



ECONOMIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL

Estimativas da Oferta de Recursos Hídricos no Brasil em Cenários Futuros de Clima (2015 – 2100)

Sub-Projeto: Efeitos das Mudanças Climáticas Globais na Disponibilidade de Recursos Hídricos no Brasil

Balço Hídrico no Brasil e Determinação e Verificação dos Métodos para os Cálculos de Balço Hídrico do Futuro

Junho de 2008
Revisado em julho de 2010



Equipe FBDS para o Trabalho:

Eneas Salati — Coordenador
Walfredo Schindler
Daniel de Castro Victoria
Eneida Salati
João Carlos Simanke de Souza
Nilson Augusto Villa Nova

**Os dados climáticos primários dos diversos
modelos foram fornecidos pela Equipe do CPTEC/INPE:**

Jose A. Marengo — Coordenador
Daniel Caetano Santos
Lincoln Alves
Roger Torres

Índice

Resumo do balanço hídrico nas regiões do Brasil 7

Determinação e verificação do método de ETP e balanço hídrico a ser utilizado nas regiões hidrográficas do Brasil 16

Avaliação dos dados climáticos modelados, procedimento de correção e balanços hídricos futuros 19

Resultados dos balanços hídricos 22

Cálculo dos excessos médios corrigidos com base nas vazões reais para as 12 bacias hidrográficas do país (ANA) 27

Classificação climática segundo WC. Thornthwaite 32

Balanços hídricos = comparativo de diferentes modelos 47

Conclusões 76

Recomendações 78

Prólogo

Quando eu dava um curso sobre Hidrologia Estocástica na COPPE-UFRJ, costumava explicar aos alunos que toda teoria apoiava-se na hipótese de que o processo estocástico subjacente à série histórica de vazões seria estacionário. Quando o processo é estacionário algumas propriedades estatísticas se mantêm estáveis. Por exemplo, embora se possa ter certeza de que as vazões observadas nos últimos n anos não se repetirão nos próximos n anos, as médias das vazões nos dois períodos - passado e futuro - serão próximas.

Dizia que a hipótese de estacionariedade seria obviamente falsa se o intervalo de tempo fosse muito longo. Por exemplo, se n fosse 500 anos é claro que não se poderia supor que o clima se manteria estável. Afinal, há registros históricos que mostram que nessa escala de tempo ocorrem flutuações naturais. Mas o interesse de quem projeta uma obra hidráulica se limita a uma escala de tempo bem menor - por exemplo, 30 anos - e para esse tipo de intervalo a hipótese de estacionariedade seria uma aproximação razoável.

Esse raciocínio era válido quando só se consideravam apenas as mudanças climáticas naturais e lentas. Se, no entanto, as mudanças forem abruptas, pelo efeito da ação humana, diminui a importância da observação do passado para o planejamento do futuro. E aumenta a incerteza quanto ao futuro.

Na falta de uma bola de cristal confiável, o planejamento do uso de recursos naturais vinculados ao ciclo hidrológico passa a depender do que se consegue prever sobre o clima a partir de modelos gerais de circulação da atmosfera. Todavia, é difícil fazer previsões cientificamente seguras sobre o que acontecerá com o clima e em particular com as chuvas e vazões fluviais devido ao aumento da concentração dos gases que causam o efeito estufa.

Entre muitas razões, porque o aumento da temperatura causa também aumento de evapotranspiração e maior retenção de vapor de água na atmosfera. Como vapor de água é o principal gás de efeito estufa, à primeira vista haveria um feedback positivo. Porém aumento de concentração de vapor de água também causa aumento de nebulosidade. E as nuvens causam simultaneamente um efeito na direção de incremento ainda maior de temperatura (aprisiona as ondas longas oriundas da Terra) e um efeito na direção contrária (reflete as ondas curtas oriundas do Sol).

Há controvérsia sobre qual dos dois efeitos associados à formação de nuvens prevalecerá. Se o efeito "tipping point" - como uma esfera que atinge o cume de uma montanha e desce ladeira abaixo - ou o efeito "joão bobo" - como uma esfera que atinge o ponto mais baixo de uma bacia e por mais que seja deslocada, sempre retorna ao ponto de equilíbrio. O fato é que os modelos de circulação da atmosfera adotam diferentes enfoques para representar os fenômenos relacionados ao aumento da concentração de vapor de água e da nebulosidade. Consequentemente é grande a variabilidade de resultados.

Todavia, o presente estudo mostra uma notável convergência de resultados no que diz respeito ao deflúvio médio dos rios no Brasil nos próximos 30 anos: vai diminuir. Essa tendência é válida inclusive para as regiões em que os modelos indicam um aumento das precipitações. Nestes casos a diminuição das vazões é decorrente das perdas por evapotranspiração causada pelo aumento da temperatura.

Por exemplo, o estudo prevê que a vazão média para o período de 2011 a 2040, quando comparada ao período de 1961 a 1990, deverá diminuir da ordem de 20% na bacia do rio Paraná e de 30% na bacia do rio São Francisco. Trata-se de uma previsão bastante perturbadora. Se de fato vier a ser confirmada pela observação, provavelmente a transposição do rio São Francisco se revelará uma obra de pouca serventia, haverá um forte fluxo de emigração da região, como aconteceu no século XIX e grande parte do século XX, e diminuirá a produção de hidroeletricidade nas usinas da CHESF.

Para enfrentar essa situação tão desfavorável, poder-se-ia conclamar o Governo a adotar desde já medidas preventivas radicais. Por exemplo, dotar o Nordeste de novas fontes energéticas e induzir uma nova onda migratória, desta vez controlada. Todavia, antes de se adotar uma posição tão assertiva, convém olhar novamente os resultados e reconhecer que a investigação deve prosseguir para melhor explicar o que hoje não parece intuitivo.

Por exemplo, a previsão para a bacia do São Francisco é de que o deflúvio médio no período 2071-2100 será maior do que no período 2011-2040. Ou seja, de acordo com os resultados encontrados a tendência de diminuição da vazão média não se manteria constante ao longo do século XXI. O que, repito, não parece intuitivo.

Por conta desse e de outros indícios, é preciso ir além na investigação e comparar os resultados encontrados com as projeções de deflúvio superficial que estão implícitas nas simulações dos modelos gerais de circulação. Afinal, como bem apontam os autores, os “cenários futuros do clima apenas são projeções prováveis de mudanças que possam vir a acontecer como produto do aumento nas concentrações dos gases de efeito estufa. O nível de incerteza ainda é grande em relação ao que de fato possa acontecer”.

Jerson Kelman
Professor da COPPE-UFRJ e membro do Conselho Curador da FBDS

Apresentação

Este documento faz parte do projeto “Economia das Mudanças Climáticas no Brasil”, que teve como coordenador o professor Jacques Marcovitch e foi financiado pela da Embaixada Britânica. O estudo foi um detalhamento para o Brasil do Relatório Stern(1). A responsabilidade da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável foi a de avaliar a variação da disponibilidade dos recursos hídricos no território brasileiro em decorrência das possíveis mudanças climáticas.

A elaboração dos cenários climáticos futuros em relação ao clima no período de 1961 a 1990 foi o ponto de partida do projeto. O INPE disponibilizou os dados do clima atual e as previsões até o ano 2100, na escala de 50 km X 50 km, e, posteriormente, para 15 modelos climáticos na escala de 200 km X 200 km. Com base nestes dados, foram feitos balanços hídricos para se ter ideia das variações das disponibilidades hídricas e das temperaturas nas diversas regiões do Brasil.

Os resultados deste estudo têm que ser tomados como uma primeira aproximação ao tema das variações das disponibilidades dos recursos hídricos no Brasil, decorrentes das mudanças climáticas globais. Em especial, deve se chamar a atenção para o fato de que os valores estimados para as precipitações futuras não concordam em sinal (aumento ou diminuição) entre alguns modelos. No entanto, as disponibilidades hídricas superficiais para quase todas as regiões no Brasil apresentam uma diminuição para o Modelo HadRM3P e também para as médias dos modelos na escala aproximada de 2º x 2º lat/long.

A partir daí, foram estudados os impactos sobre os recursos hídricos que poderão alterar o potencial hidrológico e bem como as atividades agrícolas, afetando a economia e a sustentabilidade dos ecossistemas naturais do país. Não há dúvida de que a temperatura do planeta aumentou no século passado e no início deste século. Também houve uma tendência ao aumento dos eventos extremos, especialmente chuvas intensas, ciclones e furacões.

As informações deste relatório indicam a necessidade de mudanças especialmente na matriz energética, com melhor aproveitamento de formas alternativas de energia, tais como a solar, eólica, das marés e biomassa. Fica ainda evidente a necessidade de aprofundamento nos estudos com utilização de outros modelos climáticos, os quais vêm sendo aperfeiçoados em diversos centros especializados do planeta.

A FBDS agradece aos demais cientistas envolvidos neste projeto e especialmente à Embaixada Britânica, na pessoa do Embaixador Peter Collecott, que o tornou viável.

*Eneas Salati,
Diretor Técnico da FBDS e coordenador deste componente do projeto*

[1] - Relatório Stern (30/10/2006) – coordenado pelo economista Nicholas Stern, é um estudo encomendado pelo governo Britânico sobre os efeitos na economia mundial decorrentes das possíveis mudanças climáticas.

1.

Resumo do balanço hídrico nas regiões do Brasil

1.1. Divisão Hidrográfica Nacional

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos instituiu a Divisão Hidrográfica Nacional segundo a Resolução número 32, de 15 de outubro de 2003. O Brasil foi dividido em 12 regiões hidrográficas, como mostra a figura 1.1. Esta divisão (ANA, 2007) procurou preservar as unidades de gestão de recursos hídricos utilizadas por cada Estado e Distrito Federal que compõem a bacia hidrográfica e levam também em consideração aspectos socioeconômicos e concernentes às políticas locais.



Figura 1.1 – Divisão Hidrográfica Nacional (ANA, 2007)

1.2 Variabilidade espacial das precipitações no Brasil

A figura 1.2. mostra as isoietas anuais no Brasil, entre 1961 e 1990. É importante notar a grande variabilidade espacial no total das precipitações, variando de menos de 800 mm na região semiárida do nordeste a mais 2.500 mm na região Amazônica, especialmente na parte oeste onde os totais anuais ultrapassam 3.500 mm.

Segundo a ANA (2007), os menores valores anuais de precipitação no País ocorrem nas regiões hidrográficas do São Francisco (1.037 mm), no Atlântico Leste (1.058 mm), na Parnaíba (1.117 mm) e no Atlântico Nordeste Oriental (1.218 mm). As maiores precipitações anuais são observadas nas regiões Amazônica (2.239 mm), Tocantins/Araguaia (1.837 mm), Atlântico Nordeste Ocidental (1.790 mm) e Uruguai (1.785 mm).

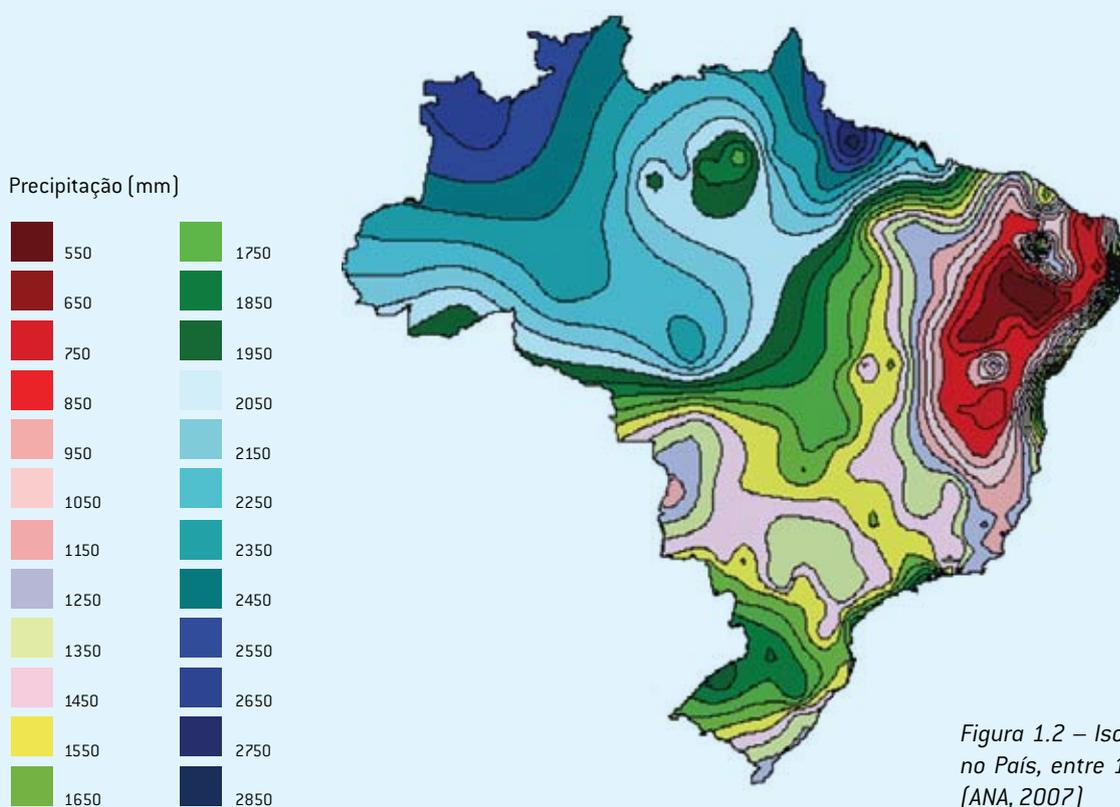


Figura 1.2 – Isoietas anuais no País, entre 1961 e 1990 (ANA, 2007)

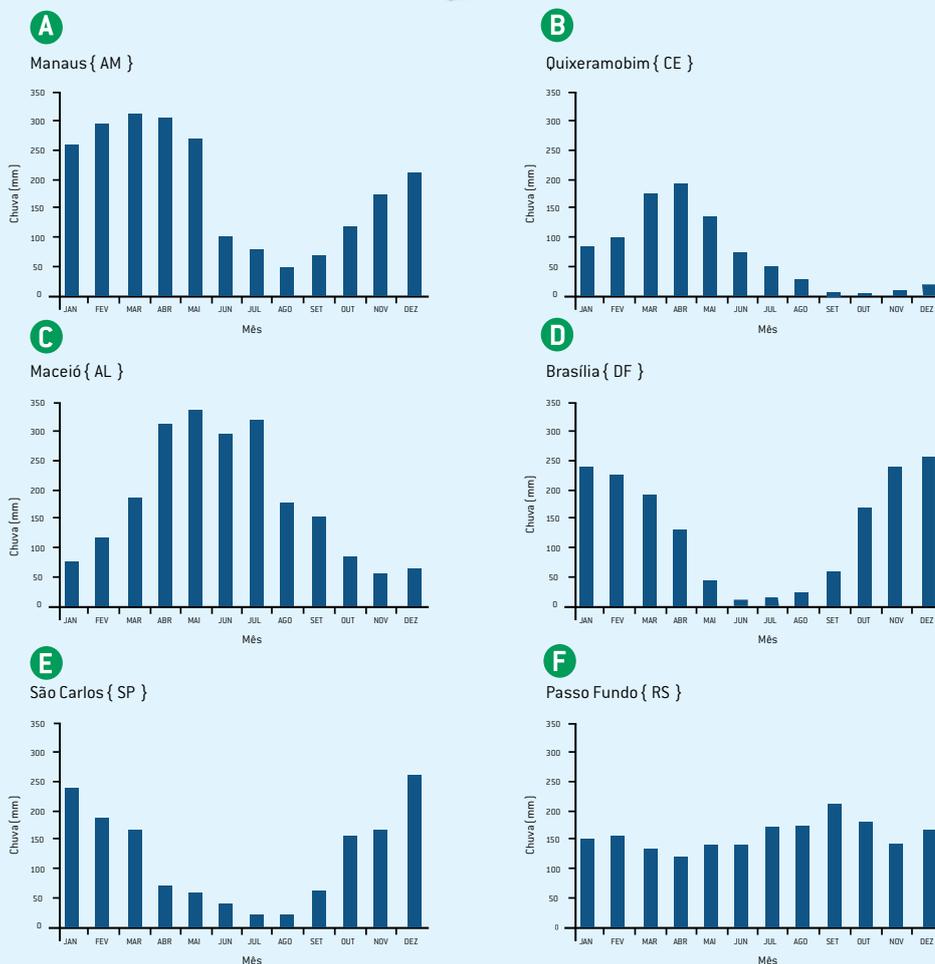
1.3 Variabilidade sazonal das precipitações no Brasil

Além da grande variabilidade espacial das precipitações no Brasil, existe ainda uma grande variabilidade sazonal, como mostra a figura 1.3, que apresenta as chuvas médias mensais em diferentes postos pluviométricos, no período de 1961 a 1990.

Observa-se que no Brasil predominam as chuvas de verão (apesar de ocorrer uma grande variação na quantidade das precipitações) com exceção principalmente do Nordeste onde as maiores precipitações ocorrem no período de março a julho, sendo que na costa leste do Nordeste as chuvas podem prolongar-se até o mês de agosto. Na região Sul, as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano.



Figura 1.3 – Chuvas médias mensais em postos pluviométricos (dados de 1961-1990) (ANA, 2007)



O estudo realizado pela ANA em 2007 comparou as precipitações médias no Brasil entre 1961 e 1990 com as ocorridas entre 1931 e 1960. Foram observadas variações principalmente na região do Nordeste, onde verificou-se um aumento de até 40% nos valores médios de precipitação, no período 1961 a 1990, e em partes das regiões Parnaíba, Atlântico Nordeste Oriental, e no Submédio São Francisco. Observou-se também uma pequena diminuição (em torno de 10 a 20%) da precipitação em alguns locais das regiões hidrográficas Amazônica e Atlântico Leste (figura 1.4).

Este estudo não foi conclusivo se estas variações foram decorrentes das mudanças climáticas globais de origem antrópica ou de uma variabilidade natural. Não foram analisadas pela ANA as variações dos balanços hídricos no mesmo período.

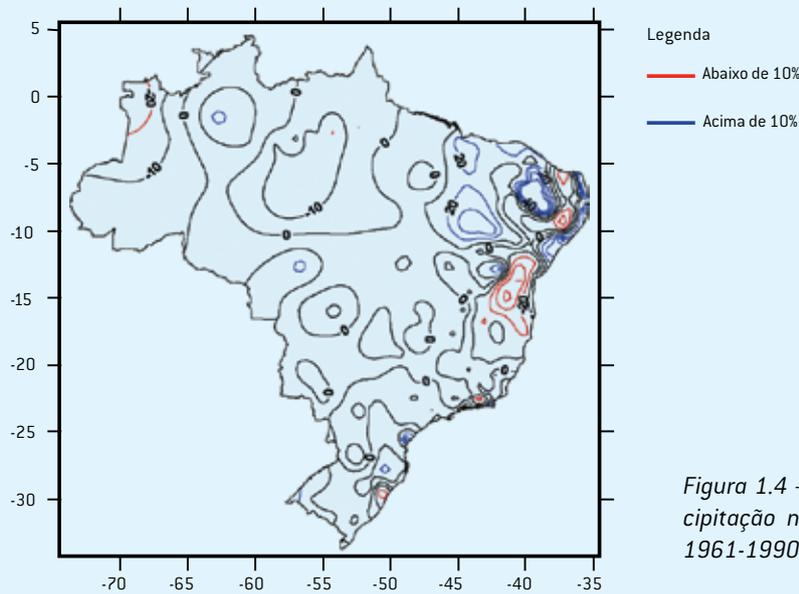


Figura 1.4 – Variação percentual da precipitação no País entre os períodos de 1961-1990 e 1931-1960 (ANA, 2007)

1.4 Variabilidade espacial das vazões no Brasil

Vazões médias

Observa-se na figura 1.5 a grande variabilidade espacial das vazões médias nas 12 bacias hidrográficas do Brasil. A região hidrográfica Amazônica, com 132.000 m³/s, detém 73,6% dos recursos hídricos superficiais, ou seja, a vazão média desta região é quase três vezes maior do que a soma das vazões das demais regiões hidrográficas. A segunda maior região, em termos de disponibilidade hídrica, é a do Tocantins/Araguaia, com 13.624 m³/s (7,6%), seguida da região do Paraná, com 11.453 m³/s (6,4%). As bacias com menor vazão são, respectivamente: Parnaíba, com 763 m³/s (0,4%); Atlântico Nordeste Oriental, com 779 m³/s (0,4%) e Atlântico Leste, com 1.492 m³/s (0,8%) (ANA, 2007).

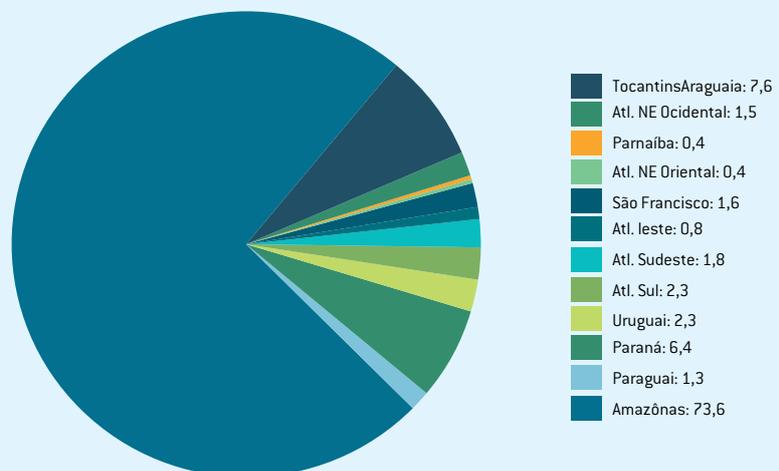


Figura 1.5 – Contribuição da vazão média nas regiões, em percentagem (ANA, 2007)

Vazões específicas

A figura 1.6 mostra as vazões específicas em 332 unidades hidrográficas das 12 regiões hidrográficas, indicando as regiões mais e menos produtoras de água. No Brasil, a vazão específica varia de menos de 2 l/s.km², nas bacias da região semiárida, até mais de 40 l/s.km², no Noroeste da Região Amazônica, sendo a média nacional igual a 21 l/s.km². A baixa vazão específica observada na região hidrográfica do Pantanal mostra que esta área, apesar da abundância de água oriunda na região de Planalto, não é produtora de água, resultando em baixa contribuição da região do Pantanal ao escoamento superficial. No Pantanal, há uma expressiva perda de água por evapotranspiração.

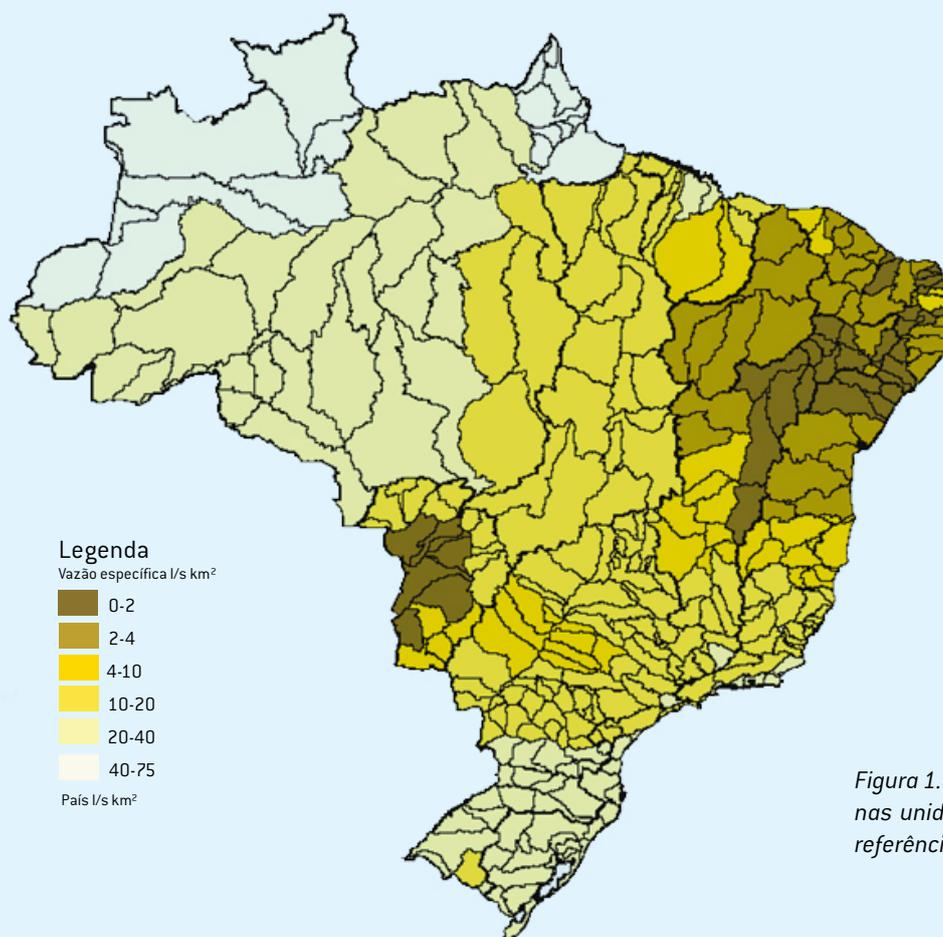


Figura 1.6 – Vazões específicas nas unidades hidrográficas de referência (ANA, 2007).

1.5 Variabilidade temporal das vazões no Brasil

As variações ao longo do ano das precipitações nas diversas regiões hidrográficas do Brasil se refletem nas distribuições das vazões das principais bacias de drenagem, como indica a figura 1.7.

Levando-se em consideração as vazões dos rios somente no território brasileiro, observa-se que no rio Amazonas, as maiores vazões (230.000 m³/s) ocorrem entre os meses de maio a julho e as menores (110.000 m³/s), nos meses de outubro e novembro. Já na região hidrográfica do Tocantins, em Tucuruí, as maiores vazões (22.500 m³/s) ocorrem entre os meses de fevereiro a abril e as menores (2.500 m³/s), nos meses de setembro e outubro. No rio São Francisco, as maiores vazões (5.000 m³/s) são observadas entre os meses de janeiro a março e as menores (1.100 m³/s), entre setembro e outubro.

Na região hidrográfica do Paraná, as maiores vazões (15.000 m³/s) acontecem entre os meses de janeiro a março, e as menores (6.200 m³/s), entre os meses de agosto e setembro. Na região hidrográfica do Paraguai, as maiores vazões (2.950 m³/s) ocorrem entre os meses de junho a agosto e as menores (1.900 m³/s), nos meses de dezembro e janeiro (ANA, 2007).

