



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**



**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS  
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GOIANA-PERNAMBUCO**

**Antonio Marcos dos Santos**



**RECIFE**

**2010**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS  
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GOIANA-PERNAMBUCO**

**Antonio Marcos dos Santos**

**Orientadora: Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvíncio  
Co-orientadora: Profa. Dra. Magna Soelma Beserra de Moura**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**RECIFE**

**2010**

**Antonio Marcos dos Santos**

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS  
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GOIANA-PERNAMBUCO**

Dissertação de mestrado desenvolvida junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia na área de concentração Regionalização e Análise Regional (Linha de Pesquisa: Ecossistemas e Impactos Ambientais; subárea: Modelagem Hidrológica e Climática) para obtenção do título de Mestre em Geografia.

**Orientadora:** Josiclêda Domiciano Galvínio

**Co-orientadora:** Magna Soelma Beserra de Moura

**RECIFE**

**2010**

**Santos, Antonio Marcos dos**

**Impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Goiana – Pernambuco: / Antonio Marcos dos Santos. – Recife: O Autor, 2010.**

**115 folhas: graf., fig., tab.**

**Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia, 2010.**

**Inclui: bibliografia.**

**1. Geografia. 2. Bacia hidrográfica(PE). 3. Mudanças climáticas. 4. Recursos hídricos. 5. Escoamento. I. Título.**

**911**

**CDU (2.**

**UFPE**

**910**

**ed.)**

**BCFCH2010/18**

**CDD (22. ed.)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFCH  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS –DCG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DEM GEOGRAFIA

**ANTONIO MARCOS DOS SANTOS**

Título: **“IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE OS RECURSOS  
HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GOIANA-PERNAMBUCO”**

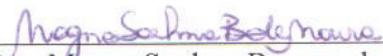
**BANCA EXAMINADORA**

**TITULARES:**

Orientador:

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Josielêda Domiciano Galvêncio (UFPE)

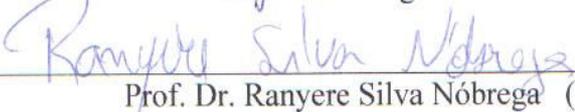
Co- Orientador:

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Magna Soelma Beserra de Moura (EMBRAPA SEMI ÁRIDO)

1º. Examinador:

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Dra. Suzana Maria Gigo Lima Montenegro (UFPE)

2º. Examinador:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ranyere Silva Nóbrega (UFPE)

APROVADA em 25 de fevereiro de 2010.

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Antonio Barbosa e Maria  
de Lourdes e a todos aqueles que amam  
a Geografia*

## **AGRADECIMENTOS**

À todas as divindades, sejam elas de matriz africana e/ou católicas que estiveram ao meu lado neste desafio de fundamental importância na minha vida.

À minha orientadora, Professora Dra. Josiclêda Domiciano Galvínio, pela oportunidade de realizar esta pesquisa sob sua orientação, assim como, o aprendizado que obtive com ela durante esta jornada, o qual jamais será apagado e sim somado a outros e ofertados também. Em resumo muito obrigado.

À minha co-orientadora Magna Soelma Bezerra de Moura também pela oportunidade em poder contar com sua co-orientação.

À Professora Dra. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel pelos conselhos e contribuições fundamentais durante a realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Ranyere Silva Nóbrega pelas dicas e sugestões durante as oportunidades que tivemos em debater o andamento da pesquisa, a exemplo dos nossos contatos no Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO) e durante o “Workshop sobre Mudanças Climáticas e recursos hídricos no estado de Pernambuco”.

À Pós-doutoranda Djane Fonseca Silva pelas contribuições metodológicas essenciais para o andamento da pesquisa.

À doutoranda Janaina Barbosa pelos incentivos e contribuições nas atividades de campo e, durante todo o processo de realização da pesquisa.

À Thiago Henrique, Ivan Igor Sá, Jessica Bezerra pelas contribuições na área de geoprocessamento no início da pesquisa.

Ao Professor Dr. João Lima Sant’Anna Neto do Grupo de Pesquisa Climatologia Geográfica da UNESP de Presidente Prudente pelo fornecimento de materiais bibliográficos, documentais e cartográficos que ajudaram na realização da pesquisa.

Aos Professores Alcindo José de Sá (UFPE), Hernani Loebler Campos (UFPE), André Dantas Estevam (UNEB), Janes Lavoratti (UFBA), Jânio Roque Castro de Barros (UNEB), Wendel Henrique (UFBA), Cláudia Sousa (UNEB), Jemisson Matos (UEFS), Cláudio Ubiratan Gonçalves (UFPE) pelos incentivos.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação e da Graduação em Geografia da UFPE, José Alignoberto Fachine (Beto), Ailton Feitosa, Fernanda, Alisson Bezerra, Emilio Tales, Tathiane Lidia, Roberto, Alzenir, Liwistone Gaudino, Paulo

Baqueiro, Bruno Halley, Lucas Cavalcanti, Daniel Lira, Robson Brasileiro, Saulo, Tiago Machado entre outros.

Aos colegas do SERGEO, Josymare, João Ratis, Célia Machado, Heverton entre outros.

Aos colegas de anos na militância de Geografia e áreas afins, os quais mesmo distantes contribuíram com trocas de idéias e incentivos fundamentais a realização deste trabalho: Liliam (UNICAMP), Denise (UFS), Leonardo Almeida (UNB); Gilberto Andrade de Oliveira (UNB), Daniel Neto, Carla Souza, Aurelielza Nascimento, Carlos Eduardo (Cadú) (UFBA), Márcia Andrade (UFC), Maria da Paz Rodrigues (UNEB), Sandra Damasceno, Aline Damião (UNEB), Crispina de Jesus (UNEB), Iaponan Candiz (UEPB), Hugo Andrada (PUC-RJ) e Silvana Bispo (UFBA) entre tantos outros.

À meu irmão Cláudio que, mesmo trabalhando em área científica oposta, sempre incentivou a realização deste trabalho.

À Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa de mestrado, Processo IBPG-0666-7.06/08.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pelo Edital Universal 2007, Processo 470746/2007-6.

À todos e a todas que contribuíram diretamente ou indiretamente MUITO OBRIGADO.

## EPIGRAFE

*“Não sou pior nem melhor do que  
ninguém. Sou apenas uma  
pessoa diferente”.*

Mauro Quintaes

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE TABELAS .....	15
LISTA DE QUADROS .....	16
RESUMO.....	17
ABSTRACT .....	18
1. INTRODUÇÃO .....	19
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	22
2.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	22
2.1.1. Definições e diferenciações.....	22
2.1.2. Histórico das mudanças climáticas .....	22
2.1.3. As diferentes concepções frente ao ritmo atual das mudanças climáticas.....	23
2.1.4. Eventos extremos e as mudanças climáticas.....	27
2.1.5. As mudanças climáticas e os recursos hídricos: a realidade presente.....	29
2.2. MODELAGEM CLIMATOLÓGICA.....	31
2.3. MODELAGEM HIDROLÓGICA.....	33
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	37
3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	37
3.2. MÉTODOS .....	41
3.2.1. Uso do solo .....	41
3.2.2. Dados pluviométricos .....	42
3.2.3. Dados de temperatura.....	45
3.2.4 Dados de evapotranspiração potencial .....	
3.2.5. Dados fluviométricos .....	46
3.2.6. Modelo de balanço hídrico .....	47

3.2.7. Cenários de mudanças climáticas e a temperatura média do ar.....	51
3.2.8. Projeção do escoamento superficial frente aos cenários de mudanças climáticas.....	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	53
4.1. USO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GOIANA.....	53
4.2. ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA .....	56
4.2.1. Índice de Anomalia de Chuva (IAC) mensal.....	58
4.2.2. Tendência da precipitação pluviométrica anual.....	61
4.2.3. O fenômeno de <i>El Niño</i> e os totais anuais pluviométricos.....	64
4.2.4. O fenômeno de <i>La Niña</i> e os totais anuais pluviométricos.....	66
4.3. OS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA.....	68
4.3.1. Cenário B2 e a projeção da temperatura média do ar.....	68
4.3.2. Cenário A2 e a projeção da temperatura média do ar.....	78
4.3.3. Calibração e funcionamento do modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído .....	87
4.3.4. Projeção do escoamento superficial nos cenários de mudanças climáticas B2 e A2.....	90
4.3.5. Possíveis impactos das mudanças do escoamento superficial na organização socioespacial da bacia hidrográfica do rio Goiana no futuro .....	96
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	99
REFERÊNCIAS.....	102

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Localização espacial da bacia hidrográfica do rio Goiana - Pernambuco	37
Figura 02: Solos da bacia hidrográfica do rio Goiana.....	38
Figura 03: Hierarquia fluvial e as principais sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Goiana.....	40
Figura 04: Tipologia climática da bacia hidrográfica do rio Goiana .....	41
Figura 05: Localização espacial dos postos pluviométricos utilizados na pesquisa ..	42
Figura 06: Estações fluviométricas utilizadas para calibração e simulação do escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Goiana .....	47
Figura 07: Organograma representando a estrutura do modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído simples desenvolvido para simulação do escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Goiana.....	49
Figura 08: Uso do solo da bacia hidrográfica do rio Goiana.....	54
Figura 09: Cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do rio Goiana.....	55
Figura 10: Resquício da floresta ombrófila no topo do tabuleiro da bacia hidrográfica do rio Goiana protegida pela “Lei do Topo do Morro” da Resolução do CONAMA, N° 303 .....	55
Figura 11: Normal climatológica pluviométrica mensal para a bacia hidrográfica do rio Goiana.....	56
Figura 12: Distribuição espacial da precipitação pluviométrica média anual no âmbito da bacia hidrográfica do rio Goiana.....	57

Figura 13: Distribuição espacial do relevo no âmbito da bacia hidrográfica do rio Goiana.....	57
Figura 14: IAC da bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período chuvoso de 1963 a 1992.....	59
Figura 15: IAC da bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período seco de 1963 a 1992.....	60
Figura 16: Desvio percentual e tendência linear dos totais anuais da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período chuvoso.....	62
Figura 17: Desvio percentual e tendência linear dos totais anuais da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período seco..	63
Figura 18: Desvio percentual e tendência linear dos totais anuais da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período chuvoso durante eventos de El Niño (intensidade moderada e forte).....	65
Figura 19: Desvio percentual e tendência linear dos totais anuais da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período seco durante eventos de El Niño (intensidade moderada e forte).....	66
Figura 20: Desvio percentual e tendência linear dos totais anuais da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período chuvoso durante eventos de La Niña (intensidade moderada e forte).....	67
Figura 21: Desvio percentual e tendência linear dos totais anuais da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período seco durante eventos de La Niña (intensidade moderada e forte).....	67

Figura 22: Projeção do modelo climatológico precis relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2020 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário B2).....	70
Figura 23: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2030 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário B2).....	71
Figura 24: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2040 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário B2).....	72
Figura 25: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2050 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário B2).....	75
Figura 26: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2060 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário B2).....	76
Figura 27: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2070 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário B2).....	77
Figura 28: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2020 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário A2).....	80
Figura 29: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2030 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário A2).....	81

Figura 30: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2040 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário A2).....	82
Figura 31: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média do ar mensal para o ano de 2050 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário A2).....	84
Figura 32: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média do ar mensal para o ano de 2060 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário A2).....	85
Figura 33: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média do ar mensal para o ano de 2070 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário A2).....	86
Figura 34: Dispersão do escoamento superficial observado e estimado na estação fluviométrica do Engenho Retiro .....	89
Figura 35: Dispersão do escoamento superficial observado na estação fluviométrica do Engenho Itapissirica .....	89
Figura 36: Relação entre o escoamento superficial estimado e o observado na estação fluviométrica do Engenho Retiro .....	90
Figura 37: Relação entre o escoamento superficial estimado e o observado na estação fluviométrica do Engenho Itapissirica.....	90
Figura 38: Escoamento superficial simulado para os anos de 2020 a 2070, cenários B2 e A2 e seu desvio percentual em relação à média histórica observada na estação fluviométrica do Engenho Retiro .....	93

Figura 39: Escoamento superficial simulado para os anos de 2020 a 2070, cenários B2 e A2 e seu desvio percentual em relação à média histórica observada na estação fluviométrica do Engenho Itapissirica.....96

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 01: Valores finais dos parâmetros utilizados para calibração do modelo .....88

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Características das principais classes de solos da bacia hidrográfica do rio Goiana.....	38
Quadro 02: Relação entre os anos com desvios percentuais de precipitações anuais acima de (-/+ ) 20% com os fenômenos <i>El Niño</i> , <i>La Niña</i> e padrão de Dipolo do Atlântico .....	64

## RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivo geral avaliar e simular os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Goiana, localizada na Zona da Mata Norte do estado de Pernambuco. Inicialmente, foram diagnosticados os possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre a precipitação pluviométrica. Para isso, aplicou-se o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) mensal, o desvio percentual pluviométrico anual e análise de tendência para os meses do período seco e chuvoso, assim como, para os anos de episódios de *El Niño* e *La Niña*. Em seguida, projetou-se sobre a bacia hidrográfica a temperatura média mensal do ar correspondente aos cenários de mudanças climáticas (B2 e A2) gerada pelo modelo climático regional PRECIS. A partir daí, projetou-se os efeitos deste elemento climático sobre o escoamento superficial para os próximos 60 anos utilizando-se de técnicas de geoprocessamento e do desenvolvimento de um modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído de três parâmetros. Os resultados indicam que não houve alterações consideradas na precipitação pluviométrica para ligá-la aos possíveis efeitos das mudanças climáticas globais. Já em relação às projeções das temperaturas, embutidas nos cenários de mudanças climáticas, estas proporcionam uma redução no escoamento superficial da bacia hidrográfica com o passar de cada ano, principalmente nos meses do período seco. Esses problemas poderão proporcionar sérias modificações na organização socioespacial dos municípios inseridos na bacia hidrográfica do rio Goiana.

**Palavras-chave:** cenários de mudanças climáticas; escoamento superficial e organização socioespacial.

## ABSTRACT

To present research had as general objective to evaluate and to simulate the impacts of the climatic changes on the resources water of the watershed of the river Goiana located in the Zone of the Mata Norte of the state of Pernambuco. Initially the possible effects of the climatic changes were diagnosed on the rainfall. For this we applied the Rain Anomaly Index (RAI) monthly, the percentage deviation and annual rainfall tendency analysis for the months of the dry and rainy periods, and for the years of El Niño and La Niña. Soon after was projected on the watershed the monthly average temperature of the air corresponding to the scenarios of climatic changes (B2 and A2) generated by the regional climatic model PRECIS. Starting from there, was projected the effects of this climatic element on the runoff for next 60 years being used GIS techniques and of the development of a model of semi-distributed monthly water balance of three parameters. The results indicate that there were not alterations considered in the rainfall to tie it to the possible effects of the global climatic changes. Already in relation to the projections of the temperatures, embedded in the scenarios of climatic changes these provide a reduction in the runoff of the watershed with passing of every year principally in the months of the dry period. Those problems can to proportion serious modifications in the organization sociospatial of the municipal inserted in the watershed of the river Goiana.

**Keywords:** scenarios of climatic changes, runoff and sociospatial organization.

## 1. INTRODUÇÃO

Os reflexos das mudanças climáticas globais são visíveis em várias partes do planeta a exemplo do que vem acontecendo com os recursos hídricos. Alterações nas dinâmicas globais da temperatura média do ar e das precipitações pluviométricas já afetam a quantidade e, conseqüentemente, na qualidade desse recurso vital para sobrevivência humana (MA *et al.*, 2008).

Nos mais variados países, principalmente nos subdesenvolvidos e nos considerados em desenvolvimento, a relação mudanças climáticas, uso do solo e recursos hídricos afetam os seus dinamismos socioespaciais. No continente africano e asiático, as reduções nas vazões de várias bacias hidrográficas desde a década de 1980 trazem consigo reduções na produtividade agrícola das grandes, médias e pequenas propriedades rurais e conturbações nas áreas urbanas de países como o Malavi, Tanzânia, Camarões, República Democrática do Congo, Congo, China, Índia entre outros. As conseqüências assentam-se no agravamento da falta de alimentos, desempregos e migrações. Acrescentam-se ainda, as disseminações de doenças de veiculação hídrica como a cólera, a Leshimaniose entre outras (MADULU, 2003; YONGJIAN, 2003; TINGEM, RIVINGTON & COLLS, 2008).

O que foi descrito anteriormente não se resume a Ásia e a África. No continente americano, bacias hidrográficas de várias regiões nos Estados Unidos e México estão registrando vazões tímidas acima da média histórica, e em outras reduções consideradas (BATES *et al.*, 2008). Conseqüentemente, nesses países, num futuro não tão distante poderá haverá modificações no modo de vida de suas populações.

No âmbito nacional, Marengo (2006a) aponta que algumas bacias de grande porte apresentam reduções no escoamento superficial e em outras, tendência de aumento. Problemática que aliada aos cenários de mudanças climáticas, sejam eles os mais otimistas e/ou os pessimistas, poderá acarretar mudanças drásticas na organização socioespacial urbana e agrária inseridas no território nacional.

Aos poucos, as investidas científicas se voltam para os estudos das relações mudanças climáticas e escoamento superficial em bacias hidrográficas de médio e pequeno porte espacial, porém, de grande importância para o dinamismo socioeconômico regional como é o caso da bacia hidrográfica do rio Goiana.

Neste contexto, é que se desenvolve esta dissertação, a qual tem como objetivo geral avaliar e simular os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Goiana localizada no estado de Pernambuco.

A estrutura da dissertação conta com quatro capítulos, além da introdução aqui apresentada. O primeiro é direcionado à revisão de literatura. Nele, estão expostos as discussões conceituais sobre as mudanças climáticas globais, as principais discussões bibliográficas sobre as causas deste fenômeno e sua relação com os eventos climáticos extremos, e principalmente com a disponibilidade dos recursos hídricos superficiais. Ainda neste capítulo, destacar-se-á a modelagem climatológica e hidrológica.

O segundo capítulo é reservado para os materiais e métodos. Inicialmente será apresentada a caracterização da área de estudo. Processo de suma importância para as atividades desenvolvidas neste estudo. Estão disponíveis nesta seção os principais aspectos físicos da bacia hidrográfica correspondente a estrutura pedológica, hidrográfica e climatológica.

O segundo capítulo expõe, ainda, os procedimentos metodológicos empregados para a realização da pesquisa. Serão destacados, neste capítulo, os detalhes das fontes de obtenção dos dados e, o processamento dos mesmos até atingir os resultados finais. Neste item, também serão detalhados os passos de construção do modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído simples empregado na simulação dos impactos das mudanças climáticas sobre o escoamento superficial da bacia hidrográfica.

No terceiro capítulo os resultados são expostos em paralelo com as discussões. Inicialmente, será destacada a análise do uso do solo na bacia hidrográfica. Diagnóstico importante, o qual subsidiou a montagem do modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído e, para projeção dos reflexos das mudanças climáticas futuras na dinâmica socioespacial dos municípios inseridos na bacia. Complementando este capítulo, estará contida a análise da precipitação pluviométrica, a qual tem como intuito identificar alterações no dinamismo deste elemento climático através da: análise mensal do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para toda a série histórica pluviométrica que vai de 1963 a 1992; diagnóstico do desvio percentual dos totais anuais pluviométricos e sua tendência linear. Também serão analisadas as tendências lineares e os desvios percentuais dos

totais anuais pluviométricos nos episódios de *El Niño*, *La Niña* com e sem a participação do padrão de Dipolo do Atlântico.

Ainda no terceiro capítulo, são espacializadas e discutidas as projeções da temperatura média do ar mensal nos cenários de mudanças climáticas B2 (otimista) e A2 (pessimista). Em seguida, são analisadas as projeções deste elemento climático sobre o escoamento superficial da bacia hidrográfica. Antes, será destacado o funcionamento do modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído simples. Por último, são elencados os possíveis impactos provocados pelos efeitos das mudanças climáticas sobre o escoamento superficial, os quais poderão mexer com a dinâmica socioespacial das populações dos municípios inseridos sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana.

O capítulo final apresenta as conclusões. Nele, além do fechamento do estudo, são levantados subsídios que possam auxiliar novos estudos sobre a temática discutida e, também, auxiliar nas políticas de gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica em estudo frente aos cenários de mudanças climáticas.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

#### **2.1.1. Definições e diferenciações**

Ayoade (2003) chama a atenção para a necessidade da diferenciação entre o que se convencionou chamar de mudanças climáticas de outros comportamentos que também proporcionam alterações na dinâmica do clima a nível regional e global. Idéia semelhante à de Arnell (2008), o qual destaca que, com as constantes discussões envolvendo as causas e os efeitos das mudanças climáticas, pesquisadores e o público em geral acabam associando as variabilidades no clima e no tempo atmosférico como mudanças climáticas.

Nesta perspectiva, tem-se uma tendência climática quando as constantes flutuações do clima seguem uma tendência, seja positiva ou negativa. Estas flutuações podem pendurar por um longo período de tempo, provocando assim, uma mudança no clima (mudança climática). Transpondo para escala temporal uma variabilidade no clima dentro de um período menor que 30 anos não pode ser considerada uma mudança no clima (BAUMGARTNER, 2002; AYOADE, 2003).

#### **2.1.2. Histórico das mudanças climáticas**

No decorrer do tempo geológico a Terra experimentou vários estágios de mudanças climáticas, oscilando momentos frios e quentes (TAVARES, 2007). Tomando como base o término da última glaciação, o mesmo autor destaca que entre 10.000 a 15.000 anos passados a temperatura terrestre oscilou em aproximadamente 1,5°C. Reforçando a idéia anterior, Surgio (2007) pontua três períodos paleoclimáticos onde houve uma alternância na temperatura terrestre. Os períodos são: a Última Glaciação; a Idade Hipsitérmica e a Pequena Idade do gelo.

A Última Glaciação foi marcada pela abrupta queda de temperatura. Já o período da Idade Hipsitérmica, ou Ótimo Climático, compreendido entre 9.000 a 2.500 anos, apresentou uma temperatura média do ar entre 1 a 2°C superior a atual, proporcionando, de acordo com Alves, M. C. (1998) a expansão do cultivo da vinha

na Inglaterra, navegabilidade de rios hoje no continente europeu inavegáveis e aumento do nível do mar Cáspio em 8 metros. Por último, o período da Pequena Idade do Gelo, compreendida entre 450 a 100 anos passados, período marcado pelo decréscimo da temperatura média do ar e a expansão das geleiras marinhas.

Passada a Pequena Idade do Gelo, a temperatura média do ar da terra voltou a subir, apresentando no século XX uma elevação em torno de 0,6°C, porém este acréscimo não foi sentido em todas as regiões e zonas climáticas do planeta (BAUMGARTNER, 2002; TAVARES, 2007).

Até então, não há dúvidas entre os pesquisadores que trabalham com a problemática das mudanças climáticas de que as constantes e seculares mudanças na dinâmica do clima global foram provocadas por fatores e fenômenos de cunho natural, ou seja, sem nenhuma participação humana.

### **2.1.3. As diferentes concepções frente ao ritmo atual das mudanças climáticas**

De acordo com Conti (2005), é na década de 1970 que as discussões sobre os danos provocados pelas mudanças climáticas atuais na atmosfera terrestre, tendo como principal alvo a participação humana, ganham consistências internacionais. Neste período, estudos apontaram para o processo de destruição da camada de ozônio, a qual atua na proteção do planeta contra a radiação ultravioleta.

A partir daí, deu-se início a uma mobilidade por parte da comunidade científica, política e pelos vários seguimentos da sociedade civil em busca de, primeiro entender o que estava acontecendo e, posteriormente, traçar metas para amenizar tamanha situação.

Os resultados preliminares apontaram para um buraco na ozonofera, sendo logo atrelado ao lançamento do Clorofluorcarbono (CFC) provenientes das atividades de origem humana. Como consequência política, em 1988 ocorreu no Canadá à assinatura do Protocolo de Montreal, o qual teve como meta principal a eliminação por completa das emissões dos CFCs (CONTI, 2005; ONÇA, 2007).

A presença do gás ozônio na região da baixa estratosfera formando a camada de ozônio é de fundamental importância para a manutenção da vida na Terra, visto que, esta camada barra a passagem da radiação ultravioleta em direção a superfície terrestre. Esta camada também tem a função de barrar a radiação

infravermelha, emitida pela superfície terrestre, contribuindo, assim, para o controle da temperatura do ar na superfície terrestre (ANDRÉ, 2006).

Já na década de 1990 explodem as discussões sobre os reais efeitos das mudanças climáticas sobre o ecúmeno terrestre. É neste período que a Assembléia Geral das Nações Unidas (AGNU) solicita ao Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) um relatório que explique o que vem acontecendo na dinâmica climática do planeta Terra.

Através deste pedido, o IPCC apresenta o resultado de um trabalho que mobilizou um grande número de cientistas de vários países. Os dados levantados apontaram uma variação positiva da temperatura média do ar entre 0,3 a 0,6°C a cada dez anos, sendo o intervalo de 1920 a 1940 e de 1975 até 1990 os períodos onde o aquecimento foi mais intenso (RIBEIRO, 2002; SERREZE & FRANCIS, 2006).

Como consequências desses estudos, em 1997 na cidade japonesa de Kyoto, ocorreu a Convenção do Clima onde foi formulado o Protocolo de Kyoto, efetivado oito anos depois. A essência desse protocolo centra-se em metas para a redução dos gases causadores do efeito estufa, como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ) entre outros. Os principais alvos foram os países mais industrializados, os quais teriam que reduzir pouco mais de 5% das emissões dos referidos gases até o ano de 2012 (BAUMGARTNER, 2002).

A partir da problemática exposta anteriormente, uma série de discussões foram surgindo, as quais objetivam um entendimento menos rebuscado sobre as causas e consequências deste fenômeno (mudanças climáticas). Nesta perspectiva, atualmente, circula na literatura que discute sobre a temática três linhas de posicionamentos: uma composta por pesquisadores que consideram o aquecimento global sobre responsabilidade das atividades humanas no processo de produção e reprodução do espaço geográfico, tendo nas emissões de gases-estufas os principais responsáveis. Este grupo não descarta a possibilidade de haver um aquecimento provocado por fatores naturais, porém pouco significativo (RIBEIRO, 2002; ANDRÉ, 2006; IPCC, 2007a; IPCC, 2007b; TOMMASELLI & SILVA, 2007).

Para um segundo grupo de pesquisadores, o planeta Terra vivencia um longo ciclo de variação da temperatura, sendo o aquecimento proporcionado apenas pelos processos naturais. Outra corrente de pesquisadores defende a inter-relação entre

as atividades humanas e os fenômenos naturais como principais responsáveis pelo estágio atual das mudanças climáticas (RIBEIRO, 2002; ONÇA, 2007; MOLION, 2008a, MOLION, 2008b).

### **2.1.3.1. Mudanças climáticas e os fatores antropogênicos**

Entre os defensores da participação humana atuando na dinâmica das mudanças climáticas atuais está o IPCC, grupo que através de seus estudos vem divulgando que desde 1750 a concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e de outros gases estufas, como o metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), vem aumentando na atmosfera terrestre. Crescimento que contribuiu para a elevação da temperatura média do ar desde o século passado (MENDONÇA, 2006).

Vale ressaltar que, o efeito estufa ocorre naturalmente no planeta. A energia solar de ondas curtas chega a Terra e boa parte desta radiação atravessa a atmosfera e é absorvida pela superfície e em seguida liberada para o “espaço” em forma de radiação infravermelha de ondas longas. Boa parte da irradiação liberada é absorvida pelo vapor d’água e pelos gases de efeito estufa distribuídos na atmosfera terrestre. A absorção da irradiação é de fundamental importância para o controle da temperatura na superfície terrestre, sem esta absorção a temperatura do ar na Terra seria em média  $-7^\circ\text{C}$ , ou seja, cerca de  $30^\circ\text{C}$  inferior a média atual (ANDRÉ, 2006; MOLION, 2008a).

Para Tommaselli & Silva (2007) não há mais dúvida de que o aumento dos gases do efeito estufa tem procedência nas atividades humanas, principalmente no incremento das atividades industriais. Os autores justificam suas afirmativas levando em consideração que desde o final do século XVIII, momento em que a concentração de  $\text{CO}_2$  começa a aumentar, esta transpôs o limite de 280 ppm para 368 ppm, ou seja, um crescimento de 30%. Aumento que também acompanha outros gases de efeito estufa, como o óxido nitroso e o metano.

Mendonça (2005; 2006) acrescenta que o alarmismo promovido por pesquisadores e pela mídia sobre o catastrofismo das mudanças climáticas acarreta preocupações, tendo o aspecto mais inquietante direcionado à acelerada aceitação por partes dos governos e da população de medidas oferecidas como inibidoras da

intensificação do efeito-estufa sem um estudo mais aprofundado, como é o caso da revolução dos bicombustíveis e da energia nuclear nos dias atuais.

### **2.1.3.2. Mudanças Climáticas e os fatores físicos-naturais**

Numa segunda corrente de pesquisadores, que discute sobre as causas das mudanças climáticas atuais, encontram-se os céticos, críticos dos resultados divulgados pelo IPCC. Para alguns deles, incluindo o físico-químico português Alves, M. C. (1998) é preciso ter mais discernimento quanto aos discursos voltados para as principais causas de mudanças na dinâmica da atmosfera global. Para este pesquisador, a tendência de crescimento da temperatura global na década de 1980, em comparação com as duas décadas anteriores, ainda não pode ser associada à participação humana e, sim, dentro de uma variabilidade do clima natural. Ele assinala ainda que a forte pressão social para que aponte imediatas conclusões pode mascarar uma realidade ainda não tão explorada.

Na mesma linha de pensamento, Molion (2008b) destaca o trabalho realizado por Jones e sua equipe no final da década de 1990. Pesquisa que demonstrou uma curiosa identidade entre as fases de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e as irregularidades da temperatura média global dos últimos 150 anos. Ou seja, nos dois períodos de aquecimento global (1925 a 1946 e de 1977 a 1998) há uma coincidência com as fases quentes da ODP. Por outro lado, o resfriamento ocorrido entre 1947 a 1976 não é explicado pelos defensores do aquecimento global provocado pelas atividades humanas.

Quanto às emissões dos gases de efeito estufa, Heib & Heib (2006) destacam que há um equívoco nos resultados que vem sendo divulgados pelo IPCC. Para os autores, o referido painel aponta que a concentração do gás carbônico e dos outros gases estufas na atmosfera terrestre, atingiu um pico em torno de 378 ppm, reflexo das intensas queimas de combustíveis fósseis. Para os autores, mais de 95% das emissões de gás carbônico são de origem natural, restando menos de 5% para as atividades humanas.

Outros fatores naturais devem ser levados em consideração, quando o tema de discussão for as causas das mudanças climáticas, entre eles os mecanismos de retro-alimentação (*feedback*), as atividades vulcânicas e os ciclos de Milankovitch,

este último exercendo pouca influência sobre as mudanças climáticas de curto prazo como as atuais (TENG, 2006; MOLION, 2008).

Os mecanismos de Retro-alimentação (*feedback*), “ocorre quando os sistemas subsequentes voltam a exercer influências sobre os antecedentes, numa perfeita interação entre todo o universo” (TEODORO & AMORIM, 2008, p.27). No caso do planeta Terra, este passa a responder a emissão de energia proveniente de sua fonte primária (sistema solar), proporcionando assim, significativos aquecimentos.

A retomada das atividades vulcânicas também pode está vinculada ao agravamento do efeito estufa. De acordo com Conti (2005) o lançamento de poeiras e aerossóis originários dos vulcões pode neutralizar o efeito estufa, proporcionado assim, uma alteração na dinâmica da temperatura média do planeta.

Teodoro & Amorim (2008) questionam também o alarmismo em volta das discussões sobre as mudanças climáticas e ataca as causas do aquecimento global divulgados pelo IPCC. Para os autores, se a emissão de gases estufas vem provocando o aumento da temperatura global, porque ocorreu uma queda na temperatura média global no momento em que o processo de industrialização tornou-se mais intenso? Questionamentos que o IPCC e os defensores das mudanças climáticas sobre forte participação das atividades humanas ainda não explicaram, segundo os autores.

#### **2.1.4. Eventos extremos e as mudanças climáticas**

Kunkel, Pielke & Changnon (1999), Praela (2004) e Sant’anna Neto (2005) destacam que os eventos climáticos extremos assumem importância significativa no cotidiano das sociedades. Importância dimensionada pelas frequências de ocorrência e suas intensidades aliada as consequências ambientais. Eventos que podem se transformar em uma ameaça caso ocorram em áreas sobre ocupação humana.

