

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO

WALBER MENDES GAMA

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA RESPOSTA HIDROLÓGICA DA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO MEIO (AL/PE)**

Maceió

2011

WALBER MENDES GAMA

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA RESPOSTA HIDROLÓGICA DA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO MEIO (AL/PE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Área de concentração: *Recursos Hídricos*

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Rosângela Sampaio Reis

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Ruberto Fragoso  
Júnior.

Maceió

2011

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico Bibliotecária**  
**Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale**

G184e Gama, Walber Mendes

Impactos das mudanças climáticas na resposta hidrológica da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio (AL/PE) / Walber Mendes Gama. – 2011. 112 f. : il. tabs.

Orientadora: Rosângela Sampaio Reis.

Co-Orientador: Carlos Ruberto Fragoso Júnior.

Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia, Maceió, 2011.

Bibliografia: f. 82-87.

Anexos: 88-112.

1. Mudanças climáticas. 2. Modelagem hidrológica. 3. Sistema de informação geográfica. 4. Hidrologia. I. Título.

CDU: 556



**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA RESPOSTA HIDROLÓGICA DA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO MEIO (AL/PE)**

**WALBER MENDES GAMA**

Dissertação submetida à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas e aprovada no dia 02 de dezembro do ano de 2011.

Banca Examinadora:

Prof.ª Dr.ª Rosângela Sampaio Reis  
(Orientadora/PPGRHS/UFAL)

Prof. Dr. Carlos Ruberto Fragoso Júnior  
(Co-Orientador/PPGRHS/UFAL)

Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves  
(PPGRHS/UFAL)

Prof. Dr. Adriano Rolim da Paz  
(UFPB)

## **AGRADECIMENTOS**

Venho reconhecer aos professores que fazem o Programa de Pós Graduação e Recursos Hídricos-PPGRHS, os quais conviveram diretos ou indiretamente no período das disciplinas e durante o curso de mestrado. Em especial a minha orientadora, prof(a). Dr(a) Rosangela Sampaio Reis, pelos direcionamento durante a execução da dissertação. Ao meu co-orientador prof.Dr. Carlos Ruberto Fragozo Júnior, pelo o apoio, incentivo, paciência e aprendizado para a realização de pesquisa. Ao amigo Eng. Civil M.Sc Sebastião Coelho Marinho Falcão, pelos direcionamentos em Hidrologia, o Geógrafo, Antonio Almeida, pela difusão de conhecimento em geoprocessamento, o Eng. Agrônomo, M.Sc Pedro Maux pela ajuda através de equipamentos, a professora Dr. Nivaneide pelas orientações nas definições das classificações de solos. Ao Bacharel em Gestão Ambiental e estudante de Geografia Damir, a Bibliotecária Helena pela grande ajuda na formatação final do trabalho, ao Dr. Vicente Ferreira Neto, pelas colaborações no início da dissertação, a Dra. Silvana Quintela pelos incentivos iniciais no mestrado.

A Capes, pela bolsa, sem essa ajuda teria sido mais difícil cursar o mestrado, A Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídrico do Estado de Alagoas, excepcionalmente M.Sc Fabiana Canaúba, pela disposição e ajuda sempre que quando solicitada, A FINEP, pelo o auxílio financeiro do Projeto HIDROCHUV.

A minha família, primos, tias, irmãos, sobrinhos, e em especial a professora Maria José Mendes Gama, que sempre mim ajudou de alguma, e continua á ajudar até hoje.

## RESUMO

As mudanças climáticas, a nível global e local, podem está associadas não só aos efeitos atmosféricos naturais, como também às alterações antrópicas, com o lançamento de CO<sub>2</sub> para a camada baixa da atmosfera. Os impactos das mudanças climáticas podem ser objetos de estudo em hidrologia, por meio do uso de Modelos matemáticos, chuva-vazão, tendo como entrada dados hidro-climáticos. Modelo hidrológico em Sistema de informação geográfica - SIG, aplicado em estudos hidrológicos de bacias hidrográficas, para prever e mensurar a resposta do sistema aos condicionantes externos e de interesse numa bacia hidrográfica. A integração de informações hidrológicas com o SIG tem possibilitado obter informações distribuídas, com resposta de vazões em diferentes localizações em bacias hidrográficas tem sido explorado em modelagem hidrológica distribuída. O objetivo geral deste estudo foi, avaliar o modelo MGB-IPH (Modelo de Grandes Bacias) na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio, influência das mudanças no clima previstas no Painel de Mudanças Climáticas – IPCC. O modelo hidrológico de grandes bacias, MGB/IPH, foi aplicado na Bacia hidrográfica do rio Paraíba do meio e foi calibrado manualmente. Foram realizadas simulações para o cenário atual, e os cenários A1B e A2, do Painel de Mudanças Climáticas (IPCC), para os anos de 2071 a 2100, previsto para Brasil pelo CPTEC/INPE, com anomalias de precipitação e Temperatura. As simulações para os cenários de mudanças climáticas mostraram mudanças na resposta hidrológica da bacia do rio Paraíba do Meio (AL/PE). O modelo se mostrou desempenho adequado para a bacia do rio Paraíba do Meio, visto que a versão anterior do MGB era indicada para bacias maiores que 10.000 km<sup>2</sup>. O MGB mostrou significativo desempenho em representar o regime hidrológico atual mesmo com a carência de postos de chuvas na bacia e estimativa dos impactos das mudanças climáticas tendem a diminuir a disponibilidade hídrica e o aumento das enchentes na bacia hidrográfica do rio Paraíba do meio.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas. Modelagem hidrológica. Sistema de informação geográfica.

## ABSTRACT

Climate changes, at global and local levels, are associated not only natural atmospheric effects, but also to anthropogenic changes, with the release of CO<sub>2</sub> into the lower layer of the atmosphere. The impacts of climate changes can be objects of study in hydrology through the use of mathematical models, rainfall output, with the hydro-climatic input data. Hydrological model in Geographic Information System - SIG, used in hydrologic studies of watersheds to predict and measure the system response to external conditions and interest of a watershed. The integration of SIG with hydrological information gave the possibility to obtain distributed information with a response of flow in watershed in different locations has been explored in distributed hydrological modeling. The objective of this study was to evaluate the MGB-IPH model (Modelo de Grandes Bacias) watershed in Paraíba do Meio River, influence of climate change predicted on Climate Change Panel - IPCC. The hydrological model for large basin, MGB / IPH was applied in the Paraíba do Meio river watershed and was calibrated manually. Simulations were conducted for the current scenario, and scenarios A1B and A2, on Climate Change Panel (IPCC), for the years 2071 to 2100, predicted to Brazil by CPTEC / INPE, with anomalies of precipitation and temperature. The simulations for the climate change scenarios showed changes in the hydrological response to Paraíba do Meio basin (AL / PE). The performance of this model was suitable for Paraíba do Meio river basin, since the previous version of the MGB was nominated for basins larger than 10,000 km<sup>2</sup>. The MGB showed significant performance in representing the current hydrologic regime even with the lack of basin rainfall stations and the estimated impacts of climate change tend to decrease water availability and increase flooding in the of the Paraíba do Meio River basin.

**Keywords:** Climate change. Hydrologic modeling, Geographic information system.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Balanço hídrico para cada Unidade de Resposta Hidrológica.....	30
Figura 2 - Localização da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio e sua Hidrografia.....	35
Figura 3 - Mapa de precipitação média anual, na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	37
Figura 4 - Solos na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	39
Figura 5 - Mapa de predomínio do uso e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	43
Figura 6 - Modelo digital de elevação-MDE, da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	45
Figura 7- Mapa de direção de fluxo da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	47
Figura 8 - Mapa de discretização em Mini-Bacias da hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	48
Figura 9 - Mapa de solos reclassificado hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	50
Figura 10 - Mapa de uso e cobertura vegetal reclassificado da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	51
Figura 11 - Mapa de predomínio do uso e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	52



Figura 12- Localização dos postos Pluviométricos na hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	56
Figura 13- Localização dos postos Fluviométricos utilizados na modelagem.....	57
Figura 14- Fluxograma representando aplicação dos dados de entrada para o modelo MGB/IPH.....	65
Figura 15- Hidrograma calculado e observado 39850000 Quebrangulo .....	70
Figura 16- Curva de permanência calculada e observada 39850000 Quebrangulo .....	70
Figura 17- Hidrograma calculado e observado 39890000 Viçosa.....	71
Figura 18- Curva de permanência calculada e observada 39890000 Viçosa.....	71
Figura 19- Hidrograma calculado e observado 39870000 Atalaia.....	72
Figura 20- Curva de Permanência calculada e observada no posto Atalaia.....	73

## LISTA DE TABELAS

Figura 1 - Distribuição das classes predominantes em área e porcentagem de uso e cobertura do solo na bacia do rio Paraíba do meio.....	42
Figura 2 - Dados de entrada necessários para o programa Prepo_MGB.....	46
Figura 3 - URH's em área e porcentagem na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	53
Figura 4 - Estrutura do arquivo MINI.MGB com as informações das características físicas das mini-bacias.....	53
Figura 5 - Médias climáticas do posto INMET no município de Garanhuns (PE) utilizado na modelagem.....	54
Figura 6 - Postos de precipitação utilizado neste estudo.....	55
Figura 7 - Séries dos postos fluviométricos.....	58
Figura 8 - Anomalias de temperatura CPTEC/INPE cenário A1B e A2 (2071-2100).....	63
Figura 9 - Anomalias de precipitação CPTEC/INPE cenário A1B e A2 (2071-2100).....	64
Figura 10 - Valores calibrados dos parâmetros nos blocos/URH.....	66
Figura 11- Valores calibrados dos parâmetros de propagação.....	67
Figura 12 - Correlação entre a vazão observada e calculada no período de calibração e validação do modelo.....	69
Figura 13 - Resumo das estatísticas de vazão para o posto (Quebrangulo-AL).....	74

Figura 14 - Resumo das estatísticas para o posto 39890000 (Viçosa-AL).....75

Figura 15 - Resumo das estatísticas para o posto 39870000 (Atalaia-AL).....76

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Geral</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Mudanças climáticas e alterações hidrológicas em bacias</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Modelagem matemática em hidrologia</b> .....	<b>21</b>
<b>3.3</b>	<b>Modelo hidrológico distribuído</b> .....	<b>24</b>
<b>3.4</b>	<b>Integrações entre geoprocessamento e modelagem hidrológica</b> .....	<b>27</b>
<b>3.5</b>	<b>Modelo de Grandes Bacias – MGB/IPH</b> .....	<b>29</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Comportamentos hidrológicos estabelecidos no modelo</b> .....	<b>31</b>
<b>3.5.1.1</b>	<b>Verticais-balanço de água no solo</b> .....	<b>31</b>
<b>3.5.1.2</b>	<b>Horizontais</b> .....	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização da área de estudo</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Localização e hidrografia</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Clima</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Formas de Relevo</b> .....	<b>38</b>

4.1.4	Solos.....	38
4.1.5	Cobertura Vegetal.....	42
<b>4.2</b>	<b>Aplicação do modelo de grandes bacias – MGB/IPH .....</b>	<b>44</b>
4.2.1	Preparação dos dados de entrada fase Prepo-MGB .....	44
4.2.2	Formação do Bloco/URH - Unidade de Resposta Hidrológica .....	49
4.2.3	Utilização de dados climáticos.....	54
4.2.4	Utilização dos dados de chuva .....	55
4.2.5	Utilização dos dados de vazão .....	56
<b>4.3</b>	<b>Aplicação do modelo MGB-IPH .....</b>	<b>58</b>
4.3.1	Calibração do modelo.....	59
<b>4.4</b>	<b>Modelagem dos cenários A1B e A2 de Mudanças do clima .....</b>	<b>62</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>66</b>
5.1	Calibração e validação do modelo hidrológico – MGB/IPH .....	66
5.2	Simulação dos cenários de mudanças climáticas.....	73
<b>6</b>	<b>DISCURSSÕES DOS RESULTADOS .....</b>	<b>77</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>80</b>
<b>8</b>	<b>RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>81</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>82</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>88</b>

## 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A crescente exploração e utilização dos recursos naturais têm provocado profundas alterações no meio ambiente, principalmente em bacias hidrográficas, que são afetados com as atividades humanas, decorrentes principalmente: (a) da prática de culturas agrícolas com a utilização de grandes áreas irrigáveis, (b) da pecuária com a substituição da vegetação natural por pasto, (c) da construção de barragens alterando o regime hidrológico dos rios, (d) do lançamento de poluentes, efluentes domésticos e industriais, alterando as propriedades físico-químicas da água, (e) de possíveis alterações climáticas decorrente da degradação das florestas e do aumento de emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera.

Estas atividades antrópicas têm contribuído e aumentado as pressões sobre os corpos hídricos. Na área rural, o aumento das fronteiras agrícolas favorece a contaminação dos corpos hídricos por pesticidas e defensivos agrícolas, trazendo mudanças nas propriedades naturais da água e conseqüentemente para a biota aquática, dificultando o uso múltiplo da água. No aspecto quantitativo, as ocorrências de secas ou chuvas intensas têm levado a perdas materiais e, em alguns casos, risco de morte para populações que vivem as margens de rios e encostas, como vem ocorrendo freqüentemente no nordeste brasileiro.

O conseqüente distúrbio do regime hidrológico de uma bacia, quando alterado pelas pressões antrópicas, pode trazer conseqüências negativas na capacidade de armazenamento de água nos canais de drenagens e posteriormente o comprometimento da disponibilidade hídrica e oferta de água na bacia de drenagem para as populações locais (REBOUÇAS, 2003). Essas alterações no regime hidrológico da bacia podem ser influenciadas pelas alterações do clima. As mudanças de temperatura e precipitação causadas pelas emissões de gases do efeito estufa, em especial o CO<sub>2</sub>, principal gás causador do efeito estufa, tem como fonte, ações antrópicas que intensifica o processo das mudanças do clima, relatado pelo painel de mudanças climáticas.

Para tanto são de grande importância os estudos hidrológicos em bacias hidrográficas, onde a vasta gama de fatores e processos que fazem parte do balanço hídrico de uma bacia torna complexa a sua análise. Além disso, o

gerenciamento desses sistemas hídricos, por característica, compõe um campo de ação multidisciplinar, com um grande número de alternativas no planejamento, considerando seus usos, disponibilidades e preservação (Tucci, 1998). Associados a todos os fatores usualmente analisados devem ser levados em considerações os efeitos das mudanças climáticas para prognósticos de variações das vazões em bacias hidrográficas.

Em razão dessa diversidade de parâmetros, tornam-se necessárias metodologias que melhor quantifiquem os processos físicos, auxiliando nas etapas de análise, de gerenciamento e de tomada de decisões. Uma dessas metodologias é a modelagem matemática aplicada nos Geossistemas.

Segundo Nascimento & Sampaio (2004/2005), Geossistema corresponde aos dados ecológicos relativamente estáveis superficiais, resulta do potencial ecológico, mormente: clima – temperatura e precipitação; fatores geomorfológicos - natureza das rochas, dos mantos superficiais, declive, dinâmica das vertentes e fatores hidrológicos - lençóis freáticos, nascentes, pH das águas, tempo de ressecamento do solo. Estas formulações são representações físicas do espaço, e estes elementos geográficos são levados em consideração e estruturados na aplicação e simulação a partir de modelos hidrológicos.

Modelos hidrológicos tem sido de grande relevância em estudos que buscam obter prognósticos hidrológicos em bacias hidrográfica, a partir da modelagem de cenários atuais e futuros, sendo um avanço na área de estudo em hidrologia, pela capacidade de processar grandes volumes de dados e simular o escoamento superficial nas bacias de drenagens.

São condições a ser analisada para fins de modelagem hidrológica a aquisição de dados confiáveis na aplicação de modelos hidrológicos para estimativa de vazões confiáveis. Esta maior precisão nos resultados em modelagem hidrológica depende da distribuição da rede de monitoramento e disponibilidade de dados hidrológicos nas bacias hidrográficas, que podem tornam mais representativos os fenômenos hidrológicos, através de modelagem hidrológica, tornando esta tecnologia ideal para fins de planejamento, gerenciamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas.

As Vazões em bacias hidrográficas estão relacionadas, de acordo com as características espaciais: as feições do relevo, associado às taxas de declividade; os tipos de solo; o clima; a geologia. Esses elementos naturais possuem características heterogêneas em bacias, estas características são condições diretas para definir, como também, exercer mudanças no escoamento superficial. As alterações dos elementos naturais da bacia são causadas pelas ações antrópicas constantes e impactantes. De acordo com Meller et al. (2005), entre os fatores naturais que influenciam os vários aspectos das vazões podem ser citadas: a distribuição e as características de infiltração dos solos da bacia, a extensão e as características hidráulicas dos aquíferos, a taxa, quantidade e frequência de recarga, a evapotranspiração da bacia, a distribuição dos tipos de vegetação, topografia e, principalmente, o clima.

O objetivo deste trabalho é avaliar o modelo MGB-IPH - Modelo de Grandes Bacias, desenvolvido por Collischonn, 2001, na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio, no Estado de Alagoas, buscando a melhor representação dos processos hidrológicos, com ênfase na análise da influência das mudanças no clima previstas no Painel de Mudanças Climáticas – IPCC.

A modelagem hidrológica aplicada na Bacia do Paraíba do Meio, além de obter prognósticos das mudanças climáticas e disponibilidade hídrica no tempo e no espaço, poderá também dar suporte a tomada de decisão em programas de gestão de recursos hídricos.

O resultado final deste trabalho será de extrema relevância, dado que a bacia hidrográfica do Paraíba tem problemas de secas e enchentes, e é necessário estudo modelagem hidrológicos e impactos das mudanças do clima na bacia, e que são levados em consideração os tipos e cobertura vegetal e de dados hidroclimáticos, possibilitando assim aprimorar o gerenciamento de recursos hídricos na região.

Os resultados da aplicação do Modelo **MGB/IPH** serão disponibilizados para a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH), através do Centro de Tecnologia da UFAL, que tem uma parceria e desenvolve uma colaboração técnica e científica, garantindo assim a imediata transferência e uso dos resultados obtidos. Este trabalho faz parte do projeto: ESTUDO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS



CLIMÁTICAS NA REGIÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA,  
financiado pela FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Aplicação modelo MGB-IPH (Modelo de Grandes Bacias) na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio, para estimativa de vazões, com ênfase na análise da influência das mudanças no clima previstas no Painel de Mudanças Climáticas – IPCC.

### **2.2 Específicos**

- Calibração do modelo MGB/IPH;
- Identificar os possíveis impactos das mudanças climáticas nas vazões;
- Avaliar o modelo MGB nas diferentes áreas da bacia.

### **3 REVISAO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Mudanças climáticas e alterações hidrológicas em bacias**

As possíveis alterações climáticas no globo terrestre têm sido foco de discussões em diversos setores de todo o mundo, assim como seus efeitos, a nível global e local nos recursos naturais, têm se tornado fonte de preocupação para a comunidade científica. IPCC (2008) os ciclos hidrológicos globais e regionais foram grandemente influenciado pelas alterações climáticas e atividades humanas no século passado.

As mudanças climáticas podem estar associadas não só aos efeitos atmosféricos naturais, mas também aos agentes aceleradores provenientes das alterações antrópicas, principalmente o aumento e lançamento de CO<sub>2</sub> para a camada baixa da atmosfera. Mudanças na composição atmosférica da quantidade de gás causador do efeito estufa e de aerossol, mudanças da radiação solar e na propriedade da superfície da terra alteram o equilíbrio energético do sistema climático. (IPCC 2004; IPCC 2007)

O dióxido de carbono é o mais importante gás estufa antropogênico. A concentração global de dióxido de carbono tem crescido desde a época pré-industrial, cujos valores estavam em torno de 280 ppm e passaram para 379 ppm em 2005. A concentração de dióxido de carbono na atmosfera excedeu em muito a faixa natural durante os últimos 650.000 anos (180 à 300ppm) determinado através de núcleos de gelo. A taxa anual de crescimento da concentração de dióxido de carbono foi maior nos últimos dez anos (1995-2005 - média: 1,9 ppm por ano) do que foi desde o começo da medição contínua e direta da atmosfera (1960-2005 - média: 1,4 ppm por ano), apesar de existir variações de crescimento de um ano para outro (IPCC, 2007). O uso de combustíveis fósseis responde por cerca de 75% de CO<sub>2</sub> adicionado na atmosfera, enquanto as queimadas associadas às práticas agrícolas e aos desmatamentos causaram a quase totalidade do aumento restante. (IPCC, 2001a). De 6 a 7GtC (gigatoneladas de carbono) são lançadas por essas fontes anualmente na atmosfera (IPCC, 1995, 2001a)

O aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera desde o período pré-industrial é resultado do uso de combustível fóssil. A mudança do uso do solo é outra razão significativa para o aumento da concentração, porém tem menor contribuição para este aumento.

Segundo Medeiros et al. (2003), o efeito estufa é um fenômeno representativo das alterações climáticas, fenômeno físico pelo qual os gases ativos na atmosfera mantêm a terra mais aquecida do que estaria na ausência destes gases. A terra absorve radiação solar e, por sua vez, emite radiação térmica para o espaço.

O aumento da temperatura da terra é evidenciado no 4º TAR (2007), quando foi relatado o aumento de quase duas vezes na temperatura no Ártico em relação à taxa média global nos últimos 100 anos do globo terrestre e o período mais quente foi observado de 1925-1945.

Extremos climáticos recentes também foram constatados como as secas na Amazônia em 2005, no Sul do Brasil em 2004-2006, na Espanha e na Austrália; os invernos intensos da Ásia e Europa; as ondas de calor da Europa em 2003; o furacão Catarina no Sul do Brasil, em 2004; e os intensos furacões no Atlântico Norte, durante 2005, têm sido atribuídos ao aquecimento global. Ainda que as evidências não permitam estabelecer relações entre eles com grande certeza, o que se sabe é que estes fenômenos têm afetado populações, com grandes perdas de vidas humanas, afetando também a economia, agricultura, saúde, com graves impactos nos ecossistemas. Para a América Latina, as projeções futuras mostram que até meados do século XXI, os aumentos de temperatura e as reduções de chuva e de vazões de rios poderão levar a uma substituição gradual da floresta tropical por savana no leste da Amazônia, e a vegetação semi-árida tenderá a ser substituída por vegetação de terras áridas (MARENGO, 2007), apud, Salazar et al., 2007; IPCC, 2007b).

As modificações climáticas podem ser sentidas principalmente com as alterações dos parâmetros climáticos e hidrológicos. Silva et.al. (2009) afirmam que as variações climáticas na terra podem inicialmente modificar os recursos hídricos locais e o albedo da superfície, de forma que o processo pode provocar pequeno ou

até grandes modificações na temperatura, precipitação e evaporação, entre outros parâmetros.

Os impactos nas vazões dos rios provenientes das mudanças climáticas tem sido objeto de estudo em modelagem hidrológica, quando associados aos cenários futuros de mudanças do clima (precipitação e temperatura) utilizam-se em modelos chuva vazão, tendo como dados de entrada os dados climáticos. A temperatura tem grande potencial de modificar a taxa de evapotranspiração, e conseqüentemente alterar o ciclo hidrológico. Tavares (2004) o aumento das temperaturas terá, como resposta, um crescimento da evaporação e fornecimento de energia, contribuindo para a formação de nebulosidade por movimentos convectivos na atmosfera. A convecção e evaporação criarão alterações na circulação atmosférica e nas precipitações, que deverão aumentar em alguns lugares e diminuir em outros. Também crescerão episódios de secas e enchentes. Silva et al.(2009), aplicaram o modelo de balanço hídrico mensal, desenvolvido por XIONG e GUO (1999), na bacia do rio Ipojuca/PE, e pôde observar que o aumento na temperatura de 1C° alteraram as vazões. O referido autor destaca que essa anomalia de temperatura pode ser um indicativo de que os rios possam secar mais cedo do que o normal, com as mudanças climáticas, previstas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças climáticas – IPCC.. Wang et al., (2009) utilizaram o VIC, modelo hidrológico que inclui a interação da dinâmica da atmosfera com vegetação subjacentes e solos, onde a água dinâmica e fluxos de energia são considerados. Esse modelo foi aplicado na bacia hidrográfica do rio Amarelo, na China, estimaram reduções nas vazões em 1,88% por ano com as mudanças do clima e impactos humanos, e de 0,86% somente associados as mudanças do clima.

Medeiros et al.(2003) utilizaram resultados de dois modelos de circulação global (os modelos do serviço meteorológico da Inglaterra UKHI e Centro de clima Canadense CCCII), para cenários atual (1xCO<sub>2</sub>-323ppm) e futuro (2xCO<sub>2</sub>-646ppm), na bacia hidrográfica do rio Paraguaçu, no semi-árido brasileiro, e concluíram que o escoamento superficial decresce substancialmente nos dois casos durante os meses de inverno e primavera. No cenário CCCII, o decréscimo observado ao longo do ano é de aproximadamente 25%, no cenário UKHI, por outro lado, o escoamento aumenta durante o outono e diminui durante o resto do ano. Albuquerque &

Galvêncio (2010), na bacia hidrográfica do rio Una (PE), simularam um aumento médio de temperatura entre 1,03°C a 2,86°C, tendência para 2020 do cenário A2 de aquecimento global do IPCC. Pode observar que os problemas na bacia durante a época mais chuvosa podem ser intensificados, e as enchentes se tornaram constantes, causando prejuízos e mortes nas principais cidades que margeiam o rio Una. Mello et al.(2008), a partir dos dados simulados pelo modelo de circulação global HadCM3, para os cenários de alta e de baixa emissão de gases de efeito estufa, A2 e B2, entre os anos de 2001 – 2099, estimaram vazões mínimas ( $Q_{7,10}$  - vazão mínima com duração de sete dias e período de retorno de 10 anos) na Sub-bacia do Rio Paracatu/MG, observaram tendência significativa de aumento da disponibilidade hídrica em 81% das estações fluviométricas nas diferentes estações fluviométricas, variou de 31 a 131% até o final deste século. Para o Cenário B2 (menor emissão de gases de efeito estufa), as tendências de aumento da disponibilidade hídrica ( $q_{7,10}$ ) até o final deste século não foram significativas para nenhuma das estações fluviométricas utilizadas. Graves & Chang (2007), utilizaram projeção média anual do modelo climático global HadCM2 e GCM1, aumento de temperatura (1,3% para 2020) e aproximadamente (3,5% para 2080). Ambos cenários aumentaram a média anual de precipitação aproximadamente 5,4% para 2020, no entanto, para 2080 HadCM2 (12,4%) e GCM1 (27,1%), na bacia hidrográfica do rio Clackmas em Oregon (EUA) através do modelo hidrológico distribuído Struma River Gis, GCMs e HadCM2. Para 2020, HadCM2 e GCM1 tiveram aumento das vazões máximas e diminuição da mínimas mensais. Para 2080, as mudanças das vazões foram ainda maiores para as máximas e mínimas em relação aos dados observados. Seidel et al., (2000) observaram modificações na vazão anual real de abril até dezembro de 1995, aumento em cerca de 25% em ambas bacias hidrográficas, do rio Ganges e Brahmaputra, ao realizar cálculos de vazões com aumentos de temperatura de 1,5 °C, precipitação de 10% e humidade de 5 a 10%., por meio do modelo hidrometeorológico SRM snowmelt runoff model.

Desta forma estudos dos impactos nas vazões em bacias hidrográficas através de simulações a partir de dados climáticos tem sido um avanço e tem sido explorado em hidrologia. Pinto et al.(2006), destacam que os modelos de previsão, tanto de precipitações semestrais quanto de vazões trimestrais, trouxeram ganhos em relação às previsões realizadas a partir unicamente da climatologia. As previsões

de vazão a partir de modelos climáticos se tornam validas à medida que haja maiores precisões nos modelos climáticos, Collischonn et al. (2005), destacam que existe um forte potencial de utilização das previsões de modelos de previsão climática sazonal em recursos hídricos. Este potencial deverá aumentar à medida que a previsão numérica de tempo e clima se desenvolve.

### **3.2 Modelagem matemática em hidrologia**

Segundo Tucci (2010), os primeiros modelos matemáticos em hidrologia tratavam de apresentar as etapas do ciclo hidrológico, como o desenvolvido por Horton, na década de 1930, tratando da infiltração, e o escoamento em rios, o Modelo Muskingun e o modelo Puls para o escoamento em reservatório, desenvolvido por MacCarthy.

Modelos matemáticos hidrológicos tentam representar o regime hidrológico quali-quantitativo de bacias hidrográficas com a finalidade de facilitar o entendimento que permitir prever e mensurar a resposta do sistema aos condicionantes externos e de interesse. Estes modelos são baseados em formulações matemáticas, obtidas a partir de observações e técnicas estatísticas. Um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou sub-superfície terrestre (RENNÓ et al., 2000).

A análise matemática hidrológica de bacias hidrográficas de maneira simplória consiste no entendimento da bacia como um sistema hídrico semelhante a um reservatório, com entradas e saídas cuja representação desse sistema é o ciclo hidrológico, mas não descarta a complexidade do sistema hidrográfico. A entrada no sistema corresponde à precipitação, e a saída vazão. Dessa forma a resposta da bacia à quantidade e saída de água está associada às características físico-naturais e alterações antrópicas (MENDES et al., 2006). Esta representação sistemática de bacias hidrográficas são características representativas em modelagem matemática hidrológica.

Esta representação hidrológica pode ser aplicada por diferentes tipos de modelos matemáticos hidrológicos e podem ter classificações quanto à utilização linear e não linear. Os modelos hidrológicos representados por uma relação linear

têm como exemplo o hidrograma unitário, que corresponde à função resposta de um impulso unitário de apenas um sistema hidrológico homogêneo, caracterizando-se como um linear simples (entrada e saída), onde saída é representada através do hidrograma unitário no exutório da bacia. Este hidrograma representa os efeitos de eventos chuvosos, mas evidencia limitações relacionadas ao fato de se tratar de uma função de resposta concentrada apenas no exutório, não evidencia a influência da variabilidade heterogênea espacial, das propriedades físicas distribuídas de bacias hidrográficas. Visto que a bacia é um sistema complexo e heterogêneo, com diferentes taxas de infiltração, armazenamento e escoamento da água para cada tipo de solo e cobertura vegetal ao longo da bacia hidrográfica (MENDES, 2006). Modelos com relação linear estão representados por um único reservatório que possui uma única saída. Estes sistemas de equações lineares podem representar modelos restritos à geração de hidrograma de respostas da bacia apenas num único ponto de saída (exutório).

Os modelos matemáticos hidrológicos concentrados não levam em consideração a distribuição espacial dos parâmetros físicos da bacia de forma a considerar a complexidade do sistema hidrológico na bacia hidrográfica.

Os modelos matemáticos precipitação – vazão do tipo concentrado, no passado, representavam o comportamento de forma simplificada, e que permitiu dar resposta às questões básicas de engenharia. No entanto, estes modelos não permitiram avaliar os efeitos de modificações de uso do solo e a variabilidade da resposta hidrológica em grandes bacias.

Com o desenvolvimento tecnológico e o surgimento dos computadores, e a possibilidade de processar maiores volumes de dados, surgiram novos modelos matemáticos em hidrologia, os quais representam processos de transformação de chuva em vazão, especificamente para simulação e regulação de reservatórios.

Entre os anos 60 e 70 apareceram vários modelos que contribuíram com características singulares como o Stanford IV, que tinha como principal desvantagem o grande número de parâmetros de entrada necessários a sua operacionalização, mas representava a maioria dos processos da transformação



chuva-vazão e podia ser utilizado em bacias urbanas e rurais com diferentes tamanhos e coberturas (Crawford & Linsley, 1966 apud Ferraz et al, 1999).

Na década de 70 o modelo SSARR - Streamflow Syntesis and Reservoir Regulation que segundo Piccili (2007), foi desenvolvido pela US Corps of Engineers de PortLand, e foi escolhido e inicialmente aplicado pela entidade que o desenvolveu (HEC. 1972). Surgiu também o modelo hidrológico Texas Watershed Model, uma modificação do Stanford IV na parte de depressão do solo, infiltração e variação da umidade.

Na década de 80 foi desenvolvido o modelo IPH-II do tipo precipitação- vazão e aplicado às bacias dos rios Capivari, Cauca e Chasqueiro, no Estado do Rio Grande do Sul (Brasil). O modelo representa os principais fenômenos do processo chuva-vazão: perdas por interceptação (vegetação e depressões) e evaporação, infiltração e escoamento superficial e subterrâneo. O modelo IPH II é um modelo hidrológico do tipo concentrado, possuindo algoritmos de perdas iniciais, de infiltração (com a equação de Horton) e algoritmos de propagação superficial e subterrânea por funções de reservatório linear simples (GERMANO; TUCCI; SILVEIRA, 1998). Ainda na mesma década surgiu o modelo conceitual SMAP desenvolvido por Lopes *et al.* (1982) com estrutura simples e utilizando a separação de escoamento baseada nos parâmetros do *U.S. Soil Conservation* (Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos da América), usados na determinação de cheia de um projeto.