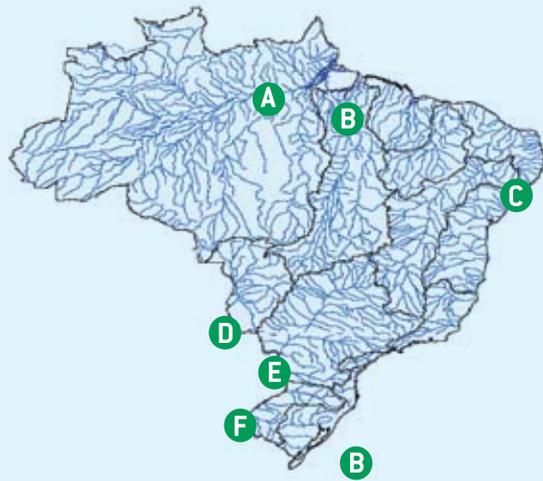
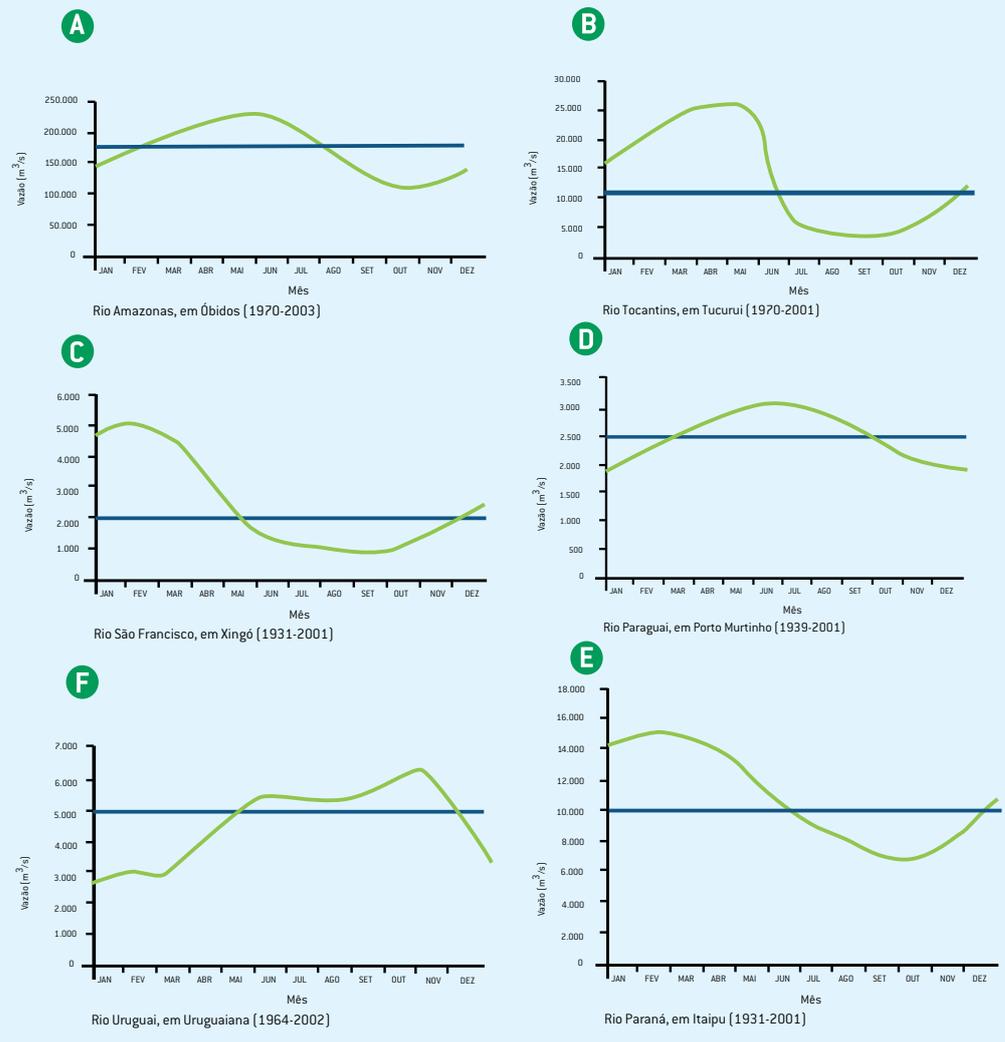


Figura 1.7 – Hidrogramas nas regiões hidrográficas Amazônica, Tocantins/Araguaia, São Francisco, Paraná, Paraguai e Uruguai (ANA, 2007)





A ANA observou a variabilidade temporal dos rios Tocantins, São Francisco e Paraná no período de 1931 a 2001. No Brasil, o período considerado crítico pelo setor elétrico, em relação à geração de energia a partir de hidrelétricas, ou seja, aquele correspondente às menores vazões observadas, estendeu-se de 1949 a 1956. Porém, na região hidrográfica do São Francisco e em algumas bacias do Sudeste, o período crítico foi entre 1999 a 2001, quando ocorreu o racionamento de energia elétrica em todo o País.

Na região hidrográfica do São Francisco, os anos de 1979 e 1945 foram atípicos com vazões quase três vezes (em termos de desvio padrão) acima da média. Na região hidrográfica do Paraná, o ano de 1983 foi extremamente chuvoso e a vazão foi quase cinco vezes (em termos de desvio padrão) acima da média.

Na região hidrográfica do Paraná, observa-se que as vazões vêm aumentando sistematicamente na bacia desde o início da década de 1970. Estudos realizados pela ANA (não publicado), Tucci e Clarke (1996) e Müller et al., (1998) apontam a não estacionariedade (uma série temporal é dita estacionária se suas propriedades estatísticas não mudam com o tempo) das séries hidrológicas afluentes à Itaipu. Müller et al., (1998) sugerem que o aumento de vazões na bacia do Paraná não é explicado apenas por variações climáticas, mas decorre dos efeitos conjuntos do aumento da precipitação e diminuição da evapotranspiração provocada pela retirada da mata nativa e pelo manejo do solo. No entanto, nas demais bacias, em especial Tocantins/ Araguaia e São Francisco, não se observam fenômenos de não estacionariedade.



Foto: Rio Negro

1.6 Balanço hídrico e evapotranspiração utilizando os dados da ANA

A tabela 1.1. mostra os componentes do balanço hídrico simplificado, sendo a evapotranspiração calculada pela diferença entre a precipitação e a vazão. Esse valor de evapotranspiração pode ser tomado, numa primeira aproximação, como evapotranspiração efetiva (ETR real ou efetiva).

Observa-se que a perda de água por evapotranspiração é bastante elevada em grande parte do território nacional, sendo em várias regiões acima de 80%. Os menores valores são encontrados na região Amazônica, na região Sudeste e no Atlântico Sul. Essa simples constatação indica as regiões mais críticas com referência à oferta de recursos hídricos, em função da variabilidade das precipitações, das temperaturas, das características dos solos, da geologia, geomorfologia, tipo de cobertura vegetal, entre outros (MMA, 2006).

Tabela 1.1. - Balanço hídrico simplificado realizado pela ANA nas 12 regiões hidrográficas do Brasil

Região Hidrográfica	Área (km ²)	Precipitação (m ³ /ano) x10 ¹²	Q-Vazão Média (m ³ /ano) x10 ¹²	ETR (m ³ /ano) x10 ¹²	ETR/P x 100 %	Águas subterâneas* (m ³ /ano) x 10 ⁹
Amazônica	3.869.953	8,66	4,16	4,50	52	26,00
Tocantins Araguaia	921.921	1,69	0,43	1,26	75	1,26
Atlântico NE Ocidental	274.301	0,491	0,081	0,41	81	0,63
Parnaíba	333.056	0,372	0,022	0,35	94	0,09
Atlântico NE Oriental	286.802	0,349	0,029	0,32	91	0,16
São Francisco	638.576	0,662	0,092	0,57	86	0,63
Atlântico Leste	388.160	0,411	0,051	0,36	88	0,31
Atlântico Sudeste	214.629	0,289	0,099	0,19	65	0,63
Atlântico Sul	187.522	0,294	0,134	0,16	55	0,63
Uruguai	174.533	0,312	0,132	0,18	58	0,63
Paraná	879.873	0,329	0,359	0,97	73	2,21
Paraguai	363.446	0,505	0,075	0,43	84	0,47
Brasil	8.532.772	15,367	5,667	9,70		33,65

(*) Disponibilidade das reservas renováveis (1º. Relatório de Águas Subterâneas deste componente do Projeto)

Determinação e verificação do método de ETP e balanço hídrico a ser utilizado nas regiões hidrográficas do Brasil

2.1. Objetivo

Neste item foram definidos e verificados os métodos para determinação da evapotranspiração potencial (ETP) e do cálculo do balanço hídrico climatológico para o território brasileiro. O balanço hídrico foi calculado de forma espacializada e georeferenciada, conforme Victoria et. al (2007), ou seja, dentro do Sistema de Informações Geográficas (SIG), com resolução espacial de 50 km X 50 km (aproximadamente 0,5 grau) e utilizando médias climáticas mensais de longo prazo.

A determinação do melhor método para cada região do território brasileiro foi feita comparando o resultado do balanço hídrico com as estimativas de descarga, precipitação e evapotranspiração de longo prazo para cada uma das regiões hidrográficas, medidas pela ANA (2007). A relação Evapotranspiração Real/Precipitação (ETR/Pre) foi utilizada na comparação entre o balanço hídrico modelado e o observado. Deste modo, diferenças entre a precipitação observada pela ANA e pelo banco de dados meteorológico utilizado no modelo são minimizadas.

2.2. Metodologia e Resultados

Para a simulação do balanço hídrico do clima presente foram utilizados os dados climáticos da base CRU 05 (New, M., M. Hulme and P. Jones, 1999), oriunda da interpolação de dados de estações climáticas, compreendendo o período de 1961 a 1990. Esta base de dados é considerada o padrão climático para o período de 1961 a 1990, uma vez que é composta por dados observados. É necessário considerar que em regiões como Amazônia e Centro-oeste do Brasil, poucas estações reportam dados de chuva e, assim, nestas áreas, as estimativas de chuva pelo CRU podem ter alguma incerteza, devido a interpolação usada para preencher as lacunas.

Dados de precipitação e descarga de longo prazo para cada uma das 12 regiões hidrográficas da ANA foram utilizados na verificação do modelo. A diferença entre a precipitação e a descarga de longo prazo para a região determina a ETR, que também é calcu-

lada pelo balanço hídrico. Comparando-se a relação ETR/Precipitação dos dados da ANA e a estimada pelo modelo do balanço hídrico podemos verificar a qualidade da simulação.

O modelo do balanço hídrico foi baseado na metodologia proposta por Pereira (2005) e inserida em um SIG conforme Victoria et al. (2007) com algumas modificações. Todo o trabalho foi elaborado com resolução espacial de 50 Km X 50 Km e, posteriormente, integrada para as regiões hidrográficas. Dois métodos distintos para o cálculo da ETP foram testados (Thorntwaite e Camargo), utilizando ainda duas diferentes parametrizações para o método de Camargo (fator $k = 0,69$ e $0,72$) e dois parâmetros de controle de água no solo (CAD = 100 ou 200 mm).

As metodologias de Thorntwaite e Camargo são descritas detalhadamente em Camargo et al. (1999) e Pereira (2005). Resumidamente, ambas estimam a ETP utilizando apenas dados de temperatura mensal, no entanto Camargo et al. (1999) adaptou o método de forma a utilizar os dados de temperaturas máxima e mínima de forma a melhorar a estimativa para climas mais secos e úmidos. O fator k da metodologia de Camargo controla a ponderação entre a temperatura máxima e mínima ao estimar a temperatura média mensal. Já o parâmetro CAD (Capacidade de água disponível) controla quanto de água o solo armazena.

Os métodos testados em todas as 12 regiões hidrográficas foram:

Thorntwaite cad=100	
Camargo cad=100	K=0,69
Camargo cad=100	K=0,72
Camargo cad=200	K=0,69
Camargo cad=200	K=0,72

Existem outras metodologias que estimam a ETP à partir do balanço de energia porém, os dados disponíveis para a simulação do clima futuro limitam a escolha dos métodos a serem utilizados. Portanto, métodos que utilizam apenas dados de temperatura e precipitação mensais são importantes em estudos como este, pois necessitam de poucos dados de entrada para simular a ETP de forma adequada.

Tabela 2.1. - Precipitação, ETR, EXD observados (ANA) e calculados (CRU) para cada região e metodologia utilizada (mm/ano). Valores em % representam desvio entre dados modelados e observados.

Região ANA	ANA (médio e longo prazo)			CRU (1991-1990)						MÉTODO
	PRE	ETR	EXD	PRE	ETR	EXD	PRE	ETR	EXD	
Tocantins {TO}	1837	1371	466	1818	-1.05%	1241	-9.47%	576	23.68%	Camargo Cad 200k 0,72
Amazônica {AM}	2239	1164	1075	2215	-1.08%	1161	-0.23%	1054	-2.01%	Camargo Cad 100k 0,69
Paraguai {PG}	1398	1193	205	1365	-2.38%	1175	-1.55%	190	-7.42%	Camargo Cad 100k 0,69
Atlântico NE Oriental {NeOr}	1218	1133	86	960	-21.18%	833	-26.49%	127	48.48%	Camargo Cad 200k 0,72
Atlântico E {AE}	1058	937	121	982	-7.19%	915	-2.40%	67	-44.40%	Camargo Cad 200k 0,72
Paraná {PR}	1511	1101	410	1509	-0.14%	1101	0.02%	408	-0.67%	Camargo Cad 200k 0,72
Parnaíba {PB}	1117	1045	72	1126	0.77%	980	-6.24%	146	101.85%	Camargo Cad 200k 0,72
São Francisco {SF}	1037	897	141	1010	-2.59%	892	-0.58%	118	-15.90%	Camargo Cad 200k 0,72
Atlântico Sul {AS}	1568	867	702	1560	-0.50%	882	1.72%	678	-3.37%	Thomthwaite
Uruguai {UR}	1785	1041	745	1731	3.01%	1055	1.32%	677	-9.13%	Camargo Cad 200k 0,69
Atlântico Sudeste {ASe}	1349	882	467	1347	-0.11%	964	9.33%	372	-20.30%	Camargo Cad 200k 0,69
Atlântico NE Ocidental {NeOc}	1790	1482	308	1780	-0.57%	1164	-21.44%	615	99.53%	Thomthwaite

Aplicando-se cada um dos métodos acima elencados às 12 regiões hidrográficas brasileiras e comparando a relação ETR/Precipitação modelada à observada pela ANA, determinou-se a metodologia mais adequada à cada região, ou seja, a que melhor simulou a Evapotranspiração Real (ETR) e o Excedente Hídrico (EXD) da bacia.

Nesse estudo, verifica-se que os resultados da bacia do NE Ocidental não se encaixam com a mesma precisão das outras regiões hidrográficas do país. Talvez a explicação esteja no fato desta região apresentar um clima muito extremo, com elevada relação ETR/PPT, algo que um simples modelo de balanço hídrico não possa simular. Outro problema pode ser relacionado ao passo de tempo mensal do modelo, incapaz de simular com precisão a dinâmica das chuvas e evaporações do semiárido que variam muito dentro de um mesmo mês, com elevados “pulsos” de evaporação nos dias com chuva.

2.3 Conclusões

- O modelo de balanço hídrico mostrou-se eficaz na simulação da evapotranspiração real do clima presente para 10 das 12 regiões hidrográficas brasileiras. Já para a região NE o modelo apresentou limitações.
- A simulação do excedente hídrico apresentou maiores erros que a simulação da ETR. No entanto, o modelo foi capaz de estimar razoavelmente bem a magnitude dos excedentes hídricos para a maioria das regiões.
- Apesar de a magnitude dos erros percentuais observados na região do Nordeste serem maiores é importante salientar que devido às elevadas perdas por evapotranspiração, o volume hídrico excedente é bastante reduzido (10% da precipitação) fazendo com que os erros relativos do modelo fiquem elevados.
- Devido as grandes diferenças entre cada uma das regiões foi necessário utilizar parametrizações distintas para cada uma.



Foto: Lagoa Patos

Avaliação dos dados climáticos modelados, procedimento de correção e balanços hídricos futuros

3.1. Objetivo

Os objetivos neste item foram: avaliar dos cenários climáticos simulados pelos modelos regionais HadRM3P e RegCM3 (veja Marengo et al. 2007, Ambrizzi et al. 2007 para entender mais sobre os modelos e os experimentos de mudanças de clima), propor uma metodologia para a correção destes e apresentar resultados preliminares do balanço hídrico para o clima futuro (2011-2100) nos cenários A2-BR e B2-BR simulados pelo modelo regional HadRM3P (denominado PRECIS em alguns gráficos).

3.2. Modelo Regional HadRM3P e RegCM3

Foram fornecidos pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e gerados pelos projetos PROBIO-MCT e GOF-UK (Marengo et al. 2007). Os dados mensais do modelo regional HadRM3P e RegCM3 compreendem o período de 1961 a 1990 (denominado *baseline*) e os cenários futuros A2-BR e B2-BR, para o período de 2011 a 2100.

O cenário A2-BR é “o que descreve um mundo futuro muito heterogêneo, onde a regionalização é dominante. Existira um fortalecimento de identidades culturais regionais, com ênfase em valores da família e tradições locais. Outras características

são crescimento populacional alto e menos preocupação em relação ao desenvolvimento econômico rápido” (Marengo et al. 2007, Ambrizzi et al. 2007).

O cenário B2-BR é o “que descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais para as sustentabilidades econômica, social e ambiental. A mudança tecnológica é mais diversa com forte ênfase nas iniciativas comunitárias e inovação social, em lugar de soluções globais” (Marengo et al. 2007, Ambrizzi et al. 2007).

Foram calculadas as médias climáticas mensais para cada um dos dois períodos. Os resultados do clima no período *baseline* (1961 a 1990), para cada uma das 12 regiões hidrográficas, foram comparados à climatologia anual, observada pela ANA (2007), e à mensal, calculada pela base de dados CRU05 (New, M., M. Hulme and P. Jones, 1999), considerada a climatologia padrão, obtida a partir de dados observados.

Observou-se que tanto o modelo HadRM3P quanto o RegCM3 simulam muito bem a temperatura média anual das 12 regiões (figura 3.1.) porém, a simulação da precipitação anual não apresentou a mesma exatidão (figura 3.2.).

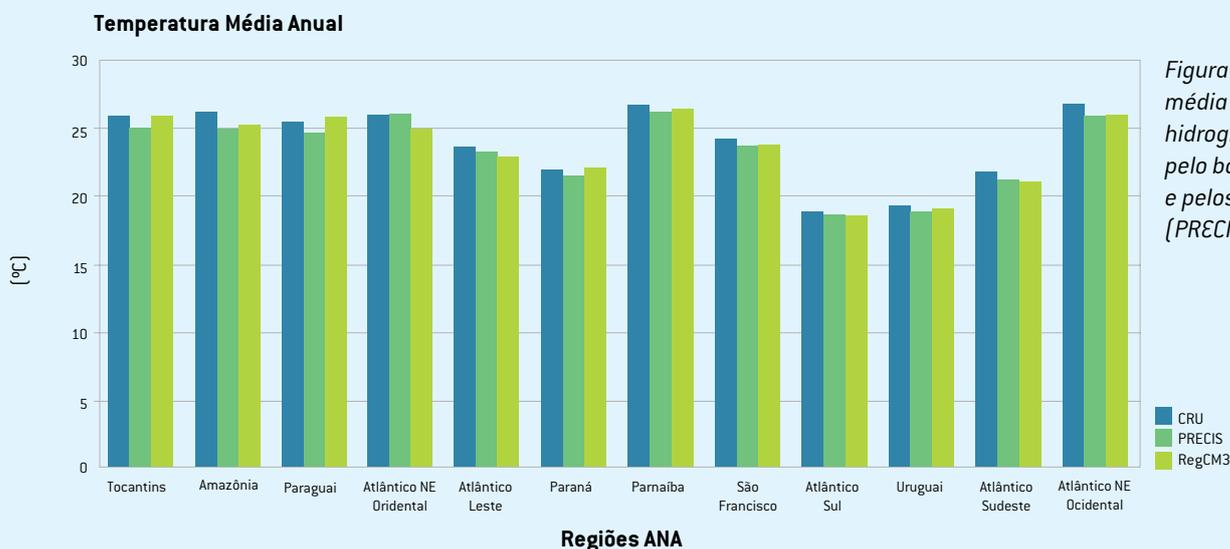


Figura 3.1. - Temperatura média anual das 12 regiões hidrográficas estimada pelo banco de dados CRU e pelos modelos HadRM3P (PRECIS) e RegCM3.

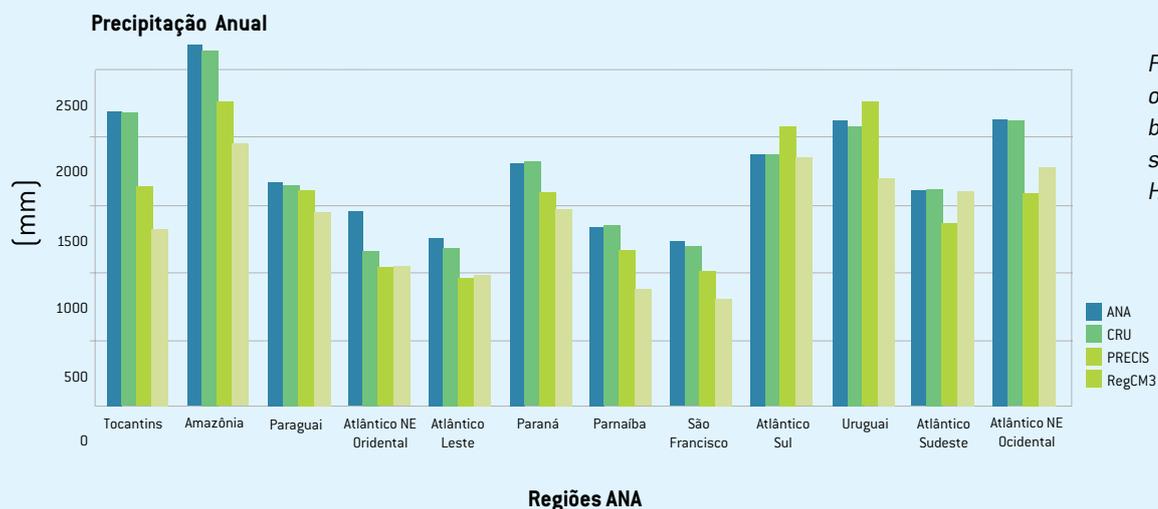


Figura 3.2 - Precipitação anual observada pela ANA e pelo banco de dados CRU e simulada pelos modelos HadRM3P (PRECIS) e RegCM3

Tabela 3.1. Precipitação anual em cada uma das bacias da ANA, para o período de 1961 a 1990, medida pela ANA, CRU e calculadas pelos modelos HadRM3P (Precis) e HegCM3.

Região ANA	ANA	CRU		PRECIS		RegCM3	
	(mm)	(mm)	CRU/ANA	(mm)	PRECIS/ANA	(mm)	HegCM3/ANA
Tocantins {T0}	1837	1818	0,99	1368	0,74	1093	0,59
Amazônica {AM}	2239	2215	0,99	1879	0,84	1634	0,73
Paraguai {PG}	1398	1365	0,98	1341	0,96	1202	0,86
Atlântico NE Oriental {NeOr}	1218	960	0,79	876	0,72	884	0,73
Atlântico Leste {AE}	1058	982	0,93	795	0,75	834	0,79
Paraná {PR}	1511	1509	1,00	1308	0,87	1224	0,81
Parnaíba {PB}	1117	1126	1,01	960	0,86	716	0,64
São Francisco {SF}	1037	1010	0,97	851	0,82	673	0,65
Atlântico Sul {AS}	1568	1560	0,99	1745	1,11	1544	0,98
Uruguai {UR}	1785	1731	0,97	1897	1,06	1423	0,80
Atlântico Sudeste {ASe}	1349	1347	1,00	1139	0,84	1321	0,98
Atlântico NE Ocidental {NeOc}	1790	1780	0,99	1328	0,74	1476	0,82

Na tabela 3.1 temos a precipitação anual em cada uma das bacia da ANA, para o período de 1961 a 1990, medida pela ANA, CRU e pelos modelos HadRM3P (Precis) e HegCM3.

Nota-se que para o CRU, o volume de chuva anual nas bacias está muito próximo ao reportado pela ANA, com exceção do Atl NE Oriental. Já para os modelos Precip e RegCM3, o volume anual de chuva é quase sempre sub-estimado, como podemos ver nas colunas em que a chuva do modelo é dividida pela precipitação da ANA.

Na escala de tempo mensal, alguns problemas foram observados nas temperaturas simuladas nas regiões Amazônica, NE Oriental, São Francisco e NE Ocidental.

Na região Amazônica, o modelo HadRM3P simulou o ciclo mensal de temperatura muito bem, porém, com desvio negativo. Já o modelo RegCM3 simulou melhor a segunda metade do ano. No NE Oriental o modelo RegCM3 simulou corretamente o ciclo anual, com um desvio negativo enquanto que o modelo HadRM3P alterou o ciclo mensal da temperatura.

Para o São Francisco, o HadRM3P foi melhor na segunda metade do ano enquanto que o RegCM3 foi melhor para a primeira. Para o NE Oriental, ambos modelos apresentaram resultados semelhantes porém com médias mensais no início do ano inferior à temperatura do CRU.

A precipitação mensal simulada pelo modelo HadRM3P mostrou-se mais próxima à realidade em relação a variação mensal no entanto, os totais anuais ficaram aquém do medido pela ANA e CRU. Já o modelo RegCM3, além de subestimar a precipitação anual, apresentou desvios no ciclo mensal, deslocando o período de seca em algumas regiões em até 4 meses (ex.: Paraná).

3.3 Correção dos dados simulados e balanço hídrico. Cenários A2-BR e B2-BR, HadRM3P

Constatou-se que o modelo de balanço hídrico foi eficaz na simulação da ETR do clima presente em

10 das 12 regiões hidrográficas estudadas. Portanto, o mesmo método foi utilizado para a simulação do balanço hídrico do clima futuro. Porém, antes da simulação do clima futuro, foi efetuada a comparação entre o clima presente simulado pelos modelos climáticos e o clima presente observado. Tal comparação serviu para avaliar possíveis desvios nos dados de clima simulados.