Bryant (2001) *apud* Sant’anna Neto (2005) destaca que dos 27 desastres naturais de maiores intensidades e impactos, 23 são proporcionados pelos eventos extremos climáticos. Destacam-se as secas, as enchentes regionais e os ciclones tropicais como os mais impactantes na estrutura da organização espacial. Entre os

eventos climáticos que se destacam na proporcionalização dos citados extremos climáticos está o *El Niño* e o *La Niña*.

Há evidências, em alguns estudos, que nos últimos anos a intensidade de atuação do fenômeno *El Niño* e do *La Niña* vem aumentando e com participação ativa nos eventos climáticos extremos. Há também, diagnósticos que apontam aumento da frequência do fenômeno *El Niño* nos últimos 30 anos. Fatores que para alguns pesquisadores já são possíveis evidências dos efeitos das mudanças climáticas globais atuando em inter-relação com esses fenômenos (ROPELEWISK & HALPERT, 1989; NICHOLLS *et al.*, 1996; BRADFORD & DAWES, 2003; BATES, *et al.*, 2008).

#### **2.1.4.1. A relação *La Niña*, *El Niño* e o Padrão de Dipolo do Atlântico**

Um fator que deve ser levado em consideração quando se tratar dos efeitos do *El Niño* e do *La Niña* sobre o território nacional, em particular a região nordeste, é o padrão de Dipolo do Atlântico. Este fenômeno pode ser caracterizado como a manifestação simultânea de anomalias da Temperatura da superfície do mar (TSM) configurando-se como sinais antagônicos sobre as Bacias Norte Sul do Atlântico Tropical. Conseqüentemente, este padrão térmico inverso, gera o aparecimento de um gradiente térmico meridional e inter-hemisférico sobre o Atlântico Equatorial (WAGNER, 1996; ALVES *et al.*, 1998).

Aves *et al.* (1998) e Menezes *et al.* (2008) destacam que a relação entre o Padrão de Dipolo e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ocorre de duas maneiras. A primeira acontece quando o Dipolo é positivo (anomalias positivas de TSM na bacia Norte e negativas na bacia Sul do Atlântico Tropical) proporcionando que o gradiente térmico aponte para o hemisfério norte e as anomalias de chuvas ligadas a ZCIT concentram-se ao norte da linha do Equador, provocando chuvas abaixo da média histórica no semiárido e parte do agreste e litoral da região Nordeste do Brasil. A segunda relação é o inverso da primeira e, ocorre na fase negativa do Padrão de Dipolo (anomalias negativas de TSM na bacia Norte e positivas na bacia Sul do Atlântico Tropical). Período em que o gradiente térmico assinala para o hemisfério sul, ocasionado assim, chuvas acima do normal habitual para o semiárido e parte do agreste e litoral da região nordeste do Brasil.

Neste contexto, Silva & Galvncio (2009) destacam que a variabilidade de chuvas sobre a região nordeste do Brasil se deve mais as relaoes com as condioes do Atlântico em sua porao tropical do que com as do Pacífico Tropical. Portanto, ao associar os fenômenos *El Niño* e *La Nia* aos padrões de precipitaao pluviométrica, principalmente no nordeste do Brasil, deve-se realizar uma análise frente às relaoes destes fenômenos com o padrão de Dipolo atuante.

### **2.1.5. As mudanças climáticas e os recursos hídricos: a realidade presente**

Cunha, Oliveira & Nunes (2008) e BARBIERI *et al.*(2009) destacam que os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos são sentidos tanto na oferta como na demanda. Segundo os pesquisadores, modificaoes no elemento climático (precipitaao) provocam uma variaao na distribuiao temporal dos recursos hídricos. Esse fator proporciona um aumento na procura por este recurso em algumas áreas (conflitos) e disponibilidade além da demanda em outras.

Em levantamentos realizados por Milly *et al.* (2005) e Marengo (2008) a bacia hidrográfica do rio Paraná e, outras da mesma região do continente sul americano, vem apresentando aumentos entre 3 a 30% nas vazoes, crescimento proporcionado pelo aumento na tendência de chuvas na região. Já para a bacia hidrográfica do rio Amazonas e do rio São Francisco não foram observadas tendências consideráveis em suas vazoes.

Já Bates *et al.* (2008) destacam que a gama de estudos que vem sendo divulgados referentes  relaao mudanças climáticas e recursos hídricos apresentam três resultados. Em algumas regioes do planeta vem sendo evidenciados aumentos significativos no escoamento superficial, a exemplo das altas latitudes e boa parte dos Estados Unidos. Em regioes localizadas na África ocidental, sul da Europa e parte da América do Sul vem sendo focalizadas diminuoes no escoamento superficial. Há também áreas que não são identificadas tendências negativas e nem positivas no escoamento superficial.

Na América do Norte, mais precisamente nos ambientes das planícies costeiras do sudoeste do Canadá, Sauchyn & Beaudoin (1998) conseguiram identificar através de análises em fotografias aéreas e imagens orbitais de satélites reduoes nos espelhos de água de alguns lagos, entre eles o Lago de Antlope. A

este impacto, os autores atribuem as constantes modificações no uso do solo impulsionado pela substituição das florestas de Prado pela agricultura e, também, as mudanças climáticas responsáveis pela redução das chuvas nesta localidade.

Indícios também dos reflexos das mudanças climáticas vem sendo detectados no fator disponibilidade de água em alguns rios da Grã Bretanha. De acordo com Marsh *et al.* (1999) a região sul e oriental da Inglaterra experimentou entre os períodos de 1988 e 1992 e entre 1995 e 1997 um pequeno aumento na temperatura média mensal do ar. A resposta desse acréscimo na temperatura se reflete nos regimes das vazões das bacias hidrográficas locais, proporcionando diminuições das mesmas. Conseqüentemente, acendeu-se um alerta sobre o futuro da disponibilidade de água para os diversos usos nesta ilha, principalmente frente aos futuros quadros das mudanças climáticas.

Estudos voltados para o planejamento da disponibilidade e da demanda dos recursos hídricos em bacias hidrográficas em várias partes do mundo também vem sendo desenvolvidos, principalmente aqueles relacionados às mudanças no clima. Binder (2006) destaca que na região nordeste do Pacífico já são identificados problemas relacionados às mudanças climáticas como aumento da precipitação durante o inverno e reduções nos verões e nas primaveras. Conseqüentemente, estas mudanças refletem na disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas desta região nos Estados Unidos, requerendo planejamento para os diversos usos da água nestas localidades.

Binder (2006) acrescenta que os planos nacionais de Bacias Hidrográficas nos Estados Unidos já vêm desenvolvendo estudos e incluindo em suas ações os reflexos das mudanças climáticas sobre a demanda de água para o consumo doméstico, industrial e agropecuário. Um exemplo é o que vem sendo realizado nas bacias hidrográficas do estado de Washington.

Tingem, Rivington & Colls (2008) analisaram os efeitos dos eventos extremos climáticos sobre a produção agrícola do milho em Camarões, país da África Subsaariana. De acordo com o estudo, a cada evento extremo, seja caracterizado pelo aumento das chuvas e/ou principalmente pela ausência considerável desta, há uma perda na produtividade do milho e gigantescos impactos sociais. Verificou-se também que, nos últimos anos, as ocorrências destes eventos extremos tornaram-se cada vez mais frequentes, fator que deve ser levado em consideração para as

futuras políticas que envolvam a distribuição dos recursos hídricos neste país, principalmente a água destinada para irrigação.

Na bacia hidrográfica do rio Amarelo, uma das maiores e mais importante da China, Liu, Yang & Cui (2008) analisando tendências da precipitação pluviométrica numa série histórica de 45 anos, identificaram mudanças abruptas em 35 dos 81 postos pluviométricos analisados. Entre os postos que apresentaram alterações dois mostraram tendências crescentes, enquanto que 33 ofereceram tendências negativas, todos eles localizados na porção centro-sul da bacia hidrográfica. A identificação de tendência de precipitação pluviométrica negativa na maioria dos postos da bacia hidrográfica do rio Amarelo, já reflete na vazão da bacia, a qual apresenta reduções nos últimos anos. Alia-se a este fator a intensificação do uso do solo proporcionado pelas atividades agropecuárias neste local.

Ao estudarem os impactos das mudanças climáticas e das atividades humanas sobre o escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Shiyang, semiárido chinês, Ma *et al.* (2008) também identificaram que as mudanças no clima vem sendo responsáveis por mais de 60% da redução do escoamento superficial. Se esse problema continuar no mesmo ritmo poderá num futuro, não tão distante, agravar os problemas sociais da região.

## **2.2. MODELAGEM CLIMATOLÓGICA**

No campo da climatologia a modelagem encontra terreno fértil e vem se desenvolvendo extraordinariamente. Destacam-se os modelos destinados a simulação da dinâmica da circulação atmosférica, modelos para balanço hídrico energético, modelos para a dinâmica regional climática e os voltados para previsões e caracterizações dos tipos de tempo (CHRISTOFOLETTI, 2004).

Atualmente, com as constantes discussões sobre as causas e os efeitos das mudanças climáticas globais, dois tipos de modelos climatológicos vêm sendo amplamente utilizados. São eles: os Modelos Globais Atmosféricos (GCMs) e os Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOCGMs) (MARENGO, 2006a; NÓBREGA & GALVÍNIO, 2009).

Estes modelos são capazes, através de uma representação tridimensional do sistema climático, descrever os principais processos físicos e dinâmicos, incluindo

também as inter-relações entre os componentes do sistema climático e os mecanismos de retro-alimentação entre os processos físicos. Assim, são capazes de simular climas no futuro em uma escala global e/ou regional, tendo como predição as mudanças nas concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera (MARENGO, 2006a, 2006b; BONSAI & PROWSE, 2006; NÓBREGA & GALVÍNIO, 2009).

Nas análises do IPCC (2001, 2007a, 2007b) são empregados os Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera. Modelos desenvolvidos por várias instituições distribuídas em vários países do mundo. Entre os modelos vale destacar o (CCCMA) do Centro Canadense de Modelagem e Análise Climática, o modelo (CCSR/NIES) do Centro de Estudos e Pesquisas Climáticas ligado ao Instituto Nacional para Estudos ambientais do Japão, o modelo (HadCM3) do Centro de Predição e Pesquisa Climática Hadley na Inglaterra, entre outros.

Dos modelos climáticos atmosféricos globais surgem os modelos climáticos regionais, os quais segundo Godim *et al.* (2008) e Akhtar, Ahmad & Booij (2008) são capazes de avaliar com mais detalhes os impactos das mudanças climáticas em escalas menores, a exemplo das bacias hidrográficas, cidades e cinturões agrícolas.

Entre os modelos climáticos de escala regional destaca-se o PRECIS (*Providing Regional Climates for Impacts Studies*) desenvolvido pelo centro de estudo meteorológico Hadley. Modelo que vem sendo bem utilizado pelos principais centros mundiais de pesquisas climatológicas. De acordo com Godim, *et al.* (2008) este modelo é originário de outro modelo regional, o HadRM3, procedente da base do modelo atmosférico global acoplado oceano-atmosfera HadCM3.

Jones *et al.* (2004) destacam que o PRECIS foi criado para facilitar os estudos em escalas regionais e gerar informações de alta resolução para mudanças climáticas nos países considerados em desenvolvimento. Modelo que está disponível para os centros de pesquisas de excelências dos referidos países, os quais são incumbidos de desenvolverem cenários de mudanças climáticas e analisarem seus impactos sobre a realidade regional desses países.

### 2.3. MODELAGEM HIDROLÓGICA

Galvínio (2005, p.12) destaca que atualmente um modelo hidrológico é definido “como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre”.

Nesta perspectiva, Christofolletti (2004) enfatiza que a quantidade e a diversidade de modelos hidrológicos descrevendo os fluxos hídricos nos sistemas ambientais físicos são amplas, perpassando desde a caracterização do ciclo hidrológico até os fluxos nas vertentes e nos solos. Essa variedade de modelos hidrológicos também recai sobre as escalas temporais de análises, variando desde as simulações mensais, perpassando pelas anuais, sazonais, diárias e até em escalas menores.

Um dos primeiros modelos de destaque na simulação hidrológica foi desenvolvido por Horton (1945). O autor simulou o escoamento superficial na escala das vertentes de bacias hidrográficas. Neste mesmo estudo, Horton hierarquizou a distribuição e a estrutura da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica, sendo o primeiro cientista a divulgar um estudo desta magnitude (BRUNET, FERRAS, & THERY, 1998; CRHISTOFOLITTI, 2004; GALVÍNIO, 2005; SANTOS, 2008).

Após os estudos de Horton vários modelos hidrológicos foram e, vem sendo desenvolvidos. Entre eles destaca-se o ACRU, o qual é um sistema de modelagem integrado, com bases físicas e conceituais focalizando o balanço de água nos diversos horizontes estruturais do solo e da rocha matriz em escala diária (CHRISTOFOLETTI, 2004). É um modelo de fundamental importância para o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos, visto que, os dados de saídas referem-se à água destinada para irrigação, para o abastecimento doméstico entre outras finalidades.

Outro modelo amplamente utilizado é o KINEROS (*Kinematic Erosion*), o qual foi desenvolvido para ser aplicado em pequenas bacias hidrográficas rurais e urbanas. Ele descreve processos baseando-se em dados de interceptação, infiltração, erosão e escoamento superficial, observando os efeitos da expansão urbana ou da construção de reservatórios em períodos de cheias e produção de sedimentos (RODRIGUES & ADAMI, 2005).

Segundo Silva (2002) o KINEROS é considerado um modelo de grande complexidade, isto por que há uma exigência dos dados requeridos para seu

funcionamento e, a necessidade de divisão da bacia hidrográfica em um conjunto de encostas.

O SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) é outro modelo hidrológico cujo objetivo é prever os efeitos dos diversificados usos do solo e da utilização de agrotóxicos sobre os recursos hídricos e a produção de sedimentos. É uma ferramenta importante para o planejamento dos recursos hídricos, assim como para a produtividade agrícola (FICKLIN, *et al.* 2009).

Já o modelo CASC2D (*Cascade Two-Dimensions*) simula a resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica de médio porte sujeita a uma determinada precipitação pluviométrica. A estrutura de composição e funcionamento do modelo inclui a interceptação da chuva pela cobertura vegetal, a infiltração e o escoamento superficial (SENARATH, *et al.*, 2000; GALVÍNCIO, 2005).

Xiong & Guo (1997) desenvolveram um modelo de balanço hídrico semi-distribuído simples de dois parâmetros. O objetivo foi analisar os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos superficiais de bacias hidrográficas no estado nacional chinês. A estrutura do modelo desenvolvido tem como dados de entrada a precipitação pluviométrica, a temperatura do ar e a evapotranspiração potencial. Os dois parâmetros estão relacionados com as características dos solos locais. Cinco anos depois Guo *et al.* (2002) aplicaram este modelo na bacia hidrográfica do rio Gangjiang e do rio Hanjiang. Os resultados foram satisfatórios e a partir daí, a base desse modelo vem sendo utilizado em vários estudos em diferentes regiões do mundo e com novas adaptações.

Um modelo é considerado semi-distribuído quando “as variáveis de entradas (e em alguns casos os parâmetros físicos) são informações médias sobre as áreas hidrologicamente similares (NÓBREGA, 2008, p.37). Santos (2009) acrescenta que nos modelos desta categoria as variáveis e os parâmetros dependem da unidade ambiental (espaço absoluto) e/ou do tempo.

Já no trabalho de Galvínio (2005) foi desenvolvido um modelo de balanço hídrico a superfície, o qual foi capaz de analisar os impactos da variabilidade das condições de uso do solo, da precipitação e da cobertura fitogeográfica referente à bacia hidrográfica do Açude Epitácio Pessoa no estado da Paraíba. O modelo desenvolvido tem como dados de entrada a porosidade e a profundidade do solo e as variáveis precipitação e evaporação. Houve também o emprego dos dados referentes à fração da cobertura vegetal e da estrutura topográfica da bacia.

Mouelhi *et al.* (2006) desenvolveram um modelo semi-distribuído de três parâmetros denominado de GR2M. O modelo utilizado para simular o escoamento superficial foi testado em 410 bacias distribuídas em diversas regiões climáticas, entre elas: semi-áridas, temperadas e tropicais úmidas presentes no Brasil, nos Estados Unidos, na Costa do Marfim, na Austrália e França. Houve também uma comparação com os resultados de outros modelos semi-distribuído de variados parâmetros. Os resultados também foram satisfatórios e podem servir como base no gerenciamento dos recursos hídricos através da bacia hidrográfica.

Com intuito de avaliar os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre a disponibilidade de água na bacia hidrográfica do rio Dongjiang, Jiang *et al.* (2007) testaram seis modelos hidrológicos para identificar o que melhor representaria os impactos investigados. Os modelos foram: o balanço hídrico climatológico de Thornthwaite–Mather; o modelo de balanço hídrico Vrije Universitet Brussel; o modelo desenvolvido por Xinanjiang; o modelo WatBal; o modelo Schaake e o modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído de dois parâmetros de Guo. Este último obteve ótimos resultados.

Ma *et al.* (2008) com o intuito de avaliarem as consequências dos impactos das variabilidades climáticas sobre a tendência do escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Shiyang, região semi-árida da China, desenvolveram também um modelo de balanço hídrico semi-distribuído aplicados para dados mensais e diários. As informações de entrada foram as mesmas utilizadas por Guo *et al.*, (2002) incrementadas por dados referentes ao estado atual da cobertura vegetal e do uso da terra. Os resultados mostraram que em alguns postos fluviométricos houve uma redução temporal do escoamento superficial, enquanto que, em outros houve um leve aumento. Informações que segundo os autores podem subsidiar programas de planejamento dos recursos hídricos na região da bacia hidrográfica estudada para os próximos cem anos garantindo uma estabilidade hídrica futura.

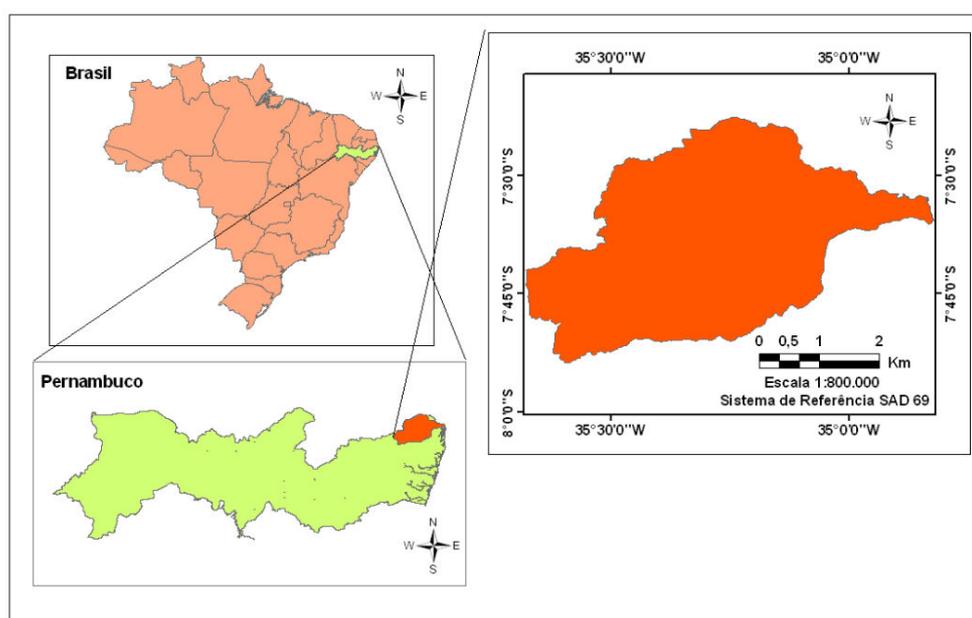
Duarte (2009) aplicou um modelo de balanço hídrico semi-distribuído simples de dois parâmetros (porosidade e profundidade) para analisar os impactos das mudanças climáticas sobre o escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Tapacurá no estado de Pernambuco. Nesse estudo, houve simulações de vários cenários de mudanças climáticas com resultados alternados, tendo a temperatura como principal reguladora da diminuição e/ou aumento da quantidade de água escoada.

Após a revisão de literatura, será dada ênfase no capítulo a seguir a localização da área de estudo e, paralelamente, a caracterização da mesma, seguida dos métodos empregados para alcançar o objetivo almejado neste estudo.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Goiana está localizada entre as coordenadas de 07°22'20" e 07°54'47" de latitude sul e 34°49'06" e 35°41'43" de longitude oeste no Estado de Pernambuco (Figura 01). Possui uma área de 2.847,53 Km<sup>2</sup> abrangendo 26 municípios da Região da Zona da Mata Norte pernambucana.



Fonte:  
Base Cartográfica: Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco  
(ZAPE, 2006)

Figura 01: Localização espacial da bacia hidrográfica do rio Goiana - Pernambuco

A estrutura pedológica da bacia hidrográfica do rio Goiana é composta pela presença de 11 classes de solos representadas no mapa da Figura 02. Estão presente o Neossolo Flúvico, o Neossolo Quartizarênico, o Neossolo Litólico, o Gleissolo, o Espodosolo, o Latossolo Amarelo, o Luvisolo, o Argissolo Amarelo, o Argissolo Vermelho, o Planossolo e o Argissolo Vermelho-Amarelo.

Para levantamento das características dos solos listados foram consultados: RadamBrasil (1981); Guerra & Botelho (1998); Silva, Silva & Barros [200-?]; Galvêncio, 2005; Palmieri & Larach (2006); Brasil (2007) e Santos & Galvêncio (2009a).

O Quadro 01 apresenta as características dos principais solos encontrados na bacia hidrográfica do rio Goiana, as quais foram utilizadas para montagem e calibração do modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído.

Quadro 01: Características das principais classes de solos da bacia hidrográfica do rio Goiana

Solos	Profundidade	Concentração de argila, areia e silte	Porosidade
Luvissolo	<0,80m		40 a 60%
Argissolo Amarelo	>2m	Concentração de argila no horizonte B textural (Bt)	40 a 60%
Argissolo Vermelho-amarelo	>2m	Concentração de argila no horizonte B textural (Bt)	40 a 60%
Argissolo Vermelho	>2m	Concentração de argila no horizonte B textural (Bt)	40 a 60%
Neossolo litólico	<0,60m	Alta concentração de areia	<40%

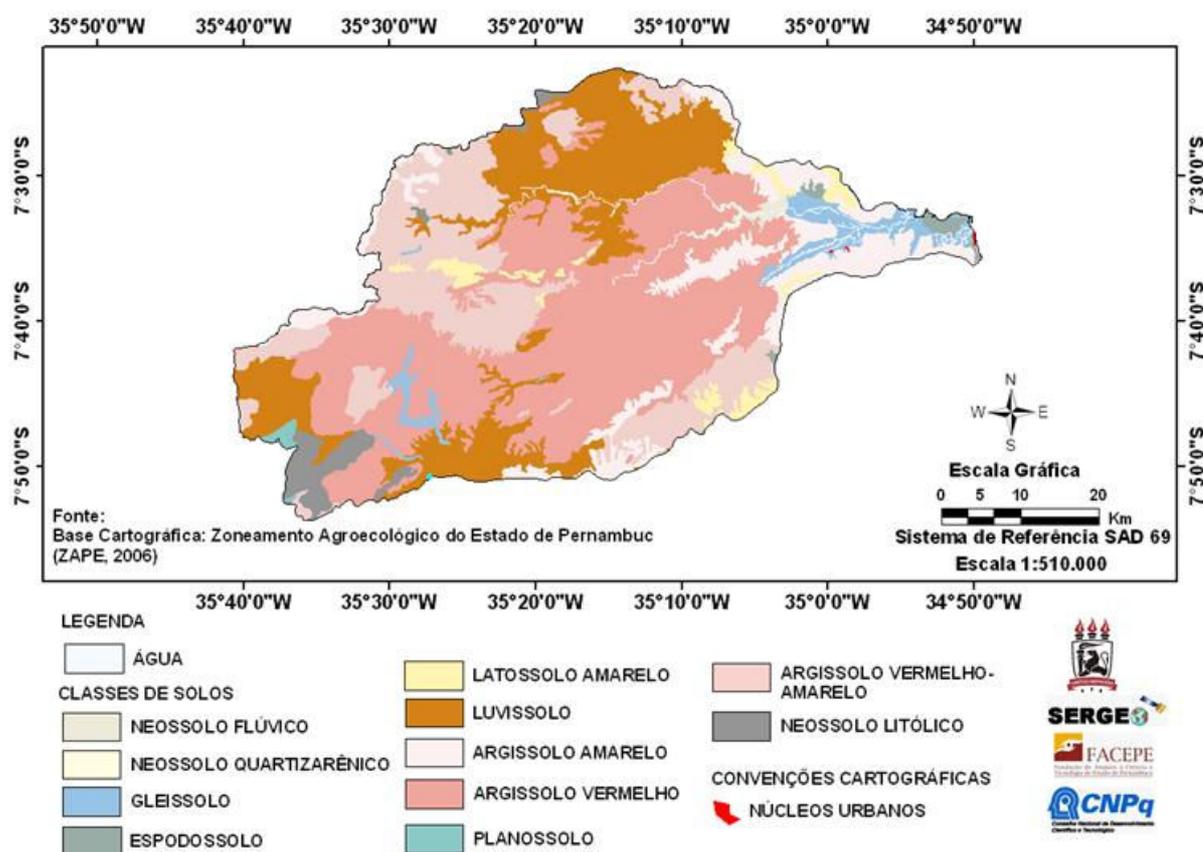


Figura 02: Solos da bacia hidrográfica do rio Goiana

A bacia hidrográfica do rio Goiana é considerada uma bacia exorréica, ou seja, seu curso de água principal, o rio Goiana, deságua no mar. Quanto ao padrão de drenagem esta é considerada uma bacia dentrítica, visto que, o desenvolvimento da rede de drenagem assemelha-se a estrutura de uma árvore, tendo o curso principal como o tronco e os tributários e sub-tributários como os galhos e folhas respectivamente, sem formar ângulos retos (CHRISTOFOLETTI, 2006).

Em relação ao ordenamento dos canais fluviais, a bacia hidrográfica do rio Goiana é considerada uma bacia de sexta ordem, levando em consideração a classificação de hierarquia fluvial de Strahler *apud* Christofolletti (2006). De acordo com esta classificação, os menores canais, que não possuem nenhum afluente, são de primeira ordem até atingir a confluência com outro canal de primeira ordem passando a formar um canal de segunda ordem. Um canal de terceira ordem é formado pela junção de dois canais de segunda ordem, podendo receber canais de primeira ordem também. Já os canais de terceira ordem são formados pela confluência de dois canais de segunda ordem, podendo também receber tributários de primeira e segunda ordem e assim sucessivamente.

A Figura 03 apresenta a hierarquia fluvial dos canais da bacia hidrográfica do rio Goiana e suas principais sub-bacias hidrográficas, destacando a sub-bacia do rio Tracunháem e a do rio Capibaribe-Mirim.

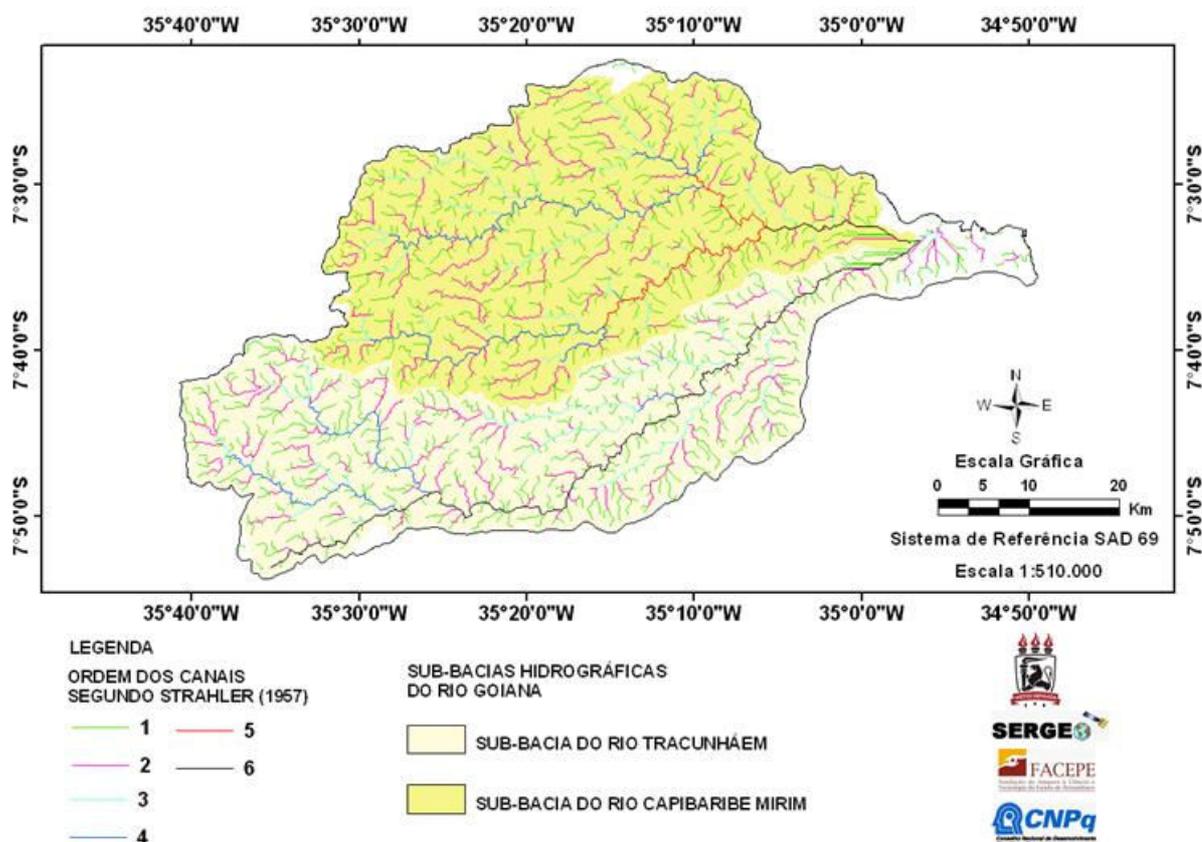


Figura 3: Hierarquia fluvial e as principais sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Goiana

Quanto à tipologia climática, Lacerda, Ferreira, Souza (2006), Santos, Galvêncio & Moura (2008b) e Santos & Galvêncio (2009b) destacam a presença do clima Úmido Subúmido, do Seco Subúmido e do Semiárido (Figura 04).

O clima Úmido Subúmido ocupa uma área que se estende do litoral até aproximadamente  $35^{\circ}8'$  de longitude oeste e volta a aparecer na encosta setentrional do Planalto da Borborema e nas serras do Mascarenhas. A média dos totais anuais pluviométrico varia entre 2350 a 1150 mm (sentido leste-oeste). Em relação à temperatura média anual do ar há uma variação entre 24 a 25°C.

O clima Seco Subúmido, encontrado na região central da bacia, apresenta uma média nos totais anuais de chuva variando entre 1150 a 1000 mm. Quanto à temperatura média do ar anual ocorre uma variação entre 23 a 24°C.

O clima Semiárido, o qual ocupa uma pequena área na porção sudoeste da bacia hidrográfica, apresenta uma média nos totais pluviométricos variando entre 1150 a 850 mm. A temperatura média do ar anual varia entre 23 a 24°C. Nota-se que a variação da temperatura no clima semiárido é semelhante à encontrada no clima Seco Subúmido. O motivo de tal semelhança é representado pela influência topográfica na região do clima semiárido.