Na década de 90 surgiram os modelos de bases físicas como o TOPMODEL (BEVEN, 1997) utilizado por Santos et.al (2004) na Bacia do rio Pequeno, São José dos Pinhais. O modelo hidrológico TopModel é do tipo determinístico, semi-distribuído e fisicamente baseado, e pressupõe que a dinâmica da água resulta das características do solo e do relevo de toda a bacia contribuinte, fornecendo como resultado, além da vazão do rio, a distribuição espacial da umidade no sistema (zona saturada e área secas) ao longo do tempo.

O TopModel permite estimar através de calibragem valores característicos de algumas propriedades físicas e hídricas do solo, como a transmissividade que foi o precursor dos modelos baseados em SIG (Sistema de Informação Geográfica) e

utiliza para a análise topográfica um Modelo Digital de Elevação (FERRAZ et. al, 2000).

Em outro modelo o SHE (Sistema Hidrológico Europeu) a bacia é dividida em células na forma de uma grade, as células são definidas com as variáveis e equações são resolvidas por métodos de diferenças finitas. Grades de menor resolução na horizontal (2 x 2 km) também já foram utilizadas, porém implicaram na calibração de valores equivalentes dos parâmetros, diferentes dos valores medidos em escala local (Bathurst et al., 1995, apud Collischonn, 2001).

Dessa forma, o campo de estudo destinado à criação de modelos hidrológicos, denominada modelagem hidrológica, é destaque dentre as linhas de estudo em hidrologia, e pode dar resposta de vazões em grandes escalas, a nível global, podendo contribuir até mesmo no prognóstico de mudanças climáticas no globo terrestre, onde a bacia hidrográfica em análise é fundamentada pela heterogeneidade dos elementos espaciais que representa o sistema ao longo da bacia.

### **3.3 Modelo hidrológico distribuído**

Os Modelos hidrológicos distribuídos chuva-vazão simulam o escoamento em bacias hidrográficas. São denominados distribuídos pela possibilidade de simulação de vazão ao longo da rede hidrográfica, e além disso consideram a heterogeneidade espacial dos dados hidroclimáticos, dos processos hidrológicos e das características físicas e antrópicas na bacia.

As aplicações de modelos hidrológicos distribuídos tornam-se importantes pela capacidade de estimar espacialmente vazões a partir de cálculos matemáticos em diferentes unidades de paisagem na bacia hidrográfica, e estes dados são simulados e ajustados a partir de dados observados. Modelos hidrológicos distribuído são de grande importância na geração de dados de vazão em bacias hidrográficas e ainda podem obter estimativas de vazões em áreas sem monitoramento hidrológico, principalmente, carentes de informações relativas aos escoamentos para previsão de vazões, para períodos secos e eventos de cheias.

A grande dificuldade para a modelagem hidrológica tem sido a falta de monitoramento hidrológico e conseqüentemente a ausência e/ou defasagem dos dados em bacias hidrográficas brasileiras. Mesmo havendo limitações de dados, os modelos hidrológicos distribuídos chuva-vazão tornam-se uma alternativa interessante para fechar as lacunas de carências de dados de vazões, a partir de séries de precipitação, visto que os modelos distribuídos levam em consideração variáveis físicas das bacias, o que permite diferenciar as unidades de paisagem e conseqüentemente a heterogeneidade hidrológica na bacia.

Silans et al. (2000) destacam que os modelos hidrológicos **distribuídos** procuram incorporar a variabilidade espacial dos parâmetros descritivos da geologia, da natureza do solo (pedologia), da ocupação do solo (antrópicas) e do relevo (geomorfologia), assim como a distribuição espacial da precipitação, e, eventualmente, da evapotranspiração potencial.

Os modelos distribuídos subdividem a bacia em elementos considerados homogêneos quanto às propriedades avaliadas, representando, além da variação temporal, a variabilidade espacial do sistema físico (MENDES, 1996).

O planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica requerem um conhecimento profundo dos mesmos. Isto implica em dispor ao longo do tempo, assim como no espaço referente à bacia hidrográfica, de informações relativas às quantidades de água escoada de acordo com as peculiaridades físicas da bacia, às vazões na rede de drenagem, aos usos dos recursos hídricos e também da qualidade da água (SILANS et al. 2000).

Modelos hidrológicos distribuídos ganham cada vez mais êxito e importância quando dentro de seus métodos estão a obtenção de hidrogramas em diferentes pontos na rede de drenagem em grandes bacias hidrográficas, não apenas em um único ponto de saída.

Exemplos são as estimativas de vazões distribuídas na bacia como já citado, como também previsões de vazões, risco de enchente e ainda pode ter utilização em estudos de mudanças climáticas. Segundo DOLL et.al (2002) para o reconhecimento de mudanças climáticas são necessários estudos hidroclimáticos

em grandes escalas por meio de modelos hidrológicos, e que torna a simulação de mudanças climáticas mais confiáveis.

Entretanto, vale destacar os problemas e as desvantagens quanto à aplicação dos modelos hidrológicos. Braga et al (2002) destacam que a aplicação de modelos hidrológicos encontra limitações, quando não há disponibilidade suficiente de dados disponíveis e representativos para o desenvolvimento e calibração dos modelos. Outras limitações estão relacionadas ao emprego de relações simplificadas entre as variáveis intervenientes, em função da complexidade dos fenômenos representados, ou pelo pouco conhecimento destes, ou, ainda por limitações computacionais; difícil incorporação de fatores, como os sociais, por exemplo.

Além disso, as generalizações de informações espaciais decorrentes dos mapas em escalas com grandes classes, carecendo de maiores detalhes das entidades geográficas são desvantagens quanto à representação da modelagem hidrológica distribuída. Na visão de Le Lay & Galle (2005) apud Meller et al (2005), a utilização de modelos hidrológicos traz desvantagens, quando a utilização muitas vezes é dificultada pela necessidade de informações com alta resolução temporal e espacial na mesma escala, que muitas vezes não estão disponíveis.

Contudo, os modelos hidrológicos são representações simplificadas dos processos hidrológicos que ocorrem nas bacias. No desenvolvimento de um modelo hidrológico sempre existe um conflito entre o grau de detalhe da representação dos processos e a busca por modelos simples, com poucos parâmetros (COLISHONN et al, 2007).

Os modelos hidrológicos distribuídos podem ser utilizados para previsão de vazões em tempo real, previsão de vazão sazonal, estimativa de disponibilidade hídrica em locais sem dados e análise de impactos da construção e operação de múltiplas obras hidráulicas sobre regime hidrológico.

Modelos hidrológicos com variáveis distribuídas no espaço permitem estimar vazões a partir de cenários futuros de acordo com as condições atuais na bacia de drenagem. Segundo Yu et al. (2000), os modelos chuva-vazão distribuídos são capazes de realizar simulação a partir da distribuição espacial das chuvas e

características da bacia de drenagem, sendo uma alternativa promissora para simulação de hidrogramas de escoamento em bacias hidrográficas. O Modelo SWAT utilizado por Baldissera (2005) na bacia hidrográfica de rio Cuiabá em Mato Grosso é um exemplo de modelo hidrológico do tipo distribuído, sendo a bacia discretizada em sub-bacias tendo por base as formas do relevo distribuídas pelas suas cotas através dos modelos digitais de elevação.

Dessa maneira, o uso de um modelo hidrológico distribuído implica na parametrização de cada um dos seus termos. Procedendo desta maneira, estão se agregando diferentes dados de entrada, parâmetros e fenômenos hidrológicos, cada um com sua variabilidade espacial inerente e escala dominante (MENDES et. al, 2001).

A evolução dos modelos hidrológicos dos concentrados para os distribuídos tem sido um desenvolvimento importante para gerar informações hidrológicas espacializadas em bacias hidrográficas, de forma que este avanço tem ocorrido com o surgimento de técnicas de geoprocessamento através dos SIG's.

Com os avanços de modelos distribuídos em diferentes escalas geográficas da bacia hidrográfica (meso escala) houve avanços importantes principalmente através: do uso do geoprocessamento, que permitiu a identificação espacial das variáveis de entrada e de atributos físicos e dados gráficos das bacias hidrográficas utilizados como bases na modelagem matemática hidrológica distribuída.

### **3.4 Integrações entre geoprocessamento e modelagem hidrológica**

Miller & Guertin (1999) comentam, que a integração do Sistema de informações geográficas e a hidrologia tem sido objeto de estudo pela comunidade científica, com crescimento da pesquisa e aplicação, no últimos dez anos.

Um melhor conhecimento do problema e da análise de várias soluções exigem uma abordagem integrada das informações que possam oferecer uma visão global dos vários componentes do sistema (MENDAS et.al., 2004).

Os estudos e pesquisas na área de recursos hídricos têm se preocupado em quantificar a água em bacias hidrográficas a fim de contribuir para o gerenciamento

e uso da água no território. Modelagem hidrológica em SIG torna a aplicação de modelos hidrológicos ao nível das bacias hidrográficas, além de ser um avanço quantitativo na caracterização dos parâmetros hidrológicos, vem a ser uma tecnologia de apoio à decisão no contexto da gestão eficiente da ocupação do solo e dos recursos hídricos (SANTOS et al., 2008).

A integração de informações hidrológicas com o SIG tem preenchido lacunas na modelagem hidrológica para grandes bacias, gerando informações distribuídas, a partir de plano de informações que representam as características físicas da bacia: solos, geologia, uso e cobertura do solo e representação morfológica por meio de modelos digitais de elevação (MDE).

A integração entre os SIG's e um modelo de hidrológico para a simulação dos fenômenos de evaporação, precipitação e escoamento possibilita efetuar a previsão do escoamento superficial e simultaneamente analisar a sua distribuição numa bacia hidrográfica (SANTOS et al., 2006).

As integrações entre os modelos hidrológicos e os SIG's ganham importância para a gestão territorial, pois possibilitam conhecer espacialmente a magnitude dos impactos nos recursos hídricos, de forma que os modelos hidrológicos podem simular vazões de acordo com cenários (uso e cobertura do solo) e relacionar as causas dos impactos na bacia hidrográfica em estudo. O sistema de informação geográfica permite melhor reconhecer e descrever detalhadamente as variáveis territoriais, elementos espaciais e suas relações no espaço geográfico. No entanto, os sistemas de informação geográfica permitem obter apenas entidades espaciais estacionárias, enquanto que os modelos hidrológicos tratam de representações das dinâmicas hidrológicas de bacias hidrográficas, formuladas de forma contínua ao simular fenômenos hidrológicos dinâmicos no espaço, assim como previsões de escoamento.

Esta possibilidade de representações dinâmica espacial e heterogeneidade de vazões têm sido alcançadas com a integração entre os SIG's e a modelagem hidrológica de bacias. O SIG possui categorias de armazenamento de atributos, relações entre os planos de informações por meio da integração entre banco de dados geoespaciais.

Os SIG's têm permitido processar informações de características físicas através de modelos digitais de elevação, como comprimento de trechos de rios, drenagens, áreas, declividade, fluxo de drenagens, drenagem acumulada, entre outras informações, que associado aos modelos hidrológicos, tem permitido obter simulações em macro-escalas.

Todas essas informações são armazenadas num banco de dados geográficos geocodificados, estrutura de base para os SIG's. Exemplo é a extensão ArcHydro, do software ArcGis que permite processar plano de informações espaciais associado a um banco de dados necessário para os modelos hidrológicos distribuídos de base física para bacias hidrográficas.

Exemplos de modelos de simulação hidrológica fundamentados nas características espaciais físicas de bacias hidrográficas associados aos sistemas de informação geográfica são: SHE (Système Hydrologique Européen – ABBOTT) e seu sucessor SHETRAN, SWAT (Soil and Water Assessment Tool – US Department of Agriculture, Agricultural Research Service no Galssland, Soil and Water Research Laboratory, Texas-EUA), TOPOG (TOPOGraphy model), TOPMODEL (TOPography MODEL) .

### **3.5 Modelo de Grandes Bacias – MGB/IPH**

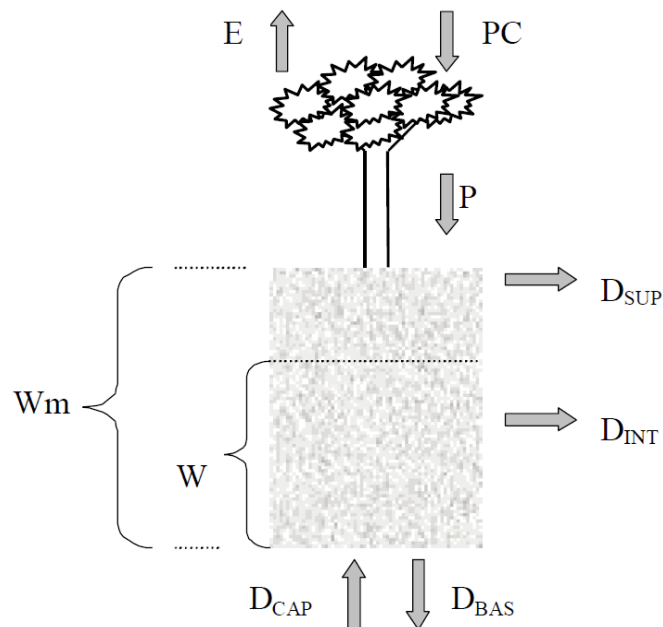
O modelo de Grandes Bacias - MGB/IPH Collischonn (2001), utilizado neste trabalho permite simular o ciclo hidrológico em bacias hidrográficas, onde cada fase está representada pelos seguintes módulos: balanço de água no solo; evapotranspiração; escoamentos: superficial, sub-superficial e subterrâneo na célula e escoamento na rede de drenagem.

O MGB/IPH foi desenvolvido a partir dos modelos VIC-2L e LARSIM que buscam preencher o espaço intermediário entre os modelos de transformação chuva-vazão, adaptados para pequenas bacias, e os modelos de circulação global, de grande escala. O modelo tem sido usado para previsão hidrológica, o qual possibilita estudo de disponibilidade hídrica, gerenciamento de recursos hídricos e em menor escala, avaliação de impactos de mudança de uso do solo e mudanças climáticas (COLLISCHONN, 2006).

O MGB/IPH possui subdivisões com características hidrológicas diferenciadas da bacia em blocos. Para esta versão do modelo MGB/IPH discretizado em mini-bacias são denominadas Unidades de Resposta Hidrológica – URH e são unidades representativas do balanço hídrico em diferentes unidades de paisagens da bacia hidrográfica. As URH's são áreas com comportamento hidrológico semelhantes, associados ao tipo e cobertura dos solos similares.

A figura 4 exemplifica os processos hidrológicos verticais simulados em cada Unidade de Resposta Hidrológica URH.

**Figura 1- Balanço hídrico para cada Unidade de Resposta Hidrológica MGB/IPH**



Fonte: COLISHONN, 2001.

Na versão do modelo hidrológico MGB-IPH, utilizada neste trabalho a bacia hidrográfica é discretizada em mini-bacias. Segundo Paiva (2009), o MGB-IPH simula os processos hidrológicos, o escoamentos gerados e fornece vazões no exutório em cada mini-bacia e adicionalmente variáveis hidrológicas secundárias como fluxos de energia e evapotranspiração, escoamentos superficial, sub-superficial, subterrâneo, e o armazenamento de água no solo são simulados em cada URH.



As etapas de simulação do ciclo hidrológico (interceptação, evapotranspiração, balanço de água no solo, geração de escoamentos superficial e sub-superficial e percolação ao aquífero) no modelo MGB/IPH estão associadas a cada URH's.

### 3.5.1 Comportamentos hidrológicos estabelecidos no Modelo

Os processos hidrológicos verticais e horizontais simulado pelo modelo MGB/IPH descritos a seguir estão de acordo com Collischonn (2001), Collischonn et al. (2007) & Paiva (2009)

#### 3.5.1.1 Verticais- Balanço de água no solo

O balanço de água no solo é realizado de acordo com as características de cada bloco (URH) do modelo. Já o escoamento superficial é calculado considerando se a água no solo saturado proporcionará escoamento superficial. O escoamento subterrâneo é calculado por uma equação simples, linear com relação ao armazenamento no solo. Separadamente, quando o armazenamento de água no solo é baixo, pode ocorrer a transferência de água subterrânea para a camada do regolito, por ascensão da água no solo. Sendo assim, o modelo pode simular situações em que as águas subterrâneas sofram perdas por evapotranspiração

- Evapotranspiração

A evaporação é calculada por meio da equação de PM (Penman – Monteith), utilizada por Sumne et al. (2004). Esta formulação permite representar as alterações de evapotranspiração associadas às mudanças de uso do solo, onde são necessários dados específicos para cada tipo de vegetação que podem ser adquirido por meio de imagens de satélites.

- Determinação do escoamento superficial

Na rede de drenagem para que aconteça o escoamento superficial, é necessária a condição de solo saturado, permitindo assim o escoamento superficial. Isso é representado através do processo Dunniano que são variáveis em função do

nível geral de saturação da bacia e é utilizada uma relação probabilística entre umidade do solo e fração de área saturada

- Geração do escoamento de sub-superfície

O escoamento sub-superficial no modelo é calculado numa relação não-linear, sendo levados em consideração os parâmetros hidrológicos (equação 1): o volume gerado de escoamento subsuperficial [mm],  $W_z$  [mm] o mínimo volume armazenado no solo para haver geração de escoamento subsuperficial,  $K_{int}$  [mm.dia-1] parâmetro de drenagem subsuperficial;  $\lambda$  [adimensional] índice de porosidade do solo.

$$D_{int_{i,j}} = K_{int_j} \left( \frac{W_{i,j}^{t-1} - W_{z_j}}{W_{m_j} - W_{z_j}} \right)^{3 + \frac{2}{\lambda}}$$

**Equação 1**

- Infiltração para o Aquífero:

Representa a quantidade de água que chega até o aquífero em cada intervalo de tempo, sendo uma função linear do volume armazenado de água no solo (equação 2).

$$D_{bas_{i,j}} = K_{bas_j} \left( \frac{W_{i,j}^{t-1} - W_{c_j}}{W_{m_j} - W_{c_j}} \right)$$

**Equação 2**

Onde  $W_c$  [mm] é o limite mínimo a partir do qual não ocorre percolação;  $K_{bas_j}$  [mm.dia-1] é o parâmetro que define a percolação máxima, quando o solo está saturado.

- Capilaridade da água no solo (ascensão):

A representação da ascensão da água para a zona não-saturada do solo (camada superior) pode ser representada no modelo, como também situação de estresse hídrico. Este comportamento hídrico de ascensão da água pode ser encontrado em áreas onde nível do lençol é raso e pode ser influenciado pelas raízes profundas da vegetação no solo, capaz de extrair a água do aquífero (equação 3). Onde,  $W_c$  [mm] é o limite máximo para haver fluxo ascendente e  $DM_{cap}$  [mm] o máximo fluxo ascendente do solo.

Este fluxo de ascensão da água no modelo MGB é representado por:

$$D_{cap_{i,j}} = DM_{cap_j} \frac{W_{c_j} - W_{i,j}^{t-1}}{W_{c_j}}$$

**Equação 3**

### 3.5.1.2 Horizontais

- Escoamento nas mini-bacias

As mini-bacias são subdivididas em blocos, ou melhor, Unidade de Resposta Hidrológica (URH), as quais são unidades que possuem características hidrológicas semelhantes de acordo com uso/cobertura e tipo de solos.

A propagação do escoamento se dá para cada mini-bacia, onde essas mini-bacias recebem as vazões das mini-bacias situadas a montante. A vazão de saída da mini-bacia a montante é a informação de entrada para a mini-bacia a jusante. A propagação da água na rede de drenagem passa antes por três reservatórios representando o escoamento superficial, o escoamento de base e o subterrâneo, havendo dessa maneira um tempo de retardo e amortecimento do escoamento de entrada para cada mini-bacia.

- Escoamento na rede de drenagem:

O modelo realiza a propagação nos trechos de rio utilizando o método de Muskingum-Cunge (TUCCI, 1998).

Os parâmetros do modelo Muskingum-Cunge são calculados com base nos dados de comprimento, declividade, rugosidade e largura média dos trechos de rio. O comprimento e a declividade são adquiridos a partir de mapas hidrográficos e modelo digital de elevação onde essas informações são geradas através do Sistema de Informação Geográfica (SIG).

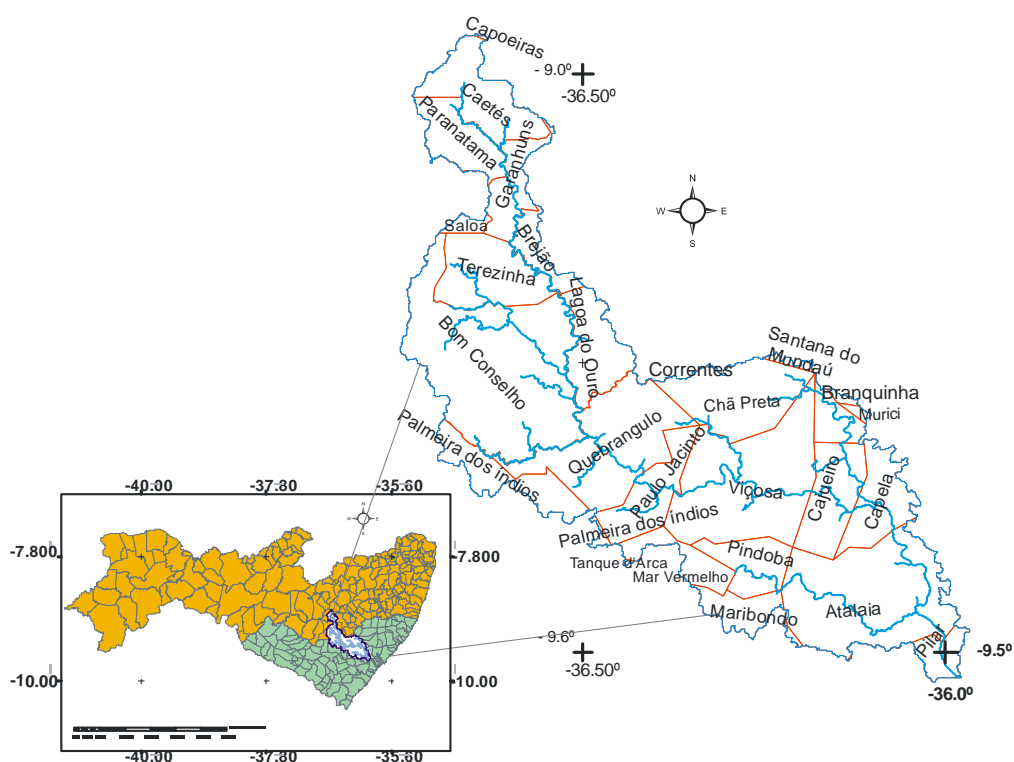
## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Caracterização da área de estudo

#### 4.1.1 Localização e hidrografia

A caracterização da bacia está de acordo com Alagoas (1997). A bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio possui uma área total de aproximadamente 3.117km<sup>2</sup>, compreendendo parte dos Estados de Alagoas e Pernambuco e possui perímetro de 478 km.

**Figura 2 - Localização da bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Meio e sua hidrografia**



Fonte: Autor, 2011 – Adaptado de Brasil, 2007

A Bacia do Rio Paraíba do Meio situa-se entre os paralelos 08°44' e 09°39' de latitude sul e entre os meridianos 35°45' e 36°45' de longitude oeste de Greenwich, e

limita-se ao norte com a Bacia do Rio Ipanema no Estado de Pernambuco, ao sul com as Bacias dos Rios São Miguel e Sumaúma, ao leste com a Bacia do Rio Mundaú, e ao oeste com as Bacias dos Rios Traipú e Coruripe. A figura 1 mostra

esquemáticamente a localização geográfica da bacia em estudo, os principais rios que contribuem para o canal principal são Riacho Bálsamo e o Riacho Seco na Margem direita, correspondente ao Estado de Pernambuco. Ainda encontram-se o principal rio no território alagoano, o rio Quebrangulinho, riacho Lunga, riacho do Canto, riacho Pedra de Fogo, riacho Riachão, riacho Itapicuru, riacho Isabel, riacho do Carapa e Rio Porongaba. O Rio Paraíba Meio ao longo dos seus 171,98 km apresenta regime fluvial intermitente e perene. O sistema hidrográfico apresenta padrão de drenagem do tipo dendrítico. Este tipo de drenagem também é conhecido como arborescente pela sua semelhança com os galhos de uma árvore (Cunha, 1995).

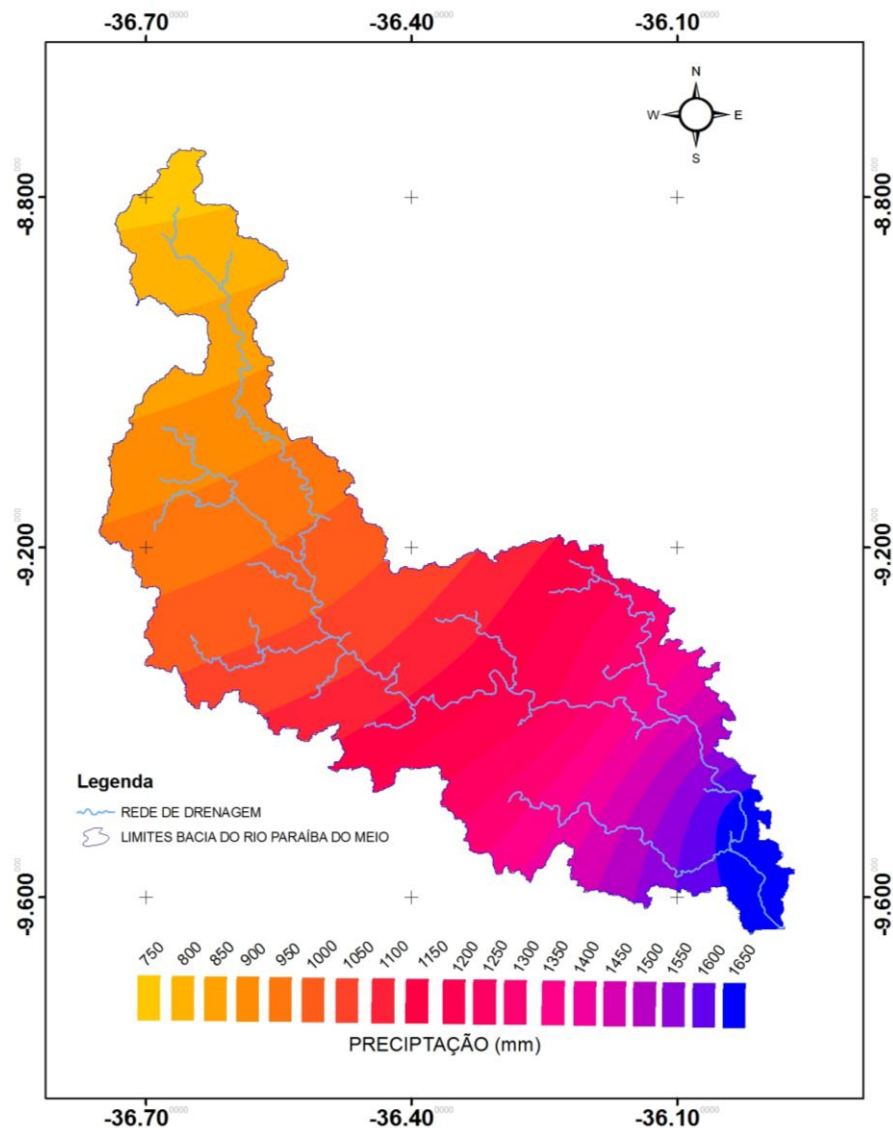
#### 4.1.2 Clima

A região do Agreste em Alagoas e Pernambuco permanece todo o ano sob o domínio da massa Equatorial Atlântica (Mea), que tem maior umidade na corrente inferior dos alísios. No inverno, verifica-se a invasão de massas polares (Mpa) provenientes do sul do Brasil, que se incorporam aos ventos alísios de sudeste, trazendo umidade, provocando chuvas mais abundantes sobre a região.

Nas condições do tempo e clima da região destacam-se os sistemas frontais, vórtices ciclônicos de altos níveis, ondas de leste e linhas de instabilidade tropical e, em grande escala, o “El Niño”, que é um fenômeno físico decorrente do aquecimento anormal das águas do oceano Pacífico Equatorial.

A porção da Bacia do Rio Paraíba no Estado de Alagoas está situada numa região de clima tropical quente e chuvoso com verão seco do tipo As', segundo a classificação de Köppen. Com estação chuvosa de abril a julho é adiantado para outono. A pluviosidade média anual na bacia é 1.600 mm, de acordo com os índices pluviométricos obtidos pelos postos pertencentes à SUDENE e ao DNAEE, nos municípios de Pilar, Atalaia, Capela, Mar Vermelho, Palmeira dos Índios, Pindoba, Quebrangulo e Viçosa. As temperaturas são bastante elevadas, com exceção das regiões serranas, onde, evidentemente, por efeito da altitude, tornam-se mais amenas. A média anual é em torno de 25 °C, a temperatura média mensal mais

**Figura 3 - Mapa de precipitação média anual, em milímetro, na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio**



Fonte: Autor, 2011.

elevada chega a atingir os 30 °C. Os meses mais quentes são dezembro e fevereiro, enquanto o mais frio é quase sempre julho.

Na porção da bacia pertencente ao território pernambucano, o clima é classificado como subsumido, com curto período chuvoso (outono - inverno, correspondendo aos meses de março a setembro), segundo a classificação de Köppen, BShs'. As temperaturas são elevadas com média anual de 25°C, e a pluviosidade média anual e de 750 mm.

#### 4.1.3 Formas de Relevo

A Bacia do Rio Paraíba tem sua área definida no alto curso por uma superfície aplanada, com relevo ondulado com altitude entre 600 e 800 m. O médio curso caracteriza-se pela presença de formas estruturais e de dissecação homogênea e o baixo curso por uma superfície sedimentar dissecada em interflúvios tubuliformes e colinas.

Com vale em “V” em todo alto curso, após confluir com o Riacho Seco e ainda em pernambucano, alcança o cota de 500 m, no qual, se encrava entre encostas erodidas que formam colinas, serras e cristas, até a confluência com o Paraibinha, a montante da cidade de Capela. Nesse trecho, a bacia ocupa uma superfície dissecada em três níveis distintos 600 – 700m, 450 – 550m, nível dominante, e 230 – 350m, que formam degraus de acesso aos níveis mais elevados do maciço.

Ao deixar o patamar, antes de alcançar os terrenos sedimentares, forma o cânion da Serra dos Dois Irmãos, quando penetra na “depressão periférica”, área erodida pela ação de alguns afluentes que cortam o “front” da encosta oriental do planalto e funcionam como nível de base para os processos morfodinâmicos.

A partir da confluência com o Paraibinha, aparecem platôs cristalinos capeados por sedimentos do Grupo Barreiras.

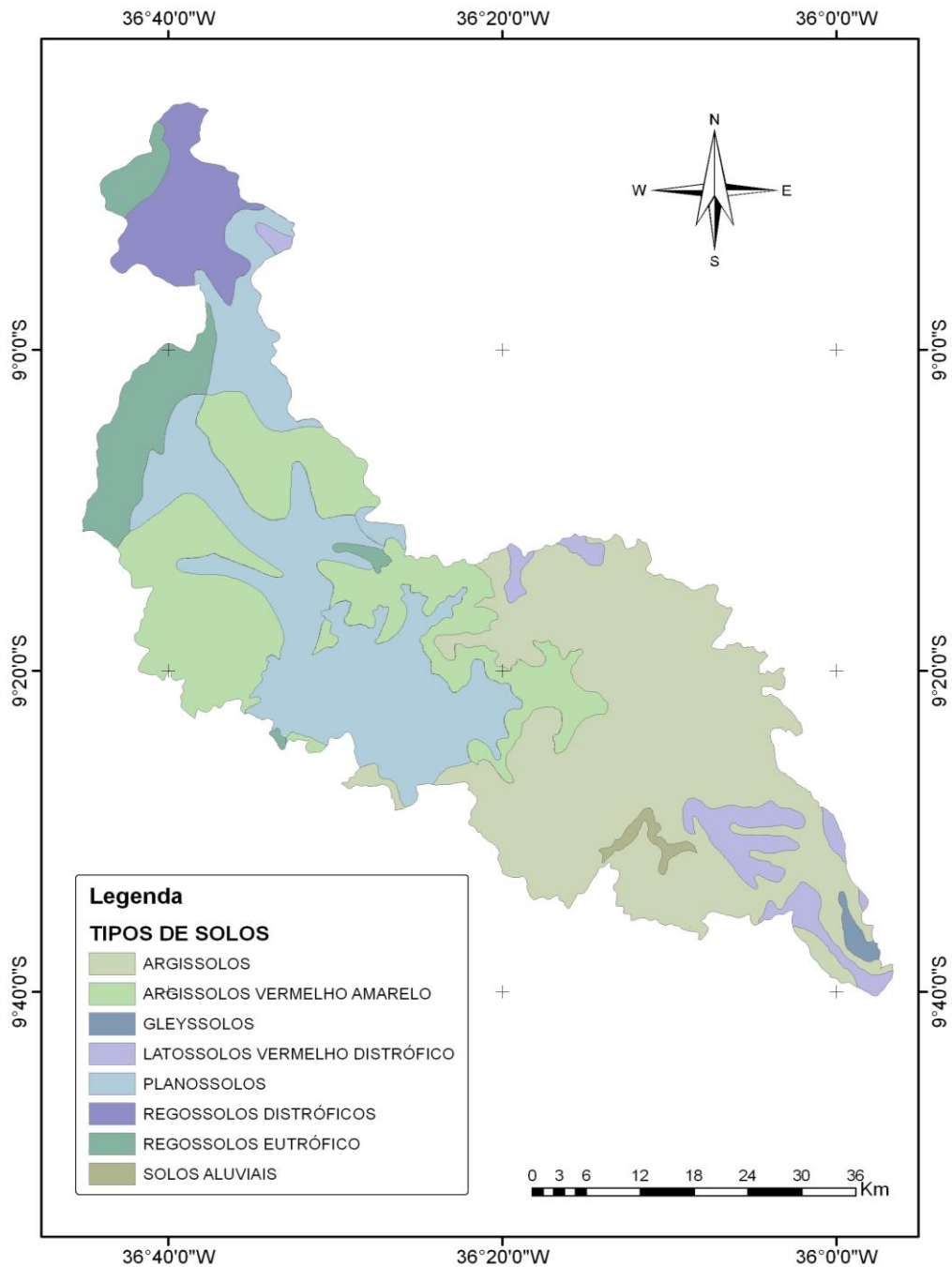
No município de Atalaia, o rio Paraíba do meio penetra nos tabuleiros, dissecando-os em colinas e interflúvios tabulares com encostas convexas e convexas côncavas, colúvios e leques aluviais até alcançar sua embocadura próxima à cidade de Pilar, onde, em virtude do fechamento do seu estuário por depósitos flúvio-marinhos, constitui a planície fluvio-lagunar na laguna Manguaba.

