no 1º decêndio (FIG. 33a), a relação entre a AB e o CN torna-se bem configurada. A AB desloca-se mais para sudeste atingindo o noroeste de Minas Gerais e parte do Triângulo Mineiro. A partir do 2º e 3º decêndios de dezembro (FIG. 33b à 33c), e estendendo-se aos decêndios de janeiro (FIG. 32a à 32c), a influência da AB envolve todo o Estado e correlatamente o CN apresenta-se de forma bem acentuada no Atlântico. Em 850 hPa, nestes decêndios de dezembro (FIG. 33d à 33f), e estendendo-se aos decêndios de janeiro (FIG. 34d à 34f), observa-se a formação de confluência do escoamento sobre Minas Gerais, transportando umidade da Amazônia para Minas Gerais, responsável pela formação de ZCAS. Os mapas decendiais das chuvas, mostrados no item 4.2, coincidem com o período mais chuvoso na bacia do rio Doce e apresentam alturas pluviométricas maiores em dezembro e em janeiro (FIG. 22 à 24).

Na passagem do 3º decêndio de janeiro para o 1º decêndio de fevereiro (FIG. 34c para 35a), em 200 hPa, surge um Bloqueio Atmosférico impedindo a chegada de sistemas frontais sobre Minas Gerais, concomitantemente favorecendo condições de estabilidade atmosférica à superfície. Tais condições geram um mecanismo de subsidência responsável pela formação de um Veranico Climatológico, responsável pela *brusca queda climatológica no padrão das chuvas*, como foi citado no item 4.2. Esta situação persiste até o 1º decêndio de março (ANEXO C, FIG. C1a).

A partir do 2º decêndio de março (ANEXO C, FIG. C1b), em 200 hPa, a AB desloca-se para sudeste e o CN para leste, permitindo que se restabeleça na superfície condições favoráveis à penetração dos sistemas frontais e à confluência de umidade de origem amazônica, restabelecendo o mecanismo favorável à ocorrência de chuvas sobre Minas Gerais, situação que se estende até o 1º decêndio de abril (ANEXO C, FIG. C2a), coincidindo com as últimas chuvas de verão. Em seguida, no 2º e 3º decêndios de abril (ANEXO C, FIG. C2b, C2c), a AB desloca-se para noroeste atuando sobre a região centro-oeste e sul da Amazônia, não mais influenciando no Estado. Em superfície, ao nível de 850 hPa, o ASAS volta a se fortalecer a partir do 3º decêndio de abril, iniciando-se a estação seca.

No item 4.2 salientou-se a existência de dois padrões de chuvas que seguem dois sentidos diferenciados. O primeiro de oeste para leste a partir do sudoeste da bacia e o segundo de leste para oeste a partir do exutório da bacia. Confirmou-se, entre estas regiões mais chuvosas da bacia, a existência de uma descontinuidade no padrão pluviométrico nos decêndios 3º de outubro (ANEXO A, FIG. 1Aa, 1Ab, 1Ac), 2º de novembro (ANEXO A, FIG. 2Ae), 3º decêndio de janeiro (FIG. 24b) e 1º decêndio de março (ANEXO A, FIG. 2Aa). Sugere-se que esta descontinuidade no padrão pluviométrico encontrado na bacia do rio Doce, através de sua climatologia, é explicado pela intensificação do ASAS e do CN nos mesmos decêndios, através de um forte processo de subsidência sobre toda a bacia aliada à configuração do relevo na região da descontinuidade da bacia (FIG. 31c e 31f, 32b e 32e, 34d e 34f), (ANEXO C, FIG. C1a e C1d).

Dentre os mecanismos atmosféricos que atuam na distribuição do padrão das chuvas em Minas Gerais e na bacia do rio Doce, destacam-se o ASAS e o CN. Ambos são responsáveis pelas condições de tempo sobre o Estado. Através do processo de subsidência do ar (correntes verticais de ventos descendentes), estes mecanismos contribuem para a existência de pouca nebulosidade e ausência de precipitação, caracterizando períodos longos de estiagens na estação seca e de veranicos, destacando-se o mês de fevereiro na estação chuvosa. Estes mecanismos também atuam na formação de descontinuidade no padrão das chuvas na região central da bacia, na unidade DO5, contribuindo para que esta unidade apresente o menor total anual acumulado de chuvas de toda a bacia (FIG. 36).

A AB é um outro mecanismo que atua no padrão de distribuição das chuvas no Estado de Minas Gerais, sendo responsável pelo transporte da umidade da Amazônia para todo o Estado durante a estação chuvosa. Especificamente para a bacia do rio Doce, esta umidade interage com a orografia local, contribuindo para o aumento da precipitação, caracterizando verões bastante chuvosos e apresentando riscos climáticos como o granizo e as tempestades severas.

A frente fria (FP) é um outro mecanismo atmosférico que atua no Estado e na bacia. A partir de uma interação entre a AB e a FP, forma-se um mecanismo denominado Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que contribui para o aumento de número de dias chuvosos, por períodos de 10 a 20 dias consecutivos, processo este denominado de invernadas, responsável por deslizamentos de encostas nas áreas urbanas e queda de barreiras nas estradas (FIG. 36).

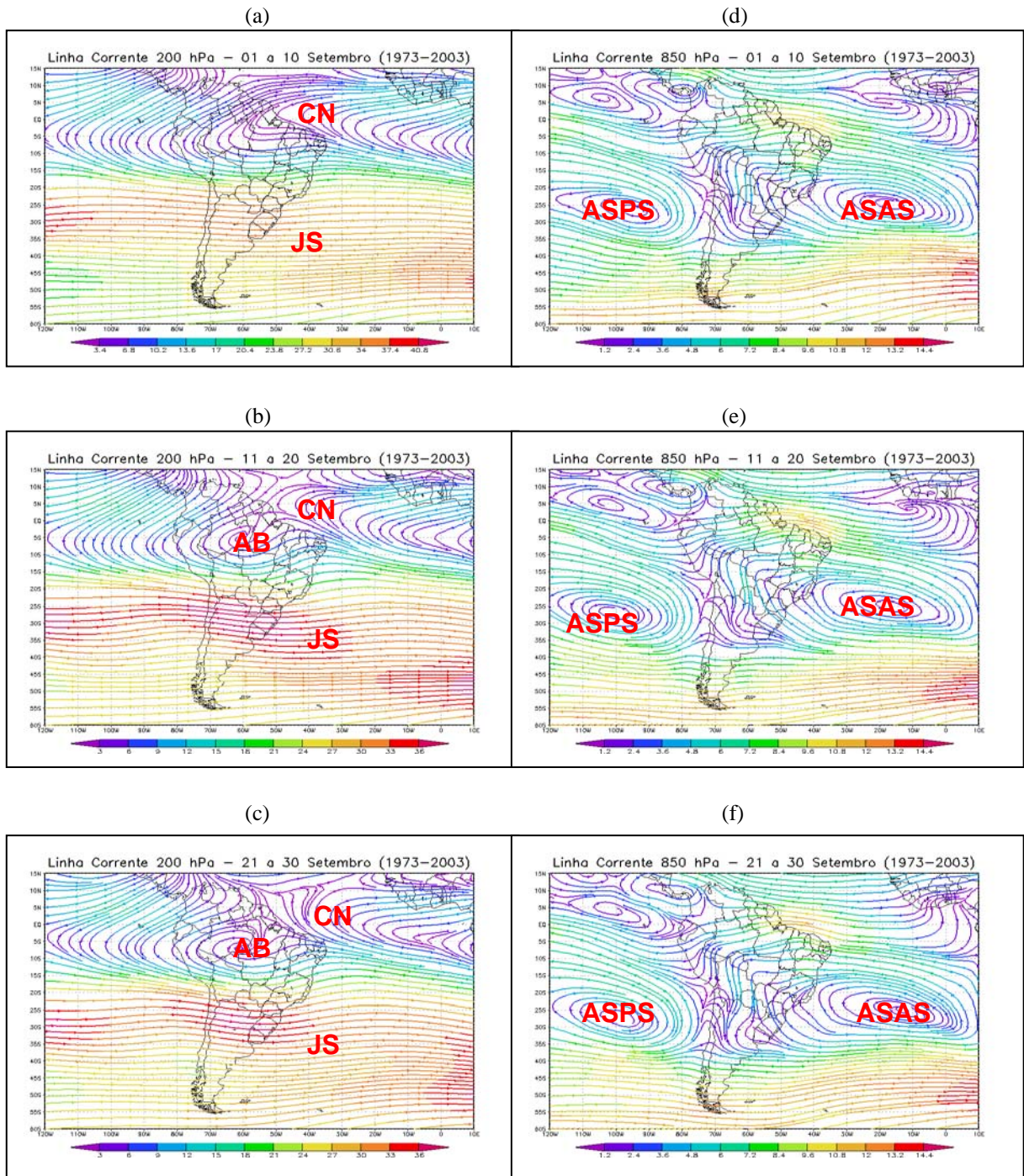


FIGURA 30 - Campos de linhas de corrente 200 hPa (a,b,c) e 850 hPa (d,e,f), 1º, 2º e 3º decêndios de setembro (1973-2003). AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASPS (Anti-ciclone Subtropical do Pacífico Sul) e ASAS (Anti-ciclone Subtropical do Atlântico Sul). Fonte de dados: NOAA.



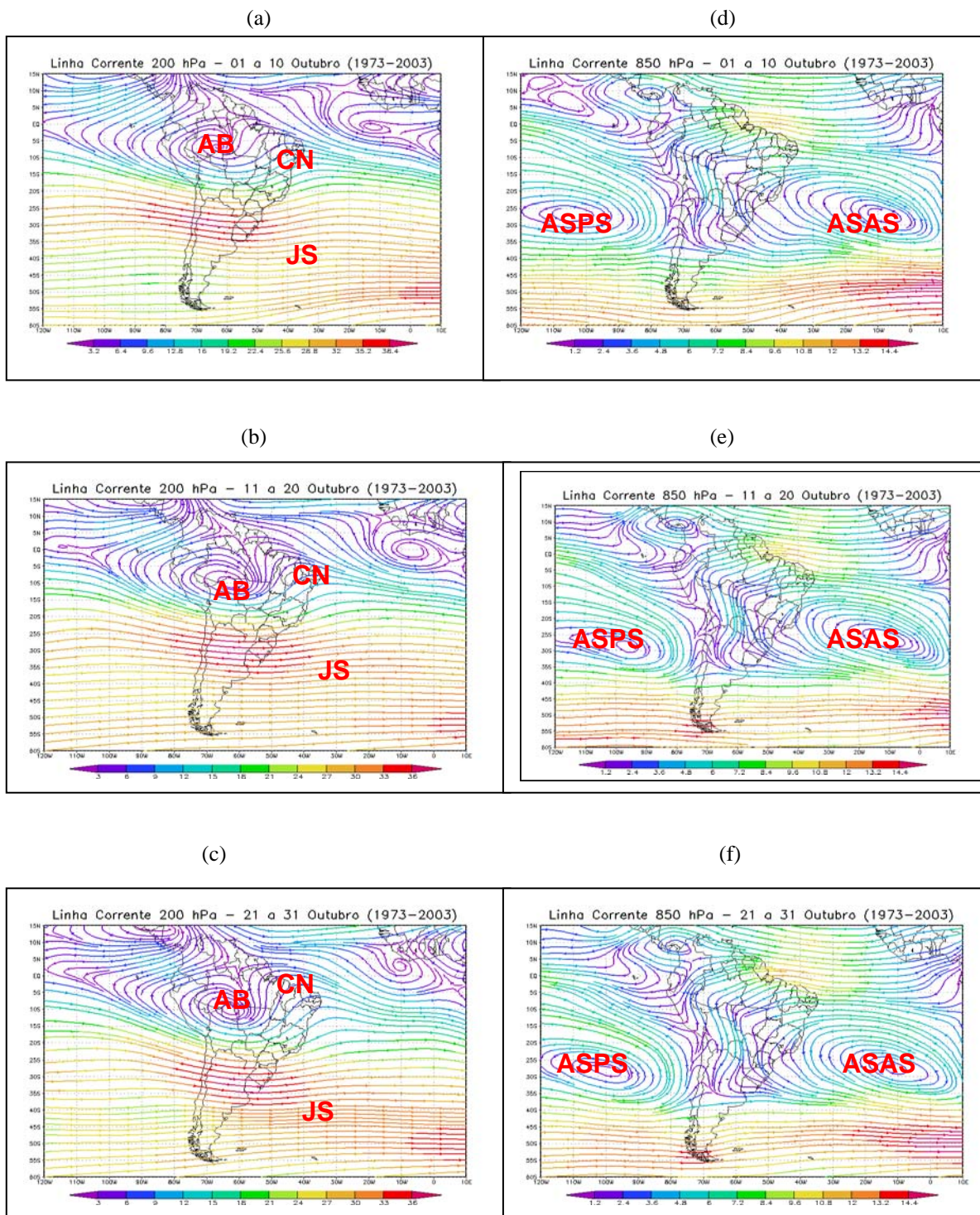
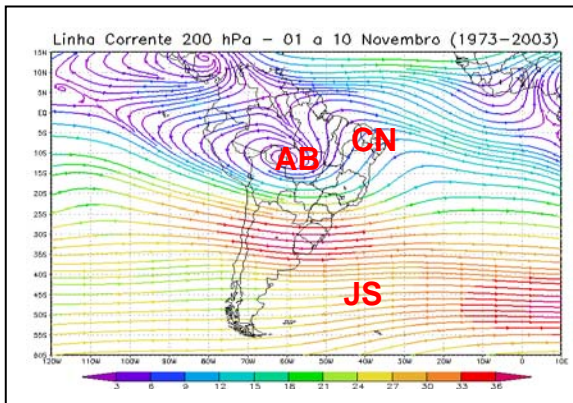


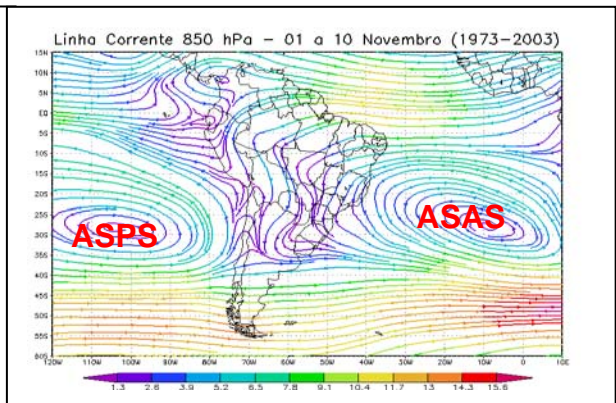
FIGURA 31 - Campos de linhas de corrente 200 hPa (a,b,c) e 850 hPa (d,e,f), 1º, 2º e 3º decêndios de outubro (1973-2003). AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASPS (Anti-ciclone Subtropical do Pacífico Sul) e ASAS (Anti-ciclone Subtropical do Atlântico Sul). Fonte de dados: NOAA.



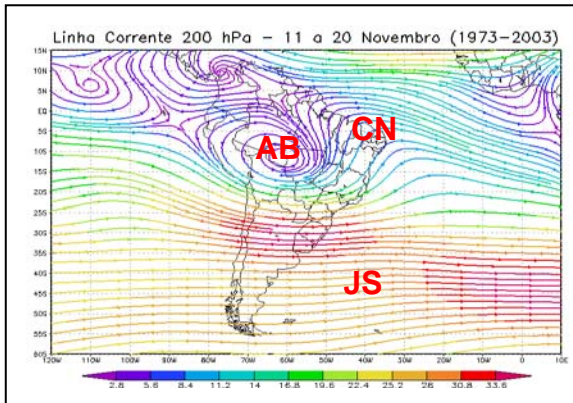
(a)



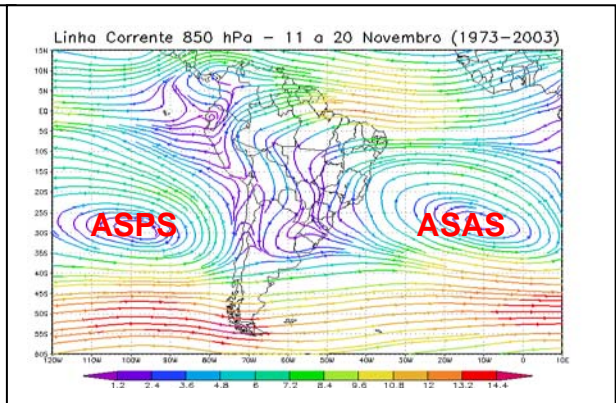
(d)



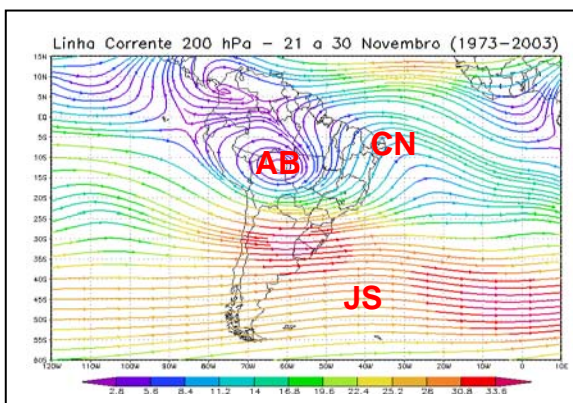
(b)



(e)



(c)



(f)

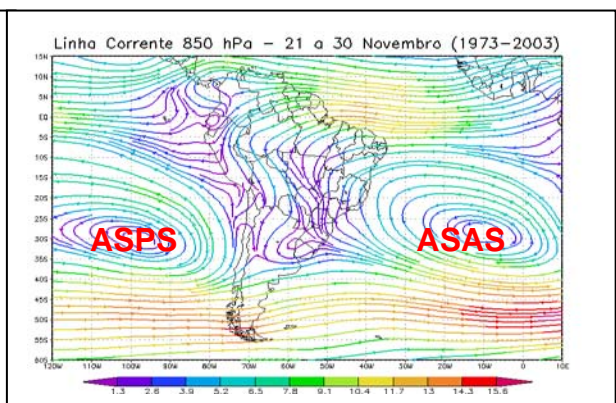


FIGURA 32 - Campos de linhas de corrente 200 hPa (a,b,c) e 850 hPa (d,e,f), 1º, 2º e 3º decêndios de novembro (1973-2003). AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASPS (Anti-ciclone Subtropical do Pacífico Sul) e ASAS (Anti-ciclone Subtropical do Atlântico Sul)  
Fonte de dados: NOAA.



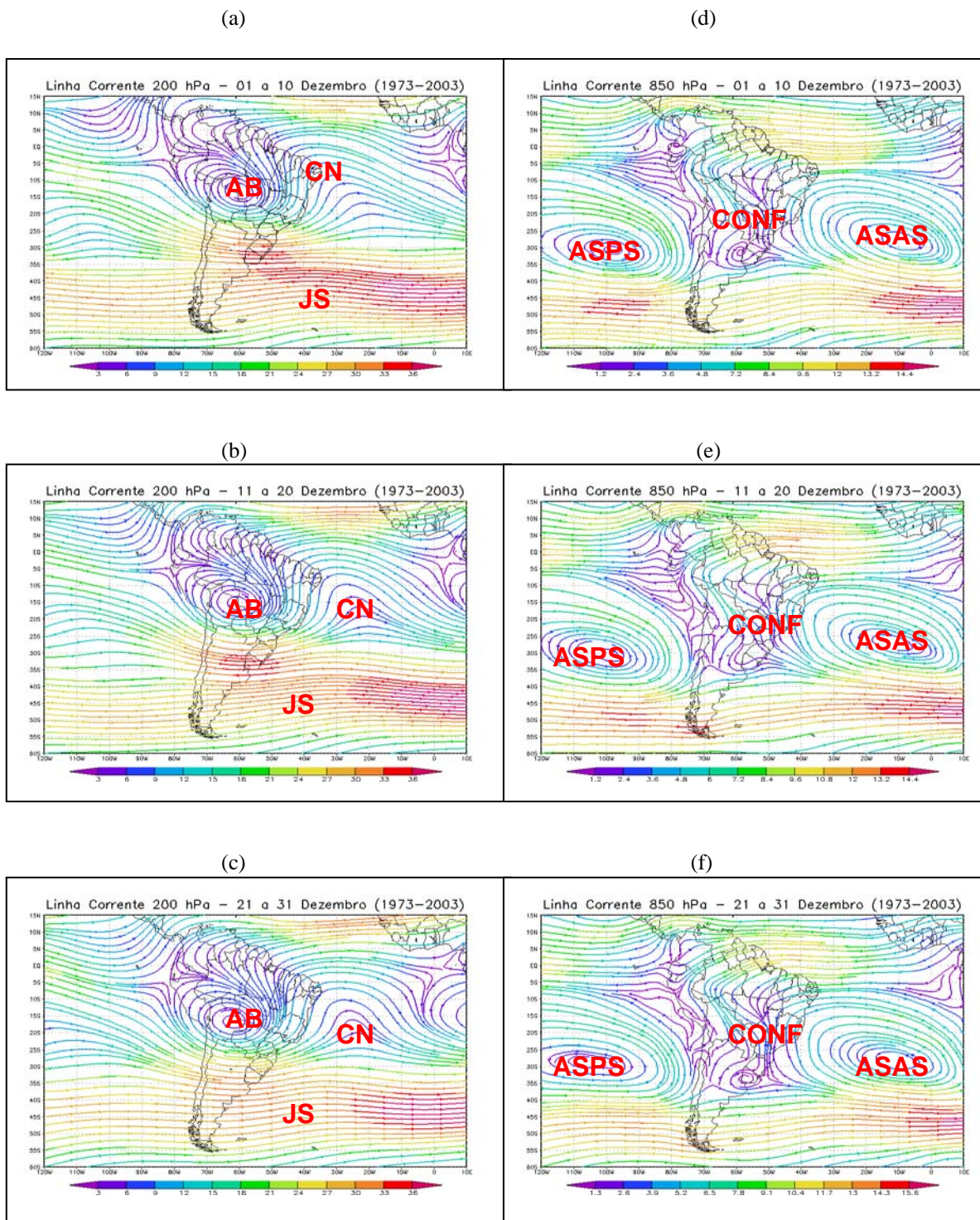


FIGURA 33 - Campos de linhas de corrente 200 hPa (a,b,c) e 850 hPa (d,e,f), 1º, 2º e 3º decêndios de dezembro (1973-2003). AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASPS (Anti-ciclone Subtropical do Pacífico Sul), ASAS (Anti-ciclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência – transporte de umidade).  
 Fonte de dados: NOAA.