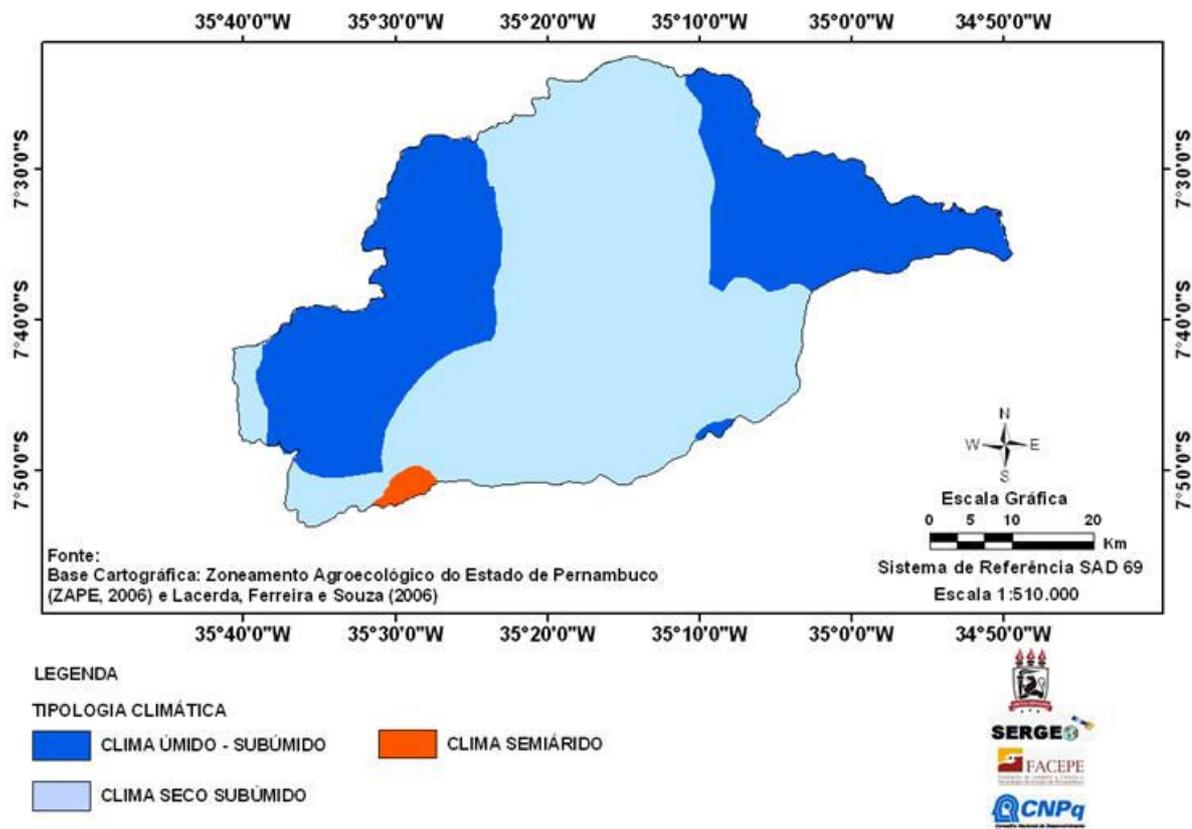


Figura 04: Tipologia climática da bacia hidrográfica do rio Goiana

## 3.2. MÉTODOS

### 3.2.1. Uso do solo

Para obtenção de informações sobre a estrutura atual do uso do solo na bacia hidrográfica do rio Goiana, foram consultados bancos de dados do Projeto PROBIO, extraindo do mesmo, dados vetoriais sobre as principais atividades socioeconômicas desenvolvidas sobre o território pernambucano.

Esses dados foram espacializados sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana através do uso de técnicas de geoprocessamento com auxílio do *software* Arcgis 9.3. Após a espacialização foi realizada a verificação da atualidade das informações. Procedimento concretizado através de atividades em campo e consultas a documentos e bibliografias produzidas sobre a temática.

### 3.2.2. Dados pluviométricos

Os dados referentes à precipitação pluviométrica foram adquiridos do banco de dados da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Inicialmente foram identificados 27 postos pluviométricos ao longo e próximos a bacia hidrográfica. Porém, devido a inconsistências dos dados, assim como, falhas de preenchimentos, foram eliminados 22 postos restando apenas cinco. Permaneceram os postos de Machados, Vicência, Aliança, Paudalho e Condado (Figura 05).

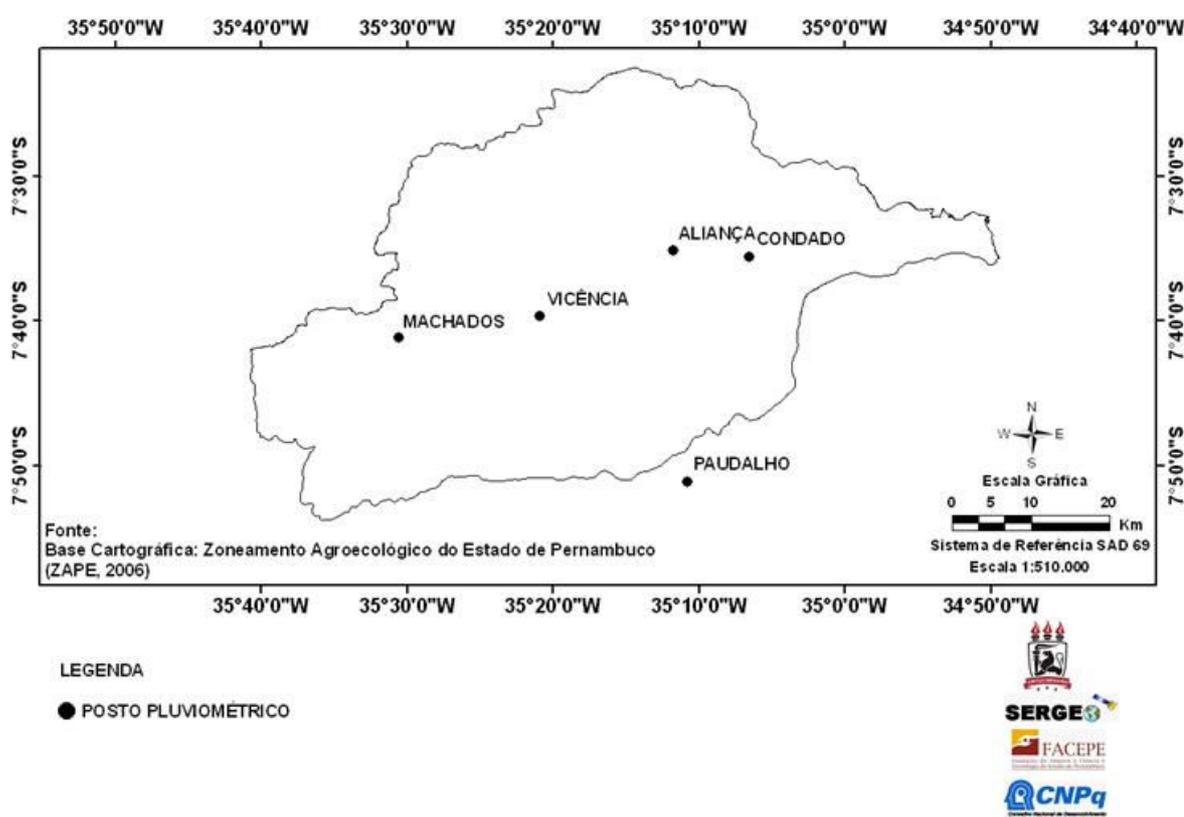


Figura 05: Localização espacial dos postos pluviométricos utilizados na pesquisa

Quanto à série histórica de precipitação pluviométrica, esta se estende de 1963 a 1992, período em que todos os meses apresentam dados sem falhas.

Com o intuito de obter a normal climatológica pluviométrica anual para compreensão da dinâmica da distribuição das chuvas sobre a bacia hidrográfica e para identificar o período considerado chuvoso e seco foi aplicada a Equação 1.

$$NC = \frac{X1 + X2 + X3 \dots X30}{Na} \quad \dots(1)$$

Em que,  $NC$  é a normal climatológica,  $X1, X2, X3 \dots X30$  são os totais anuais pluviométricos em cada ano da série histórica e  $Na$  corresponde ao número de anos da série.

Os valores quantitativos da normal para cada posto pluviométrico foram interpolados e espacializados sobre a bacia hidrográfica através do *software* Arcgis 9.3.

O método utilizado na interpolação foi a Krigagem ordinária metodologia que segundo Jakob (2002) utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para obter a interpolação. Ou seja, o método utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes e, a partir daí, criam-se novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados. Fatores que contribuem para a não tendenciosidade do estimador e variância mínima das estimativas (MELLO, *et al.*, 2004).

Foi também obtido neste estudo o IAC (Índice de Anomalia de Chuva) mensal que é considerado por uma série de pesquisadores como um índice de fácil manuseio e também eficaz quando se quer analisar a variabilidade pluviométrica frente aos desvios das condições normais (SOUZA, ALBUQUERQUE & LOPES, 2008; SILVA & GALVÍNIO, 2009). Neste contexto, através do IAC, foi analisada a variabilidade entre episódios considerados secos e úmidos em cada mês para a bacia hidrográfica do rio Goiana dentro da série histórica selecionada. Se o IAC for positivo significa que o mês analisado foi úmido, caso o índice seja negativo, o mês foi seco. A escala temporal adotada será a decadal.

Para obtenção do IAC mensal, com base nos trabalhos de Souza, Albuquerque & Lopes (2008) e Silva & Galvínio (2009), aplicou-se a Equação 2 e a 3. A primeira foi utilizada para anomalias positivas, ou seja, acima da média histórica. Enquanto que, a segunda equação, foi aplicada para anomalias negativas, cujos valores se posicionaram abaixo da média histórica.

$$IAC = 3 \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(M - N)} \right] \quad \dots(2)$$

$$IAC = -3 \left[ \frac{(N - \bar{N})}{(X - \bar{N})} \right] \quad \dots(3)$$

Em que,  $N$  é a precipitação pluviométrica observada no mês, ou seja, do mês que será obtido o IAC;  $\bar{N}$  é a precipitação média mensal da série histórica;  $\bar{M}$  representa a média das dez maiores precipitações do mês na série histórica e  $\bar{X}$  é a média das dez menores precipitações pluviométricas do mês na série histórica.

Para obtenção do desvio percentual anual da precipitação pluviométrica do período chuvoso e seco, para toda série histórica e, para os anos de ocorrência do fenômeno *El Niño* e *La Niña*, aplicou se inicialmente a equação 4, a qual serviu para agrupar os dados de chuvas dos cinco postos transformando-os em um único valor para a bacia hidrográfica.

$$PPi = \frac{X1 + X2 \dots X5}{Np} \quad \dots(4)$$

Em que,  $PPi$  é a precipitação anual na bacia hidrográfica,  $X1, X2, \dots, X5$  são as precipitações pluviométricas anuais nos postos e  $Np$  é o total de postos utilizados na série.

Obtidos os valores anuais das precipitações pluviométricas para a bacia hidrográfica, o próximo passo foi calcular o desvio percentual anual através da Equação 5.

$$\delta p\% = 100(PPi - PPm) / PPm \quad \dots(5)$$

Em que,  $\delta p\%$  é o desvio percentual pluviométrico anual,  $PPi$  é a precipitação anual na bacia hidrográfica e  $PPm$  representa a média histórica anual pluviométrica para a bacia hidrográfica.

Para obtenção das tendências temporais da precipitação pluviométrica do período chuvoso e seco para toda série histórica e, para os anos de ocorrência do fenômeno *El Niño* e *La Niña*, aplicou-se o método de regressão linear simples descrito na Equação 6. Esse método, que segundo Back (2001), é empregado para indicar alterações climáticas por meio do teste de significância do coeficiente angular. Se o intervalo de confiança do coeficiente ( $a$ ) não incluir nesse intervalo o valor zero a tendência é significativa.

$$Y = aX + b \quad \dots(6)$$

Em que,  $Y$  é o índice pluviométrico em função da variável  $X$ ,  $a$  é o intercepto da reta e  $b$  é o coeficiente de regressão, a qual representa a variação da variável dependente em relação à variável independente, enquanto que  $X$  representa a variável dependente.

Os anos de ocorrência e a intensidade dos fenômenos *El Niño* e *La Niña* foram obtidos do banco de dados do CPTEC/INPE (2009). Já a listagem dos anos de ocorrência do padrão de Dipolo do Atlântico foram extraídos dos trabalhos de Souza, Alves & Repelli (1998) e Menezes *et al.* (2008).

### 3.2.3. Dados de temperatura

Para funcionamento e calibração do modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído simples, são necessários dados de evapotranspiração potencial mensal. Dados que para serem obtidos precisam da temperatura média mensal do ar. Neste contexto, foi empregado o modelo Estimativa da Temperatura do Ar (Estima-T) para simular os dados de temperatura. Procedimento selecionado devido à falta de dados observados que acompanhasse a série histórica da precipitação pluviométrica.

O Estima-T foi desenvolvido por Cavalcanti & Silva (1994) e vem sendo testado e utilizado em vários estudos, entre eles os de Cavalcanti, Silva & Souza (2006) e Duarte (2009). Para simular a temperatura média mensal do ar, foram fornecidas ao modelo as coordenadas geográficas e a altitude de cada um dos cinco postos pluviométricos.

A série histórica da temperatura média mensal do ar obtida correspondeu à mesma escala temporal dos dados pluviométricos observados, ou seja, de 1973 a 1992.

### 3.2.4 Dados de evapotranspiração potencial

A evapotranspiração potencial é o quantitativo de água que é transferida para o sistema atmosférico através da evaporação e da transpiração de uma superfície terrestre extensa coberta por uma vegetação de baixo porte e, bem suprida de água (PENMAN, 1956 *apud* FILL, *et al.* 2005).

Para obter a evapotranspiração potencial mensal aplicou-se a Equação 7, a qual encontra-se no modelo de Balanço Hídrico Normal Sequencial por Thornthwaite e Mather de 1948. Modelo disponível em planilhas xls eletrônicas elaboradas por Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998).

$$ETP = 16 \left( 10 \frac{Tm}{I} \right)^a \left( \frac{Nhs}{12} \right) \left( \frac{Nd}{30} \right) \quad \dots(7)$$

Em que,  $ETP$  é a evapotranspiração potencial mensal em mm,  $Tm$  é a temperatura média mensal,  $Nhs$  é a média de horas por dia com insolação,  $Nd$  é o número de dias no mês, e  $I$  e  $a$  são obtidos pelas Equações 8 e 9 respectivamente.

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2Tm)^{1,514} \quad \dots(8)$$

$$a = 0,49 + 0,018I - 7,7 \times 10^{-5} I^2 + 6,75 \times 10^{-7} I^3 \quad \dots(9)$$

### 3.2.5. Dados fluviométricos

No banco de dados da Agência Nacional de Água (ANA) encontram-se depositados dados de vazão de cinco estações fluviométricas implantadas na bacia hidrográfica do rio Goiana. Destas cinco estações, somente duas possuem dados que coincidem com parte da escala temporal da série histórica da precipitação

pluviométrica utilizada nas análises desta pesquisa. As estações do Engenho Retiro e do Engenho Itapissirica foram as duas selecionadas (Figura 06). Na estação do Engenho Retiro a série histórica de vazão selecionada vai de 1978 a 1992, enquanto que, na estação do Engenho Itapissirica, a série vai de 1967 a 1992.

Para calibração do modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído simples foram utilizadas, para ambas as estações fluviométricas, as vazões mensais dos anos de 1978 a 1986. Já para obtenção da média histórica, utilizada na comparação com o escoamento simulado frente aos cenários de mudanças climáticas, optou-se pelo uso de toda a série histórica.

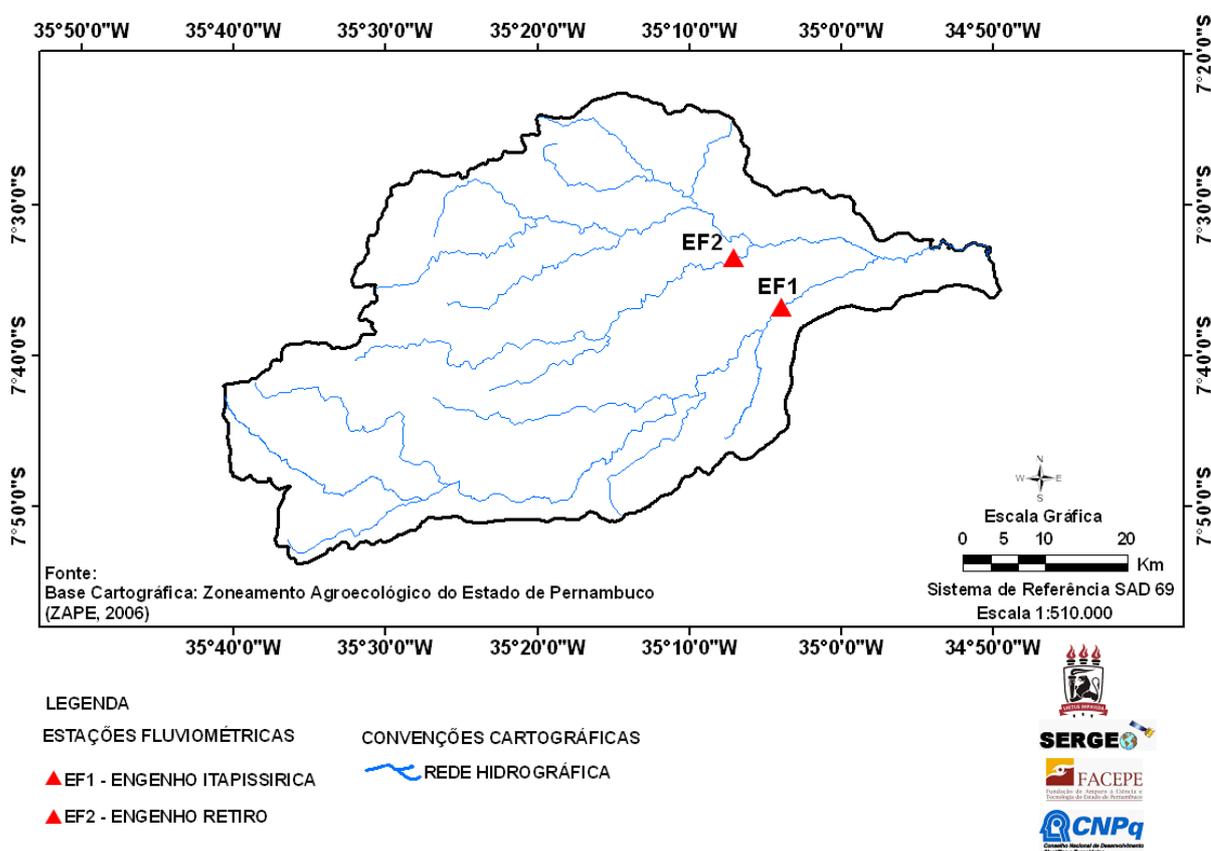


Figura 06: Estações fluviométricas utilizadas para calibração e simulação do escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Goiana

### 3.2.6. Modelo de balanço hídrico

A base de montagem do modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído simples foi espelhada nos trabalhos de Guo *et al.* (2002) e Duarte (2009) tendo algumas mudanças. A modificação ocorreu na inclusão de mais um parâmetro

relacionado à interceptação da chuva pela cobertura vegetal. Parâmetro não testado pelos autores citados.

A Figura 07 apresenta a estrutura de montagem e de funcionamento do modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído simples construído para a bacia hidrográfica do rio Goiana. Estrutura que tem como variáveis de entrada a precipitação pluviométrica e a evapotranspiração potencial, ambas em mm. Os parâmetros foram a porosidade em percentagem, a profundidade do solo em metros e a interceptação da chuva pela cobertura vegetal em percentagem.

Dos cinco postos pluviométricos utilizados como bases de fornecimento dos dados de chuvas e para geração da evapotranspiração potencial, três deles (Machados, Condado e Paudalho) foram empregados na calibração e simulação do escoamento superficial na estação fluviométrica do engenho Itapissirica. Enquanto que, os postos de Aliança e Vicência foram utilizados na calibração e simulação do escoamento na estação fluviométrica do Engenho Retiro.

A Equação 10 abaixo foi utilizada para o cálculo do escoamento.

$$Q_t = (S_{t-1} + Pt - Evp) \tanh[(S_{t-1} + Pt - Evp) / Sc] \quad \dots(10)$$

Em que,  $Q_t$  é o escoamento superficial médio mensal em mm,  $S_{t-1}$  representa o armazenamento de água no solo em mm no mês anterior;  $Pt$  é a precipitação pluviométrica (total mensal em mm);  $Evp$  é a evapotranspiração potencial em mm;  $\tanh$  é a tangente hiperbólica e  $Sc$  é a capacidade de campo da estrutura pedológica presente na área de estudo.

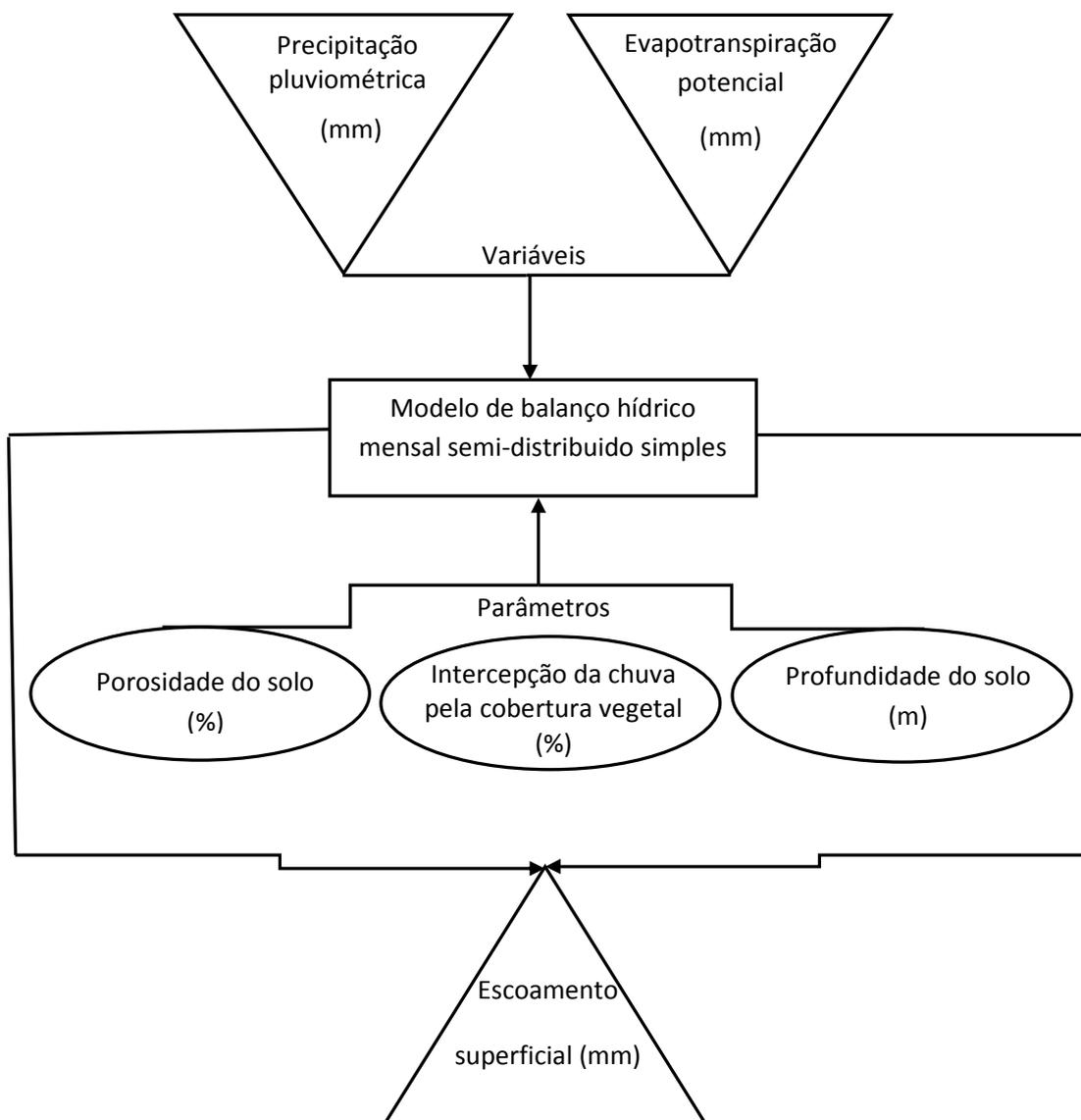


Figura 07: Fluxograma representando a estrutura do modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído simples desenvolvido para simulação do escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Goiana

O armazenamento de água no solo ( $S_t$ ) foi calculado com base na lei de conservação das águas apresentada na Equação 11.

$$S_t = S_{t-1} + ICV \times P_t - EVP - Q_t \quad \dots(11)$$

Em que,  $S_{t-1}$  é o armazenamento de água no solo no mês anterior e  $ICV$  representa o volume percentual de água interceptado pela cobertura vegetal.

Para obtenção da capacidade de campo ( $Sc$ ) foi empregada a Equação 12.

$$Sc = \text{Porosidade} \times \text{profundidade} \times 1000 \quad \dots(12)$$

A porosidade é um valor adimensional apresentado em porcentagem, enquanto que, a profundidade é oferecida em metros.

Montado o modelo, o próximo passo foi a calibração do mesmo. Para isso, utilizou-se o critério de eficiência de Nash & Sutcliffe (1970) (Equação 13), o critério do erro relativo (Equação 14) e o coeficiente de determinação obtido através da regressão linear. Medidas estatísticas bem empregadas entre os estudos que envolvem simulações hidrológicas, a exemplo dos trabalhos de Guo *et al.* (2002), Ajami *et al.* (2004), Galvêncio (2005), Mouelhi *et al.* (2006), Jiang *et al.* (2007), Fiering & Qrunnats (2007), Webb *et al.* (2008) e Mao & Cherkauer (2009).

$$R^2 = \left( \frac{F_0 - F}{F_0} \right) 100 \quad \dots(13)$$

Em que,  $R^2$  é o critério de eficiência de Nash e Sutcliffe,  $F_0$  é a soma do quadrado da diferença entre o escoamento superficial observado e a sua média e  $F$  é a soma do quadrado da diferença entre o escoamento superficial observado e o estimado. Quanto mais próximo for o  $R^2$  de 100% mais eficiente é a simulação.

$$RE = \frac{\sum (Q_i - \hat{Q}_i)}{\sum Q_i} 100\% \quad \dots(14)$$

Em que,  $RE$  é o erro relativo,  $Q_i$  é o escoamento superficial estimado,  $\hat{Q}_i$  é o escoamento superficial observado

Quanto mais próximo de zero for o valor do  $RE$ , melhor será a simulação.

Os dados do escoamento superficial observado utilizado para calibração do modelo correspondem aos anos de 1978 a 1986 para ambas as estações fluviométricas. Os ajustes em busca da calibração foram realizados nos parâmetros do modelo, respeitando os limites das características dos solos (porosidade e

profundidade) e a capacidade de interceptação da chuva pela cobertura vegetal da bacia hidrográfica.

### **3.2.7. Cenários de mudanças climáticas e a temperatura média do ar**

Os dados da temperatura média mensal do ar projetado para o futuro sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana foi adquirido da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Essas informações foram geradas pelo modelo climático regional PRECIS, desenvolvido pelo centro de estudos meteorológicos Hadley. As simulações realizadas para o território brasileiro compreendem dois cenários de mudanças climáticas, o B2 e o A2 e foram realizadas pelo CPETC. Posteriormente, houve uma revisão e modificações realizadas pela EMBRAPA.

Os dados de temperatura foram disponibilizados em planilhas no formato xls (eletrônicas) em grades que correspondem a uma equidistância de 50 km<sup>2</sup>. Para cada cenário de mudanças climáticas, foram simuladas temperaturas para os anos de 2020, 2030, 2040, 2050, 2060 e 2070.

De posse dos dados, estes foram espacializados sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana através do método de Krigagem ordinária executado pelo *software* Arcgis 9.3. A partir dos mapas gerados, foram realizadas as interpretações individualmente para os cenários B2 e A2.

### **3.2.8. Projeção do escoamento superficial frente aos cenários de mudanças climáticas**

Após a espacialização dos dados de temperatura do ar sobre a bacia hidrográfica, foram inseridos em cada mapa os cinco postos pluviométricos utilizados na coleta dos dados de chuva. A partir daí, foram extraídos, para cada um dos postos, os valores da temperatura média mensal do ar para cada mês dos seis anos projetados para cada um dos cenários de mudanças climáticas. O método de extração ocorreu através das informações armazenadas nas tabelas de atributos geradas pelo *software* Arcgis 9.3, as quais foram transformadas em novas planilhas no formato xls (eletrônicas).

De posse dos dados de temperatura média mensal do ar para cada posto pluviométrico, estas serviram de base para obtenção da evapotranspiração potencial utilizando a Equação 7, citada anteriormente.

A evapotranspiração potencial simulada foi inserida no modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído simples. A outra variável de entrada no modelo, a precipitação pluviométrica não foi oriunda de simulações, e sim, da normal climatológica obtida da série histórica de 1963 a 1992. Posicionamento adotado, devido às grandes incertezas proporcionadas pelas simulações pluviométricas para a região Nordeste do Brasil.

O produto final foi apresentado em gráficos, os quais comparam as projeções entre os cenários B2 com as projeções do A2 e, destes com a média histórica observada.

Houve também a obtenção dos desvios percentuais entre as projeções dos escoamentos nos cenários B2 e A2 com a média histórica observada. Para isso, foi utilizado desvio de acordo com Equação 15.

$$\delta p\% = 100(Q_i - Q_{mo}) / Q_{mo} \quad \dots(15)$$

Em que,  $\delta p\%$  é o desvio percentual mensal do escoamento superficial,  $Q_i$  é o escoamento superficial mensal simulado e  $Q_{mo}$  é a média histórica do escoamento superficial observado.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. USO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GOIANA

A Figura 08 apresenta o uso do solo na bacia hidrográfica do rio Goiana. É possível observar que os dois principais usos estão voltados para agricultura e a agropecuária, ambos com o predomínio da cana-de-açúcar, reforçado pelas Figuras 09 e 10. Essas atividades ocupam 30 e 60% da área da bacia respectivamente. Ainda, há a presença da cobertura fitogeográfica composta pelos resquícios da vegetação original ou secundária e pelas formações pioneiras. Os resquícios ocupam cerca de 10% da bacia hidrográfica. A prática agrícola e agropecuária na bacia hidrográfica, sobre forte influência da cana-de-açúcar, se estende desde o período colonial até o atual. Prática que, aos poucos, vem substituindo a cobertura vegetal original (KOFFLER *et al.*, 1986).

Segundo Cavalcanti *et al.* (2003) uma das últimas expansões em massa do cultivo da cana-de-açúcar ocorreu durante os incentivos gerados pelo Programa Nacional do Álcool (Proalcool) nas décadas de 70 e 80 do século passado. Durante dez anos, mais precisamente entre 1975 a 1985, a expansão do cultivo deste vegetal passou a ocupar grandes áreas até então ocupadas pela cobertura fitogeográfica primária e secundária. Deste período, até o atual, houve poucas alterações em relação aos avanços e recuos desta atividade.

Os resquícios da vegetação original e/ou secundária são formados pelas: Floresta Estacional Semidecidual Submontana; Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas; Floresta Ombrófila Aberta Submontana; Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas; Floresta Ombrófila Densa Submontana e Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas. Estão em sua maioria protegida em pequenas reservas florestais (Figura 10), em grande parte localizadas no setor leste da bacia hidrográfica assentadas sobre: os tabuleiros costeiros da Formação Barreiras; as Planícies Litorâneas; a Depressão Pré-Litorânea e sobre o Argissolo Vermelho e o Luvisso (RADAMBRASIL, 1981; KOFFLER *et al.*, 1986).

Já as Formações Pioneiras são subdivididas em dois grupos, as sobre influência fluviomarinha e o grupo sobre influência marinha. O primeiro é composto pelos manguezais, comunidades microfanerofíticas arbóreas de ambiente salobro assentados sobre o Gleissolo e principalmente sobre o Espodossolo, ambos

inseridos nas Planícies Litorâneas sobre a estrutura geológica dos Sedimentos Turfáceos de ambiente flúvio lacustre. Em relação à estrutura vegetal sobre influência marinha, destacam-se as formações herbáceas assentadas sobre o Neossolo Quartzarênico que recebem influência direta das águas do Oceano Atlântico (RADAMBRASIL, 1981; BRASIL, 1992; SANTOS, GALVÍNCIO & MOURA, 2008a).

Representando pequenas proporções do uso do solo na bacia hidrográfica do rio Goiana, encontram-se a carcinicultura no exutório da bacia e os assentamentos urbanos.