#### 4.1.4 Solos

Predominam variada ocorrência de solos com propriedades bastante distintas, destacando-se em termos de extensão, **Argissolos, Regossolos, Planossolos, Latossolos Vermelho Amarelo, Solos Aluviais e Gleyssolos (Figura 2).**



**Figura 4 - Solos na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio**



Fonte: Autor, 2011 - Adaptado de SEPLAN, 1997

**Solos Hidromórficos (Gleyzados e Orgânicos):** Compreende solos hidromórficos, mal drenados, cujas características morfológicas são resultantes principalmente da influência do excesso de umidade, permanente ou temporária, como acumulação de matéria orgânica na parte superficial. O horizonte A (comumente moderado) apresenta-se com espessura variável (10 e 40cm) mas, freqüentemente, oscila entre 15 e 25 cm; estrutura comumente moderada, porém

ocorre estrutura fraca ou mesmo forte, granular, de consistência dura a muito dura quando seco, e friável a firme quando úmido

**Solos Aluviais:** São solos pouco desenvolvidos, proveniente de deposições fluviais recentes moderadamente profundos a profundos, de textura as mais diversas e drenagem comumente imperfeita ou moderada. Em geral são solos de grande potencialidade agrícola. No Estado de Alagoas estes solos podem ser *distróficos* ou *eutróficos*, na seqüência o horizonte A, quando fraco, tem espessura comumente entre 8 e 15 cm, enquanto o A moderado, mais freqüentemente, tem espessura compreendida entre 15 e 25 cm. Na Bacia do Rio Paraíba do Meio, encontra-se o solo Aluvial Distróficos e Eutróficos no Estado de Alagoas, entre os municípios de Pindoba e Maribondo.

**Planossolos Solódicos:** Compreende solos com B textural, com argila de atividade alta. São chamados de solódicos por apresentarem saturação com sódio entre 6% - 15 % no horizonte B<sub>t</sub>. São comumente pouco profundos com profundidade média em torno de 70 cm. A textura entre média e argilosa, com ocorrência menor de textura muito argilosa. São diagnosticados por apresentarem o horizonte B igual ou maior que 50 cm, muito poroso, friável ou muito friável, alta floculação e pequeno incremento de argila.

**Latossolo Vermelho Amarel Cenário A2 :** Esta classe compreende solos com horizonte B textural, não hidromórficos, com argila de atividade baixa. São em geral fortemente ácidos e de baixa fertilidade natural. São normalmente profundo a muito profundos com Textura média, argilosa ou arenosa no horizonte A e argilosa ou média no horizonte B<sub>t</sub>. De modo geral o horizonte A destes solos apresenta espessura que varia de 20 cm até pouco mais de 100 cm. Estrutura mais desenvolvida no A<sub>1</sub>. O horizonte B<sub>t</sub> é espesso de um modo geral, e a profundidade varia de 68 cm até cerca de 4 metros.

**Argissolos Vermelho Amarelo:** compreendem solos com horizonte B textural, com profundidade variando de raso a profundo, seqüência de horizontes A, B, C com transições sempre claras e colorações predominantemente variando do bruno-amarelo a vermelho. Caracterizam-se por apresentar um horizonte diagnóstico superficial argílico (B<sub>t</sub>) onde houve uma acumulação de argila. Os

Argissolos possuem condições físicas favoráveis; são porosos e comumente bem drenados e são os que vêm sendo cultivados há longo tempo com cana-de-açúcar na zona úmida costeira.

**Argissolos Vermelho Amarelo Eutrófico:** Compreende solos com horizontes B textural, não hidromórficos, apresentam perfis bem diferenciados, comumente profundos. O horizonte A destes solos apresenta-se mais freqüentemente moderado e proeminente, com espessura entre 30 e 60 cm. O horizonte B<sub>t</sub> constitui a principal característica de identificação destes solos. Nos solos de textura argilosa, a estrutura varia de fraca a forte em blocos angulares/subangulares, sendo os argilosos com A proeminente os mais bem estruturados, aonde a serosidade chega ser até forte e abundante. O relevo varia desde plano até montanhoso, sendo também freqüentes os relevos ondulados e suaves ondulado. Clima e vegetação são também bastante diversificados.

**Regossolos Eutrófico e Distrófico:** Compreendem solos pouco desenvolvidos, arenosos, por vezes com cascalho ou cascalhentos, muito profundos a moderadamente profundos, muito porosos, com ou sem fragipan, estando este comumente situado logo acima da rocha subjacente. A drenagem pode variar de moderada a excessiva, mas comumente são bem a fortemente drenados. São solos bastante susceptíveis à erosão, verifica-se comumente uma forte deficiência de água durante a época seca. Os Regossolos estão presentes na Bacia do rio Paraíba na área correspondente ao Estado de Pernambuco, onde encontra o solo REe2 nos municípios Caetés e Paranatama, como também parte entre os municípios de Saloá, Terezinha e Bom Conselho.

**Solos Litólicos:** Compreende solos pouco desenvolvidos, rasos a muito rasos, possuindo apenas um horizonte A assente diretamente sobre a rocha (R) ou sobre materiais da rocha em grau bastante avançado de intemperização, constituindo um horizonte C sobre a rocha subjacente pouco intemperizada ou compacta (R). Os solos desta unidade podem ser eutróficos ou distróficos. Apresenta textura arenosa ou média, por vezes com cascalho ou cascalhenta. Comumente são solos bastante susceptíveis à erosão em decorrência de sua pouca espessura. O material originário refere-se em grande parte ao saprolito de gnaiss e granitos, podendo ser ainda desenvolvidos de quartzitos, micaxistos e arenitos.

#### 4.1.5 Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal apresenta características fitogeográficas da zona da caatinga representadas pelo Agreste, Mata e Litoral no Estado de Alagoas e, no Estado de Pernambuco, pela Zona do Agreste, a tabela 1 mostra a distribuição em porcentagem em classes de uso na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.

**Tabela 1 - Distribuição das classes predominantes em área e porcentagem de uso e cobertura do solo na bacia do rio Paraíba do meio**

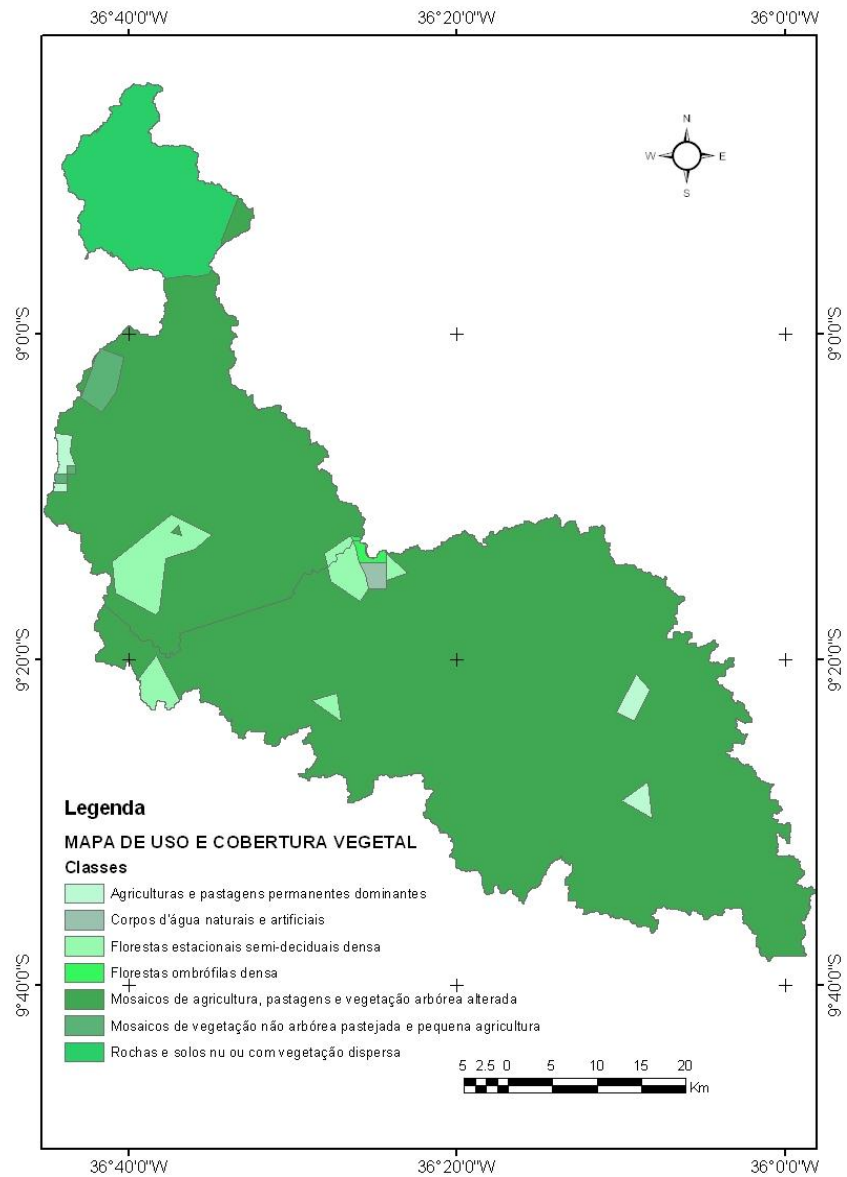
<b>Classes de uso e cobertura do solo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
Rochas e solos nu ou com vegetação dispersa	249,98	7, 980
Mosaicos de vegetação não arbórea pastejada e pequena agricultura	22,42	0, 716
Mosaicos de agricultura, pastagens e vegetação arbórea alterada	2.723,62	86, 940
Florestas ombrófilas densa	7,04	0, 225
Floresta estacionais semi-decíduais densa	105,59	3, 371
Agriculturas e pastagens permanentes dominantes	24,07	0, 768
Agriculturas e pastagens permanentes dominantes	0,05	0, 001

Fonte: Autor, 2011.

Na bacia, encontra-se a Mata Tropical de encosta do tipo subperenifólio e subcaducifólio, nos alto e médio vale, no baixo a mata de tabuleiro, com algumas manchas de cerrado, e na Baixada Litorânea vegetação de restinga (Francês - Taperaguá - Massagueira) um pouco conservada. Na planície lagunar aparecem os mangues dos solos salobros, e nos mais arenosos, o mangue de porte lenhoso, chamado Seriba. Por sua vez, as áreas menos úmidas dos municípios de Bom Conselho, Terezinha, Saloá e Garanhuns apresentam o predomínio da vegetação de caatinga hipo e hiperxerófila de espécie decíduas, que variam de arbórea a arbustiva, dotadas de espinhos e com abundância de cactáceas e bromeliáceas, correspondentes às subzonas do agreste e sertão central. As condições climáticas condicionam o aparecimento de uma cobertura vegetal dispersa (Caatinga) com variações para arbórea densa e arbórea aberta, e trechos de vegetação Florestal Secundária devido à intervenção antrópica.

Com o crescimento da pecuária extensiva e a expansão da monocultura da cana-de-açúcar, após a implantação do PROÁLCOOL na década de 1980, o desmatamento atingiu altos índices, substituindo quase que totalmente a vegetação

**Figura 5 - Mapa de predomínio do uso e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio**



Fonte: Autor, 2011 – Adaptado de EMBRAPA, 2000.

original pela cana-de-açúcar, restando apenas manchas de mata nos vales com altas declividades.

As informações relativas ao uso do solo definem as ações antrópicas em termos de áreas cultivadas, destacando-se a cana de açúcar nos municípios de Atalaia, Cajueiro, Capela, Chã Preta, Pilar e Pindoba, apresentando uma cultura mais diversificada os municípios de Mar Vermelho, Paulo Jacinto e Quebrangulo com cultivo de feijão, milho, batata doce, fava, mandioca, entre outros.

Logo se percebe na bacia do rio Paraíba do meio processo antrópico intenso, com maior predomínio de áreas agrícolas, pasto e vegetação alterada e apenas fragmentos de florestas.

## 4.2 Aplicação do modelo de grandes bacias – MGB/IPH

### 4.2.1 Preparação dos dados de entrada fase Prepo-MGB

Neste trabalho foi utilizada a versão MGB/IPH mini-bacias que permite discretizar à bacia hidrográfica em mini-bacias com tamanhos a critério do usuário. Diferente da versão anterior do MGB, onde a discretização era elaborada por células da ordem de quilômetros (10 x 10 Km, 5 x 5 Km). Onde a propagação do escoamento se dava para cada célula. Nesta versão, a propagação do escoamento é realizada de uma mini-bacia para outra.

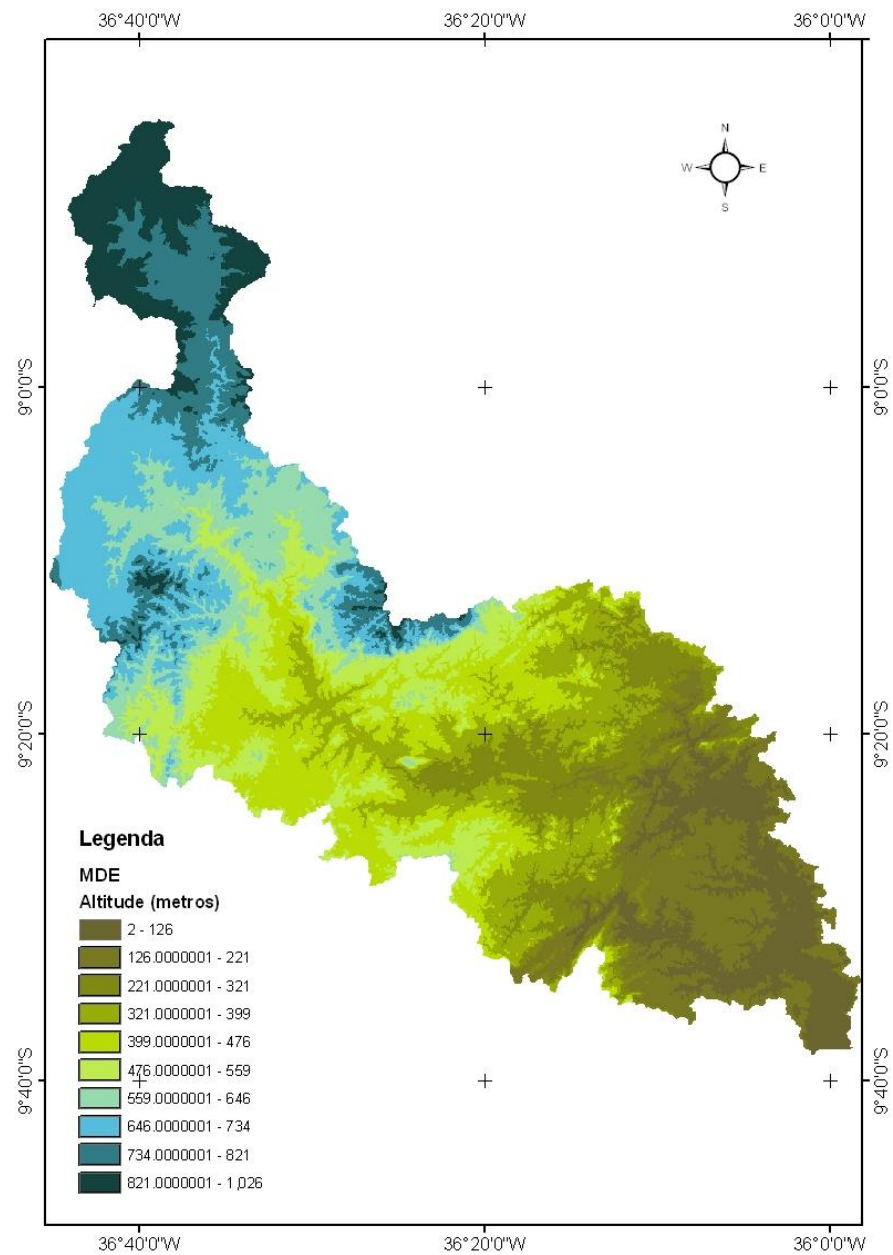
O MGB Mini-bacias tem com etapa inicial o processamento dos dados, denominado MGB-GIS, elaborado em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica). Onde os planos de informação posteriormente são inseridos na rotina pelo programa Prepro\_MGB, desenvolvido em linguagem Fortran, com interface VBA elaborado e desenvolvido como extensão no ArcGis 9.2.

A execução é realizada pelo template **Prepro\_MGB.mxd** (FAN et al., 2010). A discretização da bacia foi realizada por meio da extensão ArcHydro 9.2 desenvolvido no Centro de Pesquisas em Recursos Hídricos (Center for Research in Water Resources - CRWR) na The University of Texas at Austin (EUA) e gratuitamente distribuído pela ESRI, para ser utilizado no Software ArcGis. O dado de entrada é o Modelo Digital de Elevação (MDE), disponível por Embrapa no formato RASTER (Figura 5).

Nessa etapa inicial de preparação dos dados, foram executadas técnicas de geoprocessamento para geração de planos de informação necessários para modelo. Para tanto, inicialmente foram utilizados recorte espacial do MDE, posteriormente, a utilização da extensão ArcHydro no Software ArcGis 9.2, onde foram feitas correções e gerados os planos de informações (Raster) para a fase Prepo\_MGB

- 1) Preenchimentos das depressões espúrias (Fill Sinks);
- 2) Arquivo direções de fluxo (Flow Direction);
- 3) Fluxo de drenagem acumulado (Flow Acu);
- 4) Rede de Drenagem Raster (Stream definition).

**Figura 6 - Modelo Digital de Elevação – MDE, da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio**



Fonte: Autor, 2011

Diante da geração desses novos planos foi possível realizar a delimitação automática da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio, a ser utilizada na

modelagem. Após este procedimento foi feita a extração da área da bacia para os planos citados, tendo como referência geográfica para todos os recortes o Datum WGS\_1984 e a mesma resolução espacial do MDE de 90 metros (figura 5) para todos os mapas.

Após os recortes dos limites da área geográfica e ajustes de Datum e resoluções para todos os planos de informações, foram geradas uma segmentação de drenagem pela **Terrain Preprocessing / Stream Segmentation**, que a partir desse plano (figura 7) foi determinado o arquivo de mini-bacias no formato Raster pela função **Terrain Preprocessing / Catchment Grid Delineation**, todos pelo menu da extensão ArcHydro. A partir destes arquivos gerados, mais os planos de informação de tipo de solos e uso e cobertura vegetal foi possível realizar a fase Prepo\_MGB.

O PrePro-MGB é uma fase de processamento de dados espaciais que analisa os planos de informação de relevo da bacia fornecidos pelo MDE e resume as informações das características morfométrica para cada mini-bacia gerada.

Os dados necessários de entrada para a rotina Prepo\_MGB estão listados na tabela a seguir.

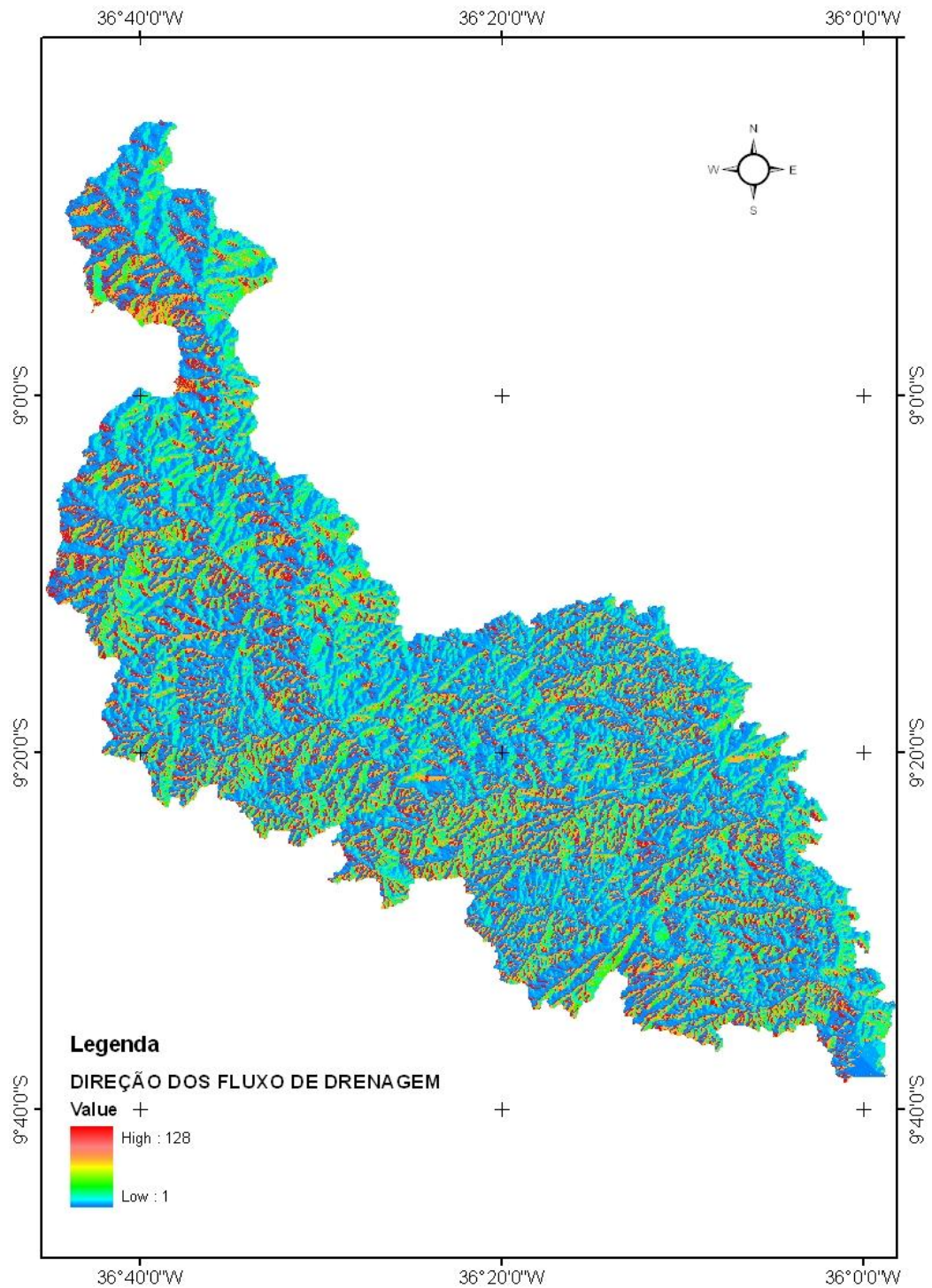
**Tabela 2 - Dados de entrada necessários para o programa PrePro\_MGB.**

<b>Planos de informação</b>	<b>Caráter</b>	<b>Tipo</b>	<b>Possível fonte</b>
Modelo Digital de Elevação (MDE)	Obrigatório	Raster	SRTM
Rede de drenagem	Obrigatório	Raster	Operação ArcHydro
Mini-bacias	Obrigatório	Raster	Operação ArcHydro
Direções de fluxo	Obrigatório	Raster	Operação ArcHydro
Unidades de resposta hidrológica (URH) ou Bloco	Obrigatório	Raster	Definição de unidades de paisagem

Fonte: Autor, 2011.

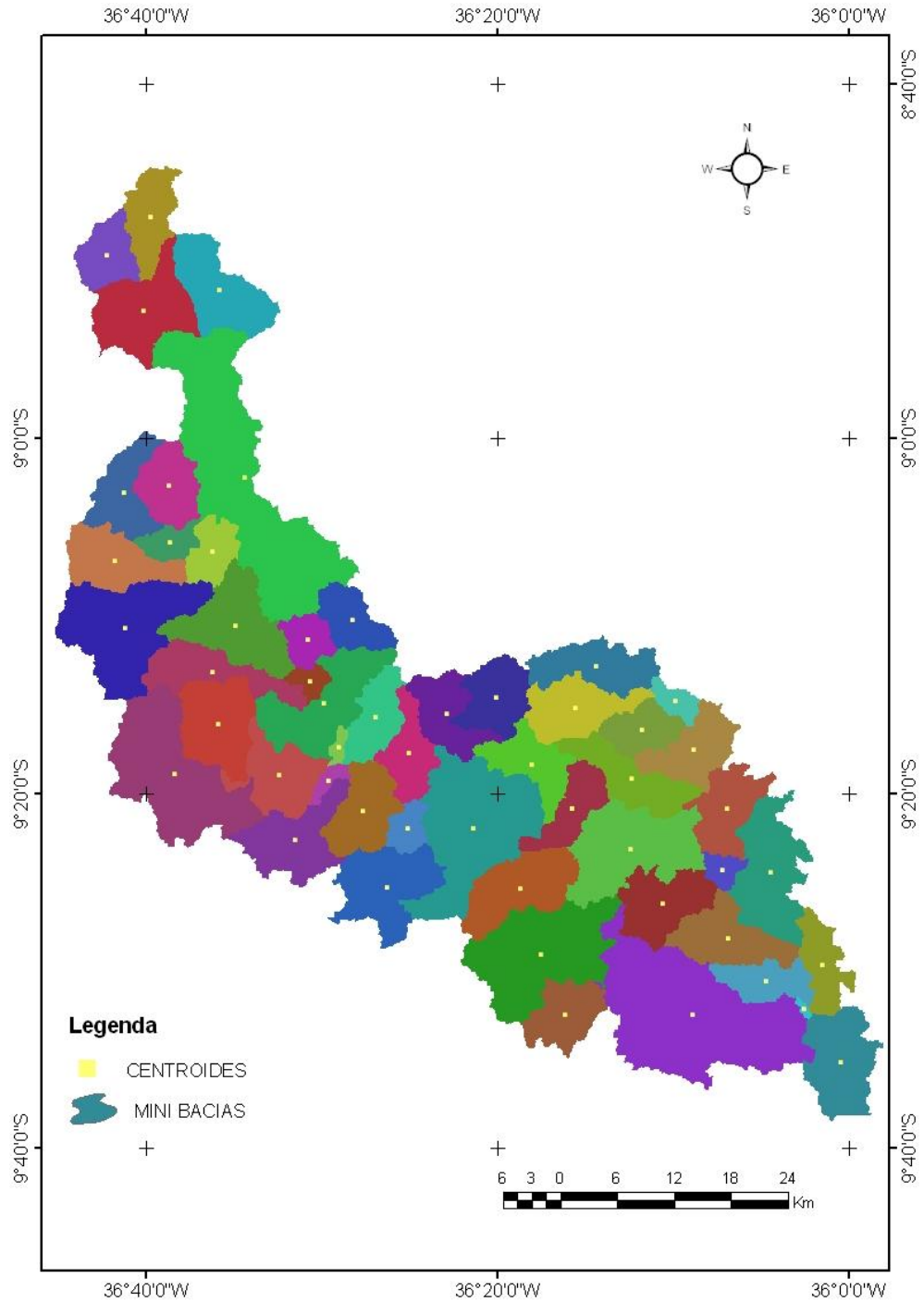


**Figura 7 - mapa de direção de fluxo da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio**



Fonte: Autor, 2011

**Figura 8 - Mapa de discretização em Mini-Bacias da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio**



Fonte: Autor, 2011

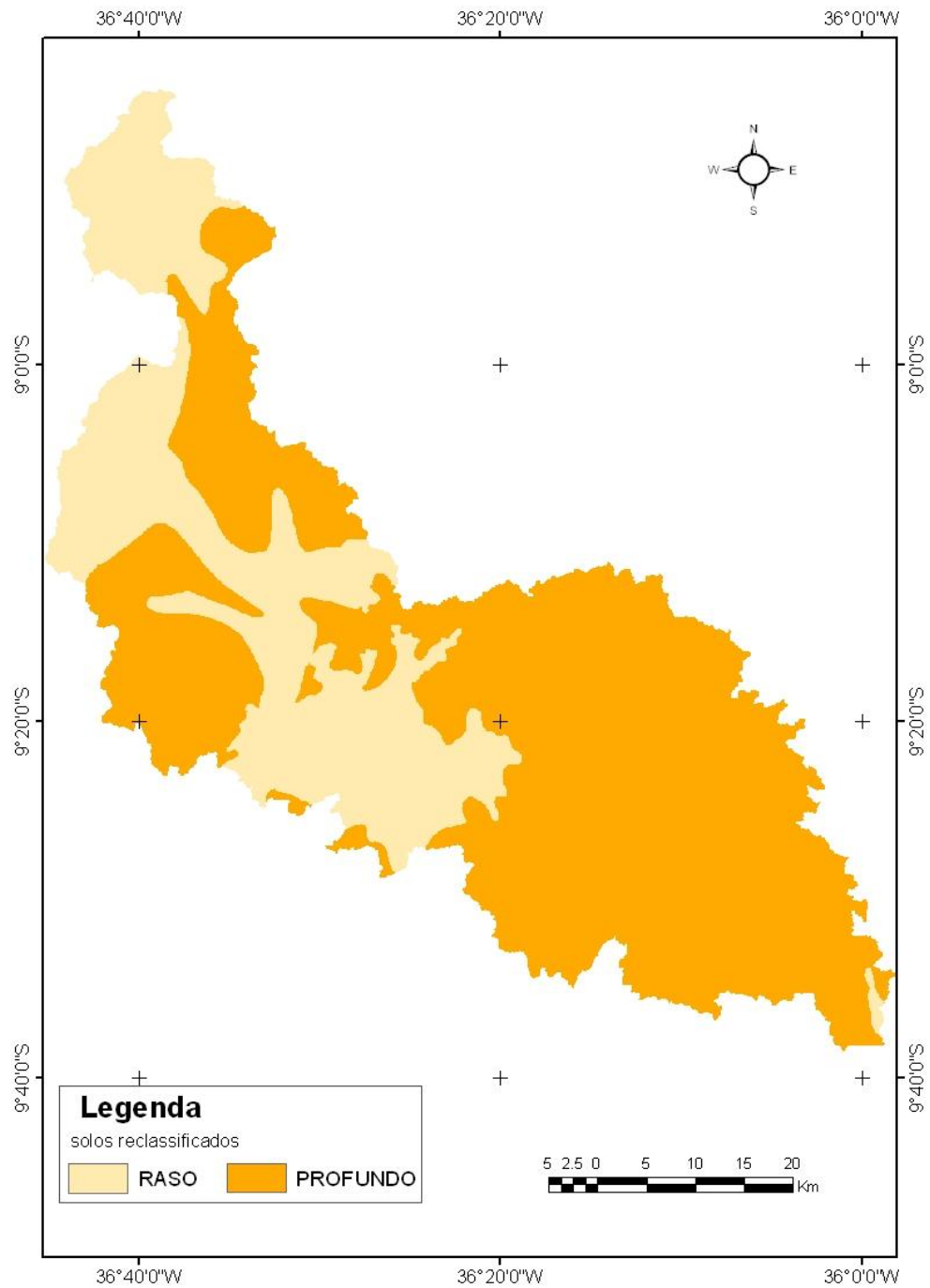
#### 4.2.2 Formação do Bloco/URH - Unidade de Resposta Hidrológica

Nesta versão do modelo MGB-IPH discretizado em mini-bacias, considera-se, que o comportamento hidrológico das unidades de resposta hidrológica - URH possa ser explicado por características físicas relacionadas aos solos (e.x. capacidade de armazenamento d'água, profundidade, porosidade, condutividade hidráulica) e cobertura vegetal (e.x. índice de área foliar, interceptação, profundidade das raízes, albedo).