Foi constatado que a temperatura média mensal do clima presente simulado (média 1961 a 1990) apresentava boa concordância com a temperatura média mensal observada para o mesmo período, sendo que o clima presente representado pelo banco de dados CRU05. Já a precipitação média mensal simulada para o período de 1961 a 1990 apresentou desvios significativos em relação ao clima presente observado. Estes desvios de temperatura e precipitação foram considerados como viés do modelo e foram removidos das simulações de ambos cenários dos períodos futuros (2011 – 2040; 2041 – 2070; 2071 – 2100) e para todas as regiões hidrográficas estudadas.

O procedimento de correção do clima futuro simulado foi aplicado de forma espacializada em todo o território nacional, de forma independente para cada ponto de grade dos dados simulados. Os passos para a correção foram:

- 1) Foram calculados mapas mensais do efeito das mudanças climáticas na temperatura e precipitação para os dois cenários (B2-BR e A2-BR) e 3 períodos futuros. Estes foram obtidos pela diferença entre o clima futuro e o clima presente simulados pelo modelo climático.

- 2) Os mapas mensais dos efeitos das mudanças climáticas foram adicionados aos mapas mensais do clima presente obtidos a partir de dados observacionais interpolados (banco de dados CRU05).

Nota: esta correção é a mesma obtida pela adição da diferença entre os valores do CRU e do modelo no período de 1961-1990, ao período de dados futuros simulados no modelo.

Resultados dos balanços hídricos

Tendo em vista os resultados do item 3 deste trabalho, foram realizados os balanços hídricos numa escala de 50 km X 50 km para todo o Brasil utilizando os dados disponibilizados do modelo HadRM3P para os cenários A2-BR e B2-BR. Os dados dos climas futuros do período de 2011-2070 foram dados interpolados dos dados provenientes dos períodos 1961-1990 e 2071-2100.

4.1. Variações mensais dos balanços hídricos

Neste estudo, são apresentados os balanços hídricos para as 12 regiões no período atual (CRU, média 1961-1990) e para o clima futuro (períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070, 2071 a 2100), para os cenários A2-BR e B2-BR do modelo HadRM3P, utilizando a correção descrita no item 3.3.

As figuras 4.13 a 4.17 apresentam mapas do Brasil ilustrando as variações, usando como exemplo o mês de janeiro para os períodos atual e futuros, de temperatura, precipitação, ETR e déficit de água, para os cenários A2-BR e B2-BR.

Dependendo da região simulada o efeito das mudanças climáticas é diferente, podendo aumentar

ou diminuir tanto a ETR quanto o EXD. É importante salientar que, conforme explicado no item 2.1, a simulação das bacias do NE apresentaram grandes erros, o que compromete a análise do balanço hídrico futuro dessas regiões. No entanto, se considerarmos que os erros para a simulação do clima presente destas regiões se mantêm os mesmos nas simulações futuras, podemos ter uma idéia da magnitude e do efeito que as mudanças climáticas causarão nestas áreas. Ainda assim, devemos considerar que esta consideração ainda tem algum grau de incerteza, pois o clima e as suas variações não são lineares.

É importante lembrar que cenários futuros do clima apenas são projeções de prováveis mudanças que possam vir a acontecer como produto do aumento nas concentrações dos gases de efeito estufa. O nível de incerteza ainda é grande em relação ao que de fato possa acontecer. Um aprimoramento nas diferentes parametrizações de processos de superfície, convecção, camada limite, topografia, conteúdo de aerossóis e gelo estarão diretamente ligado com uma diminuição das incertezas.



Temperatura (°C) - mês de janeiro

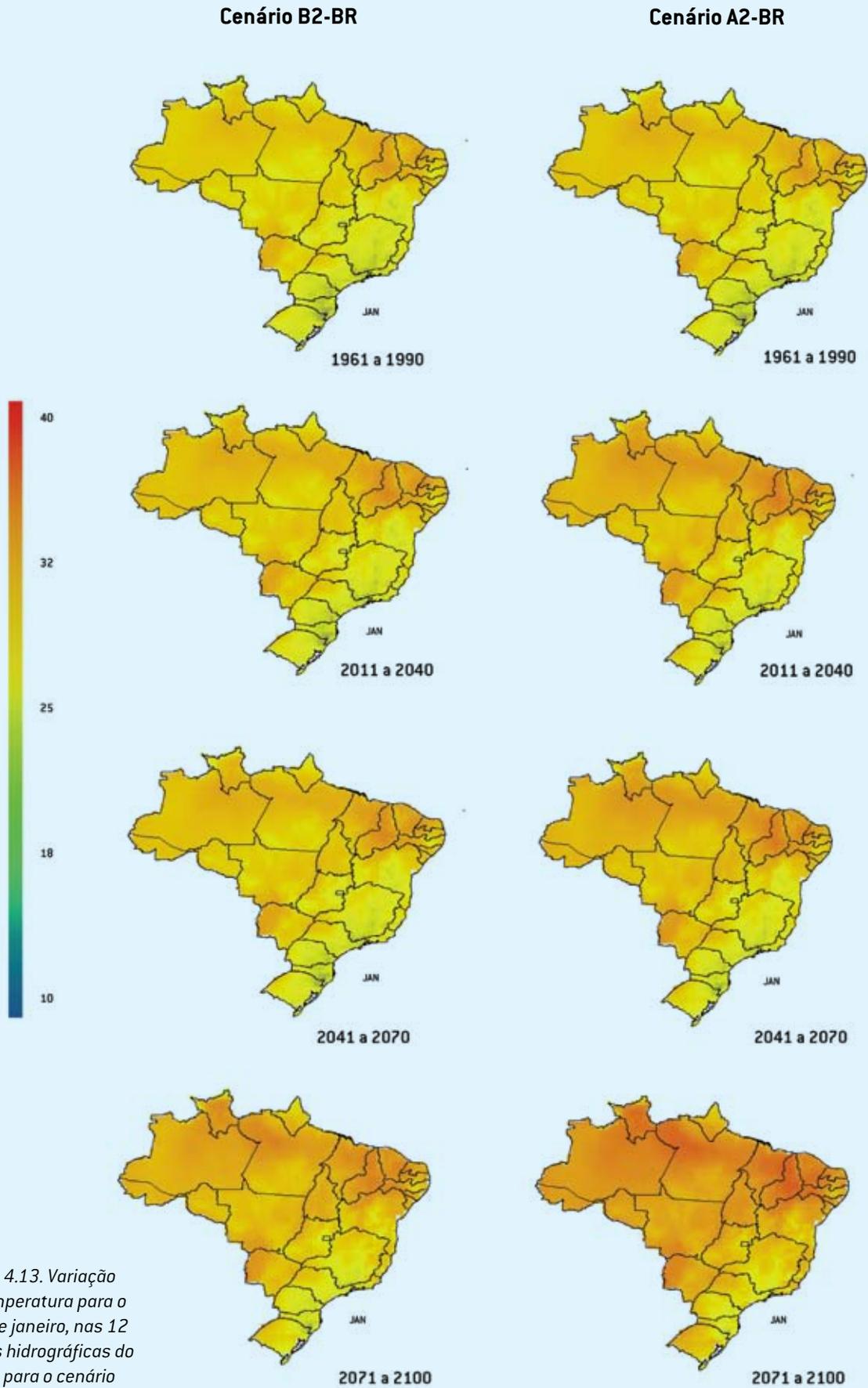


Figura 4.13. Variação da temperatura para o mês de janeiro, nas 12 bacias hidrográficas do Brasil, para o cenário B2-BR para os períodos de 1961 a 1990, 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100.

Precipitação (mm) - mês de janeiro

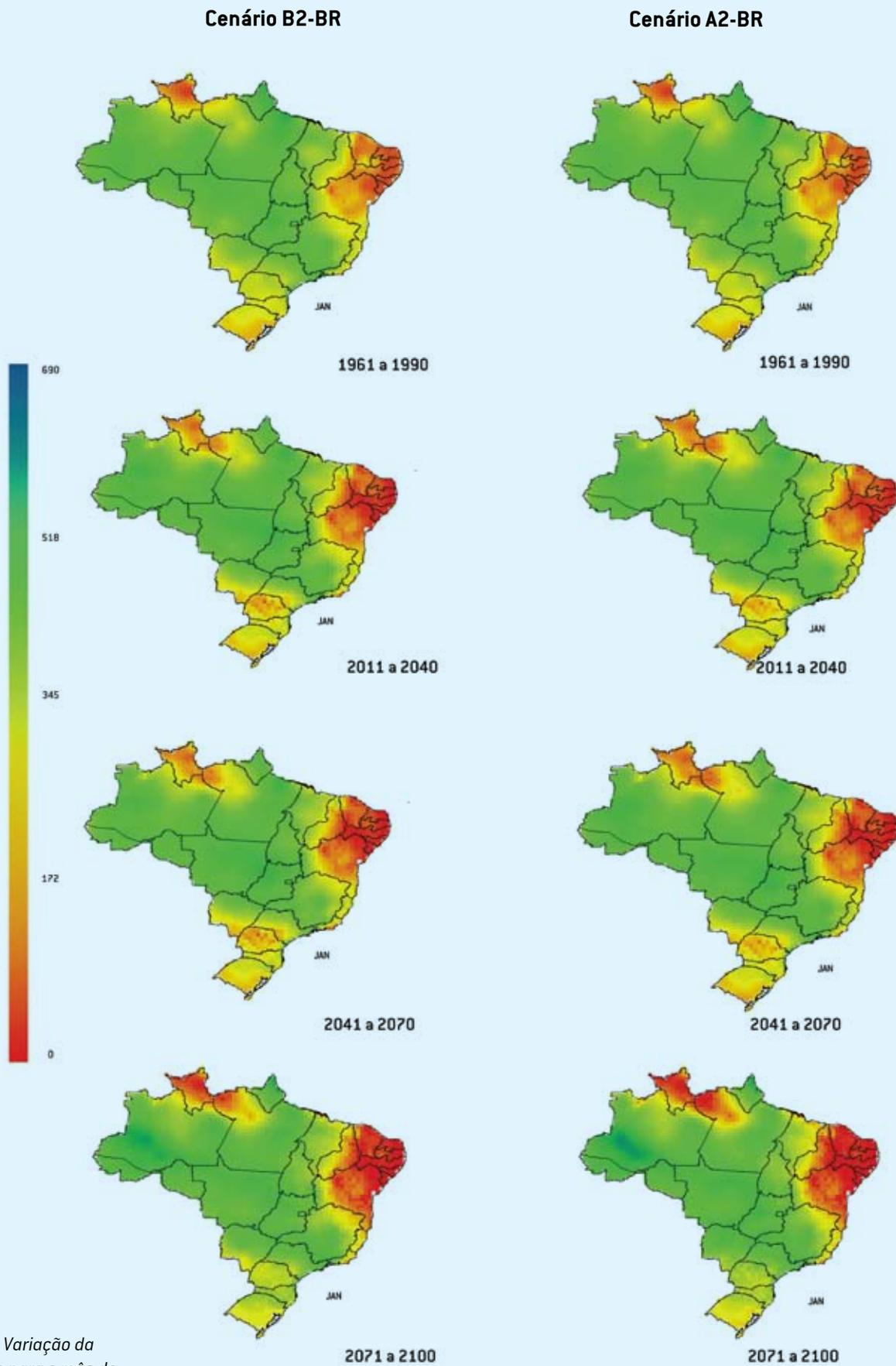


Figura 4.14. Variação da precipitação para o mês de janeiro, nas 12 bacias hidrográficas do Brasil, para os cenários B2-BR e A2-BR para os períodos de 1961 a 1990, 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100.

Déficit de água (mm) - mês de janeiro

Cenário B2-BR

Cenário A2-BR

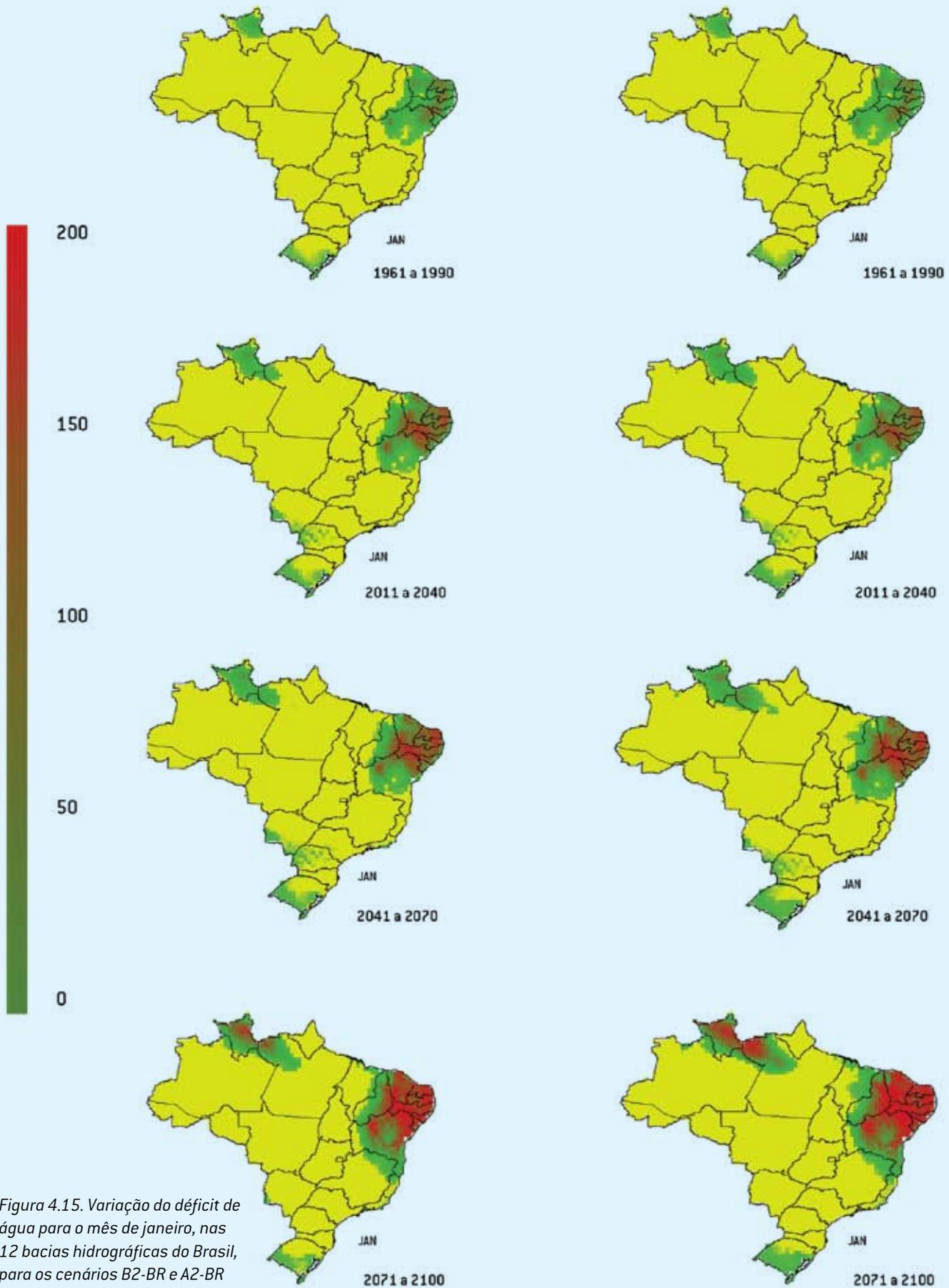


Figura 4.15. Variação do déficit de água para o mês de janeiro, nas 12 bacias hidrográficas do Brasil, para os cenários B2-BR e A2-BR para os períodos de 1961 a 1990, 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100.

Evapotranspiração Real (mm) - mês de janeiro

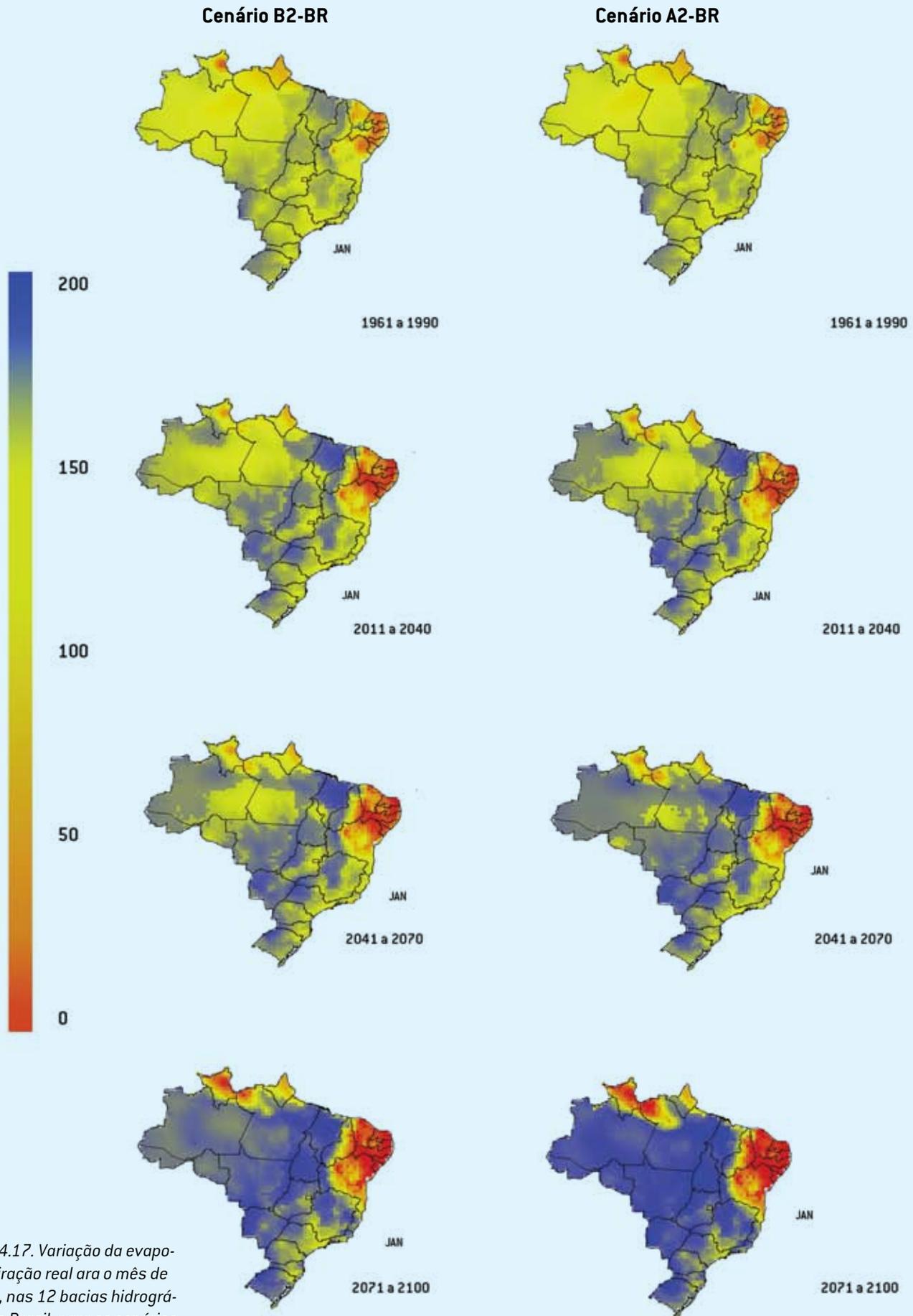


Figura 4.17. Variação da evapotranspiração real para o mês de janeiro, nas 12 bacias hidrográficas do Brasil, para os cenários B2-BR e A2-BR para os períodos de 1961 a 1990, 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100.

Cálculo dos excessos médios corrigidos com base nas vazões reais para as 12 bacias hidrográficas do país (ANA)

5.1 Método de correção

Os dados dos excedentes hídricos calculados pelo balanço hídrico foram multiplicados pelo coeficiente dado pela relação: Vazão ANA (período de 1961 a 1990) // Excedente Hídrico CRU (período de 1961 a 1990).

Admitindo-se que esta relação fica equivalente para os outros períodos, foram corrigidos os valores dos excedentes hídricos calculados para os períodos futuros pelo fator de correção calculado pela relação acima.

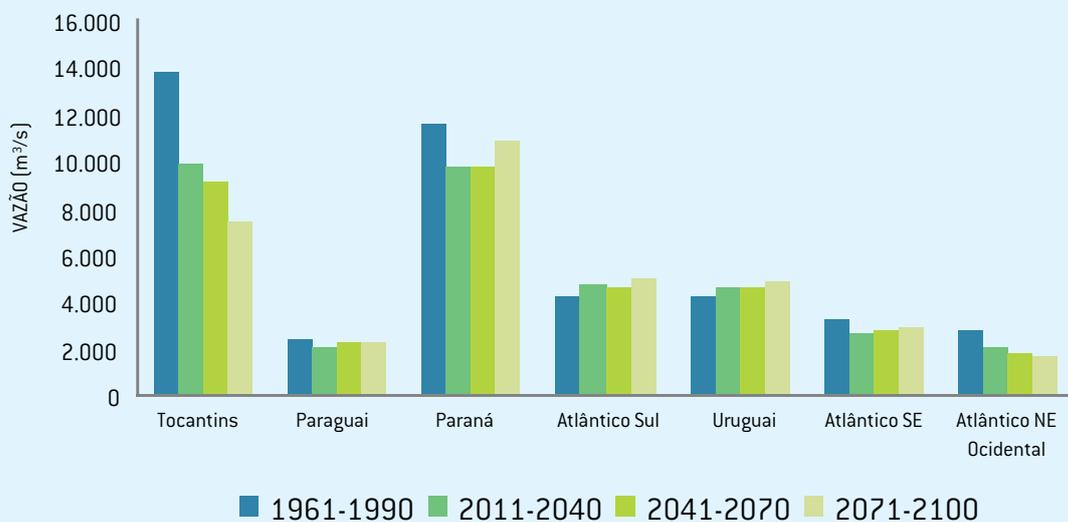
5.2 Resultados

Os resultados obtidos dos excessos médios corrigidos para as 12 bacias hidrográficas da ANA e para os dois cenários (A2-BR e B2-BR) encontram-se na tabela 5.1 e estão representados nas figuras 5.1 a 5.3.

Tabela 5.1. Resultados obtidos dos excessos médios corrigidos para as 12 bacias hidrográficas da ANA e para os dois cenários (A2-BR e B2-BR).

Bacia Hidrográfica	Vazão (m ³ /s)						
	ANA 1961-1990	Cenário B2-BR			Cenário A2-BR		
		2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Tocantins {TO}	13.624	9.825	9.091	7.376	9.945	7.545	6.434
Amazônica {AM}	131.947	122.911	111.609	98.944	123.238	97.197	91.930
Paraguai {PG}	2.368	1.915	2.169	2.175	2.145	2.023	3.470
Atlântico NE Oriental {NeOr}	779	119	83	14	133	67	2
Atlântico Leste {AE}	1.492	391	375	99	423	328	88
Paraná {PR}	11.453	9.700	9.649	10.699	10.764	10.038	12.669
Parnaíba {PB}	763	241	150	108	261	98	75
São Francisco {SF}	2.850	1.088	1.227	1.331	1.223	1.273	1.504
Atlântico Sul {AS}	4.174	4.643	4.496	4.832	4.659	4.239	4.599
Uruguai {UR}	4.121	4.577	4.511	4.783	4.435	4.084	4.342
Atlântico Sudeste {ASe}	3.179	2.547	2.674	2.779	3.174	2.966	3.036
Atlântico NE Ocidental {NeOc}	2.683	1.935	1.670	1.570	1.915	1.395	1.250

**EXCESSOS (VAZÃO APROXIMADA) NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS
CENÁRIO B2-BR**



**EXCESSOS (VAZÃO APROXIMADA) NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS
CENÁRIO A2-BR**

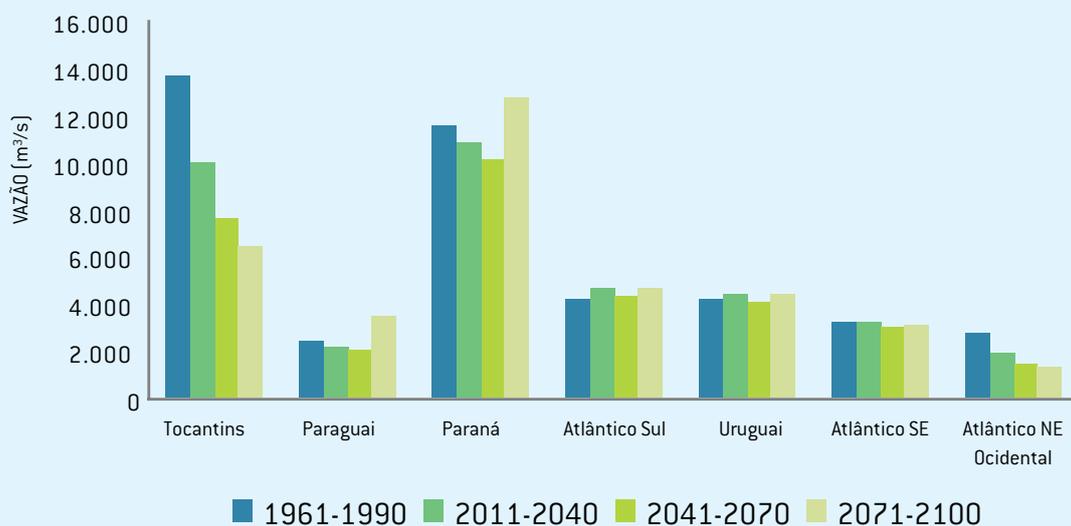
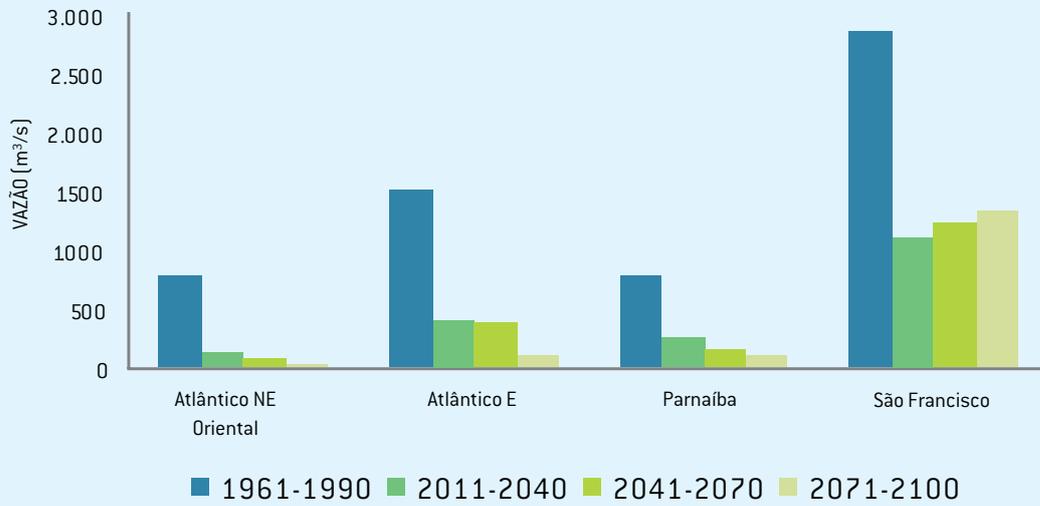


Figura 5.1. Resultados obtidos dos excessos médios corrigidos para as bacias hidrográficas do Tocantins, Paraguai, Paraná, Atlântico S, Uruguai, Atlântico SE e Atlântico NE Ocidental, para os dois cenários (B2-BR e A2-BR).