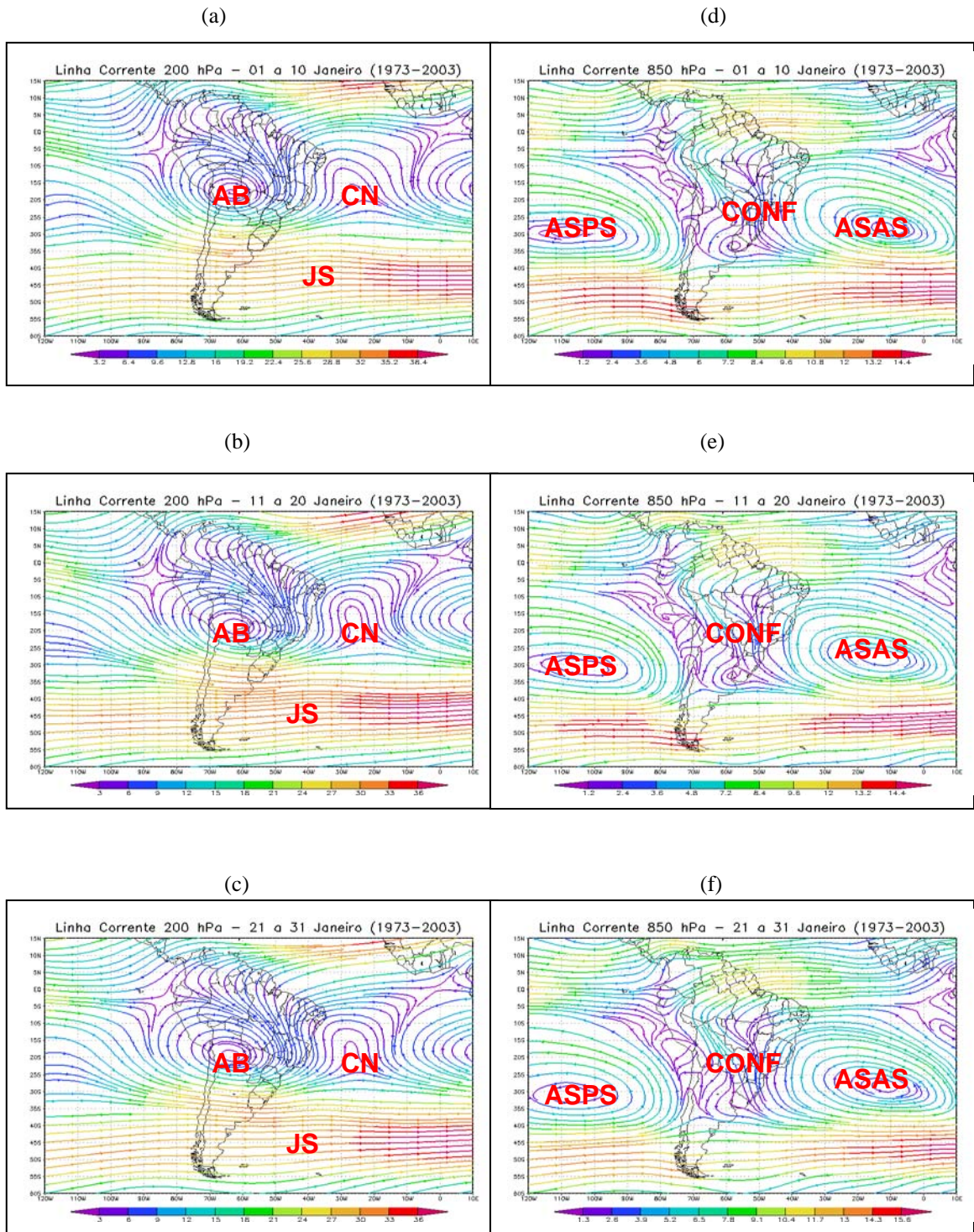


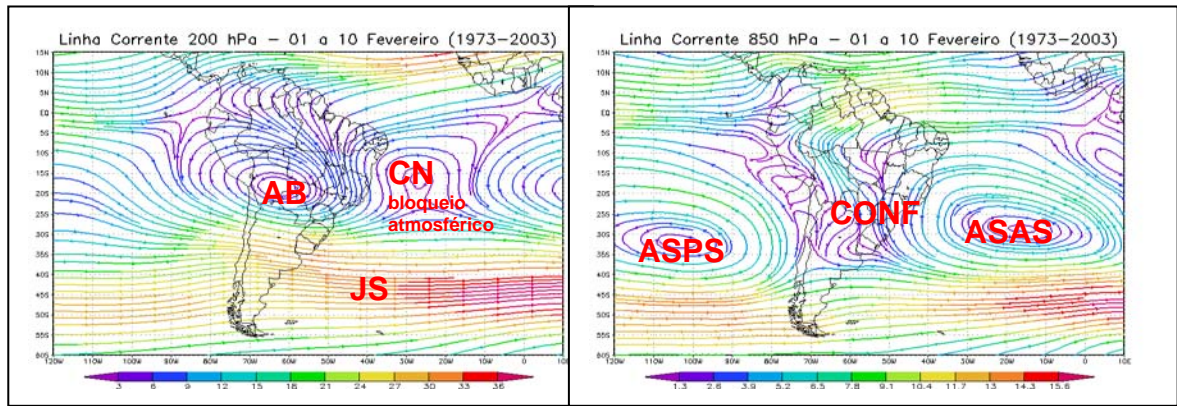
FIGURA 34 - Campos de linhas de corrente 200 hPa (a,b,c) e 850 hPa (d,e,f), 1º, 2º e 3º decêndios de janeiro (1973-2003). AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASPS (Anti-ciclone Subtropical do Pacífico Sul), ASAS (Anti-ciclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência – transporte de umidade).

Fonte de dados: NOAA.



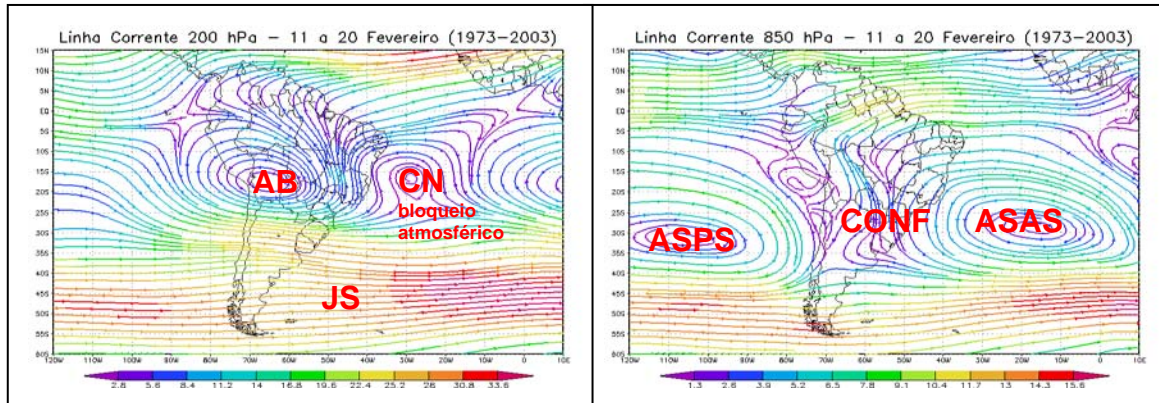
(a)

(d)



(b)

(e)



(c)

(f)

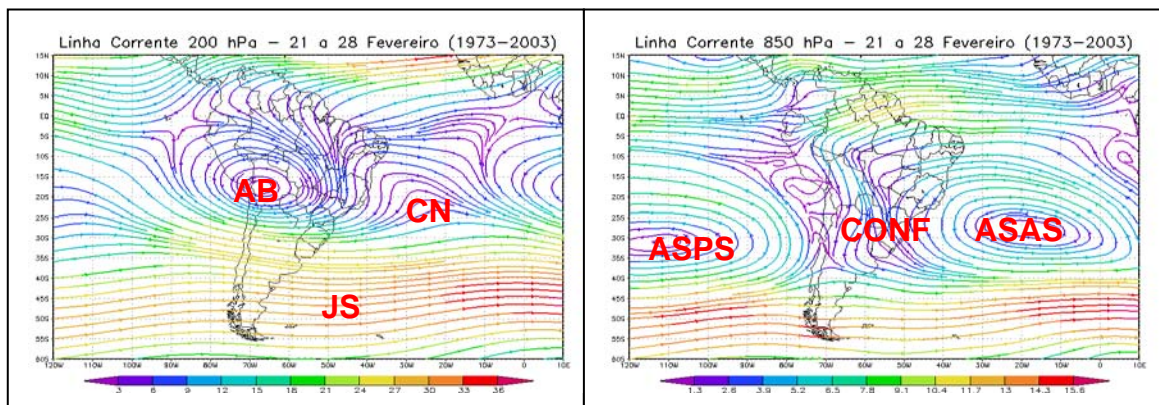


FIGURA 35 - Campos de linhas de corrente 200 hPa (a,b,c) e 850 hPa (d,e,f), 1º, 2º e 3º decêndios de fevereiro (1973-2003). AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASPS (Anti-ciclone Subtropical do Pacífico Sul), ASAS (Anti-ciclone Subtropical do Atlântico Sul) e CONF (Confluência – transporte de umidade).  
Fonte de dados: NOAA.



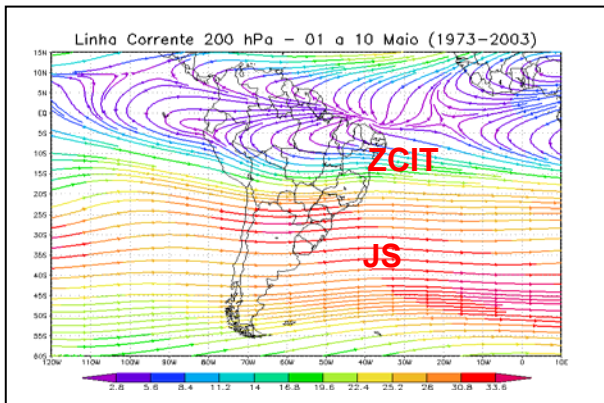
#### 4.4.2 Aspectos Dinâmicos na Estação Seca

Analisando os decêndios do mês de maio nos campos de 200 hPa (FIG. 37a, 37b e 37c), observa-se que a ZCIT desloca-se para o norte do continente, semi-estacionada entre os 5° de latitude norte e 0° de latitude. Por sua vez, o fortalecimento do JS configura-se de forma zonal, semi-estacionado a partir dos 20° de latitude sul estendendo-se até a porção meridional do continente sul americano.

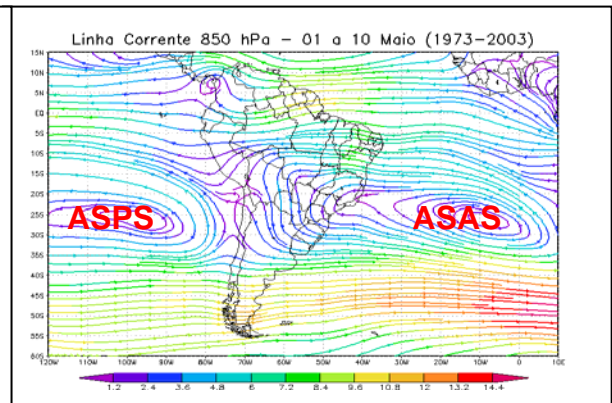
Nos campos de superfície, a 850 hPa (FIG. 37d, 37e e 37f), salienta-se a posição do ASAS sobre o continente, contribuindo para o mecanismo de subsidência do ar e conseqüente estabilidade atmosférica, os quais contribuem para a ocorrência de estiagem em todo o Estado de Minas Gerais. Importante salientar que este padrão atmosférico prevalece até o 3° decêndio de agosto (ANEXO C, FIG. C5f).



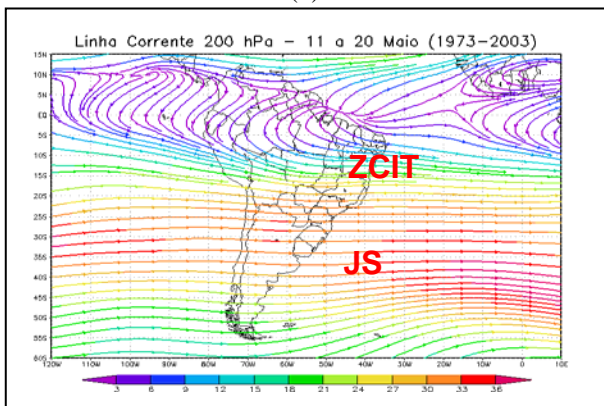
(a)



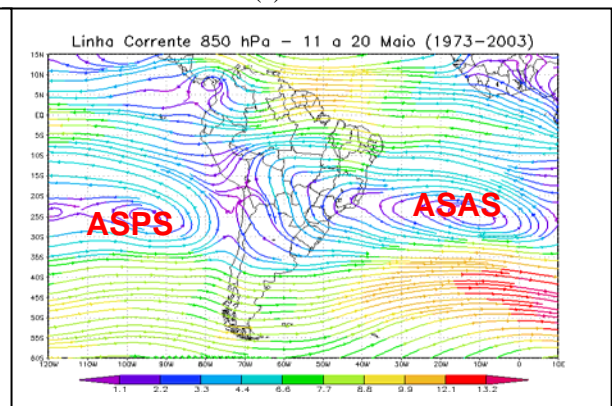
(d)



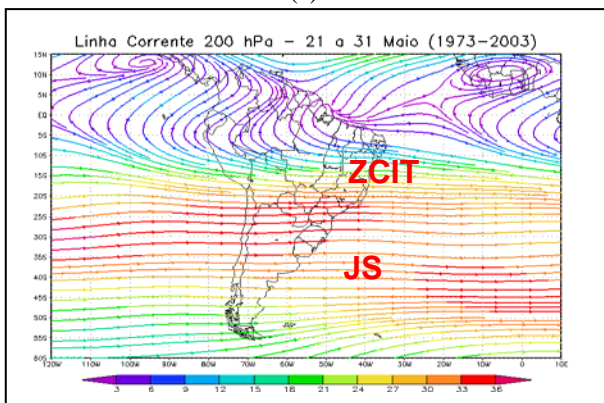
(b)



(e)



(c)



(f)

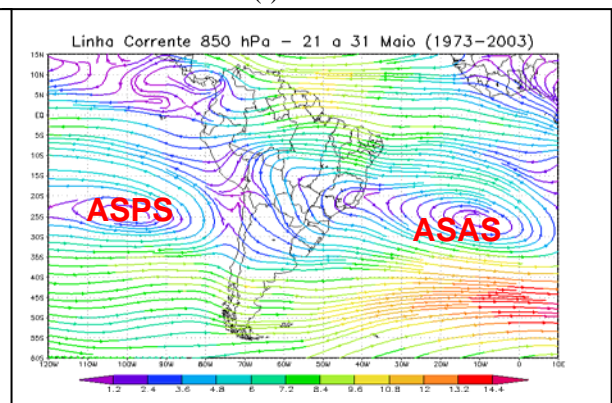


FIGURA 37 - Campos de linhas de corrente 200 hPa (a,b,c) e 850 hPa (d,e,f), 1º, 2º e 3º decêndios de maio (1973-2003). ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), JS (Jato Subtropical), ASPS (Anti-ciclone Subtropical do Pacífico Sul) e ASAS (Anti-ciclone Subtropical do Atlântico Sul). Fonte de dados: NOAA.

## 4.5. Balanço Hídrico Decendial da Bacia do rio Doce

A distribuição espacial das estações consideradas, representadas de leste para oeste por Linhares, Aimorés, Caparaó, Governador Valadares, Caratinga, Ipatinga, Viçosa, Conceição do Mato Dentro, Diamantina e Barbacena (ANEXO D, fotos D1 e D2), mostra relações muito específicas com a distribuição das altitudes observadas na bacia e com a latitude.

Na FIG. 38 observa-se um acentuado crescimento do período e da intensidade do déficit hídrico de oeste para leste. Nota-se que Diamantina e Barbacena apresentam as menores deficiências hídricas, enquanto que Linhares e Aimorés possuem os maiores valores para este mesmo atributo climático. É importante considerar que as duas primeiras são representativas de sistemas serranos, enquanto as duas últimas são representativas de domínios litorâneos ou pré-litorâneos, como é o caso de Aimorés.

Em Diamantina e Barbacena foram registradas médias anuais de precipitação de 1321,28 e 1318,03 mm (FIG. 39 e 40), enquanto que em Linhares e Aimorés estes valores foram de 1089,65 e 1093,37 mm, respectivamente, já citados no item 4.1 (FIG. 47 e 48).

A precipitação e a altitude revelam uma forte influência no comportamento do Balanço Hídrico de Diamantina e Barbacena (FIG. 39 e 40). A vigência de médias de precipitação elevadas, associadas à presença de relevos serranos, implica em saldos positivos no que diz respeito à disponibilidade de água no sistema solo-planta. Esta disponibilidade pode ser explicada pelo comportamento de temperaturas baixas ao longo do ano. Tratando-se, portanto, de domínios portadores de níveis de evapotranspiração mais reduzidos, favorecendo a manifestação de excessos hídricos praticamente todo o ano.

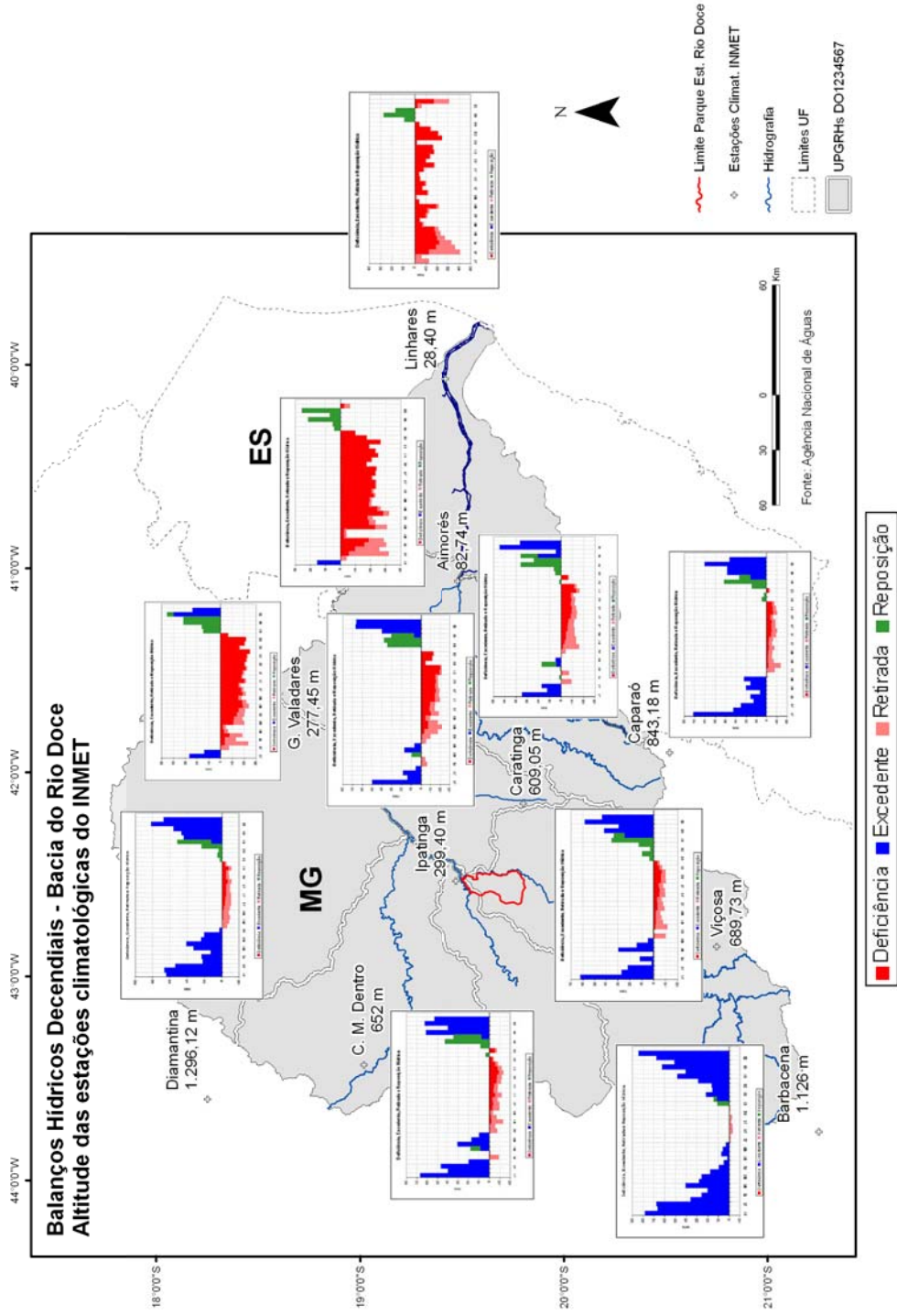


FIGURA 38 - Balanço hídrico decenal da bacia do rio Doce, dez estações climatológicas, 1980-2002. Fonte de dados: ANA e INMET.