Na definição do bloco (URH), foram utilizado os planos de informação pedologia e uso e cobertura do solo, formando as 6 Unidades de Resposta Hidrológica (URH) ou agrupada (URA). Os planos de informação são obrigatoriamente estruturados numa matriz no formato RASTER (GRID), requerido pelo modelo MGB/IPH:

Neste estudo a unidade de resposta hidrológica foi definida a partir da reclassificação dos mapas de solo e uso e cobertura do solo na Bacia do rio Paraíba do Meio. A reclassificação do mapa de solos (Figura 9) esta de acordo com Sartori (2004) a partir dos grupos hidrológicos do Serviço de Conservação dos Solos (SCS) dos Estados Unidos, e para este trabalho tiveram a seguinte classificação dos solos quanto ao grupo hidrológico:

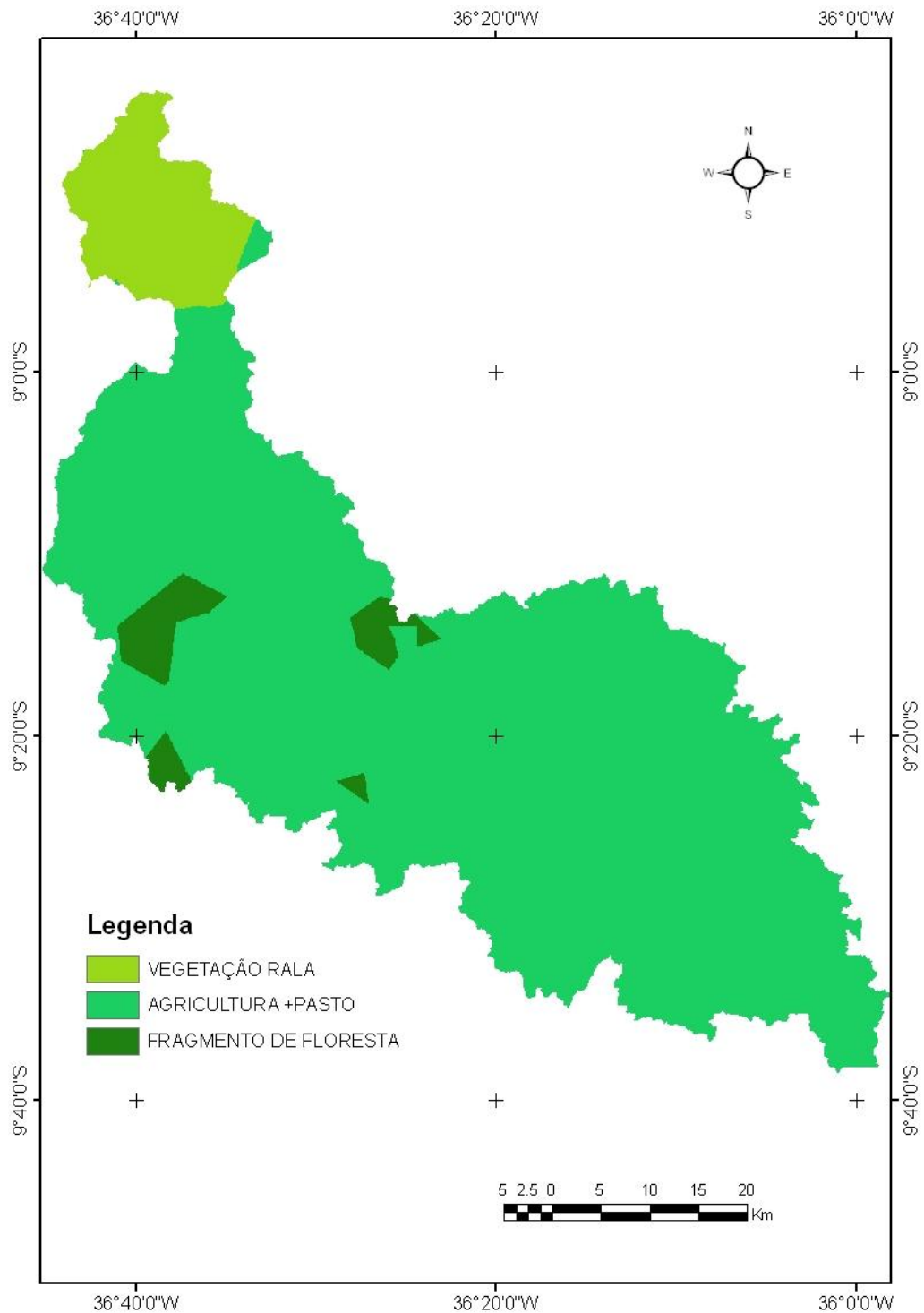
- **Solos agrupados para o grupo hidrológico C:** Argissolos vermelho, argissolos vermelho amarelo e argissolos amarelo, latossolos e neossolos flúvico. Correspondem aos solos profundos ou pouco profundos, com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão.
- **Solos agrupados para os grupos hidrológicos D:** Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão, rasos, pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos.

**Figura 9 - Mapa de solos reclassificado**

Fonte: Autor, adaptado de SEPLAN,1997

No mapa de uso e cobertura do solo (Figura 10) foram agrupadas as classes com as mesmas características hidrológicas: coberturas vegetais (tipos de florestas) e uso (pasto e cultura agrícola).

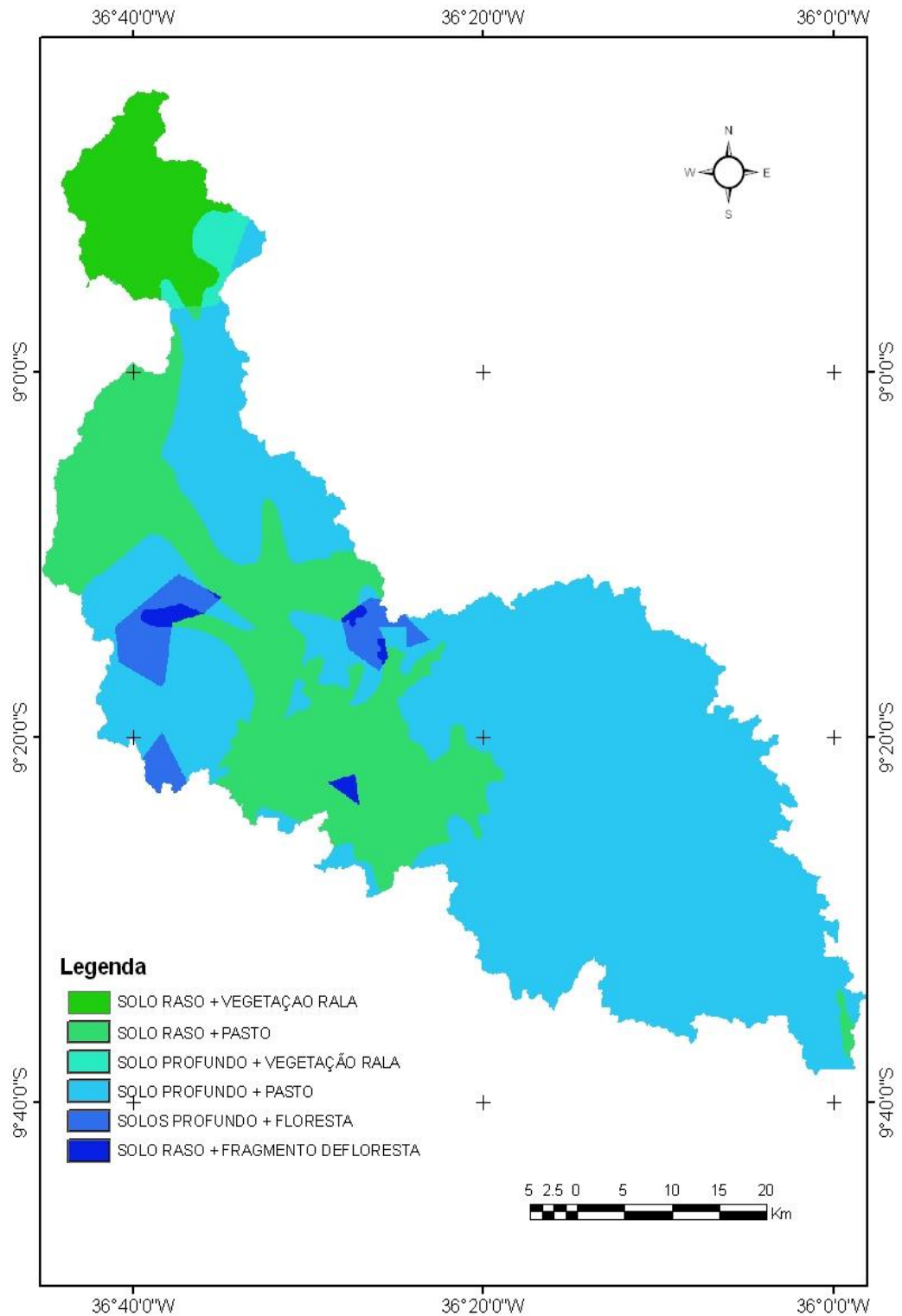
**Figura 10 - Mapa de uso e cobertura vegetal reclassificado**



Fonte: Autor, 2011 – Adaptado de EMBRAPA, 2000

Este agrupamento de classes foi utilizado para simplificar o mapa de formação das URH's no modelo MGB/IPH, assim como a calibração (Figura 11). O cruzamento das classes dos planos de informação (solos e uso cobertura vegetal) estão ilustrado na tabela 3, com a distribuição das URH's em área e percentuais.

**Figura 11 - Mapa com as Unidades de Resposta Hidrológica (URH)**



Fonte: Autor, 2011 – Adaptado de EMBRAPA, 2000, SEMPLAN, 1997

**Tabela 3 – URH's em área e porcentagem na bacia hidrográfica do rio Paraíba do meio**

URH	CLASSES	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
1	SOLO RASO + VEGETAÇÃO RALA	216,2	6,9
2	SOLO RASO + PASTO	770,1	24,7
3	SOLO PROFUNDO + VEGETAÇÃO RALA	35,4	1,1
4	SOLO PROFUNDO + PASTO	1.983,5	63,7
5	SOLO PROFUNDO + FLORESTA	87,6	2,8
6	SOLO RASO + FRAGMENTO DE FLORESTA	18,9	0,6

Fonte: Autor, 2011

Diante dos dados de entrada gerados: MDE; Direções de escoamento; Mini-bacias; Rede de drenagem; Blocos ou unidades de Resposta Hidrológica. Foi gerado através da rotina PrePro\_MGB no ArcGis 9.2, o arquivo **MINI.MGB**, em formato ASCII (TXT), sendo este o principal arquivo de entrada para a aplicação do modelo MGB/IPH, o qual contém as informações de discretização, topologia e de características físicas da bacia hidrográfica a ser simulada:

**Tabela 4 – Estrutura do arquivo MINI.MGB com as informações das características físicas das mini-bacias**

<b>CatID</b>	código da mini-bacia original (fornecido pelo ArcGIS)
<b>MINI</b>	número da mini-bacia em ordem topológica (iniciando pelas mini-bacias de cabeceira até a minibacia exutório)
<b>Xcen e Ycen</b>	coordenadas do centróide;
<b>Sub</b>	sub-bacia a qual pertence a mini-bacia;
<b>Area</b>	área de drenagem da mini-bacia em km <sup>2</sup> ;
<b>AreaM</b>	área de drenagem total a montante de cada mini-bacia em km <sup>2</sup>
<b>Lrl e Srl</b>	comprimento e declividade, respectivamente, do afluente mais longo dentro de uma mini-bacia;
<b>MiniJus</b>	número da mini-bacia localizada imediatamente a jusante;
<b>Ordem</b>	ordem do curso d'água da mini-bacia;
<b>Hdr</b>	campo para posterior indicação do tipo de propagação da vazão no trecho de rio da mini-bacia (0 = propagação simplificada e 1 = propagação com hidrodinâmico);
<b>BLC_X</b>	e porcentagem da área da mini-bacia em que existe cada uma das unidades de resposta hidrológica, onde X varia de 1 até o número de URH. O campo <b>Hdr</b> é sempre nulo e a distinção entre as opções de propagação (0 ou 1) é feita em outra etapa..

Fonte: Autor, 2011

#### 4.2.3 Utilização de dados climáticos

Foram utilizados os dados climáticos das Plataformas de Coleta de Dados (PCD's) provenientes da estação do INMET em Garanhuns, disponíveis no Sistema de informação da Agência Nacional de Águas (ANA) (Figura 14).

**Tabela 5 - Médias climáticas do posto INMET no município de Garanhuns (PE) utilizado na modelagem**

Mês	Temperatura (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Insolação (horas/dia)	Vento (m/s)	Pressão atmosférica (atm)
Janeiro	33	21	11	0	34
fevereiro	33	21	12	0	34
março	31	19	10	0	32
abril	32	19	11	0	34
maio	30	19	11	0	33
junho	34	21	13	0	36
julho	32	19	11	0	34
agosto	31	20	13	0	36
setembro	32	20	13	0	36
outubro	32	21	13	0	37
novembro	33	20	13	0	36
dezembro	35	21	12	0	35

Fonte: Autor, 2011.

Destaca-se que a estação do INMET localizada no município de Garanhuns, mesmo estando fora do perímetro da bacia, está próxima do limite da bacia do rio Paraíba do meio e foi utilizada na modelagem, em decorrência da carência de registros de séries climatológicas na porção da bacia.

Os parâmetros climáticos monitorados na bacia, e são dados de entrada para o modelo MGB/IPH são:

- Temperatura;
- Umidade relativa do ar;
- Radiação solar;
- Velocidade do vento;
- Pressão atmosférica.



#### 4.2.4 Utilização dos dados de chuva

A espacialização dos postos pluviométricos evidencia carência na distribuição espacial dos postos na bacia, (Figura 14) dados utilizados foram apenas de 4 postos com anos hidrológicos semelhantes, entre 1997 a 2006, na bacia do rio Paraíba do Meio, das estações hidrológicas operadas pela CPRM - Companhia de pesquisa de Recursos minerais/Serviço Geológico do Brasil e da ANA- Agência Nacional de Águas.

**Tabela 6 - Postos de precipitação utilizado neste estudo**

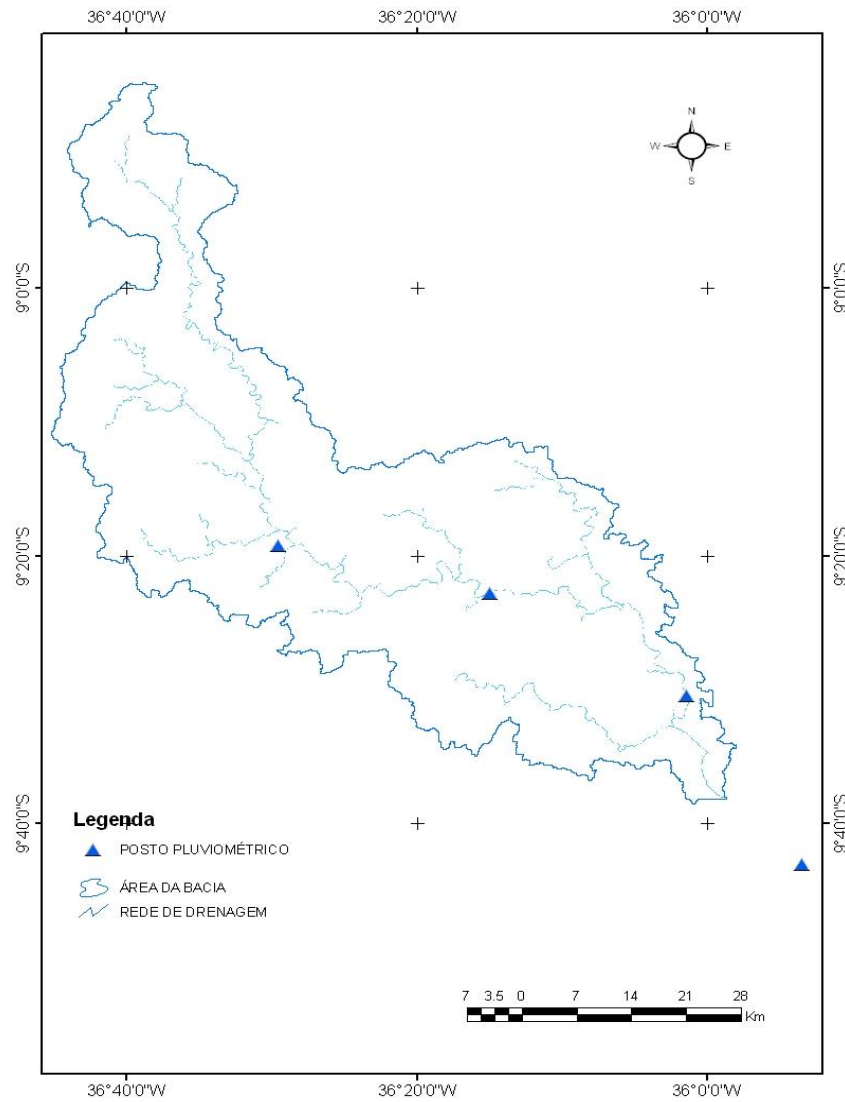
<b>Responsável</b>	<b>Operadora</b>	<b>Código</b>	<b>Município</b>
*ANA	**CPRM	00936115	Quebrangulo
ANA	CPRM	00936111	Viçosa
ANA	CPRM	00936110	Atalaia
ANA	CPRM	00935057	Marechal Deodoro

\*ANA- Agência Nacional de águas

\*\*CPRM – Companhia de pesquisa de Recursos minerais/Serviço Geológico do Brasil

Fonte: Autor, 2011

**Figura 12 - Localização dos postos pluviométricos na bacia**

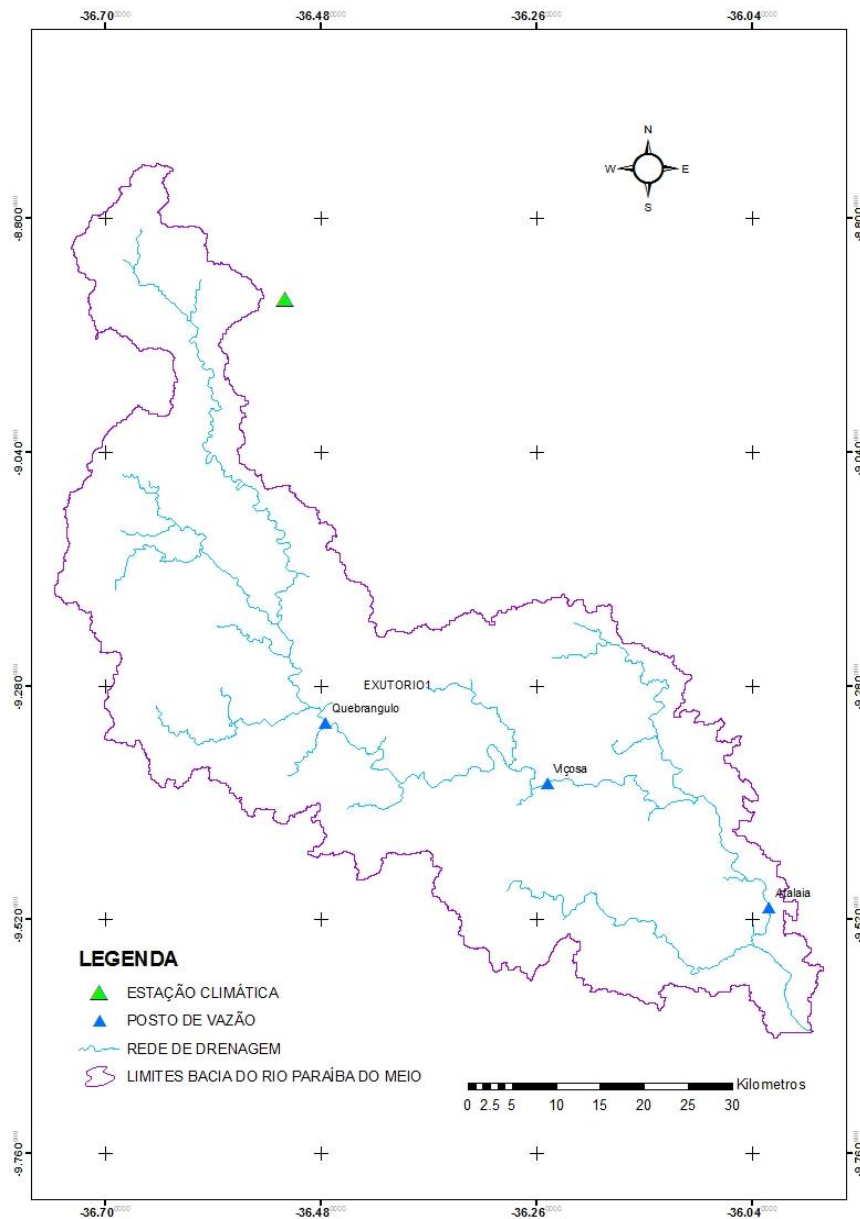


Fonte: Autor, 2011

#### 4.2.5 Utilização dos dados de vazão

As séries históricas de vazão estão representadas por três postos pluviométricos: Atalaia, com área de drenagem na bacia de 1.342,26 km<sup>2</sup>, Viçosa com 634,95 km<sup>2</sup> e Quebrangulo com 630,92 km<sup>2</sup>.

**Figura 13 - Localização dos postos fluviométricos utilizados na modelagem**



Fonte: Autor, 2011

O posto de Atalaia apresenta maior série histórica em relação aos demais postos, contemplando uma série de 31 anos (Tabela 6). Os postos Viçosa e Quebrangulo apresentaram séries menores que 20 anos. Na modelagem foram utilizados os dados entre 1997 a 2006.

Como se pode notar na figura 15, os postos com informações de vazão estão situados apenas na porção da bacia referente ao território Alagoano. Estes postos

são representativos de distintas regiões climáticas, como o posto de Viçosa e Atalaia na zona que representa a zona da mata alagoana, onde prevalece o clima do tipo As' Quente úmido da classificação de Köppen, enquanto que o posto em Quebrangulo representa outro regime climático do tipo Bshs' Tropical Quente e Seco (período de outono inverno) da mesma classificação climática.

A série de vazões (1997 a 2006) foi escolhida por serem os anos com menos falhas e por estarem compatíveis com a série de precipitação.

**Tabela 7 – Séries dos postos fluviométricos**

POSTOS	Ano																																		
	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08			
ATALAIA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
VIÇOSA													X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
QUEBRANGULO													X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: Autor, 2011.

### 4.3 Aplicação do Modelo MGB-IPH

Após a elaboração do arquivo MINI.MGB, segue a etapa de do modelo MGB/IPH discretizado em nini-bacias, através da interface no SIG MapWindows do MGB/IPH com a instalação do plugin MGB. Foram processados os seguintes dados por meio do modulo PreparaDados:

- Centróides das mini-bacias no formato Shapefile, a partir do arquivo MINI. MGB, através da função gerar ShapeFile do PrepaDados.
- Blocos: através desta ferramenta é criado o arquivo com as Unidades de Resposta Hidrológica, contendo as informações de cada URH
- Vazão: dados diários de vazão observados

- Precipitação: realizou-se a regionalização da chuva, através de polígonos de Thiessen;
- Clima: foram realizados os cálculos das médias diárias e mensais para o posto Garanhuns (INMET);
- Parâmetros fixos: criados o arquivo de parâmetros fixos;
- Parâmetros calibráveis: criação do arquivo de parâmetros calibráveis.

Finalizado esta etapa foi realizada aplicação do modelo e visualização dos dados simulados, através do hidrogramas, curvas de permanências geradas nos centróides das mini-bacias, todas sob área de influência direta dos postos de vazões observadas.

#### 4.3.1 Calibração do Modelo

Para a simulação hidrológica foi utilizada uma série de 10 anos de vazão, período este entre os anos de 1997 a 2006. Esta série foi escolhida de acordo com a disponibilidade da serie histórica dos dados hidroclimaticos no HIDROWEB (<http://hidroweb.ana.gov.br/>).

O modelo foi calibrado manualmente procurando um melhor ajuste entre as vazões observadas e calculadas nos três postos fluviométricos (Quebrangulo, Viçosa e Atalaia) da bacia do rio Paraíba no período de 1997 a 2001, este período foi escolhido por serem os anos compatíveis entre os postos de vazão e de precipitação e por estarem sem falhas. Os parâmetros calibráveis foram:  $W_m$ ,  $b$ ,  $K_{bas}$ ,  $K_{int}$ ,  $XL$ ,  $CAP$  e  $W_c$ . Os valores dos parâmetros calibráveis foram alterados de acordo com as características físicas da bacia, tipo de solos (raso ou profundo) e uso ou cobertura vegetal, visando um bom ajuste dos dados observados e calculados

Os ajustes das vazões calculadas de pelo o modelo, com os dados de vazões observados, foram realizados considerando a análise visual dos hidrogramas, curvas de permanência e verificando os valores do coeficiente de Pearson ( $R$ ). Esta calibração foi feita para toda a bacia hidrográfica.

Nesta fase, a calibração é realizada para cada URH (Unidade de Resposta Hidrológica) a fim de fornecer informações para que o modelo represente a realidade do comportamento hídrico de acordo com as características físicas da bacia (Geologia, solos, vegetação) e antrópicas (tipos de ocupação).

Para tanto os **parâmetros calibráveis** utilizados, de acordo com Collischonn (2001) foram:

**Capacidade de armazenamento do solo ( $W_m$ )** representa o armazenamento máximo no solo. O  $W_m$  é diferenciado para cada bloco/URH, de acordo com as características de armazenamento do solo e uso para cada bloco/URH. A estimativa preliminar de  **$W_m$**  pode ser feita considerando variáveis como a porosidade do solo, a profundidade do solo, a profundidade das raízes e a textura do solo.

**Forma da relação entre armazenamento e saturação ( $b$ )**, este Parâmetro  **$b$**  serve para ajustar os picos de vazão observados e calculados principalmente durante as pequenas cheias e seu aumento faz com que um maior volume de água escoe superficialmente, e menos água infiltre no solo.

- **Drenagem sub-superficial ( $K_{INT}$ )** controla a quantidade de água da camada de solo que é escoada sub-superficialmente (condutividade hidráulica)
- **Índice de distribuição do tamanho dos poros ( $\lambda$ )** Este parâmetro depende da textura do solo, e pode variar entre 0,694 para areias a 0,165 para argila, segundo Rawls et al. (1982) apud (COLLISCHONN, 2001).
- **Parâmetro do fluxo ascendente** não existe dado que permitam estimar o valor deste parâmetro, pois a possibilidade de retorno da água subterrânea para a camada de solo é desprezada, isto é,  $DM_{capj}$  é igual a zero. **Exceto em áreas de várzeas.** Valor recomendado do parâmetro  $DM_{capj}$  em blocos de uso do solo e cobertura vegetal que são característicos de regiões de descarga do aquífero deve ser, no máximo, igual à evapotranspiração potencial.
- **Lâmina de interceptação ( $\alpha$ )** Este parâmetro relaciona a capacidade máxima do reservatório de interceptação ao índice de área foliar (IAFj).
- **Tempo de retardo dos reservatórios da célula** em cada bloco do modelo é calculado um tempo de retardo característico, que é corrigido durante a

calibração por um coeficiente de ajuste adimensional e as variáveis são: retardo do reservatório subterrâneo ( $TK_B$ ),  $TKS_i$  [s] tempo de retardo do reservatório superficial;  $TKI_i$  [s] tempo de retardo do reservatório sub-superficial;  $Tind_i$  [s] tempo de concentração característico da célula;  $C_s$  [-] parâmetro para calibração da propagação superficial nas células;  $C_i$  [-] parâmetro para calibração da propagação sub-superficial nas células.

Também foram utilizados os **parâmetros fixos** listados a seguir, de acordo com Collischonn (2001):

- **Índice de área foliar (IAF)** é obtido pela bibliografia, e não é calibrado embora representem variação ao longo do tempo.
- **Armazenamento Residual ( $Wz$ ;  $E$   $Wc_j$ )**, em geral, os valores de  $Wz_j$  e  $Wc_j$  são fixados em 10% de  $Wm_j$  e não podem ser calibrados. Eventualmente o valor de  $Wc_j$  é alterado para considerar a possibilidade de um retorno de água subterrânea à camada superficial de solo por fluxo ascendente.
- **Albedo** a variabilidade do albedo é considerada no modelo pelo uso de valores médios mensais, entre os valores máximos e mínimos tabelados de acordo com a cobertura do solo.
- **Armazenamento do solo no ponto de murcha permanente** No modelo, o valor do parâmetro que define o ponto de murcha permanente (**WPM**) corresponde a 10% do armazenamento máximo e é considerado fixo, o que é uma simplificação.
- **Resistência superficial** a resistência superficial representa a resistência ao fluxo de umidade do solo, através das plantas, até a atmosfera. A resistência superficial é considerada um parâmetro fixo e não é considerada na calibração. Quando existem dados disponíveis, é possível utilizar valores médios mensais para representar a variabilidade sazonal da resistência superficial.
- **Altura da cobertura vegetal** Os valores adotados para a altura média da cobertura vegetal, que servem para calcular a resistência aerodinâmica à evapotranspiração.
- **Armazenamento do solo limite para a mudança da resistência superficial** Neste modelo, o valor do armazenamento do solo limite para a mudança da

resistência superficial (WL) está fixado em 50% do armazenamento máximo e não é feita a calibração.

- **Coeficiente de rugosidade de Manning** exige a determinação do valor do coeficiente de rugosidade de Manning (n), O valor deste parâmetro pode ser determinado com base nas características do leito e das margens dos rios, individualmente para cada célula ele pode ter um valor fixo para toda a bacia.

#### 4.3.2 Validação da Modelagem

A validação da modelagem foi realizada para o período de 2002 a 2006, que corresponde aos cinco últimos anos da série. Para tanto foi observado os coeficientes de correlação Pearson, para os três postos de vazão (Quebrangulo, Viçosa e Atalaia)

#### 4.4 Modelagem dos cenários A1B e A2 de mudanças do clima

Foram realizadas três simulações a partir dos cenários do Painel de Mudanças Climáticas (IPCC), simulados para Brasil e América latina pelo CPTEC/INPE. Na modelagem, foram utilizados dados de temperatura (Tabela 4) e precipitação (Tabela 5) com anomalias a partir das previsões feitas para período entre os anos de 2071 a 2100 considerando os cenários A1B e A2, estes cenários foram escolhidos por serem cenários de mudanças do clima considerados pessimista e otimista, respectivamente. E estão descritos a seguir:

- **Cenário A1B:** o argumento da família do cenário A1 descreve um mundo futuro onde a globalização é dominante. Neste cenário o crescimento econômico é rápido e o crescimento populacional é pequeno com um desenvolvimento rápido de tecnologias mais eficientes. Os temas subjacentes principais são: a convergência econômica e cultural, com uma redução significativa em diferenças regionais e renda per capita. Neste mundo, os indivíduos procuram riqueza pessoal em lugar de qualidade ambiental. Para este trabalho foram utilizados os dados do cenário A1B, caracterizado como cenário de estabilização (IPCC, 2007);



- **Cenário A2:** o argumento para a família do cenário **A2** descreve um mundo muito heterogêneo. O fundamento é a autoconfiança e a manutenção de identidades locais. Padrões de fertilidade através das regiões convergem muito lentamente, o que resulta em crescimento contínuo da população. O desenvolvimento econômico é essencialmente orientado para a região e o crescimento econômico per capita e desenvolvimento tecnológicos mais fragmentados e lentos do que em outros enredos (IPCC, 2007).

- 

**Tabela 8 - Anomalias de temperatura CPTEC/INPE cenário A1B e A2 (2071- 2100)**

Mês	ANOMALIAS (%)	
	Temperatura (A1B)	Temperatura (A2)
<b>Janeiro</b>	2.9	2.5
<b>Fevereiro</b>	3	2.5
<b>Março</b>	2	2
<b>Abril</b>	3	2
<b>Mai</b>	3	2.5
<b>Junho</b>	3	2.5
<b>Julho</b>	3	2.5
<b>Agosto</b>	2	2.5
<b>Setembro</b>	2	2.5
<b>Outubro</b>	3	2.5
<b>Novembro</b>	3	2.5
<b>Dezembro</b>	3	2.6

Fonte: Autor, 2011

**Tabela 9- Anomalias de Precipitação CPTEC/INPE cenário A1B e A2 (2071- 2100)**

MÊS	ANOMALIAS (%)	
	Precipitação A1B	Precipitação A2
<b>Janeiro</b>	1	1
<b>Fevereiro</b>	1	1
<b>Março</b>	-2	1
<b>Abril</b>	-2	1
<b>Mai</b>	-1	1
<b>Junho</b>	-1	1
<b>Julho</b>	1	1
<b>Agosto</b>	1	1
<b>Setembro</b>	1	1
<b>Outubro</b>	1	1
<b>Novembro</b>	1	1
<b>Dezembro</b>	1	1

Fonte: Autor, 2011

Com a obtenção dos dados interpolados com anomalias de precipitação e temperatura mensais (Tabela 4 e 5), próximo da estação Garanhuns, por meio dos Simuladores HadCM Cntrl para A1B e Echam Cntrl para o A2, foi feito os cálculos das anomalias nas precipitações nos 4 postos de chuvas, assim com a alteração nas temperaturas nos dados climáticos referente a esta estação climática do INMET no Município de Garanhuns (PE).