**EXCESSOS (VAZÃO APROXIMADA) NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS
CENÁRIO B2-BR**



**EXCESSOS (VAZÃO APROXIMADA) NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS
CENÁRIO A2-BR**

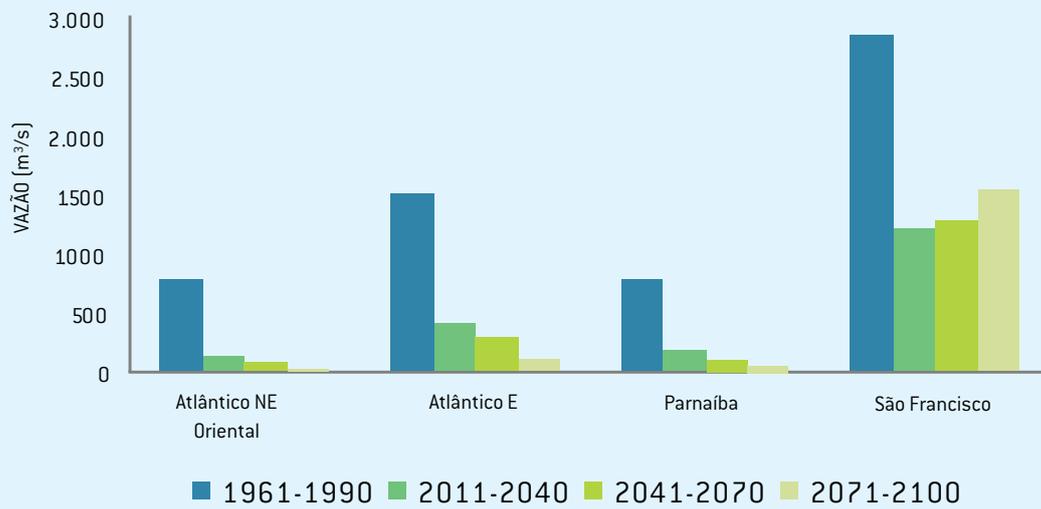


Figura 5.2. Resultados obtidos dos excessos médios corrigidos para as bacias hidrográficas do Atlântico NE Oriental Atlântico E, Parnaíba e São Francisco, para os dois cenários (B2-BR e A2-BR).

EXCESSOS (VAZÃO APROXIMADA) NA BACIA HIDROGRÁFICA AMAZÔNICA CENÁRIOS B2-BR E A2-BR

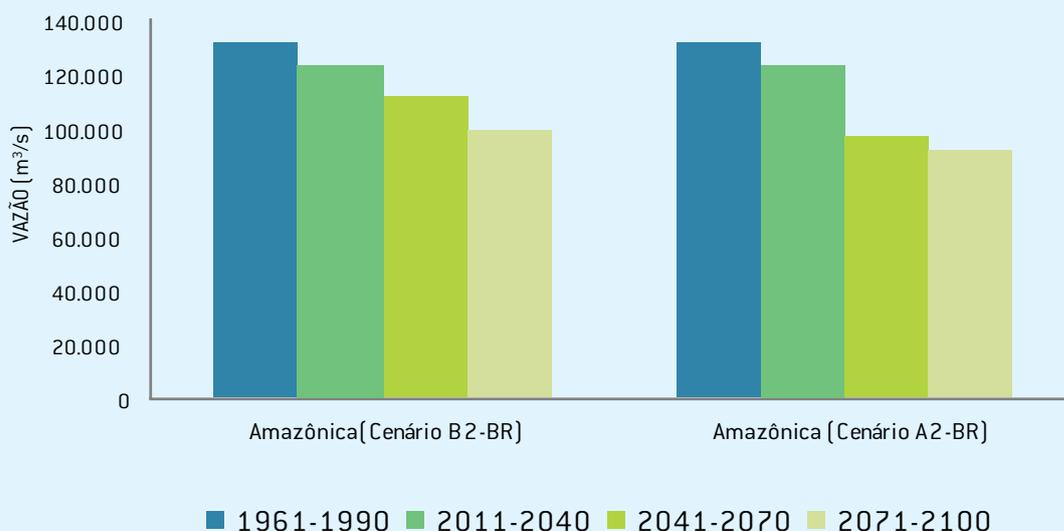


Figura 5.3. Resultados obtidos dos excessos médios corrigidos para a bacia hidrográfica Amazônica, para os dois cenários (B2-BR e A2-BR).

5.3 Conclusões relativas aos dados provenientes das análises dos climas futuros para o modelo HadRM3P na escala de 50 km X 50 km

Pelos resultados obtidos, observa-se que as vazões das bacias hidrográficas do Tocantins, Atlântico NE Ocidental, Parnaíba e Amazônica, terão uma considerável diminuição até 2100 para os dois cenários de emissão analisados.

Observa-se uma diminuição dos valores das vazões da bacia do Paraná no período de 2011 a 2070 para os dois cenários de emissão analisados e um aumento da vazão no período de 2071 a 2100, sendo que para o cenário A2-BR a vazão fica acima à observada no período de 1961 a 1900. Nesta bacia, observa-se um aumento da precipitação ao longo do tempo que nem sempre reflete num aumento das vazões em decorrência das perdas por evapotranspiração.

Para a bacia do Paraguai observa-se uma pequena diminuição nos valores da vazão para o cenário de emissão B2-BR no período de 2011 a 2040 e um pequeno aumento no período de 2041 a 2100, mantendo-se constante neste período. Para o cenário de emissão A2-BR observa-se uma pequena diminuição dos valores da vazão no período de

2011 a 2070 e um grande aumento no período de 2071 a 2100 com valores muito acima aos observados no período de 1961 a 1990.

Para as bacias do Atlântico Sul e Uruguai observa-se uma pequena tendência de aumento das vazões até 2100 nos dois cenários.

A vazão da bacia do Atlântico SE apresenta uma tendência de uma pequena diminuição até o ano 2100 para o cenário B2-BR e praticamente não se altera no cenário A2-BR.

Para as bacias do NE Oriental e Atlântico E observa-se uma redução brusca das vazões até o período de 2100 para os dois cenários de emissão, chegando a valores praticamente nulos.

Para a bacia do São Francisco observa-se que haverá uma diminuição da vazão até o período de 2011 a 2040 com tendência de pequeno aumento nos períodos de 2041 a 2100 para os dois cenários de emissão analisados.



Classificação climática segundo WC. Thornthwaite

6.1 Metodologia

A classificação climática para as doze bacias hidrográficas em estudo, para os períodos de 1961 a 1990 (utilizando os dados CRU) 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100 (utilizando os dados do modelo HadRM3P para os cenários A2-BR e B2-BR) foi realizada de acordo os critérios hídricos e térmicos determinados segundo Thornthwaite (1948). A classificação climática de Thornthwaite é baseada numa série de índices, os quais são calculados com base nos dados obtidos no balanço hídrico. Estes índices são:

Ia = Índice de Aridez

$$Ia = 100 * (DEF/ETP)$$

Iu = Índice de Umidade

$$Iu = 100 * (EXC/ETP)$$

IM = Índice Efetivo de Umidade

$$IM = Iu - 0,6 Ia$$

TE = Índice de Eficiência Térmica

$$TE = ETP \text{ anual}$$

TE (%) = Variação estacional do Índice de TE

$$TE (\%) = ETP \text{ verão} / ETP \text{ anual}$$

Onde:

P = Precipitação anual (calculada no balanço hídrico)

ETP = Evapotranspiração Potencial anual (calculada no balanço hídrico)

EXC = Excesso de água anual (calculado no balanço hídrico)

DEF = Déficit de água anual (calculado no balanço hídrico)



6.2 Resultados

6.2.1 Bacia Hidrográfica Amazônica

Na tabela 6.1 encontra-se a classificação climática para a bacia hidrográfica Amazônica para os períodos de 1961 a 1990 (dados CRU) e 2071 a 2100 para os cenários A2-BR e B2-BR.

a) Critério hídrico – Cenário B2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica Amazônica se mostra úmido, com pequena ou nenhuma deficiência de água.

2011 a 2040: O clima se mantém úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água.

2041 a 2100: O clima se torna úmido com moderada deficiência de água no inverno.

b) Critério hídrico – Cenário A2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica Amazônica se mostra úmido, com pequena ou nenhuma deficiência de água.

2011 a 2100: O clima se torna úmido com moderada deficiência de água no inverno.

c) Critério térmico

O clima da região está classificado como mega-térmico (A'a'), com concentração de verão da ETP menor que 48% da ETP anual em todos os períodos analisados.

Tabela 6.1. Classificação climática para a bacia hidrográfica Amazônica

Período/ Cenário	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
Dados CRU 1961 a 1990	2214,84	1342,26	180,92	1053,51	13,5	78,5	70,4	22,7	A'a'	B ₃ r
CENÁRIO B2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	2272,62	1534,40	243,14	981,36	15,8	64,0	54,4	22,7	A'a'	B ₂ r
2041 a 2070	2220,74	1622,60	292,98	891,13	18,1	54,9	44,1	22,7	A'a'	B ₂ w
2071 a 2100	2217,13	1871,51	435,24	790,00	23,3	42,2	28,3	23,9	A'a'	B ₁ w
CENÁRIO A2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	2272,41	1556,80	268,36	983,97	17,2	63,2	52,9	22,7	A'a'	B ₂ w
2041 a 2070	2184,62	1749,39	340,83	776,06	19,5	44,4	32,7	22,7	A'a'	B ₁ w
2071 a 2100	2216,00	1987,00	506,20	734,00	25,5	36,9	21,7	24,5	A'a'	B ₁ w

6.2.2. Bacia Hidrográfica do Paraguai

Na tabela 6.2 encontra-se a classificação climática para a bacia hidrográfica do Paraguai para os períodos de 1961 a 1990 (dados CRU) e 2011 a 2100 para os cenários A2-BR e B2-BR.

a) Critério hídrico – Cenário B2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Paraguai se mostra seco e sub-úmido com moderado excesso de água no verão.

2011 a 2040: O clima se torna seco e sub-úmido com com pequeno ou nenhum excesso de água.

2041 a 2070: O clima se mantém seco e sub-úmido com moderada deficiência de água no inverno.

2071 a 2100: O clima se torna úmido com moderada deficiência de água no inverno.

b) Critério hídrico – Cenário A2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Paraguai se mostra seco e sub-úmido com moderado excesso de água no verão.

2011 a 2040: O clima da região se mantém seco e sub-úmido com moderado excesso de água no verão

2041 a 2070: O clima da região se mantém seco e sub-úmido com pequeno ou nenhum excesso de água.

2071 a 2100: O clima da região se torna úmido com moderado excesso de água no verão.

c) Critério térmico

O clima da região está classificado como megatérmico (A'a'), com concentração de verão da ETP menor que 48% da ETP anual em todos os períodos analisados.

Tabela 6.2. Classificação climática para a bacia hidrográfica do Paraguai

Período/ Cenário	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
Dados CRU 1961 a 1990	1364,75	1507,76	333,2	190,215	22,1	12,6	-0,6	26,7	A'a'	C _{1w}
CENÁRIO B2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	1454,85	1658,40	357,40	153,85	21,6	9,3	-3,7	26,9	A'a'	C _{1d}
2041 a 2070	1478,38	1728,45	424,34	174,26	24,6	10,1	-4,6	26,9	A'a'	C _{1w}
2071 a 2100	2217,17	1862,72	435,98	790,43	23,4	42,4	28,4	24,1	A'a'	B _{1w}
CENÁRIO A2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	1509,91	1676,13	338,51	172,29	20,2	10,3	-1,8	26,6	A'a'	C _{1w}
2041 a 2070	1520,29	1781,42	423,65	162,53	23,8	9,1	-5,1	26,6	A'a'	C _{1d}
2071 a 2100	1659,93	1935,99	554,80	278,74	28,7	14,4	-2,8	26,4	A'a'	C _{1w}

6.2.3. Bacia Hidrográfica do Uruguai

Na tabela 6.3 encontra-se a classificação climática para a bacia hidrográfica do Uruguai para os períodos de 1961 a 1990 (dados CRU) e 2011 a 2100 para os cenários A2-BR e B2-BR.

a) Critério hídrico – Cenário B2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Uruguai se mostra úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água.

2011 a 2100: O clima se mantém úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água.

b) Critério hídrico – Cenário A2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Uruguai se mostra úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água.

2011 a 2100: O clima se mantém úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água

c) Critério térmico

O clima da região para o período de 1961 a 1990 e para os períodos de 2011 a 2040 e 2041 a 2071 para o cenário B2-BR está classificado como mesotérmico (B'4a'), passando para megatérmico (A'a') para o período de 2071 a 2100 com concentração de verão da ETP menor que 48% da ETP anual.

Para o cenário A2-BR o clima está classificado como mesotérmico (B'4a') para o período de 2011 a 2040 passando para megatérmico (A'a') para os períodos de 2041 a 2070 e 2071 a 2100 com concentração de verão da ETP menor que 48% da ETP anual.

Tabela 6.3. Classificação climática para a bacia hidrográfica do Uruguai

Período/ Cenário	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
Dados CRU 1961 a 1990	1731,351	1058,4322	3,7	676,667	0,4	63,9	63,7	36,7	B'4a'	B3r
CENÁRIO B2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	1843,24	1102,54	10,82	751,52	1,0	68,2	67,6	36,9	B'4a'	B3r
2041 a 2070	1854,11	1127,52	14,11	740,69	1,3	65,7	64,9	37,8	B'4a'	B3r
2071 a 2100	1979,30	1204,61	10,71	785,40	0,9	65,2	64,7	37,8	A'a'	B3r
CENÁRIO A2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	1835,52	1123,74	16,60	728,26	1,5	64,8	63,9	37,4	B'4a'	B3r
2041 a 2070	1833,85	1186,97	23,78	670,67	2,0	56,5	55,3	38,2	A'a'	B2r
2071 a 2100	1964,61	1277,19	25,60	713,02	2,0	55,8	54,6	38,4	A'a'	B2r

6.2.4. Bacia Hidrográfica do Atlântico SE

Na tabela 6.4 encontra-se a classificação climática para a bacia hidrográfica do Atlântico SE para os períodos de 1961 a 1990 (dados CRU) e 2011 a 2100 para os cenários A2-BR e B2-BR.

a) Critério hídrico – Cenário B2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Atlântico SE se mostra úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água.

2011 a 2040: O clima da região se torna úmido e sub-úmido com moderada deficiência de água no inverno.

2041 a 2100: O clima da região se mantém úmido e sub-úmido com moderada deficiência de água no inverno.

b) Critério hídrico – Cenário A2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Atlântico SE se mostra úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água.

2011 a 2040: O clima da região se mantém com pequena ou nenhuma deficiência de água.

2041 a 2070: O clima se mantém úmido com moderada deficiência de água no inverno.

2071 a 2100: O clima se torna úmido e sub-úmido com moderada deficiência de água no inverno.

c) Critério térmico

O clima da região para o período de 1961 a 1990 está classificado como mesotérmico (B'4a'), passando para megatérmico (A'a') para todos os períodos analisados e para os dois cenários, com concentração de verão da ETP menor que 48% da ETP anual.

Tabela 6.4. Classificação climática para a bacia hidrográfica do Atlântico SE

Período/ Cenário	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
Dados CRU 1961 a 1990	1347,50	1090,06	126,69	372,29	11,6	34,2	27,2	30,3	B'4a'	B1r
CENÁRIO B2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	1337,12	1159,35	120,51	298,28	10,4	25,7	19,5	27,4	A'a'	C2w
2041 a 2070	1360,66	1186,41	138,93	313,18	11,7	26,4	19,4	28,1	A'a'	C2w
2071 a 2100	1355,45	1289,68	259,69	325,46	20,1	25,2	13,2	30	A'a'	C2w
CENÁRIO A2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	1433,95	1146,80	84,61	371,75	7,4	32,4	28,0	27,4	A'a'	B1r
2041 a 2070	1427,63	1201,97	121,64	347,29	10,1	28,9	22,8	27,0	A'a'	B1w
2071 a 2100	1436,78	1353,16	271,96	355,57	20,1	26,3	14,2	30,6	A'a'	C2w

6.2.5. Bacia Hidrográfica do Atlântico E

Na tabela 6.5 encontra-se a classificação climática para a bacia hidrográfica do Atlântico E para os períodos de 1961 a 1990 (dados CRU) e 2071 a 2100 para os cenários A2-BR e B2-BR.

a) Critério hídrico – Cenário B2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Atlântico E se mostra seco e sub-úmido com pequeno ou nenhum excesso de água.

2011 a 2100: O clima se torna semi-árido com pequeno ou nenhum excesso de água.

b) Critério hídrico – Cenário A2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Atlântico E se mostra seco e sub-úmido com pequeno ou nenhum excesso de água.

2011 a 2040: O clima se mantém seco e sub-úmido com pequeno ou nenhum excesso de água

2041 a 2100: O clima se torna semi-árido com pequeno ou nenhum excesso de água.

c) Critério térmico

O clima da região para o período de 1961 a 1990 está classificado como mesotérmico (B'4a'), passando para megatérmico (A'a') para todos os períodos analisados e para os dois cenários, com concentração de verão da ETP menor que 48% da ETP anual.

Tabela 6.5. Classificação climática para a bacia hidrográfica do Atlântico E

Período/ Cenário	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
Dados CRU 1961 a 1990	981,91	1137,89	260,43	104,45	22,9	9,2	-4,6	29,6	B'4a'	C1d
CENÁRIO B2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	819,72	1272,98	480,65	27,38	37,8	2,2	-20,5	24,1	A'a'	Dd
2041 a 2070	826,91	1327,95	527,29	26,25	39,7	2,0	-21,8	24,8	A'a'	Dd
2071 a 2100	623,15	1526,45	910,23	6,93	59,6	0,5	-35,3	28,8	A'a'	Dd
CENÁRIO A2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	845,68	1281,13	465,08	29,63	36,3	2,3	-19,5	25,0	A'a'	C1d
2041 a 2070	832,14	1360,13	550,97	22,99	40,5	1,7	-22,6	25,0	A'a'	Dd
2071 a 2100	622,24	1618,31	1002,19	6,13	61,9	0,4	-36,8	28,8	A'a'	Dd

6.2.6. Bacia Hidrográfica do Paraná

Na tabela 6.6 encontra-se a classificação climática para a bacia hidrográfica do Paraná para os períodos de 1961 a 1990 (dados CRU) e 2011 a 2100 para os cenários A2-BR e B2-BR.

a) Critério hídrico – Cenário B2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Paraná se mostra úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água.

2011 a 2070: O clima da região se mantém úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água.

2071 a 2100: O clima se torna úmido e sub-úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água.

b) Critério hídrico – Cenário A2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Paraná se mostra úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água.

2011 a 2100: O clima da região se mantém úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água.

c) Critério térmico

O clima da região está classificado como mega-térmico (A'a'), com concentração de verão da ETP menor que 48% da ETP anual em todos os períodos analisados.

Tabela 6.6. Classificação climática para a bacia hidrográfica do Paraná

Período/ Cenário	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
Dados CRU 1961 a 1990	1508,96	1203,02	101,79	407,73	8,5	33,9	28,8	27,8	A'a'	B ₁ r
CENÁRIO B2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	1572,92	1304,61	77,02	345,33	5,9	26,5	22,9	29,3	A'a'	B ₁ r
2041 a 2070	1594,88	1348,06	96,70	343,52	7,2	25,5	21,2	29,7	A'a'	B ₁ r
2071 a 2100	1651,93	1461,85	190,82	380,90	13,1	26,1	18,2	27,7	A'a'	C ₂ r
CENÁRIO A2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	1627,06	1310,85	66,98	383,19	5,1	29,2	26,2	29,2	A'a'	B ₁ r
2041 a 2070	1649,95	1381,58	88,99	357,36	6,4	25,9	22,0	29,2	A'a'	B ₁ r
2071 a 2100	1785,92	1534,15	199,26	451,03	13,0	29,4	21,6	28,3	A'a'	B ₁ r

6.2.7. Bacia Hidrográfica do Tocantins

Na tabela 6.7 encontra-se a classificação climática para a bacia hidrográfica do Tocantins para os períodos de 1961 a 1990 (dados CRU) e 2011 a 2100 para os cenários A2-BR e B2-BR.

a) Critério hídrico – Cenário B2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Tocantins se mostra úmido com moderada deficiência de água no inverno.

2011 a 2070: O clima se torna úmido e sub-úmido com moderada deficiência de água no inverno.

2071 a 2100: O clima da região se torna seco e sub-úmido com moderado excesso de água no verão.

b) Critério hídrico – Cenário A2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Tocantins se mostra úmido com moderada deficiência de água no inverno.

2011 a 2040: O clima se torna úmido e sub-úmido com moderada deficiência de água no inverno.

2041 a 2100: O clima da região se torna seco e sub-úmido com moderado excesso de água no verão.

c) Critério térmico

O clima da região está classificado como megatérmico, com concentração de verão da ETP menor que 48% da ETP anual em todos os períodos analisados.

Tabela 6.7. Classificação climática para a bacia hidrográfica do Tocantins

Período/ Cenário	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
Dados CRU 1961 a 1990	1817,64	1645,73	404,50	576,41	24,6	35,0	20,3	22,3	A'a'	B ₁ s
CENÁRIO B2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	1777,43	1823,71	461,95	415,67	25,3	22,8	7,6	22,5	A'a'	C ₂ w
2041 a 2070	1761,14	1893,19	516,69	384,64	27,3	20,3	3,9	22,3	A'a'	C ₂ w
2071 a 2100	1619,19	2040,99	733,84	312,05	36,0	15,3	-6,3	24	A'a'	C ₁ w
CENÁRIO A2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	1782,05	1826,06	465,78	420,76	25,5	23,0	7,7	23,0	A'a'	C ₂ w
2041 a 2070	1724,12	1946,10	541,18	319,20	27,8	16,4	-0,3	23,2	A'a'	C ₁ w
2071 a 2100	1612,67	2109,53	769,06	272,20	36,5	12,9	-9,0	24	A'a'	C ₁ w

6.2.8. Bacia Hidrográfica do São Francisco

Na tabela 6.8 encontra-se a classificação climática para a bacia hidrográfica do São Francisco para os períodos de 1961 a 1990 (dados CRU) e 2011 a 2100 para os cenários A2-BR e B2-BR.

a) Critério hídrico – Cenário B2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do São Francisco se mostra seco e sub-úmido com pequeno ou nenhum excesso de água.

2011 a 2100: O clima da região se torna semi-árido com pequeno ou nenhum excesso de água.

b) Critério hídrico – Cenário A2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do São Francisco se mostra seco e sub-úmido com pequeno ou nenhum excesso de água.

2011 a 2100: O clima da região se torna semi-árido com pequeno ou nenhum excesso de água.

c) Critério térmico

O clima da região está classificado como megatérmico (A'a'), com concentração de verão da ETP menor que 48% da ETP anual em todos os períodos analisados.

Tabela 6.8. Classificação climática para a bacia hidrográfica do São Francisco

Período/ Cenário	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
Dados CRU 1961 a 1990	1010,18	1514,71	622,90	118,37	41,1	7,8	-16,9	25,8	A'a'	C ₁ d
CENÁRIO B2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	931,39	1674,73	788,55	45,20	47,1	2,7	-25,6	25,6	A'a'	Dd
2041 a 2070	941,88	1727,73	836,81	50,96	48,4	2,9	-26,1	25,5	A'a'	Dd
2071 a 2100	823,17	1874,75	1106,87	55,28	59,0	2,9	-32,5	26,1	A'a'	Dd
CENÁRIO A2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	965,44	1686,30	771,658	50,79	45,8	3,0	-24,4	25,8	A'a'	Dd
2041 a 2070	964,16	1761,50	850,20	52,85	48,3	3,0	-26,0	25,7	A'a'	Dd
2071 a 2100	854,80	1944,06	1151,71	62,46	59,2	3,2	-32,3	26,5	A'a'	Dd

6.2.9. Bacia Hidrográfica do NE Oriental

Na tabela 6.9 encontra-se a classificação climática para a bacia hidrográfica do NE Oriental para os períodos de 1961 a 1990 (dados CRU) e 2011 a 2100 para os cenários A2-BR e B2-BR.

a) Critério hídrico – Cenário B2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do NE Oriental se mostra seco e sub-úmido com pequeno ou nenhum excesso de água.

2011 a 2070: O clima da região se torna semi-árido com pequeno ou nenhum excesso de água.

b) Critério hídrico – Cenário A2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do NE Oriental se mostra seco e sub-úmido com pequeno ou nenhum excesso de água.

2011 a 2070: O clima da região se torna semi-árido com pequeno ou nenhum excesso de água.

2071 a 2100: O clima da região se torna árido com pequeno ou nenhum excesso de água.

c) Critério térmico

O clima da região está classificado como megatérmico (A'a'), com concentração de verão da ETP menor que 48% da ETP anual em todos os períodos analisados.