Dois aspectos adicionais devem ser considerados na análise dos balanços hídricos de Barbacena e Diamantina. O posicionamento latitudinal da primeira favorece médias térmicas mais baixas, influenciando ainda mais na redução das taxas de evapotranspiração. As características fitogeográficas destas duas regiões parecem também evidenciar uma menor demanda hídrica por parte das plantas. Na região de Diamantina, expressiva porção do território é revestida de formações campestres, a exemplo das áreas mais elevadas da Mantiqueira, onde se localiza a estação de Barbacena. No entanto, nesta última, as formações florestais do tipo mista ou semidecíduais são representativas do domínio de inserção fitogeográfica dominante na região. De toda forma, fica evidente que a existência de serras e o posicionamento altimétrico e latitudinal destas estações conduzem à manifestação de temperaturas que permitem compreender o comportamento do balanço hídrico da porção extremo oeste da bacia do rio Doce.

Os balanços hídricos de Diamantina e Barbacena, apesar da inexistência de deficiência hídrica pronunciada, revelam a ocorrência de veranicos nos segundo e terceiro decêndio de fevereiro e primeiro de março.

Em Barbacena, durante geralmente oito decêndios, período do 2º decêndio de junho ao 3º decêndio de agosto, as chuvas são muito reduzidas. Entretanto, como a temperatura cai sensivelmente nessa época, os baixos valores pluviométricos não se situam muito abaixo da evapotranspiração potencial, de modo que não chegam a afetar muito os mecanismos de adaptação dos campos de altitude da Floresta Tropical à deficiência hídrica. Além disso, neste período, a pequena retirada hídrica, o déficit hídrico quase que inexistente e os estoques de água contidos nos solos compensam parcialmente os déficits pluviométricos, de tal modo que estes decêndios podem se apresentar úmidos. Se comparado a outros balanços hídricos, há pequena necessidade de reposição de água nos solos, em função da extensa estação chuvosa (2º decêndio de setembro a 1º decêndio de junho) em Barbacena.

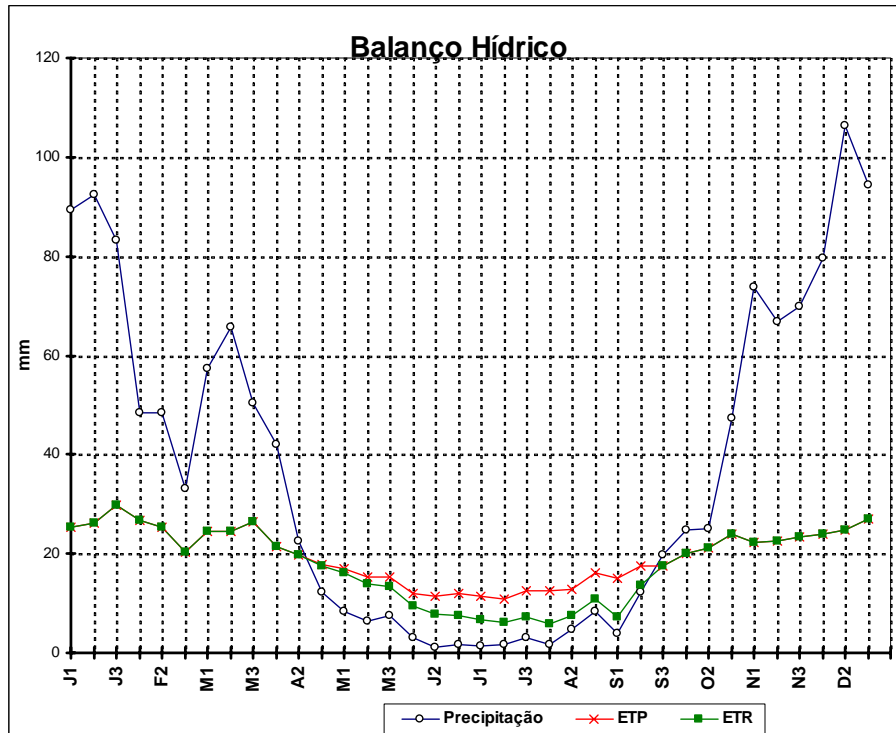


FIGURA 39 - Balanço hídrico decenal de Diamantina - MG, 1980-2002.  
 Fonte de dados: INMET.

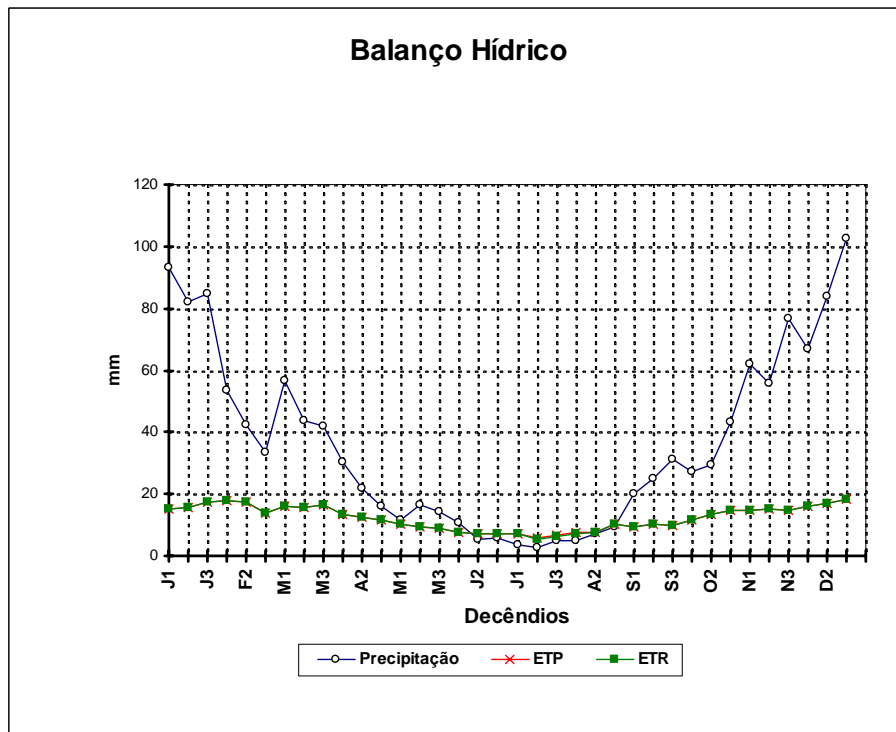


FIGURA 40 - Balanço hídrico decenal de Barbacena - MG, 1980-2002.  
 Fonte de dados: INMET.



Em Diamantina, os totais pluviométricos são apresentados de forma bastante reduzida, entre os decêndios 3º de abril e 2º de setembro. Neste período as temperaturas são sensivelmente baixas, o que, apesar das chuvas reduzidas, não se situa abaixo da evapotranspiração potencial. Portanto, o comportamento do déficit hídrico não afeta o bioma cerrado. Além disso, em Diamantina, no transcurso dos decêndios 3º de abril ao 1º de junho, os estoques de água contidos nos solos compensam parcialmente os déficits pluviométricos. Somente os últimos decêndios, 1º de agosto a 2º de setembro, acusam déficit inferior ou igual a 10 mm. A brusca diminuição das chuvas durante a estação chuvosa, no período de janeiro a março, caracteriza a presença do fenômeno veranico, atuante principalmente nos decêndios 2º e 3º de fevereiro e 1º de março.

Em função da necessidade de reposição de água nos solos, o razoável aumento das chuvas em Diamantina, a partir do 3º decêndio de setembro, não é suficiente para evitar que estes decêndios sejam geralmente os de menor intensidade de *runoff*. O 3º decêndio refere-se ao período de transição para a estação chuvosa, no qual as primeiras chuvas são responsáveis pela reposição de água no solo. A partir do 1º decêndio de novembro, em Diamantina, a situação do balanço hídrico começa a inverter-se, pois a precipitação excede a evapotranspiração potencial, alcançando totais decendiais de chuvas entre 48 a 80 mm, permitindo, assim, revelar grandes excedentes hídricos que reativam consideravelmente o processo de escoamento superficial.

O nível de água nos rios sobe rapidamente nos decêndios mais chuvosos em dezembro, extravasando seus leitos. Esta situação permanece quase inalterada até o 1º decêndio de fevereiro, quando, a partir daí, o decréscimo de chuvas, aliado à intensificação da evapotranspiração potencial (iniciada na primavera), reduz o volume de água excedente e, conseqüentemente, o *runoff*. Este aumento da vazão pode ser observado no ANEXO B, FIG. 2Ba, 2Bb, 2Bc.

O clima dessas áreas é muito úmido. Em Diamantina, o tipo de clima predominante é o Tropical de Altitude com chuvas de verão: verões frescos (CWb), nível altimétrico 1296 metros, com excedentes hídricos variando do 2º decêndio de novembro ao 2º decêndio de abril, com chuvas acumuladas de 634 mm.

Em Diamantina inicia-se o *balanço hídrico positivo* a partir dos decêndios 3º de setembro, formando, desta maneira, excedentes hídricos a partir dos decêndios 1º e 2º de novembro. Portanto, é possível formar excedente hídrico capaz de reativar o escoamento superficial e aumentar o volume de água nos rios.

Os notáveis volumes de água precipitada de dezembro são seguidos por chuvas não menos importantes em janeiro; estas declinam consideravelmente em fevereiro e março, embora se mantenham ainda muito acima da evapotranspiração potencial. Assim, dos decêndios de novembro aos de março verifica-se a estação de excedente de água e de intenso *runoff*; este fenômeno, bastante desativado em março, decresce mais rapidamente a partir de abril, quando reinicia a estação seca.

A estação de Conceição do Mato Dentro, com altitude de 652 metros, registra o maior total pluviométrico entres as consideradas neste estudo (FIG. 41). O valor de 1373,81 mm anuais não é, contudo, suficiente para evitar a ocorrência de deficiência hídrica nos meses de abril a outubro. No entanto, seus valores chegam a superar, de maneira relevante, os valores observados para Diamantina e Barbacena, também localizadas em domínios serranos.

É importante destacar, no entanto, que a região de Conceição do Mato Dentro, incluindo-se o município de Serro, apresenta-se como portadora de importante ocorrência de floresta atlântica, estando estas muitas vezes estabelecidas em solos derivados de rochas ultramáficas, revelando exuberância superior àquela que caracteriza esta mesma formação quando estabelecida em rochas graníticas e gnaisses na mesma região (CAMPOS, 1997).

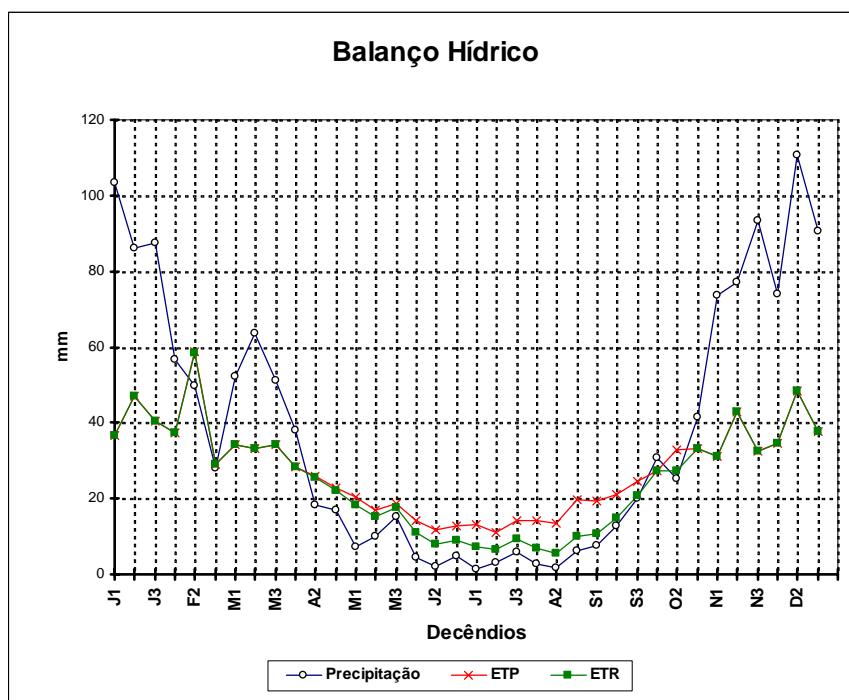


FIGURA 41-Balanço hídrico decenal de Conceição do Mato Dentro - MG, 1980-2002. Fonte de dados: INMET.

Em Conceição do Mato Dentro, geralmente em dezessete decêndios, período do 2º decêndio de abril ao 3º decêndio de setembro, os totais decendiais de chuvas são muito reduzidos. Neste período a temperatura reduz-se substancialmente, favorecendo a redução da evapotranspiração potencial.

Em Conceição do Mato Dentro, nos decêndios 2º de abril ao 3º de junho, os estoques de água contidos nos solos compensam parcialmente os déficits pluviométricos, de tal modo que estes decêndios podem até mesmo apresentarem-se úmidos. Somente os últimos decêndios, 1º de agosto a 3º de setembro, acusam, normalmente, déficit inferior ou igual a 10 mm ao todo.

Importante destacar que a brusca diminuição das chuvas durante a estação chuvosa no período de janeiro a fevereiro caracteriza a presença do fenômeno verânico.

Em função da necessidade de reposição de água nos solos, o razoável aumento das chuvas no 3º decêndio de outubro e no 1º de novembro, em Conceição do Mato Dentro, não é suficiente para evitar que estes decêndios sejam geralmente os de menor intensidade de *runoff*. A partir do 2º decêndio de novembro, a situação do balanço hídrico começa a inverter-se, pois a precipitação excede a evapotranspiração potencial, alcançando totais decendiais de chuvas de 35 a 68 mm, permitindo revelar grandes excedentes hídricos que, por sua vez, reativam consideravelmente o processo de escoamento superficial.

O clima de Conceição do Mato Dentro é do tipo Tropical de Altitude com chuvas de verão: verões Quentes (C<sub>Wa</sub>), nível altimétrico 652 metros. Os grandes excedentes hídricos são encontrados entre o 3º decêndio de novembro ao 3º decêndio de abril, com o acumulado de 455 mm, ressalta-se déficit hídrico nos 2º e 3º decêndios de fevereiro.

Em Conceição do Mato Dentro inicia-se o balanço hídrico positivo a partir do 2º decêndio de outubro, formando, desta maneira, excedentes hídricos a partir do 2º de novembro. Portanto, é possível formar excedente hídrico capaz de reativar o escoamento superficial e aumentar o volume de água dos rios.

Os notáveis volumes de água precipitada de dezembro são seguidos por chuvas não menos importantes em janeiro; estas declinam consideravelmente em fevereiro e março, embora se mantenham ainda muito acima da evapotranspiração potencial. Assim sendo, dos decêndios de novembro aos de março verifica-se a estação de excedente de água e de intenso *runoff*. Este fenômeno, bastante desativado em março, decresce mais rapidamente a partir de abril quando reinicia a estação seca.

Importante salientar, como foi comentado nos itens 4.2 e 4.4, que estas estações representam as regiões UPGRH DO1, DO2, DO3 e DO4 onde se observam as maiores médias

de precipitação de toda a bacia do rio Doce, com sua gênese em um mecanismo atmosférico denominado de Alta da Bolívia (AB).

Outro conjunto de estações de comportamento semelhante é representado por Caratinga, Viçosa e Caparaó (FIG. 42, 43 e 44).

Trata-se de um conjunto de estações que possuem totais pluviométricos relativamente semelhantes. Em Caparaó, as chuvas chegam a 1168,34 mm, enquanto que em Caratinga e Viçosa os valores são de 1123,74 e 1176,94 mm, respectivamente. Nota-se que Viçosa e Caparaó, localizadas em altitudes mais elevadas, 689,73 metros e 843,18 metros, respectivamente, em relação ao nível médio do mar, possuem precipitações mais elevadas que Caratinga, localizada a 609,05 metros de altitude. A estação de Caparaó mostra o menor período de deficiência hídrica entre as três estações analisadas. Seus dados revelam, ainda, os valores mais reduzidos, inferiores a 10 mm de deficiência hídrica praticamente todo o ano. Na seqüência, tal comportamento pode ser verificado em Viçosa e, por último, em Caratinga, como a estação portadora dos maiores índices de deficiência hídrica no conjunto analisado.

Observando o reflexo deste comportamento climático sobre a vegetação, nota-se que este é pouco variável. Em todas as regiões de inserção destas estações, a floresta estacional semidecidual apresenta-se como a formação vegetal dominante. É possível que a variação entre os índices de balanço hídrico, observado entre as estações analisadas, seja decorrente da influência altimétrica, sendo a de menor deficiência aquela de maior altitude.

Em Viçosa, geralmente durante quinze decêndios, período do 3º decêndio de abril ao 2º decêndio de setembro, e em Caratinga, geralmente durante dezessete decêndios, período do 2º decêndio de abril ao 2º decêndio de setembro, os totais decendiais de chuvas são muito reduzidos, entretanto, como a temperatura diminui sensivelmente nessa época, os baixos valores pluviométricos não se situam muito abaixo da evapotranspiração potencial. Importante salientar, nestas ECPs, a brusca diminuição das chuvas de janeiro para fevereiro, além da ocorrência de Veranico Climatológico.

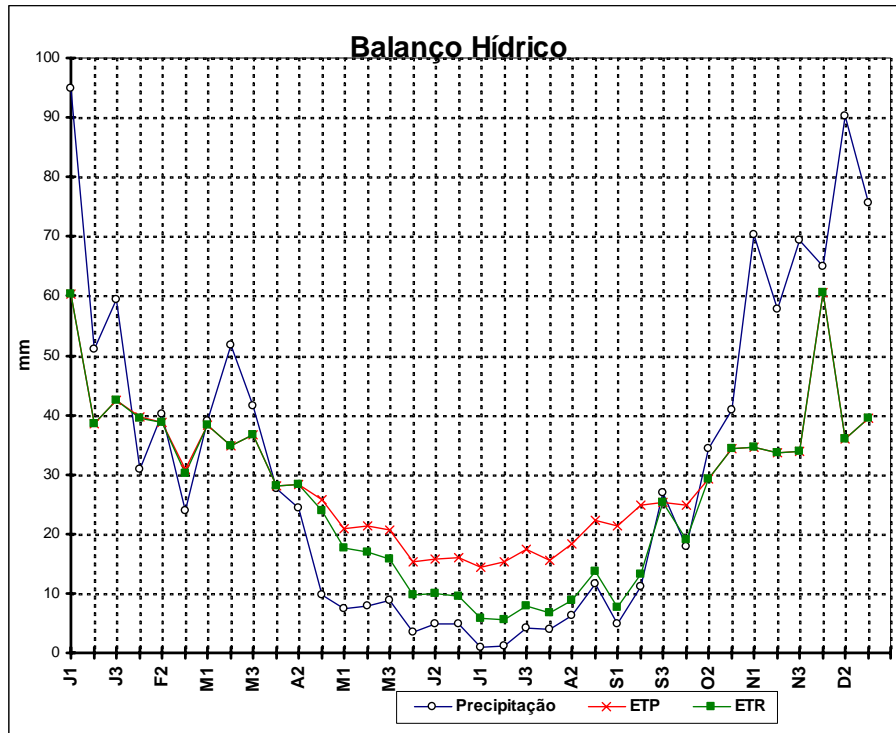


FIGURA 42 - Balanço hídrico decenal de Caratinga - MG, 1980-2002.  
Fonte de dados: INMET.

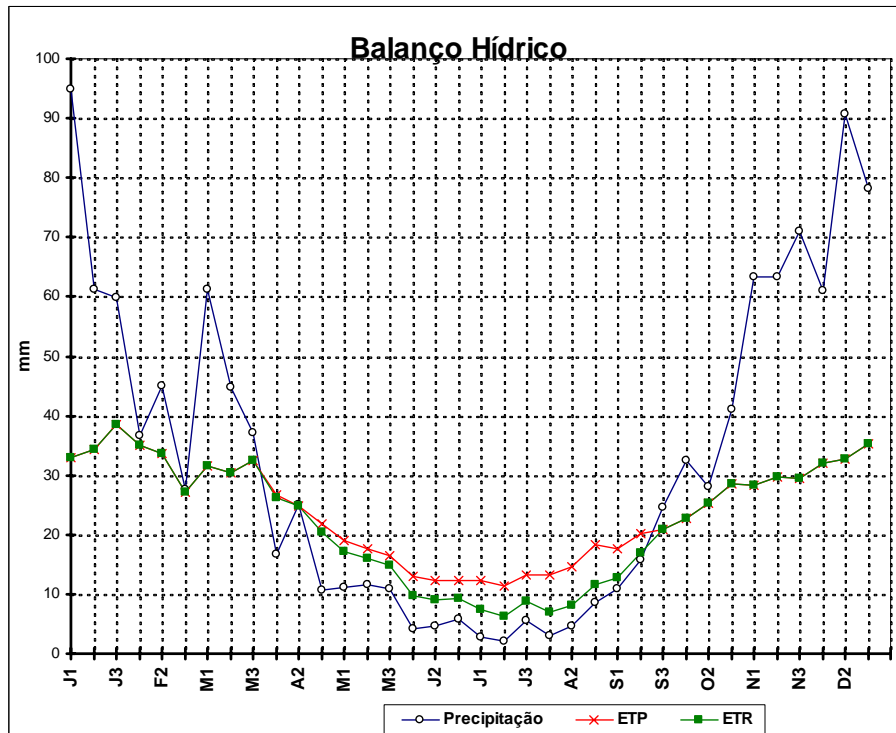


FIGURA 43 - Balanço hídrico decenal de Viçosa - MG, 1980-2002.  
Fonte de dados: INMET.