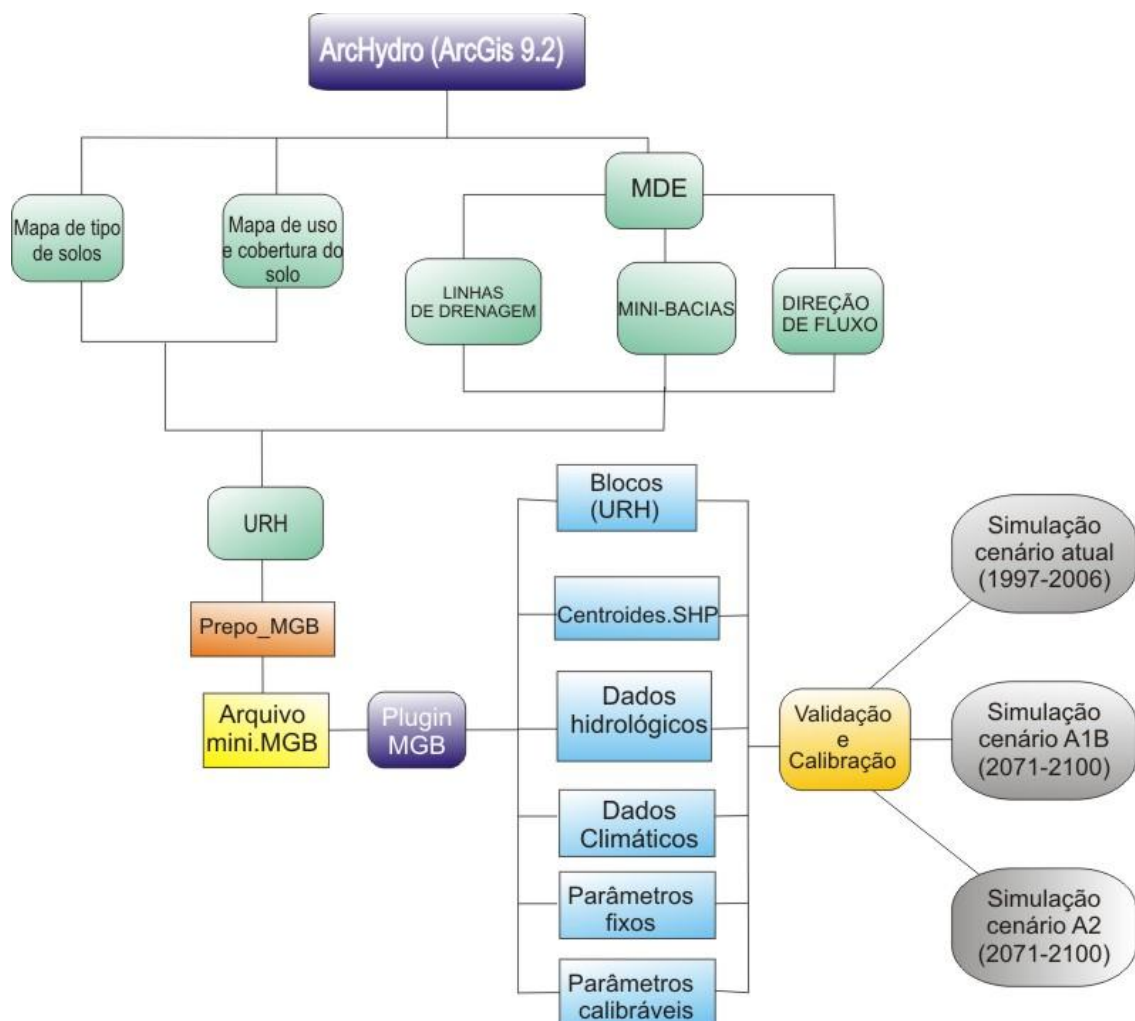
Os valores das anomalias dos cenários A1B e A2 foram adquiridos a partir dos mapas de temperatura e precipitação, entre os Estados de Alagoas e Pernambuco, área referente à bacia hidrográfica do rio Paraíba do meio com maior proximidade da estação climática INMET Garanhuns. Esses valores foram interpolados e representados por isolinhas (anexos A, B, C e D), calculados pelo CPTEC/INPE para a América latina.

Para a aplicação das anomalias para os cenários de mudanças climáticas, no modelo MGB, foi realizado cálculos das diferenças de anomalias em porcentagens na série de precipitação e de temperatura, e posteriormente transformadas para o formato ASCII.txt, formato requerido pelo modelo MGB, e

posteriormente realizado simulações das vazões com as anomalias dos cenários A1B e A2 CPTEC/INPE.

As fases para a aplicação do MGB na bacia do rio Paraíba do meio estão demonstradas na Figura 16, representando as etapas elaboradas para a execução da modelagem hidrológica, assim como das mudanças climáticas.

**Figura 14 - Fluxograma representando aplicação dos dados de entrada para o modelo MGB/IPH e simulação**



## 5 RESULTADOS

### 5.1 Calibração e validação do modelo hidrológico – MGB/IPH.

Os parâmetros utilizados para a calibração do modelo foram **Wm, b, Kint, XL, KINT, chamados parâmetros calibráveis**. Após o processo de calibração os valores dos parâmetros calibráveis podem ser observados na Tabela 6 e 7. Observa-se que os valores dos parâmetros foram diferenciados nos blocos hidrológicos. Outros parâmetros, como os que controlam a evapotranspiração (Albedo, índice de área foliar, altura média das árvores e resistência superficial), denominados parâmetros fixos, foram valores sugeridos pelo próprio modelo MGB/IPH, variando de acordo com o tipo de solos e cobertura vegetal. Os parâmetros fixos foram considerados diferentemente para cada bloco.

**Tabela 10 - Valores calibrados dos parâmetros nos blocos/URH**

BLOCOS		Wm	B	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
<b>SOLO RASO + VEGETAÇÃO DISPERSA</b>	1	600	0,10	0,1	10	0,08	0	1,70
<b>SOLO RASO + PASTO</b>	2	550	0,20	0,1	10	0,16	0	0,60
<b>SOLO PROFUNDO + VEGETAÇÃO DISPERSA</b>	3	590	0,10	0,1	10	0,10	0	0,62
<b>SOLO PROFUNDO + PASTO</b>	4	2000	0,12	0,1	40	0,70	0	0,80
<b>SOLO PROFUNDO + FLORESTA</b>	5	2000	0,12	0,1	50	0,10	0	2,0
<b>SOLORASO + FLORESTA</b>	6	200	0,12	0,1	12	0,18	0	0,5

Fonte: Autor, 2011

O parâmetro Wm, que representa o armazenamento máximo no solo, recebeu maior valor de 2000 mm nos blocos 4 e 5 (solo profundo c/ pasto e solo profundo c/ floresta), e de 600 mm no bloco 1 (Raso/vegetação rala). Os parâmetros CS, CI e Cb foram estabelecidos na fase final no final da calibração, quando foi necessário um ajuste mais refinado para que os valores, colocados na tabela 7, fossem obtidos.

**Tabela 11 - Valores calibrados dos parâmetros de propagação**

Blocos	CS	CI	CB	QB_M3/SKM2
Todos	12,5	50	3200	0

Fonte: Autor, 2011

A modelagem teve sua calibração diferenciada para cada bloco/URH em função das características físicas da bacia, comportamento hidrológico vertical para cada bloco/URH. A partir das informações de solos, geologia e usos e cobertura vegetal, foi possível generalizar em duas grandes áreas distintas hidrológicamente, em relação aos valores obtidos para a calibração. Uma correspondeu à porção da bacia referente à cabeceira, com predomínios dos solos rasos, área com maior contribuição para o escoamento superficial, e a outra correspondeu às áreas com solos profundos com maiores taxas de absorção de água no solo.

Esta diferença teve como base os valores sugeridos pelo modelo e não está baseada , em medição *in loco*, mas foi definida na tentativa de fazer com que o modelo conceba as diferenças entre os usos e cobertura do solo na taxa de evapotranspiração e na propagação do escoamento nas URH's.

Para tanto foi considerada a porção superior da bacia, a montante do posto Quebrangulo, como área que gerava mais escoamento superficial, constituídas por superfícies com predominância de afloramento de rochas, relevo mais acidentado, predomínio dos solos rasos e cobertura vegetal predominantemente espaçada (rala) herbácea. A segunda área da bacia com maiores valores de absorção de solos e escoamento de base corresponde à porção da bacia a jusante do posto Quebrangulo, com predomínios dos solos profundos, predominando os sedimentos argilosos e cobertura vegetal com fragmentos de florestas e o predomínio do pasto.

O valor do parâmetro **Wm**, que representa a taxa de absorção de água no solo, foi o parâmetro que mais diferenciou os blocos e foi inserido de acordo com as características do uso e cobertura para cada bloco\UHR. O bloco com solos rasos (1,2, 6) representa a unidade de resposta hidrológica (URH) nas bacias com maior contribuição para o escoamento superficial, não só pelo tipo de solo raso, mais também pela altitude e declividade do terreno, recebendo valores entre 200 e 600

mm. Diferentemente para os blocos com solos profundos (4 e 5) receberam maiores valores de  $W_m$ : (2000 mm) em função das características da URH. O **parâmetro b**, que representa a taxa de escoamento superficial após a saturação do solo não variou muito, permanecendo em torno de 1,2. Apenas o bloco 2 apresentou um valor de **b igual a** 0,2, o que pode ser explicado com a representatividade do hidrograma afim de deixar mais suave a curva e ajustar melhor as vazões mínimas.

A porosidade dos solos representada por **XL** teve maior coeficiente para os solos argilosos, os mais profundos, no bloco 4, enquanto os menores foram para os solos rasos no bloco 1.

O parâmetro **CAP**, que representa o fluxo de água para superfície do solo, foi adotado como zero para todos os blocos, pois a contribuição da água subterrânea para a o solo é desprezada no modelo.

Os valores adotados para **Kint**, que representa o escoamento da camada do solo que escoam sub-superficialmente, foram maiores para as URH's com solos mais porosos, como os profundos 4 e 5. Enquanto que para a demais foram adotados valores menores, pois correspondem a URH's com solo raso.

Para os valores de **Kbas**, que representa o escoamento de base, foram finalizados com valores iguais para todos os blocos, pois, nas etapas finais de calibração não estavam aumentando mais as correlações de ajuste para o modelo.

A fase final de calibração foi obtida com os ajuste do parâmetro **Wc**, o qual possuem relação com **Wm**, que representa a taxa de absorção do solo.

Os blocos que influenciaram mais na calibração foram: 2 e 4, pois, nestas duas URH's estavam localizados os três postos de vazões com dados observados, onde o 2 representou os solos rasos e pasto, e o 4 representou os solos profundos e pasto. Esta calibração foi adotada devido ao melhor ajuste na comparação dos valores de vazão calculada com as observadas, assim como a análise visual dos hidrogramas e curvas de permanências.

As correlações com as vazões observadas para calibração e validação do modelo estão apresentadas na tabela 8. Estas correlações foram melhores no

período de calibração do modelo do que na fase de validação. As correlações para os postos Quebrângulo, Viçosa e Atalaia no período de calibração foram de 0,89, 0,84 e 0,85, respectivamente. De acordo com a tabela 8 pode-se observar queda nas correlações para os coeficientes de Pearson no período de validação em relação ao período de calibração, onde o maior valor alcançado foi para o posto Viçosa (0,78), e os demais diminuíram a correlação para 0,73 e 0,76 no postos de Quebrangulo e Atalaia, respectivamente.

**Tabela 12 - Correlações entre a vazão observada e calculada no período de calibração e validação do modelo.**

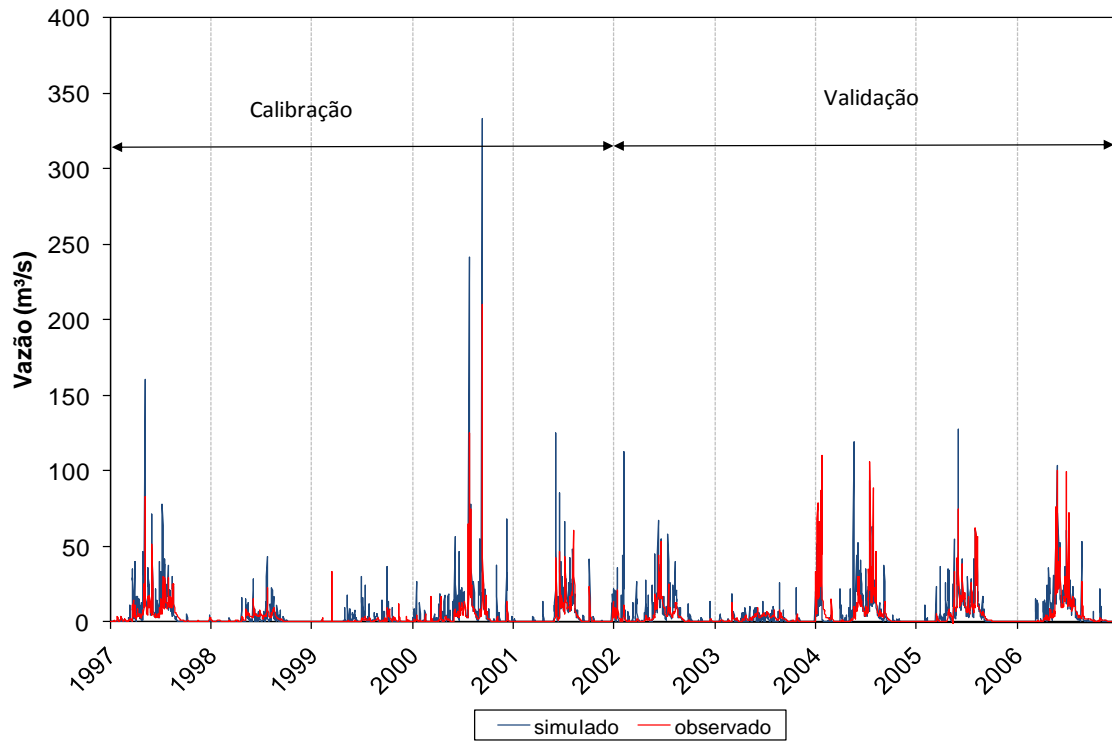
Postos de Vazão	Local	Coeficiente de Pearson (R)	
		Calibração (1997-2001)	Validação (2002-2006)
39850000	Quebrângulo	0.89	0,73
39870000	Viçosa	0.84	0,78
39890000	Atalaia	0.85	0,76

Fonte: Autor, 2011

A comparação das séries temporais de vazões no posto fluviométrico Quebrângulo, nos períodos de calibração e validação do modelo, podem ser observados na Figura 17. De maneira geral o modelo representou adequadamente a variabilidade das vazões (ascensões e recessões do hidrograma) nos períodos de calibração e validação para o posto Quebrangulo (Figura 17a). As vazões máximas calculadas (com permanência no tempo entre 0% e 35%) no período de calibração e validação foram superestimadas. Esta diferença pode ser vista nos picos de vazões calculados e observados para os anos de 2001 e 2002, por exemplo, ou na curva de permanência do posto (Figura 17b).

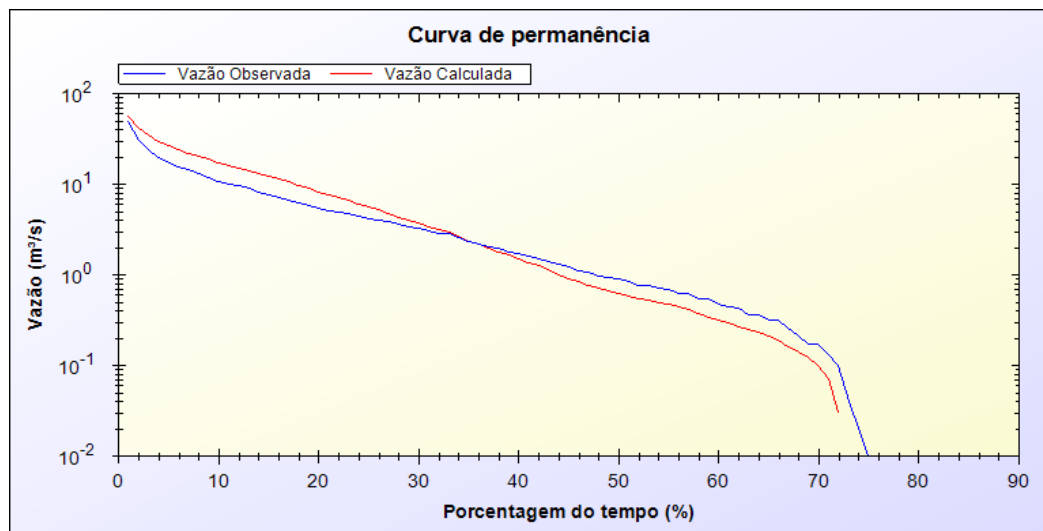
As mínimas estimadas pelo modelo também foram menores do que as vazões mínimas observadas (Figura 17b). O modelo representou razoavelmente o período seco de vazões entre os anos de 1997 e 1998, no período de calibração. As mínimas também foram representadas significativamente entre final de 2004 e 2005, período de validação. Os valores da  $Q_{50}$  que representa a mediana das vazões calculada pelo modelo foram de  $0,61\text{m}^3/\text{s}$  e a observada  $0,9\text{ m}^3/\text{s}$ .

**Figura 15 - (a) Hidrograma calculado e observado 39850000 Quebrangulo-AL**



Fonte: Autor, 2011.

**Figura 16 - (b) Curva de Permanência calculada e observada no posto 39850000 Quebrangulo-AL**

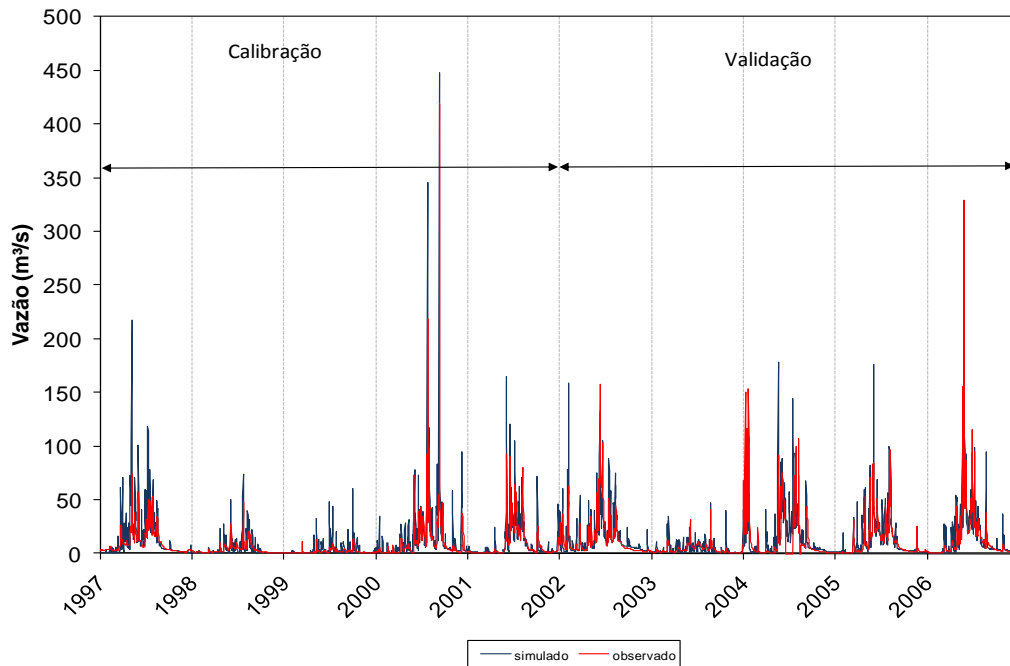


Fonte: Autor, 2011.



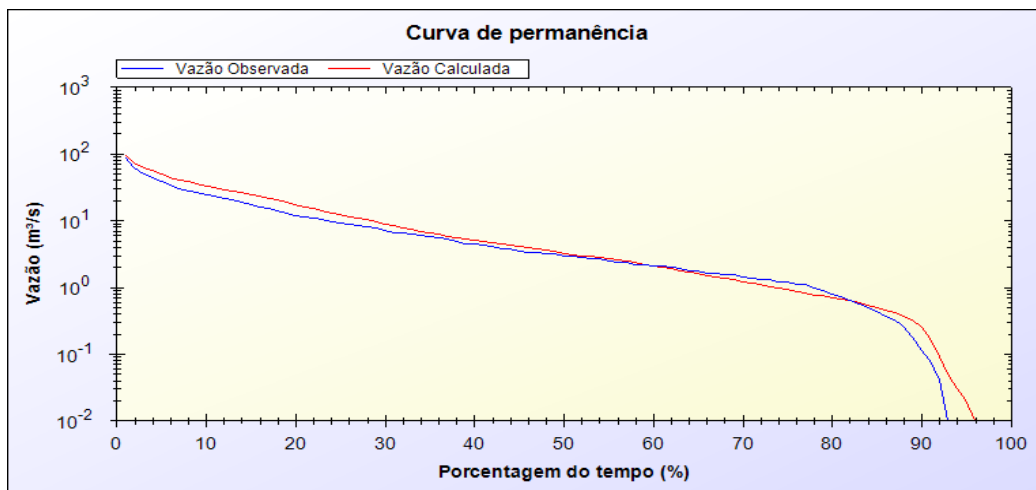
Quanto ao posto Viçosa, de maneira geral o modelo mostra tendências em superestimar as vazões máximas para os dois períodos e representar bem as vazões extremas, principalmente no ano 2000 (Figura 18a). No período de calibração e validação as vazões mínimas ajustam-se adequadamente as observadas praticamente em todo o período modelado

**Figura 17 - (a) Hidrograma calculado e observado 39890000 Viçosa-AL**



Fonte: Autor, 2011.

**Figura 18 - (b) Curva de Permanência calculada e observada no posto 39890000 Viçosa-AL**

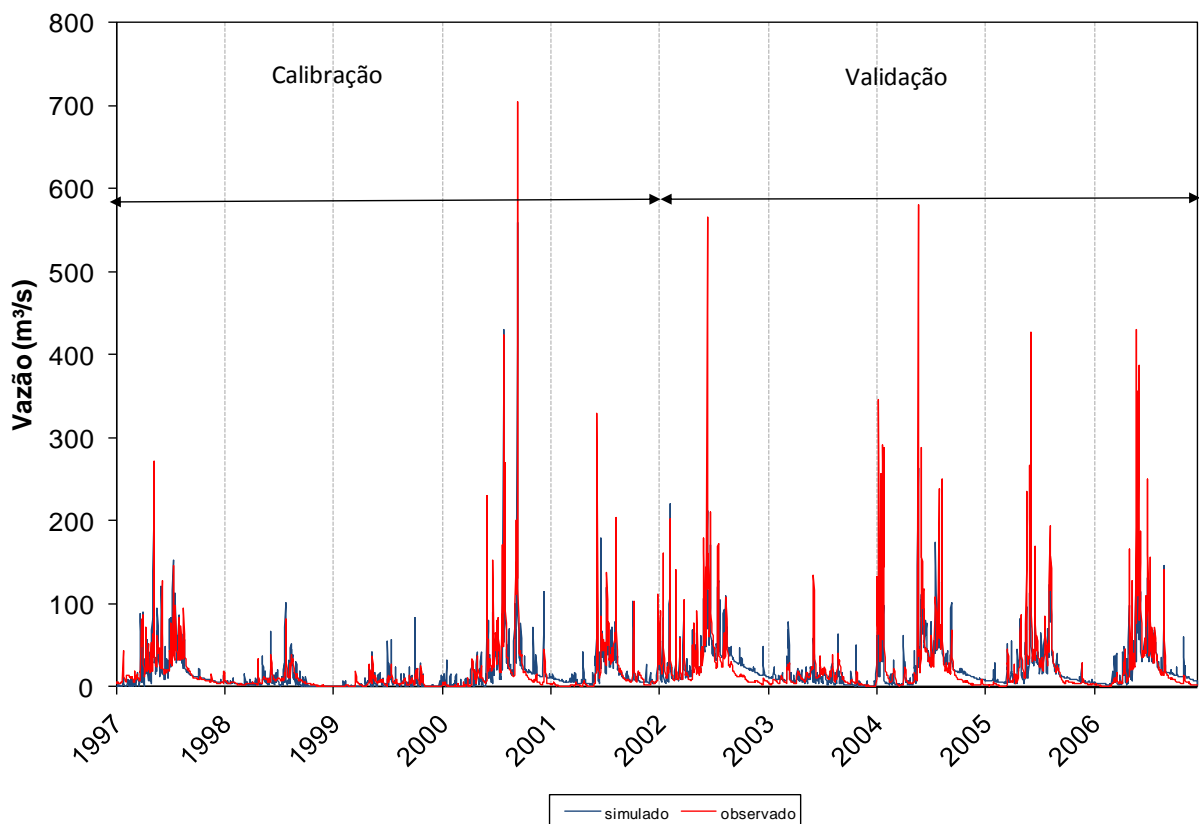


Fonte: Autor, 2011.

As medianas das vazões calculadas e observadas também foram próximas. A  $Q_{50}$  calculada foi de  $3,21\text{m}^3/\text{s}$  enquanto que a observada foi de  $2,95\text{m}^3/\text{s}$ . A  $Q_{90}$  obtida foi de  $0,25\text{m}^3/\text{s}$  para a calculada e a observada foi de  $0,11\text{m}^3/\text{s}$ . Essa diferença mostra que na maioria do tempo o modelo superestimou as vazões mínimas. Também foram superestimadas as vazões máximas calculadas pelo modelo com permanência inferior a 60% no tempo. Há uma significativa representatividade do modelo quanto à variabilidade (recessão e ascensão) entre os hidrogramas calculados e observados para este posto fluviométrico.

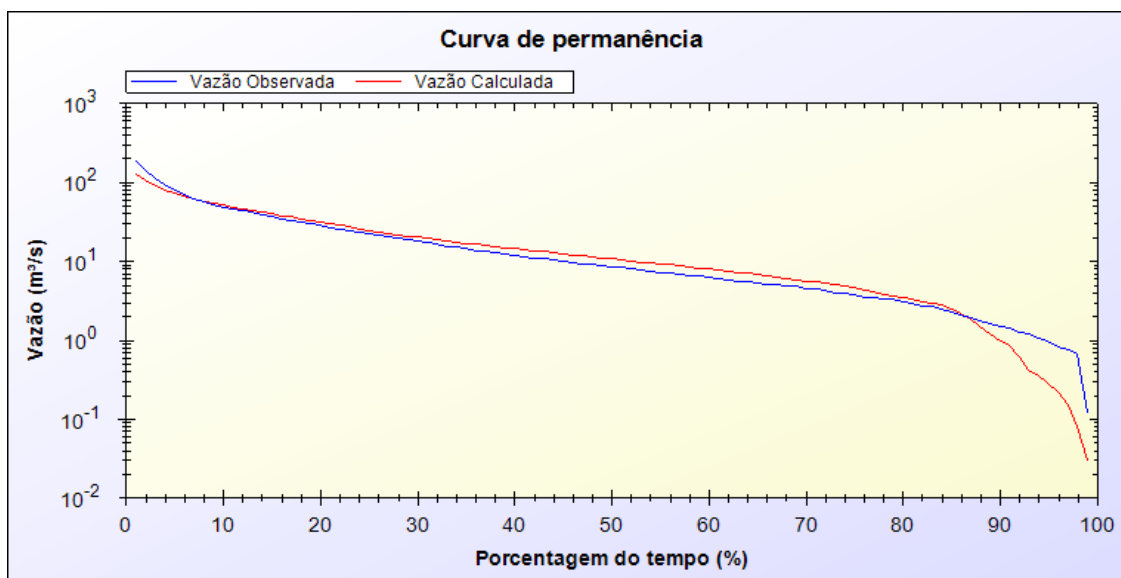
No posto Atalaia percebe-se no hidrograma (Figura 19a) que a modelagem subestimou as vazões com permanência entre 9 a 86% do tempo (Figura 19b). As vazões mínimas calculadas no período de calibração foram muito bem ajustadas com as observadas, exceção no final do ano 2000 e início de 2001 períodos em que as mínimas foram superestimadas.

**Figura 19 - (a) Hidrograma calculado e observado 39870000 Atalaia-AL**



Fonte: Autor, 2011

**Figura 20 - (b) Curva de Permanência calculada e observada no posto 39870000 Atalaia-AL**



**(b) Fonte: Autor, 2011**

Entre 50 a 87% de permanência no tempo, as vazões mínimas foram superestimadas pelo modelo, e entre 88 a 100% do tempo subestimadas. A  $Q_{50}$  calculada foi superestimada obtendo o valor de  $10,59 \text{ m}^3/\text{s}$ , enquanto que a observada foi de  $8,44 \text{ m}^3/\text{s}$  e a  $Q_{90}$  comportamento inverso, a calculada foi subestimada, com valor de  $0,97 \text{ m}^3/\text{s}$ , e a observada com valor de  $1,44 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 19b). O modelo na fase de calibração representou bem as ascensões e recessões do hidrograma e de forma geral as vazões máximas (Figura 19a). No período de validação ele superestimou as vazões mínimas dificultando a representatividade da recessão do hidrograma, isto é evidente no final do ano 2002, 2004 e 2006 (Figura 19a).

## 5.2 Simulação dos cenários de mudanças climáticas

Após a simulação dos cenários de mudanças climáticas A1B e A2, algumas estatísticas referentes à série de vazões estimadas pelo modelo foram comparadas com a série de vazões da simulação do cenário atual nos postos fluviométricos.

A Tabela 12 mostra a comparação das estatísticas no posto de Quebrângulo. Pode-se observar que os cenários de mudança climática tiveram leves mudanças de suas estatísticas em relação ao cenário atual, com exceção da média anual e média

das vazões máximas para o cenário A1B. No cenário A1B, nos valores máximos das máximas houve acréscimo de 1,2% nas vazões calculadas, subindo de 333,2 m<sup>3</sup>/s para 337,2m<sup>3</sup>/s, mostrando um ganho de 4m<sup>3</sup>/s, o desvio padrão foi de 13,7 e diminui em 1,5% em relação ao cenário atual. Ainda no mesmo cenário, a vazão média anual foi impactada em -7,7%, assim como a média das máximas em -4,2% em relação ao cenário atual.

Para o cenário A2, as vazões máximas das máximas tiveram aumento, como também as médias das vazões máximas. O desvio padrão em relação à média foi de 14,10 m<sup>3</sup>/s e a média anual foram impactadas em 3,2%, as médias das máximas aumentaram de 119 para 121,3 m<sup>3</sup>/s, enquanto que na máxima das máximas houve aumento de 1,23%, A média das mínimas praticamente não sofreu impacto em relação ao cenário atual.

**Tabela 13- Resumo das estatísticas de vazões para o posto (Quebrangulo-AL).**

Posto 39890000	Cenários s/ anomalias	Cenários com anomalias		Diferença do Cenário Atual	
		Cenário A1B	Cenário A2	* (%) A1B	* (%) A2
<b>MEDIDAS</b>	<b>Cenário Atual</b>				
<b>Máxima das máximas</b>	333,2	337,2	337,3	1,2	1,2
<b>Q90</b>	0	0	0	0	0
<b>Desvio Padrão</b>	13,9	13,7	14,1	- 1,5	1,4
<b>Média anual</b>	19,2	17,8	19,9	- 7,7	3,2
<b>Média das Máximas</b>	119,0	114,0	121,3	- 4,2	1,9
<b>Médias das Mínimas</b>	0,02	0,03	0,02	0,03	0,0

\* (%) Diferença em porcentagem

Fonte: Autor, 2011.

Quanto ao posto **Viçosa (39890000)**, a máxima das máximas teve um ganho de 1%, atingindo 452,6 m<sup>3</sup>/s, enquanto que Q90 obteve valor de 0,21 m<sup>3</sup>/s e no cenário atual 0,25 m<sup>3</sup>/s, com um desvio padrão de 22,2 m<sup>3</sup>/s. A média anual que apresentou inicialmente valor de 27,8 m<sup>3</sup>/s decai para 25,8 m<sup>3</sup>/s, com um impacto de

- 7,1%. Na média das máximas, assim com nas demais médias para A1B, houve diminuição, decaindo de 169,2 para 162,7m<sup>3</sup>/s e para a média das mínimas não houve mudanças significativas, permanecendo em 0,2m<sup>3</sup>/s.

No cenário A2, em relação ao cenário atual, a máxima das máximas aumentou de 0,8 %, o desvio padrão foi maior em aproximadamente 2,2% e a Q<sub>90</sub> teve impacto de -16%, diminuindo as vazões mínimas para 0,21m<sup>3</sup>/s em 90% das vazões mínimas. Em termos de volume, o acréscimo na vazão máxima foi de 4,7 m<sup>3</sup>/s. Para as médias das máximas, houve acréscimo de 11,4%, no entanto, na média das mínimas não houve diferença significativa, permanecendo em 0,2m<sup>3</sup>/s.

**Tabela 14 - Resumo das estatísticas para o posto 39890000 (Viçosa-AL)**

Posto 39890000	Cenários s/ anomalias	Cenários com anomalias		Diferença do Cenário Atual	
		Cenário A1B	Cenário A2	* (%) A1B	* (%) A2
<b>MEDIDAS</b>	<b>Cenário Atual</b>				
<b>Máxima das máximas</b>	447,9	452,6	451,7	1,0	0,8
<b>Q90</b>	0,25	0,21	0,21	-16	-16
<b>Desvio Padrão</b>	22,61	22,2	22,9	-1,8	1,3
<b>Média anual</b>	27,8	25,8	28,4	-7,1	2,2
<b>Média das Máximas</b>	169,2	162,7	171,7	-3,8	11,4
<b>Médias das Mínimas</b>	0,22	0,20	0,20	-9,0	-9,0

\* (%) Diferença em porcentagem

Fonte: Autor, 2011.