Tabela 6.9 Classificação climática para a bacia hidrográfica do NE Oriental

Período/ Cenário	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
Dados CRU 1961 a 1900	960,05	1472,63	639,77	127,19	43,4	8,6	-17,4	27,8	A'a'	C ₁ d
CENÁRIO B2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	688,27	1682,15	1013,37	19,48	60,2	1,2	-35,0	25,9	A'a'	Dd
2041 a 2070	638,28	1756,30	1131,50	13,47	64,4	0,8	-37,9	25,7	A'a'	Dd
2071 a 2100	430,63	1886,13	1457,75	2,24	77,3	0,1	-46,3	26,1	A'a'	Ed
CENÁRIO A2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	698,82	1670,61	993,53	21,74	59,5	1,3	-34,4	26,2	A'a'	Dd
2041 a 2070	621,06	1788,42	1178,27	10,90	65,9	0,6	-38,9	26,2	A'a'	Dd
2071 a 2100	381,09	1955,95	1575,20	0,34	80,2	0,0	-48,3	26	A'a'	Ed

6.2.10. Bacia Hidrográfica do Parnaíba

Na tabela 6.10 encontra-se a classificação climática para a bacia hidrográfica do Parnaíba para os períodos de 1961 a 1990 (dados CRU) e 2011 a 2100 para os cenários A2-BR e B2-BR.

a) Critério hídrico – Cenário B2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Parnaíba se mostra seco e sub-úmido com pequeno ou nenhum excesso de água.

2011 a 2100: O clima da região se torna semi-árido com pequeno ou nenhum excesso de água.

b) Critério hídrico – Cenário A2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Parnaíba se mostra seco e sub-úmido com pequeno ou nenhum excesso de água.

2011 a 2100: O clima da região se torna semi-árido com pequeno ou nenhum excesso de água.

c) Critério térmico

O clima da região está classificado como megatérmico (A'a'), com concentração de verão da ETP menor que 48% da ETP anual em todos os períodos analisados.

Tabela 6.10. Classificação climática para a bacia hidrográfica do Parnaíba

Período/ Cenário	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
Dados CRU 1961 a 1990	1125,65	1694,50	714,68	145,83	42,2	8,6	-16,7	23,7	A'a'	C ₁ d
CENÁRIO B2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	983,77	1868,39	930,65	46,04	49,8	2,5	-27,4	24,0	A'a'	Dd
2041 a 2070	941,22	1947,20	1034,65	28,67	53,1	1,5	-30,4	26,7	A'a'	Dd
2071 a 2100	782,48	2065,87	1304,11	20,71	63,1	1,0	-36,9	25	A'a'	Dd
CENÁRIO A2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	994,11	1860,85	916,69	49,94	49,3	2,7	-26,9	24,4	A'a'	Dd
2041 a 2070	922,02	1985,24	1082,02	18,79	54,5	0,9	-31,8	24,6	A'a'	Dd
2071 a 2100	745,94	2124,03	1392,49	14,40	65,6	0,7	-38,7	25,4	A'a'	Dd

6.2.11. Bacia Hidrográfica do NE Ocidental

Na tabela 6.11 encontra-se a classificação climática para a bacia hidrográfica do NE Ocidental para os períodos de 1961 a 1990 (dados CRU) e 2071 a 2100 para os cenários A2-BR e B2-BR.

a) Critério hídrico – Cenário B2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do NE Ocidental se mostra úmido e sub-úmido com moderada deficiência de água no inverno.

2011 a 2040: O clima se mantém úmido e sub-úmido com moderada deficiência de água no inverno.

2041 a 2100: O clima da região se torna seco e sub-úmido com moderado excesso de água no verão.

b) Critério hídrico – Cenário A2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do NE Ocidental se mostra úmido e sub-úmido com moderada deficiência de água no inverno.

2011 a 2040: O clima se mantém úmido e sub-úmido com moderada deficiência de água no inverno.

2041 a 2100: O clima da região se torna seco e sub-úmido com moderado excesso de água no verão.

c) Critério térmico

O clima da região está classificado como megatérmico (A'a'), com concentração de verão da ETP menor que 48% da ETP anual em todos os períodos analisados.

Tabela 6.11. Classificação climática para a bacia hidrográfica do NE Ocidental

Período/ Cenário	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
Dados CRU 1961 a 1990	1779,76	1653,35	484,06	615,46	29,6	37,2	19,5	24,9	A'a'	C _{2w}
CENÁRIO B2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	1645,23	1829,60	628,17	443,81	34,3	24,3	3,7	26,0	A'a'	C _{2w}
2041 a 2070	1580,48	1907,09	709,71	382,09	37,2	20,1	-2,2	25,9	A'a'	C _{1w}
2071 a 2100	1393,09	2048,81	1015,82	360,09	49,6	17,6	-12,2	24,9	A'a'	C _{1w}
CENÁRIO A2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	1625,84	1830,29	643,84	439,39	35,2	24,0	-2,9	25,8	A'a'	C _{2w}
2041 a 2070	1518,40	1972,00	773,61	320,02	39,2	16,2	-7,3	25,8	A'a'	C _{1w}
2071 a 2100	1311,40	2127,53	1102,93	286,79	51,8	13,5	-17,6	25,1	A'a'	C _{1w}

6.2.12. Bacia Hidrográfica do Atlântico Sul

Na tabela 6.12 encontra- a classificação climática para a bacia hidrográfica do Atlântico Sul para os períodos de 1961 a 1990 (dados CRU) e 2011 a 2100 para os cenários A2-BR e B2-BR.

a) Critério hídrico – Cenário B2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Atlântico Sul se mostra úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água.

2011 a 2100: O clima se mantém úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água.

b) Critério hídrico – Cenário A2-BR. Período de:

1961 a 1990 (CRU): O clima da região da bacia hidrográfica do Atlântico Sul se mostra úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água.

2011 a 2100: O clima se mantém úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água.

c) Critério térmico

O clima da região está classificado como mesotérmico (B'3a' e B'4a'), com concentração de verão da ETP menor que 48% da ETP anual em todos os períodos analisados.

Tabela 6.12. Classificação climática para a bacia hidrográfica do Atlântico Sul

Período/ Cenário	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
Dados CRU 1961 a 1990	1560,23	885,30	3,39	678,32	0,4	76,6	76,4	39,3	B'3a'	B3r
CENÁRIO B2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	1677,35	927,30	4,47	754,52	0,5	81,4	81,1	38,5	B'3a'	B4r
2041 a 2070	1687,77	963,14	6,02	730,65	0,6	75,9	75,5	38,8	B'3a'	B3r
2071 a 2100	1816,56	1039,11	7,72	785,18	0,7	75,6	75,1	40	B'4a''	B3r
CENÁRIO A2-BR	P (mm)	ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Critério Térmico	Critério Hídrico
2011 a 2040	1683,06	932,19	6,20	757,07	0,7	81,2	80,8	38,3	B'3a''	B4r
2041 a 2070	1682,52	1006,29	12,65	688,88	1,3	68,5	67,7	39,0	B'4a''	B3r
2071 a 2100	1827,39	1106,25	26,22	747,35	2,4	67,6	66,1	40,6	B'4a''	B3r

6.3 Conclusões para classificações térmica e hídrica

Classificação térmica

O aumento das temperaturas devido às mudanças climáticas modificará a classificação térmica de três regiões, passando de Mesotérmica para Megatérmica. As regiões são: Atlântico Leste, Atlântico Sudeste e Uruguai.

Nas demais regiões, não foram observadas alterações na classificação térmica uma vez que estas já são consideradas regiões Megatérmicas, ou seja, são regiões com elevada temperatura, situadas no final da escala de classificação. Isso não significa que não haverá aquecimento dessas regiões, apenas indica que a classificação térmica das regiões se manterá a mesma, Megatérmicas.

Classificação hídrica

Das doze regiões hidrográficas, apenas duas manterão a mesma classificação hídrica, levando-se em conta os efeitos do aquecimento global. Classificadas como Úmido com pequena ou nenhuma deficiência de água, são elas: Atlântico Sul e Uruguai. Isto indica que, segundo o modelo utilizado, a região sul do país seria a menos afetada considerando a classificação hídrica, o que não significa que as mudanças climáticas não causem alterações.

As bacias do nordeste (Parnaíba, e Atlântico NE Oriental), passariam de semi-árido para árido. No entanto, é importante ressaltar que o modelo utilizado apresenta os maiores erros justamente na região nordeste do País.

Outras alterações notáveis são verificadas na bacia do São Francisco, onde se concentra grande parte da fruticultura de exportação nacional, que passaria de seco e sub-úmido com pequeno ou nenhum excesso de água para semi-árido com pequeno ou nenhum excesso de água e o Atlântico Leste, que passaria de seco e sub-úmido com pequeno ou nenhum excesso de água para semi-árido com pequeno ou nenhum excesso de água.



Foto: Baía do Rio Iguaçu, PR

Balancos hídricos para diversas regiões hidrográficas do Brasil, utilizando 15 modelos de climas futuros do IPCC na escala aproximada de 200 km X 200 km e comparados com os balanços hídricos realizados na escala de 50 km X 50 km, pelo modelo HadRM3P



1. Introdução

Estudo Comparativo dos Balanços Hídricos entre os dados fornecidos pelo CPTEC/INPE utilizando o Modelo HadRM3P em escala de 50 Km x 50 Km e os dados provenientes de 15 Modelos Globais numa escala média de 2° x 2° (latitude e longitude).

Este capítulo complementar foi proposto pelo Dr. Carlos Nobre, para permitir uma comparação entre os balanços hídricos gerados pelo projeto original, na escala de 50 Km X 50 Km, utilizando o Modelo Regional HadRM3P com outros dados disponíveis, gerados por diferentes modelos e também em escalas diferentes.

Neste trabalho, foram feitas comparações entre os possíveis efeitos das mudanças climáticas globais nos “excessos” de água proveniente dos balanços hídricos, calculados pelo método de Thornthwaite – Mather, para 8 regiões hidrográficas do Brasil no território brasileiro, numa escala de 2° x 2° latitude/longitude, com os dados provenientes de um estudo numa escala de 50 km x 50 km.

No estudo da escala de 2° x 2° lat/long, foram utilizados os dados provenientes das médias de quinze modelos climáticos globais para os cenários B1 e A2-BR.

No estudo 50 km x 50 km, foi utilizado o modelo regional HadRM3P para os cenários A2-BR e B2-BR.

Os dados obtidos estão apresentados resumidamente na Tabela do Resumo Geral (página 73), como variação percentual relativamente aos “excessos” de 1961 a 1990.

2. Metodologia

Foram feitos os balanços hídricos com os dados provenientes dos Modelos UKMO-HadCM3, GFDL-CM2.1 e Média de 15 modelos do IPCC.

Os dados de todos os modelos foram recalculados pelo CPTEC/INPE para a mesma resolução, aproximadamente de 2° X 2° lat/lon, por interpolação para efeitos do cálculo da média dos 15 modelos e comparações regionais.



Figura 2 – Regiões hidrográficas da ANA na escala dos modelos globais de mudança climática (2° x 2°). Neste projeto, as Bacias do Uruguai e do Atlântico Sul foram analisadas em conjunto com a denominação de “Região Sul”.

Tabela sobre modelos globais dos quais foram utilizados os cenários futuros

Modelo	Instituto (País)	Resolução da componente atmosférica
BCCR-BCM2.0	Bjerknes Centre for Climate Research (Norway)	T42L31 (aprox. 2.8° lat/lon)
CCSM3	National Center for Atmospheric Research (USA)	T85L26 (aprox. 1.4° lat/lon)
CGCM3.1 (T47)	Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis (Canada)	T47L31 (aprox. 3.75° lat/lon)
CNRM-CM3	Météo-France / Centre National de Recherches Météorologiques (France)	T42L45 (aprox. 2.8° lat/lon)
CSIRO-Mk3.0	CSIRO Atmospheric Research (Australia)	T63L18 (aprox. 1.8° lat/lon)
ECHAM5/MPI-OM	Max Planck Institute for Meteorology (Germany)	T63L31 (aprox. 1.8° lat/lon)
ECHO-G	Meteorological Institute of the University of Bonn (Germany), Institute of KMA (Korea)	T30L19 (aprox. 3.75° lat/lon)
GFDL-CM2.0	US Dept. of Commerce / NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (USA)	2°lat. x 2.5° lon., L24
GFDL-CM2.1	US Dept. of Commerce / NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (USA)	2°lat. x 2.5° lon., L24
GISS-ER	NASA / Goddar Institute for Space Studies (USA)	4°lat. x 5° lon., L21
INM-CM3.0	Institute for Numerical Mathematics Studies (RUSSIA)	4°lat. x 5° lon., L21
IPSL-CM4.0	Institut Pierre Simon Laplace (FRANCE)	2.5°lat. x 3.75° lon., L19
MIROC3.2-medres	Center for Climate System Research (Univ. of Tokyo), National Institute For Environmental Studies, and Frontier Research Center For Global Change (JAPAN)	T42L20 (aprox. 2.8° lat/lon)
MRI-CGCM2.3.2	Meteorological Research Institute (JAPAN)	T42L21 (aprox. 2.8° lat/lon)
UKMO-HadCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office (UK)	2.5° lat. x 3.75° lon. L19

Os períodos utilizados nesse estudo foram:

1961-1990 (Para a climatologia atual dos modelos).

2010-2039, 2040-2069, 2070-2099 (Períodos futuros nos cenários A2-BR e B1-BR).

Neste balanço hídrico foi utilizado o método de Thornthwaite-Mather, com as seguintes modificações:

O método para calcular a ETP se baseou na temperatura média, pois alguns modelos não dispunham de informação de temperatura máxima e mínima.

Não foi feita calibração quanto ao cálculo da CAD (Capacidade de Água Disponível). Foi utilizado o mesmo valor de CAD da etapa anterior do projeto - CAD = 100: Amazônia, Paraguai, Atlântico Sul, Uruguai, Atlântico Sudeste e Atlântico Nordeste Ocidental e CAD = 200: Tocantins, Atlântico Nordeste Oriental, Atlântico Leste, Paraná, Parnaíba, São Francisco.

Foram comparadas apenas alterações climáticas simuladas por cada modelo, sem levar em conta diferenças na climatologia presente simulada, que foi padronizada. O procedimento foi o mesmo utilizado nas etapas descritas anteriormente, que considerou o banco de dados CRU05 (Climate Research Unit, University of East Anglia, Norwich, UK) como a climatologia padrão (média 1961 – 1990). As mudanças climáticas em cada período e para cada modelo foram então adicionadas à climatologia presente para, em seguida, efetuar o balanço hídrico.

Comparações diretas entre a simulação do balanço hídrico efetuado nesta fase do trabalho e na etapa anterior, quando se utilizou uma resolução mais fina, não são recomendadas. Existem diversas diferenças entre as duas simulações que dificultam tal comparação, dentre elas:

- Diferença no método de obtenção do ETP (temperatura média vs. média das temperaturas máximas e mínimas);
- CAD calibrada para a simulação com resolução mais fina. A comparação entre os modelos utilizou a mesma CAD das etapas anteriores, porém, nada garante que a calibração se mantenha entre as diferentes resoluções e após variar o método de cálculo de ETP;

- Comparação entre os modelos utiliza os dados do modelo global enquanto que nas etapas anteriores foram utilizados dados do modelo regional;

- Os períodos de tempo intermediário (2010-2039 e 2040-2069) nas etapas anteriores foram interpolados enquanto que nesta etapa, utilizaram-se os dados do modelo global, sem interpolação.

No entanto, apesar de comparações diretas dos valores absolutos não serem adequadas, as tendências observadas na etapa anterior do trabalho e as obtidas nesta etapa podem ser comparadas.

Os dados anuais do balanço hídrico foram analisados de acordo com as grandes bacias hidrográficas (Tocantins, Amazonas, Paraná, Paraguai São Francisco, Parnaíba e Atlântico Nordeste Ocidental) e para a região incluindo as bacias do Uruguai e Atlântico Sul.

São feitas referências aos dados dos balanços hídricos realizados para as bacias hidrográficas conforme divisão da ANA (Agencia Nacional de Águas).

É relevante notar que neste documento são comparados os excessos do cálculo do balanço hídrico para diferentes períodos e não as vazões reais das diferentes bacias hidrográficas para os períodos estudados.

Para as comparações consideraram-se os períodos das médias dos modelos (2011 a 2039, 2040 a 2069 e 2070 a 2099) equivalentes aos períodos 2011-2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100. Os cenários B1-BR e B2-BR foram utilizados nas comparações realizadas para se obter uma visão das tendências dos dados obtidos.

É importante salientar que as vazões dos rios correspondem a 37% do total das precipitações e a evapotranspiração real, ou seja, o total de vapor d'água que retorna a atmosfera pelos processos de evaporação e transpiração corresponde a 63%.

A evapotranspiração real varia grandemente no território nacional. Os menores valores são na Bacia Amazônica com 52%, para a região hidrográfica Atlântico Sul e a Bacia do Rio Uruguai 58%. As maiores perdas de água por evapotranspiração são encontradas nas Bacias Atlântico NE Ocidental 81%, Paraíba 94% no Atlântico Nordeste Oriental São Francisco 83%, Atlântico Leste 88%. Na bacia do Paraná é igual a 73% e na bacia do Paraguai 84%

3. Análise dos dados obtidos

Com os dados obtidos com a análise dos 15 modelos na escala de 2° X 2° [latitude e longitude], foram feitos os balanços hídricos com as médias de todos os modelos e para o modelo GFDL-CM2.0 e para o modelo UKMO, HadCM3 e os dados comparados com os resultados provenientes do modelo HadCM3 50 km X 50 km. Nestas comparações, foi utilizado o modelo B1-BR para a escala de 2° X 2° [aproximadamente 220 km X 220 km], ao invés do cenário B2-BR. Os dados do CRU indicam os valores reais para o período de 1961 a 1990.

3.1. Bacia do Rio Tocantins

Nas figuras 3 e 4 são apresentados os resultados dos balanços hídricos para a bacia do Tocantins realizados na escala de 2° latitude x 2° longitude para o modelo HadCM3, para a média dos modelos e para o modelo GFDL para os cenários A2-BR e B1-BR, respectivamente. Nas figuras 5 e 6 são apresentados os resultados do balanço hídrico para a bacia do Tocantins utilizando o modelo HadRM3P (50 Km X 50 Km) para os cenários A2-BR e B2-BR.

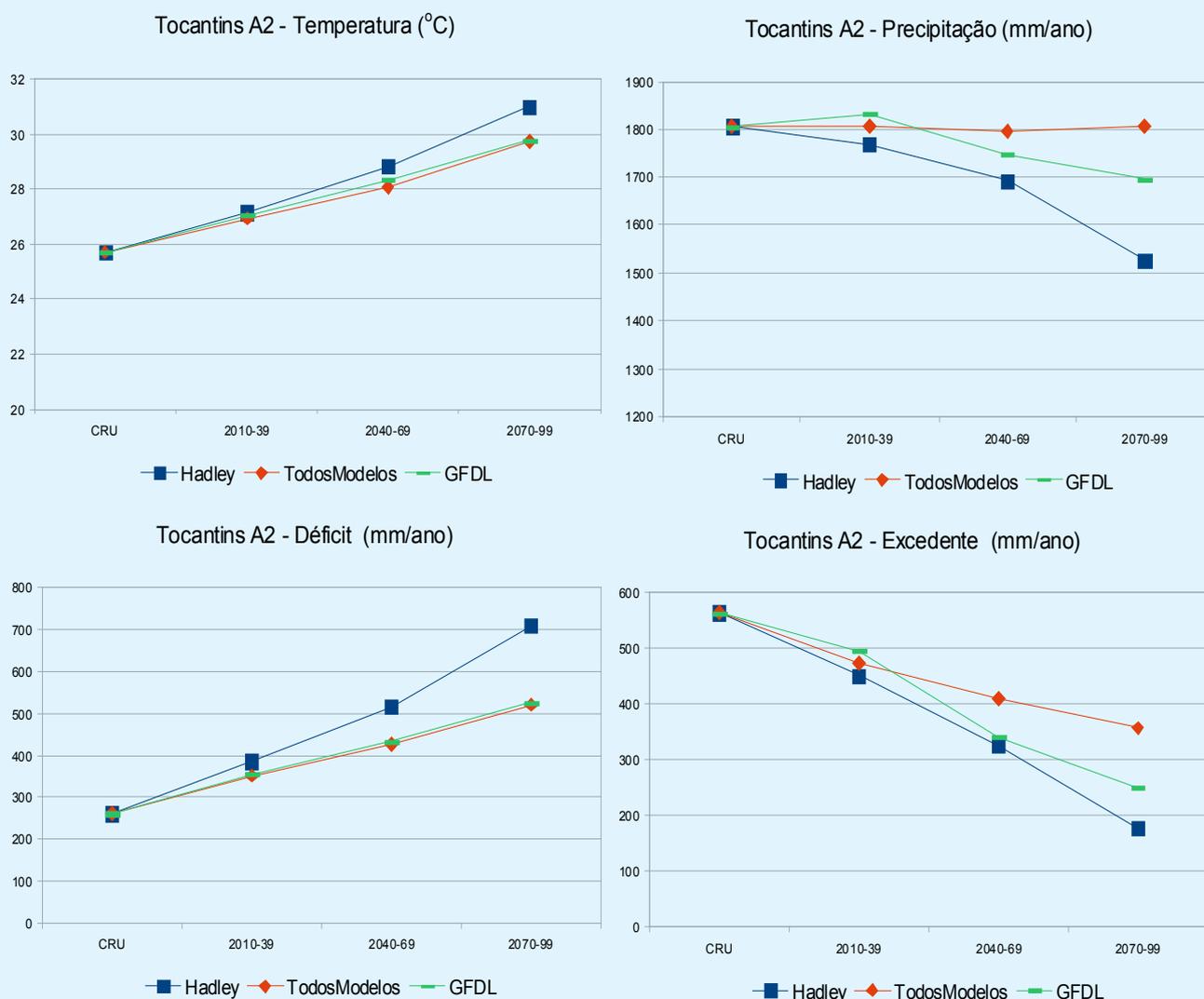


Figura 3 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a bacia do Tocantins, cenário A2-BR (2° x 2° latitude/longitude)

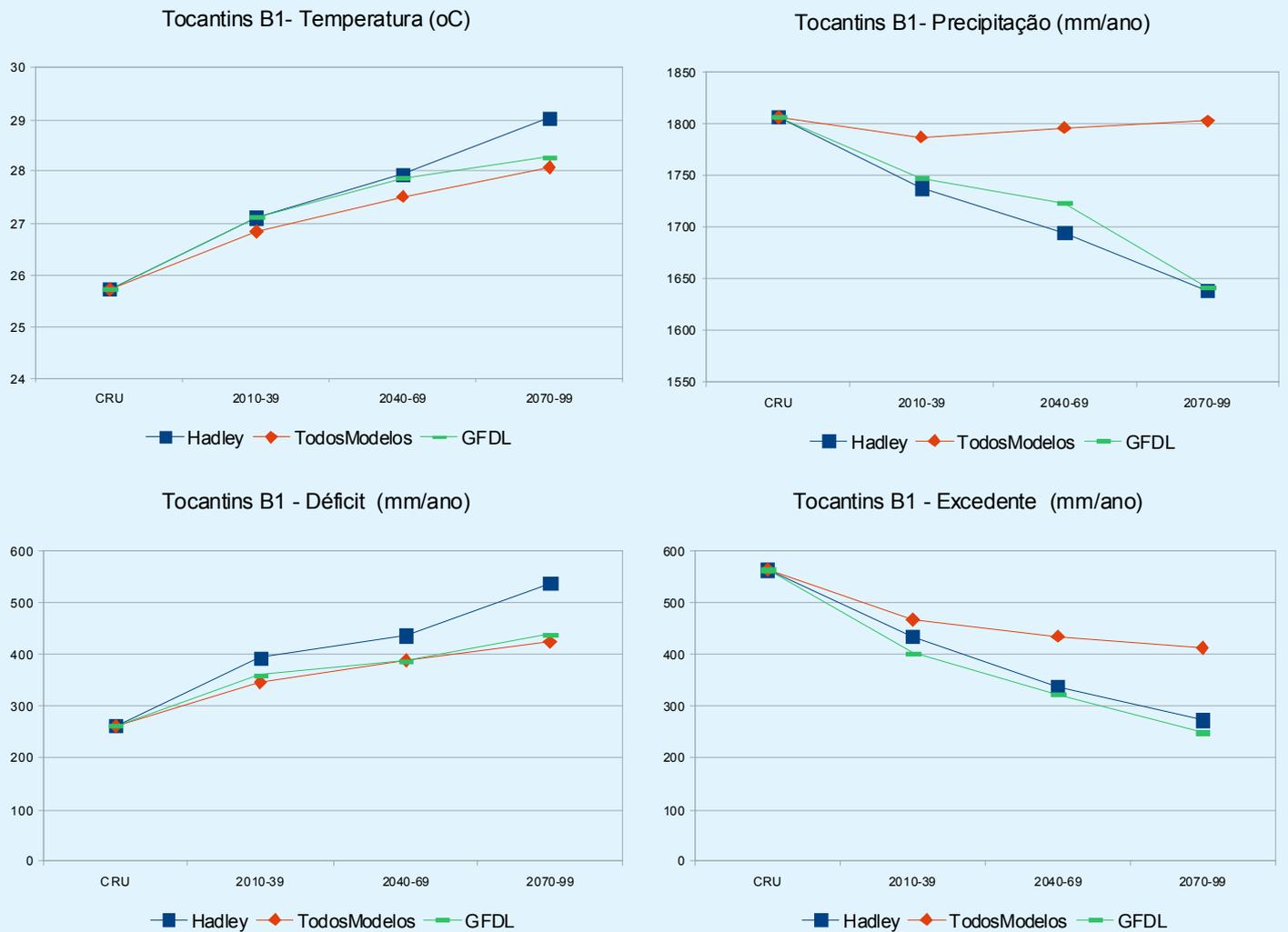


Figura 4 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a bacia do Tocantins, cenário B1-BR (2° x 2° latitude/longitude)

A temperatura estimada pelos dois modelos, Hadley e GFDL, estão de acordo e semelhante às médias dos modelos. No entanto, a precipitação estimada pelo Hadley é menor que a simulada pelo GFDL e pela média dos modelos. Com isso, o déficit hídrico estimado é maior e o excedente hídrico menor. No entanto, todos os modelos apontam para uma redução do excedente hídrico nesta bacia (Figuras 3 e 4).