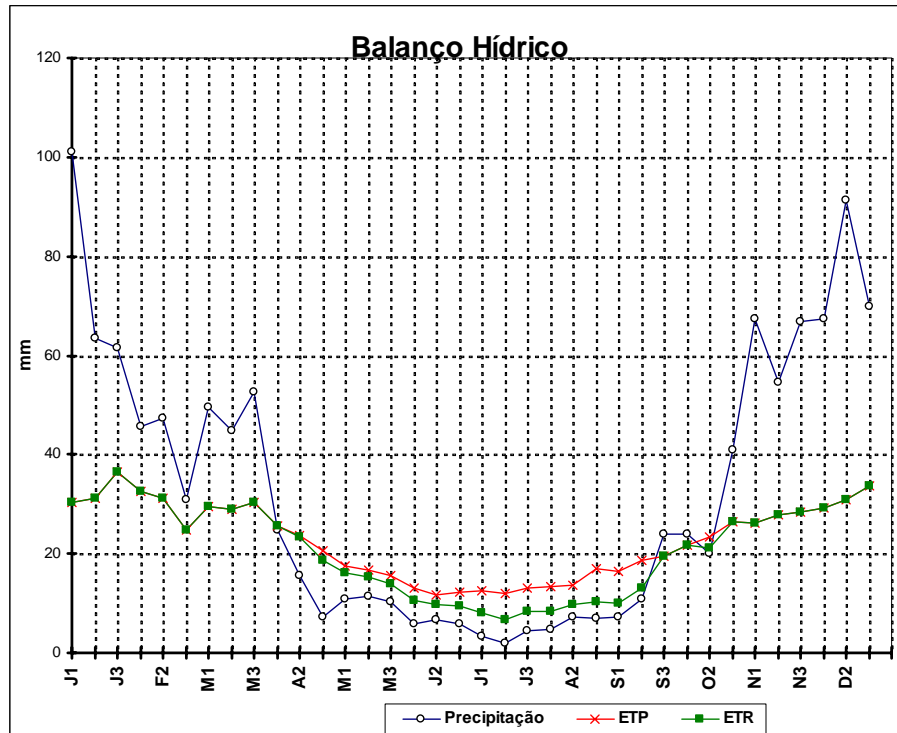


FIGURA 44 - Balanço hídrico decendial de Caparaó - MG, 1980-2002.  
 Fonte de dados: INMET.

Em função da necessidade de reposição de água nos solos, o aumento das chuvas em Viçosa, a partir do 3º decêndio de setembro, sobretudo no 1º de novembro, e em Caratinga, a partir do 2º decêndio de outubro, principalmente no 1º de novembro, não é suficiente para evitar que estes decêndios sejam geralmente os de menor intensidade de *runoff*. A partir dos decêndios de novembro, 2º e 3º em Viçosa e Caratinga, a situação do balanço hídrico começa a inverter-se, pois a precipitação excede a evapotranspiração potencial, alcançando totais decendiais de chuvas, respectivamente, entre 30 a 64 mm e 5 a 55 mm, permitindo revelar grandes excedentes hídricos que, por sua vez, reativam consideravelmente o processo de escoamento superficial.

O clima dessas áreas é muito úmido. Em Viçosa, o tipo de clima predominante é o Tropical de Altitude, com chuvas de verão, verões frescos (CWb), nível altimétrico 690 metros, com excedentes hídricos variando do 3º decêndio de novembro ao 3º decêndio de março, com chuvas acumuladas de 366 mm. Em Caratinga, Tropical de Altitude, com chuvas de verão, verões quentes (CWa), nível altimétrico 609 metros, os grandes excedentes hídricos são encontrados entre o 1º decêndio de dezembro ao 3º decêndio de janeiro, com o acumulado de 182 mm, ressalta-se déficit hídrico nos 1º e 3º decêndios de fevereiro e 1º de outubro, além do excedente hídrico no 3º decêndio de março.

Em Viçosa e em Caratinga inicia-se, respectivamente, o balanço hídrico positivo a partir dos decêndios 3º de setembro e 2º de outubro, formando, desta maneira, excedentes hídricos a partir dos decêndios 2º e 3º de novembro.

Os notáveis volumes de água precipitada de dezembro são seguidos por chuvas não menos importantes em janeiro. Estas declinam consideravelmente em fevereiro e março, embora se mantenham ainda muito acima da evapotranspiração potencial. Assim sendo, dos decêndios de novembro aos de março, verifica-se a estação de excedente de água e de intenso *runoff*. Este fenômeno, bastante desativado em março, decresce mais rapidamente a partir de abril, quando reinicia a estação seca.

Em Caparaó, geralmente durante dezessete decêndios, período do 1º decêndio de abril ao 2º decêndio de setembro, os totais decendiais de chuvas são muito reduzidos, entretanto, como a temperatura decresce sensivelmente nessa época, a exemplo de outras estações serranas, os baixos valores pluviométricos não se situam muito abaixo da evapotranspiração potencial, amenizando o efeito da seca sobre a vegetação. Além disso, em Caparaó, nos decêndios 1º de abril ao 3º de junho, os estoques de água contidos nos solos compensam parcialmente os déficits pluviométricos. Somente os últimos decêndios, 1º de julho a 2º de setembro em Caparaó, acusam déficit inferior ou igual a 10 mm ao todo.

A redução das chuvas ocorre de janeiro para o 1º decêndio de março, no auge da estação chuvosa, caracterizando a presença do fenômeno veranico, também verificado para esta estação no segundo decêndio de outubro.

No 2º decêndio de novembro, em Caparaó, a precipitação excede a evapotranspiração potencial, alcançando totais decendiais de chuvas entre 38 a 72 mm, permitindo revelar grandes excedentes hídricos que, por sua vez, reativam consideravelmente o processo de escoamento superficial.

Assim como nas ECPs de Diamantina e Barbacena, também em Caparaó, o nível das águas dos rios sobe rapidamente nos decêndios mais chuvosos em dezembro.

Nas ECPs de Ipatinga e Governador Valadares (FIG. 43 e 44), devido aos fatores geográficos locais, a irregularidade topográfica em níveis altimétricos que variam de 299,40 em Ipatinga a 277,45 metros em Governador Valadares, e processos adiabáticos de subsidência do ar, associados à fatores atmosféricos de meso-escala, o clima apresenta um relativo grau de umidade, cujo tipo climático predominante é quente com chuvas de verão (AW). Importante salientar, como foi comentado nos itens 4.2 e 4.4, tratar-se da região UGRHs DO5, onde se observam as menores médias de precipitação de toda bacia do rio Doce, podendo estar relacionado a uma existência de ruptura no padrão de chuvas

ocasionadas por subsidência do ar, através de mecanismos atmosféricos denominados de Cavado do Nordeste (CN) e Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) .

Segundo a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (1992), o contexto fitogeográfico de Governador Valadares é marcado pela presença da floresta estacional semidecidual adaptada a um padrão climático de forte sazonalidade e um volume de chuvas de apenas 1001,30 mm. É importante ressaltar que levantamentos recentes na região de Governador Valadares permitiram o registro de florestas ombrófilas em algumas ilhas fluviais do rio Doce, evidenciando a influência da umidade da calha fluvial nos compartimentos mais baixos deste, bem como a influência do nível freático na alimentação dos processos metabólicos de uma formação florestal úmida. É interessante ressaltar, por sua vez, que tais levantamentos mostraram a ocorrência de domínios pedológicos correlatos ao padrão climático registrado pela estação de Governador Valadares. Na região encontram-se os Argissolos, solos que são típicos de domínios climáticos marcados pela forte sazonalidade das chuvas associado a volumes relativamente baixos para os domínios tropicais.

Conferindo mais ao processo de transição do comportamento dos atributos climáticos de leste para oeste, tem-se a estação climatológica de Ipatinga.

É importante notar também a existência de um claro gradiente de ampliação da deficiência hídrica, bem como da redução dos totais pluviométricos de sul para norte. Tal situação é notável quando se observam os gráficos produzidos para as estações de Caparaó, Caratinga, Ipatinga e Governador Valadares. Observando-se a distribuição geral de leste para oeste e de sul para norte, tanto dos índices pluviométricos, quanto da ampliação do período e da intensidade da deficiência hídrica, nota-se que a altitude apresenta-se como um fator de relação muito estreita com o comportamento da espacialização dos padrões analisados.



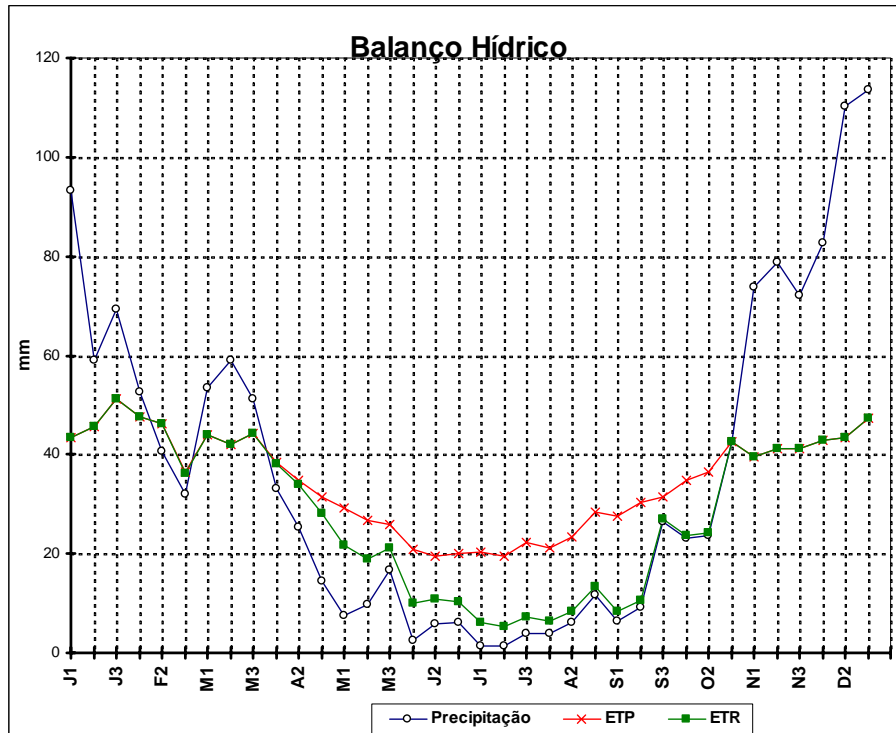


FIGURA 45 - Balanço hídrico decenal de Ipatinga - MG, 1980-2002.  
Fonte de dados: INMET.

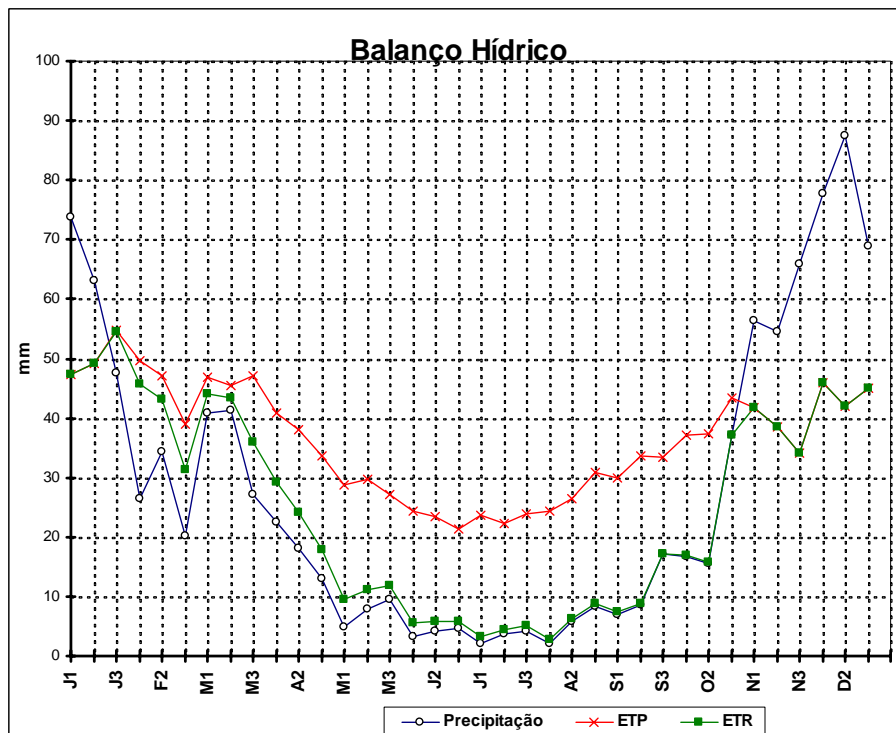


FIGURA 46 - Balanço hídrico decenal de Governador Valadares - MG, 1980-2002.  
Fonte de dados: INMET.

Em Ipatinga (FIG. 45), durante geralmente vinte decêndios, período do 1º decêndio de abril ao 2º decêndio de outubro, e em Governador Valadares (FIG. 46), durante geralmente vinte e oito decêndios, período do 3º decêndio de janeiro ao 3º decêndio de outubro, caracterizam-se longos períodos de deficiência hídrica, quando a evapotranspiração potencial supera a precipitação. Em Ipatinga, no transcurso dos decêndios 1º de abril ao 3º de julho, e em Governador Valadares, os decêndios 3º de janeiro ao 1º de maio, revelam-se estoques de águas contidos no solo, que compensam parcialmente os déficits pluviométricos. É importante ressaltar que o baixo gradiente do perfil longitudinal da calha do rio Doce favorece a manutenção de um nível freático elevado, especialmente nas áreas de domínio das formações aluvionares, como é o caso do sítio onde se aloja o Parque Estadual do rio Doce e todo o conjunto de formações lacustres representado por lagoas distribuídas em seu interior e entorno imediato.

Enquanto em Ipatinga os decêndios 1º de junho, 1º de julho ao 2º de setembro, 1º e 2º de outubro apresentam déficits hídricos acima de 10 mm, em Governador Valadares, os decêndios 3º de março ao 3º de junho, 2º e 3º de julho, 3º de setembro atingem o mesmo déficit, e os decêndios 1º de julho, 1º de agosto ao 2º de setembro, 1º e 2º de outubro apresentam déficits hídricos iguais ou superiores a 20 mm. Importante salientar, nestas localidades, a redução das chuvas de janeiro para fevereiro. Além da ocorrência do fenômeno verânico no 2º e 3º decêndios de fevereiro em Ipatinga, como também em Governador Valadares, no 3º decêndio de janeiro, existe um verânico de grande amplitude que, acoplado ao início da estação seca, forma um longo período de estiagem, estendendo-se até o 3º decêndio de outubro.

Apesar da necessidade de reposição de água nos solos, o razoável aumento das chuvas em dezembro, a partir dos 1º e 2º decêndios, respectivamente em Ipatinga e Governador Valadares, favorece a ocorrência de *runoff* de grande intensidade na calha fluvial dos principais rios da região. A partir dos decêndios 3º de novembro em Ipatinga e 2º de dezembro em Governador Valadares, a situação do balanço hídrico começa a inverter-se, pois a precipitação excede a evapotranspiração potencial, alcançando totais decendiais de chuvas, respectivamente, entre 40 a 68 mm e 15 a 28 mm, permitindo excedentes hídricos que, por sua vez, podem reativar consideravelmente o processo de escoamento superficial.

É importante ressaltar que a morfologia marcada por declividades acentuadas, a presença de solos com horizonte Bt e a forte remoção da cobertura florestal, associada à compactação de seus solos, compõem um cenário clássico nesta porção da bacia no favorecimento do escoamento superficial de grande intensidade.

Em Ipatinga e em Governador Valadares, o balanço hídrico positivo inicia-se a partir do decêndio 1º de novembro, formando, desta maneira, excedentes hídricos, respectivamente, a partir dos decêndios 3º de novembro e 2º de dezembro. Portanto, é possível formar excedente hídrico capaz de reativar o escoamento superficial e aumentar o volume de água dos rios.

Finalmente, contrapondo-se à situação observada no oeste da bacia, tem-se o comportamento das estações de Aimorés e Linhares (FIG. 47 e 48).

Linhares e Aimorés, com totais pluviométricos respectivamente de 1044,95 e 923,94 mm, encontram-se situadas em áreas topograficamente baixas e possuem um posicionamento latitudinal equivalente. O maior total pluviométrico em Linhares encontra-se associado aos sistemas oceânicos derivados do Atlântico Sul, favorecendo o aumento de umidade na região. Nimer (1989) salienta que na época do ano do mínimo pluviométrico, julho, no litoral do Espírito Santo, as chuvas têm sua origem pelas *Correntes de Circulação Perturbadas de Leste*, vindas do Oceano Atlântico. No entanto, apesar de portar maiores totais de precipitação, em nenhum período do ano nota-se a manifestação de excedente hídrico.

Fato de relevância a se investigar na região é a presença do que poderia ser considerado um paradoxo ambiental, evidenciado pelas formações florestais ombrófilas num domínio de deficiência hídrica em todo o ano. Neste caso, é possível que as temperaturas médias elevadas, comparadas com o restante da bacia (FIG. 49), sejam a evidente explicação para a manifestação de tal situação. Tal comportamento térmico, associado à presença de uma cobertura florestal, que demanda elevada quantidade de água para desenvolvimento dos seus processos metabólicos, precisa ser compreendido melhor. As questões de natureza hidrogeológica são explicativas da manutenção do arranjo ambiental vigente no baixo curso do rio Doce. A disponibilidade de água subterrânea pode atuar no favorecimento do estabelecimento destas florestas úmidas, o que sugere uma forte condição do solo de apresentar uma capacidade de campo superior a 100 mm.

Pezzopane *et al.* (2006), em relação ao litoral norte do Espírito Santo, afirmam que a temperatura do ar está relacionada com a energia disponível para os processos de fundamental importância na bacia, que são a fotossíntese e a evapotranspiração. A precipitação fornece a água envolvida no processo de crescimento das plantas. Todavia, não é possível afirmar que um local com maior precipitação não apresente deficiência hídrica, pois o consumo de água pelas comunidades vegetais, isto é, a evapotranspiração, pode ser elevada devido a altas temperaturas que ocorrem em função da alta disponibilidade energética.

Neste sentido algumas questões podem ser levantadas. A primeira delas refere-se à natureza do substrato existente em algumas porções da região. Trata-se de um domínio de ocorrência de grandes depósitos sedimentares, organizados na forma de grandes áreas planas, onde a saída da água do sistema se dá de forma lenta. Outro aspecto importante refere-se ao caráter organizacional da rede de drenagem. Por se tratar de um domínio correspondente ao exutório da bacia do rio Doce, portador de uma morfologia plana, o escoamento da água armazenada subsuperficialmente nos depósitos sedimentares da porção baixa da bacia sugere um escoamento igualmente dificultado, favorecendo a concentração de água no solo, sustentando as fisionomias florestais observadas na área de estudo (PROJETO RADAMBRASIL, 1983).

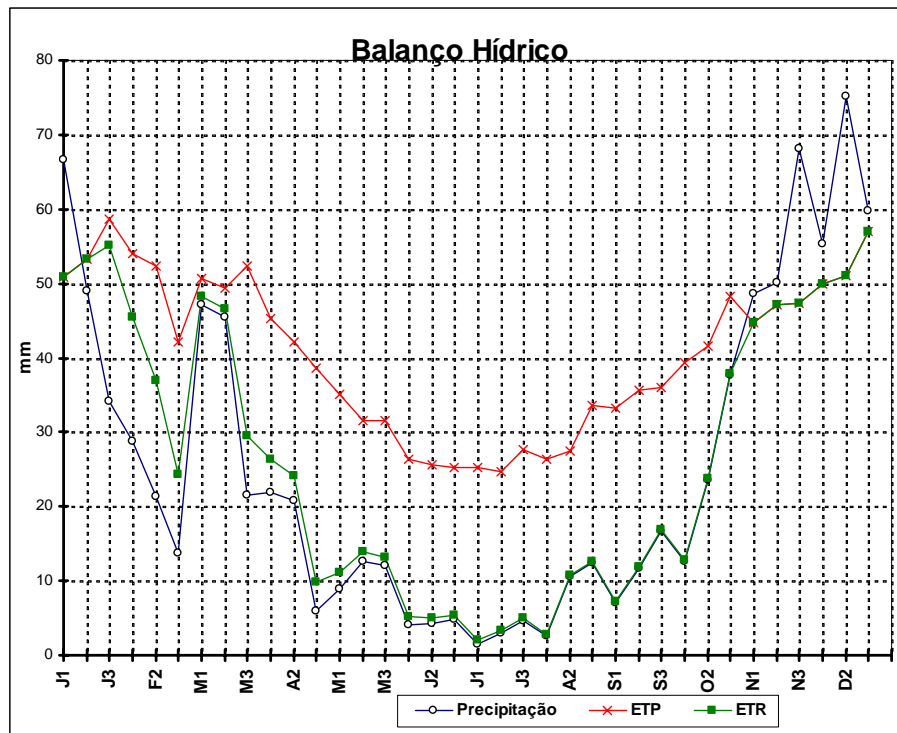


FIGURA 47 - Balanço hídrico decenal de Aimorés - MG, 1980-2002.  
Fonte de dados: INMET.

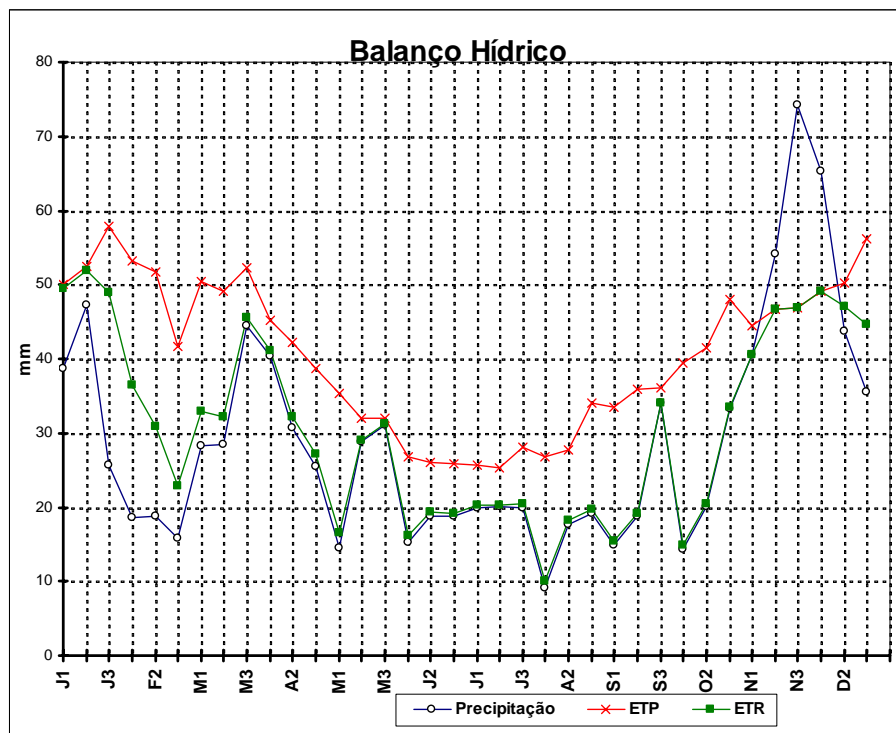


FIGURA 48 - Balanço hídrico decenal de Linhares - ES, 1980-2002.  
 Fonte de dados: ANA e INMET.