No posto **Atalaia** (39870000) e considerando a simulação de A1B, a máxima das máximas aumentou de 0,8%, enquanto que a Q<sub>90</sub> diminuiu aproximadamente 6%, ao passar de 0,97 para 0,91 m<sup>3</sup>/s; o desvio padrão decaiu de 29,5 para 28,9 m<sup>3</sup>/s. A média anual diminuiu de 40,8 para 38,6 m<sup>3</sup>/s, a média das máximas de 214,6 para 206,7m<sup>3</sup>/s (-3,7%) e a média das mínimas de aproximadamente -1%.

Em A2, a máxima das máximas aumentou em 0.4%, enquanto a Q90 teve diminuição de aproximadamente 10%, ao decair de 0,97 para 0,93m<sup>3</sup>/s. A média das

máximas aumentou em 1,2%, de 214,6 para 206,7m<sup>3</sup>/s e a média das mínimas teve uma pequena redução, de aproximadamente -6%.

**Tabela 15 - Resumo das estatísticas para o posto 39870000 (Atalaia-AL)**

Posto 39890000	Cenários s/ anomalias	Cenários com anomalias		Diferença do Cenário Atual	
		Cenário A1B	Cenário A2	* (%) A1B	* (%) A2
<b>MEDIDAS</b>	<b>Cenário Atual</b>				
<b>Máxima das máximas</b>	560,0	566,0	562,5	0,8	0,4
<b>Q90</b>	0,97	0,91	0,93	-6,1	-10,0
<b>Desvio Padrão</b>	29,5	28,9	29,7	2,2	0,4
<b>Média anual</b>	40,8	38,6	41,2	5,4	0,9
<b>Média das Máximas</b>	21,6	206,7	215,8	-3,7	1,2
<b>Médias das Mínimas</b>	1,6	1,50	1,51	-6,25	-6,25

\* (%) Diferença em porcentagem

Fonte: Autor, 2011.

## 6 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Quanto à calibração e validação, a carência dos dados distribuídos espacialmente e séries temporais dos dados hidrológicos e climáticos na bacia do rio Paraíba do Meio, dificultou e limitou a calibração manual do modelo MGB/IPH. Dos quatro postos de precipitação utilizados na modelagem, três estavam localizados na porção média e baixa da bacia. Um dos postos estava localizado fora da bacia, no município de Marechal Deodoro. Também Collischonn (2001) destacou em seus trabalhos que a qualidade dos resultados obtidos da modelagem mostrou-se dependente da quantidade de informações pluviométricas disponíveis, e a qualidade do ajuste dos hidrogramas calculados e observados é muito melhor em locais com alta densidade de postos pluviométricos. Os postos de vazões observadas também estão situados na porção média e baixa da bacia, o que limitou a calibração das vazões na parte alta da bacia. A bacia não possui estação meteorológica. Existe apenas uma estação situada fora dos limites da bacia, próxima à cabeceira (Garanhuns, INMET), cujos dados não possuíam valores de medições de ventos. Além do mais, esta série climatológica não estava compatível com as séries hidrológicas (chuva e vazão). Os dados de clima são importantes para o cálculo de evapotranspiração para toda bacia, lembrando que esta bacia está entre dois regimes climáticos (zona da mata e semi-árido nordestino). Para tanto seria conveniente dados de pelo menos dois postos climáticos que representassem os dois tipos de clima na bacia. Outro fator que pode ter limitado a calibração foi o curto período das séries temporais disponíveis para os postos existentes. O período comum disponível dos dados hidrológicos (i.e. precipitação e vazão) utilizado na calibração foi apenas de cinco anos e outros cinco para a validação.

Contudo, as correlações obtidas na fase de calibração e validação foram razoáveis, entre os dados de vazões calculados pelo modelo e os observados. Apenas o posto Quebrangulo, teve menores correlações entre os três postos simulados. Collischonn (2005), em postos inseridos na bacia do rio Uruguai, obteve coeficientes de correlação na fase de calibração do modelo MGB/IPH, próximos dos alcançados neste estudo, onde houve semelhança quanto à irregularidade da malha de dos postos de chuva, distribuído espacialmente na bacia. Os valores foram 0,78, 0,87 e 0,87 de correlação entre os dados calculados e observados,

Contudo, na bacia do rio São Francisco, Collischonn (2006) obteve os seguintes valores de correlação, na fase de calibração: Andorinha (0,97), Velho da Taipa (0,92) e ponte da Taquara (0,92). Vale destacar que foram utilizados sete postos pluviométricos distribuídos para toda a bacia. Quanto aos resultados da modelagem para os cenários de mudanças climáticas do IPCC (A1B e A2), aplicado no Brasil pelo CPTEC/INPE, pode-se observar que as simulações realizadas na bacia do rio Paraíba do Meio a partir dos dados com anomalias de temperatura e precipitação causaram impactos no regime hídrico em relação ao cenário atual. Na simulação para o cenário A2, as estatísticas das vazões tenderam a aumentar, enquanto que no cenário A1B ocorreu diminuição das vazões do cenário atual. Estes impactos do A2 nas vazões podem ser explicadas pelas diferenças das anomalias de temperatura e precipitação. Em A2 (cenário otimista), as anomalias preveem aumento na precipitação de 1% e da temperatura em média de 2,5% em todos os meses do ano. Diferentemente em A1B, os valores das anomalias de precipitação para os meses de Março, Abril, Maio e Junho possuem valores negativos, e as anomalias de temperatura são maiores, em média de 3%.

As repercussões das simulações dos cenários (período 2071 – 2100) do clima em A1B cenário mais pessimista, com altas emissões de gases de efeito estufa, mostraram que as vazões mínimas na bacia tendem a ser reduzidas e as vazões máximas tendem a ser mais extremas. Essas alterações hidrológicas podem intensificar a redução da disponibilidade hídrica para as populações locais que convivem com a escassez da água, a geração de conflitos pela água na região do agreste alagoano, problemas de desertificação e erosão dos solos e, além disso, os aumentos das vazões máximas podem proporcionar enchentes na bacia. Na porção da bacia que está localizada da zona da mata as vazões máximas também aumentaram, contribuindo para a intensificação de cheias na bacia, visto que o histórico da bacia apresenta esse problema. As vazões para outorga ( $Q_{90}$ ), de uso da água, tenderam a reduzir, diminuindo a disponibilidade hídrica e comprometendo as atividades econômicas e de abastecimento de água para as populações. Essas alterações hidrológicas, estão associadas a intensificação dos processos de mudanças de uso e ocupação do solo (desflorestamento, crescimento urbano, substituição de áreas florestadas por pasto) influenciado pelo o crescimento econômico rápido previsto neste cenário (A1B). As simulações das mudanças



climáticas em A2, cenário de crescimento econômico mais lento para 2071 a 2100, não apresentaram impactos significativos nas mudanças das vazões. As vazões não aumentaram consideravelmente, mas houve pequena redução das vazões mínimas na bacia.

## **7 CONCLUSÃO**

O modelo mostrou desempenho adequado para a bacia do rio Paraíba do Meio, visto que a versão anterior do MGB era indicada para bacias maiores que 10.000 km<sup>2</sup>, permitindo a representação do regime hidrológico atual mesmo com a carência de postos de chuvas na bacia. A modelagem desenvolvida pode auxiliar nas previsões de vazões na bacia associados a modelos meteorológicos, sendo uma tecnologia promissora para contribuir no sistema de alerta de enchentes para defesa civil dos Estados de Alagoas e de Pernambuco. Ainda, o estudo permitiu a realização de prognósticos dos impactos das mudanças climáticas nas vazões da bacia da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.

## 8 RECOMENDAÇÕES

Diante das dificuldades encontradas na modelagem, verifica-se a importância de um maior monitoramento dos dados climáticos e hidrológicos na bacia com a finalidade de representar o comportamento espacial dos parâmetros para toda a bacia hidrográfica visando à melhoria da calibração e validação dos modelos hidrológicos aplicados no rio Paraíba do Meio.

Em trabalhos futuros, a aquisição de mapa de solos da bacia com mais detalhes e a elaboração do mapa de uso e cobertura vegetal a partir de classificações de imagens orbitais com melhor resolução espacial e escala, poderá contribuir com maior representatividade das dimensões espaciais nas URH's\Blocos da Bacia do rio Paraíba do Meio (AL/PE) e validação dos mapas através do reconhecimento da área de estudo.

Outra recomendação para melhorar o ajuste do modelo seria realizar medições de campos através de experimentos para estimativa *in loco* de alguns parâmetros do modelo, tais como, absorção do solo, porosidade e saturação. Vale ressaltar que as definições iniciais dos parâmetros utilizadas na modelagem foi baseado em Collischonn (2001).

Podem ser desenvolvidos novos estudos de impactos no regime hidrológico da bacia do rio Paraíba do Meio decorrente das mudanças climáticas, a partir de dados primários das planilhas das simulações realizadas pelo CPTEC/INPE, ou a partir de simulações de previsões de anomalias climáticas dos dados do IPCC aplicada especificamente para a região nordeste do Brasil, ou em especial para os Estados de Alagoas e Pernambuco.

## REFERÊNCIAS

ALAGOAS. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Alagoas. **Plano diretor de recursos hídricos das bacias dos rios Paraíba, Sumaúma e Remédios**. Alagoas, 1997. 69 p.

ALBUQUERQUE, R, T. D. B; GALVÍNIO J, D. Cenários de mudanças climáticas na bacia hidrográfica do rio Una – Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2010 Disponível em: <<http://www.ufpe.br/rbgfe>>. Acesso em: 9 out. 2010.

BALDISSERA, G, C. **Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assesment Tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuibá/MT**. Cuiabá: UFMT, 2005.

BEVEN, K, J. **TOPMODEL**: user manual: windows version 97.01 Lancaster: Universidade de Lancaster, 1997. Disponível em: <<http://www.es.lancs.ac.uk/hfdg/topmodel.html>> Acesso em: 15 jan. 2010.

BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Limites estaduais do Brasil**. 2007 Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 12 de set. 2011.

COLLISCHONN, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. 2006. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

\_\_\_\_\_; TUCCI C. E. M. Previsão sazonal de vazão na bacia do rio uruguai 1: ajuste e verificação do modelo hidrológico distribuído. **Revista Brasileira de recursos Hídricos**. 2005. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/novo/rev\\_rbrh.php?id=50](http://www.abrh.org.br/novo/rev_rbrh.php?id=50)>. Acesso em: 9 fev. 2010.

\_\_\_\_\_. et al. **Manual introdutório para aplicação do modelo MGB-IPH**. 2. ed. rev. Porto Alegre: UFRGS, 2009. Projeto integrado de cooperação Amazônica e de modernização do monitoramento hidrológico. Disponível em: <[http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/MGB-IPH/MGB\\_mini-bacia.html](http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/MGB-IPH/MGB_mini-bacia.html)>. Acesso em: 12 set. 2009.

\_\_\_\_\_. et al. Modelo hidrológico de grandes bacias com duas camadas de solo. In: CONGRESO NACIONAL DEL AGUA, 19., 2007, San Miguel de Tucuman. **Anais...** San Miguel de Tucuman: ACFAZ, 2007.p. 3-4.

CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia fluvial**. In: GUERRA, A, J, T.; \_\_\_\_\_. (Org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 45-50.

DÖLL, P.; KASPAR, F.; LEHNER, B. A global hydrological model for deriving water availability indicators: model tuning and validation. **Journal of Hydrology**, v. 270, p.105-134, 2003. Disponível em: <[http://www.geo.uni-frankfurt.de/ipg/ag/dl/fpublikationen/2003/doell\\_JHydro2003\\_WGHM.pdf](http://www.geo.uni-frankfurt.de/ipg/ag/dl/fpublikationen/2003/doell_JHydro2003_WGHM.pdf)>. Acesso em 9 ago. 2009.

FAN, F, M. et al. Modelo de grandes bacias MGB-IPH manual 04/05: manual do prepro\_Mgb para aplicação do modelo MGB-IPH: versão 4.1. Porto Alegre: FINEP; ANA; UFRGS, 2010. Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico. Disponível em: <[http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/MGB-IPH/MGBIPH2010/MGB/2%20Manuais/4%20-%20Manual%20PrePro/04%20Manual\\_PrePro-MGB%20-%20V%204p1.pdf](http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/MGB-IPH/MGBIPH2010/MGB/2%20Manuais/4%20-%20Manual%20PrePro/04%20Manual_PrePro-MGB%20-%20V%204p1.pdf)> Acesso em: 3 abr. 2010.

FERRAZ, F. F. B.; MILDE, L, C, E.; MORTATTI, J. Modelos hidrológicos acoplados a sistemas de informações geográficas: um estudo de caso TRN tecnologia em recursos naturais. **Revista de Ciência e Tecnologia**. Piracicaba, n.14, fev, 1999. Disponível em: <<http://ww.unimep.br/phpg/editora/revistaspdf/rct14art05.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2009.

FERREIRA, I. **Simulação hidrológica utilizando o modelo Topmodel em bacias rurais, estudo de caso na bacia do Ribeirão dos Marins**: seção monjolinho-SP. Campinas: UNICAMP, 2004.

GERMANO, A.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA A, L, L. Estimativa dos parâmetros do modelo IPH II para algumas bacias urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 103-120, out./dez. 1998. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/bca1428f5122fad9c6f036931c57510c\\_d517170c8749d227d08b3597df3c7926.pdf](http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/bca1428f5122fad9c6f036931c57510c_d517170c8749d227d08b3597df3c7926.pdf)> Acesso em: 2 out. 2010.

GRAVES, D.; CHANG, H. Hydrologic impacts of climate change in the Upper clack river basin, Oregon, USA. **Climate Research**, Lüneburg, n. 33, n. 2, p.143-157, Feb. 2007. ISSN 1616-1572 Disponível em: <[lonac.shutterfly.com/110/Graves\\_Chang.pdf](http://lonac.shutterfly.com/110/Graves_Chang.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change and water**. IPCC technical paper VI. Geneva, Jun. 2008. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-change-water-en.pdf>> Acesso em: 10 out. 2010.

\_\_\_\_\_. **Climate change 1994**: radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCCIS92 emission scenariosan evaluation of the IPCC IS92. Cambridge, Aug. 1994: Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.shtml#4](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#4)> Acesso em: 5 Jan. 2010.

LOPES, J. E.; BRAGA, B. P. F.; CONEJO, J. G. L. **SMAP**: a simplified hydrological model. applied modeling in catchment hydrology. Littleton: Water Resources Publication. Colorado, n.11, Dez 1982. Disponível em: <<http://www.insiderpages.com/b/15247922881/water-resources-publications-littleton>>. Acesso em: 21 Abr. 2010.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. **Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4**. São Paulo: CPTEC/INPE, 2007. Disponível em: <<http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/publicacoes/2007/MarengoValverde2007.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2010.

MASCARENHAS, J. C.; BELTRÃO, B. A.; SOUZA JUNIOR, L. C. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**: diagnóstico do município de Pilar, estado de Alagoas. Recife, ago. 2005. Disponível em: <[HTTP://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/alagoas/relatorios/PILA077.pdf](http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/alagoas/relatorios/PILA077.pdf)>. Acesso em: 2 de maio 2010.

\_\_\_\_\_. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**: diagnóstico do município de Bom Conselho, estado de Pernambuco. Recife, Out. 2005. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/pernambuco/relatorios/BOCO023.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2010.

MEDEIROS, Y. D. P. Análise dos impactos das mudanças climáticas em região semi-árida. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.8, n. 2, p.127-136, abr. 2004. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/novo/arquivos/artigos/v8/v8n2/analise.pdf>>. Acesso em: 2 fev. 2010.

MELLER, A. et al. Sensibilidade do regime hidrológico de bacias hidrográficas à variabilidade da precipitação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, Salvador. **Anais...** Salvador: ABRH, 2005. Disponível em: <<http://www.envirh2o.com/dmdocuments/artigos/MH8.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2010.

MILLER, S. N.; GUERTIN, D. P. Teaching spatial analysis for hydrology and watershed management. In: ANNUAL ESRI USER CONFERENCE, 19<sup>th</sup>, 1999, San Diego. **Proceedings...** San Diego, 1999.

MELLO, E.L. et al. **Efeito das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Paracatu**. Jaboticabal, out. 2008. Disponível em: <[http://www.sumarios.org/sites/default/files/pdfs/29348\\_3856.PDF](http://www.sumarios.org/sites/default/files/pdfs/29348_3856.PDF)>. Acesso em: 3 de mar. 2010.

MENDAS A. et al. **Hydrologic model and gis to estimate hydrologic balance at watershed scale - application to the watershed of macta (westernalgerian)**. Algeria, set. 2004. Disponível em: <[http://www.balwois.com/balwois/administration/full\\_paper/ffp-775.pdf](http://www.balwois.com/balwois/administration/full_paper/ffp-775.pdf)>. Acesso em: 19 jul. 2009.

MENDES, C. A. B. Integração de modelos hidrológicos e sistemas de informações geográficas: fundamentos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.**, Porto Alegre, v. 1, n.1, p. 47-66. jan./jun. 1996. 2005 Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/revistas/rbrh.asp>>. Acesso em: 20 set. 2011.

\_\_\_\_\_; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos princípios, integração e aplicação.** Porto Alegre: ABRH, 2001.

\_\_\_\_\_; ORDOÑEZ GREHS, S. A. **Arcabouço de modelo hidrológico de escala continental utilizando-se a topologia da rede de drenagem simulada:** aplicação na bacia hidrográfica amazônica. Londrina, abr. 2006. <<http://www2.uel.br/revistas/geografias>>. Acesso em: 13 ago. 2010.

MUDANÇA do clima 2007: a base das ciências físicas sumário para os formuladores de políticas contribuição do grupo de trabalho i para o quarto relatório de avaliação do painel intergovernamental sobre mudança do clima, 2007. Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. Disponível em: <[http://www.ccst.inpe.br/Arquivos/ipcc\\_2007.pdf](http://www.ccst.inpe.br/Arquivos/ipcc_2007.pdf)>. Acesso em: 30 mar. 2010.

NASCIMENTO, F. R; SAMPAIO, J. L. F. Geografia física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. **Revista da Casa de Geografia de Sobral.** Sobral, v. 6/7, n. 1, p. 167-179, 2004/2005. Disponível em: <[http://www.uvanet.br/rcg/vol\\_06\\_07/editorial.pdf](http://www.uvanet.br/rcg/vol_06_07/editorial.pdf)>. Acesso em: 9 set. 2010.

PAIVA, R. C. D. de. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias:** estudo de caso: bacia do rio Solimões. 2009. 168 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PICILLI, D. G. A. **Avaliação da previsão hidroclimática no Alto Paraguai.** 2007. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

PINTO, E. J. de A.; NAGHETTINI, M.; ABREU M. L. Utilização de indicadores climáticos na previsão probabilística de precipitações e vazões na bacia do Alto São Francisco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 4, out./dez. 2006. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/novo/rev\\_rbrh.php?id=54](http://www.abrh.org.br/novo/rev_rbrh.php?id=54)>. Acesso em: 2 fev. 2010.

REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil:** capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Rima, 2003.

RENNÓ, C.D; SOARES, J. V. **Modelos hidrológicos para gestão ambiental:** relatório técnico parcial. São José dos Campos: INPE, 2000. Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas: ação "métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental". Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio\\_modelos\\_hidrologicos.pdf](http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2010.

SANTOS, I.; KOBAYAMA, M. Aplicação do TOPMODEL para zoneamento hidrológico da bacia do rio Pequeno, São José dos Pinhais-PR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2004. Disponível em: <[http://www.cfh.ufsc.br/~gedn/sibraden/cd/EIXO%201\\_OK/1-14.pdf](http://www.cfh.ufsc.br/~gedn/sibraden/cd/EIXO%201_OK/1-14.pdf)>. Acesso em: 6 set. 2010.

SANTOS, R. L. et al. O sistema de informação geográfica aplicado à modelagem hidrológica. In: IV SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 4., 2008. Aracaju. **Anais...** Aracaju, 2008. Disponível em: <<http://www.cpatc.embrapa.br/labgeo/srgsr4/arquivos/oral/43.htm>>. Acesso em: 15 ago. 2011.

SANTOS, S. et al. Os sistemas de informação geográfica na modelagem hidrológica. In: COLOQUIO DE GEOGRAFIA CUANTITATIVA, 12.; CONGRESSO NACIONAL DE TECNOLOGIA DE LA INFORMATION GEOGRAFICA, 12., 2006, Granada. **Proceedings...** Granada, 2006. Disponível em: <[http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/XII\\_1/033%20-%20Santos%20et%20al.pdf](http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/XII_1/033%20-%20Santos%20et%20al.pdf)>. Acesso em: 2 jun. 2010.

SARTORI, A. Avaliação da **classificação hidrológica do solo para a determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SEIDEL, K. MARTINEC, J. Modelling **runoff and impact of climate change in large Himalayan basins**: ICIWRM-2000. Roorkee, 2000. Disponível em: <[www.vision.ee.ethz.ch/.../get\\_abstract.cgi?](http://www.vision.ee.ethz.ch/.../get_abstract.cgi?)> Acesso em: 20 jan. 2011.

SILANS, A. M. B. P. et al. Aplicação do modelo hidrológico distribuído à bacia hidrográfica do rio do Peixe - estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, João Pessoa, v. 5, n. 3, p. 5-19, 2000.

SILVA, B. C.; COLLISCHONN, W; TUCCI, C. E. M. Simulação da bacia do rio São Francisco através do modelo hidrológico MGB-IPH. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7., 2004, São Luís. **Anais...** São Luís: ABRH, 2004.

SILVA, I. F.; NÓBREGA, R. S.; GALVÍNCIO, J. D. Impacto das mudanças climáticas nas respostas hidrológicas do rio Ipojuca (PE): parte 2: cenários de aumento de temperatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 2, n.2, p. 19-30, maio-ago. 2009. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewFile/69/47>>. Acesso em: 11 nov. 2009.

SUI, D. Z.; MAGGIO, R. C. **Integrating GIS with hydrological modeling: practices, problems, and prospects**. **Computers, Environment and Urban Systems**. v. 21, p. 33-51, 1999. Disponível em: <<http://www.mendeley.com/research/integrating-gis-with-hydrological-modeling-practices-problems-and-prospects/>>. Acesso em: 21 ago. 2011.

SUMNER, D. M.; JACOBS, J. M. Utility of Penman–Monteith, Priestley–Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v. 308, p. 81-104, 2005.



TAVARES, A. C. Mudanças climáticas. In: VITTE, A. C. GUERRA, A. J.T.(Org.). **Reflexões sobre geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2004.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. São Paulo: EDUSP; ABRH, 1993.

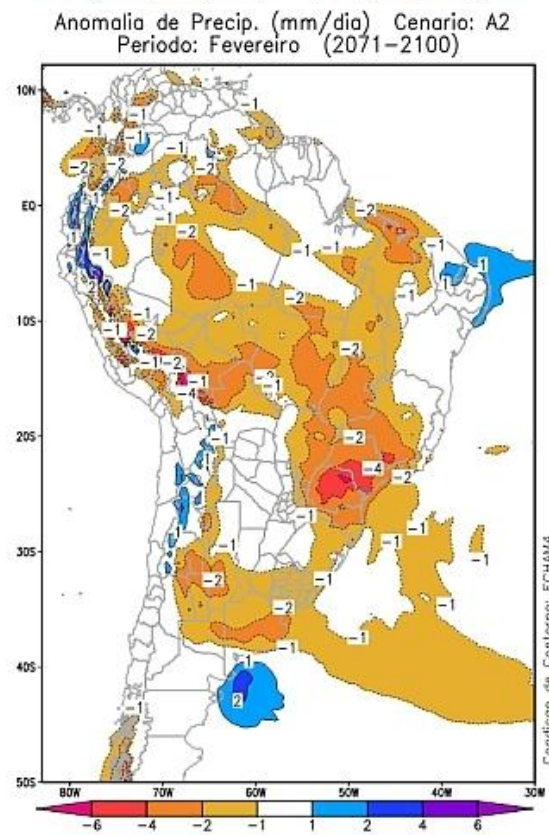
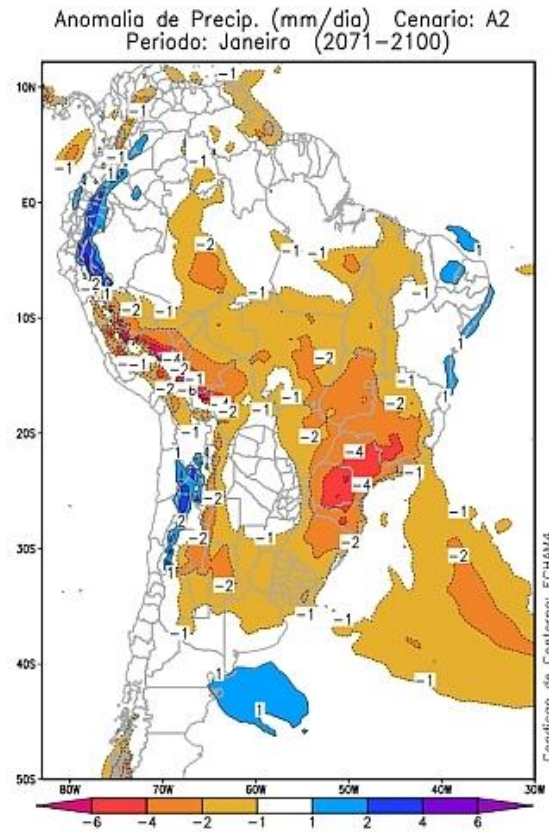
\_\_\_\_\_. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: ABRH; Editora da UFRGS, 1988.

WANG, J. et al. Quantitative assessment of climate change and human impacts on long-term hydrologic response: a case study in a sub-basin of the yellow river, China. **International Journal of climatology**, v. 30, p. 2130-2137, Sept. 2009. Disponível em: <<http://www.wileyonlinelibrary.com>>. Acesso em: 5 nov. 2010.

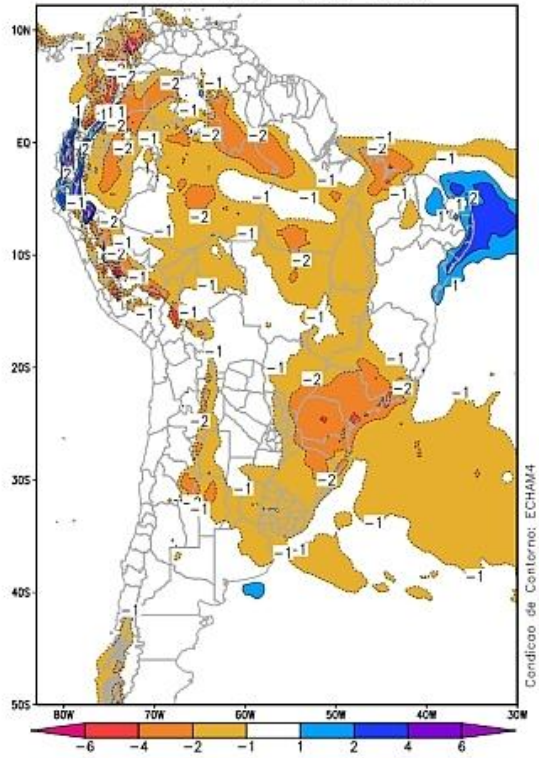
WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C. J. S. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação**. Porto Alegre: UFRGS. Centro de Ecologia, 2004. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso em: 9 maio 2009.

Yu, P. S.; Yang, T. C.; Chen, S. J. Comparison of uncertainty analysis methods for a distributed rainfall-runoff model. **Journal of Hydrology**, v. 244, p. 43-59. 2001.

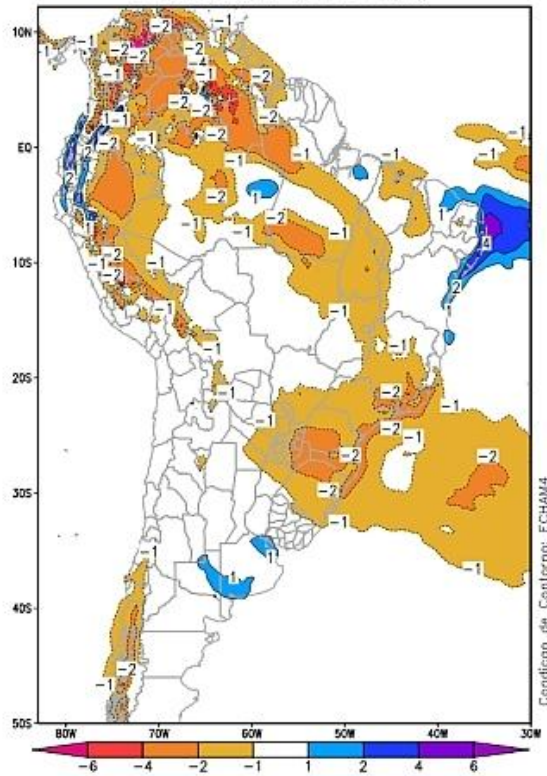
## **ANEXOS**

**ANEXO A - Dados interpolados de anomalias de precipitação cenário: A2**

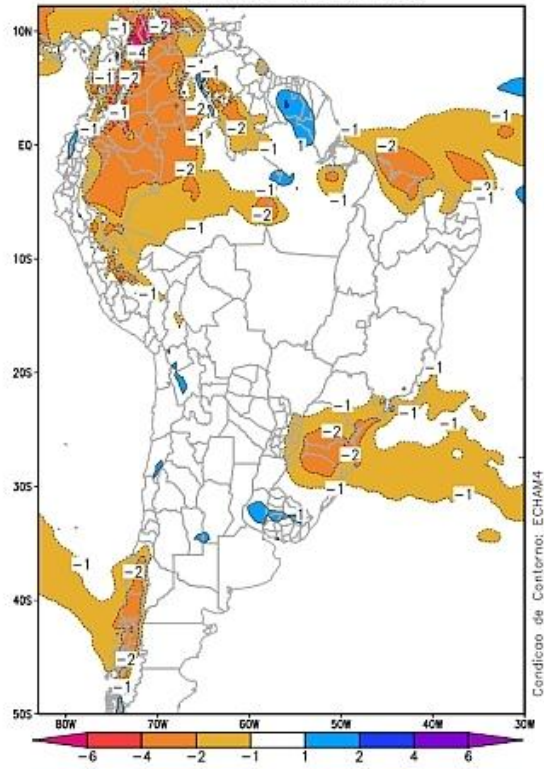
Anomalia de Precip. (mm/dia) Cenario: A2  
Periodo: Março (2071-2100)



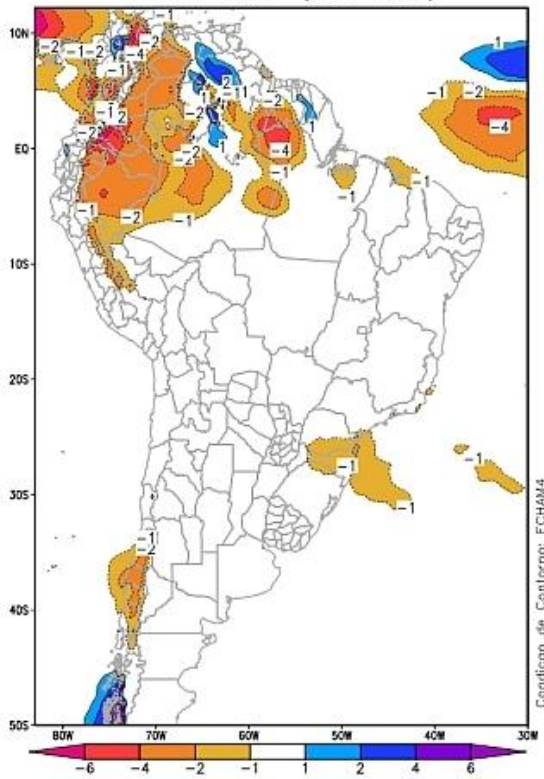
Anomalia de Precip. (mm/dia) Cenario: A2  
Periodo: Abril (2071-2100)



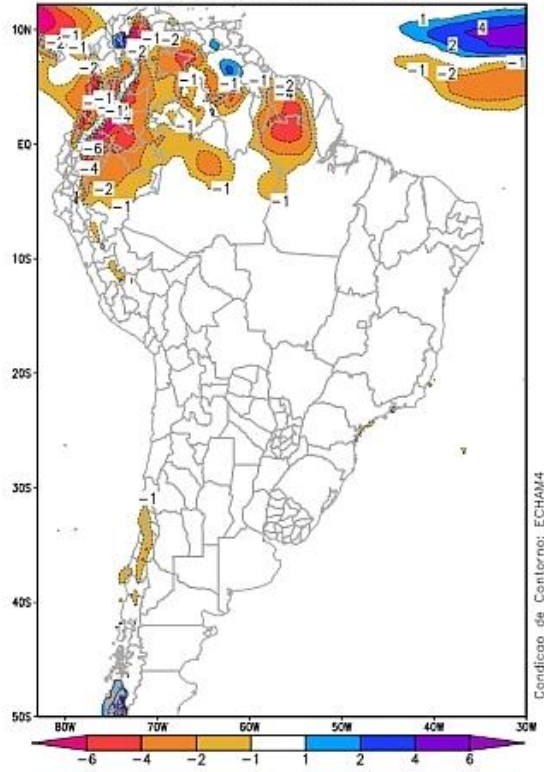
Anomalia de Precip. (mm/dia) Cenário: A2  
Período: Maio (2071-2100)