Bacia Hidrográfica do Tocantins - CENÁRIO A2-BR

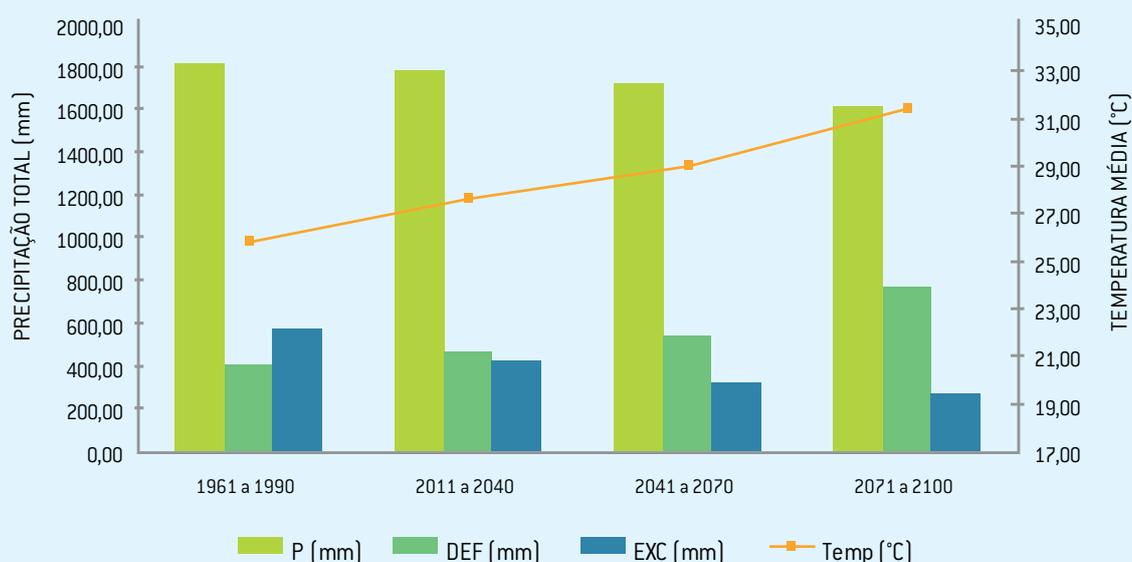


Figura 5 - Resumo do balanço hídrico para a bacia do Tocantins, cenário A2-BR, utilizando o modelo regional HadRM3P (50 Km X 50 Km).

Bacia Hidrográfica do Tocantins - CENÁRIO B2-BR

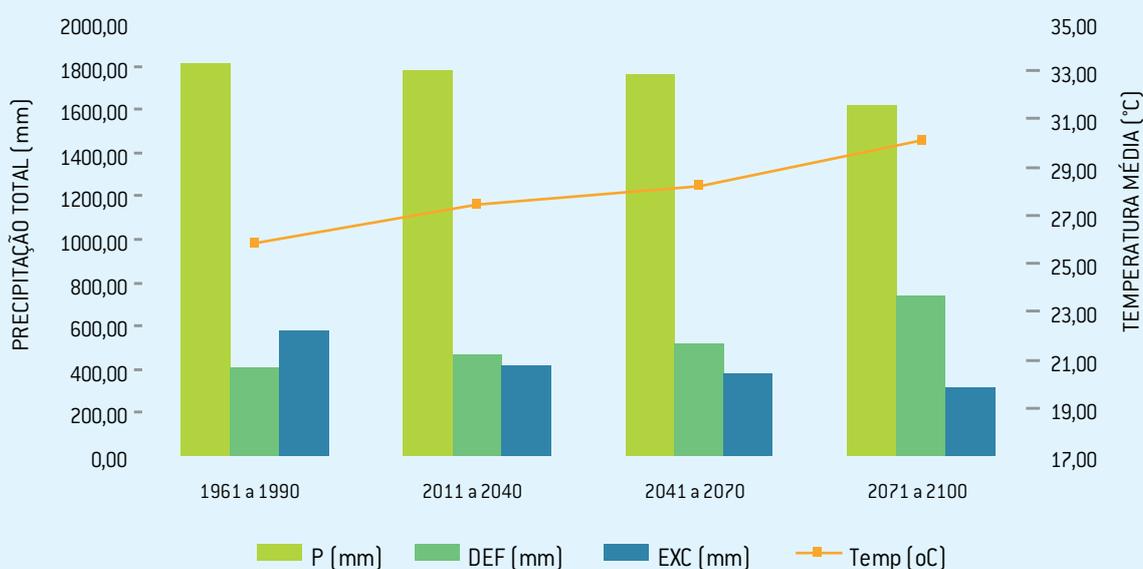


Figura 6 - Resumo do balanço hídrico para a bacia do Tocantins, cenário B2-BR, utilizando o modelo regional HadRM3P (50 Km X 50 Km).

Observa-se que as tendências mostradas pelo modelo global Hadley são semelhantes às indicadas na etapa anterior do trabalho, quando se utilizou o modelo regional e escala de 50 Km x 50 Km (Figuras 5 e 6).

Verifica-se ainda que as tendências das médias dos modelos sejam semelhantes quanto ao déficit e excesso hídrico indicados pelo modelo regional com escala de 50 Km x 50 Km.

3.2. Bacia do Rio Amazonas (no território brasileiro)

Nas figuras 7 e 8 são apresentados os resultados dos balanços hídricos para a bacia do Amazonas realizados, na escala de 2° x 2° [latitude/longitude], para o modelo HadCM3, para a média dos modelos e para o modelo GFDL para os cenários A2-BR e B1-BR, respectivamente.

Na figuras 9 e 10 são apresentados os dados do balanço hídrico para a bacia do Amazonas utilizando o modelo HadRM3P (50 km x50 Km) para os cenários A2-BR e B2-BR.

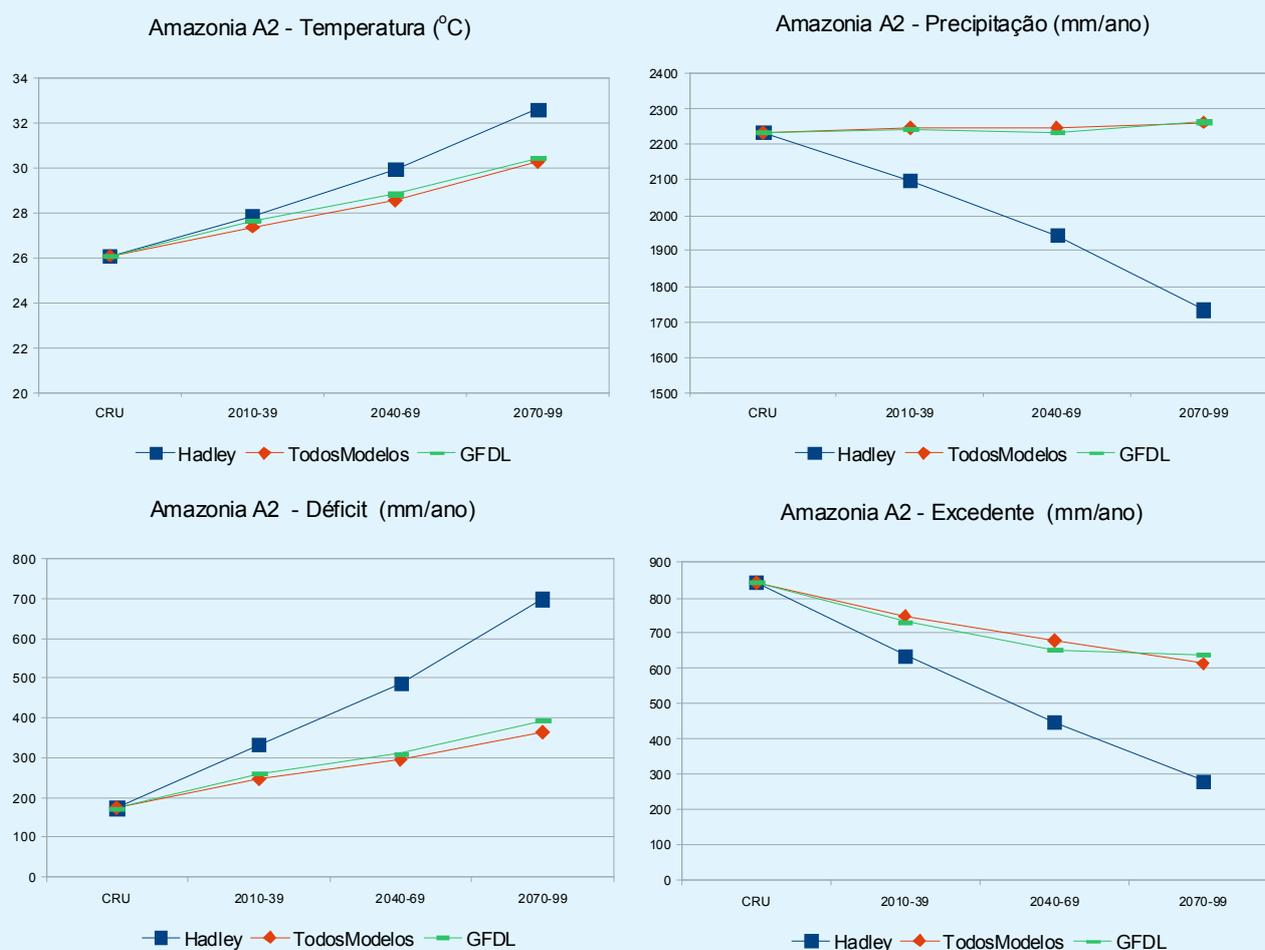


Figura 7 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a bacia do Amazonas, cenário A2-BR.

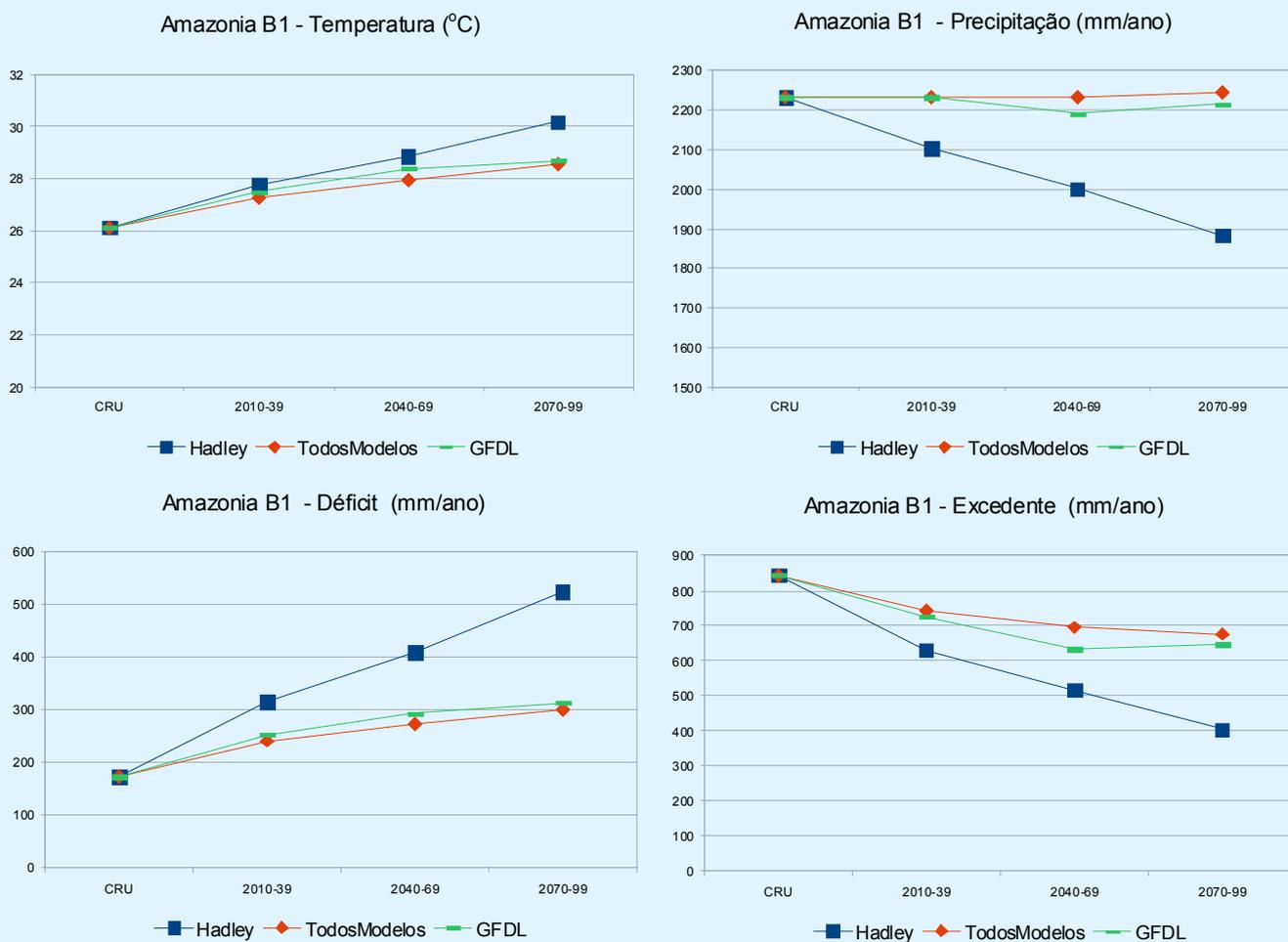


Figura 8 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a bacia do Amazonas, cenário B1-BR.

Bacia Hidrográfica Amazônica - Cenário A2-BR



Figura 9 - Resumo do balanço hídrico para a bacia Amazônica, cenário A2-BR, utilizando o modelo regional HadRM3P (50 Km X 50 Km)

Bacia Hidrográfica Amazônica: Cenário B2-BR

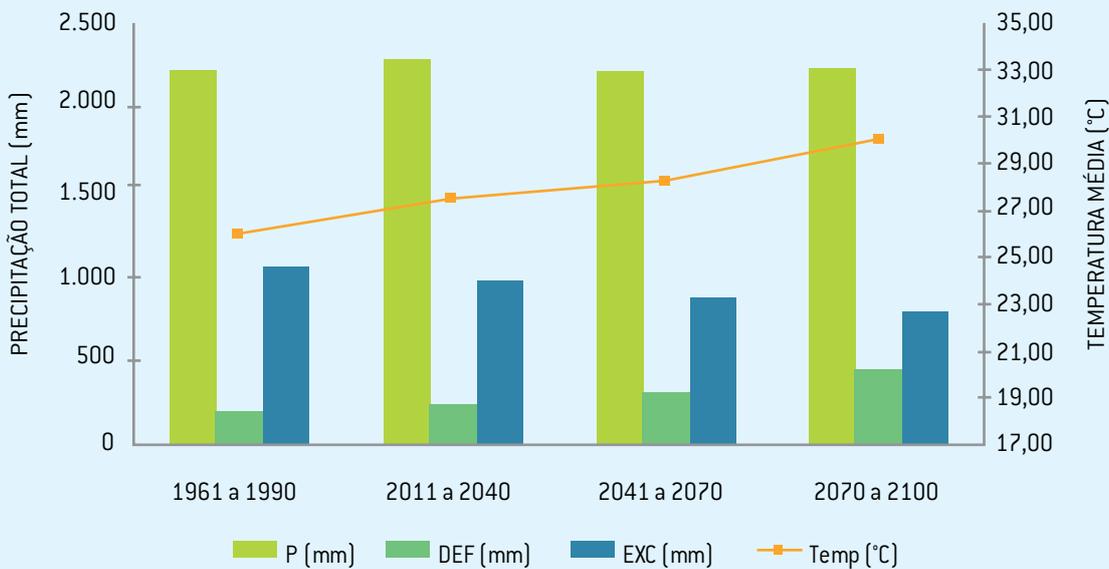


Figura 10 - Resumo do balanço hídrico para a bacia Amazônica, cenário B2-BR, utilizando o modelo regional HadRM3P (50 Km X 50 Km)

Nesta bacia na escala $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ [latitude/longitude] o modelo Hadley apresentou o maior aumento de temperatura e a maior diminuição da precipitação, o que resulta em grande aumento do déficit hídrico e forte diminuição do excedente. Já para o modelo GFDL e para a média de todos os modelos, o aumento no déficit e diminuição do excedente não é tão pronunciado (Figuras 7 e 8), ou seja, o modelo Hadley apresenta um prognóstico mais pessimista.

Apesar da grande redução do excedente hídrico anual apontado pelo modelo global Hadley, o resultado do modelo regional não é tão extremo, mas a tendência é semelhante, ou seja, de diminuição do excesso hídrico (Figuras 9 e 10).

3.3. Bacia do Rio Paraguai (no território brasileiro)

Nas figuras 11 e 12 são apresentados os resultados dos balanços hídricos na escala de 2° X 2° (latitude / longitude) para a bacia do Paraguai realizados para o modelo HadCM3, para a média dos modelos e para o modelo GFDL para os cenários A2-BR e B1-BR, respectivamente.

Nas figuras 13 e 14 são apresentados os dados do balanço hídrico para a bacia do Paraguai utilizando o modelo HadRM3P (50 Km X 50 Km) para os cenários A2-BR e B2-BR.

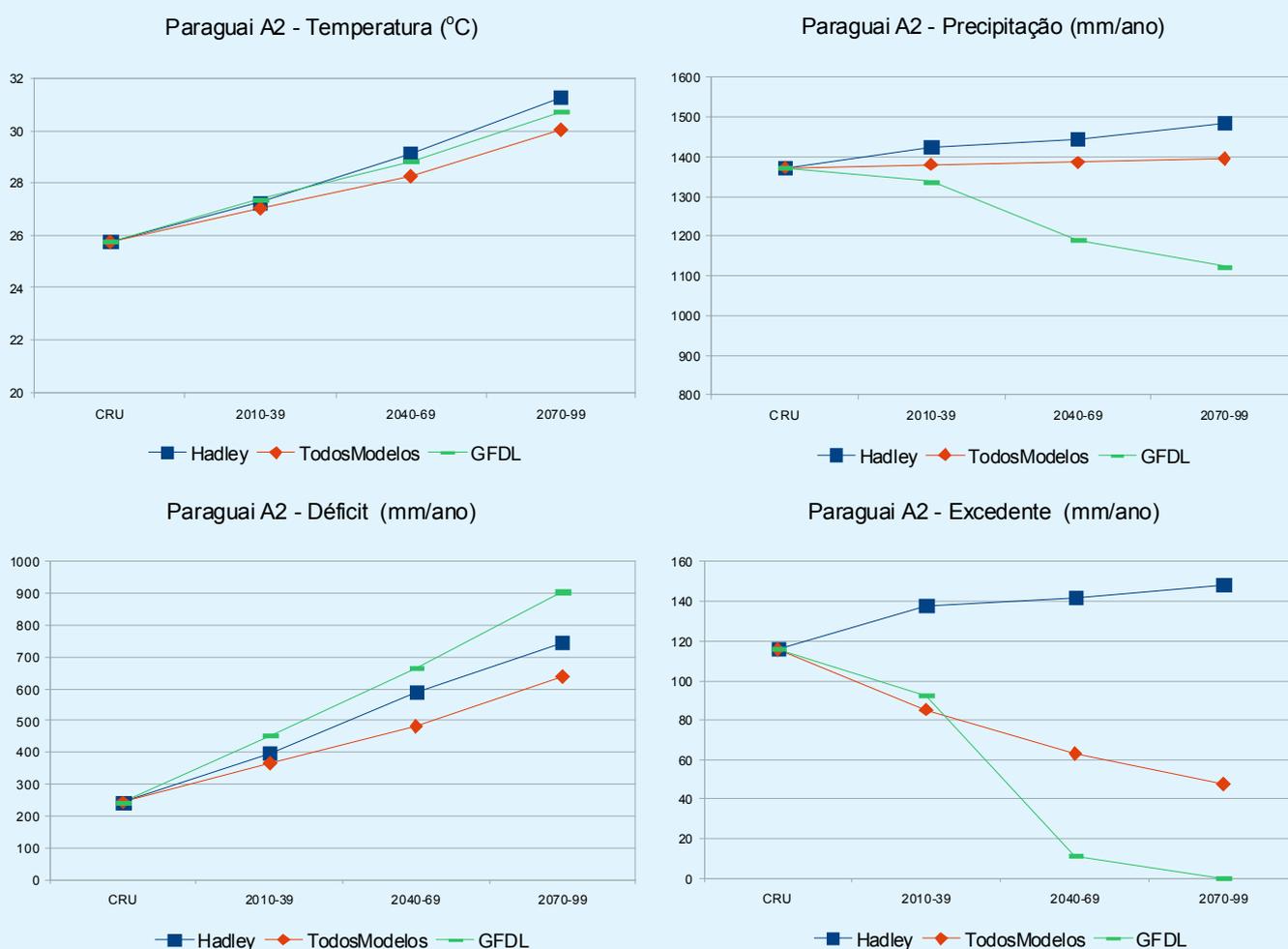
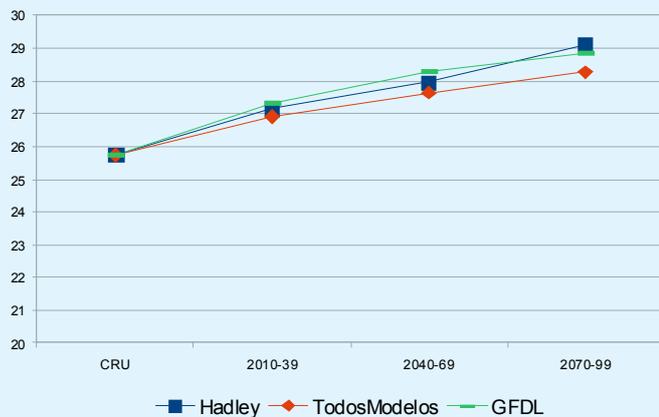
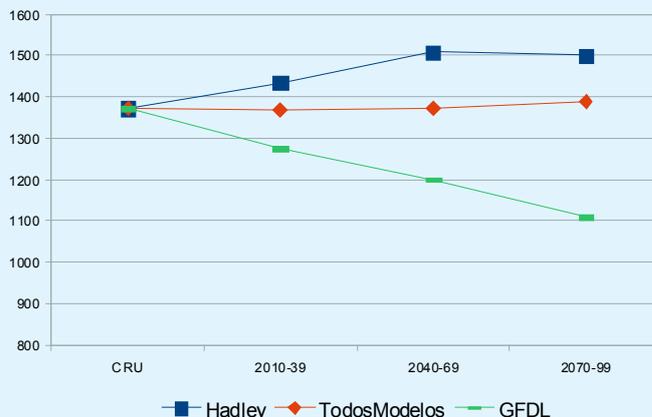


Figura 11 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a bacia do Paraguai, cenário A2-BR (Escala 2° x 2° lat/lon).

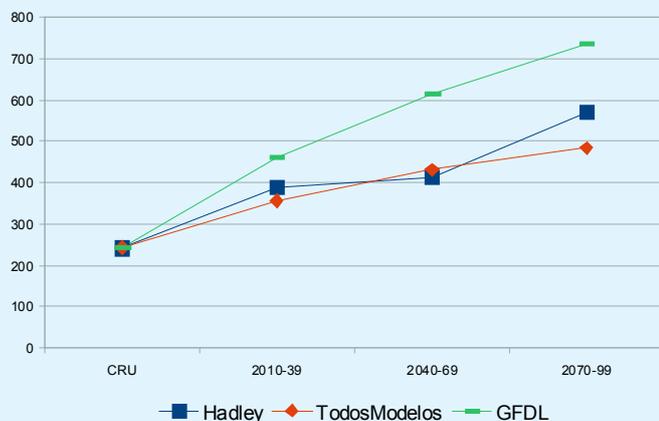
Paraguai B1 - Temperatura (°C)



Paraguai B1 - Precipitação (mm/ano)



Paraguai B1 - Déficit (mm/ano)



Paraguai B1 - Excedente (mm/ano)

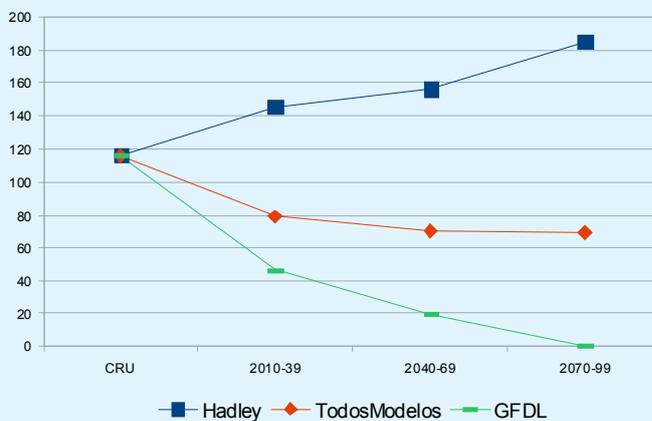


Figura 12 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a bacia do Paraguai, cenário B1-BR (Escala 2° x 2° lat/lon).

Bacia Hidrográfica do Paraguai - Cenário A2-BR

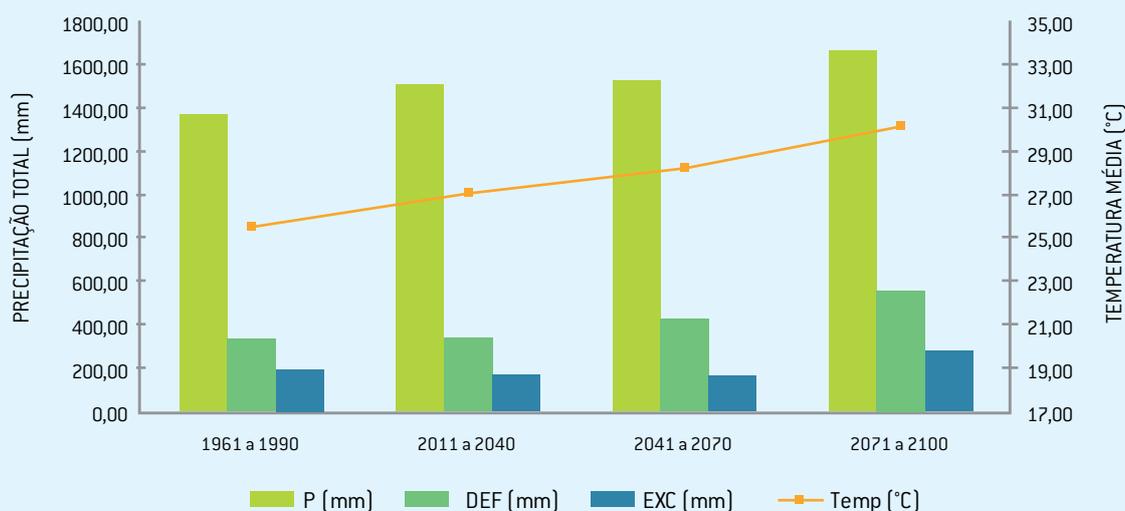


Figura 13 - Resumo do balanço hídrico para a bacia do Paraguai, cenário A2-BR, utilizando o modelo regional HadRM3P (50 Km X 50 Km).