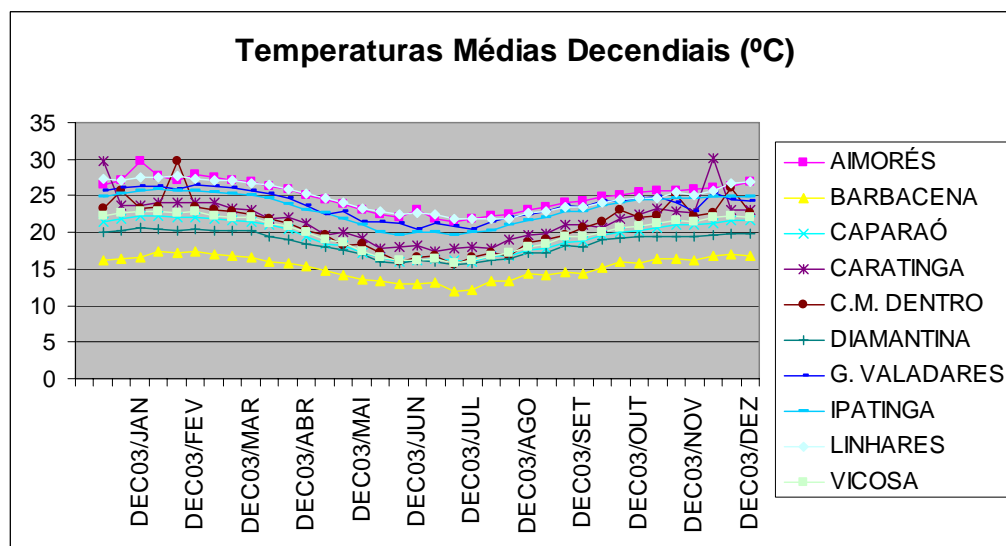


FIGURA 49 - Temperaturas médias decenais das estações climatológicas principais, 1980-2002.  
 Fonte de dados: INMET.

Em Linhares, a deficiência hídrica é observada em quase todos os decênios, no período do 2º de dezembro a 1º de novembro. Quanto ao excedente, o processo inverte-se no

período dos decêndios 2º de novembro a 1º de dezembro, pois a precipitação excede a evapotranspiração potencial, alcançando totais decendiais de até 75 mm, sendo que o restante do balanço apresenta-se como negativo.

O longo período de estiagem agrava-se mais do que em Aimorés, estendendo-se para todos os decêndios, com exceção do período do 2º de novembro ao 1º de dezembro. Segundo Pezzopane *et al.* (2004), as localidades localizadas no norte do Espírito Santo apresentam valores mais elevados de deficiência hídrica que aquelas localizadas na região sudoeste do Estado.

Em Aimorés, uma altitude mais elevada, cuja estação registra índices pluviométricos de 923,94 mm, a deficiência hídrica apresenta-se como a mais significativa de todo o conjunto de estações analisadas na bacia do rio Doce. Apesar de tal valor de deficiência hídrica, a formação vegetal presente nesta porção da bacia é do tipo estacional semidecidual, refletindo o caráter sazonal que rege o clima regional. De toda forma, trata-se de uma das regiões da bacia do rio Doce de menor índice de precipitação pluvial.

Em Aimorés, durante geralmente vinte e nove decêndios, período do 2º decêndio de janeiro ao 3º decêndio de outubro, e em Linhares, nos trinta e seis decêndios, os totais decendiais de chuvas são muito reduzidos e, como a temperatura é elevada, os baixos valores pluviométricos situam-se muito abaixo da evapotranspiração potencial, de modo que chegam a afetar, em muito, os mecanismos de adaptação da floresta tropical à deficiência hídrica. Estes decêndios podem apresentar um razoável grau de umidade, o que sugere influência das brisas marítimas que sobem o leito do rio Doce atingindo estas áreas.

Em Aimorés ocorrem déficits hídricos em quase todos os decêndios, com exceção do 1º de janeiro e os de novembro e dezembro, apresentado excedentes que variam de 65 a 75 mm. Importante salientar que a redução das chuvas a partir do 2º decêndio de janeiro até o 3º de fevereiro demonstra a existência de um veranico de grande amplitude, que acoplado ao início da estação seca, forma um longo período de estiagem. Com relação ao pequeno período chuvoso, Aimorés apresenta-se com uma topografia mais irregular e mais a montante, contribuindo, assim, principalmente no 1º decêndio de janeiro, com a ocorrência de consideráveis processos de *runoff*. Quanto ao balanço hídrico, o processo inverte-se no período dos decêndios 1º de novembro ao 1º de janeiro, pois a precipitação excede a evapotranspiração potencial. Estas chuvas e as que ocorrem a montante da bacia favorecem também ao extravasamento do leito do rio Doce, tanto em Aimorés como em Linhares.

## 5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos na verificação do diagnóstico hidroclimatológico da bacia do rio Doce permite as seguintes considerações:

a) Em relação às precipitações:

Os mecanismos atmosféricos imprescindíveis no comportamento do regime hídrico da bacia do rio Doce são: a Alta da Bolívia (AB), que contribui com o transporte de umidade da Amazônia para a bacia e conseqüentemente favorece as precipitações no oeste da bacia; o Anticiclone Subtropical do Atlântico do Sul (ASAS) e o Cavado do Nordeste (CN), responsáveis pela forte subsidência do ar, favorecendo, assim, à formação de uma ruptura caracterizada pela redução no regime das chuvas em sua porção central; e a formação de um bloqueio atmosférico, que se inicia no 2º decêndio de janeiro e estendendo-se até fevereiro, desconfigurando-se no 1º decêndio de março, caracterizando um *veranico climatológico* na porção leste da bacia.

O regime pluviométrico da bacia do rio Doce, dos maiores totais pluviométricos para os menores, caracteriza-se por apresentar sentido oeste-leste, ou seja, um escoamento com sentido das regiões serranas do Espinhaço e Mantiqueira para o litoral.

Detectou-se uma descontinuidade no regime das chuvas nas UGRHS DO5 e DO6, coincidentemente a região da bacia na qual menos chove. Tal descontinuidade deve-se a forçantes atmosféricas que ocasionam forte processo de subsidência do ar, inibindo o mecanismo que favorece as chuvas. Estas forçantes, interagindo com a configuração do relevo local, favorecem para que estas unidades de planejamento, localizadas na região central da bacia, apresentem as menores médias pluviométricas.

Os postos pluviométricos localizados nos setores Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste (UGRHs DO1, DO2, DO3 e DO4), nas regiões serranas do Espinhaço e Mantiqueira, apresentam, predominantemente, as maiores alturas pluviométricas da bacia. Isto porque durante a estação chuvosa a Alta da Bolívia (AB) estende sua atuação até a bacia do Doce, favorecendo, próximo à superfície, o transporte de umidade e intensificando a formação de chuvas contínuas e tempestades severas. A interação dos sistemas atmosféricos com a orografia, no setor oeste da bacia, intensifica as chuvas entre os decêndios 2º de dezembro e 3º de janeiro.

Na média climatológica da bacia, a estação chuvosa tem duração de aproximadamente 3 meses, iniciando-se no 1º decêndio de novembro e finalizando entre os decêndios 3º de janeiro e 1º de fevereiro. Por sua vez, a estação seca inicia-se no 1º decêndio de maio e finaliza-se no 1º decêndio de setembro, com duração de 3 meses.

Na média climatológica da UPGRH DO3, a estação chuvosa tem uma duração de 4 meses e meio, iniciando-se entre os decêndios 3º de outubro e 1º de novembro, finalizando no 2º decêndio de março. A estação seca, por sua vez, inicia-se no 3º decêndio de maio e termina no 1º decêndio de setembro, apresentando uma duração de aproximadamente 3 meses. Esta unidade caracteriza-se por apresentar uma estação chuvosa maior que a estação seca.

Na média climatológica da UPGRHs DO5, a estação chuvosa tem uma duração de 2 meses, iniciando-se entre os decêndios 1º e 2º de novembro, finalizando no 2º decêndio de janeiro. A estação seca, com duração de 4 meses e meio, inicia-se no 1º decêndio de maio e finaliza-se no 2º decêndio de setembro. Esta unidade caracteriza-se por apresentar uma estação chuvosa menor que a estação seca. Os períodos intermediários às estações correspondem às transições de uma para outra.

Como se depreende, a duração das estações seca e chuvosa varia da montante para juzante, com maior duração da estação chuvosa à montante e maior estação seca na região central da bacia.

Todos os decêndios do mês de fevereiro em todas UPGRHs sofrem brusca diminuição das chuvas na bacia do rio Doce. Tal fato deve-se à formação de um cavado a partir do 2º decêndio de janeiro e que se fortalece no 1º decêndio de fevereiro, configurando um bloqueio atmosférico que se mantém até o 3º decêndio de fevereiro. A partir do 1º decêndio de março desconfigura-se o bloqueio, retornando, desta maneira, as chuvas na bacia.

b) Em relação às vazões:

Na bacia do rio Doce observa-se a existência de dois padrões bem distintos de comportamento das vazões. (1º) Os subafluentes posicionados nas áreas serranas mais elevadas, a montante da bacia, e que apresentam vazões pouco expressivas se comparadas com as observadas nos rios que marcam posição em níveis de base, a juzante da bacia, (2º) e aqueles que apresentam vazões mais expressivas, como as grandes bacias que drenam para o rio Doce.

Os rios afluentes e formadores do rio Doce, como o Suaçuí Grande, o Santo Antônio, o Piracicaba e o Piranga apresentam as maiores cotas de vazão durante todo ano, além do



próprio Doce. Tal fato deve-se à situação topográfica e hidrogeológica da bacia. A topografia íngreme favorece a formação de intensas vazões nestes afluentes e subafluentes do Doce e as nascentes destes rios localizam-se nas regiões serranas da Mantiqueira e Espinhaço, áreas geologicamente formadas por fraturas e falhas e de tipos de rochas que favorecem a formação de aquíferos que freaticamente alimentam estes rios, durante a estação seca ou em períodos de intensos veranicos.

Os decêndios de dezembro, janeiro e fevereiro apresentam os mais altos valores de vazão. A partir dos decêndios de março e abril ocorre o decréscimo da vazão e nos decêndios de maio a agosto ocorrem os menores valores de vazão.

c) Em relação ao balanço hídrico:

Os totais pluviométricos e a altitude revelam uma forte influência no comportamento do balanço hídrico na bacia, de tal modo que as ECPs a oeste da bacia do rio Doce apresentam períodos curtos de estação seca e longos de estação chuvosa. À medida que se dirige para o leste, o número de decêndios que compõem a estação seca aumenta e da estação chuvosa diminui.

Os elevados totais pluviométricos encontrados nos balanços hídricos das ECPs de Barbacena, Diamantina, Conceição do Mato Dentro e Viçosa confirmam os resultados encontrados no item 4.4, com relação a AB, aliados à configuração do relevo local.

Os baixos totais pluviométricos nos balanço hídricos das ECPs de Ipatinga, Governador Valadares, Aimorés e Linhares confirmam os resultados encontrados no item 4.4, com relação ao CN e ao ASAS, interagido com as características geomorfológicas do relevo local.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Devido à complexidade física e sócio-econômica da bacia do Rio Doce, novas pesquisas hidroclimatológicas deverão ser realizadas para melhor compreensão da área, tendo como base este diagnóstico. Dentre as diversas possibilidades de avanço na compreensão desse tema são sugeridos os seguintes estudos futuros:

- a) Espacializar os riscos climáticos como o veranico, os relacionados com aspectos dinâmicos atmosféricos.
- b) Aplicar novas metodologias para determinar o início e o fim da estação chuvosa, com o objetivo de buscar um maior detalhamento para cada uma das sete unidades de planejamento da bacia.
- c) Aplicar a metodologia deste estudo em outras bacias, no sentido de avaliar a eficiência destes procedimentos.
- d) Aplicar estudos sobre os veranicos, tomando como critérios de dia seco, 1 mm, 5, mm, 10 mm, 15 mm e 20 mm, no sentido de contribuir com valorosas informações nas áreas de planejamento climático e de recursos hídricos.
- e) Aplicar estudos associados aos fenômenos de larga escala, como a ZCAS e sua influência no regime pluviométrico da bacia.
- f) Usar metodologias mais confiáveis no cálculo das componentes do Balanço Hídrico, com capacidade de campo mais realista.
- g) Analisar os processos chuva *versus* vazão para os diversos trechos da bacia.

Para que estes estudos sejam realizados com resultados confiáveis, sugere-se melhorar a rede pluviométrica e fluviométrica da bacia, tanto em qualidade como em quantidade.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M.L. A estação chuvosa de Minas Gerais: a Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, III, 1998, Salvador.

ABREU, M. L. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) a Zona de Convergência do Atlântico Sul. *Revista Geonomos*, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 17-22, Dez. 1998.

ABREU, M.L.; CUPOLILLO, F. O El Niño e o clima em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, III, 1998, Salvador.

ABREU, M. L.; CUPOLILLO, F. O El Niño e o clima em Minas Gerais. *Revista de Ciências*, Caratinga: FUNEC, v.1, n.1, p.1, 1999.

ALMEIDA, R. M. B. *Características climatológicas do regime de chuvas em Minas Gerais*. 1995. 160f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

ALVES, L. M.; CASTRO, C. A. C.; MARENGO, J. A.; 2002. Início das chuvas na região sudeste do Brasil: análise climatológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XII, 2002, Foz do Iguaçu 2002. p. 1403-1410.

AMARAL, K. El Niño and the southern oscillation: a reserval of fortune. 1996. Disponível em: <<http://www.pmel.noaa.gov/toga-tao/el-nino-story.html>>

AMBRIZZI, T.; COELHO, C. A. S. Estudos climatológicos da influência dos extremos negativos da Oscilação Sul durante dezembro, janeiro e fevereiro de 1982/83 e 1986/87 sobre a precipitação da América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, X, 1998, Distrito Federal. *Anais...* 1998. CD-ROM.

AMORIM, R. C. F. *Espacialização de variáveis meteorológicas em áreas de relevo ondulado na bacia do rio Doce*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. *Revista Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 9 -13, 1986.

AYOADE, J. O. *Introdução à climatologia para os trópicos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332 p.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. Planaltina: EMBRAPA - CPAC, 1993. 274 p.

BERTONI J. C.; TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2000. 943 p.

CÂMARA, G.; CAMARGO, E. C. G.; DRUCK, S. *Análise espacial de dados geográficos*. Planaltina: EMBRAPA, 2004, 209 p.

CAMPOS, J. C. F. *Solos, Geomorfologia e Evolução da Paisagem no Alto e Médio Jequitinhonha - MG*. 1997. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

CASARIN, D. P. *Um estudo observacional sobre os sistemas de bloqueio no hemisfério sul*. São José dos Campos: INPE, 1983. 69 p.

CASTRO NETO, P.; VILELLA, E. A. Veranico: um problema de seca no período chuvoso. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 59-62, 1986.

CAVALCANTI, I. F. A. Episódios: El Niño/oscilação sul durante a década de 1986-1996 e suas influências sobre o Brasil. *Climanálise*, Cachoeira Paulista, p. 52-64, 1996. Edição especial.

CLIMANÁLISE ESPECIAL. Cachoeira Paulista, edição comemorativa de 10 anos, 1996.

CUPOLILLO, F. *Períodos de estiagem durante a estação chuvosa no Estado de Minas Gerais: espacialização e aspectos dinâmicos relacionados*. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

CUPOLILLO, F.; ABREU, M. O El Niño e a estiagem no nordeste de Minas Gerais. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, III, 1998, Salvador.

CUPOLILLO, F.; ABREU, M. O El Niño e a estiagem no nordeste de Minas Gerais. *Revista de Ciências*, Caratinga, v. 2, n. 2, p. 65, 1999.

DUMONT, H. J.; TUNDISI, J. G. Preliminary data on the paleolimnology of four lakes. In: TUNDISI, J. G.; SAIJO, Y. (Ed.). *Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. Brazilian Academy of Sciences, 1997. p. 457-474.

ELLIOTT, J. R.; JEWSON, S. P.; SUTTON, R. T. The impact of the 1997/98 El Niño event on the Atlantic Ocean. *Climate*. n 14, p. 1069-1077, 2001.

EUCLYDES, H. P; FERREIRA, P. A; FILHO, R. F. F. Atlas digital das águas de Minas. *RURALMINAS, UFV, IGAM*, Viçosa, Produção CPT, 2005. 78 p.

FILHO, F. A. S.; COSTA, A. A.; ALVES, J. M. B. Sobre o impacto do fenômeno El Niño: Oscilação Sul na aluência de reservatórios do sistema hidroelétrico brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XII, 2002, Foz do Iguaçu. *Anais. SBMET*, 2002.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC. *Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais*. v. 1. Belo Horizonte, 1983. (Série de Publicações Técnicas, 10).

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Geografia do Brasil: Região Sudeste*. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 667 p.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE.  
*Manual Técnico de Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, A. A. *Hidrologia*. São Paulo: . Edgar Blücher, 2002. 291 p.

GOIS, G. *Caracterização da seca e seus efeitos na produção agrícola para as diferentes regiões do Estado de Minas Gerais*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

GRIMM, A. M. Variações subsazonais das monções de verão no Brasil em eventos La Niña: influências remotas e processos regionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XII, 2002, Foz do Iguaçu. *Anais*. Foz do Iguaçu, SBMET, 2002. p. 1161-1166.

GRIMM, A. M.; NATORI, A. A. Relação entre a variabilidade interanual e interdecadal da chuva no sudeste da América do Sul e da temperatura da superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XII, Foz do Iguaçu. *Anais*. Foz do Iguaçu: SBMET, 2002. p. 1167-1176.

GRIMM, A. M.; SILVA DIAS, P. L. Analysis of tropical-extratropical interactions with influence functions of a barotropic model. *Journal of Atmospheric Science*, p. 20, 52, 3538-3555, 1995.

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R.G. Influência de eventos de El niño e La niña sobre a frequência de eventos extremos de precipitação no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XIII, 2004, Fortaleza.

GUERRA, C. B.; BARBOSA, F. A. R. *Programa de educação ambiental na bacia do rio Piracicaba*: Curso básico de formação de professores na área ambiental na bacia do rio Piracicaba. Belo Horizonte: FNMA/UFMG/ICB, 1996. 251 p.

GUETTER, A. K.; PRATES, J. E. Regiões hidrologicamente homogêneas das bacias do Sul e Sudeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XII, 2002, Foz do Iguaçu. *ANAIS*. Foz do Iguaçu: SBMET, 2002.

HASTENRATH, S.; WU, M. C.; CHU, P. S. Towards monitoring and prediction of Northeast Brazil droughts. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v.110, p. 411-425, 1984.

JONES, C.; HOREL, J. D. A circulação da Alta da Bolívia e a atividade convectiva sobre a América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 5, n. [1 ou 2], p. 379-387, 1990.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, São José dos Campos, v. 107, n.9, p. 1140-1153, 1979.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Revista Brasileira de Meteorologia*, n. 3, p. 217-231, 1988.

KOUSKY, V. E.; CAVALCANTI, I. F. A. Eventos oscilação sul - El niño: características, evolução e anomalias de precipitação. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.36, n.11, p.1888-1898, 1984.

LAGE, M. R.; CUPOLILLO, F.; ABREU, M. L. Aspectos climáticos da bacia do rio Doce. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, XI, 2005, São Paulo.

LEMOS, C. F.; CALBETE, N. O. Sistemas frontais que atuaram no sul do Brasil (período 1987-1995 ). *Climanálise*, Cachoeira Paulista, p.131-135, 1996. Edição Especial.

MACEDO, M. A.; OLIVEIRA, J. C; BARBOSA, A. M.; CAMARA, G; ASSAD, E. D. *Análise comparativa da espacialização do risco climático pela média ponderada, Krigeagem ordinária e Krigeagem por indicação*. São José dos Campos: Ltid, INPE, 2001.

MAIA, L. F. P. G. *Alguns aspectos dinâmico-climatológicos em Minas Gerais*. 1986. 164f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola ) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

MARQUES, R. F. C.; RAO, V. B. Bloqueio no hemisfério sul, 1980-1989. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8, 1994, Belo Horizonte. *Anais do 8º Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Belo Horizonte: SBMET, 1994. V.2, p. 49-52.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - PROJETO RADAMBRASIL. *Geologia, Geomorfologia, Pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro/Vitória, 1983. folhas SF.23/24, 775 p.

MINUZZI, R. B. A influência dos fenômenos El Niño e La Niña nos veranicos do Estado de Minas Gerais. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

MOREIRA, J. L. B. *Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e seu entorno*. 2002. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989. 421p.

NIMER, E.; Brandão, A. M. P. M. *Balanço hídrico e clima na região dos Cerrados*. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1989. 421p.

PAIVA, M. P. *Determinação das datas de início e fim da estação chuvosa e da ocorrência de veranico na bacia do rio Doce*. 1997. 65 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

PEZZOPANE, J. E. M. *et al.* Espacialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, n.1, v.12, p.151-158, 2004.

PEZZOPANE, J. E. M. *et al.* Delimitação de zonas agroclimáticas no Estado do Espírito Santo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, n.2, v.14, p.149-156, 2006.

PHILANDER, S. G. H. El Niño and La Nina. *Journal of Atmospheric Science*, Princeton, v.42, n.21, p.2652-2662, 1985.



PRATES, J. E. *Controles associados à distribuição espacial de precipitação no verão em Minas Gerais: aspectos fisiográficos e meteorológicos*. 1994. 160 f. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

PROJETO RADAMBRASIL: Levantamento de recursos naturais. Ministério das Minas e Energia: Secretaria Geral. Rio de Janeiro, 1983. 32 v.