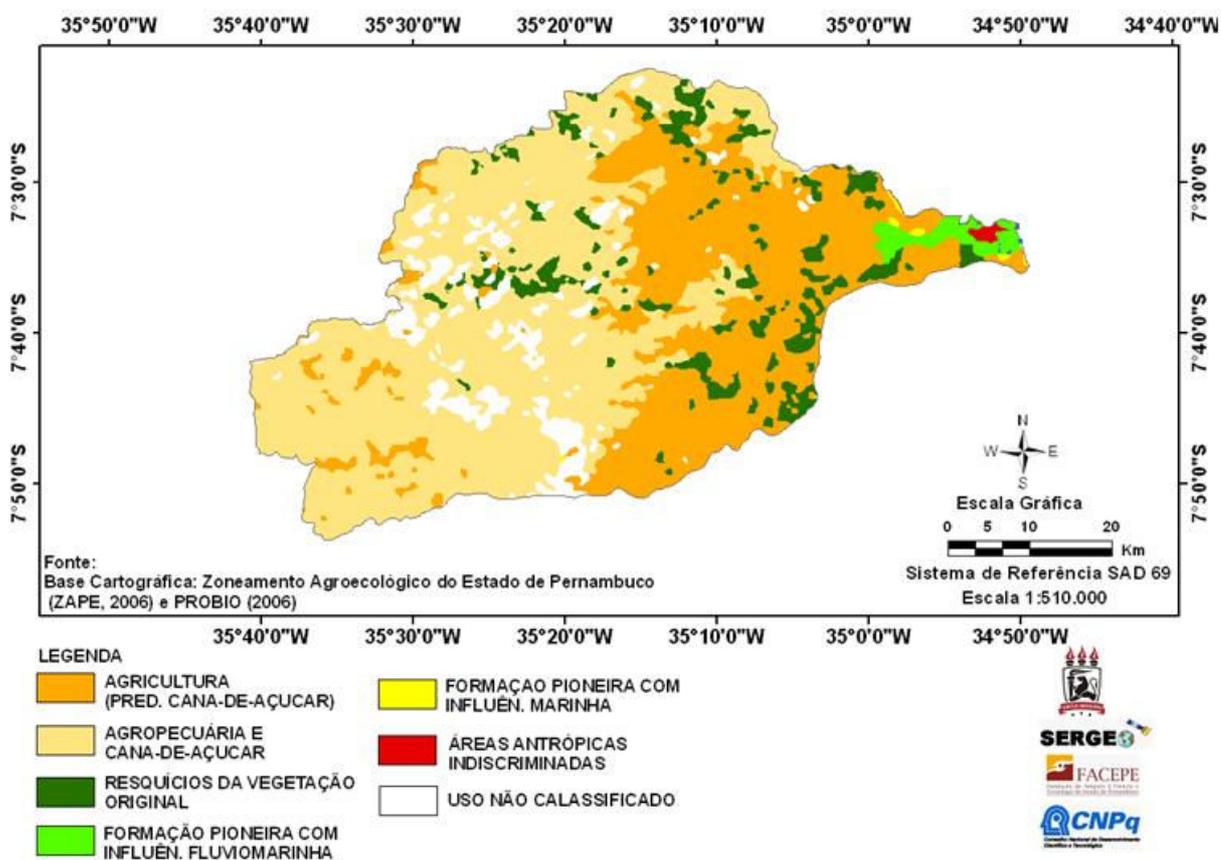


Figura 08: Uso do solo da bacia hidrográfica do rio Goiana



Figura 09: Cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do rio Goiana. Coordenadas:  $35^{\circ}27'52''\text{W}$  e  $7^{\circ}38'39''\text{S}$  (Fonte: pesquisa de campo, ago. 2008)



Figura 10: Resquício da Floresta Ombrófila no topo do tabuleiro da bacia hidrográfica do rio Goiana protegida pela “Lei do Topo do Morro” da Resolução do CONAMA, N° 303. Coordenadas:  $35^{\circ}19'7''\text{W}$  e  $7^{\circ}30'59''\text{S}$  (Fonte: pesquisa de campo, ago. 2008)

## 4.2. ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

A Figura 11 apresenta a normal climatológica pluviométrica média mensal para a bacia hidrográfica do rio Goiana. Nota-se que o período de maior volume de chuva corresponde ao intervalo entre os meses de março a agosto. Observa-se que neste período, os meses de abril, maio, junho e julho apresentam uma média pluviométrica superior a 175 mm.

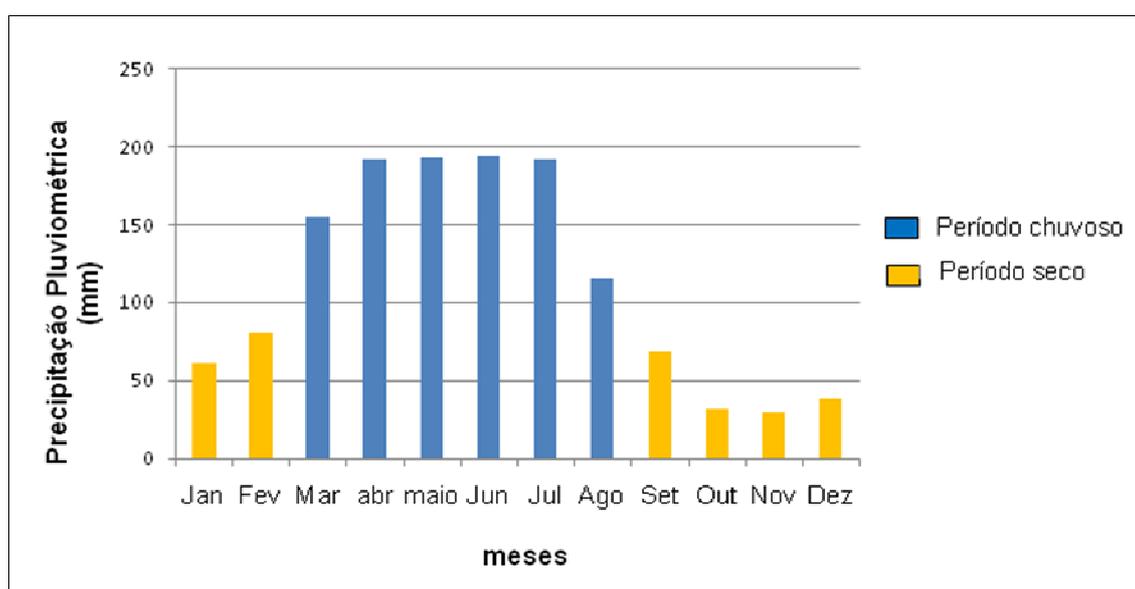


Figura 11: Normal climatológica pluviométrica mensal para a bacia hidrográfica do rio Goiana

Para o período que se estende de setembro a fevereiro, apesar da participação dos sistemas de leste na dinâmica atmosférica local, ocorre uma queda significativa na média pluviométrica, a qual chega a registrar nos meses de outubro e novembro 31 e 29 mm respectivamente. Reduções pluviométricas que tem plena participação do enfraquecimento das ondas de leste, principal sistema proporcionador de chuvas sobre a bacia hidrográfica segundo Nimer (1979) e Ferreira & Mello (2005).

A Figura 12 mostra a distribuição espacial da precipitação média anual no âmbito da bacia hidrográfica do rio Goiana-PE. Nota-se que a precipitação decresce de leste para oeste. Também é possível notar que há um acréscimo da precipitação média anual do norte ao sul da bacia. Sugere-se que essa variação ocorra devido a variação do relevo na bacia, como mostra a Figura 13.

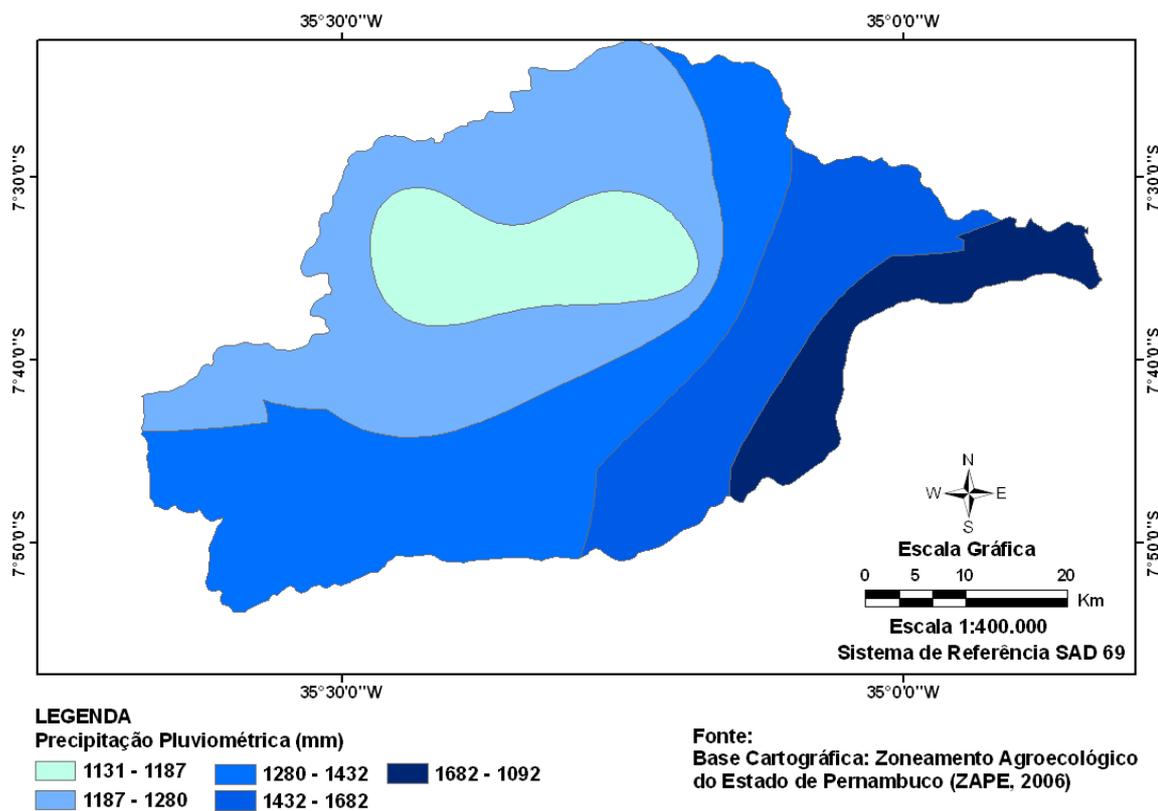


Figura 12: Distribuição espacial da precipitação pluviométrica média anual no âmbito da bacia hidrográfica do rio Goiana

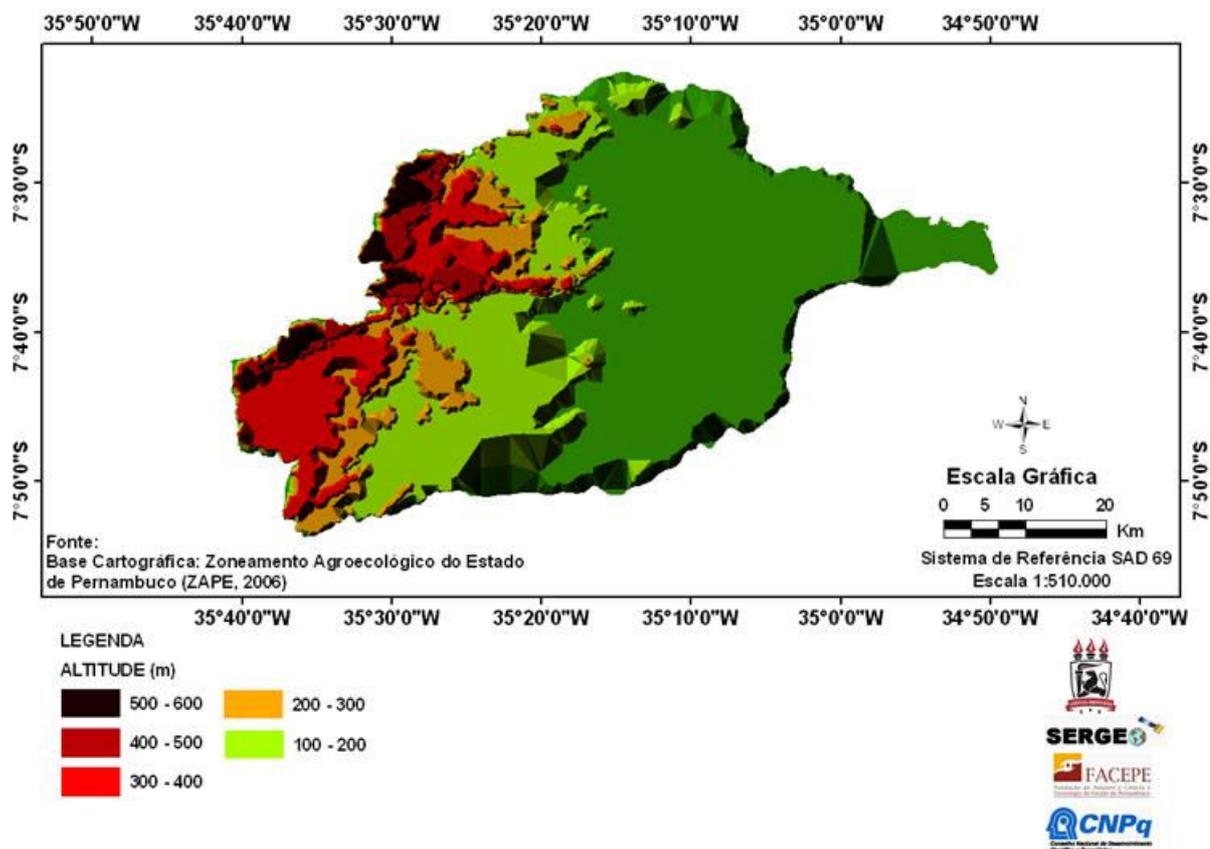


Figura 13: Distribuição espacial do relevo no âmbito da bacia hidrográfica do rio Goiana

#### **4.2.1. Índice de Anomalia de Chuva (IAC) mensal**

A Figura 14 apresenta o IAC para os seis meses do período chuvoso na área da bacia hidrográfica (março, abril, maio, junho, julho e agosto). Para a década compreendida entre 1963 a 1972, ocorreu um equilíbrio entre cinco anos úmidos com cinco anos secos nos meses de abril, maio e junho. No mês de março, oito anos apresentaram anomalias negativas, ou seja, anos secos, enquanto que, dois anos registram anomalias positivas, ou seja, anos úmidos. O mês de agosto foi o único no período discutido a apresentar a maioria dos anos com IAC positivo.

No período compreendido entre os anos de 1973 a 1982 os meses de abril, maio, junho e agosto apresentaram em 60% dos anos anomalias positivas. Já no mês de julho este percentual foi de 70%. A exceção é para o mês de março, o qual apresentou em 50% dos anos anomalias positivas e 50% negativa. No período correspondente a 1983 a 1992, a variação nas anomalias apresentada no período de 1973 a 1982 se repete.

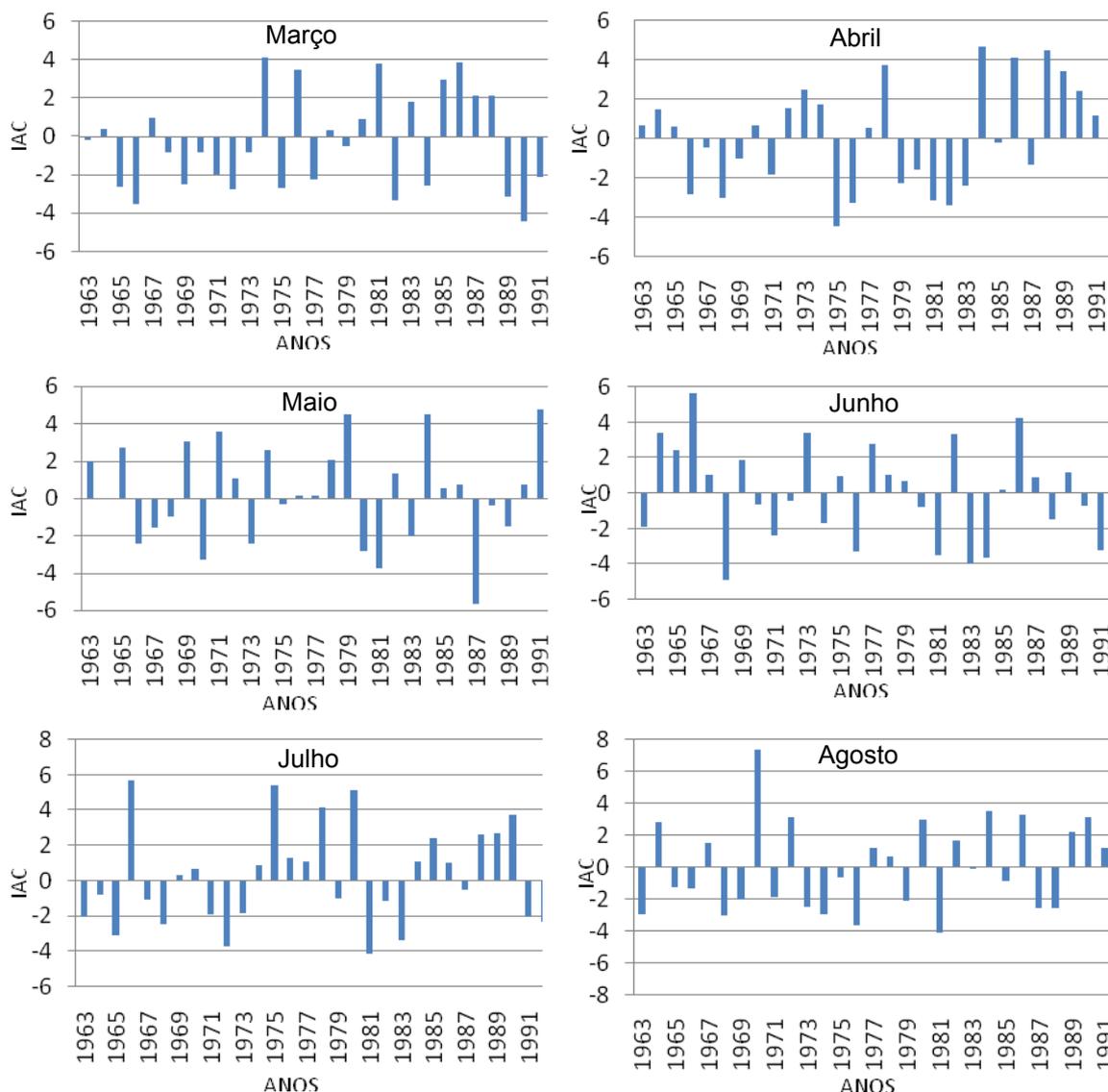


Figura 14: IAC da bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período chuvoso de 1963 a 1992

O IAC para os seis meses do período seco (setembro, outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro) é apresentado na Figura 15. Em geral, os meses do período seco da década que compreende os anos de 1963 a 1972 apresentaram na maioria dos anos IAC negativo. Entre eles, setembro e dezembro com 60% dos anos com IAC negativo, já em outubro, novembro e fevereiro este percentual aumentou para 70%. Com exceção do mês de janeiro que apresenta 50% dos anos IAC positivo e 50% negativo.

No período de 1973 a 1982, ocorre alta variabilidade entre o IAC negativo e positivo. Os meses de janeiro e fevereiro apresentaram em metade dos anos anomalias positivas e, em outra metade, anomalia negativa. Para os meses de outubro e novembro 60% dos anos apresentaram IAC negativo. Enquanto isso,

fevereiro e dezembro registraram IAC positivo em 60% dos anos. O que indica que nesses dois meses a maioria dos anos fugiu do padrão que os colocam entre os meses mais secos na região da bacia hidrográfica do rio Goiana.

O período que se estende de 1983 a 1992, apresenta uma variação de anomalia quase que semelhante com a década passada. Janeiro e fevereiro apresentaram em cinco anos IAC positivos e cinco anos com IAC negativo. Já os meses de novembro e outubro, ao contrário dos dez anos analisados anteriormente, apresentaram IAC positivo em 60% dos anos no primeiro mês e 50% no segundo, sendo que neste mês, o ano de 1985 não apresentou anomalia. Os dois meses que seguiram o padrão para o período seco na maioria dos anos foram setembro e dezembro. O primeiro apresentou em 80% dos anos IAC negativo, já em dezembro, este percentual foi de 70%.

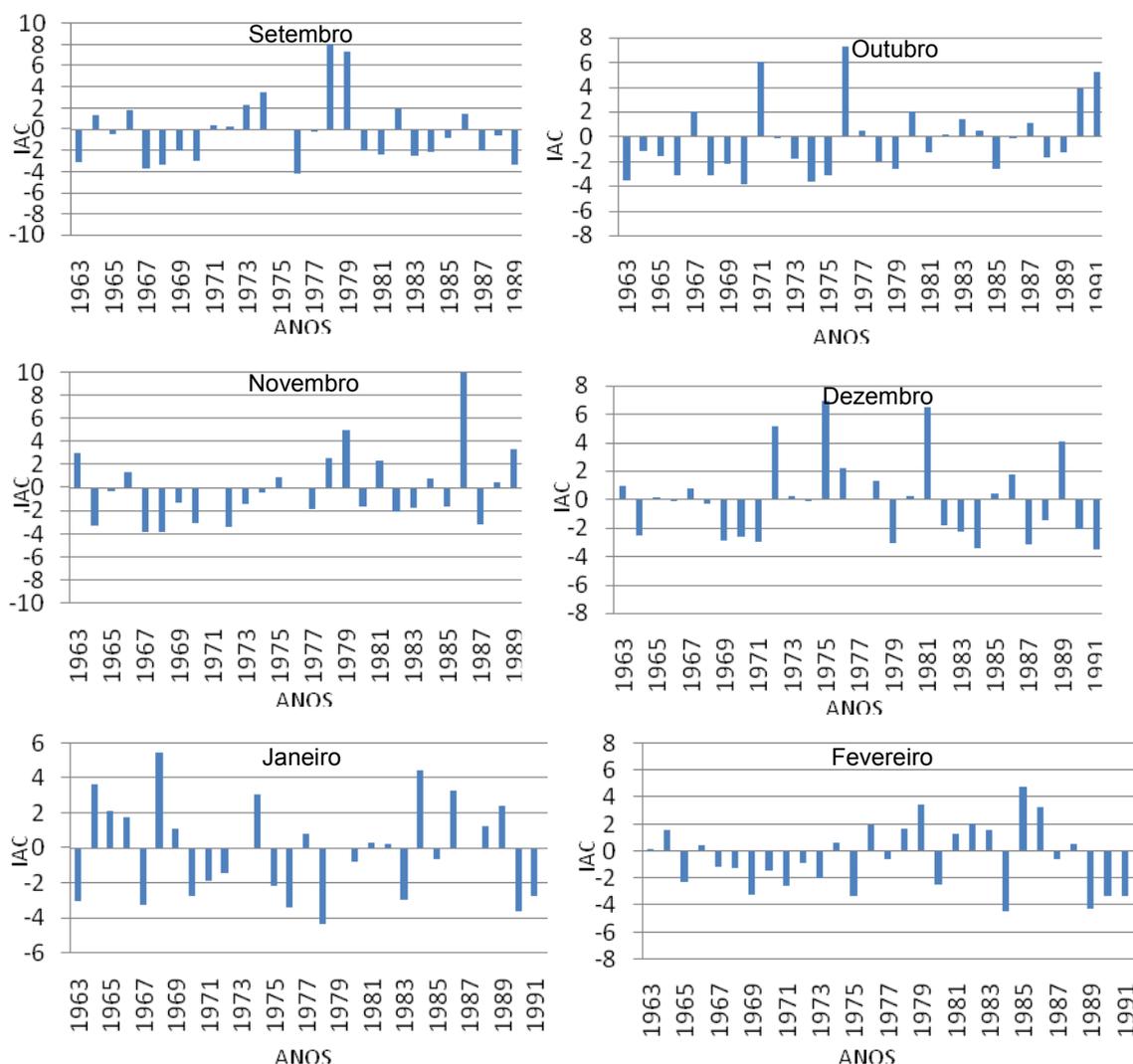


Figura 15: IAC da bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período seco de 1963 a 1992

A partir dos resultados expostos é possível aferir que nos primeiros dez anos do período analisado é apresentado um padrão típico para o período seco, ou seja, em cinco meses, o número de anos com IAC negativo foi superior ao quantitativo de anos com IAC positivo. Já nas décadas seguintes, houve uma grande variação, ocorrendo comportamentos de aumento ou redução no número de anos com IAC negativos ou positivos.

#### **4.2.2. Desvio percentual e tendência da precipitação pluviométrica anual**

A Figura 16 apresenta o desvio percentual e a tendência dos totais pluviométricos anuais sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana para o período considerado chuvoso. Para o período de 1963 a 1972, são visíveis três picos significativos. Ou seja, desvios percentuais positivos e negativos acima de 20%. No ano de 1964 ocorreu um desvio percentual positivo de 32%. Enquanto que, nos anos de 1968 e 1971, a Figura 16 apresenta desvios negativos de 37 e 22%, respectivamente.

De 1973 a 1982 é possível identificar mais três pontos de destaques, sendo um pico positivo e dois negativos. No primeiro foi registrado um desvio percentual positivo de 32,4% no ano de 1978, enquanto que em 1980 e 1981, são apresentados desvios negativos de 30 e 33,4%, respectivamente.

De 1983 a 1992, o maior registro negativo ocorreu no ano de 1983, o qual apontou um desvio percentual de -27,2%. Em relação aos desvios positivos, os anos de 1986 e de 1988 se destacam. O primeiro apresentou um desvio percentual de 42%, enquanto que, no segundo ano, o desvio foi de 23,4%.

Ainda para o período chuvoso, foi obtida a linha de tendência para a série histórica de trinta anos, a qual apontou uma tendência positiva. Essa tendência positiva se dá em função dos anos de 1986 e 1988 apresentarem desvio positivo. Diante exposto, não é possível afirmar que está havendo um aumento nos totais anuais de chuvas com o passar do tempo.

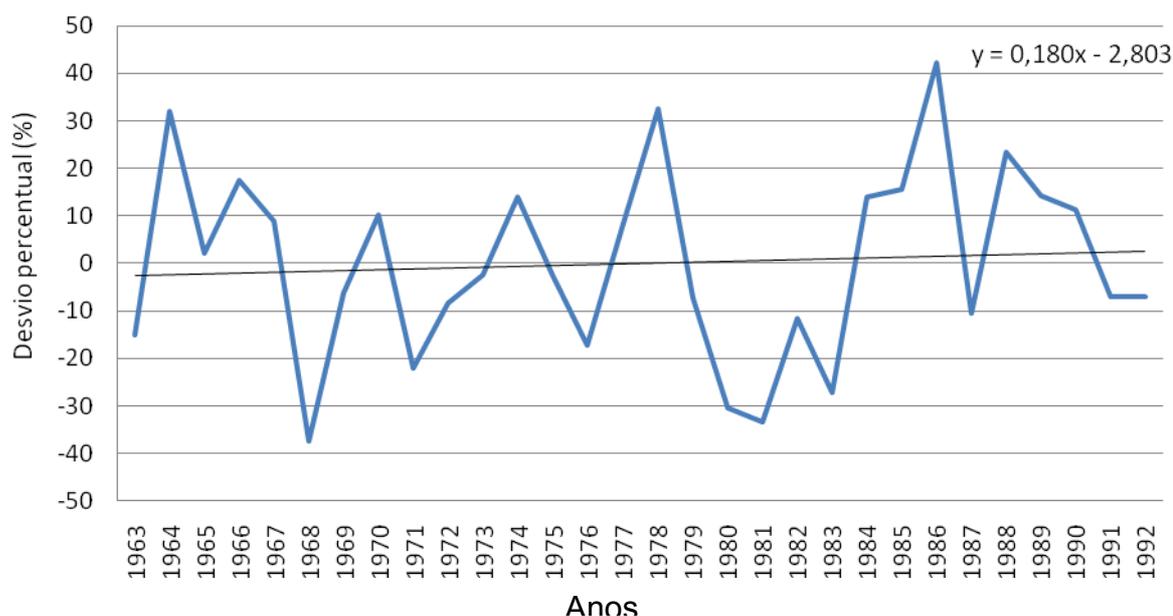


Figura 16: Desvio percentual e tendência linear dos totais anuais da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período chuvoso

Para o período considerado seco, a Figura 17 apresenta o desvio percentual dos totais anuais de chuva sobre a bacia hidrográfica em estudo. Entre 1963 a 1972 ocorreram cinco picos que ultrapassam o desvio de 20%, sendo dois positivos e três negativos. Os picos positivos ocorreram nos anos de 1964 e 1966 com desvios percentuais de 42 e 22,5%, respectivamente. Já os três picos negativos ocorreram nos anos de 1967, 1968 e em 1970, apresentando um desvio de -31, -38 e -55,8%, respectivamente.

Para a década de 1973 a 1982, ocorreram três picos de destaques, ambos com desvios percentuais positivos, Figura 17. No ano de 1974 o desvio foi de 23,4%, enquanto que, nos anos de 1978 e 1979 os desvios foram de 40,5 e 54,5%, respectivamente.

Já o período entre 1983 a 1992 registrou sete extremos, sendo dois positivos e cinco negativos. Os dois primeiros apresentaram desvios de 65,5 e de 44% nos anos de 1986 e de 1992, respectivamente. Já os picos negativos correspondente aos anos de 1983, 1984, 1987, 1990 e 1991 apresentaram desvios de: -22; -22,4; -27; -36 e -30,8%, respectivamente. Os desvios percentuais dos totais anuais de chuva no período seco não apresentaram tendências significativas.

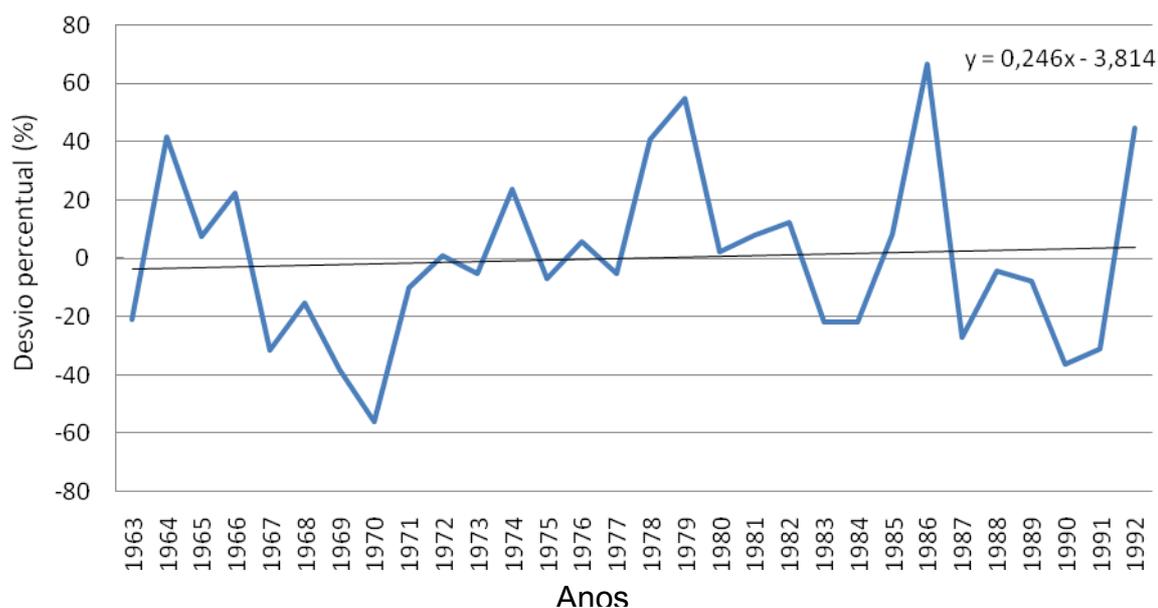


Figura 17: Desvio percentual e tendência linear dos totais anuais da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período seco

Diante das análises expostas acima, não foram verificadas tendências de aumento ou reduções nos totais anuais pluviométricos sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana.

Entre os anos que apresentaram desvios percentuais acima de (+/-) 20%, tanto no período chuvoso como no seco, a maioria coincidem com ocorrências de *El Niño*, *La Niña* e de padrão de Dipolo (Quadro 01).