Bacia Hidrográfica do Paraguai - Cenário B2-BR

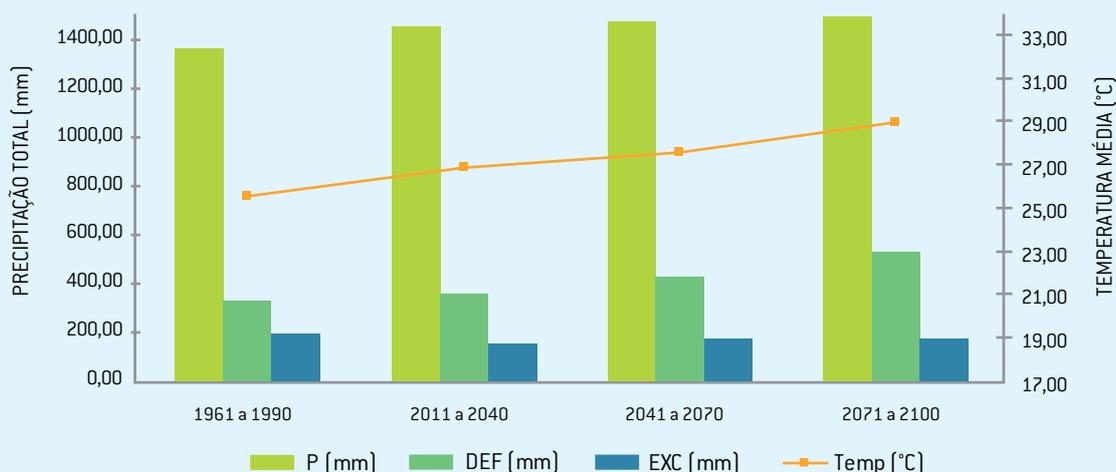


Figura 14 - Resumo do balanço hídrico para a bacia do Paraguai, cenário B2-BR, utilizando o modelo regional HadRM3P (50 Km X 50 Km).

Nessas bacias, os modelos concordam na simulação do aumento da temperatura, no entanto, a maior discrepância é observada na simulação da precipitação pelo modelo GFDL. Este apresenta uma maior redução da precipitação, o que resulta no maior aumento do déficit e redução do excedente (Figuras 11 e 12). O modelo Hadley (50 Km x 50 Km) indica um aumento do excedente hídrico, diferente da média dos modelos e do GFDL que indicam uma diminuição.

O ligeiro aumento da precipitação e conseqüente aumento do excedente hídrico mostrado pelo modelo global Hadley também é visível na simulação utilizando o modelo regional (Figuras 13 e 14) que tornaria a disponibilidade hídrica mais favorável.

Como na região do Pantanal o balanço hídrico atual (1961-1990) calculado pela diferença entre a precipitação e a vazão indica uma perda de água de 84% por evapotranspiração, qualquer aumento de temperatura sem um aumento da precipitação pode levar a uma situação crítica. Estudos mais detalhados e com novos dados de modelos regionais devem ser encorajados.

3.4. Bacia do Rio Parnaíba

Nas figuras 15 e 16 são apresentados os resultados dos balanços hídricos para a bacia do Parnaíba realizados na escala de 2° X 2° [lat/lon] para o modelo HadCM3, para a média dos modelos e para o modelo GFDL para os cenários A2-BR e B1-BR, respectivamente.

Nas figuras 17 e 18 são apresentados os dados do balanço hídrico para a bacia do Parnaíba utilizando o modelo HadRM3P (50 Km X 50 km) para os cenários A2-BR e B2-BR.

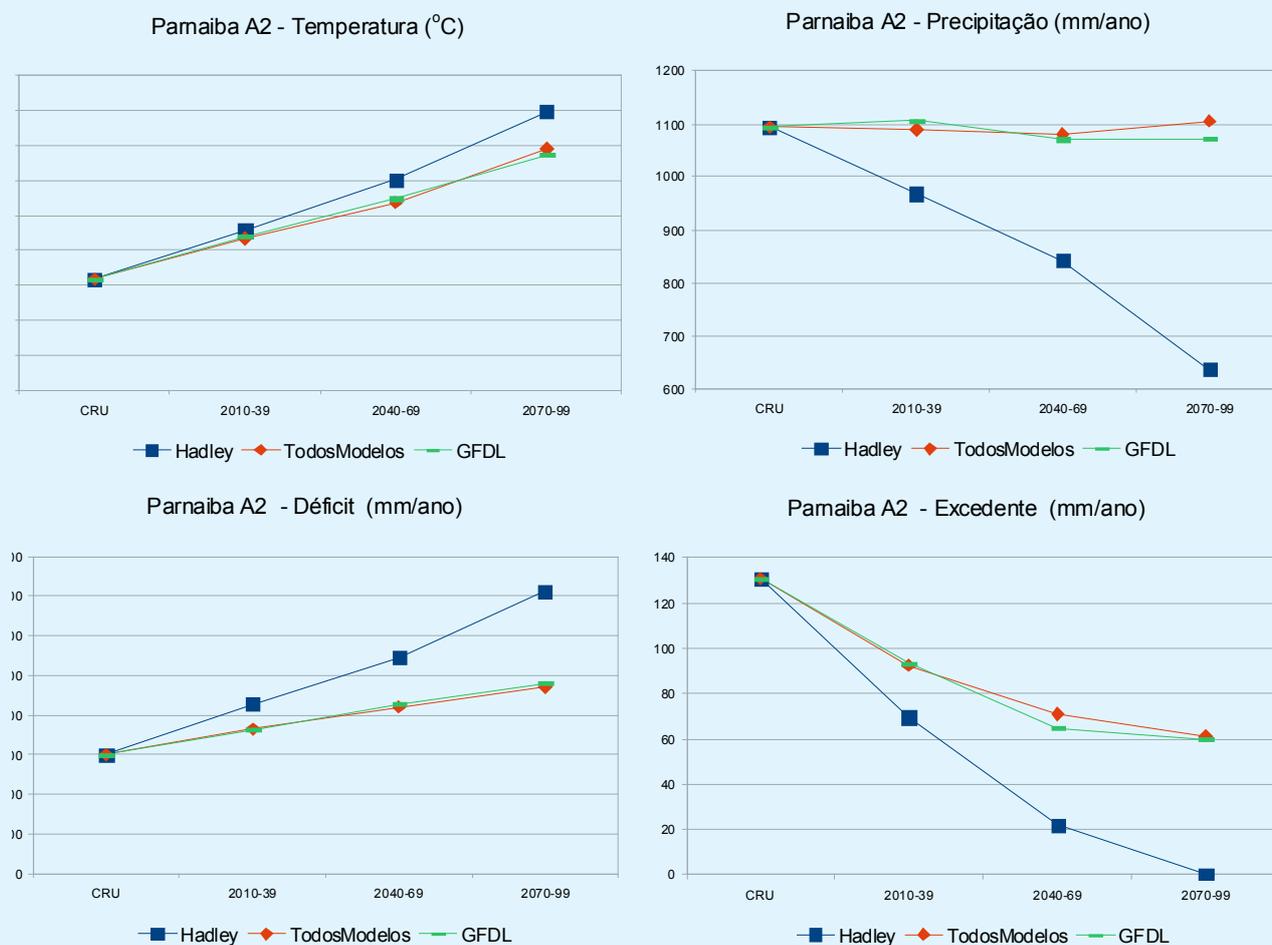


Figura 15 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a bacia do Parnaíba, cenário A2-BR (Escala 2° x 2° lat/lon).

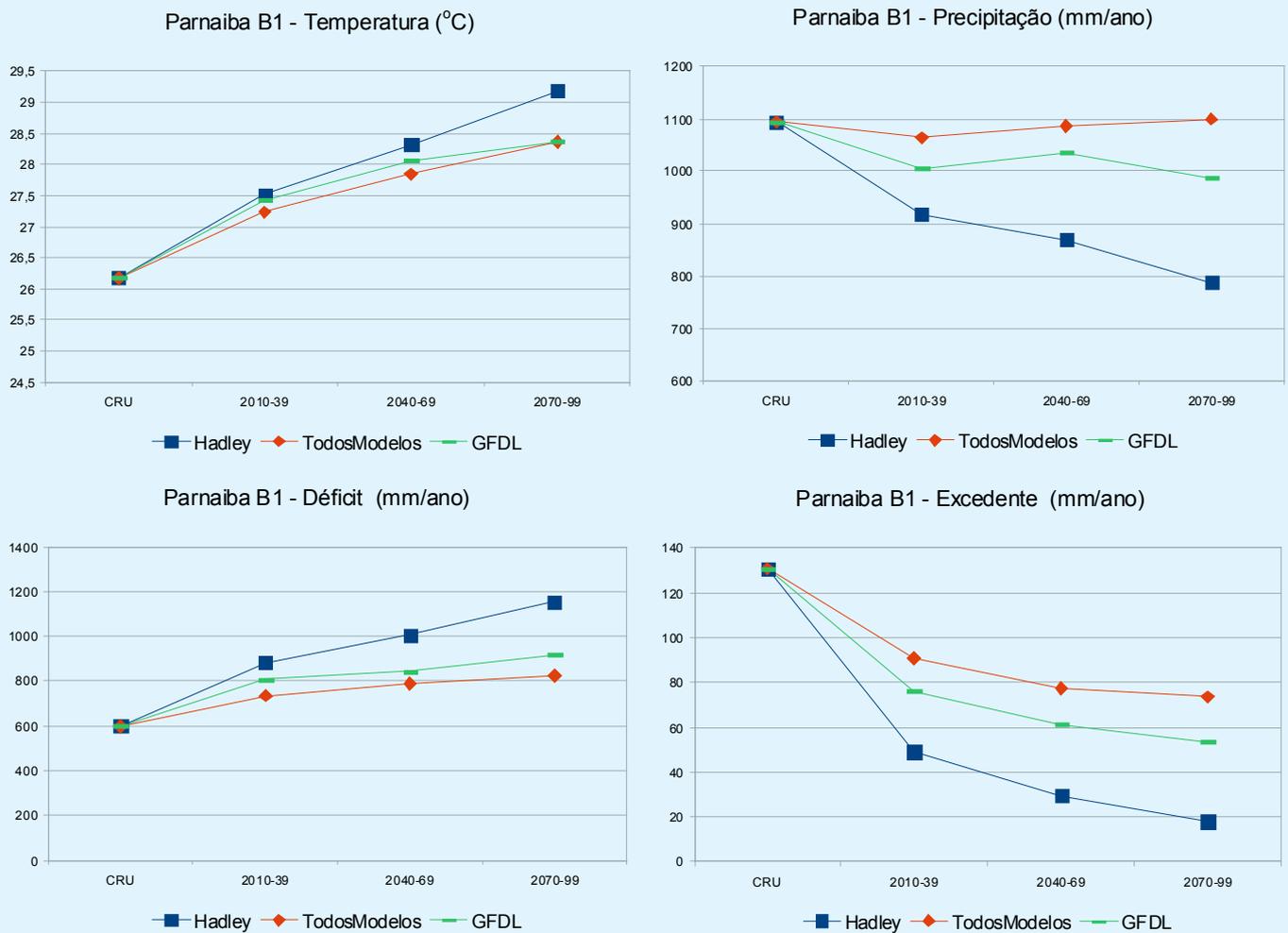


Figura 16 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a bacia do Parnaíba, cenário B1-BR [Escala 2° x 2° lat/lon].

Pelo gráfico 15 observa-se que para o cenário A2-BR a média dos modelos apresenta um aumento semelhante para a temperatura. Para as precipitações o modelo Hadley apresenta uma enorme diminuição quando comparados a média dos modelos e ao modelo GFDL. Os dados acima implicam uma variação maior no excedente hídrico para o modelo Hadley.

Pela figura 16 o modelo Hadley apresenta um maior aumento de temperatura e uma maior diminuição nas precipitações. Esta situação em decorrência observa-se uma diminuição do excedente tanto na média dos modelos quanto no modelo GFDL porém mais acentuada no modelo Hadley.

Bacia Hidrográfica do Parnaíba - Cenário A2-BR



Figura 17 - Variações por período (1961 a 1990, 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100) da precipitação, temperatura, déficit de água e excesso de água para bacia do Parnaíba, para o cenário A2-BR (Escala 50 Km x 50 Km).

Bacia Hidrográfica do Parnaíba - Cenário B2-BR

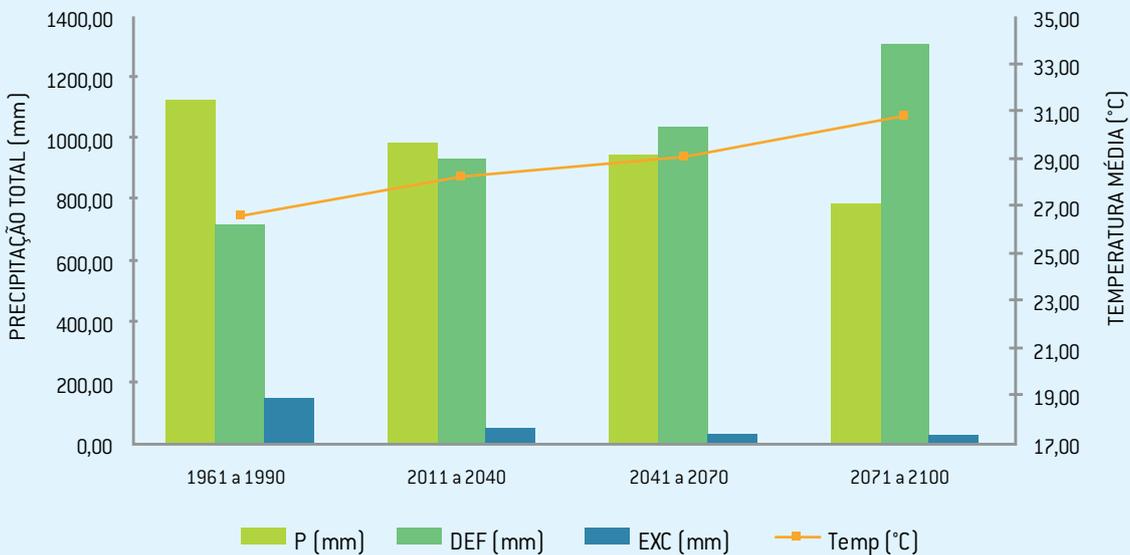


Figura 18 - Variações por período (1961 a 1990, 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100) da precipitação, temperatura, déficit de água e excesso de água para bacia do Parnaíba, para o cenário B2-BR (Escala 50 Km x 50 Km).

Pelas figuras 17 e 18 provenientes do modelo HadRM3P 50 km X 50 km observa-se que tanto para o cenário A2-BR e B2-BR a diminuição do excesso é muito mais severa que no valor da média dos modelos indicadas nas figuras 15 e 16.

3.5. Bacia do Rio São Francisco

Nas figuras 19 e 20 são apresentados os resultados dos balanços hídricos para a bacia do rio São Francisco realizados na escala de 2° x 2° (latitude / longitude) para o modelo HadCM3, para a média dos modelos e para o modelo GFDL para os cenários A2-BR e B1-BR, respectivamente.

Nas figuras 21 e 22 são apresentados os dados do balanço hídrico para a bacia do rio São Francisco utilizando o modelo HadRM3P (50 Km X 50 km) para os cenários A2-BR e B2-BR.

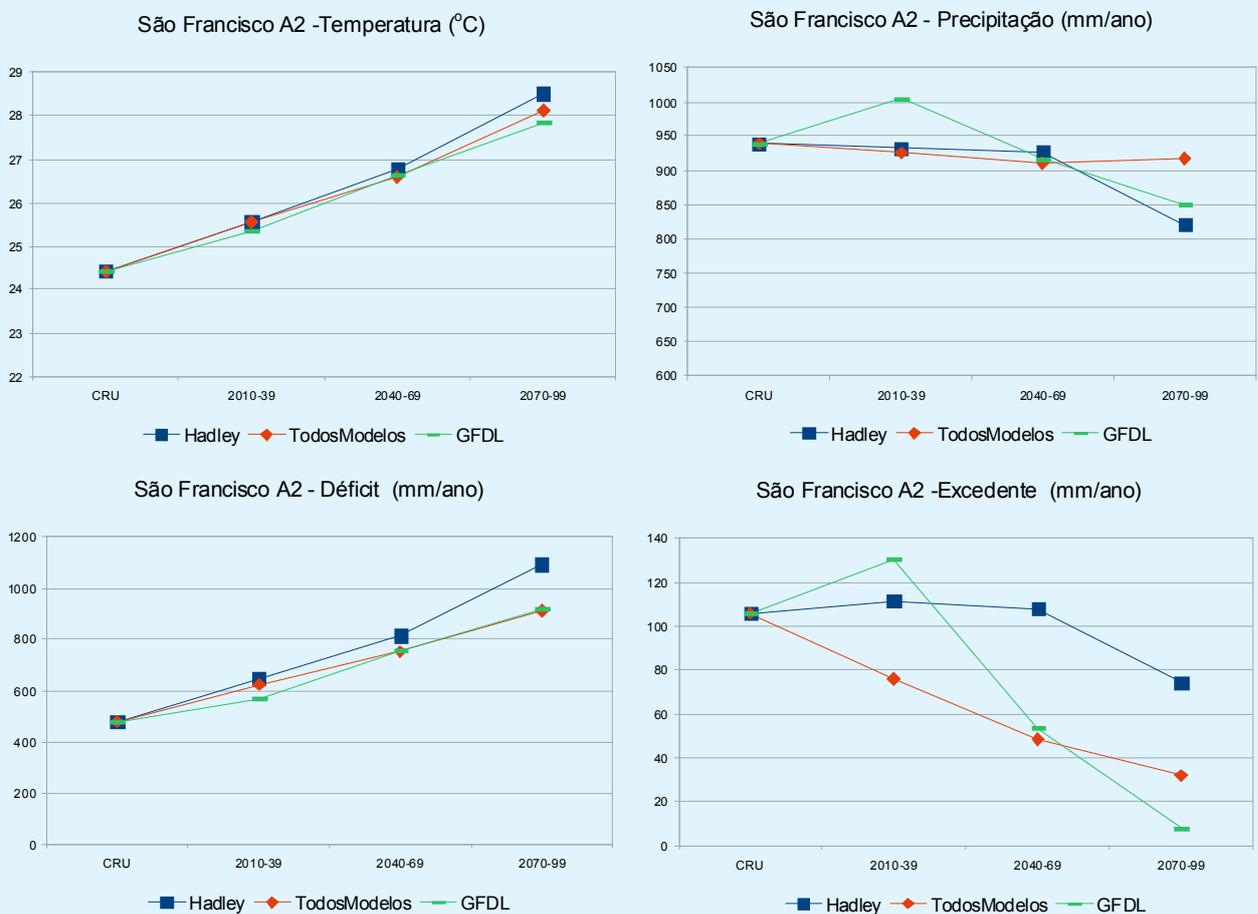


Figura 19 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a bacia do São Francisco, cenário A2-BR (Escala 2° x 2° lat/lon).

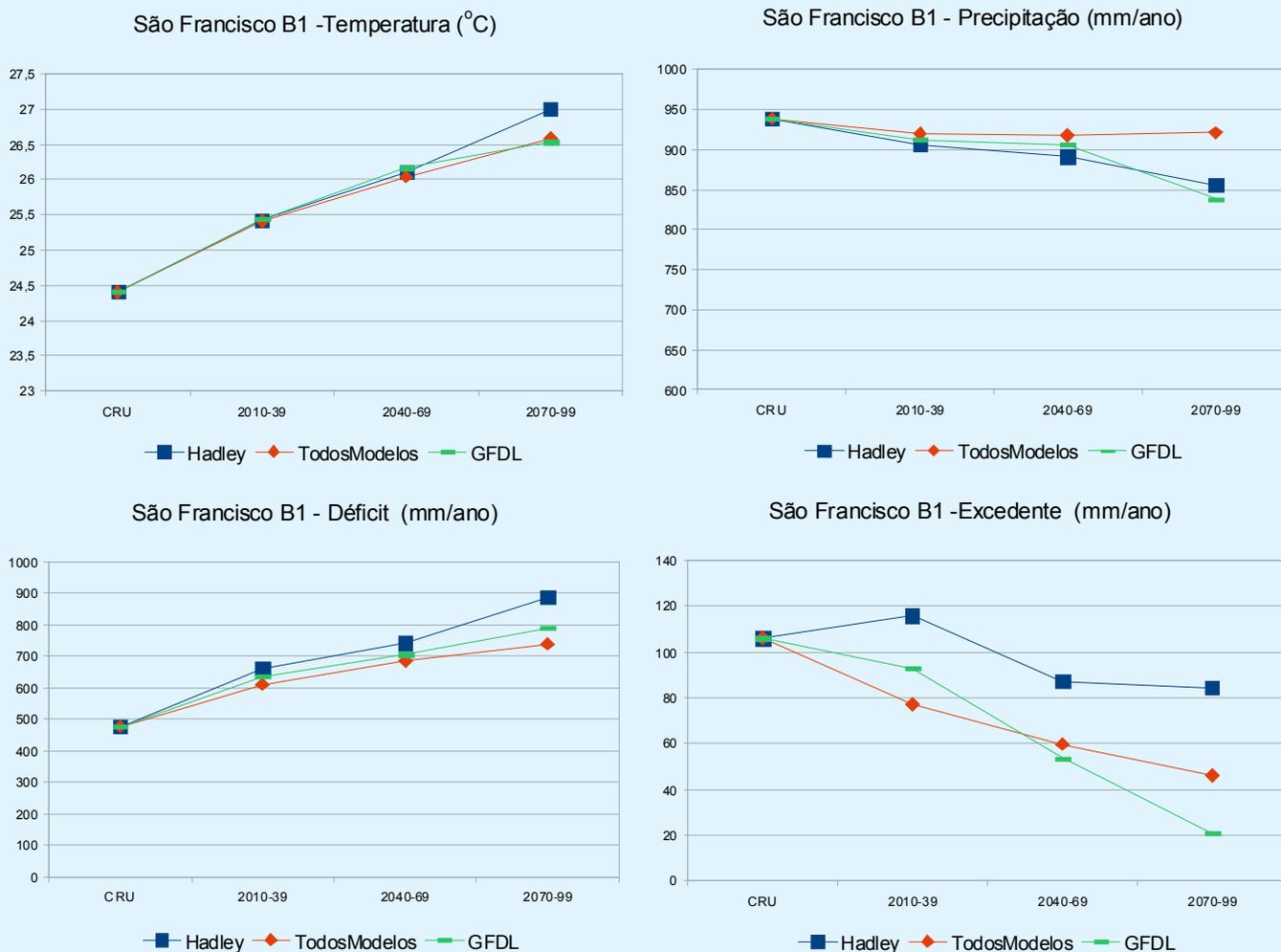


Figura 20 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a bacia do São Francisco, cenário B1-BR (Escala 2° x 2° lat/lon).

As figuras 19 e 20 indicam um aumento de temperatura semelhante tanto para a média dos modelos quanto para o modelo Hadley GFDL tanto para o cenário A2-BR e B1-BR.

Com respeito às precipitações as tendências também são semelhantes, porém a precipitação no modelo GFDL para o cenário A2-BR apresenta um aumento e depois uma diminuição. O resultado do balanço hídrico para média dos modelos apresenta a mesma tendência porém com comportamento diferente para o modelo Hadley GFDL sendo que para esse último o excesso torna-se mais crítico.

Bacia Hidrográfica do São Francisco - Cenário A2-BR



Figura 21 - Variações por período (1961 a 1990, 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100) da precipitação, temperatura, déficit de água e excesso de água para bacia do São Francisco, para o cenário e A2-BR (Escala 50 Km x 50 Km).

Bacia Hidrográfica do São Francisco - Cenário B2-BR

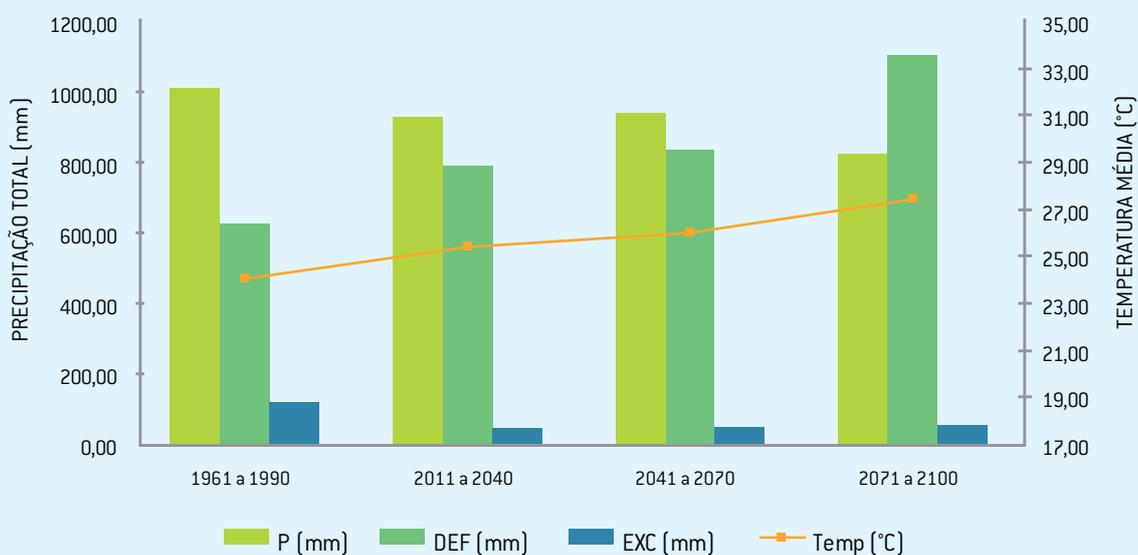


Figura 22 - Variações por período (1961 a 1990, 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100) da precipitação, temperatura, déficit de água e excesso de água para bacia do São Francisco, para o cenário e B2-BR (Escala 50 km x 50 km).

Pelas figuras 21 e 22 observa-se que os valores das variações das precipitações, temperatura e dos excessos são semelhantes aqueles dos valores médios de todos os modelos. Os valores absolutos, no entanto do modelo Had-RM3P são mais críticos que a média dos modelos como indicado na tabela 6.