QUADRO, M.; BECK, E. Sistemas Meteorológicos. In: CEFET. *Curso Técnico de Meteorologia*. Santa Catarina: Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, 2003. 16 p.

REIS, R. J.; LADEIA, L. C. O La Niña em Minas Gerais. *Caderno de Geografia*, Belo Horizonte, v.9, n.12, p. 42-46, 1999.

RESENDE, M.; SANS, L. M.; DURÃES, F. O. M. Veranico e sua inter-relação com o sistema solo / água / planta / atmosfera nos cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. *Anais*. Viçosa, SBCS, 1996. p.157-167.

ROADS, J. O.; CHEN, S. C.; GUETTER, A. K.; GEORGAKAKOS, K. P. Large-scale aspects of the United States hydrologic cycle. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 75(9), p. 1589-1610. 1994.

ROPELEWSKI, C.; HALPERT, M. Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *J. Climate*, n. 2, p. 268-283, 1989.

SAMPAIO, G. O. *O El Niño e você: O Fenômeno Climático*. Transtec Editorial, 1999. 116p.

SILVA, J. F. *El niño: O fenômeno climático do século*. Brasília: Thesaurus, 2000. p. 139.

SILVA DIAS, P. L.; MARENGO, J. A. A. Águas atmosféricas. In: TUNDISI J. G.; REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. C.E.M.; Hidrologia: Ciência e Aplicação. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p. 703.

SILVA, M. M. P.; OLIVEIRA, N. F.; CAVALCANTE, N. B. Probabilidade de ocorrência de dias secos e chuvosos. *Boletim Técnico do Instituto Nacional de Meteorologia*, Brasília, DF, v. 20, n. 146, p. 51-90, 1981.

SOUZA, M. J. H. *Irradiância solar direta: desenvolvimento e avaliação de modelos e sua distribuição espacial e temporal para o Estado de Minas Gerais*. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

SPADANO, A. A. L. *Paleoambientes holocênicos do lago Dom Helvécio* (Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais). 1998. 213 f. Tese (Doutorado, Pós-graduação em Geoquímica) – Universidade Federal Fluminense, 1998.

STRAUCH, N. (Org.) *A bacia do rio Doce: Estudo Geográfico*. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, 1955, 199 p.

STRAUCH, N. (Org.); *Zona metalúrgica de Minas Gerais e vale do rio Doce*. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Geografia, 1955, 192 p.

SUGAHARA, S. *Flutuações interanuais, sazonais e intrasazonais da precipitação no Estado de São Paulo*. 1991. 140 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – IGA/Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

TAIOLI, F. *Decifrando a terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 557 p.

TAVARES, A. C. Mudanças Climáticas. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. *Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 280 p.

TUNDISI, J. G.; REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. *Águas doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação*. C.E.M.; Hidrologia: Ciência e Aplicação. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. 703 p.

TUNDISI, J. G.; SAIJO, Y.; SUNAGA, T. Ecological effects of human activities in the middle rio Doce lakes. In: TUNDISI, J. G.; SAIJO, Y. (ed.). *Limnological studies on the rio Doce valley lakes, Brazil*. Brazilian Academy of Sciences, 1997. p. 457-474.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; ROCHA, O. Ecossistemas de águas interiores. In: *Águas doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação*. C.E.M.; Hidrologia: Ciência e Aplicação. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. 703 p.

VALVERDE, A. L. E.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; LEITE, H. G.; BRANDÃO, V. S. Análise regional das chuvas intensas para a bacia do rio Doce. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, n. 4, p. 157-168, Out/Dez 2003.

VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e Climatologia*. Brasília: INMET, Gráfica e Editora PAX, 2001.

VIANELLO, R. L.; ABREU, M. L.; OLIVEIRA, P.; GADELHA, A. A. L. Veranico 2006 em Minas Gerais: precedentes meteorológicos e impactos na agricultura. In: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XIV, 2006, Florianópolis. *Anais*. Florianópolis, 2006.

VIANELLO, R. L.; ADIL, R. A. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1991.

VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G. Estudo preliminar da climatologia dinâmica do Estado de Minas Gerais. In: I CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, I, 1986, Brasília. *Anais*. Brasília, 1986. p. 185-194.

VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G. Estudo preliminar da climatologia dinâmica do Estado de Minas Gerais. *Revista Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 6-8, 1986.

## **ANEXO A**

MÉDIA DECENDIAL DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RIO DOCE

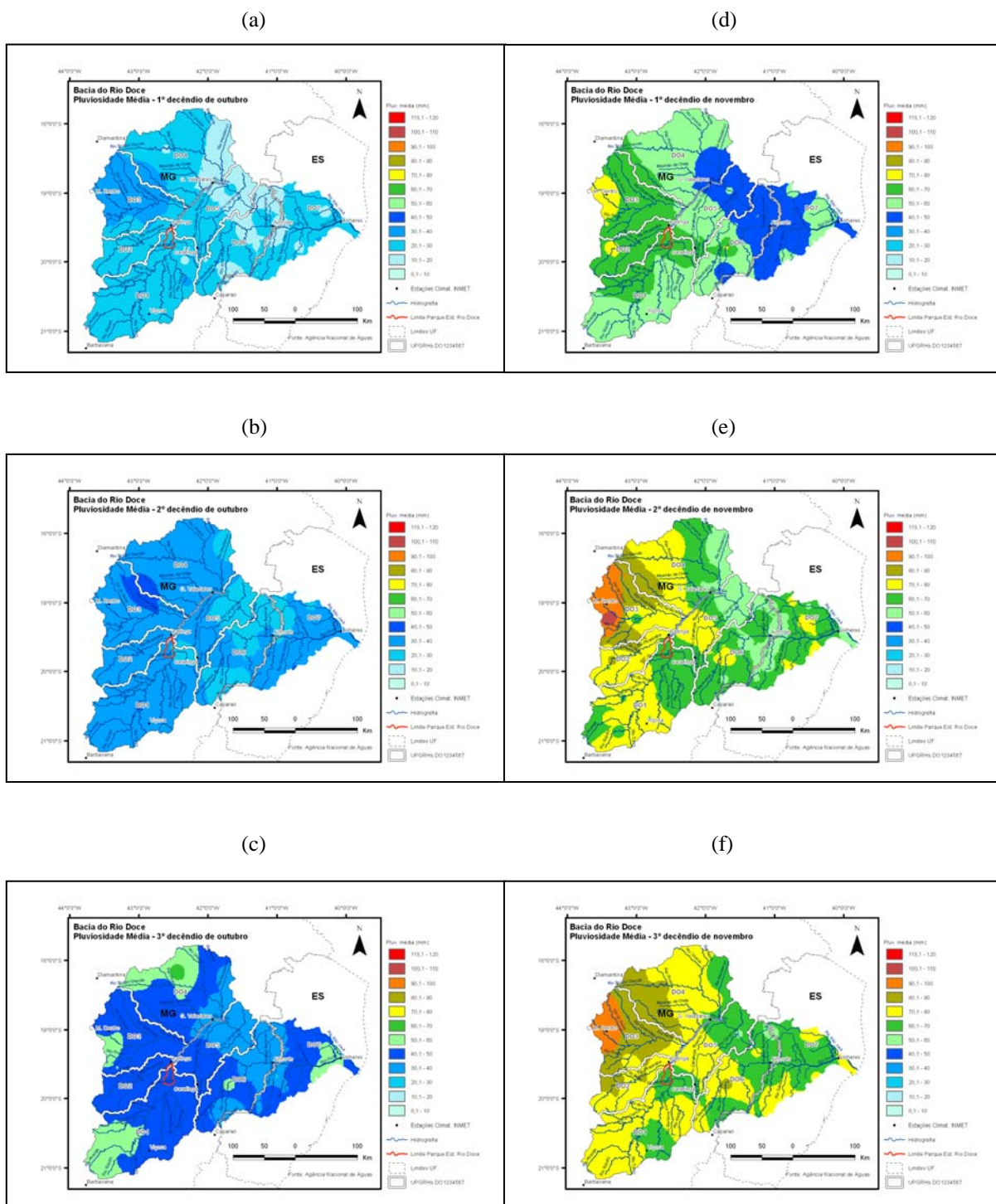


FIGURA 1A - Média decenal de precipitação na bacia do rio Doce de outubro (a,b,c) e novembro (d,e,f).  
 Fonte de dados: ANA.

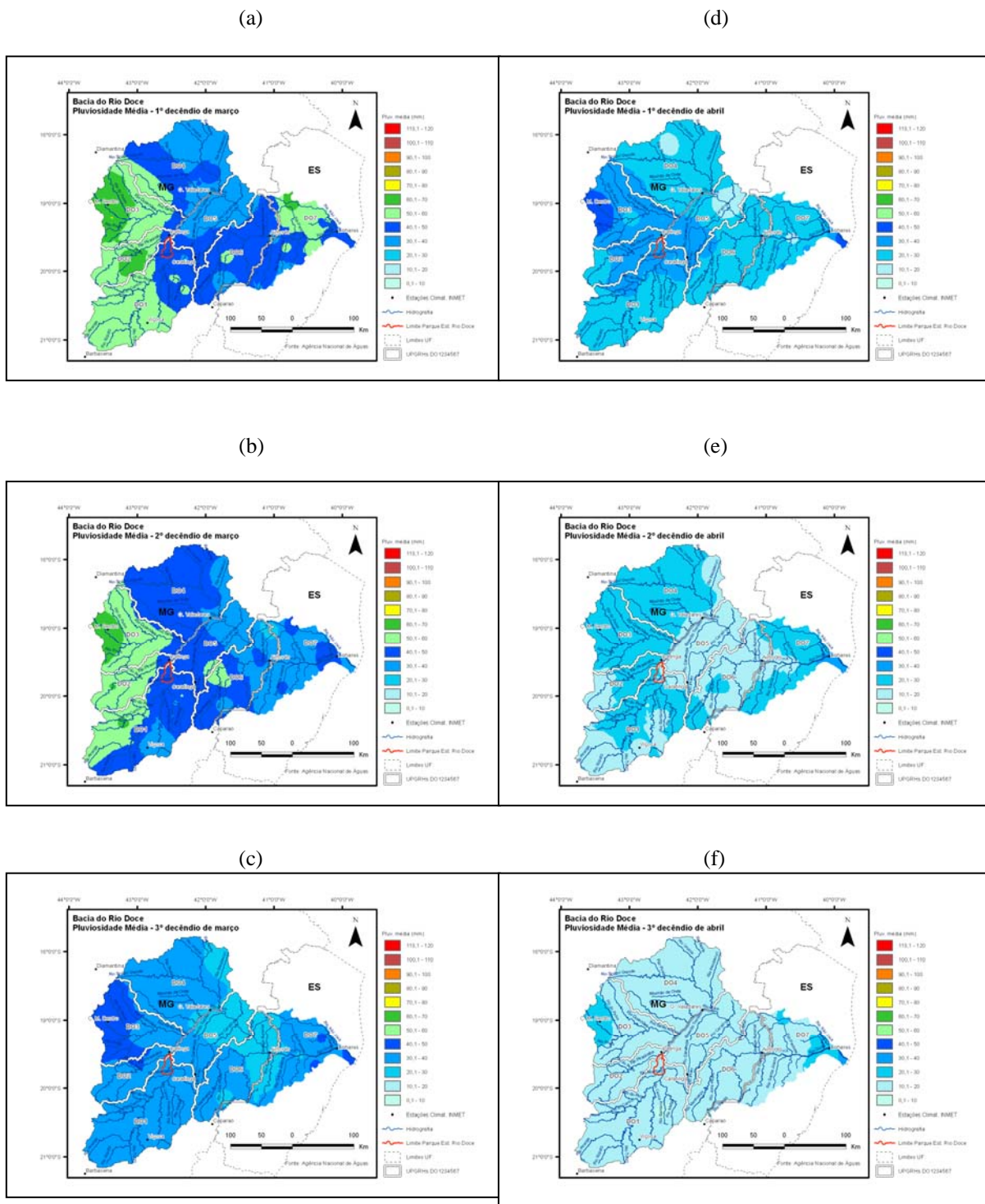


FIGURA 2A - Média decenal de precipitação na bacia do rio Doce de março (a,b,c) e abril (d,e,f). Fonte de dados: ANA.

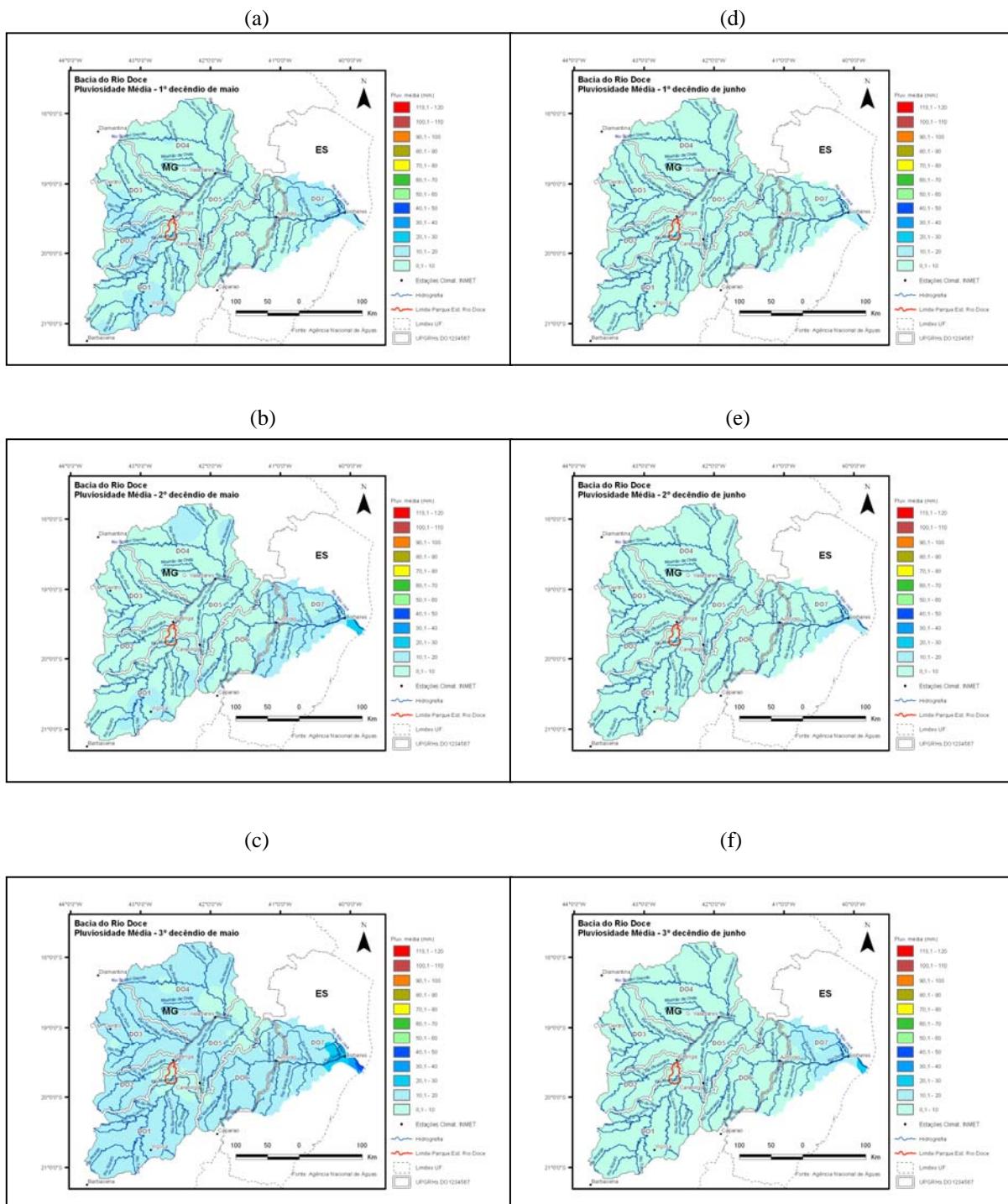


FIGURA 3A - Média decenal de precipitação na bacia do rio Doce de maio (a,b,c) e junho (d,e,f).  
 Fonte de dados: ANA.



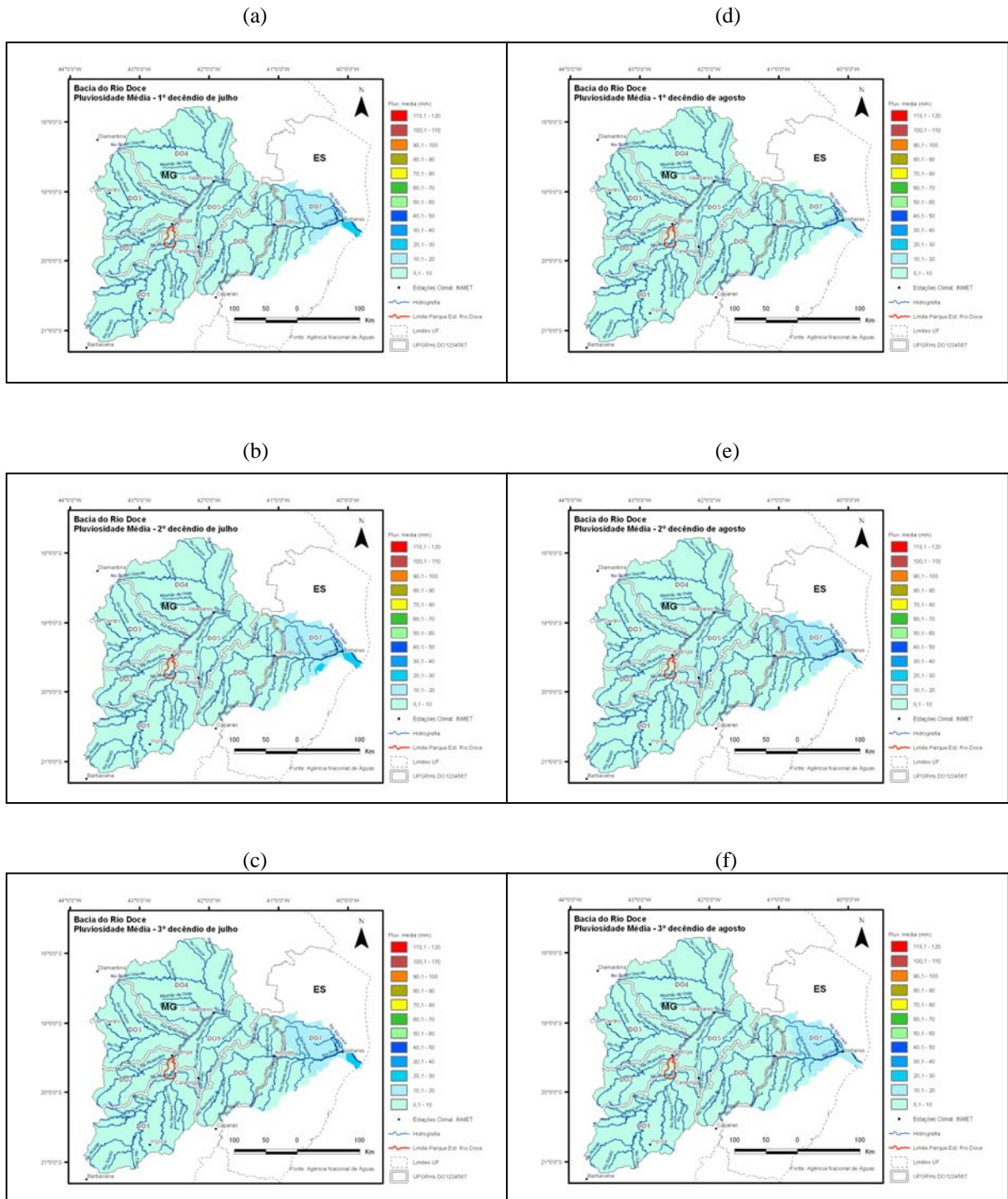
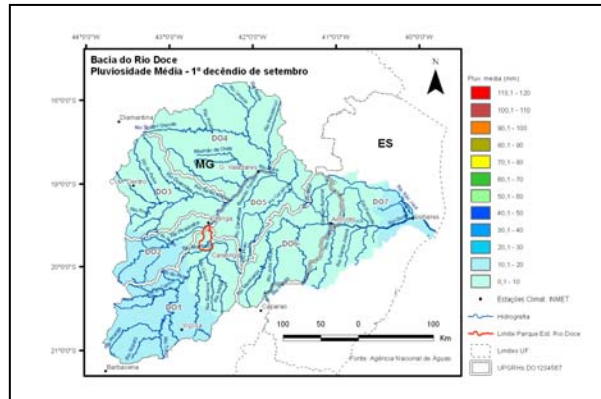


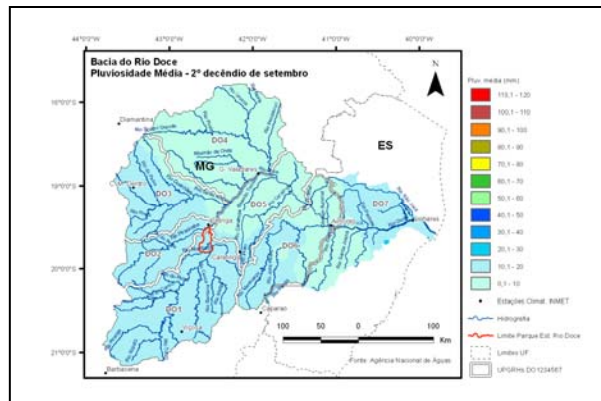
FIGURA 4A: Média decenal de precipitação na bacia do rio Doce de julho (a,b,c) e agosto (d,e,f).  
 Fonte de dados: ANA.