Quadro 02: Relação entre os anos com desvios percentuais de precipitações anuais acima de (-/+ )20% com os fenômenos El Niño, La Niña e padrão de Dipolo do Atlântico

Ano	Fenômeno	Ano	Fenômeno
1964	<i>La Niña</i> (fraco) - Dipolo positivo	1983	<i>El Niño</i> (forte) e <i>La Niña</i> (moder.)
1966	<i>El Niño</i> (moder.) – Dipolo positivo	1984	<i>La Niña</i> (moder.)
1968	<i>El Niño</i> (moder.)	1986	<i>El Niño</i> (moder.) – Dipolo negativo
1970	<i>El Niño</i> (moder.) – Dipolo positivo	1987	<i>El Niño</i> (moder.)
1971	<i>El Niño</i> (moder.) – Dipolo negativo	1988	<i>El Niño</i> (moder.) e <i>La Niña</i> (forte)
1974	<i>La Niña</i> (forte) - Dipolo negativo	1990	<i>El Niño</i> (forte)
1976	<i>La Niña</i> (forte)	1991	<i>El Niño</i> (forte)
1978	<i>El Niño</i> (fraco – Dipolo positivo)	1992	<i>El Niño</i> (forte)
1979	<i>El Niño</i> (fraco) – Dipolo positivo		

Fonte: Adaptado de Souza, Alves & Repelli (1998); Menezes *et al.*, (2008) e do CPTEC/INPE, (2009)

#### 4.2.3. O fenômeno de *El Niño* e os totais anuais pluviométricos

A Figura 18 apresenta o comportamento da precipitação pluviométrica em anos de ocorrência dos eventos de *El Niño* de intensidade moderada e forte, sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana no período chuvoso. Nota-se que nove anos apresentam desvios percentuais negativos, ou seja, chuvas abaixo da média histórica, o que converge para boa parte da literatura sobre a temática, as quais apontam que a ocorrência deste fenômeno pode proporcionar secas para a região em que esta localizada a bacia hidrográfica (REIS, 1998; SILVA *et al.*,1999; HUDSON, 2003; DINIZ, SANTOS & SANTO, 2008). Porém, seis anos de *El Niño* apresentam desvios positivos, ou seja, chuvas acima da média histórica. Dos seis anos com desvios percentuais positivos, dois deles (1965 e 1986) ocorrem sobre a participação do padrão de Dipolo negativo, ou seja, padrão que proporciona chuvas acima da média histórica para a região da bacia hidrográfica. Para o ano de 1988, o desvio positivo teve participação do fenômeno *La Niña* de intensidade forte que teve início naquele ano.

Nos anos de 1966 e de 1970 ocorreu também Dipolo positivo. Ou seja, assim como o *El Niño*, este padrão tende a proporcionar chuvas abaixo da média histórica,

o que não ocorreu nestes dois anos. Para o ano de 1990 não foram registrados *La Niña* e nem padrões de Dipolo.

Quanto à tendência linear apresentada na Figura 18, esta não apresenta significância para afirmar que os episódios de *El Niño* vem proporcionando alteração (diminuições e aumentos) nos índices pluviométricos sobre a bacia hidrográfica no período chuvoso.

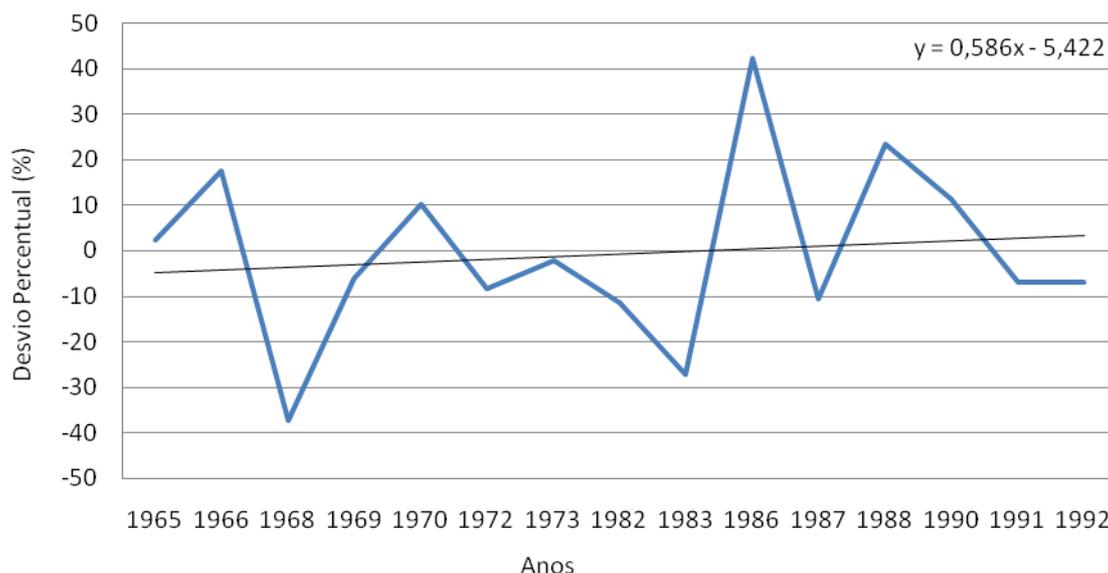


Figura 18: Desvio percentual e tendência linear dos totais anuais da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período chuvoso durante eventos de *El Niño* (intensidade moderada e forte)

A Figura 19 apresenta o comportamento dos desvios percentuais dos totais pluviométricos para o período seco sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana. Nota-se que 11 anos apresentaram desvios percentuais negativos. Apenas quatro anos apresentaram desvios positivos. Em 1966 e 1986 houve a influência do Dipolo negativo, já no ano de 1992 o desvio percentual positivo não foi atrelado nem ao *La Niña* e nem ao padrão do Dipolo. Também não apresenta tendência de aumento significativa.

Ao comparar o comportamento do *El Niño* do período chuvoso (Figura 18) com o período seco (Figura 19), os desvios positivos, os quais representam chuvas acima da média histórica, aparecem com uma constância maior durante o período chuvoso.

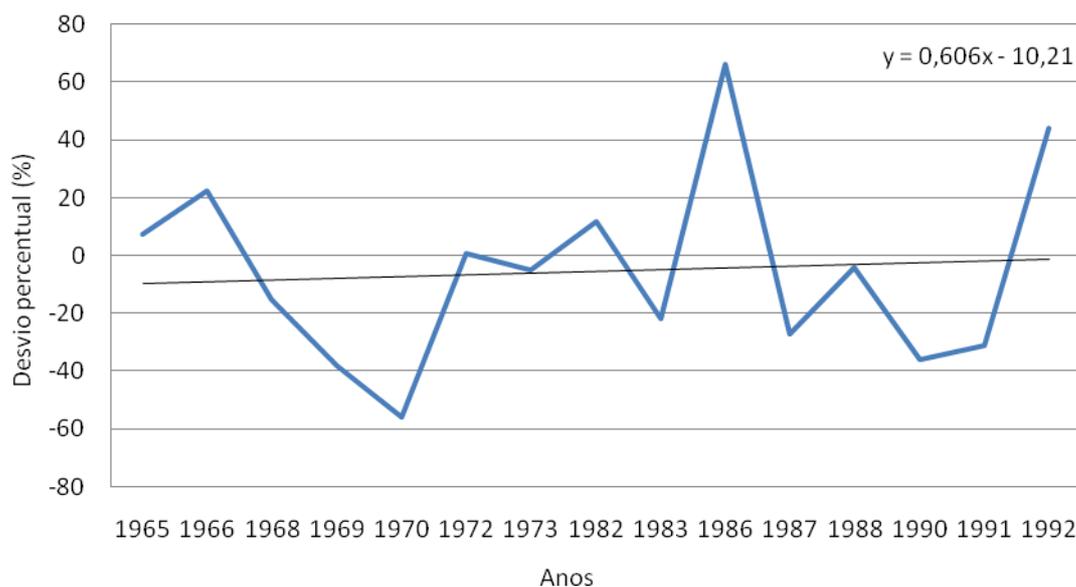


Figura 19: Desvio percentual e tendência linear dos totais anuais da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período seco durante eventos de El Niño (intensidade moderada e forte)

#### 4.2.4. O fenômeno de *La Niña* e os totais anuais pluviométricos

A Figura 20 apresenta os desvios percentuais dos totais anuais de chuva para o período chuvoso sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana em anos de ocorrência do fenômeno *La Niña*, intensidade moderada e forte. Dos oitos anos de ocorrência do fenômeno inserido na série histórica analisada nesta pesquisa, três apresentam desvios percentuais positivos e cinco anos apresentam desvios negativos.

No ano de 1964 o desvio percentual chegou a -34% sem influência do padrão do Dipolo e do *El Niño*. Já em 1965 o desvio é bem próximo da média com a participação do fenômeno *El Niño*. No ano de 1974 o desvio apresentado foi de -13,3% sem influência do Dipolo e do *El Niño*. Em 1988 o desvio negativo atingiu 23,3%, ano em que coincidiu com a presença do fenômeno *El Niño* em parte do ano, o qual predominou sobre os totais pluviométricos no período chuvoso da bacia hidrográfica. Já no ano de 1989 o desvio foi de -14,1% e, além do *La Niña*, atuou também o padrão de dipolo negativo, fenômenos que em nada influenciou sobre os totais pluviométricos neste ano. Essa série também não apresentou tendência significativa.

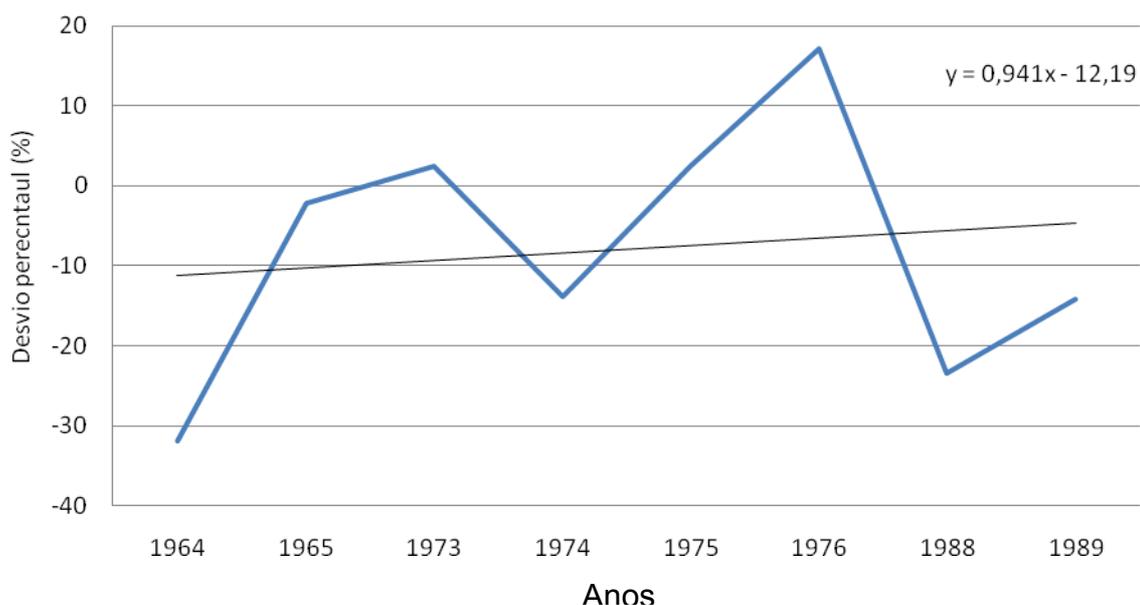


Figura 20: Desvio percentual e tendência linear dos totais anuais da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período chuvoso durante eventos de La Niña (intensidade moderada e forte)

Para o período seco (Figura 21), 50% dos anos de ocorrência do fenômeno *La Niña* apresentaram desvios percentuais positivos, o que é esperado para os episódios. Os quatro anos restantes apresentaram desvios negativos, ou seja, os totais pluviométricos anuais ficaram abaixo da média histórica, porém, não tão distantes. Em relação à linha de tendência, esta se apresenta negativa. Ou seja, com o passar do tempo, ocorreu uma tendência de queda do volume anual de chuvas nos episódios de *La Niña*.

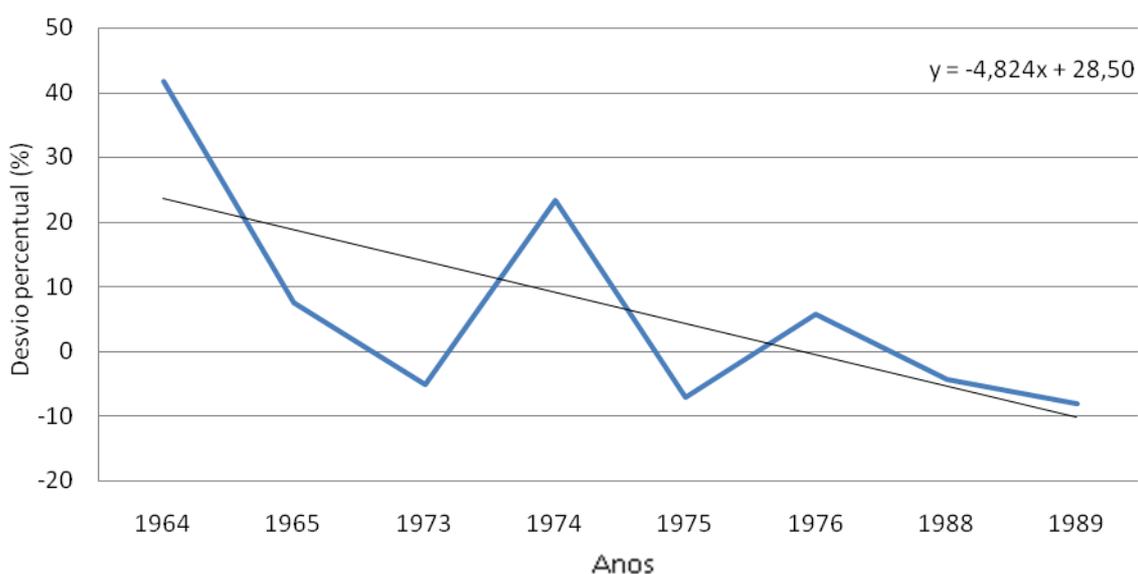


Figura 21: Desvio percentual e tendência linear dos totais anuais da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Goiana para os meses do período seco durante eventos de La Niña (intensidade moderada e forte)

### **4.3. OS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA**

#### **4.3.1. Cenário B2 e a projeção da temperatura média do ar**

Para facilitar as análises, inicialmente serão expostos os resultados das projeções para os três primeiros anos, os quais correspondem a 2020, 2030 e 2040 apresentados nas Figuras 22, 23 e 24, respectivamente.

Em março de 2020, primeiro mês do período chuvoso, a maior parte da bacia hidrográfica do rio Goiana apresenta uma temperatura média do ar em torno dos 25°C. No ano de 2030, esta mesma área apresenta 26°C, ou seja, um incremento de 1°C. Para o ano de 2040, a situação para este mês permanece semelhante à apresentada no ano de 2030, Figuras 22, 23 e 24.

Em abril, nota-se que a região oeste da bacia hidrográfica apresenta uma área onde a temperatura média do ar estará em torno de 24°C. Nessa mesma área, os anos de 2030 e 2040 passará a registrar uma temperatura média em torno dos 25°C. Outra mudança na espacialização da temperatura média do ar ocorre na região central da bacia hidrográfica. Nesta região, em 2020 a temperatura média projetada chega aos 25°C, ocupando mais de 50% da área da bacia hidrográfica. Porém, nos anos de 2030 e 2040, em grande parte desta área, a temperatura média está em torno dos 26°C. Ou seja, um incremento de 1°C.

Para o mês de maio a situação não é diferente das encontradas nos meses abordados anteriormente. Em 2020 projeta-se uma temperatura média em torno de 24°C, restando parte da região próxima ao litoral com uma temperatura média de 25°C. Em 2030 parte da bacia hidrográfica experimenta um avanço da faixa da temperatura média do ar de 25°C, a qual, reduz a faixa que antes apresentava uma temperatura média de 24°C. Em 2040, ocorre também o acréscimo de 1°C sobre a temperatura média do ar projetada para 2030, chegando a registrar na maior parte da bacia hidrográfica 26°C, Figuras 22, 23 e 24.

O comportamento espacial da temperatura média do ar projetado para os meses de junho e julho em 2020 são semelhantes. Para junho de 2030 há um acréscimo de 1°C em todas as três faixas de temperatura, as quais permanecem com os mesmos valores em 2040. Já para o mês de julho de 2030 os valores e a

especialização da temperatura média são semelhantes aos comportamentos apresentados no ano de 2020. Contudo, para 2040 há um incremento de 1°C nas diferentes faixas de temperatura, Figuras 22, 23 e 24.

Para o mês de agosto, último mês do período chuvoso, de 2020 a 2030 há um acréscimo de 1°C nas duas faixas de temperatura média do ar. Resultando em 25°C na faixa que se estende do leste ao centro da bacia hidrográfica e, a 24°C na faixa que vai do centro da bacia até o oeste da mesma, Figuras 22, 23 e 24.

Para os meses secos, iniciando por setembro, o modelo PRECIS projeta uma temperatura média do ar que varia entre 25 a 24°C. Valores que serão acrescidos em 1°C no ano de 2030 e se mantêm nas projeções para o ano de 2040. Já o mês de outubro, mantém a mesma temperatura nos três anos, as quais variam no sentido leste oeste da bacia entre 26 a 25°C. Em novembro, nos dois primeiros anos as temperaturas médias projetadas permanecem as mesmas, ou seja, variam entre 25 a 26°C. Já no ano de 2040, há um acréscimo de 1°C que atinge toda a bacia hidrográfica, Figuras 22, 23 e 24.

Para o mês de dezembro, as projeções apresentam para 2020 uma grande faixa de temperatura de 26°C. Área que se retrai com o pequeno avanço da faixa de 27°C nos anos de 2030 e 2040, porém sem muito destaque espacial.

Para o mês de janeiro de 2020 e 2030 são projetadas duas faixas de temperatura média do ar equivalentes a 26°C e 25°C, esta última com menor extensão. Já para o ano de 2040, as duas faixas mantêm seus contornos espaciais, porém são acrescidos 1°C em cada uma, Figuras 22, 23 e 24.

No mês de fevereiro de 2020, mais de 80% da área da bacia hidrográfica será submetida a uma temperatura média do ar na casa dos 25°C. No ano de 2030 será acrescido 1°C, proporcionando que a temperatura média chegue a 26°C em boa parte da bacia hidrográfica, Figuras 22, 23 e 24.

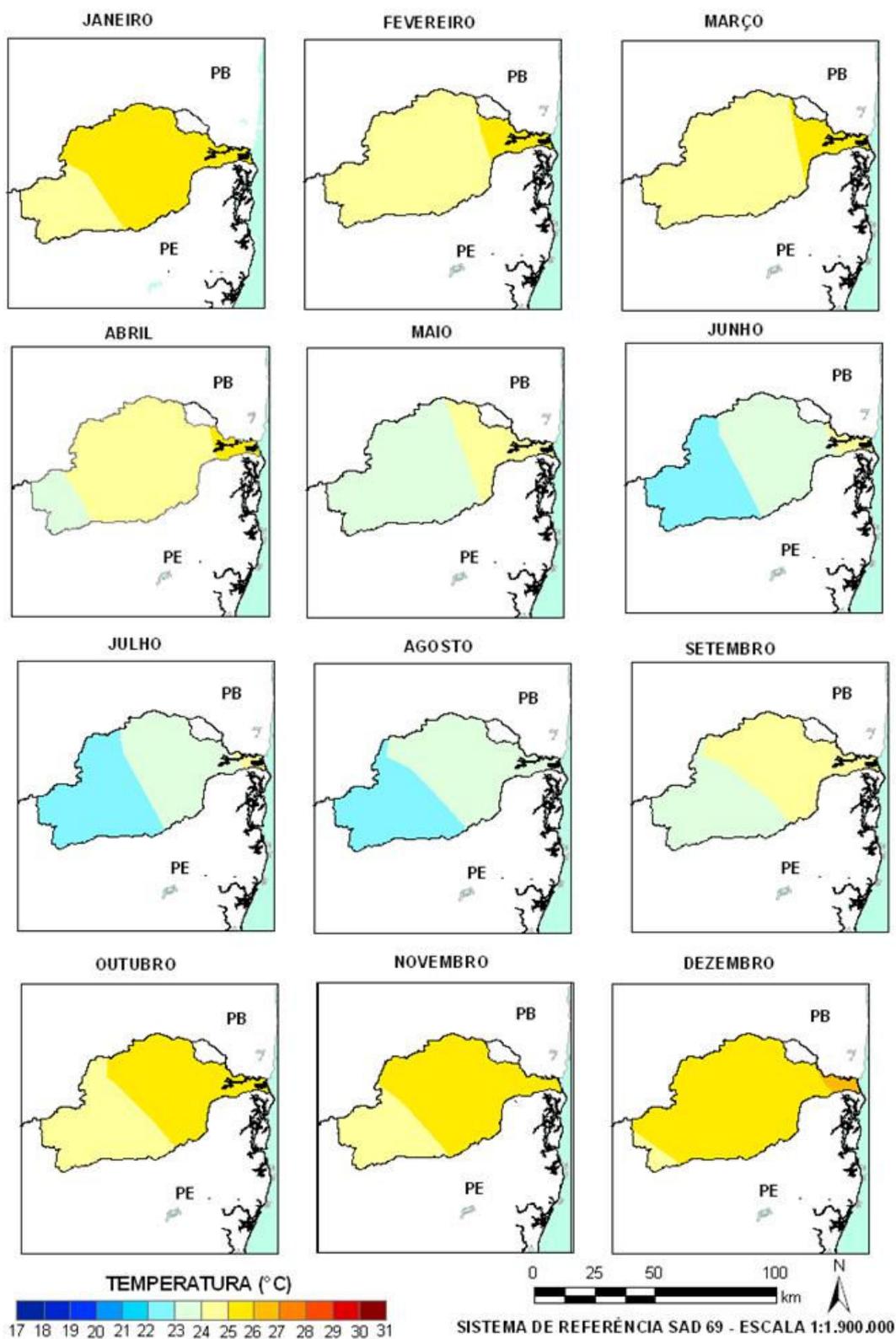


Figura 22: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2020 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário B2)

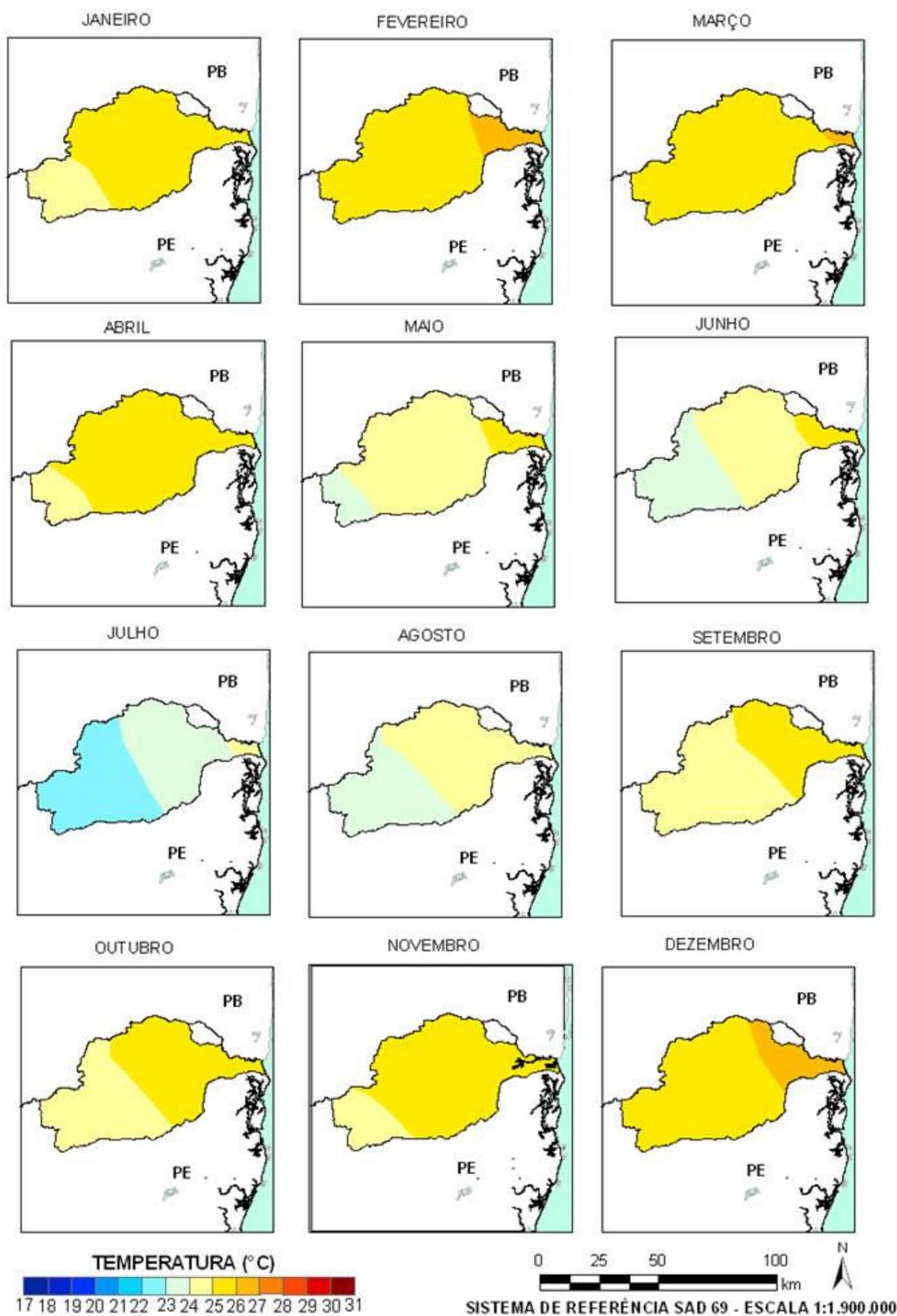


Figura 23: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2030 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário B2)

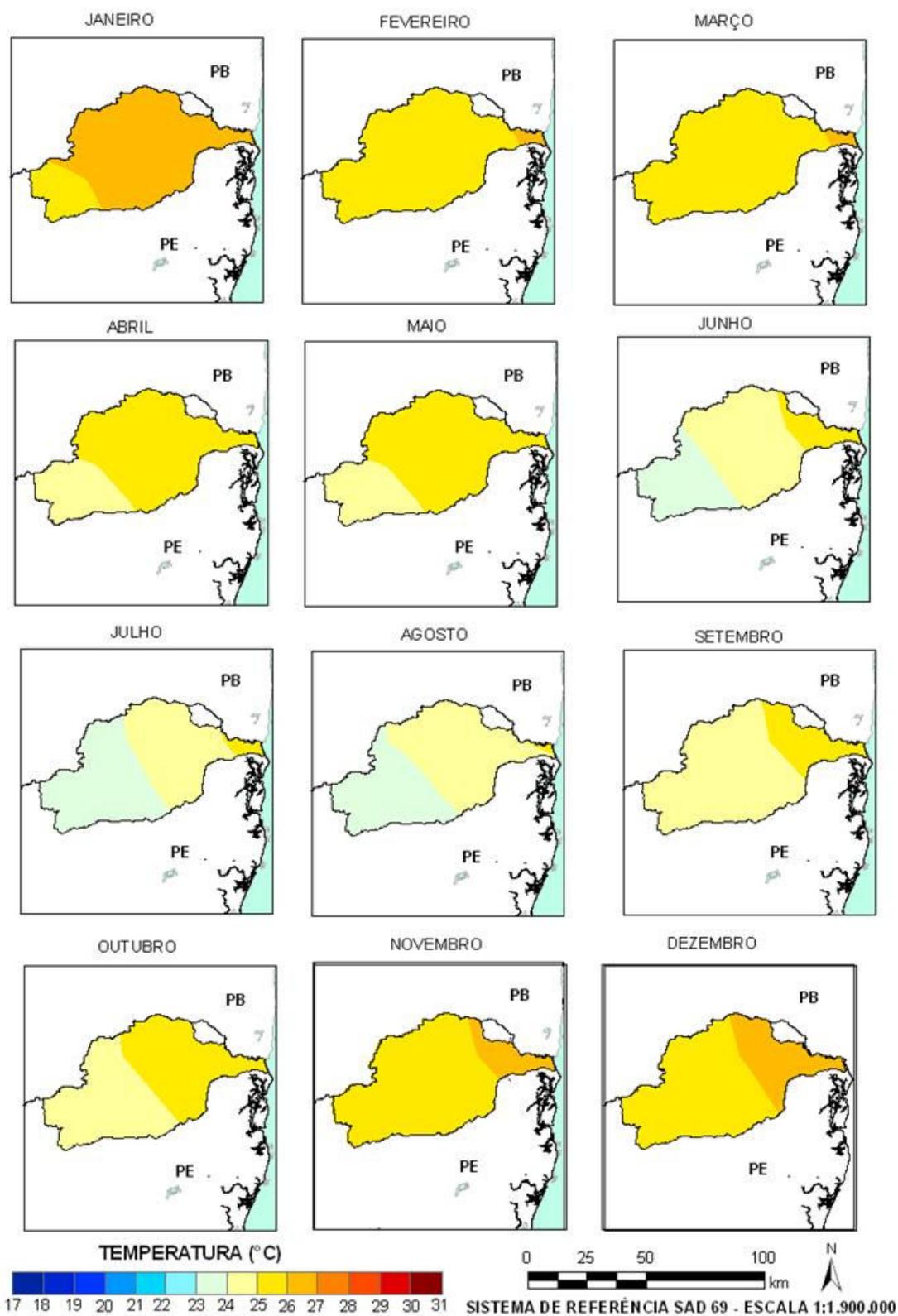


Figura 24: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2040 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário B2)

Através das análises detalhadas do comportamento da temperatura média do ar projetada para os anos de 2020, 2030 e 2040 pelo modelo PRECIS no cenário B2, o período chuvoso, que também é o mais frio, torna-se mais quente com o passar dos anos, com a maioria dos meses registrando em trinta anos um acréscimo de 2°C. Enquanto que, os meses do período seco e quente sofrem um acréscimo de 1°C.

Para os anos de 2050, 2060 e 2070 as Figuras 25, 26 e 27 apresentam o comportamento espacial e temporal da temperatura média do ar projetado pelo modelo PRECIS no cenário B2.

O mês de março apresenta em 2050 uma temperatura projetada em 27°C sobre praticamente toda a bacia hidrográfica. Acréscimo de 1°C em relação ao ano de 2040. Em 2060, não há acréscimo na temperatura, porém ocorre uma redução da área de atuação da faixa de 27°C surgindo, assim, uma segunda faixa de 26°C no setor oeste. Para o ano de 2070 a situação torna-se mais extrema, acrescentando para as duas faixas de temperatura citadas anteriormente 1°C, Figuras 25, 26 e 27.

Para os meses de abril, há um acréscimo de 1°C em cada ano projetado. Situação que submete a bacia hidrográfica do rio Goiana, no ano de 2070, a duas faixas de temperatura média do ar nos valores de 26 e 27°C. Já para o mês de maio é projetado um aumento de 1°C no ano de 2060, estruturando a bacia hidrográfica em duas faixas de temperatura, uma com 25°C e outra com 26°C. Faixas que permanecem na projeção para o ano de 2070, Figuras 25, 26 e 27.

Junho, julho e agosto nos anos de 2050 e 2060 permanecem com os mesmos valores de temperatura média do ar, assim como, apresentam o mesmo comportamento na espacialização deste elemento climático. Porém, no ano de 2070, ocorre um acréscimo de 1°C em ambos os meses, o que também modifica o padrão de espacialização deste elemento climático apresentado nos anos anteriores, Figuras 25, 26 e 27.

Para o mês de setembro, primeiro do período seco e quente, a dinâmica espacial e quantitativa da temperatura média do ar apresentada nos anos de 2050 e 2060 são as mesmas, modificando no ano de 2070 com o incremento de 1°C. Fator que proporciona uma temperatura média do ar que, desde 2040 na maior parte da bacia hidrográfica é de 25°C passe para 26°C. Para o mês de outubro, tanto na dinâmica espacial, assim como nos valores quantitativos, não há modificações na temperatura. Já para o mês de novembro, em 2050 e 2060 projeta-se que não

haverá modificações nos valores da temperatura média do ar, porém, para o ano de 2070 há um acréscimo de 1°C, colocando a maior parte da bacia hidrográfica sobre uma temperatura média de 27°C, Figuras 25, 26 e 27.

Janeiro de 2050 e de 2060 mantém as mesmas configurações quantitativas e espaciais da temperatura média do ar, a qual é modificada com o acréscimo de 1°C no ano de 2070, provocando com que a maior parte da bacia hidrográfica apresente uma temperatura média na casa dos 28°C.

Para o mês de fevereiro, em 2050 e 2060 a temperatura média do ar permanece na casa dos 27°C em praticamente toda a bacia hidrográfica, o que não é projetado para 2070, ano em que a temperatura atinge os 28°C, Figuras 25, 26 e 27.