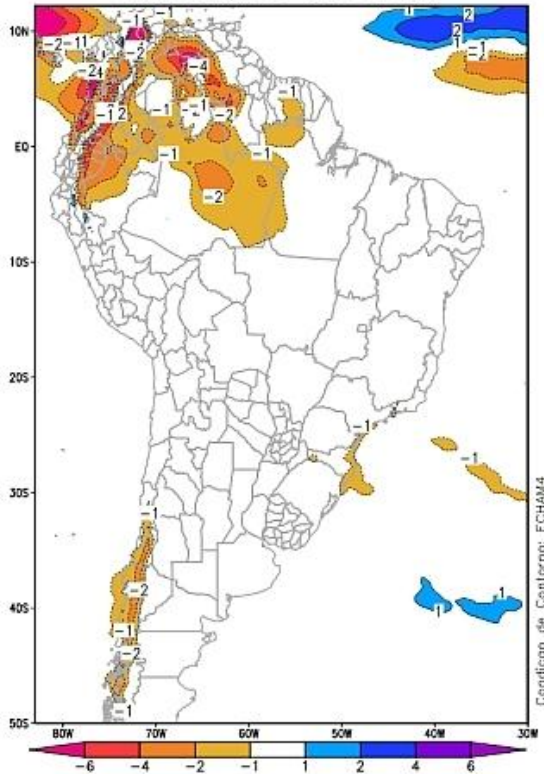
Anomalia de Precip. (mm/dia) Cenário: A2  
Período: Junho (2071-2100)



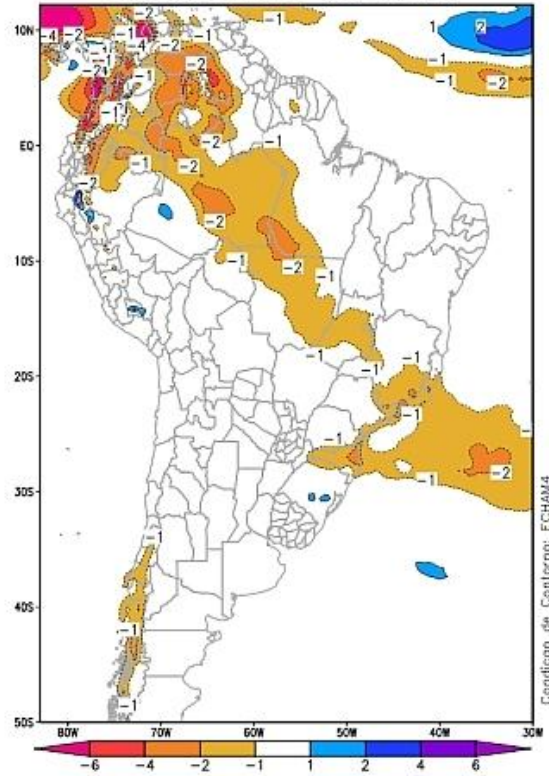
Anomalia de Precip. (mm/dia) Cenário: A2  
Período: Julho (2071-2100)



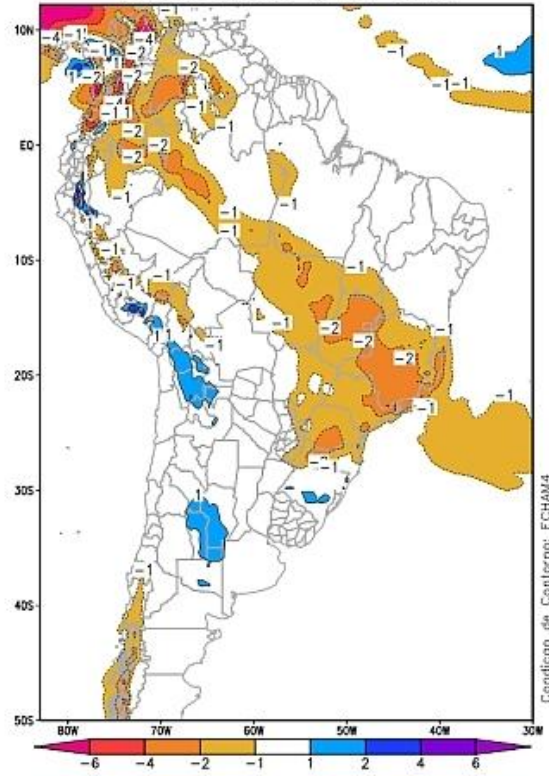
Anomalia de Precip. (mm/dia) Cenário: A2  
Período: Agosto (2071-2100)



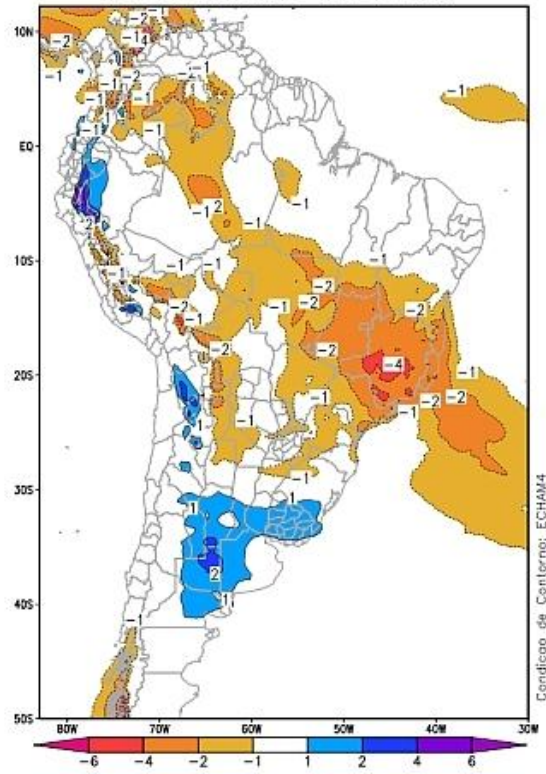
Anomalia de Precip. (mm/dia) Cenario: A2  
Período: Setembro (2071-2100)



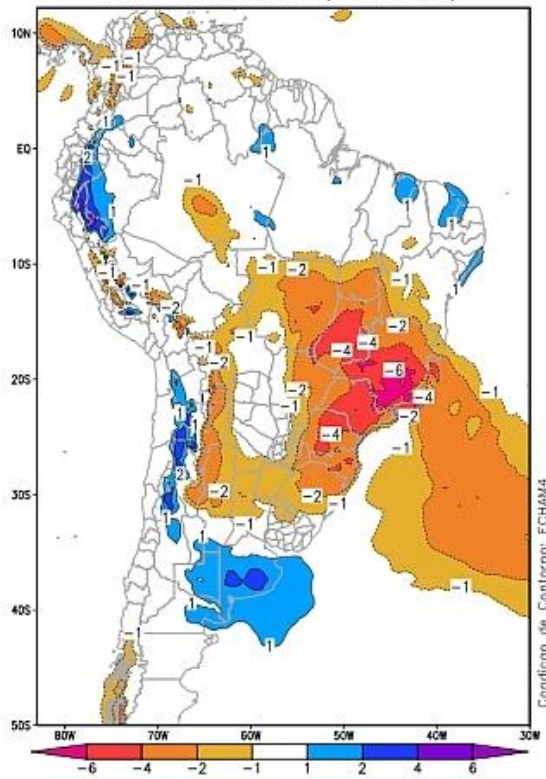
Anomalia de Precip. (mm/dia) Cenario: A2  
Período: Outubro (2071-2100)



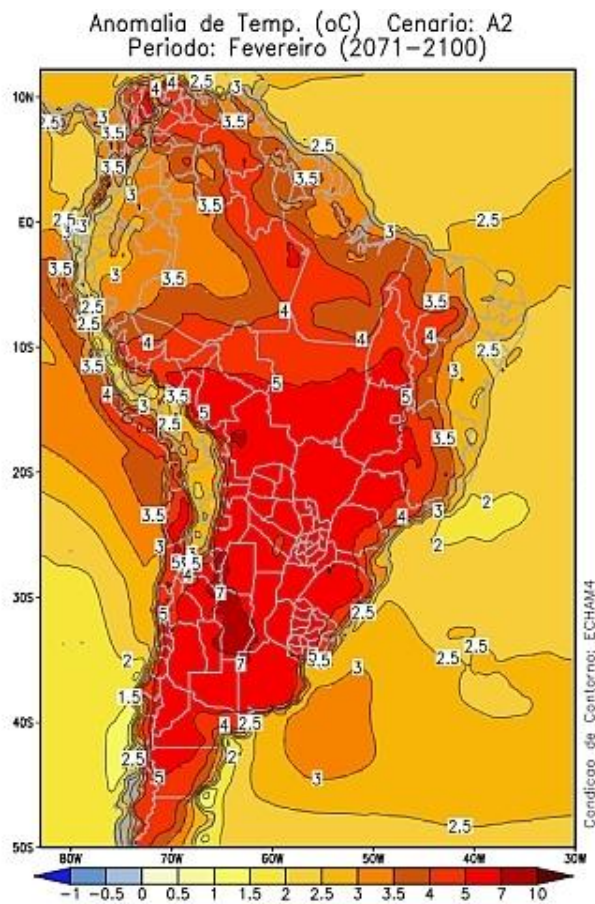
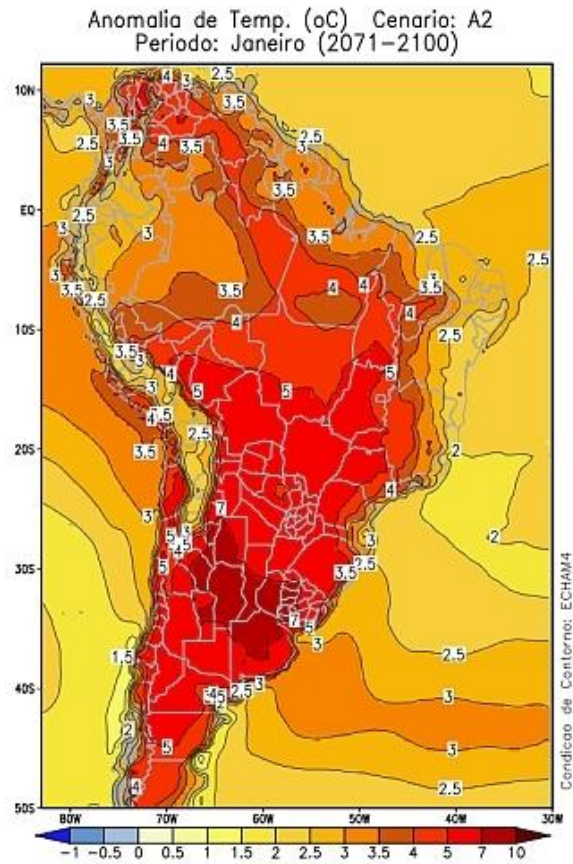
Anomalia de Precip. (mm/dia) Cenário: A2  
Período: Novembro (2071–2100)



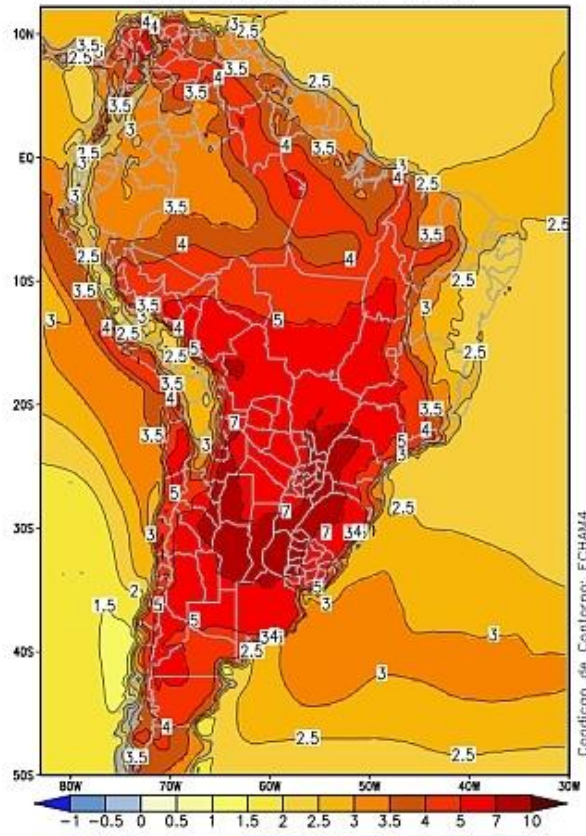
Anomalia de Precip. (mm/dia) Cenário: A2  
Período: Dezembro (2071–2100)



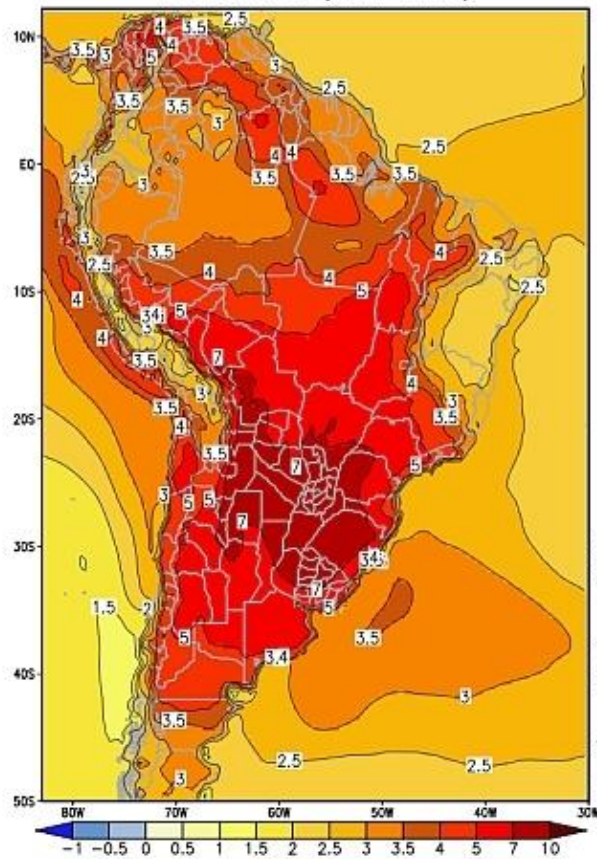


**ANEXO B - Dados interpolados de anomalias de temperatura do cenário: A2**

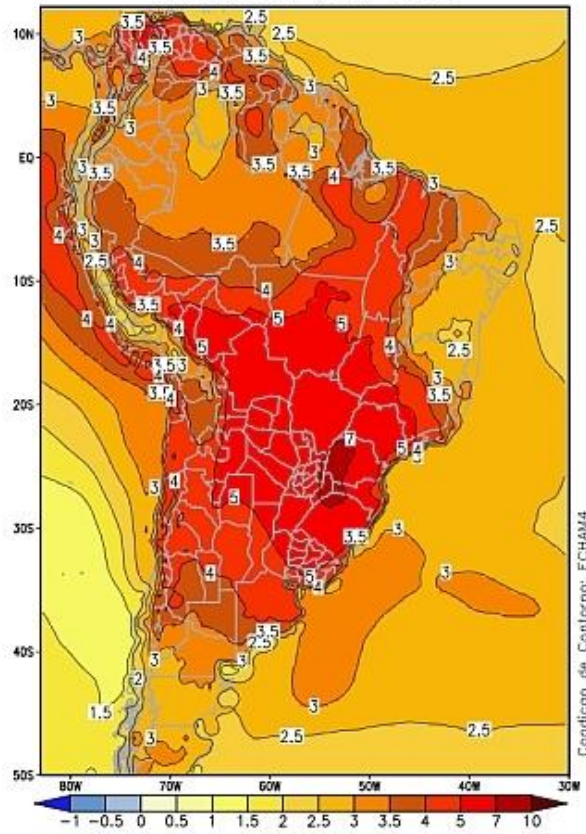
Anomalia de Temp. (oC) Cenario: A2  
Periodo: Marco (2071-2100)



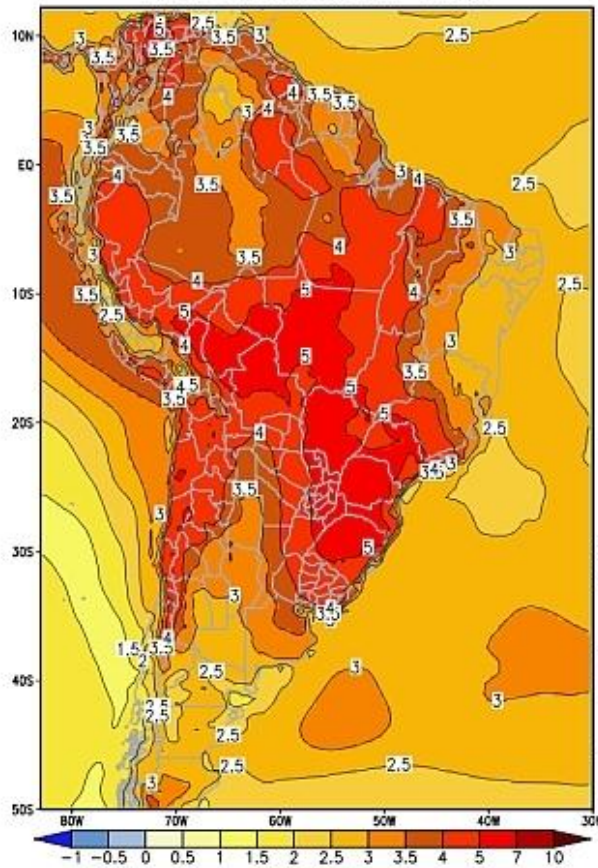
Anomalia de Temp. (oC) Cenario: A2  
Periodo: Abril (2071-2100)



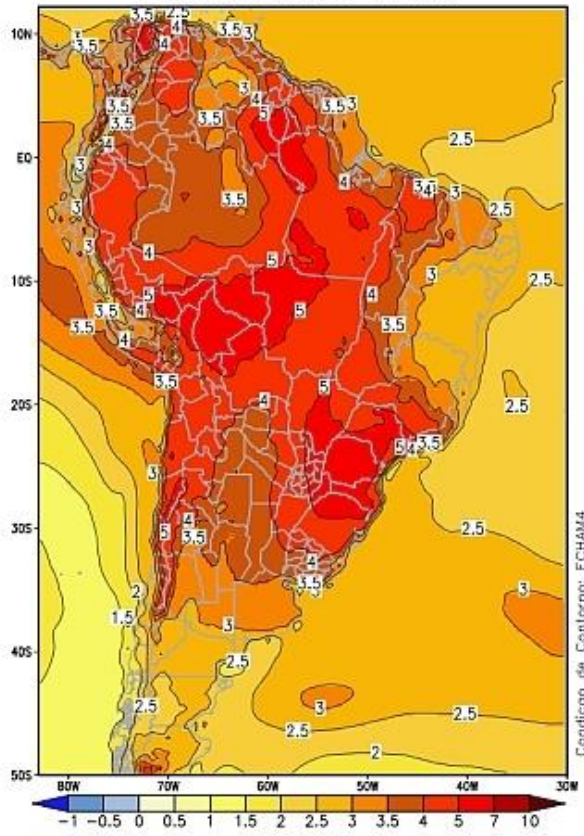
Anomalia de Temp. (oC) Cenario: A2  
Periodo: Maio (2071-2100)



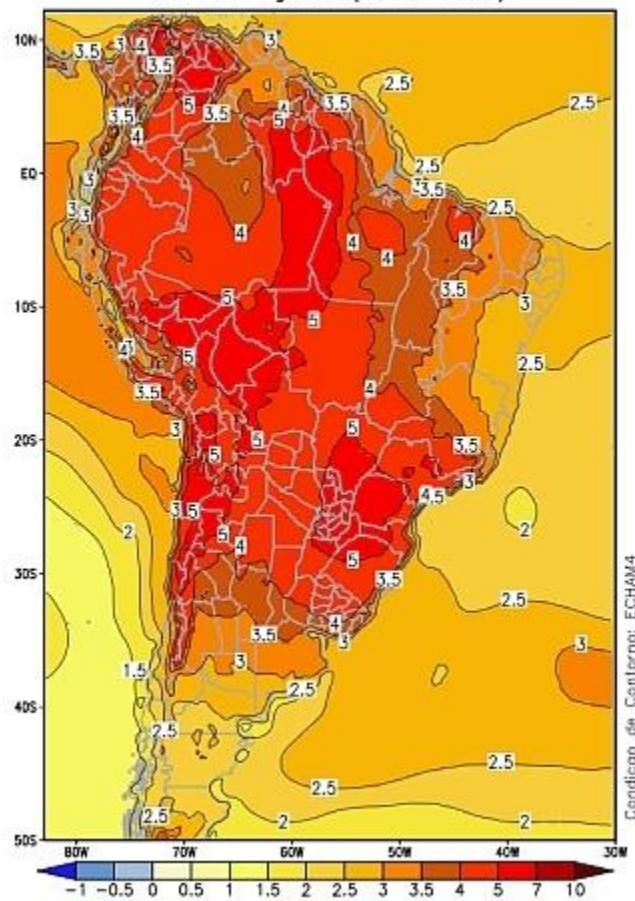
Anomalia de Temp. (oC) Cenario: A2  
Periodo: Junho (2071-2100)



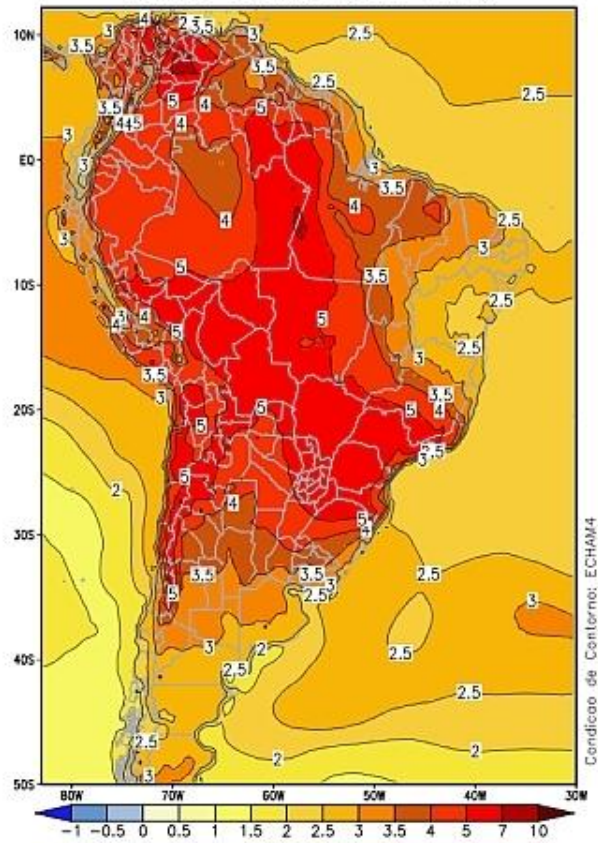
Anomalia de Temp. (oC) Cenario: A2  
Periodo: Julho (2071-2100)



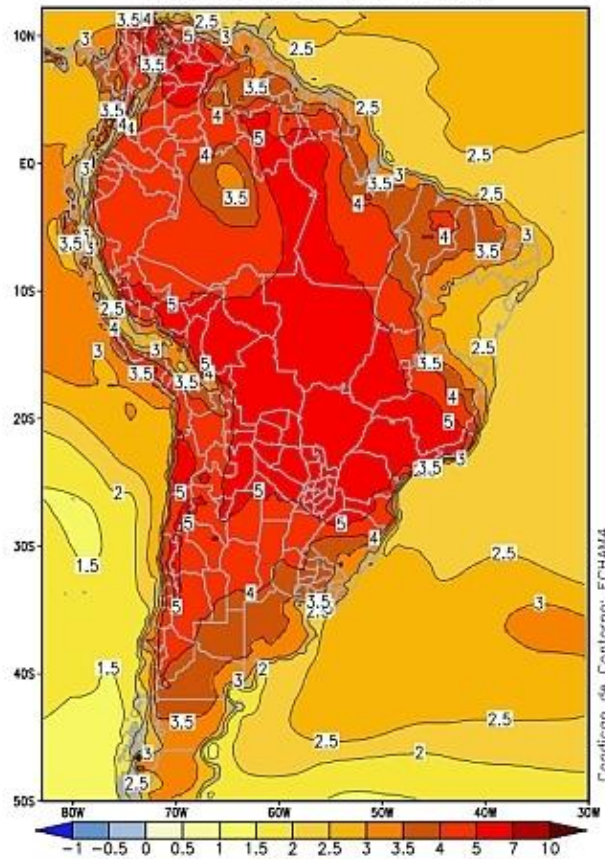
Anomalia de Temp. (oC) Cenario: A2  
Periodo: Agosto (2071-2100)



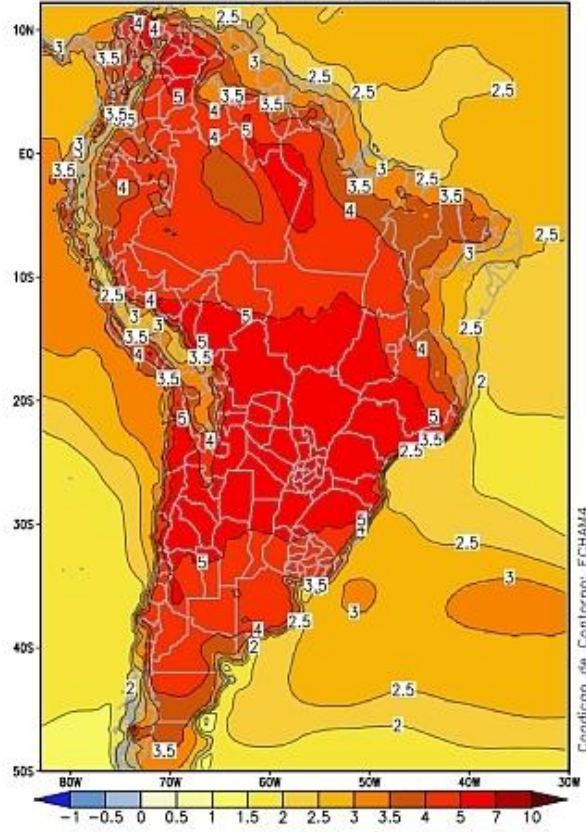
Anomalia de Temp. (oC) Cenario: A2  
Periodo: Setembro (2071-2100)



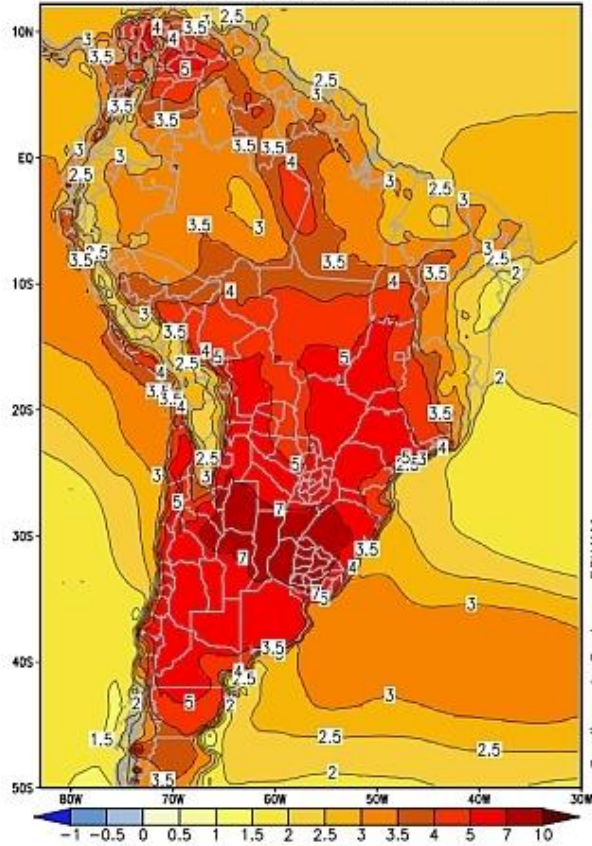
Anomalia de Temp. (oC) Cenario: A2  
Periodo: Outubro (2071-2100)



Anomalia de Temp. (oC) Cenario: A2  
Periodo: Novembro (2071-2100)

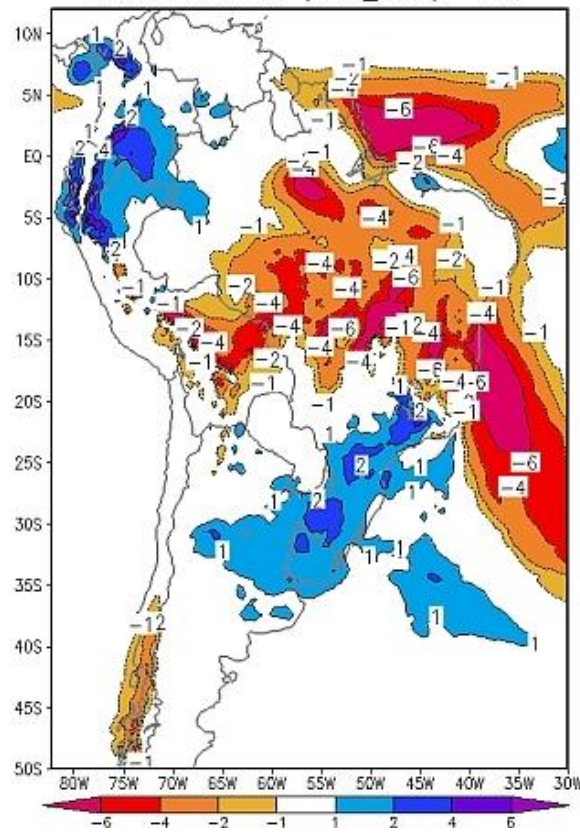


Anomalia de Temp. (oC) Cenario: A2  
Periodo: Dezembro (2071-2100)



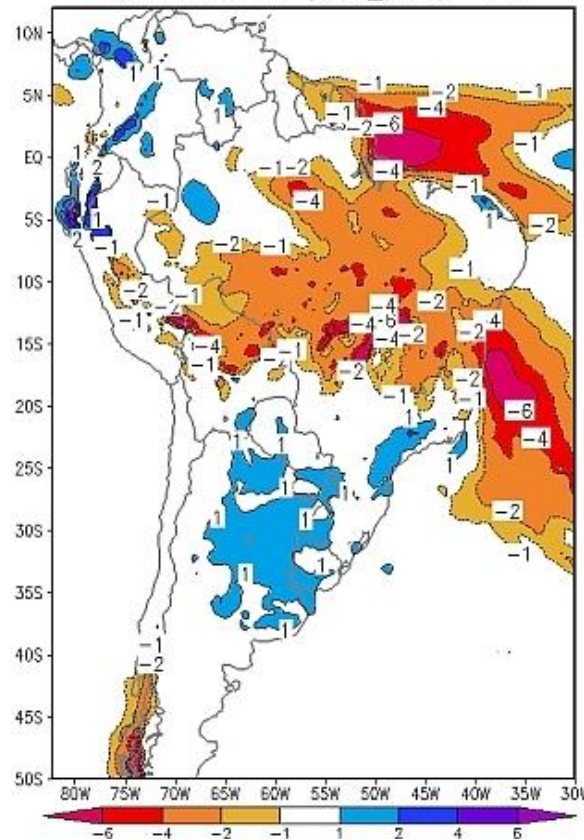
## ANEXO C - Dados interpolados de anomalias de temperatura do cenário: A1B

Anomalia de Precipitacao (mm/dia) do modelo Eta  
Media Mensal JAN (2070\_2099) - A1B



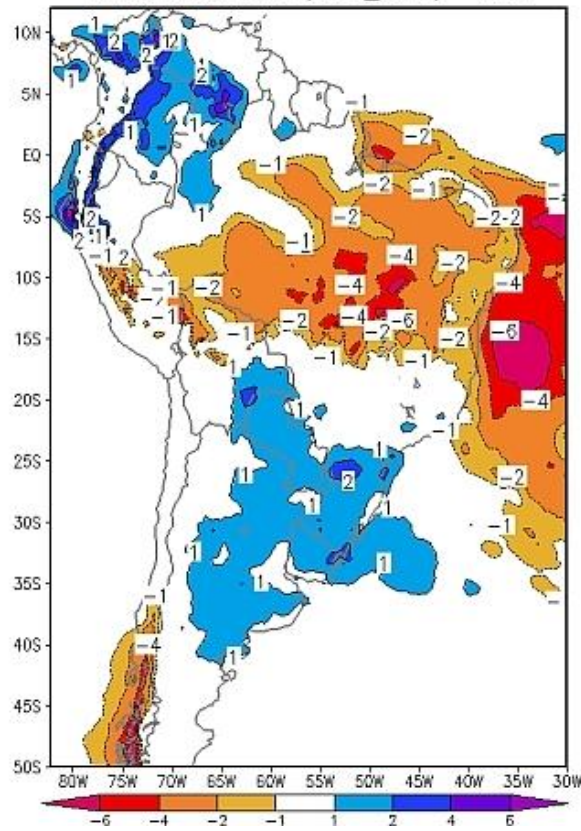
Condicao de Contorno: HadCM3

Anomalia de Precipitacao (mm/dia) do modelo Eta  
Media Mensal FEV (2070\_2099) - A1B