(a)



(b)



(c)

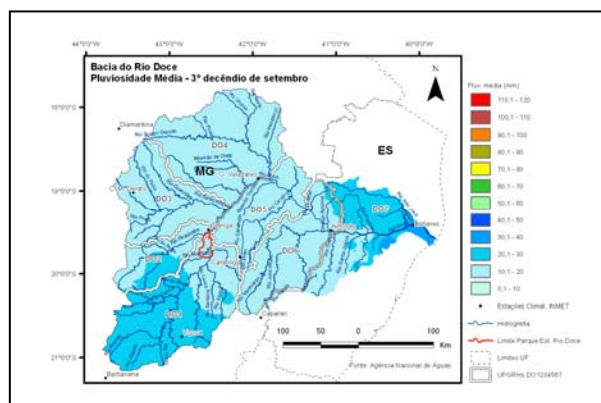


Figura 5A - Média decenal de precipitação na bacia do rio Doce de setembro (a,b,c).  
Fonte de dados: ANA.

## **ANEXO B**

MÉDIA DECENDIAL DE VAZÃO NA BACIA DO RIO DOCE

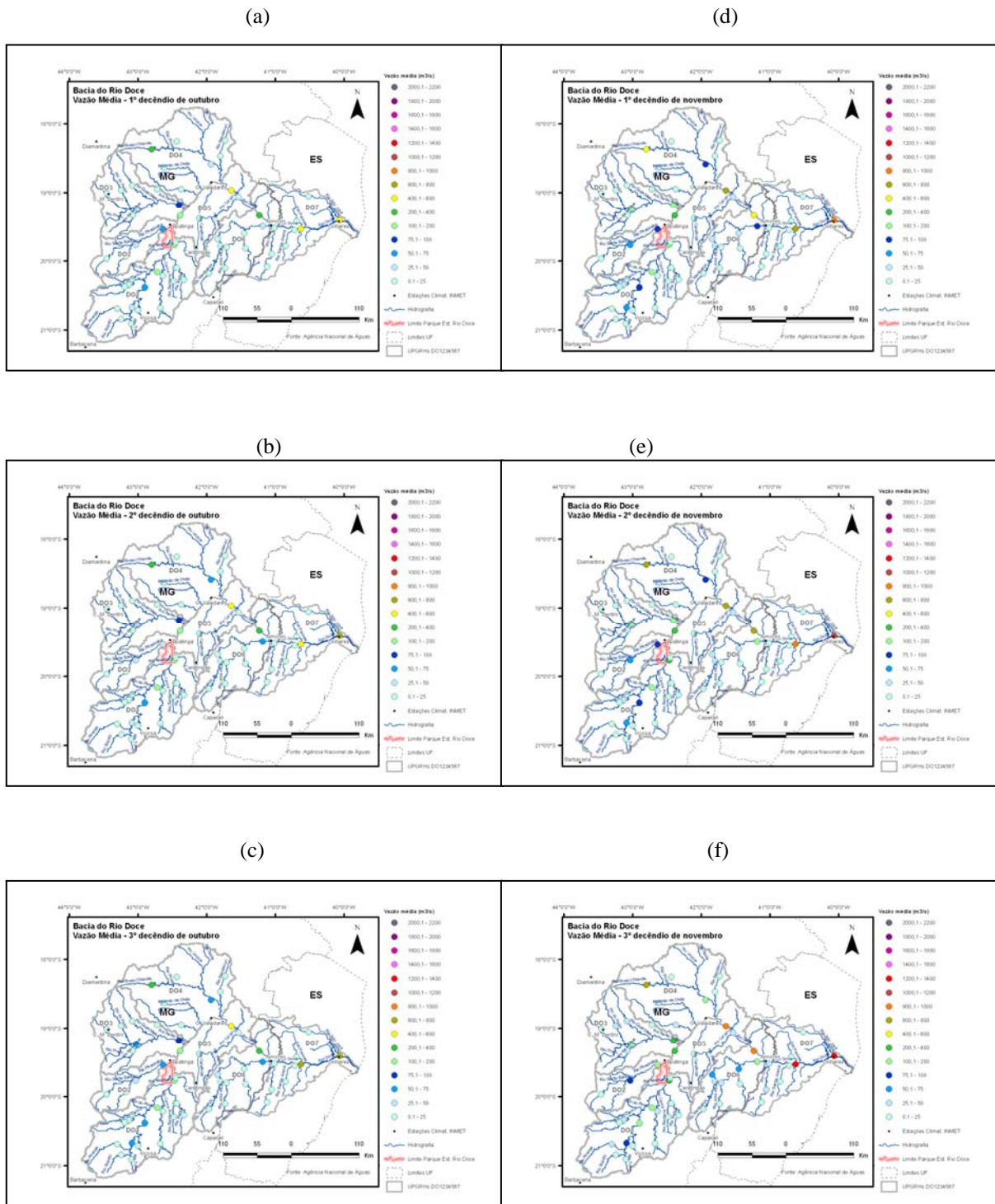


FIGURA 1B - Mapas decendiais de outubro (a,b,c) e novembro (d,e,f).  
 Fonte de dados: ANA.

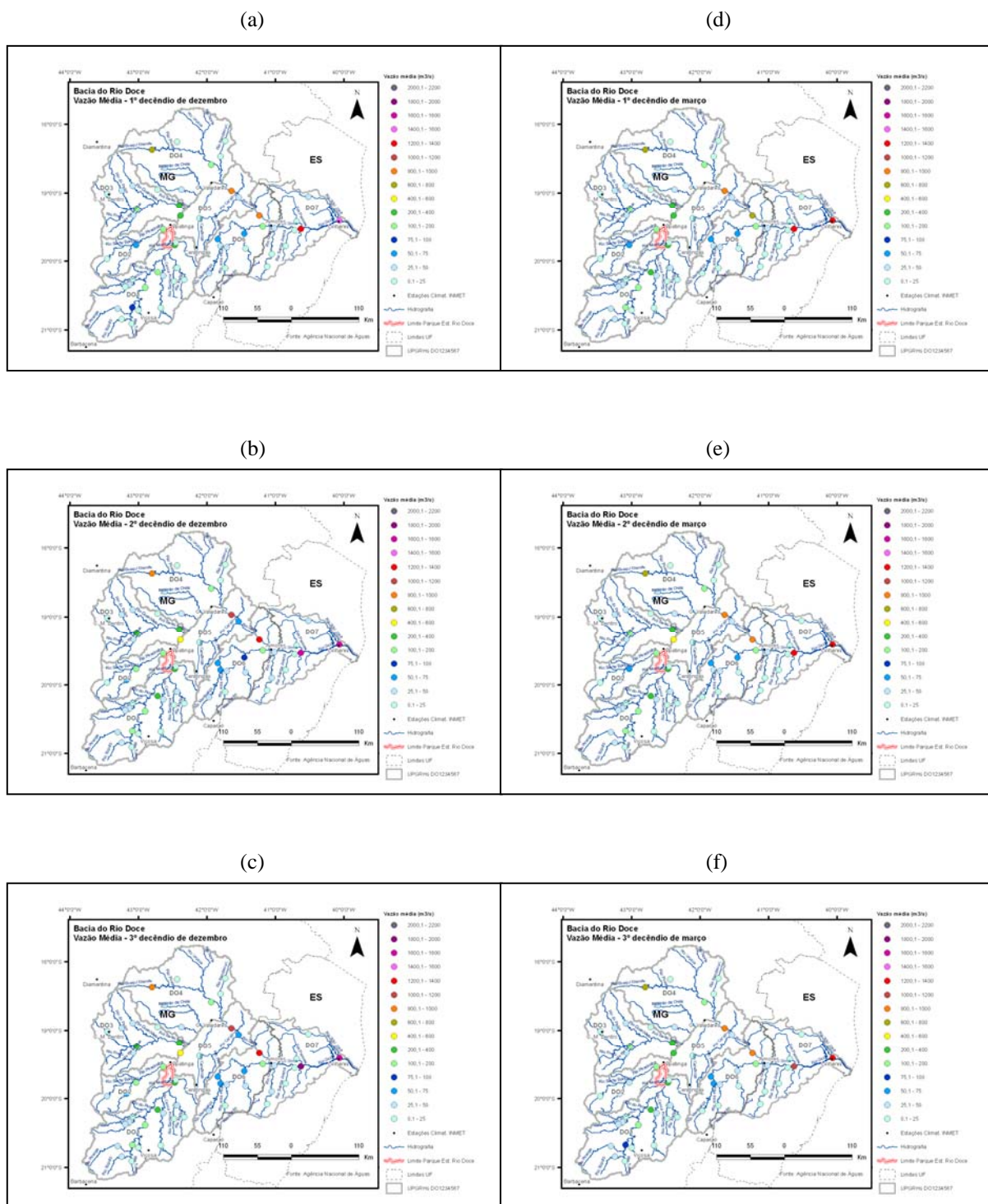


FIGURA 2B - Mapas decenais de dezembro (a,b,c) e março (d,e,f).  
 Fonte de dados: ANA.

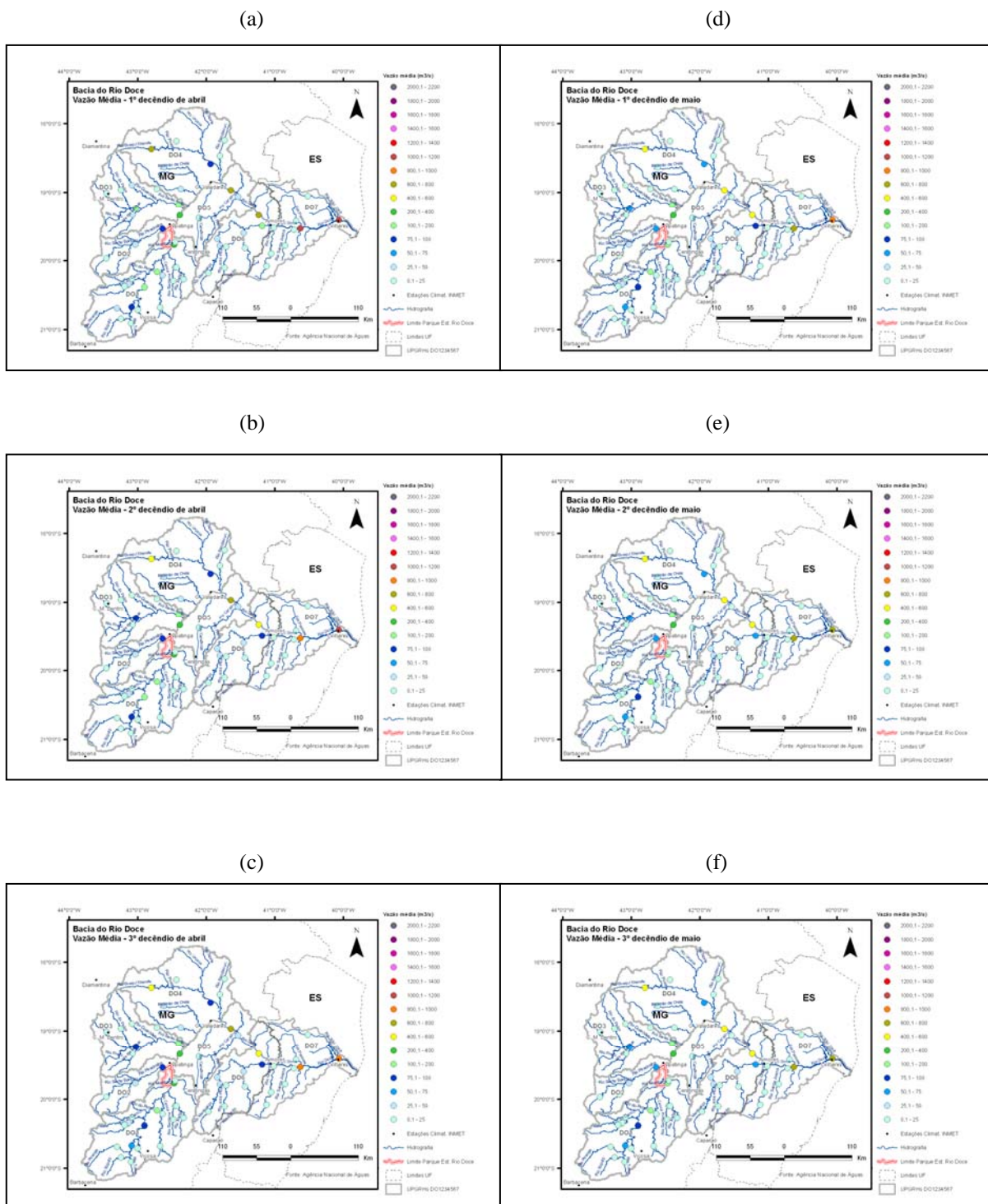


FIGURA 3B - Mapas decenciais de abril (a, b, c) e maio (d, e, f).  
 Fonte de dados: ANA.



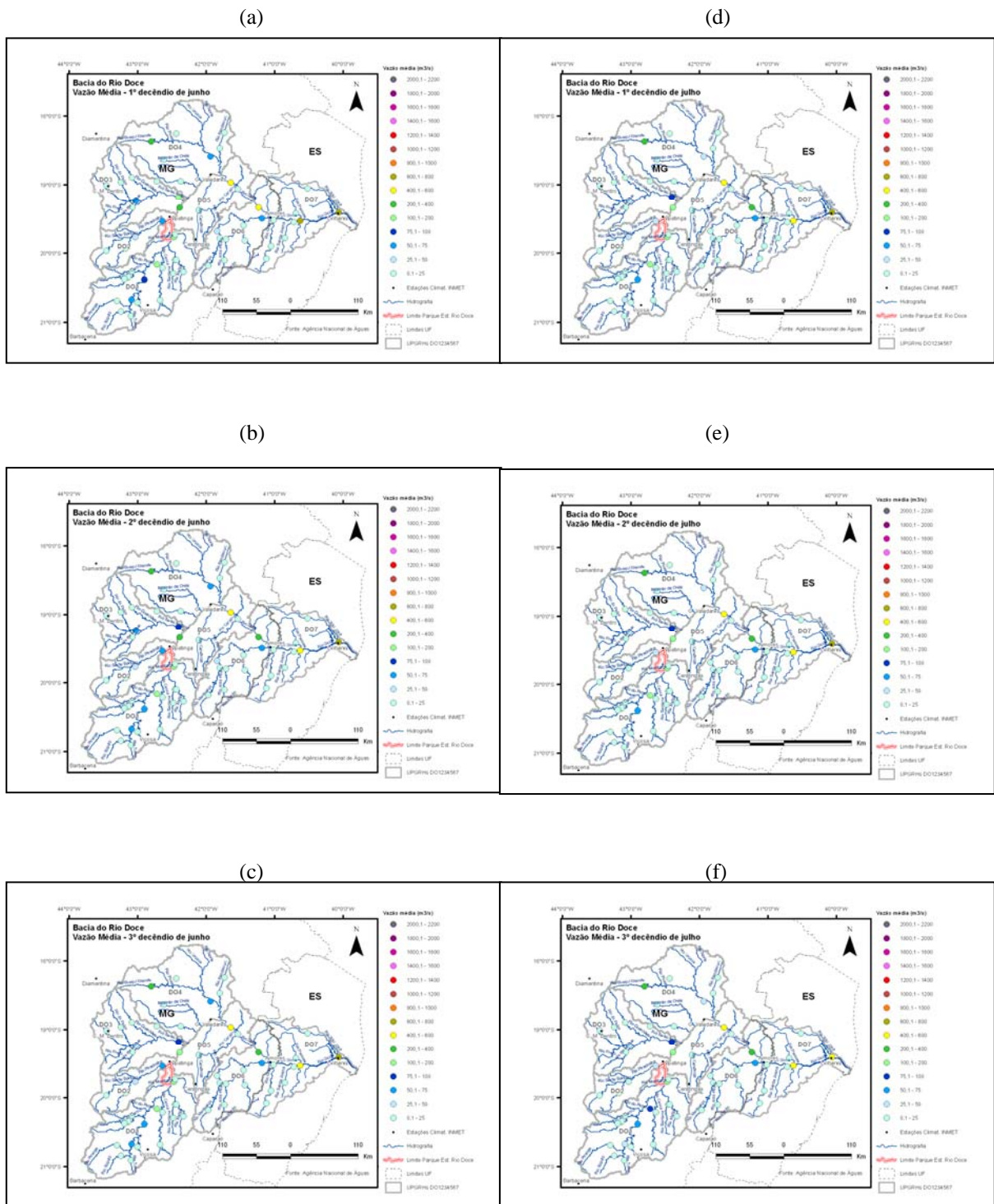


FIGURA 4B - Mapas decendiais de junho (a,b,c) e julho (d,e,f).  
Fonte de dados: ANA.

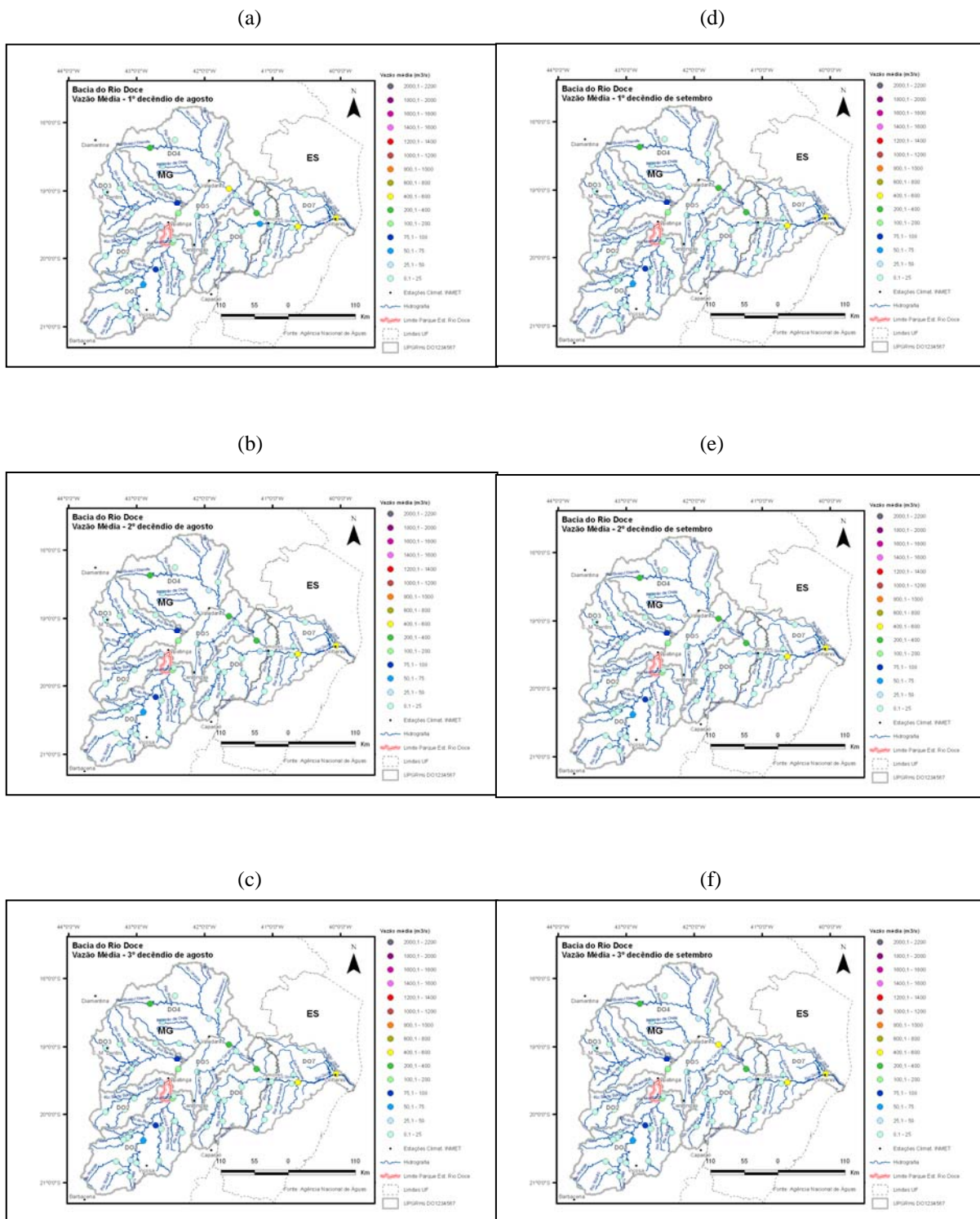


FIGURA 5B - Mapas decenais de agosto (a, b, c) e setembro (d,e,f).  
 Fonte de dados: ANA.