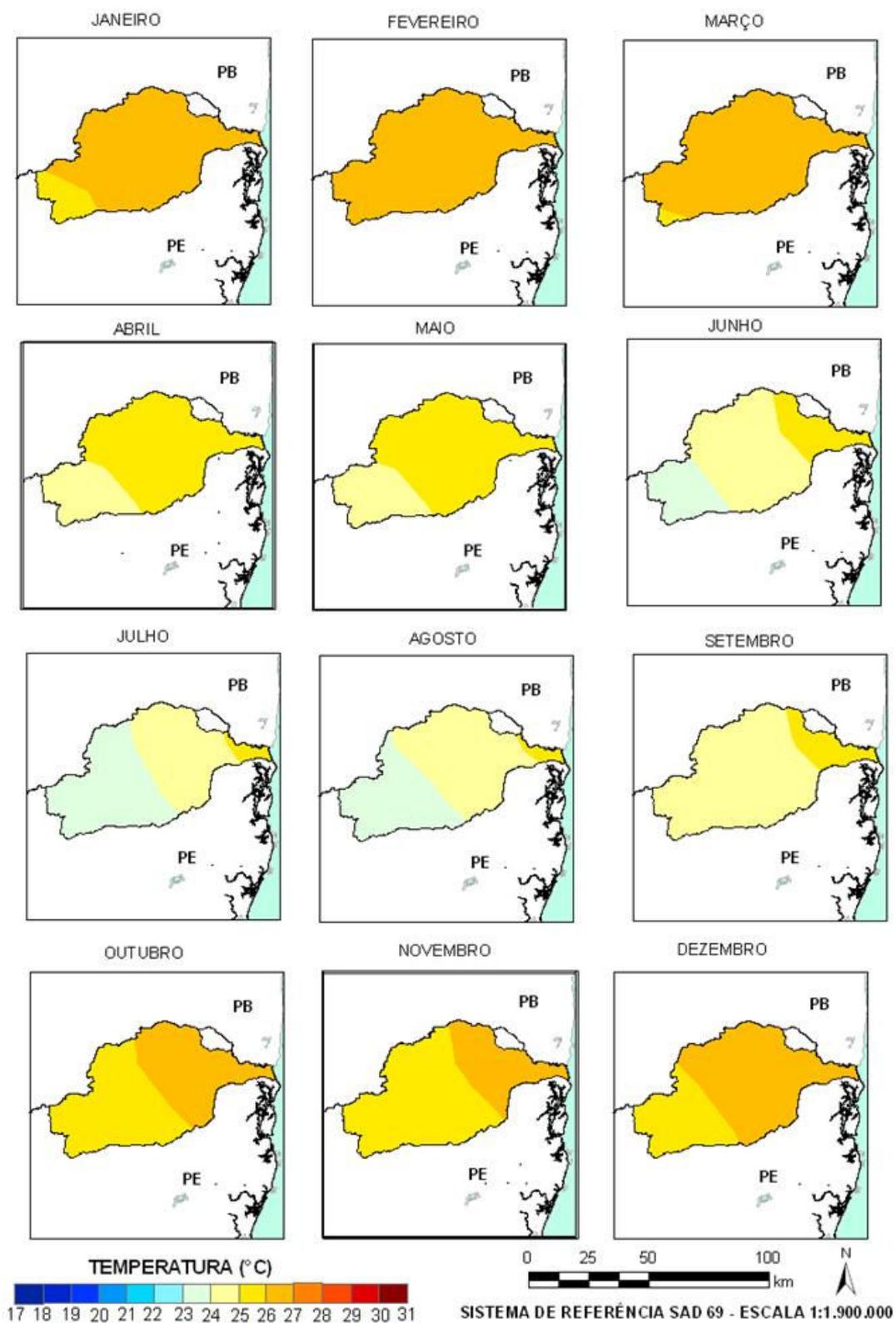


Figura 25: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2050 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário B2)

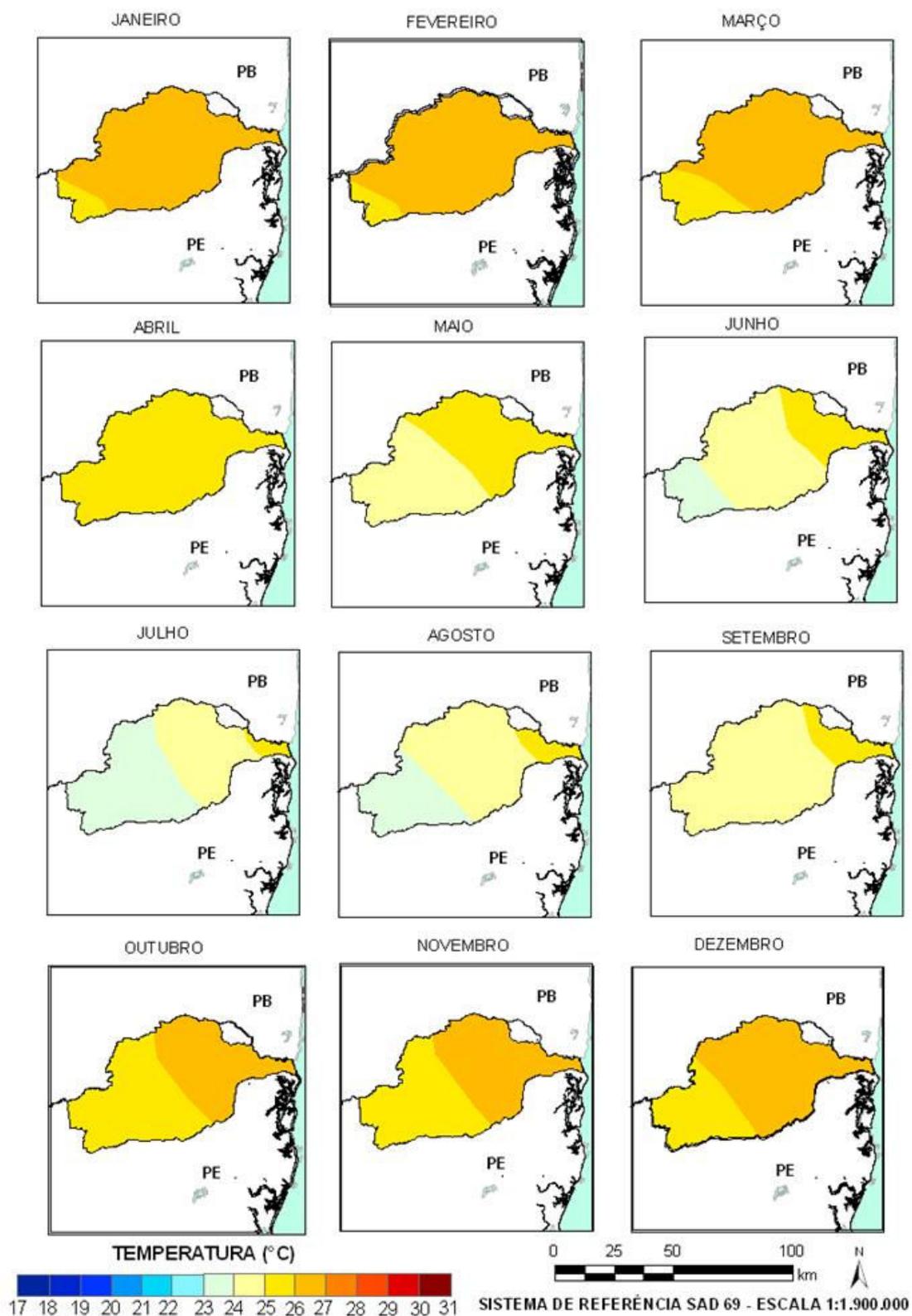


Figura 26: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2060 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário B2)

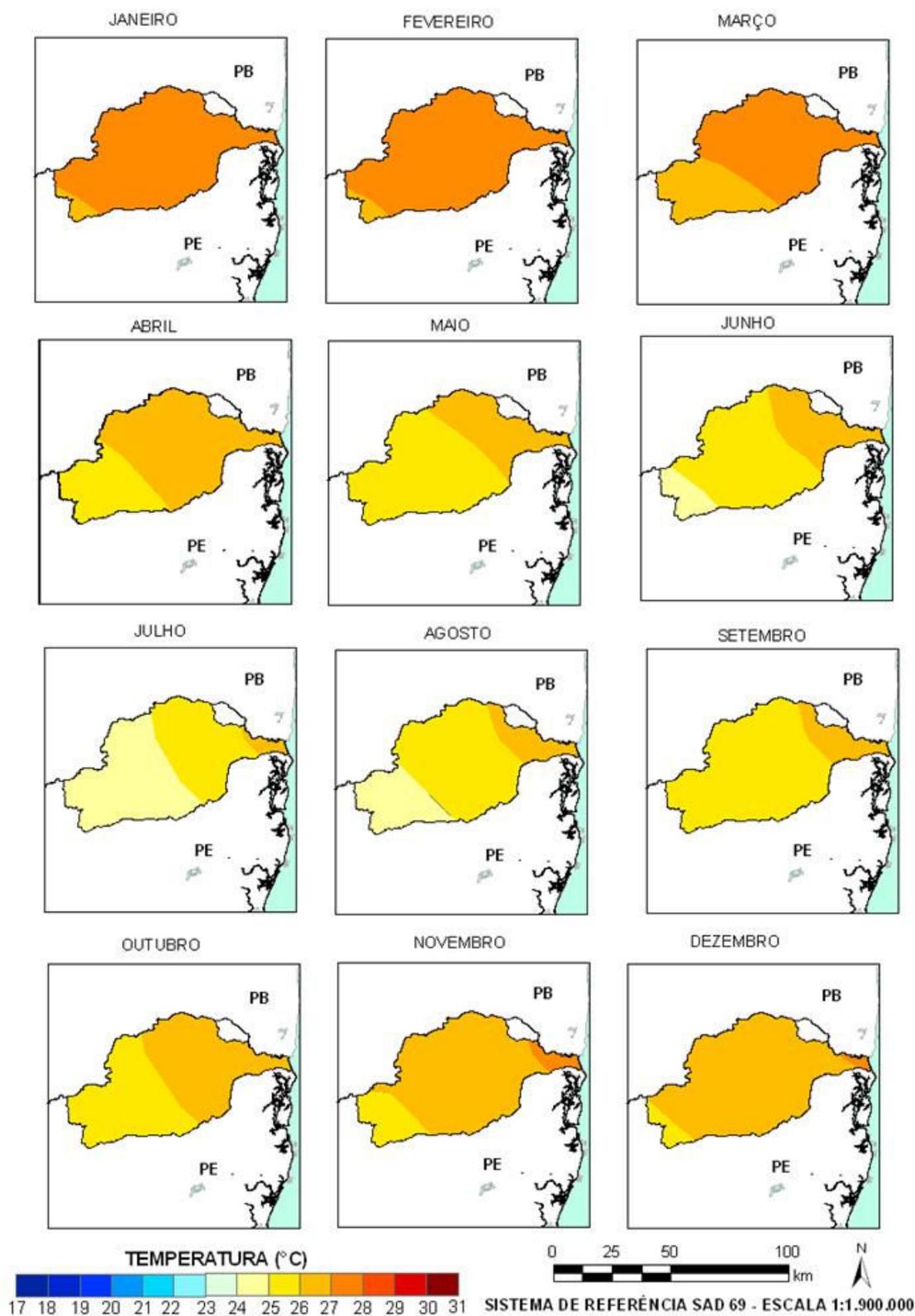


Figura 27: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2070 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário B2)

Partindo de 2050 até 2070, o período chuvoso e frio é o mais atingido pelo aumento da temperatura média do ar. Acréscimo de até 2°C nos meses de abril e

maio e 1°C nos restantes dos meses. Agora, partindo de 2020 até o último ano projetado (2070), alguns dos meses considerados frios chegaram a crescer em sua temperatura 3°C, a exemplo de março, abril, maio e junho. Fator que os tornarão, segundo a projeção do cenário B2, semelhantes a alguns dos meses do período seco (quente).

Para o período considerado seco e quente, de 2050 a 2070, há um acréscimo de 1°C na temperatura média mensal do ar dos meses de setembro, novembro e janeiro e de 2°C em fevereiro. Para o mês de outubro o acréscimo de 1°C ocorre no intervalo de 2040 para 2050. Já em relação ao mês de dezembro, o aumento significativo na temperatura média de 1°C ocorre no intervalo de 2060 a 2070. No geral, partindo de 2020 até 2070, o acréscimo na temperatura média do ar chega a 2°C nos meses de setembro, novembro, dezembro e janeiro e a 3°C no mês de fevereiro.

#### **4.3.2. Cenário A2 e a projeção da temperatura média do ar**

Inicialmente serão analisados os três primeiros anos projetados, correspondente a 2020, 2030 e 2040, apresentados nas Figuras 28, 29 e 30 respectivamente.

Para os meses chuvosos (frios) março e abril projeta-se um aumento de 1°C no intervalo de 2020 a 2030, permanecendo sem acréscimo no ano de 2040. Para os meses de maio e junho, o acréscimo no intervalo de 2020 a 2040 chega a 2°C, ou seja, 1°C a cada ano. Se em maio, no ano de 2020 a maior parte da bacia hidrográfica do rio Goiana apresenta uma temperatura média do ar na casa dos 24°C, passa em 2040 a apresentar em sua maior parte 26°C. Para o mês de junho no ano de 2020 projeta-se duas faixas de temperatura média do ar, uma com 24°C e outra com 23°C. Ao chegar em 2040 estas faixas passam a apresentar 26 e 25°C respectivamente, configurando, assim, uma modificação drástica nos valores da temperatura média do ar para a bacia hidrográfica, Figuras 28, 29 e 30.

Em julho e agosto o acréscimo é de 1°C até 2040, sendo que no primeiro mês o aumento ocorre no ano de 2030, enquanto que, no segundo mês o acréscimo acontece no ano de 2040 Figuras 28, 29 e 30.

Para os meses considerados secos (quentes), setembro apresenta um acréscimo na temperatura média do ar de 1°C no intervalo entre 2020 a 2030, configurando assim, duas faixas de temperatura, uma com 25°C e outra com 26°C. No ano de 2040, projeta-se para esse mês uma expansão da faixa de 26°C e o surgimento de uma pequena faixa de 27°C na região próxima ao litoral, Figuras 28, 29 e 30.

Para os meses de outubro e novembro, o acréscimo na temperatura média do ar será de 1°C projetado para o ano de 2040. Já para o mês de dezembro, este experimenta um acréscimo de 1°C entre os anos de 2020 a 2040 sem modificações quantitativas no ano de 2040, Figuras 28, 29 e 30.

Em relação ao mês de janeiro, de 2020 a 2030 não há projeções de modificações na temperatura média do ar, o que não ocorre em 2040, ano em que este mês recebe um acréscimo de 1°C. Já no mês de fevereiro, além de modificações quantitativas ocorrem também, alterações no comportamento espacial das faixas de temperatura. No ano de 2030 a faixa de temperatura de 27°C se expande por toda a bacia hidrográfica e, em 2040 projeta-se o surgimento de outra faixa próxima do litoral, a qual apresenta uma temperatura média do ar no valor de 28°C, Figuras 28, 29 e 30.

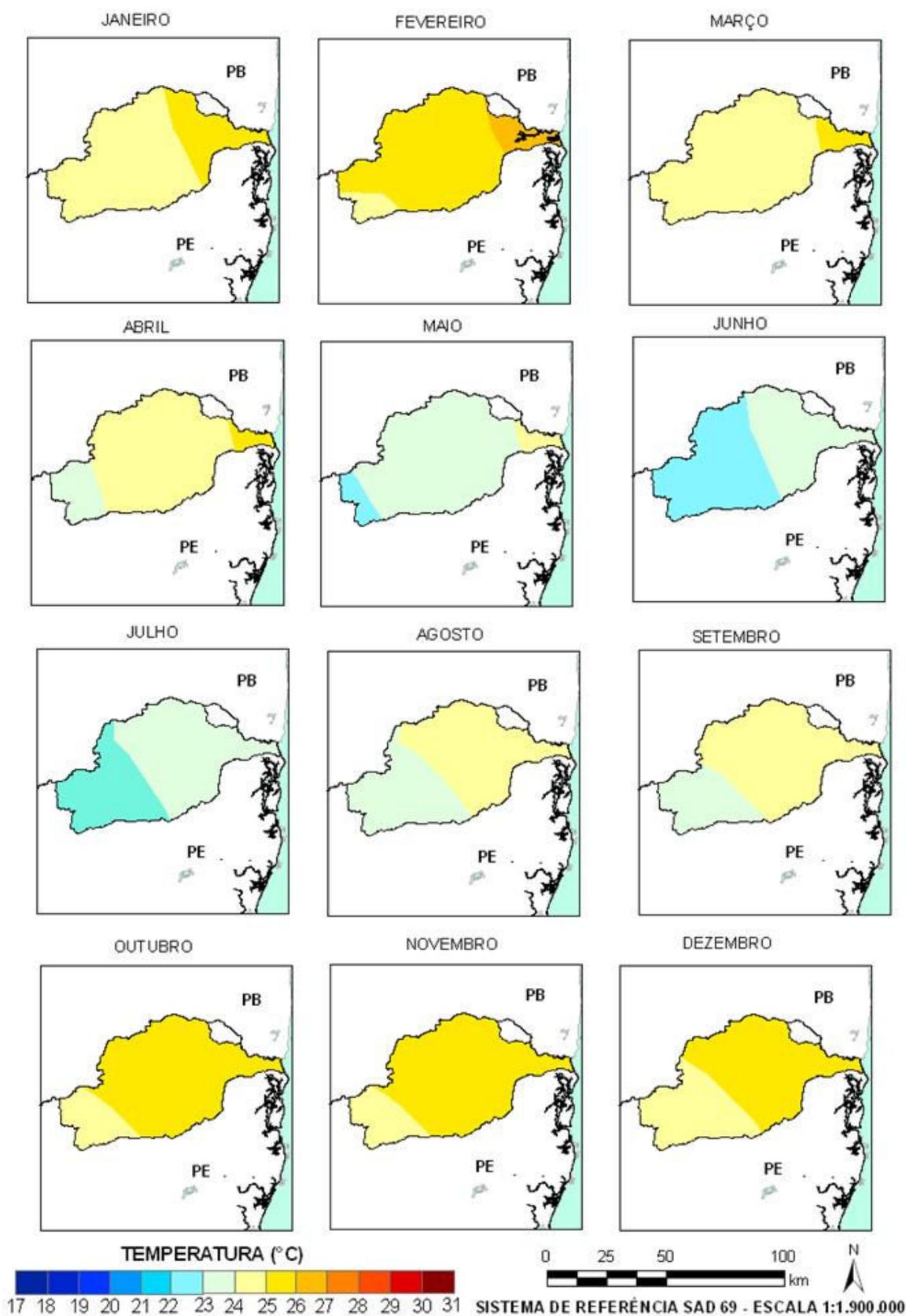


Figura 28: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2020 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário A2)

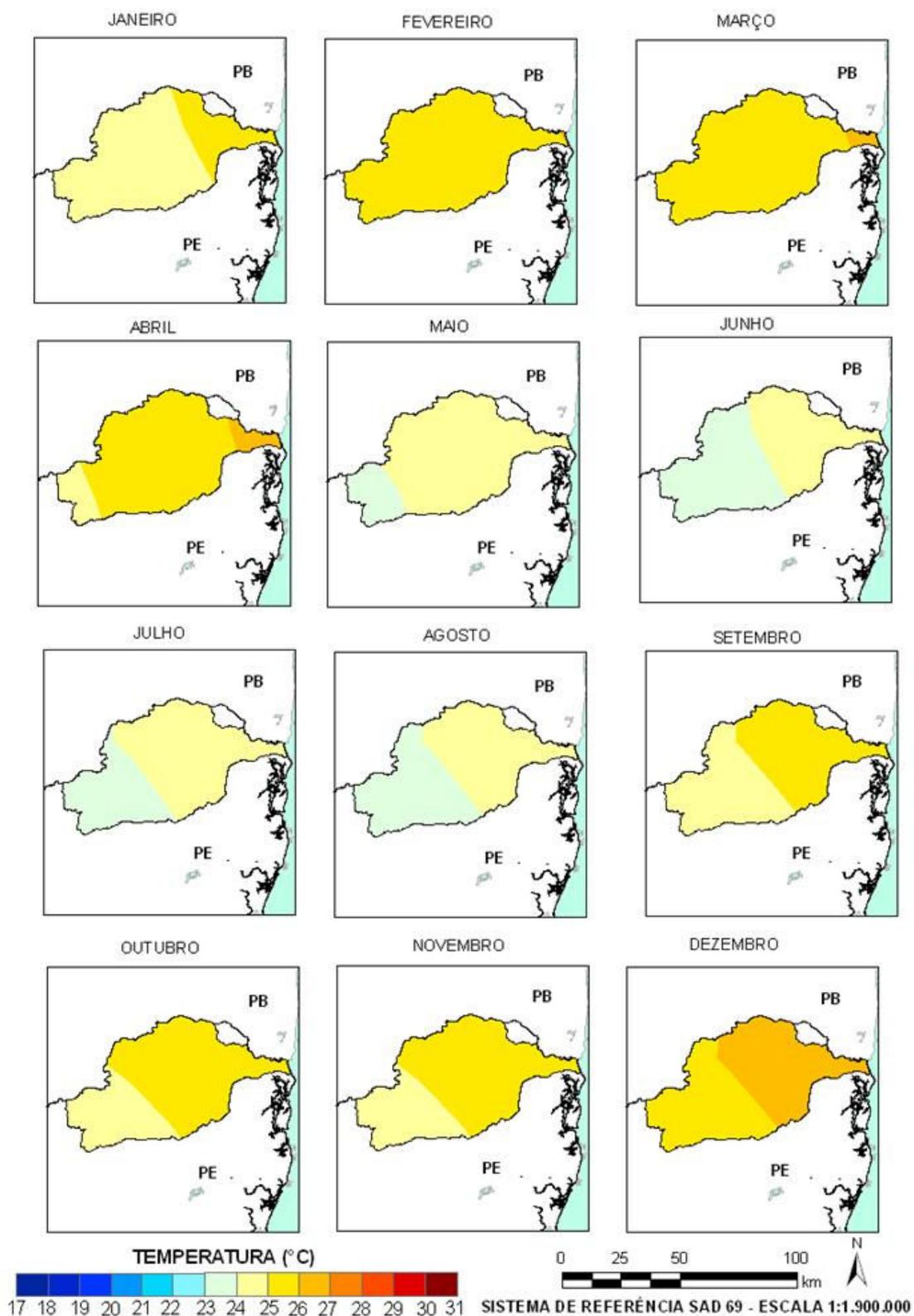


Figura 29: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2030 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário A2)

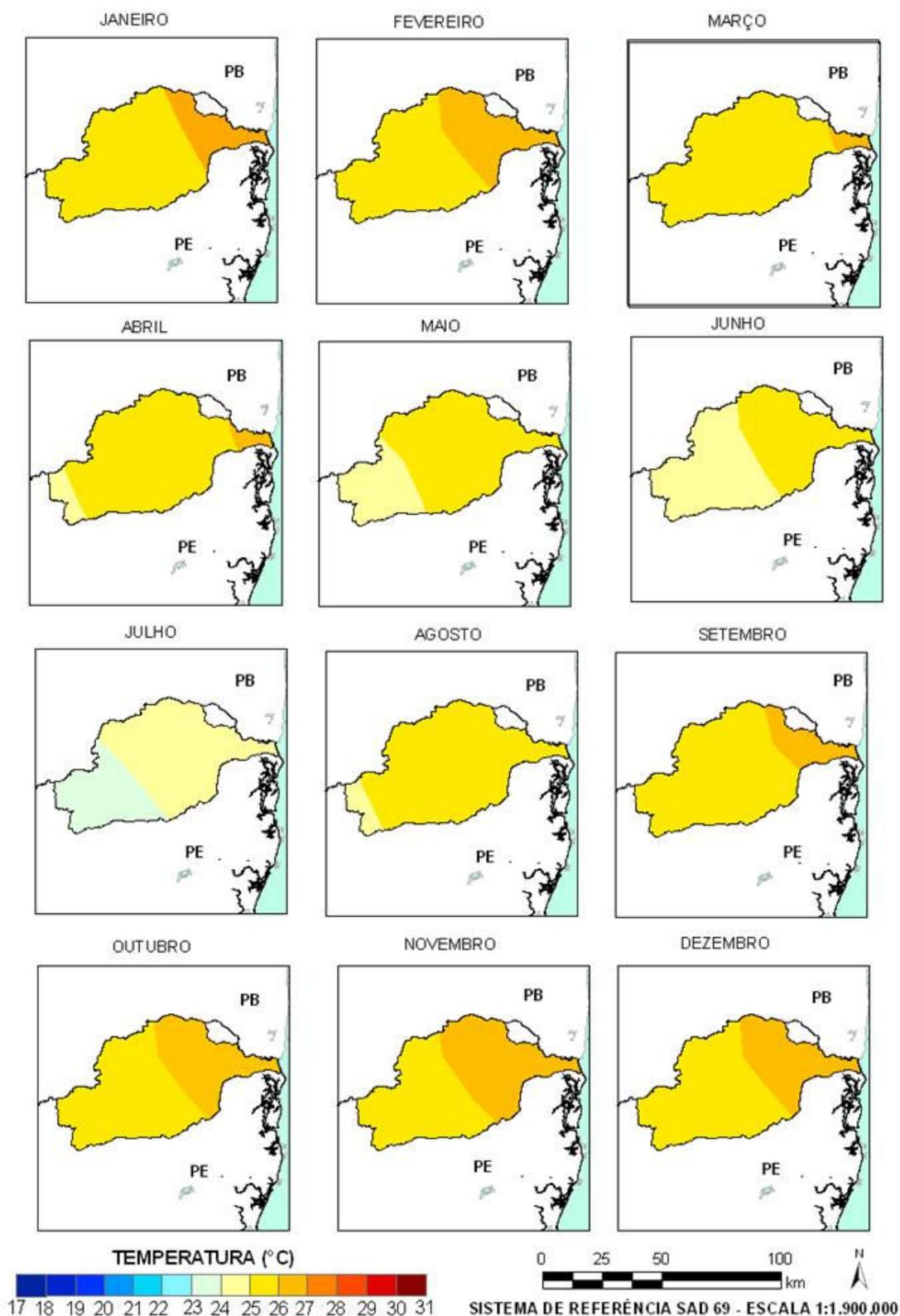


Figura 30: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média mensal do ar para o ano de 2040 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário A2)

Nota-se que nos anos de 2020, 2030 e 2040, há uma semelhança entre o aumento de temperatura no período chuvoso (frio) com o período seco (quente), ou

seja, projeta-se para os dois períodos um acréscimo que varia entre 1 a 2°C na temperatura média do ar. Tornando assim, paulatinamente, o período frio mais quente e o período quente mais quente ainda.

As Figuras 31, 32 e 33 apresentam o comportamento da temperatura média do ar para os anos de 2050, 2060 e 2070, respectivamente projetados no cenário A2. No período atualmente, considerado chuvoso (frio), projeta-se para os meses de março, abril e maio um aumento de 2°C no intervalo de 2050 a 2070. Esse acréscimo na temperatura média do ar proporciona que a maior parte da bacia hidrográfica do rio Goiana atinja uma temperatura média em março e abril na casa dos 29°C e 28°C no mês de maio de 2070.

Para os meses de junho e julho é projetado um aumento de 1°C no intervalo de 2060 a 2070, fator que proporciona a ampliação da faixa de temperatura de 26°C do primeiro mês e, de 25°C do segundo mês para praticamente toda a bacia hidrográfica. Em relação ao mês de agosto, este não apresenta aumento na temperatura nos anos analisados, Figuras 31, 32 e 33.

No período considerado seco (quente), o mês de setembro, nos anos projetados, não experimenta nenhuma alteração no quantitativo e no comportamento espacial da temperatura média do ar. Já no mês de outubro há um incremento de 2°C no intervalo de 2050 a 2070. Para o mês de novembro de 2050 a 2060 ocorre um acréscimo de 2°C, a partir daí, no ano de 2070, ocorre uma expansão da faixa de temperatura de 29°C, até então ocupando uma pequena área no ano de 2060. Dezembro também apresenta aumento de 2°C, porém no intervalo entre 2050 a 2070 e, registrando no último ano em uma área próxima ao litoral uma temperatura média na casa dos 30°C, Figuras 31, 32 e 33.

Para os meses de janeiro e fevereiro o aumento na temperatura média do ar chega a 2°C, proporcionado em 2070 na maior parte da bacia hidrográfica, 28°C no primeiro mês e, 29°C em mais da metade da área desta unidade ambiental no mês de fevereiro, Figuras 31, 32 e 33.