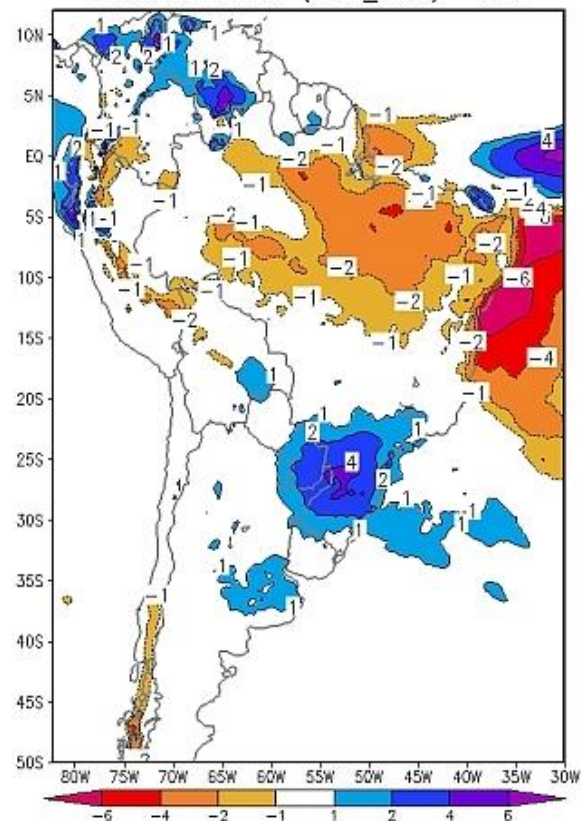
Condicao de Contorno: HadCM3

Anomalia de Precipitacao (mm/dia) do modelo Eta  
Media Mensal MAR (2070\_2099) - A1B



Condicao de Contorno: HadCM3

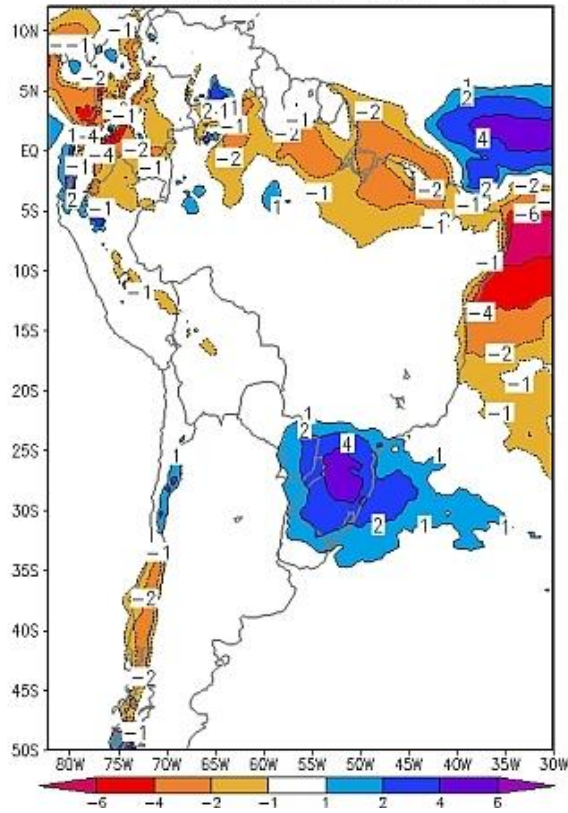
Anomalia de Precipitacao (mm/dia) do modelo Eta  
Media Mensal ABR (2070\_2099) - A1B



Condicao de Contorno: HadCM3

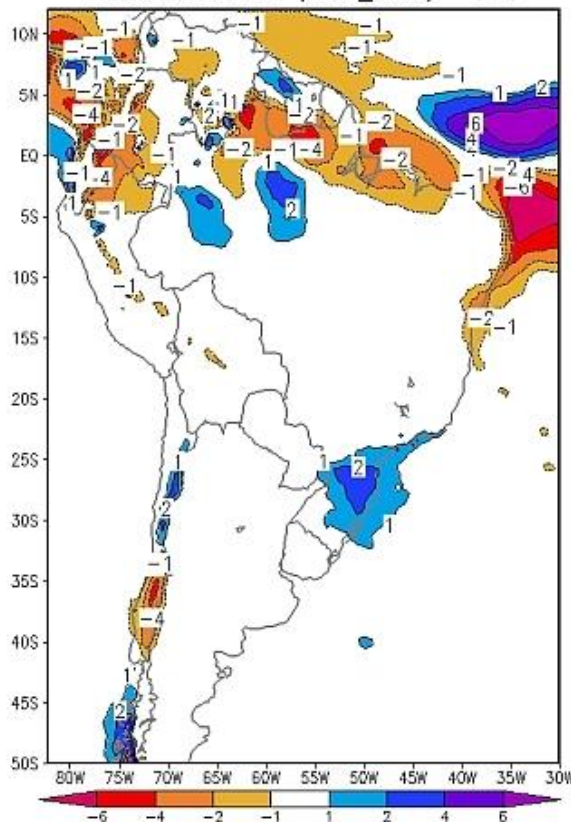


Anomalia de Precipitacao (mm/dia) do modelo Eta  
Media Mensal MAI (2070\_2099) - A1B



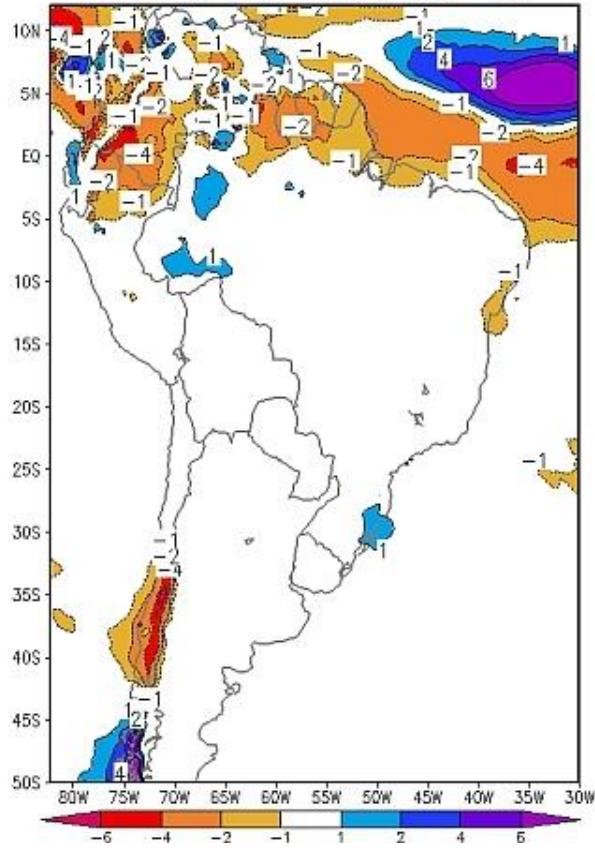
Condicao de Contorno: HadCM3

Anomalia de Precipitacao (mm/dia) do modelo Eta  
Media Mensal JUN (2070\_2099) - A1B



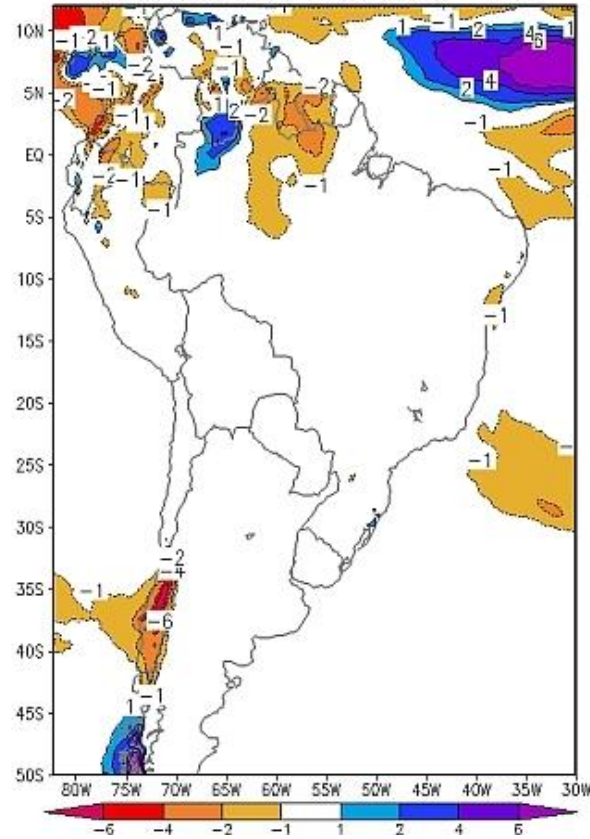
Condicao de Contorno: HadCM3

Anomalia de Precipitacao (mm/dia) do modelo Eta  
Media Mensal JUL (2070\_2099) - A1B



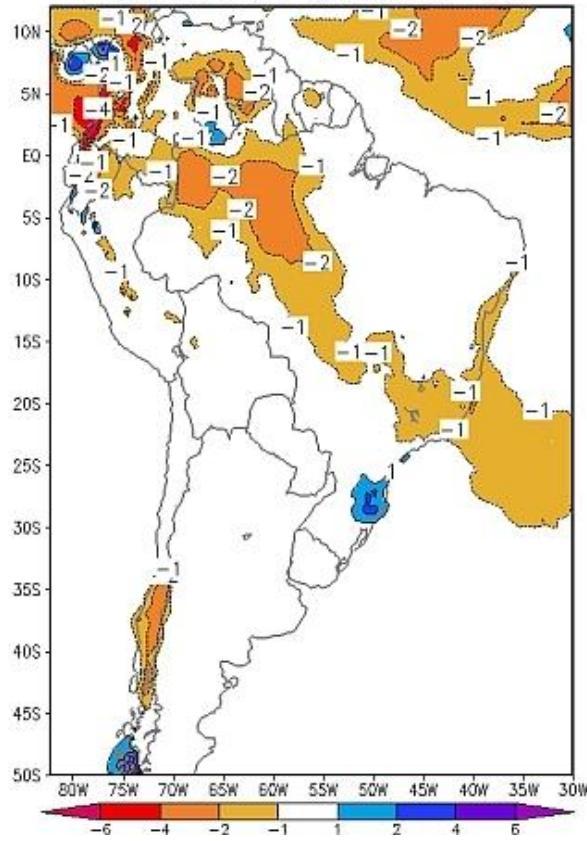
Condicao de Contorno: HadCM3

Anomalia de Precipitacao (mm/dia) do modelo Eta  
Media Mensal AGO (2070\_2099) - A1B



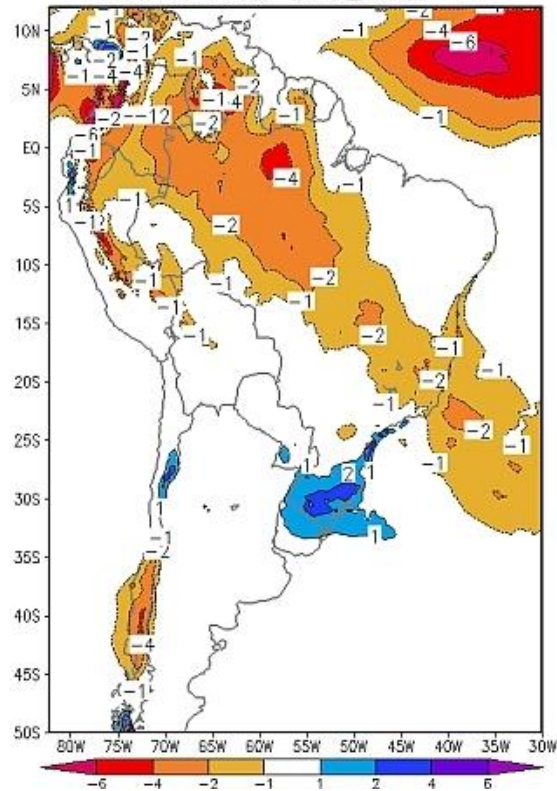
Condicao de Contorno: HadCM3

Anomalia de Precipitacao (mm/dia) do modelo Eta  
Media Mensal SET (2070\_2099) - A1B



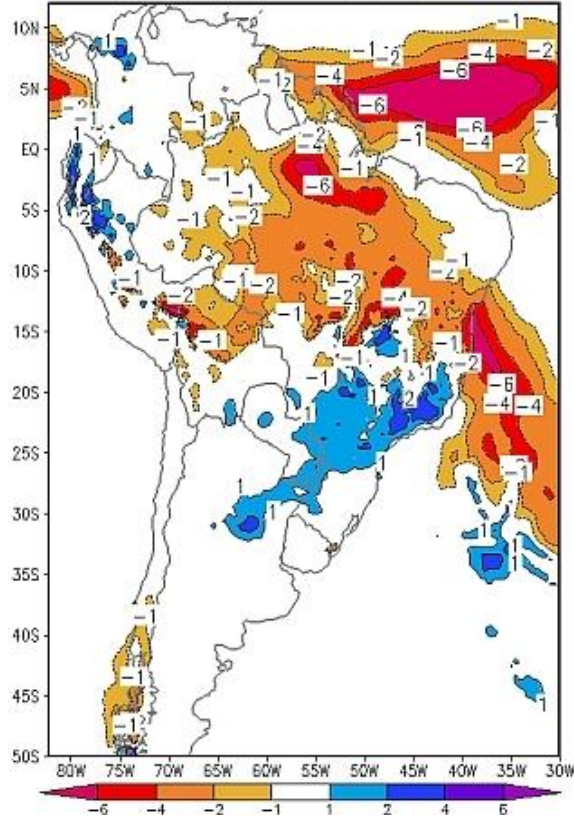
Condicao de Contorno: HadCM3

Anomalia de Precipitacao (mm/dia) do modelo Eta  
Media Mensal OUT (2070\_2099) - A1B



Condicao de Contorno: HadCM3

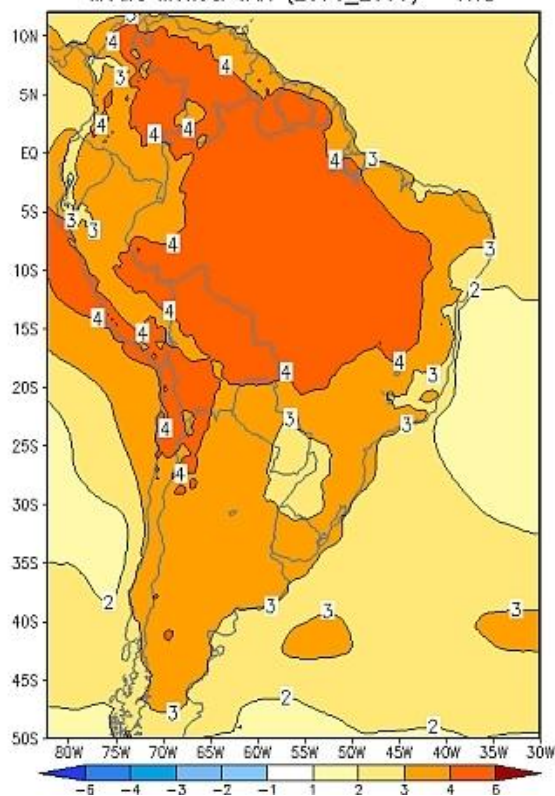
Anomalia de Precipitacao (mm/dia) do modelo Eta  
Media Mensal DEZ (2070\_2099) - A1B



Condicao de Contorno: HadCM3

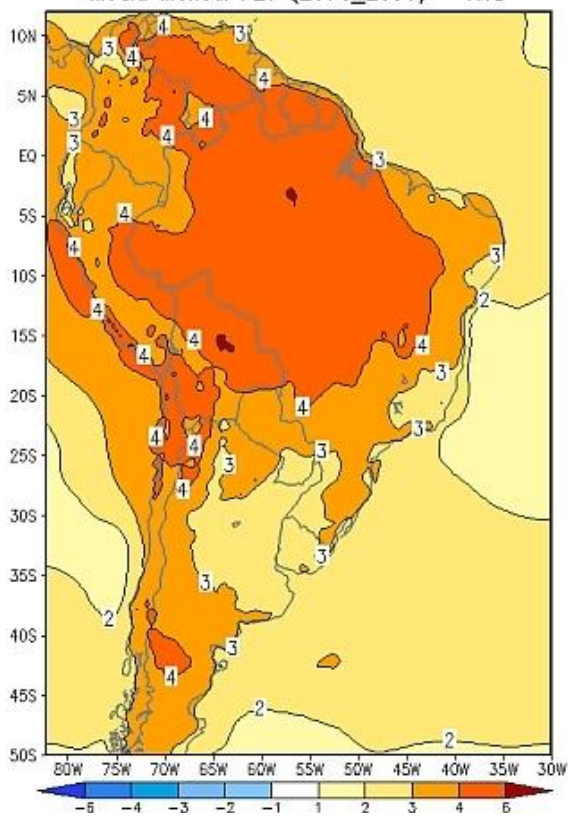
**ANEXO D - Dados interpolados de anomalias de temperatura do cenário: A1B**

Anomalia de Temperatura (C) do modelo Eta  
Media Mensal JAN (2070\_2099) - A1B



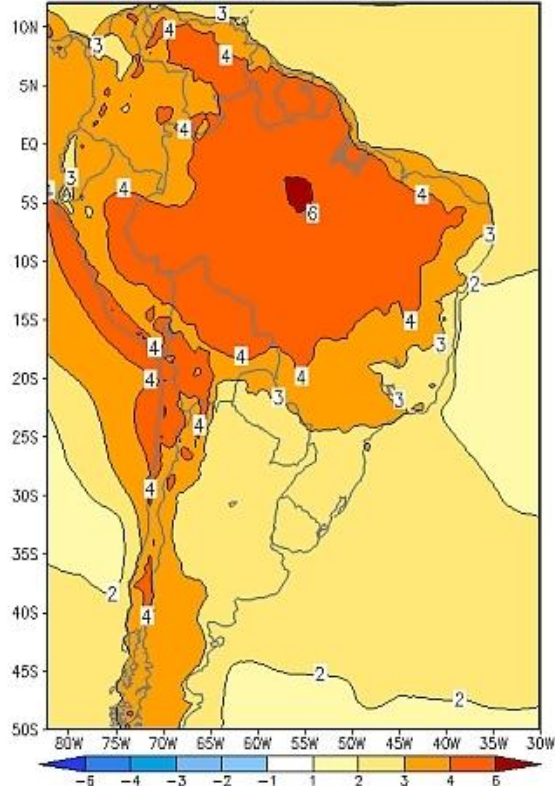
Condição de Contorno: HadCM3

Anomalia de Temperatura (C) do modelo Eta  
Media Mensal FEV (2070\_2099) - A1B



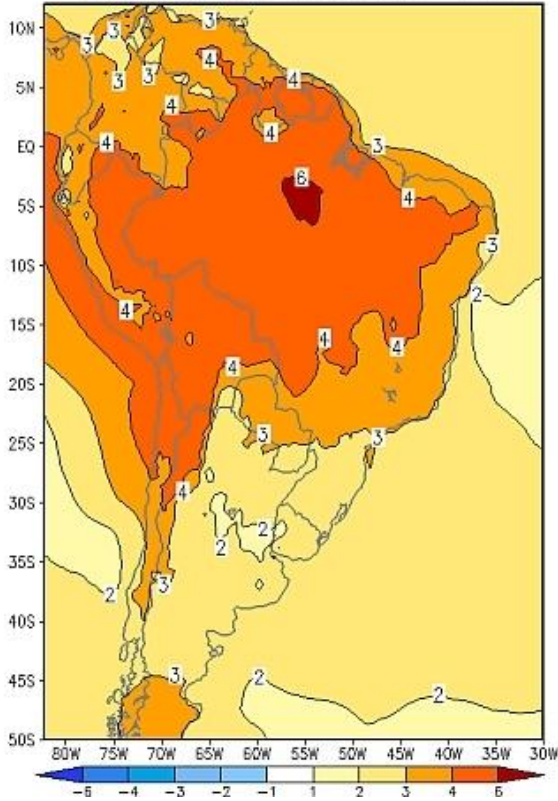
Condição de Contorno: HadCM3

Anomalia de Temperatura (C) do modelo Eta  
Media Mensal MAR (2070\_2099) - A1B



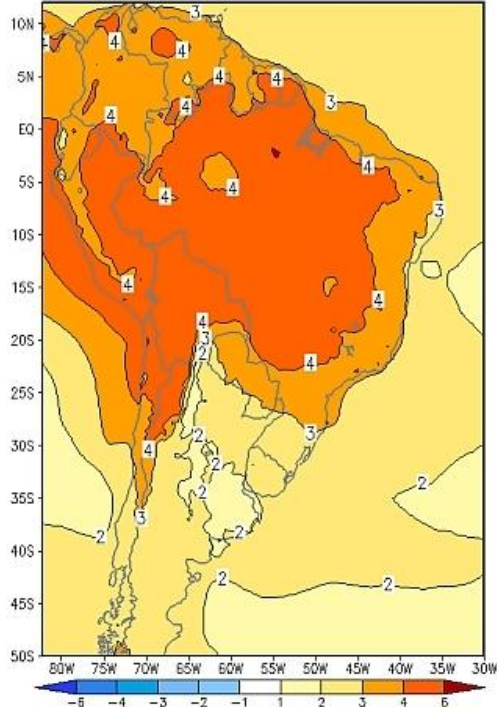
Condicao de Contorno: HadCM3

Anomalia de Temperatura (C) do modelo Eta  
Media Mensal ABR (2070\_2099) - A1B



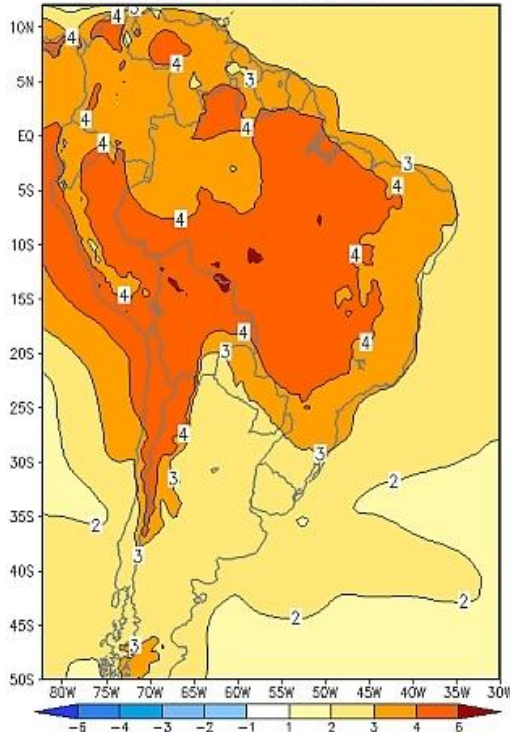
Condicao de Contorno: HadCM3

Anomalia de Temperatura (C) do modelo Eta  
Media Mensal MAI (2070\_2099) - A1B



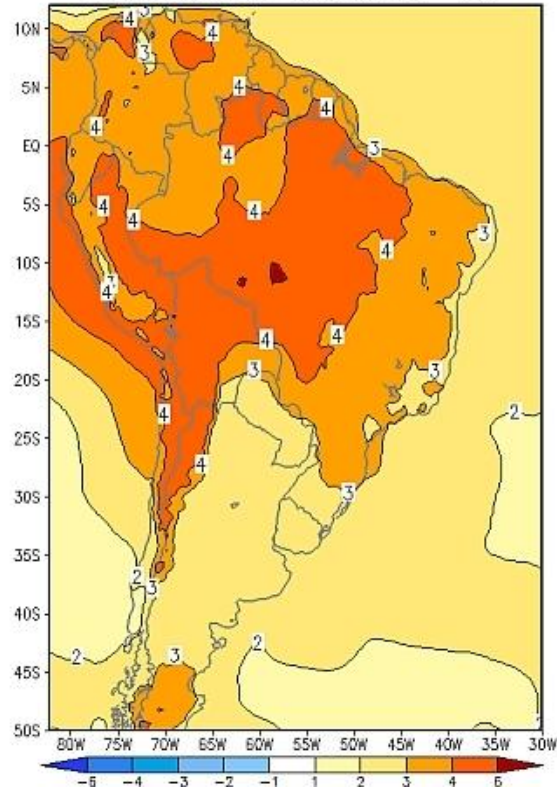
Condição de Contorno: HadCM3

Anomalia de Temperatura (C) do modelo Eta  
Media Mensal JUN (2070\_2099) - A1B



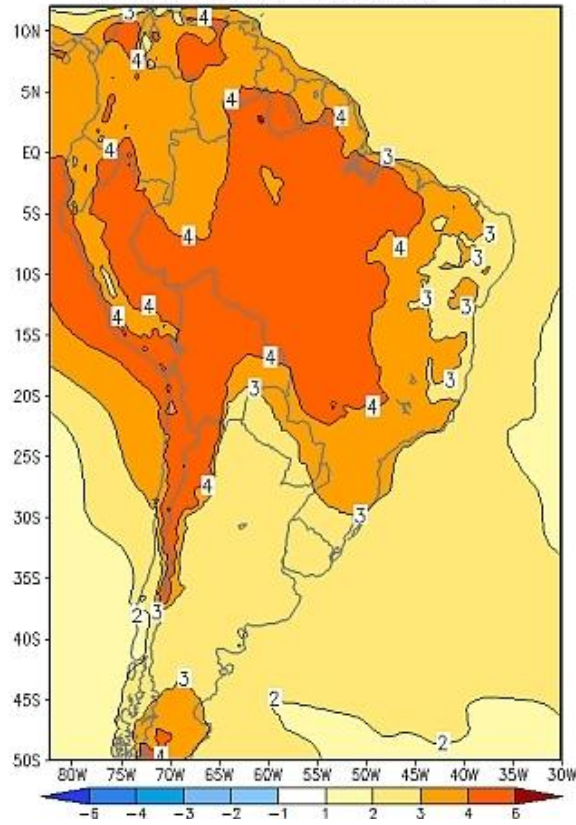
Condição de Contorno: HadCM3

Anomalia de Temperatura (C) do modelo Eta  
Media Mensal JUL (2070\_2099) - A1B



Condiçao de Contorno: HadCM3

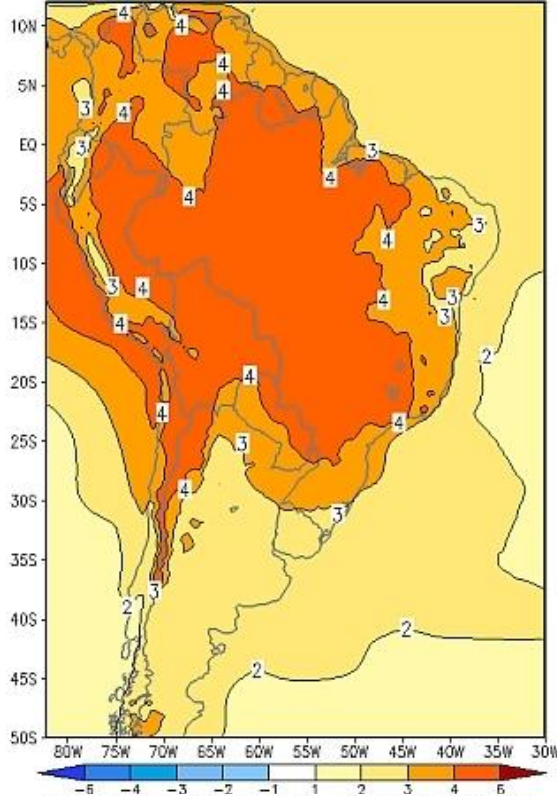
Anomalia de Temperatura (C) do modelo Eta  
Media Mensal AGO (2070\_2099) - A1B



Condiçao de Contorno: HadCM3

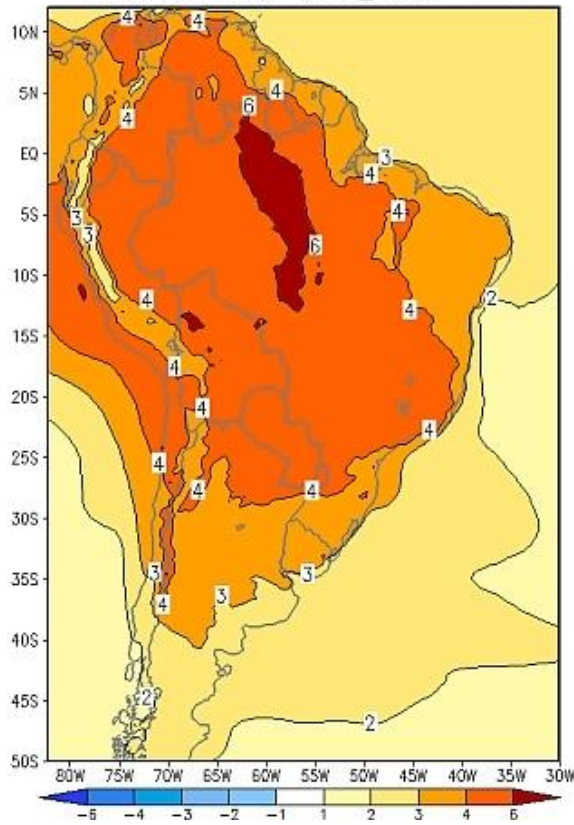


Anomalia de Temperatura (C) do modelo Eta  
Media Mensal SET (2070\_2099) - A1B



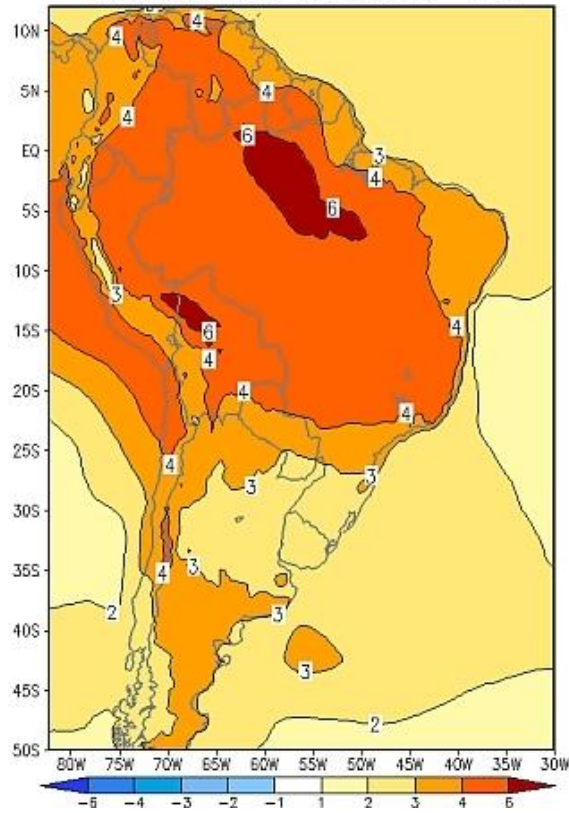
Condicao de Contorno: HadCM3

Anomalia de Temperatura (C) do modelo Eta  
Media Mensal OUT (2070\_2099) - A1B



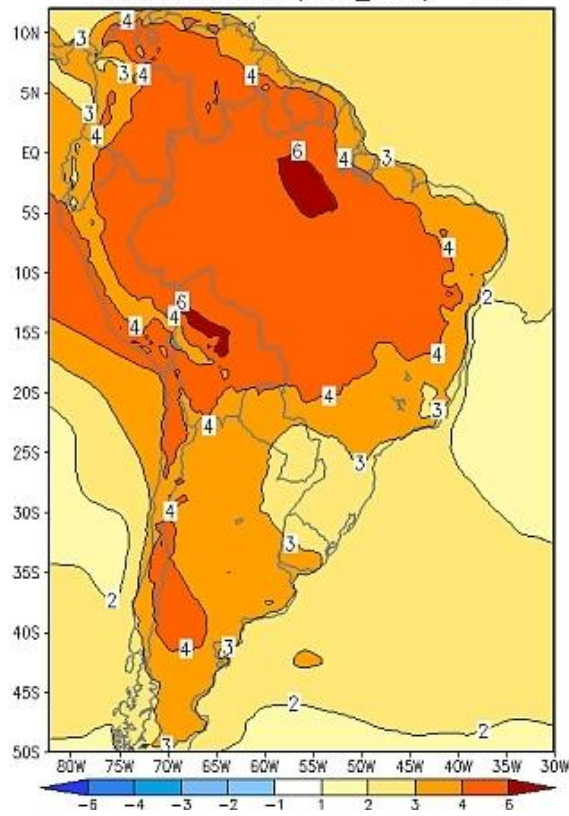
Condicao de Contorno: HadCM3

Anomalia de Temperatura (C) do modelo Eta  
Media Mensal NOV (2070\_2099) - A1B



Condiçao de Contorno: HadCM3

Anomalia de Temperatura (C) do modelo Eta  
Media Mensal DEZ (2070\_2099) - A1B



Condiçao de Contorno: HadCM3