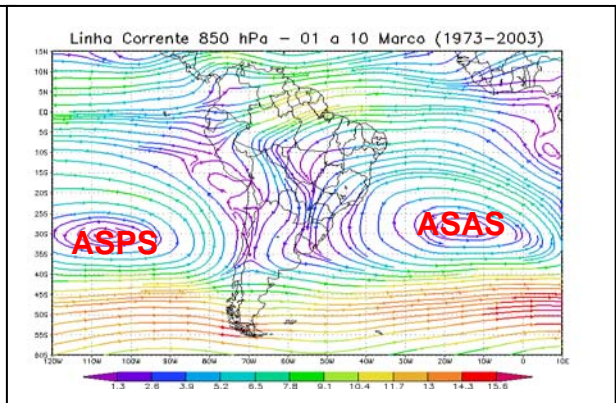
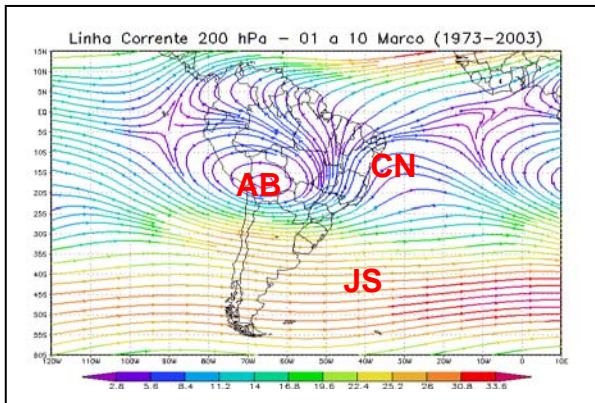
## **ANEXO C**

CAMPOS DE LINHAS DE CORRENTE 200 E 850 HPA



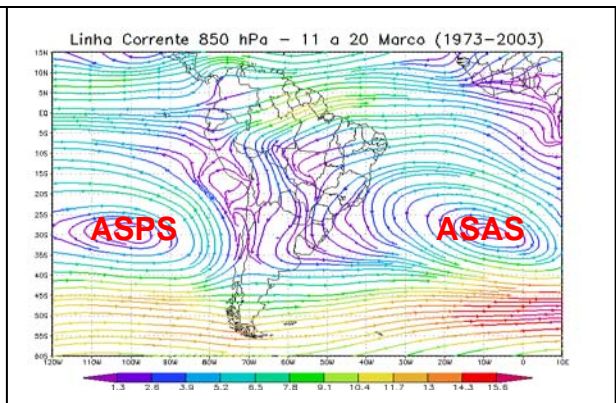
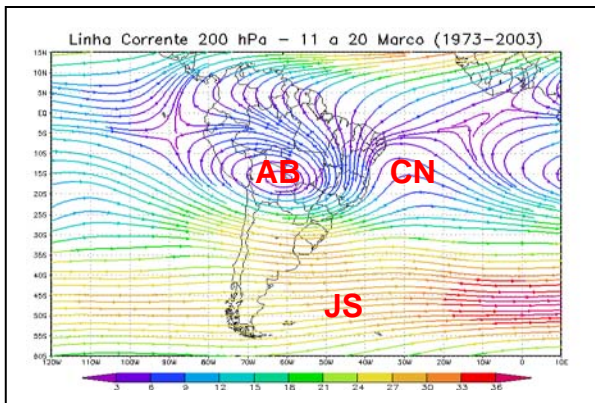
(a)

(d)



(b)

(e)



(c)

(f)

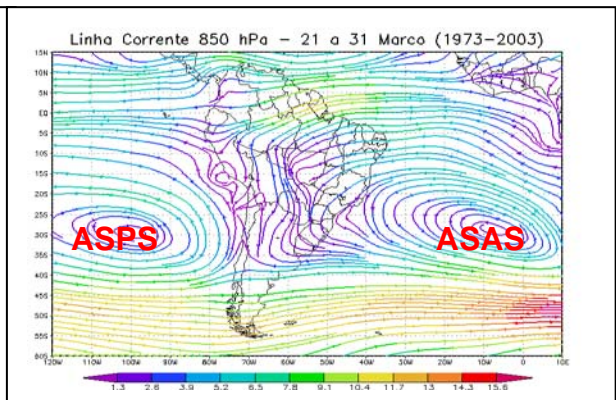
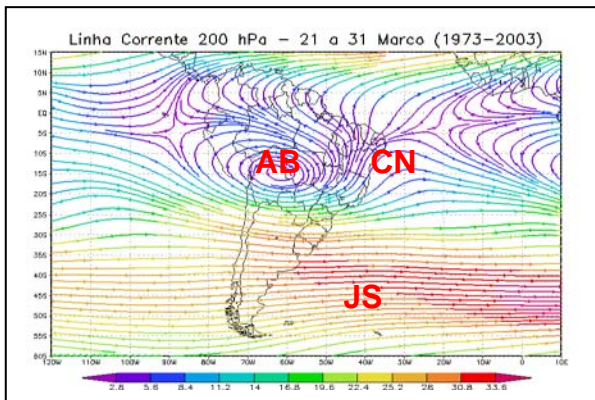
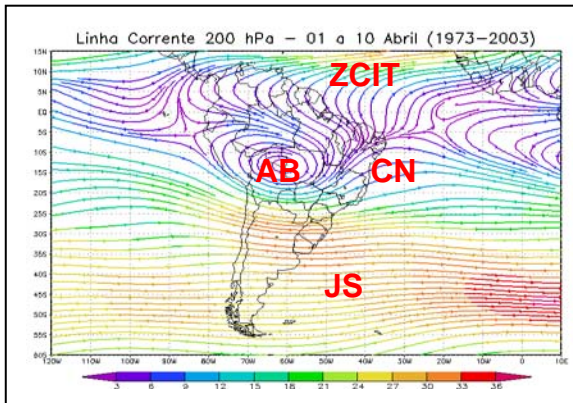


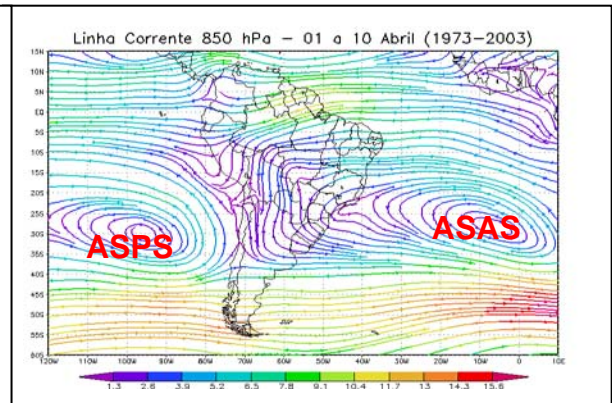
FIGURA C1 - Campos de linhas de corrente 200 hPa (a,b,c) e 850 hPa (d,e,f) 1º, 2º e 3º decêndios de março (1973-2003). AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASPS (Anti-ciclone Subtropical do Pacífico Sul) e ASAS (Anti-ciclone Subtropical do Atlântico Sul). Fonte de dados: NOAA.



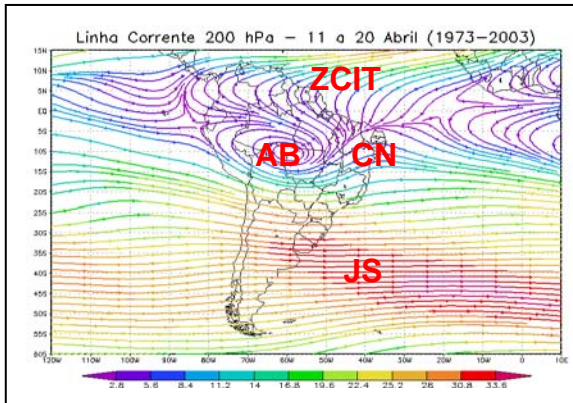
(a)



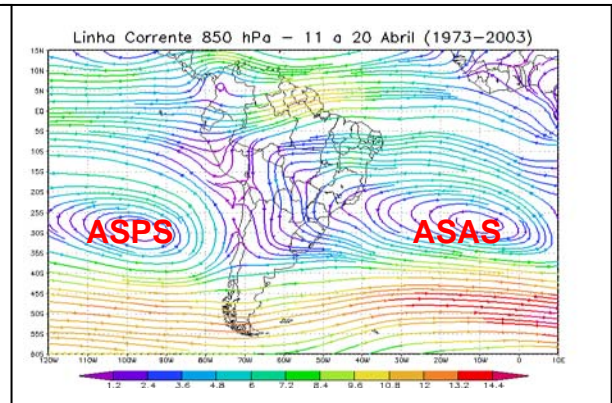
(d)



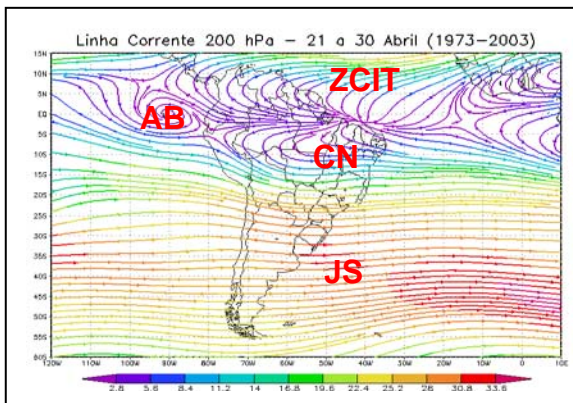
(b)



(e)



(c)



(f)

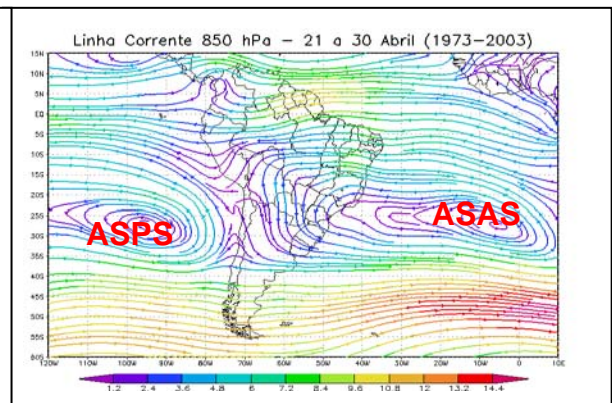


FIGURA C2 - Campos de linhas de corrente 200 hPa (a,b,c) e 850 hPa (d,e,f) 1º, 2º e 3º decêndios de abril (1973-2003). AB (Alta da Bolívia), CN (Cavado do Nordeste), JS (Jato Subtropical), ASPS (Anti-ciclone Subtropical do Pacífico Sul), ASAS (Anti-ciclone Subtropical do Atlântico Sul) e ZCIT (Zona de Convergência Intertropical)

Fonte de dados: NOAA.

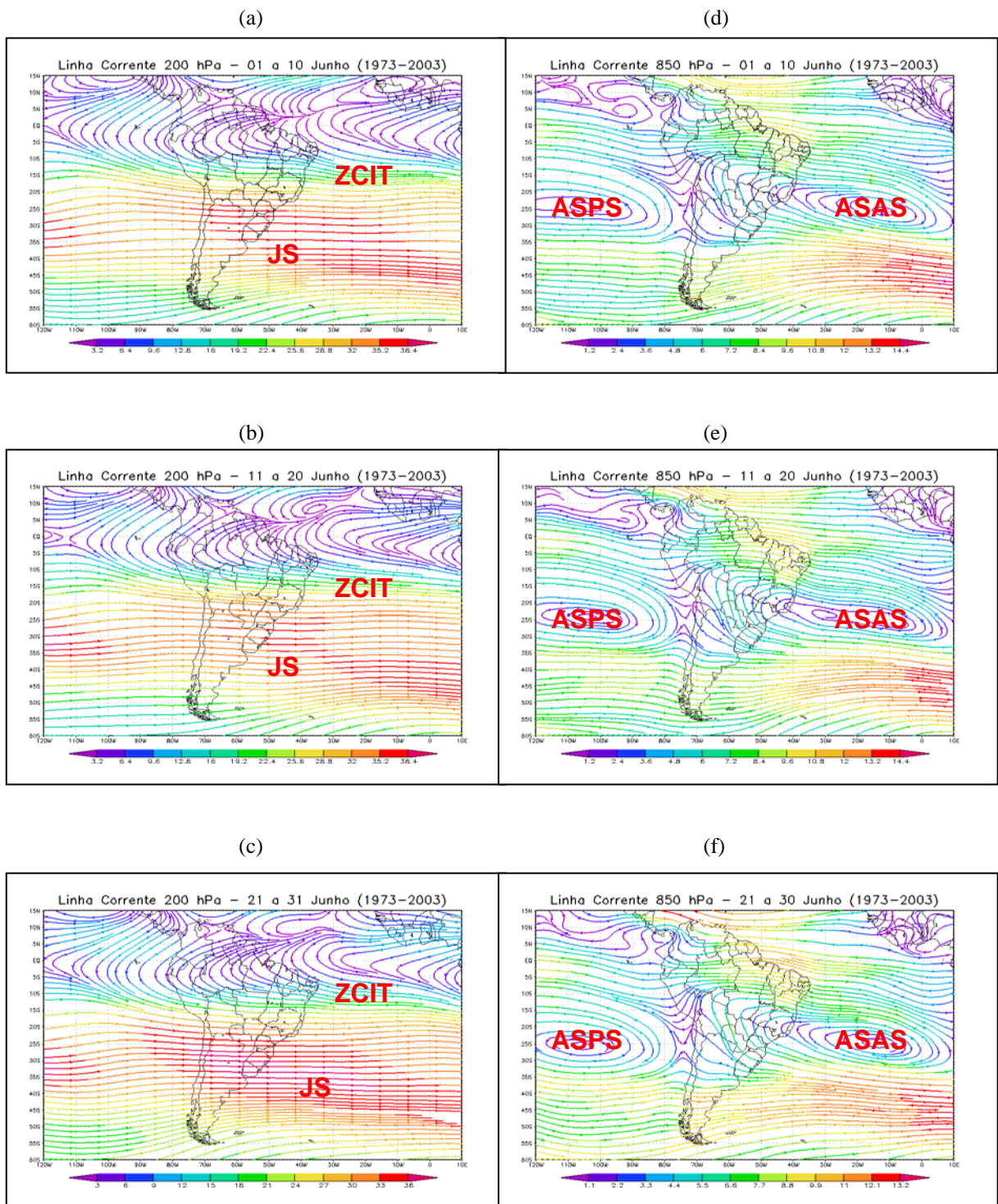


FIGURA C3 - Campos de linhas de corrente 200 hPa (a,b,c) e 850 hPa (d,e,f) 1º, 2º e 3º decêndios de junho (1973-2003). JS (Jato Subtropical), ASPS (Anti-ciclone Subtropical do Pacífico Sul), ASAS (Anti-ciclone Subtropical do Atlântico Sul) e ZCIT (Zona de Convergência Intertropical).

Fonte de dados: NOAA.



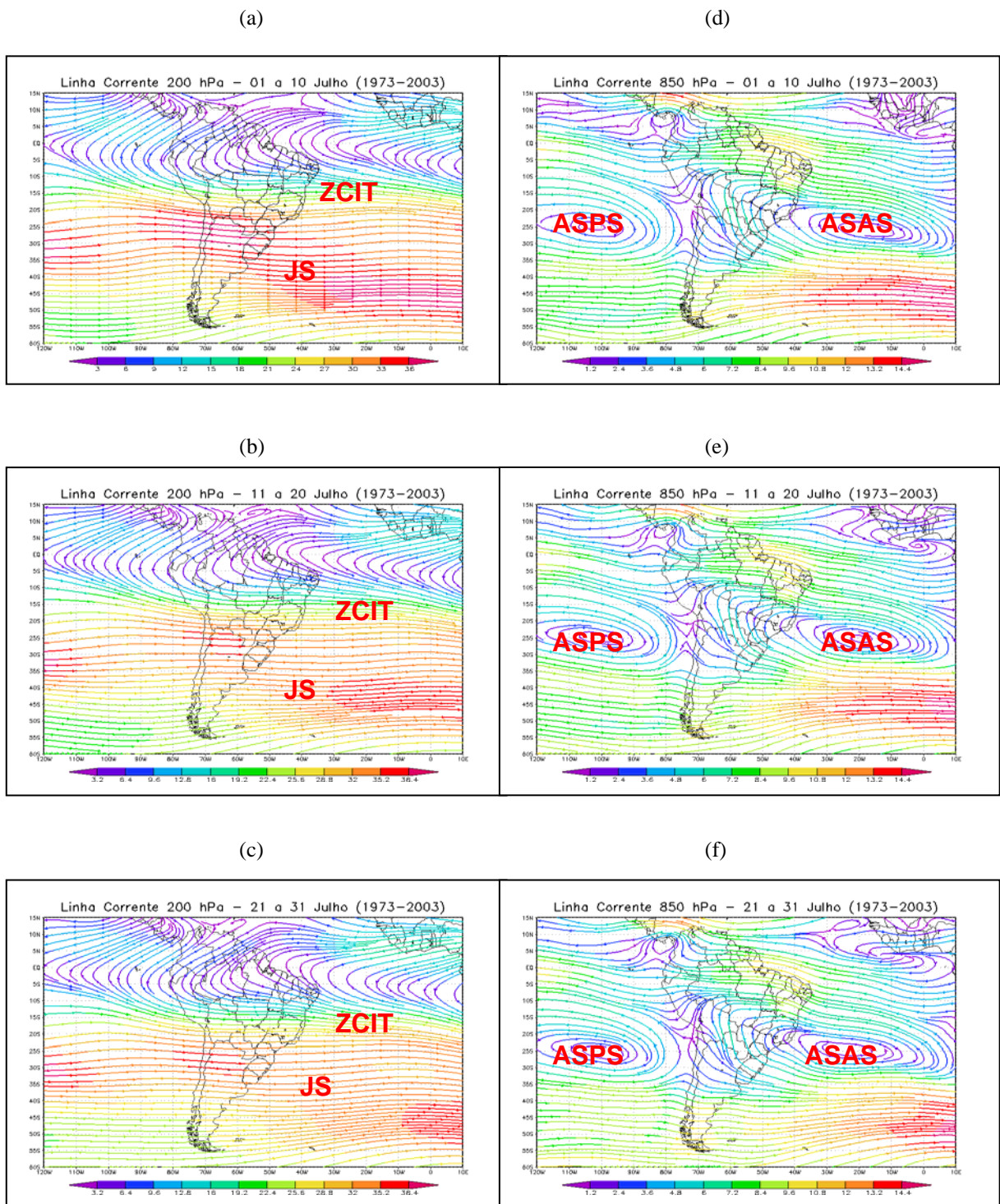


FIGURA C4 - Campos de linhas de corrente 200 hPa (a,b,c) e 850 hPa (d,e,f) 1º, 2º e 3º decêndios de julho (1973-2003). JS (Jato Subtropical), ASPS (Anti-ciclone Subtropical do Pacífico Sul), ASAS (Anti-ciclone Subtropical do Atlântico Sul) e ZCIT (Zona de Convergência Intertropical).  
 Fonte de dados: NOAA.

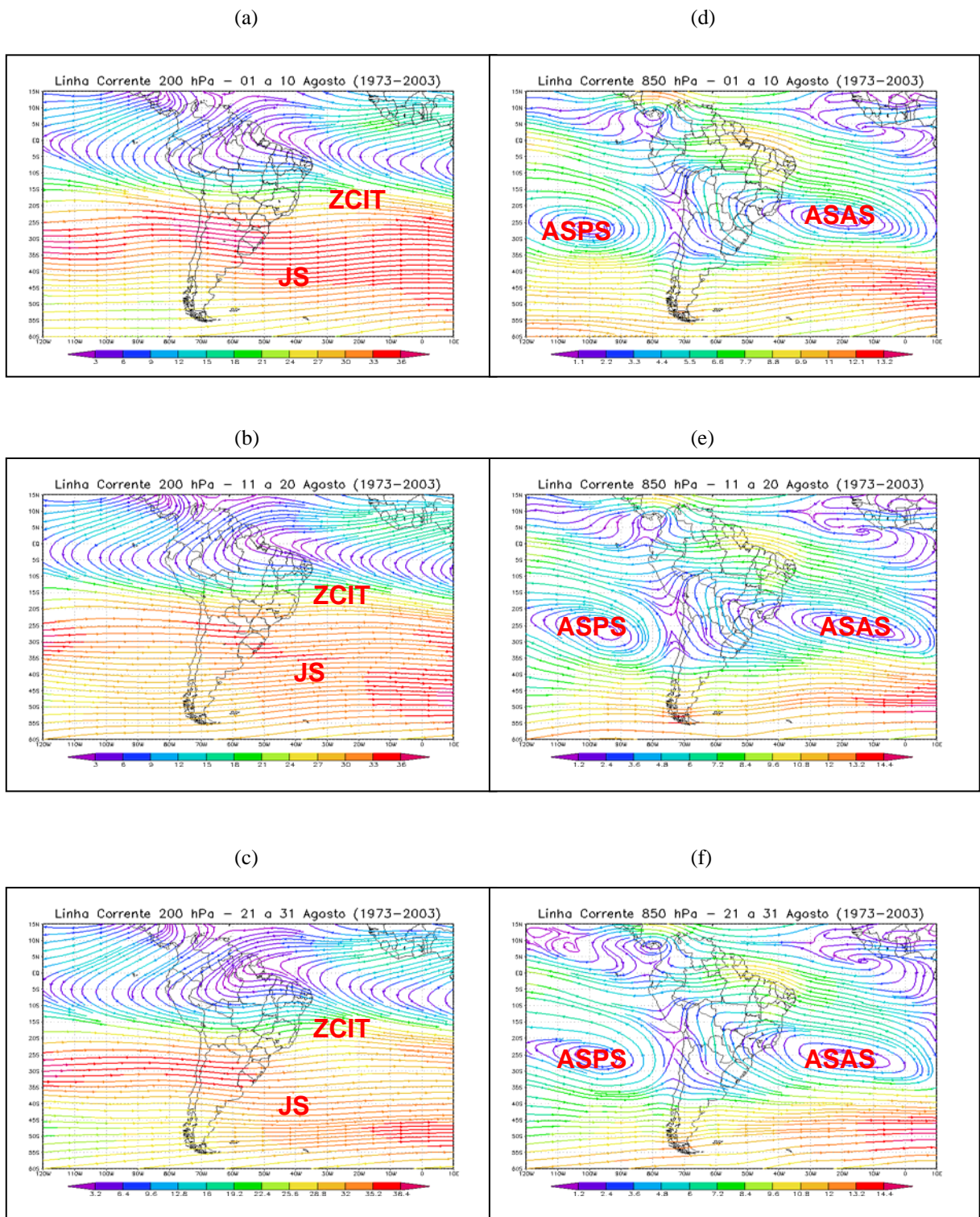


FIGURA C5 - Campos de linhas de corrente 200 hPa (a,b,c) e 850 hPa (d,e,f) 1º, 2º e 3º decêndios de agosto (1973-2003). JS (Jato Subtropical), ASPS (Anti-ciclone Subtropical do Pacífico Sul), ASAS (Anti-ciclone Subtropical do Atlântico Sul) e ZCIT (Zona de Convergência Intertropical).

Fonte de dados: NOAA.

## **ANEXO D**

FOTOS DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS PRINCIPAIS DO INMET



(a)



(c)



(b)



(d)



(e)



FIGURA D1 - Fotos das estações climatológicas principais: Diamantina (a), Barbacena (b), Aimorés (c), Linhares (d) e Ipatinga (e).  
Fonte dos dados: INMET/ANA.

(a)



(c)



(b)



(d)



(e)



FIGURA D2 - Fotos das estações climatológicas principais: Governador Valadares (a), Caratinga (b), Viçosa (c), Caparaó (d) e Conceição do Mato Dentro (e).  
Fonte dos dados: INMET.