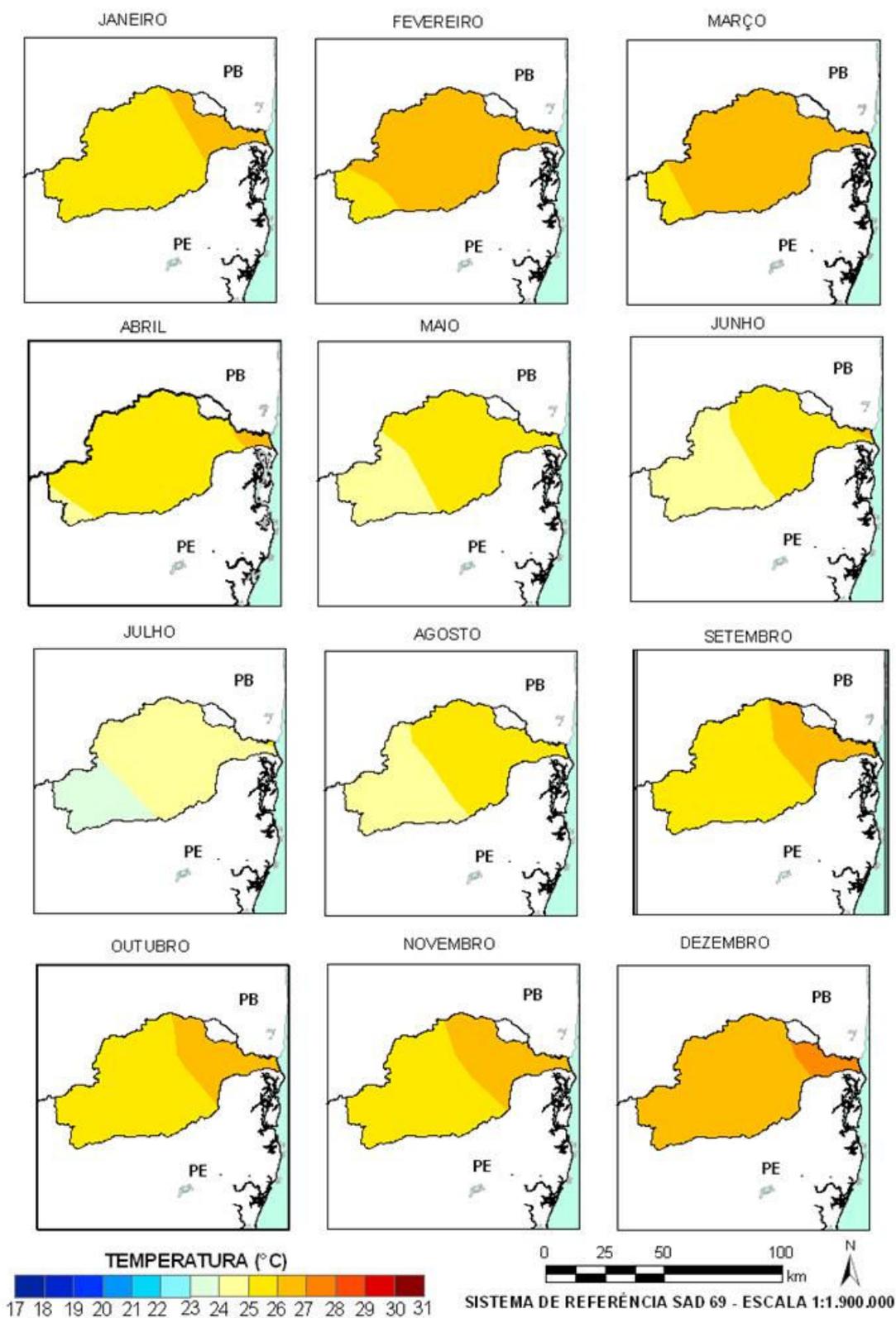


Figura 31: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média do ar mensal para o ano de 2050 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário A2)

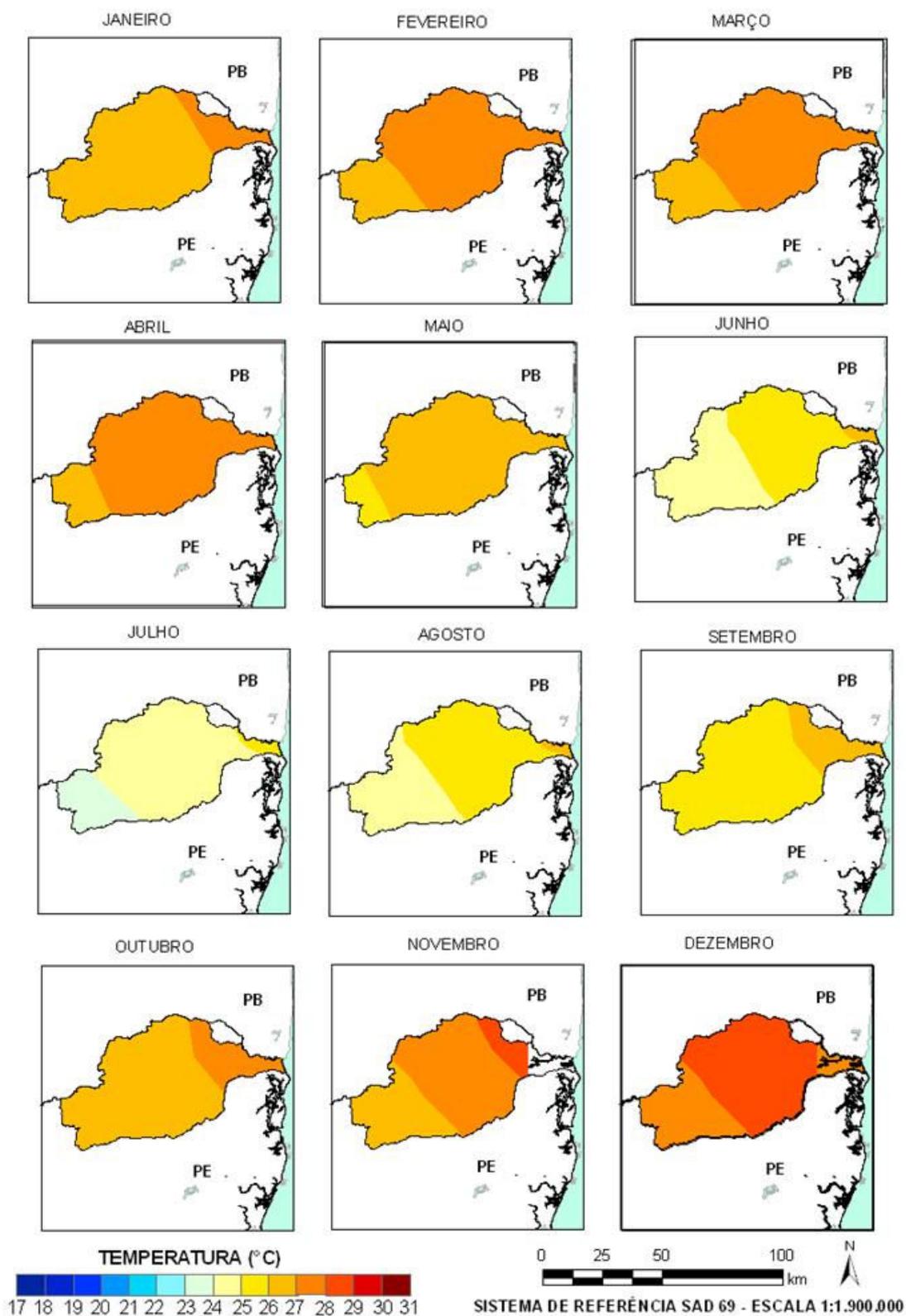


Figura 32: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média do ar mensal para o ano de 2060 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário A2)

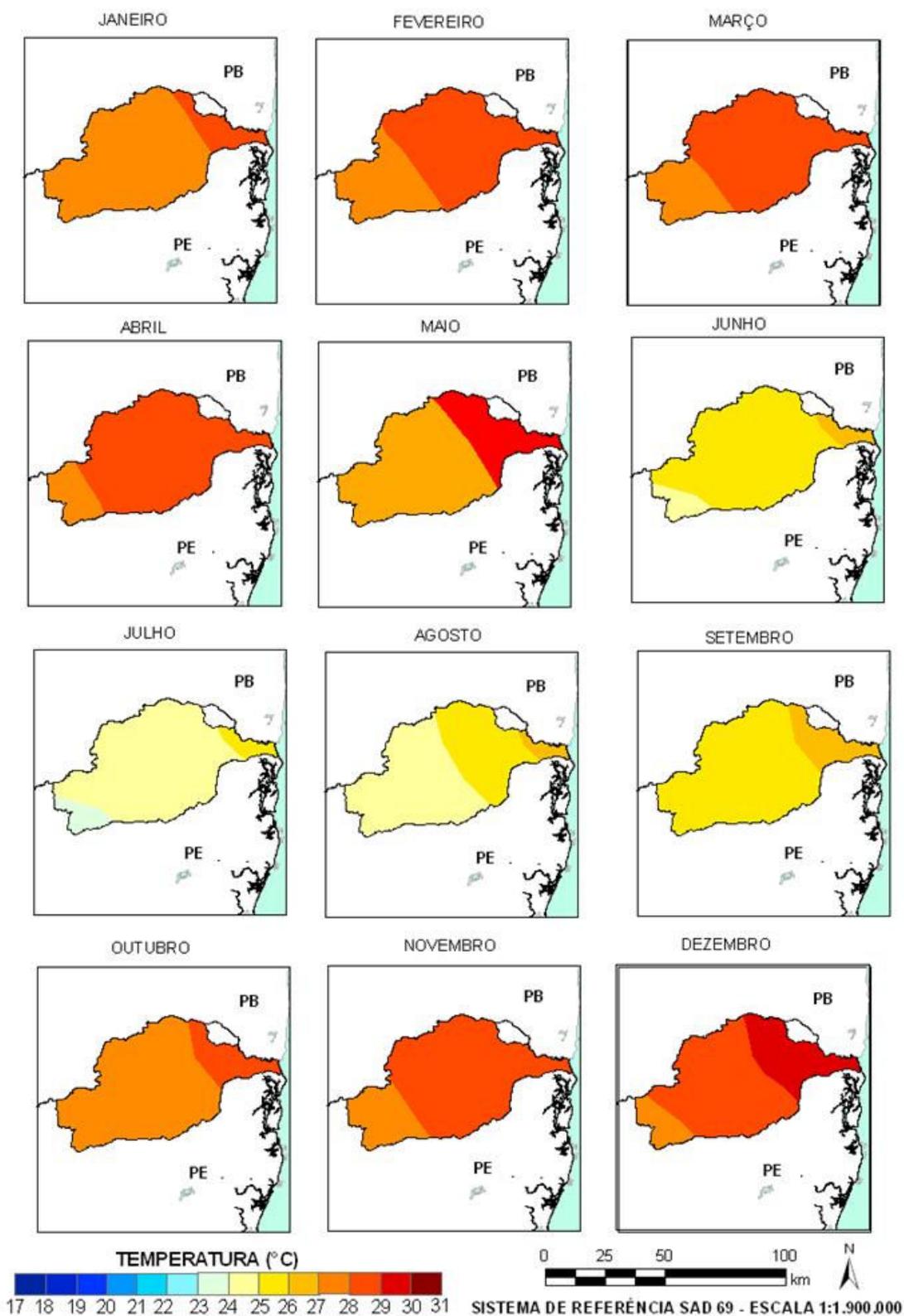


Figura 33: Projeção do modelo climatológico PRECIS relativo à temperatura média do ar mensal para o ano de 2070 sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana (cenário A2)

De 2050 até 2070 o período seco (quente) é o mais atingido com o aumento da temperatura média do ar, segundo as projeções rodadas pelo modelo climático regional PRECIS no cenário A2. Outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro

apresentam acréscimos de 2°C na temperatura média do ar, enquanto que, para setembro, projeta-se um acréscimo 1°C.

Já os meses do período chuvoso, no intervalo de trinta anos (2050 a 2070), a projeção é de aumento de 2°C em março, abril e maio, enquanto que, junho, julho o incremento projetado é de 1°C. Agosto e setembro não apresentam ganhos na temperatura.

Ao juntar os dois períodos de análise, de 2020 até 2070, é possível observar o quanto é preocupante a situação projetada no cenário A2. Nos meses do período chuvoso (frio), março e maio registram um aumento de 4°C e abril 3°C. Acréscimos que os colocam com características semelhantes aos meses do período seco (quente) atualmente. Já no período seco, a maioria dos meses chega a registrar um aumento de 3°C na temperatura média do ar, a exemplo de outubro, novembro e janeiro. Enquanto que, para os meses de dezembro e fevereiro, projeta-se um acréscimo de 4°C.

#### **4.3.3. Calibração e funcionamento do modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído**

A calibração do modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído ocorreu através de modificações realizadas nos parâmetros do modelo. Os primeiros ajustes foram realizados nos parâmetros referentes às características dos solos da bacia hidrográfica. Como há o predomínio do Argissolo Vermelho e do Argissolo Vermelho-Amarelo, solos com grandes concentrações de argila no horizonte Bt, foram utilizados valores de porosidade sugeridos por Galvêncio (2005), que variam entre 40 a 65% para esses tipos de solos. Quanto ao fator profundidade o RADAMBRASIL (1981) destaca que os solos citados apresentam em média uma profundidade superior a 4m em vários pontos da bacia hidrográfica. A partir daí, os valores de profundidade utilizados durante o processo de calibração variaram entre 1,5 a 5,5m.

Em relação ao parâmetro de interceptação da pluviosidade pela cobertura vegetal, Santos, Galvêncio & Moura (2008a) apontam que mais da metade da cobertura vegetal da bacia hidrográfica é composta pelo cultivo da cana-de-açúcar. Prática agrícola que, de acordo com Sanches *et al.* (2005) atua como boa interceptadora das águas provenientes das chuvas a depender de sua fase de

desenvolvimento. Botelho & Silva (2007) destacam que o ciclo hidrológico em ambientes rurais ainda é próximo, ou semelhante, ao das áreas sobre cobertura florestal. A partir daí, optou-se em utilizar na calibração uma variação entre 40 a 60% da precipitação pluviométrica que chega até a bacia é interceptada pela cobertura vegetal.

A Tabela 01 apresenta os valores finais dos parâmetros empregados na calibração do modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído.

Tabela 01: Valores finais dos parâmetros utilizados para calibração do modelo

Postos pluviométricos	Parâmetros		
	Porosidade do solo (%)	Profundidade (m)	Interceptação da chuva pela cobertura vegetal (%)
Aliança	64	3	59%
Vicência	65	5,2	60%
Machados	40	1,6	60%
Paudalho	41	3,6	50%
Condado	41	3,1	60%

O processo de calibração chegou ao fim após alcançar os seguintes resultados: critério de eficiência de Nash e Sutcliffe no valor de 98,09% para a estação fluviométrica do Engenho Retiro e de 99,48% para a estação do Engenho Itapissirica; o Erro Relativo de 0,05 para a estação fluviométrica do Engenho Retiro e de 0,14 para a estação do Engenho Itapissirica; e o coeficiente de determinação no valor de 0,71 para a estação fluviométrica do Engenho Retiro (Figura 34) e de 0,75 para a estação do Engenho Itapissirica (Figura 35).

Nas Figuras 36 e 37, são comparados os escoamentos superficiais observados com os estimados para as estações fluviométricas do Engenho Retiro e do Engenho Itapissirica respectivamente. Os resultados obtidos na calibração demonstram que o modelo respondeu bem aos dados observados.

Com base na escala de eficiência de calibração de Donigian (2002) e no estudo de Xu, Gordrej & Grizzard (2007) os valores obtidos pelo coeficiente de determinação são considerados satisfatórios.

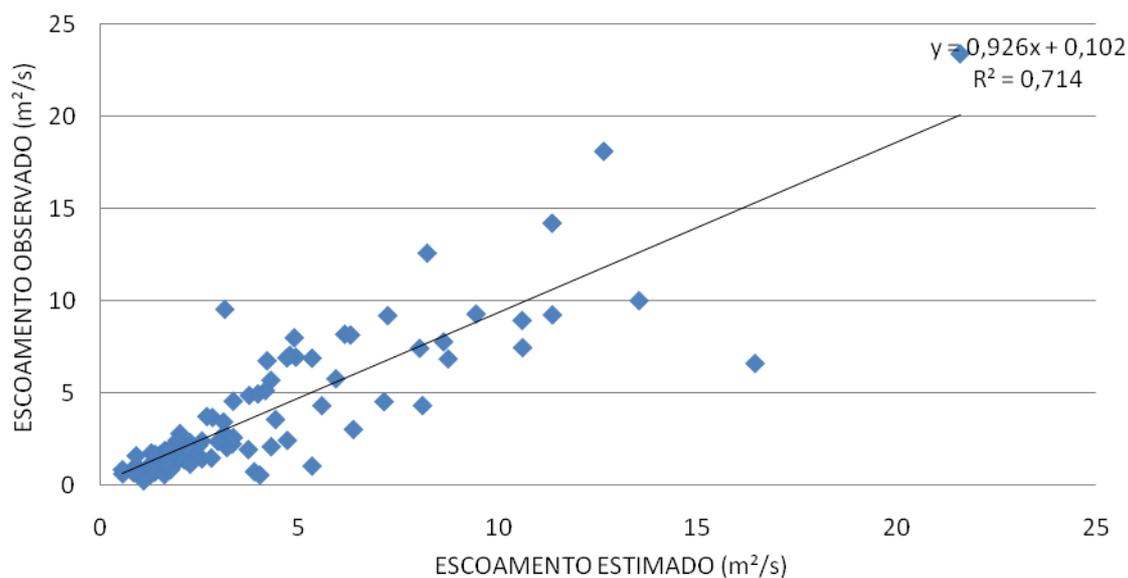


Figura 34: Dispersão do escoamento superficial observado e estimado na estação fluviométrica do Engenho Retiro

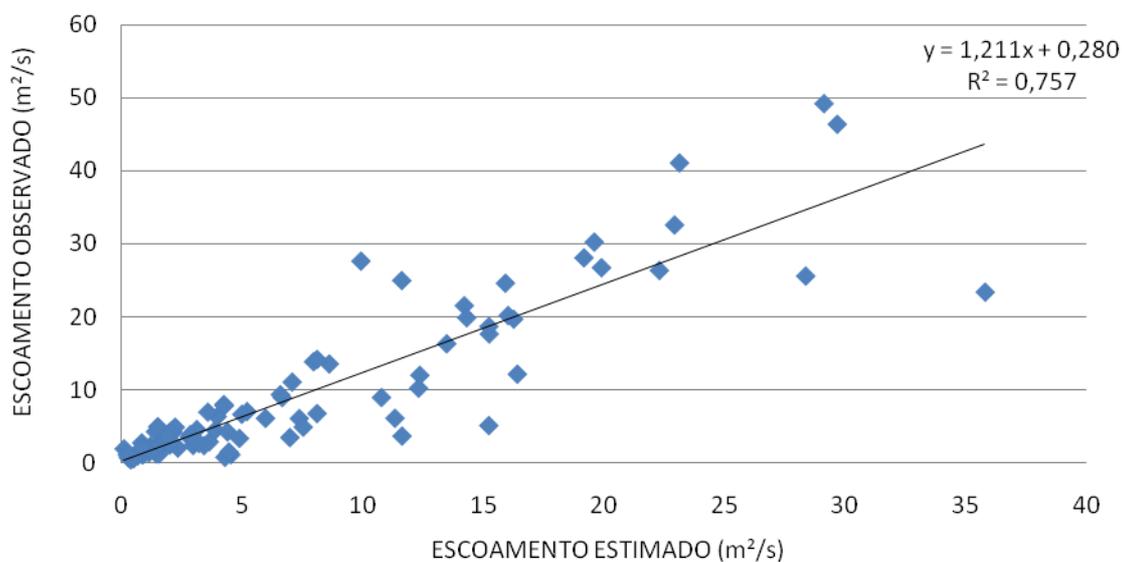


Figura 35: Dispersão do escoamento superficial observado na estação fluviométrica do Engenho Itapissirica

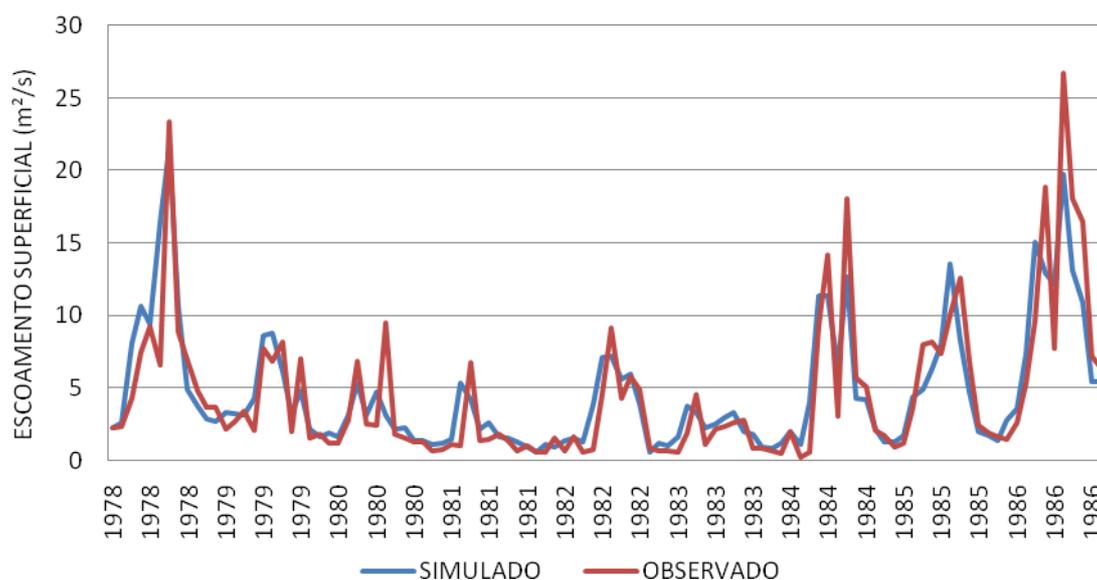


Figura 36: Relação entre o escoamento superficial estimado e o observado na estação fluviométrica do Engenho Retiro

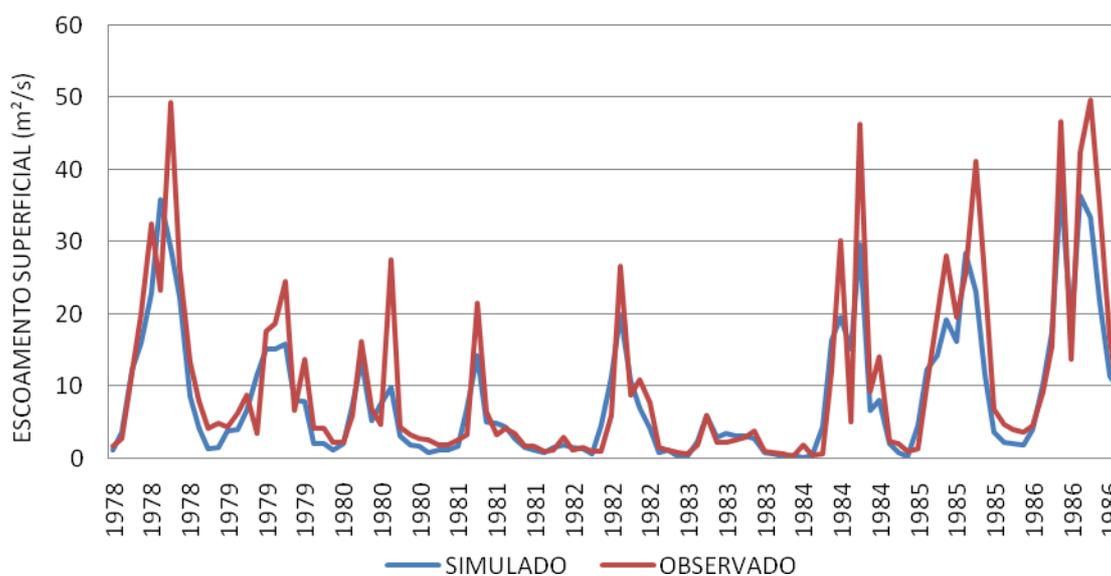


Figura 37: Relação entre o escoamento superficial estimado e o observado na estação fluviométrica do Engenho Itapissirica

#### 4.3.4. Projeção do escoamento superficial nos cenários de mudanças climáticas B2 e A2

As Figuras 38 e 39 apresentam os resultados da simulação do escoamento superficial, nos cenários B2 e A2, para as estações fluviométricas dos Engenhos Retiro e Itapissirica respectivamente. Neles, além de conter a simulação do escoamento em  $m^2/s$  comparado com a média histórica observada, apresentam

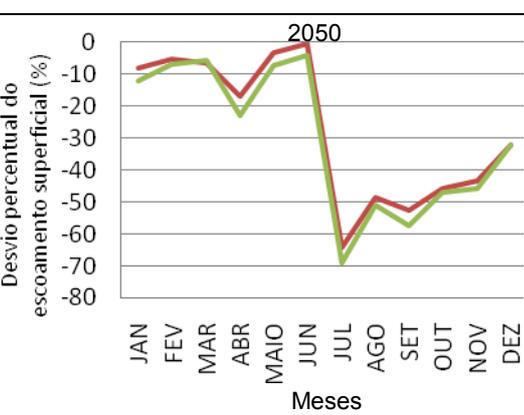
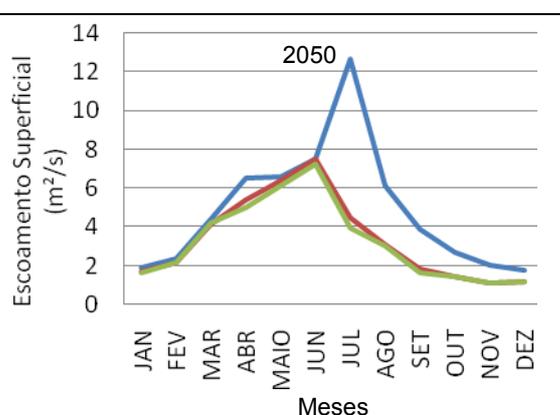
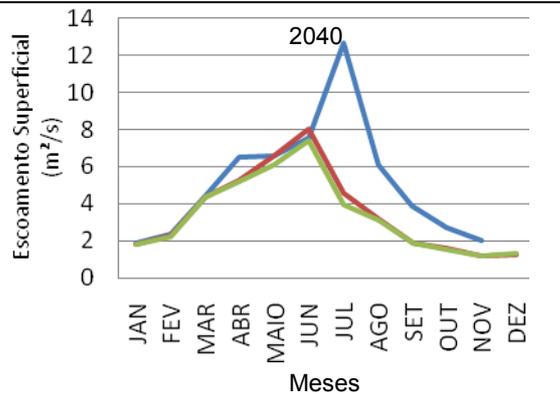
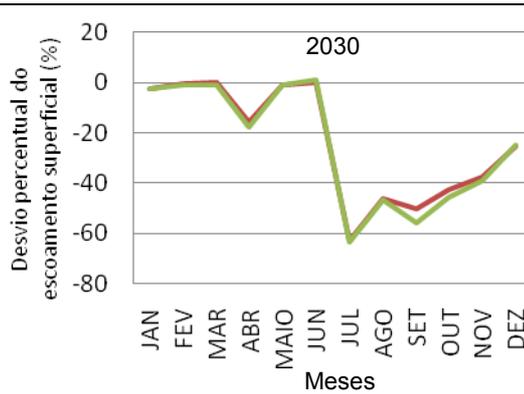
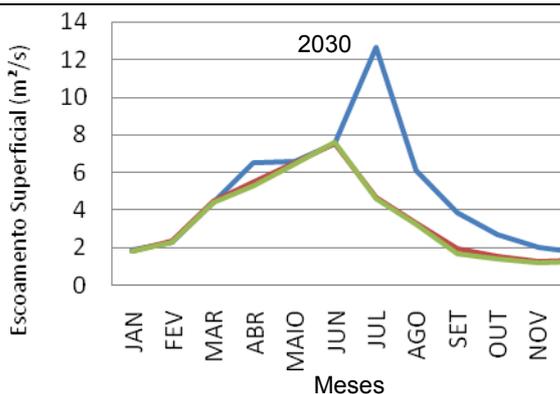
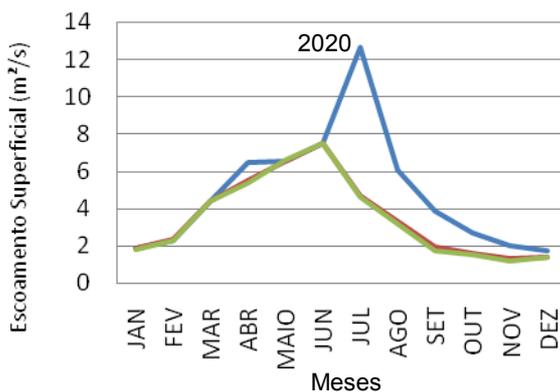
também os desvios percentuais do escoamento simulado sobre à média histórica observada.

Na estação fluviométrica do Engenho Retiro (Figura 38), as maiores reduções no escoamento superficial em comparação com a média histórica observada, ocorrem no segundo semestre de cada ano, em ambos os cenários. Para os meses que compõem o primeiro semestre a situação é diferente, ou seja, os escoamentos superficial projetados, apesar de estarem abaixo da média histórica observada, não apresentam grandes distâncias em relação à mesma.

O que justifica esta diferenciação entre o comportamento do escoamento no segundo semestre em relação ao primeiro é à disponibilidade de água. No primeiro semestre apesar do aumento da temperatura média do ar e do aumento da evapotranspiração a quantidade de água precipitada ainda será suficiente para não causar impactos significativos no escoamento superficial.

Entre os meses, o que apresenta à maior redução no escoamento superficial é julho. Em 2020 projeta-se um desvio percentual de 61 e 63% abaixo da média histórica observada nos cenários B2 e A2, respectivamente. Enquanto que, em 2070, neste mesmo mês, o escoamento apresenta um desvio percentual de 67 e 77% abaixo da média histórica observada para os mesmos cenários, respectivamente.

Outro ponto importante a ser mencionado é que com o passar dos anos, ocorrem uma maior diferenciação entre os valores do escoamento estimado no cenário B2 com o estimado para os mesmos períodos no A2. Os impactos maiores são registrados nos meses de maio e setembro. O fator principal que proporcionará este distanciamento temporal é que no cenário A2, a partir de 2040, projeta-se um aumento drástico na temperatura média do ar, ao ponto de alguns meses registrarem, neste intervalo de tempo, um incremento de 1 a 3°C a mais das temperaturas projetadas no cenário B2.



Continua

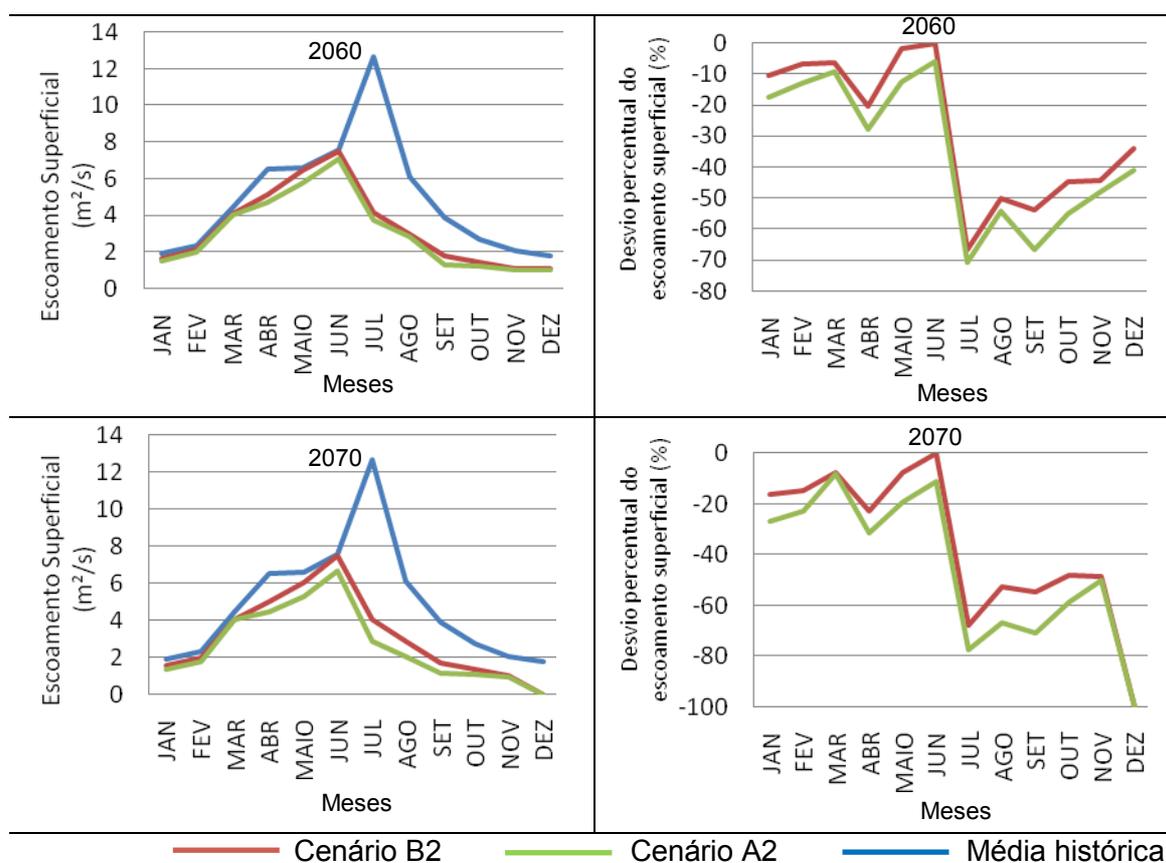


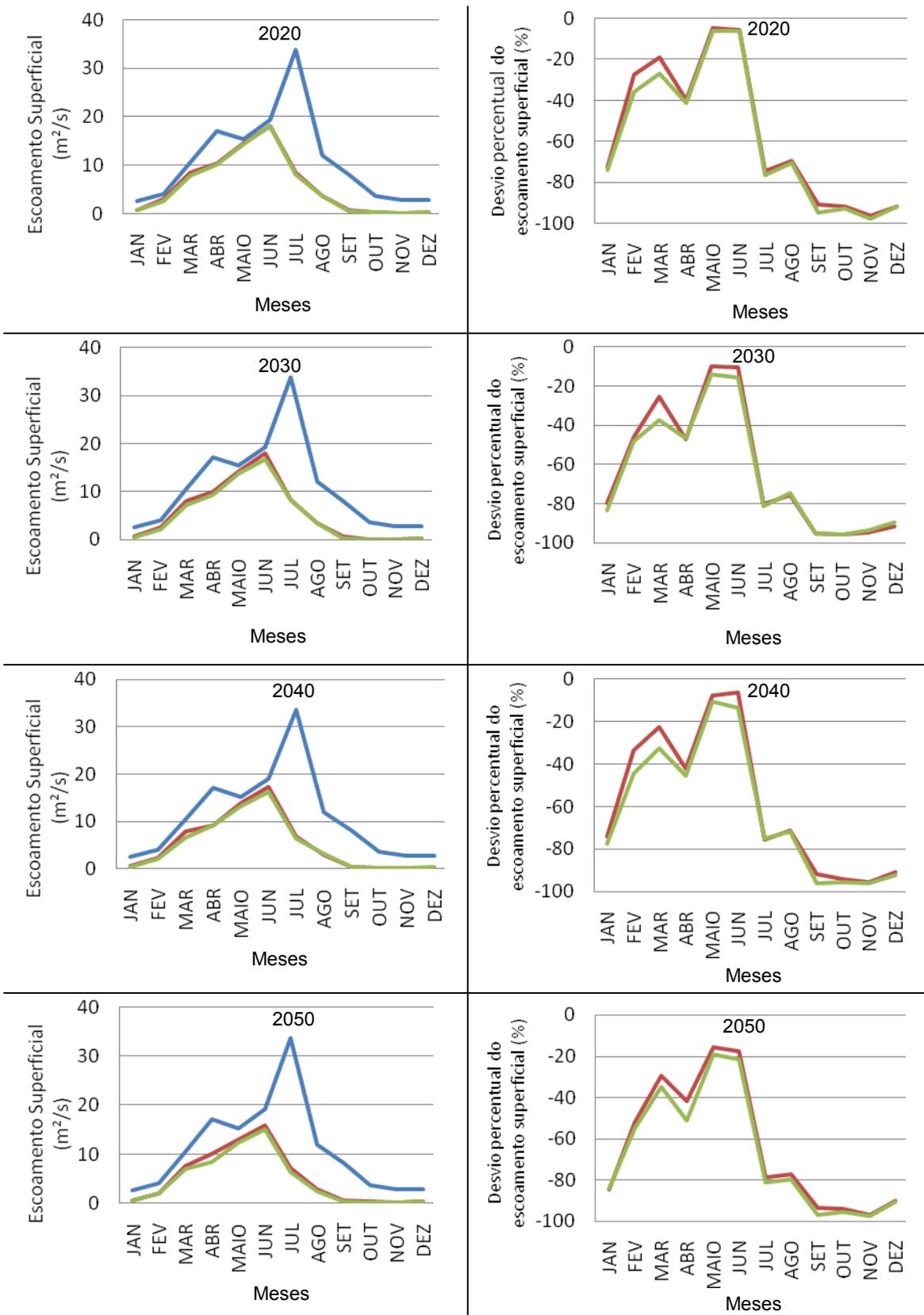
Figura 38: Escoamento superficial simulado para os anos de 2020 a 2070, cenários B2 e A2 e seu desvio percentual em relação à média histórica observada na estação fluviométrica do Engenho Retiro

Para a estação fluviométrica do Engenho Itapissirica (Figura 39) é possível notar uma nítida diferença entre o comportamento do escoamento no período chuvoso em comparação com o período seco. Para o período chuvoso, a disponibilidade de água oriunda das chuvas permitem um distanciamento menor em relação à média histórica observada, ou seja, assim como pontuado para a estação fluviométrica do Engenho Retiro, o impacto nesse período será menor em relação ao período seco. Esse último com maior penalidade devido à menor disponibilidade de água.

Quanto às diferenças entre o escoamento projetado no cenário B2 e com o A2, aplica-se o fator escala temporal. A partir de 2040 as projeções das temperaturas realizadas no cenário pessimista tornam-se mais impactantes do que as projeções do cenário mais otimista. Como um dos exemplos, tem-se o mês de março que em 2020 apresenta um desvio percentual negativo de 19% no cenário B2

e de 26% no cenário A2. Já em 2040, o mesmo mês apresenta um desvio percentual negativo no valor de 22% no cenário B2 e 35% no A2. Ao fechar o período de análise, em 2070, o desvio percentual chega a 31% no cenário B2 e a 61% no A2. Ou seja, a amplitude dos desvios percentuais do escoamento superficial em relação à média histórica observada entre os cenários registra no mês de março 7% em 2020, 13% em 2040 e 30% em 2070.

Acrescentam-se a essa discussão, o fator de que as maiores diferenças entre o escoamento projetado no cenário B2 com o A2 ocorrem no período chuvoso. Isto significa que, ao comparar as projeções dos dois cenários entre si, o impacto será maior durante o período considerado chuvoso, justamente pelo fato dos aumentos na temperatura média do ar no cenário A2 serem maiores neste período.



Continua

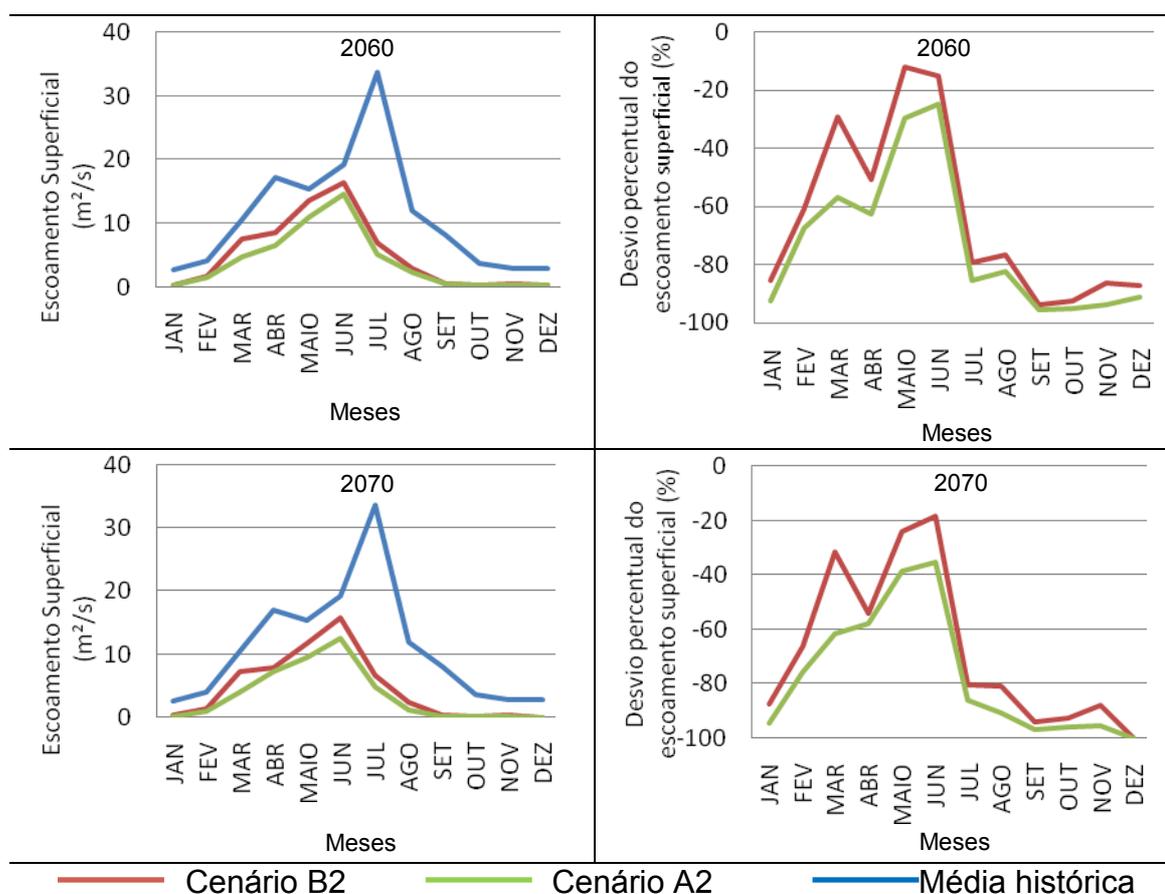


Figura 39: Escoamento superficial simulado para os anos de 2020 a 2070, cenários B2 e A2 e seu desvio percentual em relação à média histórica observada na estação fluviométrica do Engenho Itapissirica

#### 4.3.5. Possíveis impactos das mudanças do escoamento superficial na organização socioespacial da bacia hidrográfica do rio Goiana no futuro

Diante do exposto anteriormente, é possível traçar os reflexos das mudanças climáticas na organização socioespacial da bacia hidrográfica do rio Goiana com a redução do escoamento superficial.

Um dos reflexos será na disponibilidade de água para o abastecimento doméstico, principalmente no período seco. Problemática embasada nas reduções drásticas no escoamento superficial apontada nas simulações para os meses deste período. Isto poderá implicar em políticas de racionamento de água já a partir de 2020, visto que, dos 26 municípios que tem seus limites territoriais inseridos na bacia hidrográfica, 22 são abastecidos por suas águas. Conseqüentemente, poderá

haver aumento no preço dos serviços de captação, tratamento e distribuição deste recurso.

Doenças de veiculação hídrica poderão voltar a se configurar como uma das principais causas de internações e mortes nos municípios inseridos na bacia hidrográfica. Entre elas a diarreia infantil, a esquistossomose e a leptospirose. Problema que poderá estar ligada à redução de água potável para o consumo doméstico da população de baixo poder aquisitivo. Isto acarretará com que, esta população consuma água sem tratamento captada dos cursos hídricos e de outras fontes que estejam contaminadas, principalmente nos meses do período mais atingido pela redução do escoamento superficial.

O setor agropecuário também poderá ser afetado. Isto por que, durante boa parte do ano, mesmo a bacia hidrográfica estando inserida na zona climática úmida e subúmida, há a necessidade de irrigação para algumas culturas, entre elas a cana-de-açúcar. Com a redução do escoamento, principalmente no período seco, poderá acarretar também a redução do cultivo deste vegetal, que segundo Brasileiro & Marciel (2009) é a principal base econômica da Zona da Mata Pernambucana, região que está inserida a bacia hidrográfica em estudo.

Com a redução do escoamento e conseqüentemente do cultivo da cana-de-açúcar, poderá desencadear um velho processo de mobilidade populacional, a migração. Neste contexto, trabalhadores desempregados poderão migrar do espaço rural para as cidades e, de algumas cidades de menor porte econômico para os centros regionais inseridos na bacia hidrográfica, a exemplo da cidade de Timbaúba e Goiana. Há também possibilidades de migrarem para a região metropolitana de Recife de João Pessoa, e para o pólo agroindustrial de Juazeiro-Petrolina. Fenômenos semelhantes aos já encontrados por Madalu (2003) na Tanzânia.

Outro impacto a ser desenvolvido refere-se à entrada das águas do Oceano Atlântico pelo exutório da bacia hidrográfica, visto que, com a redução do escoamento superficial as águas fluviais não terão força para limitar a entrada das águas salgadas do mar. Conseqüentemente poderá haverá modificações no dinamismo zoogeográfico aquático, como desaparecimento de espécies de peixes e crustáceos que só sobrevivem sobre águas doces, assim como, espécies que necessitam da mistura da água doce e salgada para sobrevivência. Isto implicará em mudanças nos modos de vida das comunidades de pescadores(as) e marisqueiros(as) que habitam o entorno da foz do rio Goiana.

Outro impacto importante refere-se ao acúmulo de sedimentos nos leitos dos principais rios da bacia hidrográfica. Com a diminuição drasticamente do escoamento superficial, estes não terão as forças atuais para carregarem até o oceano os sedimentos gerados na bacia. Conseqüentemente haverá mudanças na dinâmica da geomorfologia fluvial da bacia, transformando os principais canais fluviais em anastomosados, ou seja, canais com formação de bancos de areias ao longo do curso segundo Christofolletti (2006).

Acrescentam-se ainda, as intensificações dos conflitos pelos usos múltiplos da água. Conflitos que poderão ser travados pelos usuários do setor agropecuário, aí destacando em sua maioria os grandes e médios latifundiários; os pequenos agricultores; os habitantes do espaço urbano; os pescadores e os carcinicultores, estes últimos concentrados na foz do principal rio da bacia hidrográfica.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A variação que vem ocorrendo nas precipitações na escala de década é natural, de acordo com as análises do Índice de Anomalia de Chuva.

No período chuvoso ocorre uma maior concentração de anos com desvio acima de 20%. No período seco os desvios positivos acima de 20% não variaram entre as três décadas 1963-1972, 1973-1982 e 1983-1992.

Mais de 90% dos anos que ocorre pico de desvio percentual da precipitação em relação à média histórica coincidem com anos de ocorrência de *El Niño*, *La Niña* e padrão de Dipolo. Fator que inibe qualquer afirmação sobre os efeitos das mudanças climáticas atuando na variação dos totais pluviométricos sobre a bacia hidrográfica.

Para os anos de ocorrência do *El Niño* de intensidade moderada e forte, na estação chuvosa, 40% apresentaram desvios percentuais positivos, o que indicam chuvas acima da média histórica. Desse total, 70% coincidem com anos com influências dos eventos *La Niña* e de Dipolo negativo, o que justificam os desvios positivos em anos de *El Niño*. Para a estação seca, ocorrência de *El Niño* com chuvas acima da média histórica é menor do que na estação chuvosa, atingindo 30% dos anos.

Em relação aos eventos de *La Niña* no período chuvoso dos oitos episódios apenas três apresentaram desvios percentuais positivos, ou seja, chuva acima da média histórica. Em cinco anos o desvio percentual foi negativo. Desses anos dois tiveram a influência do *El Niño* e nos três restantes não foram encontradas influências do *El Niño* e nem do Dipolo positivo.

Quanto à análise de tendência pluviométrica para os anos de *El Niño*, tanto no período seco como no chuvoso esta não foi significativa. Já para os anos de ocorrência de *La Niña* no período chuvoso, também não houve tendência significativa, fator que não ocorreu para o período seco.

As projeções da temperatura média mensal do ar realizadas pelo modelo PRECIS sobre a bacia hidrográfica do rio Goiana são preocupantes. No cenário B2, o mais otimista, no período de 2020 a 2070 projeta-se um aumento médio de 2 a 3°C sobre os meses do período chuvoso (frio), enquanto que, para os meses do período seco (quente) este acréscimo em média varia entre 1 a 3°C. No cenário A2, considerado o mais pessimista, as projeções para 2020 até 2070 apontam um

acréscimo de até 4°C em alguns meses do período chuvoso (frio). Já para a estação seca (quente) as projeções apontam uma variação entre 3 a 4°C no aumento da temperatura média mensal do ar.

O modelo de balanço hídrico mensal semi-distribuído simples apresentou resultados considerados satisfatórios, com leves subestimações nos picos de precipitação. O escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Goiana sofrerá maiores impactos nos meses do segundo semestre.

As consequências das mudanças no dinamismo do escoamento superficial da bacia hidrográfica poderão trazer modificações no modo de vida das populações dos municípios locais. Problemas como: redução na disponibilidade de água potável para o abastecimento doméstico; racionamento na distribuição de água potável, principalmente no período seco; propagação de doenças de veiculação hídrica como a diarreia infantil, a esquistossomose e a leptospirose; redução no cultivo da cana-de-açúcar; desemprego no setor agropecuário; migrações regionais e inter-regionais; gastos públicos para construção de reservatórios para armazenamento de água; impactos sobre a fauna fluviomarina da região próxima ao exutório da bacia e mudanças e nos hábitos de vidas dos pescadores locais e assoreamentos dos principais cursos hídricos.

Essas possíveis implicações requerem medidas emergências de enfrentamento dos impactos das mudanças climáticas para que possam minimizar os prejuízos futuros. Para isso, além da sociedade civil, os poderes públicos municipais, estaduais e federais devem atuar de forma articulada, levando em consideração o dinamismo sistêmico dos elementos climáticos que atuam sobre a bacia hidrográfica, assim como, a dinâmica dos elementos físicos-naturais e sociais presentes na unidade ambiental de estudo.

Apesar da contribuição que este trabalho poderá fornecer para o planejamento integrado dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Goiana, novos diagnósticos devem ser realizados com o intuito de complementar este estudo. Trabalhos futuros que poderão: analisar com mais detalhes a dinâmica das precipitações pluviométricas e seu relacionamento com o escoamento superficial da bacia; desenvolvimento de modelos hidrológicos com uma precisão maior para diagnosticar a relação entre as mudanças climáticas e o escoamento superficial; análises com um aprofundamento maior entre a relação mudanças climáticas,

escoamento superficial e o dinamismo socioespacial dos territórios construídos sobre a área da bacia hidrográfica; entre outros.

**REFERÊNCIAS**

AJAMI, N. K.; GUPTA, H.; WAGENER, T.; SOROOSHIAN, S. Calibration of a semi-distributed hydrologic model for streamflow estimation along a river system. **Journal of Hydrology**, v.298, p.112-135, 2004.

AKHTAR, M.; AHMAD, N.; BOOIJ, M. J. The impact of climate change on the water resources of Hindukush–Karakorum–Himalaya region under different glacier coverage scenarios. **Journal of Hydrology**, v.355, p.148-163, 2008.

ALVES, J. M. B.; CAMPOS, J. N. B.; SOUZA, E. B. de; REPELLI, C. A. Produção agrícola de subsistência no estado do Ceará com ênfase aos anos de ocorrência de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, p.249-256, 1998.

ALVES, M. C. Os recursos hídricos e a possibilidade de mudança climática. In: CONGRESSO DA ÁGUA. 4., Lisboa. **Anais...** Lisboa, 1998. [CD-ROM]

ANDRÉ, I. R. N. Algumas considerações sobre mudanças climáticas e eventos atmosféricos severos recentes no Brasil. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v.1, n.1/2, p.1-9, 2006.

ARNELL, N. W. Climate change and water resources in Britain. **Climatic Change**, v. 39, p. 83-110, 2008.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 9ed. Trad. Maria Juraci Zani dos Santos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

BACK, A. J. Application of statistical analysis for identification of climatic tendency. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.36, n.5, p.717-726, 2001.

BARBIERI, A. F. (Coord.) *et al.*, (mais de 10 autores). **Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste, 2000-2050**: Belo Horizonte/Rio de Janeiro: CEDEPLAR/FIOCRUZ, 2009.

BATES, B.; ZBIGNIEW W. K.; WU, S.; PALUTIKOF, J. **El Cambio Climático y el Agua**. Secretaría del IPCC: Ginebra, 2008.

BAUMGARTNER, P. R. Climatic changes, the dilemma of the century. Earth- Berhm, A. S. Development and management of the territory in watersheds in the forest of the Congo. **The Geographical Journal**, v.168, p.20-37, 2002.

BINDER, W. L. C. Climate Change and Watershed Planning in Washington State. **Journal of the American Water Resources Association**, v.42, n.4, p.915-926, 2006.

BONSAL, B.; PROWSE, T. Regional assessment of GCM simulated current climate over northern Canada. **Arctic**, v.59, p.115-128, 2006.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 2ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2007. p. 324-343.

BRADFORD, A. S.; DAWES, W. R. Monitoring of the regional agriculture and the effects of ENSO in the North China Plain. **Acta Geographic**, v.5, p.56-72, 2003.

BRASIL. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

BRASIL. Manual técnico de pedologia. 2ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

BRASILEIRO, R. S.; MARCIEL, C. A. A. Agricultura familiar agroecológica na Mata pernambucana: desenvolvimento territorial rural e identidade cultural. In: MARCIEL, C. A. A. (Org.). **Entre Geografia e Geosofia: abordagens culturais do espaço**. Recife: EDUFPE, 2009, p.21-48.

BRUNET, R.; FERRAS, R.; THERY, H. **Les monts de la Geographie**: dictionnaire critique. 2ed. 2reimp. Montpellier: Gp-Reclus, 1998.

CAVALCANTE, C.; DIAS, A.; LUBAMBO, C.; BARROS, H.; CRUZ, L.; ARAÚJO, M. L. C. de; MOREIRA, M.; GALINDO, O. **Programa de apoio ao desenvolvimento sustentável da Zona da Mata de Pernambuco** - PROMATA, 2003.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em funções da temperatura do ar em funções das coordenadas locais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA E CONGRESSO LATINO-AMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA. SOCIEDADE BRASILEIRA DE METEOROLOGIA. 8., 1994. Belo horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1994.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. P. R.; SOUZA, F. A. S. Programa computacional para estimativa da temperatura do ar para a região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.1, n.1, p.140-147, 2006.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/ INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – CEPTEC/INPE. **Anos de ocorrência dos fenômenos La Niña e El Niño**. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/html>>. Acesso em: 08 abr. 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial. In: CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ed. 9 reipr. Edgard Blucher: São Paulo, 2006. p 52-78.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. 2ed. 3reimp. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

CONTI, J. B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. **Revista da ANPEGE**, Fortaleza, v.2, n.2, p.81-96, 2005.

CUNHA, L. V.; OLIVEIRA, R.; NUNES, V. B. Impactos das alterações climáticas sobre os recursos hídricos de Portugal. **Climate Change in Portugal, Scenarios, Impacts and Adaptation Measures**. [s/n], 2008, p. 1-13.

DINIZ, A. F. SANTOS, R. L.; SANTO, S. M. Avaliação dos riscos de seca para o município de Feira de Santana-BA associado à influência do *El Niño* no semi-árido do nordeste brasileiro. **Geografia's**, v.1, n.1, p.18-24, 2008.

DONIGIAN, A. S. **Watershed model calibration and validation**: The HSPF experience, national TMDL Science and Policy Specialty Conference. Phoenix: Water Environment Federation, 2002.

DUARTE, C. C. **Análise dos Impactos das Mudanças climáticas no escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Tapacurá, a partir da utilização de um modelo de balanço hídrico semi-distribuído simples**. 124f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

FERREIRA, G. F.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacíficos e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, n.1, p.15-28, 2005.

FICKLIN, D. L.; LUO, Y.; LUEDELING, E.; ZHANG, M. Climate change sensitivity assessment of a highly agricultural watershed using SWAT. **Journal of Hydrology**, v.xxx, 2009 (artigo no prelo).

FIERING, S.; QRUNNUTS, K. Models for simulation of full in watershed in the north of the Canada. **The Geographical Journal** , v.168, n.2, p.121-138, 2007.

FILL, H. D.; SANTOS, I.; FERNANDES, C.; TOCZECK, A.; OLIVEIRA, M. F. Balanço Hídrico da bacia do rio Barigui-PR. **RA'E GA**, v.20, n.9, p.59-67, 2005.

GALVÍNCIO, J. D. **Balanço hídrico a superfície do Açude Epitácio Pessoa, utilizando modelos digitais de elevação**. 156f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, 2005.

GODIM, R. S.; CASTRO, M. A. H; EVANGELISTA, S. R. M. TEIXEIRA, A. S.; JUNIOR, S. C. F. Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.12, p.1657-1664, 2008.

GUERRA, A.J.T.; BOTELHO, R. G. M. Erosões dos Solos. In: CUNHA, S. B. & GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.181-228.

GUO, S.; WANG, J.; XIONG, L.; YING, A.; LI, D. A macro-scale and semi-distributed monthly water balance model to predict climate change impacts in China. **Journal of Hydrology**, v.268, p. 1-15, 2002.

HIEB M.; HIEB H. **Water vapor rules the greenhouse system**. 2006. Disponível em: <http://mysite.verizon.net/mhieb/WVFossils/greenhousedata>. Acesso em 14 abr 2007.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, 1945.

HUDSON, P.F. The Influence of the El Niño Southern Oscillation on suspended sediment load variability in a seasonally humid tropical setting: Pánuco Basin, Mexico. **Geografiska Annaler**, v.85, n.3-4, p.263–275, 2003.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC (IPCC): Climate Change 2001: The Scientific Basis-Contribution of Working Group 1 to the IPCC Third Assessment Report. Cambridge University Press: Cambridge, 2001.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC (IPCC): Climate Change 2007. The Physical Science Basis: contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, 2007a.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC (IPCC): Climate Change 2007. Impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, 2007b.

JAKOB, A. A. E. A Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos. ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS. 8., 2002. Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto, 2002. [CD-ROM]

JIANG, T.; CHEN, Y. D.; XU, C.; CHEN, X.; SINGH, V. P. Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. **Journal of Hydrology**, v.336, p. 316-333, 2007.

JONES, R. G.; HASSEL, M.; HUDSON, D.; WILSON, S.; JENKINS, G. J. & MITCHEL, J. F. B. **Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS**. Exeter: Met Office Hadley Centre, 2004.

KOFFLER, N. P.; LIMA, J. F. W. F.; LACERDA, J. F.; SANTANA, J. F.; SILVA, M. A. **Caracterização edafo-climática das regiões canavieiras do Brasil**: Pernambuco. Piracicaba, Programa nacional de melhoramento da cana-de-açúcar: PLANALSUCAR, 1986.

KUNKEL, K.E.; PIELKE JR, R. A.; CHANGNON, S. A. Temporal Fluctuations in weather and climate extremes that cause economic and human health impacts: a review. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.80, n.6, p.1077-1098, 1999.

LACERDA, F.; FERREIRA, M. A. F.; SOUZA, W. M. de. Climas do Estado de Pernambuco. In: **Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco**. Recife: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado de Pernambuco, 2006. p.16-17.

LIU, Q; YANG, Z.; CUI, B. Spatial and temporal variability of annual precipitation during 1961–2006 in Yellow River Basin, China. **Journal of Hydrology**, v.361, p.330-338, 2008.

MA, Z.; KANG, S.; ZHANG, L.; TONG, L.; SU, X. Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in arid region of northwest China. **Journal of Hydrology**. v.352, p.239-249, 2008.

MADULU, N. F. Linking poverty levels to water resource use and conflicts in rural Tanzania, **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 28, p.911-917, 2003.

MAO, D.; CHERKAUER, K. A. Impacts of land-use change on hydrologic responses in the Great Lakes region. **Journal of Hydrology**, v.374, p.71-82, 2009.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.83-96, 2008.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas e suas conseqüências para o Brasil no setor de recursos hídricos e no setor elétrico**. Eletrobrás, 2006b. Disponível em:< [www.cptec.inpe.br/mudancas\\_climaticas](http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas) >. Acesso em: 10 ago. 2009.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 2006a.

MARSH, T.J.; ARNELL, N.W.; MANKHOUSE, R.A.; REYNARD, N.S; LEES, M.L. **The 1988-1992 drought**. Wallingford: Institute of Hydrology, 1999.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M. OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.27, p. 925-933, 2004.

MENDONÇA, F. Rechauffement global et santé: Aspects généraux et quelques particularités du Monde Tropical. **Annales de l'Association Internationale de Climatologie**, v.1, 2005, p.157-175.

MENDOÇA, F. Aquecimento global e suas manifestações regionais e locais: alguns indicadores da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.2, p.71-86, 2006.

MENEZES, H. E. A.; BRITO, J. I. B.; SANTOS, C. A. C.; SILVA, L. L. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, p.152-161, 2008.

MILLY, P. C. D. *et al.* (mais 12 autores). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. **Nature**, v.438, p.347-50, 2005.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, p.8-24, 2008a.

MOLION, L. C. B. Perspectivas climáticas para os próximos 20 anos. **Revista Brasileira de Climatologia**, p.117-128, 2008b.

MOUELHI, S.; MICHEL, C.; PERRIN, C.; ANDRASSIAN, V. Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. **Journal of Hydrology**, v.318, p.200-214, 2006.

NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.E. River flow forecasting through conceptual models - Part I: a discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v.10, n.3, p.282-290, 1970.

NICHOLLS, N. *et al.* (mais 90 autores). Observed climate variability and change. In: HOUGHTON, J.T.; MEIRA FILHO, L. G.; CALLANDER, B. A.; HARRIS, N. A.; KATTENBERG, D.; MASKELI, K. (Eds.). **Climate Change: The Science of Climate Change**. Cambridge University Press: Reino Unido, 1996. p.133-192.

NIMER, E. **Pluviometria e recursos hídricos de Pernambuco e Paraíba**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 117p.

NÓBREGA, R. S. **Modelagem de Impactos do desmatamento nos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Jamari (RO) utilizando dados de superfície e do TRMM**. 213f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

NÓBREGA, R. SILVA; GALVÍNCIO, J. D. Modelagem climática no nordeste do Brasil: cenários e incertezas. In: GALVÍNCIO, J. D.; SILVA, D. F. (Orgs.). **Mudanças climáticas e recursos hídricos: aplicações no estado de Pernambuco**. Recife: Galvêncio e Silva, 2009, p.1-25.

ONÇA, D. S. **Curva-se diante do existente: o apelo às mudanças climáticas pela preservação ambiental**. 257f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 2007.

PALMIERI, F.; LARACH, J. O. I. Pedologia e Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 6ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. p. 59-122.

PRELA, A.. **Influência dos fenômenos El Niño/La Niña na produtividade de trigo no Estado do Paraná**. Tese de Doutorado. 167f. Esalq- Faculdade Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2004.

RADAMBRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SB.24/25 Jaguaribe – Natal. Rio de Janeiro, 1981.

REIS, R. J. O fenômeno do El Niño. **Caderno de Geografia**, v.1, n.8, p.75-78, 1998.

RIBEIRO, W. C. Mudanças climáticas, realismo e multilateralismo. **Terra Livre**, v.1, n.18, p.75-84, 2002.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas. In: VENTURI, L. A. B. (Org.). **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005, p.147-166.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial de culturas e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.2, p.133-137, 1998.

ROPELEWISK, C.F.; HALPERT, M.S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. **Journal of Climate**, v.2, n.2, p.268-284, 1989.

SANCHES, H. J.; RUIZ, P.; ARRIBAS, P.; CANE, T. R. Climatic changes agriculture is maintainable development in the Rich Coast. **Singapore Journal of Tropical Geography**, v.27, 2005, p.231-247.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Eventos Climáticos Extremos e Impactos Socioambientais: a vulnerabilidade da América Latina em questão.** Encontro de Geógrafos da América Latina, São Paulo, 2005. 25 slides. Color.

SANTOS, A. M. **Degradação Ambiental dos sistemas de nascentes na Cidade de Santo Antônio de Jesus-BA.** 110f. Monografia (Graduação em Licenciatura Plena em Geografia) – Departamento de Ciências Humanas – Campus V, Universidade do Estado da Bahia, 2008.

SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D. **Banco de dados geoambiental da bacia hidrográfica do rio Goiana-PE.** Recife: SERGEO, 2009a. [CD-ROM]

SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D. O fenômeno de *La Niña* atuando sobre a precipitação pluviométrica do município de Timbaúba – Pernambuco. In: ENCONTRO NACIONAL DE PÓS - GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA. 8., 2009b. Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2009b. [CD-ROM]

SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para identificação da cobertura fitogeográfica da bacia hidrográfica do rio Goiana-PE. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA DO NORDESTE, 2., 2008. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2008a. [CD-ROM]

SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B de. Homogeneização da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Goiana - PE, com método de análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.1, n.1, mai/ago, 2008b. p.14-27.

SANTOS, L. L. Modelos hidráulicos-hidrológicos: conceitos e aplicações. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.02, n.3, 2009, p. 01-19.

SAUCHYN, D. J.; BEAUDOIN, A. B. Recent environmental change in the southwestern Canadian plains. **Le Geographe Canadien**, v.42, n.4, p.337-353, 1998.

SENARATH, S. U. S.; OGDEN, F.L.; DOWNER, C.W.; SHARIF, H.O. On the calibration and verification of two-dimensional, distributed, Hortonian, continuous watershed models. **Water Resources Research**, v.36, n.6, p.1495-1510, 2000.

SERREZE, M. C.; FRANCIS, J. A. The Arctic amplification debate. **Climatic Change**, v.76, p.241-64, 2006.

SILVA, D. F.; GALVÍNCIO, J. D. Influência das escalas interanuais e decadais sobre a precipitação do Submédio São Francisco. In: GALVÍNCIO, J. D.; SILVA, D. F. (Orgs.). **Mudanças climáticas e recursos hídricos: aplicações no estado de Pernambuco**. Recife: Galvínio e Silva, 2009, p.26-55.

SILVA, F. H. B ; SILVA, A. B.; BARROS, A. H. C. **Principais classes de solos do estado de Pernambuco**. Recife: [s./n.], [200-?].

SILVA, J. M. A. **Modelo hidrológico para o cálculo do balanço hídrico e obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas: desenvolvimento e aplicação**. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2002.

SILVA, V. P. R.; MELO, H.; TEIXEIRA , A. H. C.; CAVALCANTI, J. H. F. Impacto do Fenômeno El Niño na Captação de Chuva no semiárido do Nordeste do Brasil. CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA. 9., 1989. Petrolina. **Anais...** Petrolina, 1999.

SOUZA, A.; ALBUQUERQUE, B. F. C.; LOPES, T. C. S. P. Um estudo do Índice de Bhalme & Mooley – IBM (Bhalme & Mooley, 1980); Índice de Anomalia de Chuva – IAC (Rooy,1965) para o estado de Mato Grosso do Sul. Disponível em: < <http://www.cbmet.com/edicoes> >. Acesso em: 25 out. 2009.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. influência dos oceanos pacífico e atlântico na estação chuvosa do semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.2, p.277-283, 1998.

SURGIO, K. **Geologia do Quartanário e mudanças ambientais**: (passado, presente e futuro?). 2ed. São Paulo: Paulo's Comunicação das Artes Gráficas, 2007.

TAVARES, A. C. Mudanças climáticas. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 2ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. P.49-88.

TENG, H.; WASHINGTON, W. M.; MEEHL G. A.; BUJA L. E.; STRAND G. W. Twenty-first century Arctic climate change in the CCSM3 IPCC scenario simulations. **Climate Dynamics**, v.26, p.134-167, 2006.

TEODORO, P. H. M.; AMORIM, M. C. C. T. Mudanças climáticas: algumas reflexões. **Revista Brasileira de Climatologia**, p.24-35, 2008.

TINGEM, M.; RIVINGTON, M.; COLLS, J. Climate variability and maize production in Cameroon: Simulating the effects of extreme dry and wet years. **Singapore Journal of Tropical Geography**, v.29, p.357–370, 2008.

TOMMASELLI, J. T. G.; SILVA, T. C. Estimativa do armazenamento de carbono dos Ipês do parque do povo em Presidente Prudente-SP. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. 12., 2007. Natal. **Anais...** Natal, 2007. [CD-ROM]

WAGNER, R.G. Mechanisms controlling variability of the interhemispheric sea surface temperature gradient in the tropical Atlantic. **Journal of Climate**, v.9, n.7, p.2010-2019, 1996.

WEBB, B. W.; HANNAH, D. M.; MOORE, D. R.; BROWN, L. E.; NOBILISS F. Recent advances in stream and river temperature research. **Hydrological Processes**, v. 22, p.902-918, 2008.

XIONG, L.; GUO, S. Water balance models and application in China. **Journal Adv Water**, v.7, p.74-78, 1997.

XU, Z., GODREJ, A. N.; GRIZZARD, T. J. The hydrological calibration and validation of a complexly-linked watershed–reservoir model for the Occoquan watershed, Virginia. **Journal of Hydrology**, v.345, p.67-183, 2007.

YONGJIAN, D. Eco-environment range in the source regions of the Yangtze and Yellow rivers. **Journal of Geographical Sciences**, v.13, n.2, p.172-180, 2003.