3.6. Bacia do Atlântico Nordeste Ocidental

Nas figuras 23 e 24 são apresentados os resultados dos balanços hídricos para a bacia do Atlântico NE Ocidental realizados na escala de 2° x 2° (lat/lon) para o modelo HadCM3, para a média dos modelos e para o modelo GFDL para os cenários A2-BR e B1-BR, respectivamente.

Nas figuras 25 e 26 são apresentados os dados do balanço hídrico para a bacia do rio Atlântico NE Ocidental utilizando o modelo HadRM3P (50 Km X 50 km) para os cenários A2-BR e B2-BR.

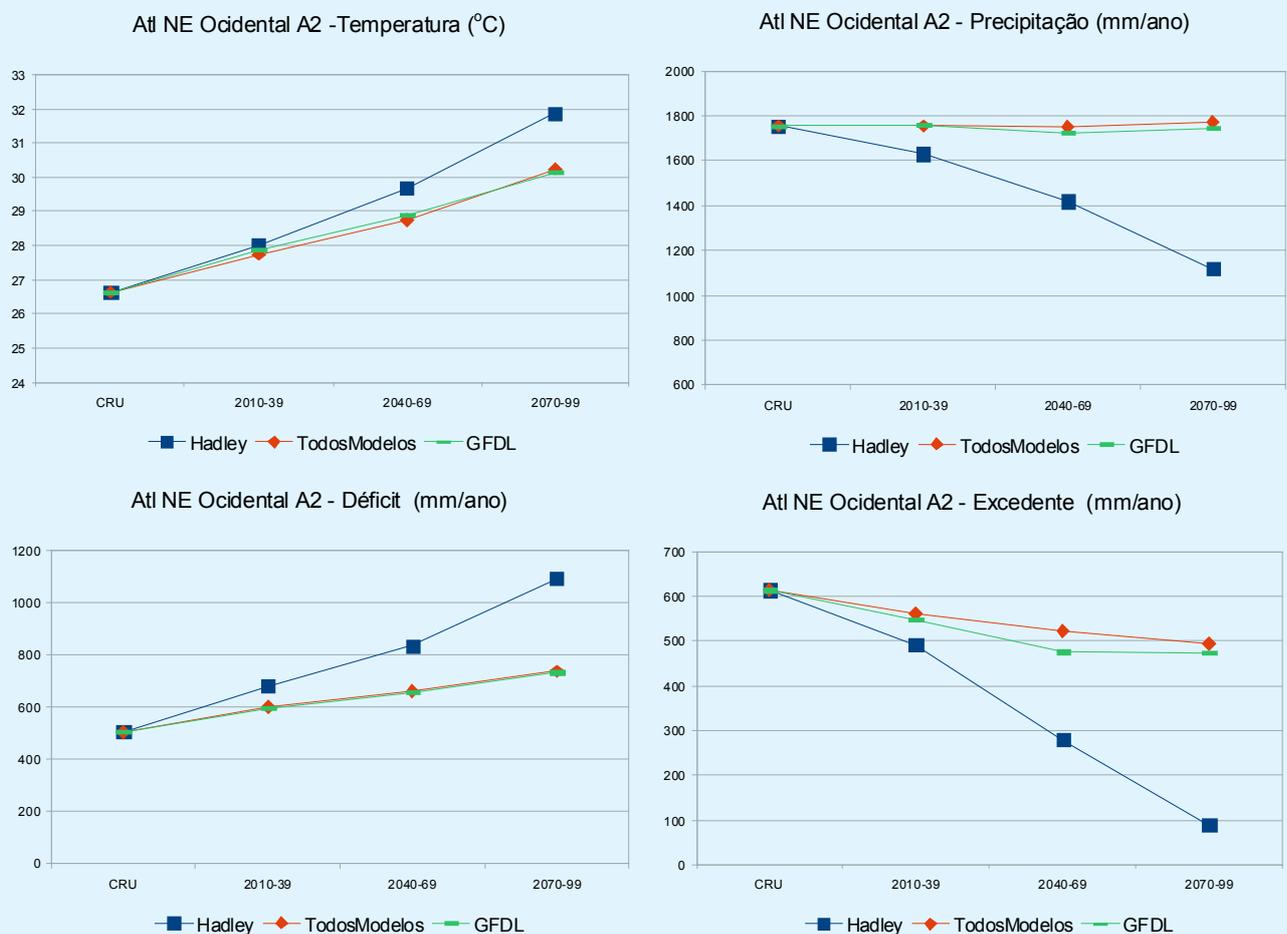


Figura 23 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a bacia do Atlântico NE Ocidental, cenário A2-BR [Escala 2° x 2° lat/lon].

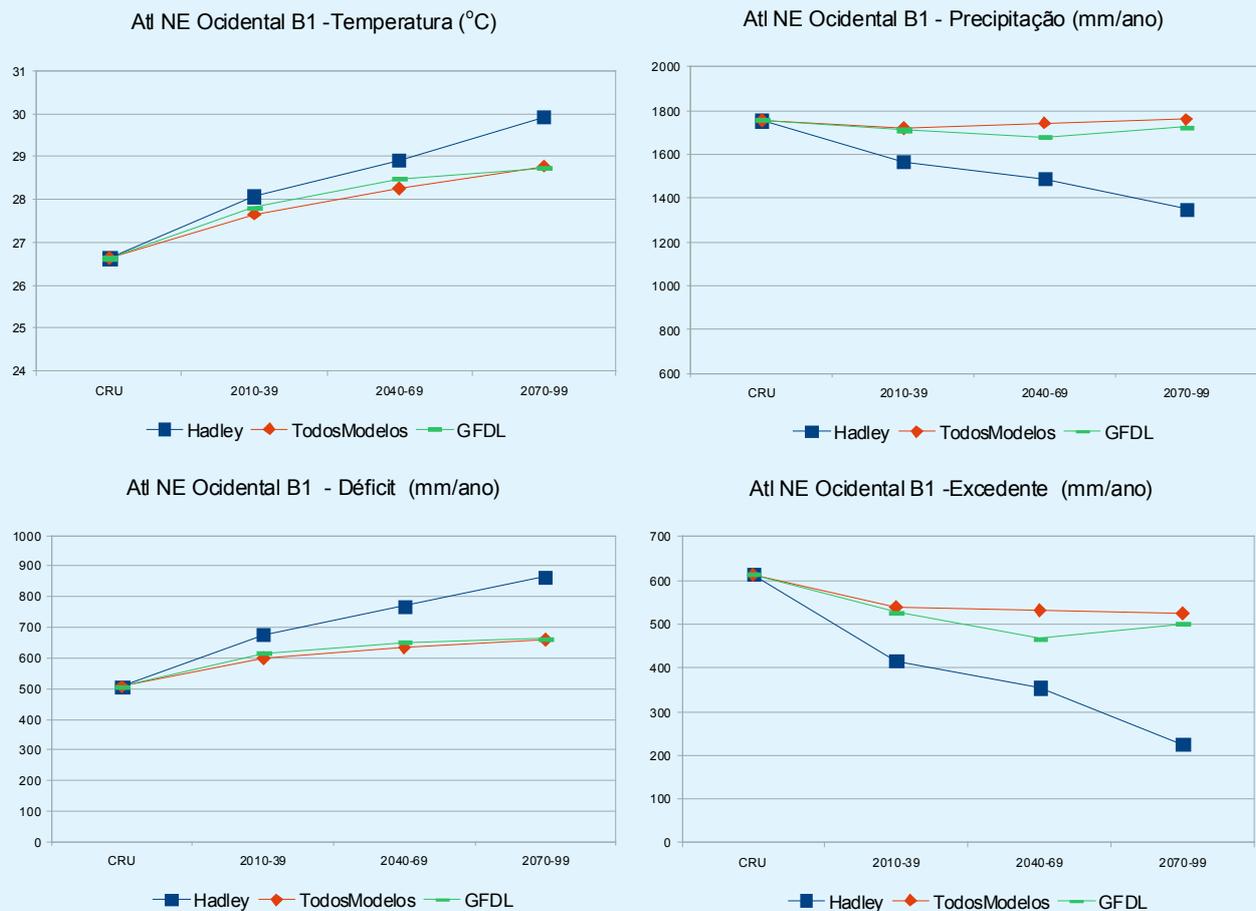


Figura 24 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a bacia do Atlântico NE Ocidental, cenário B1-BR [Escala 2° x 2° lat/lon].

As análises das figuras 23 e 24 indicam variações semelhantes para a temperatura e precipitação para média dos modelos e o modelo GFDL. Já para o modelo Hadley a um maior aumento da temperatura e uma diminuição acentuada das precipitações. Estes dados levam a uma variação de excedente hídrico pequena para a média dos modelos e para o modelo GFDL e mais acentuada para o modelo Hadley.

A situação é semelhante tanto pra o cenário A2-BR quanto para o cenário B1-BR.

Bacia Hidrográfica do NE Ocidental - Cenário A2-BR

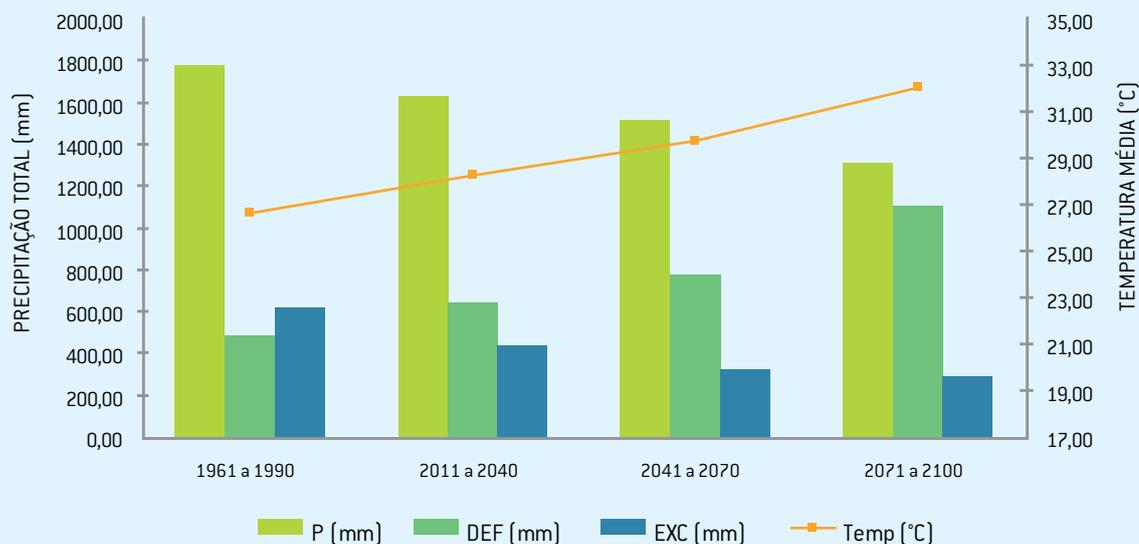


Figura 25 - Variações por período (1961 a 1990, 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100) da precipitação, temperatura, déficit de água e excesso de água para bacia hidrográfica do Atlântico NE Ocidental, para o cenário A2-BR (Escala 50 Km x 50 Km).

Bacia Hidrográfica do NE Ocidental - Cenário B2-BR

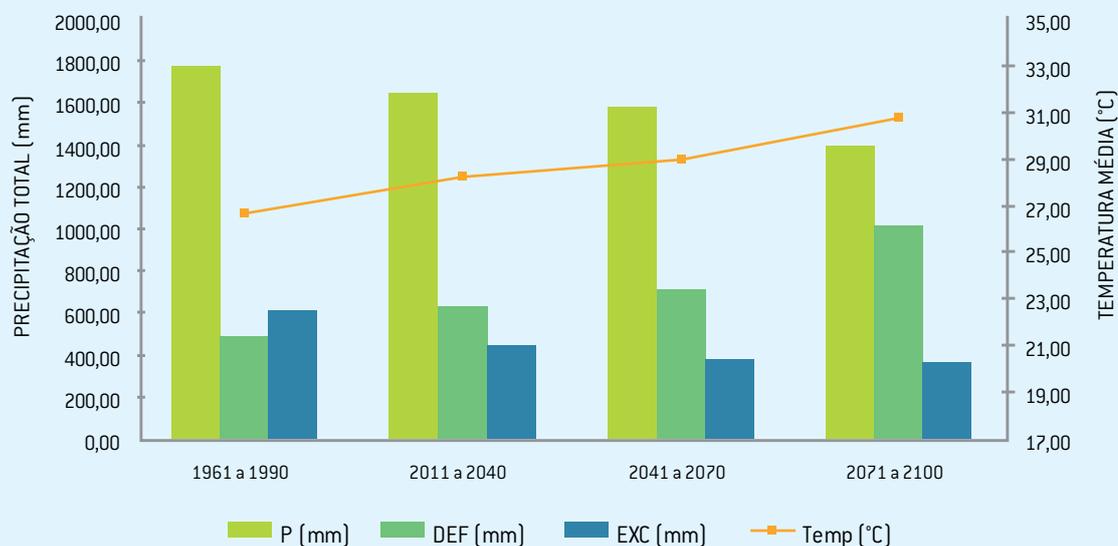


Figura 26 - Variações por período (1961 a 1990, 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100) da precipitação, temperatura, déficit de água e excesso de água para bacia hidrográfica do Atlântico NE Ocidental, para o cenário B2-BR (Escala 50 Km x 50 Km).

Pela análise dos dados das figuras 25 e 26 elaboradas para os cenários A2-BR e B2-BR na escala de 50 km X 50 km para o modelo HadRM3P verifica-se que a mesma tendência é observada de diminuição das precipitações porém com valores mais críticos para o modelo HadRM3P, porém semelhante nesse caso ao modelo global HadCM3.

3.7. Região Sul

Nas figuras 27 e 28 são apresentados os resultados dos balanços hídricos para a bacia da região Sul realizados na escala de 2° x 2° lat/lon para o modelo HadCM3, para a média dos modelos e para o modelo GFDL para os cenários A2-BR e B1-BR, respectivamente.

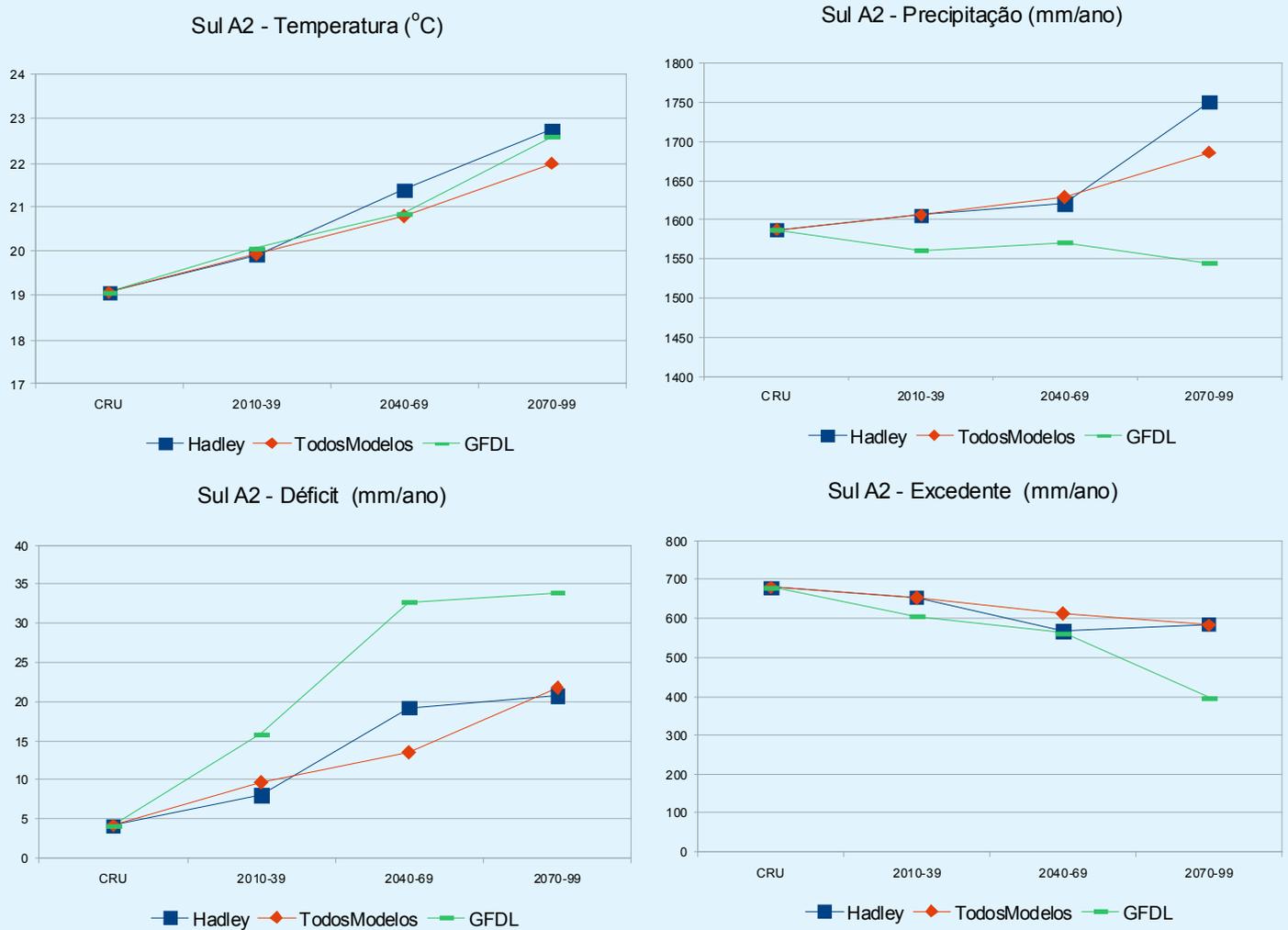


Figura 27 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a região Sul, cenário A2-BR (2° x 2° lat/lon).

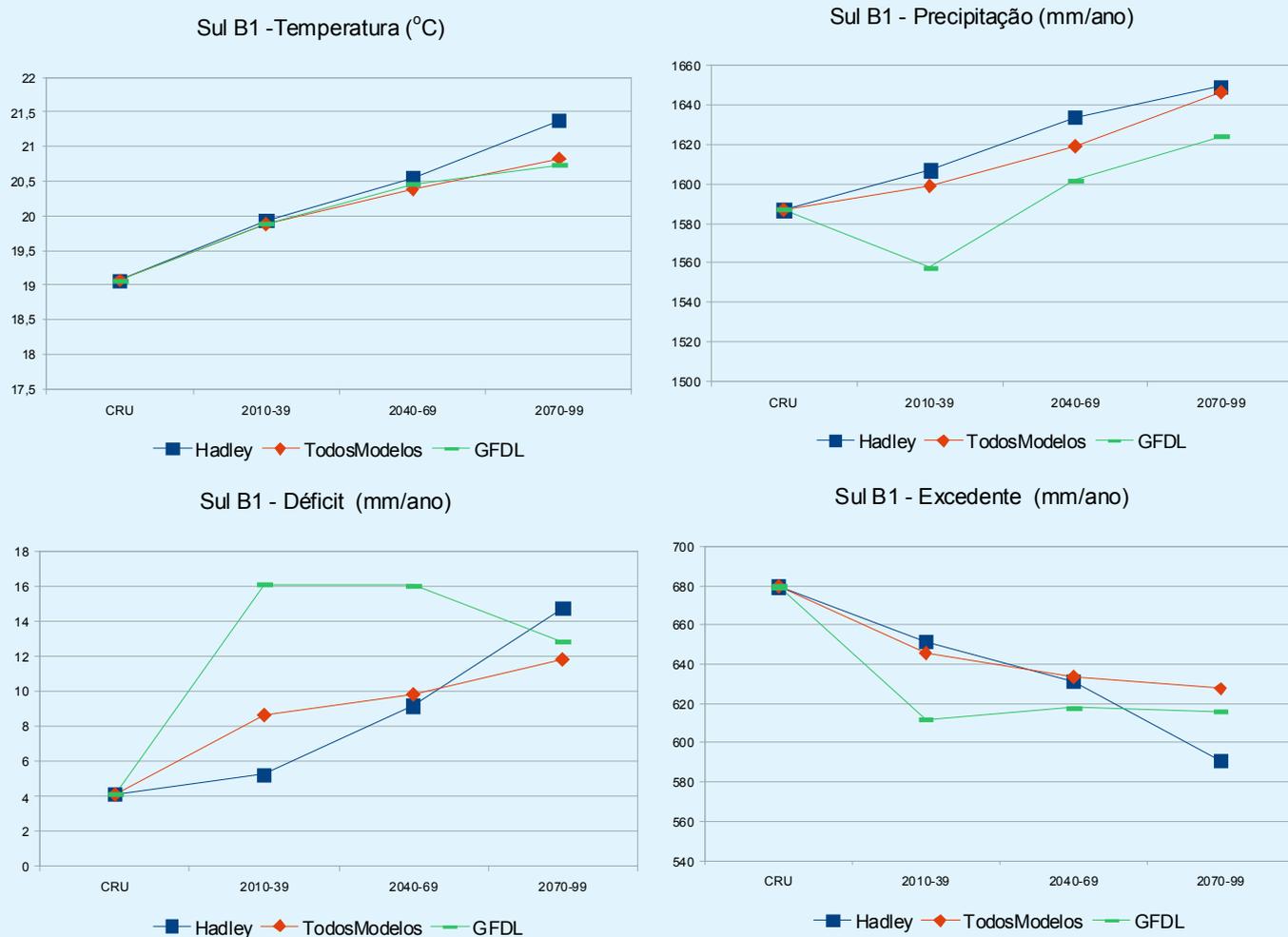


Figura 28 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a região Sul, cenário B1-BR [Escala 2° x 2° lat/lon].

A região sul, apresenta um padrão diferente das outras regiões analisadas até agora. Apesar das tendências nas modificações das temperaturas dos diversos modelos serem semelhantes, o modelo GFDL indica uma redução das precipitações enquanto que o modelo Hadley indica um aumento para o cenário A2-BR, assim como as médias de todos os modelos climáticos. Porém, o aumento das precipitações simulado pelo Hadley e pela média dos modelos não é suficiente para compensar os efeitos do aumento da temperatura, sendo que, para os três modelos, é observado um aumento no déficit hídrico e redução no excedente, de forma mais intensa no modelo GFDL (Figuras 27 e 28).

3.8. Bacia do Rio Paraná (dentro do território brasileiro)

Nas figuras 29 e 30 são apresentados os resultados dos balanços hídricos para a bacia do Paraná realizados na escala de 2° x 2° (lat/lon) para o modelo HadCM3, para a média dos modelos e para o modelo GFDL para os cenários A2-BR e B1-BR, respectivamente.

Nas figuras 31 e 32 são apresentados os dados do balanço hídrico para a bacia do Paraná utilizando o modelo HadRM3P (50 Km X 50 Km) para os cenários A2-BR e B2-BR.

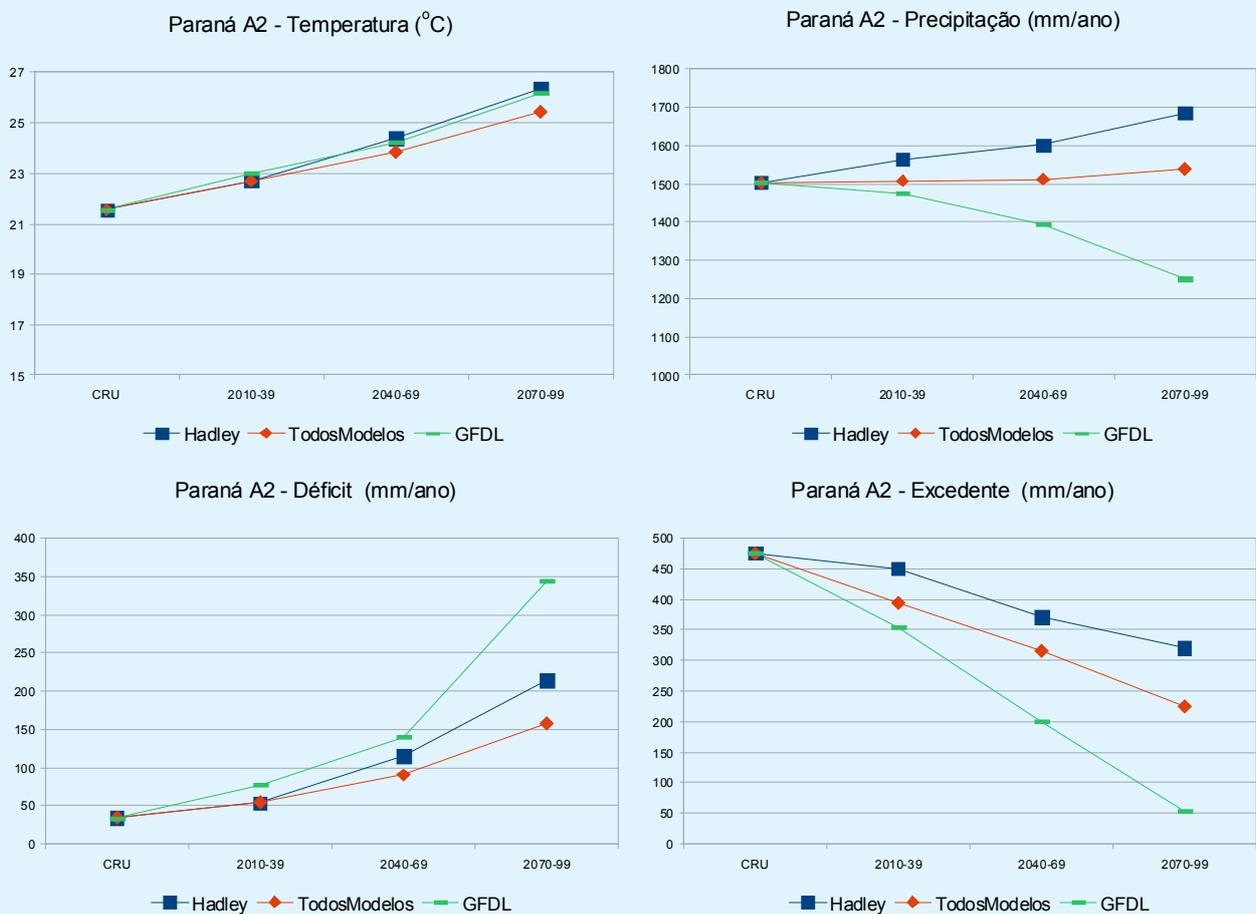


Figura 29 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a bacia do Paraná, cenário A2-BR (Escala 2° x 2° lat/lon).

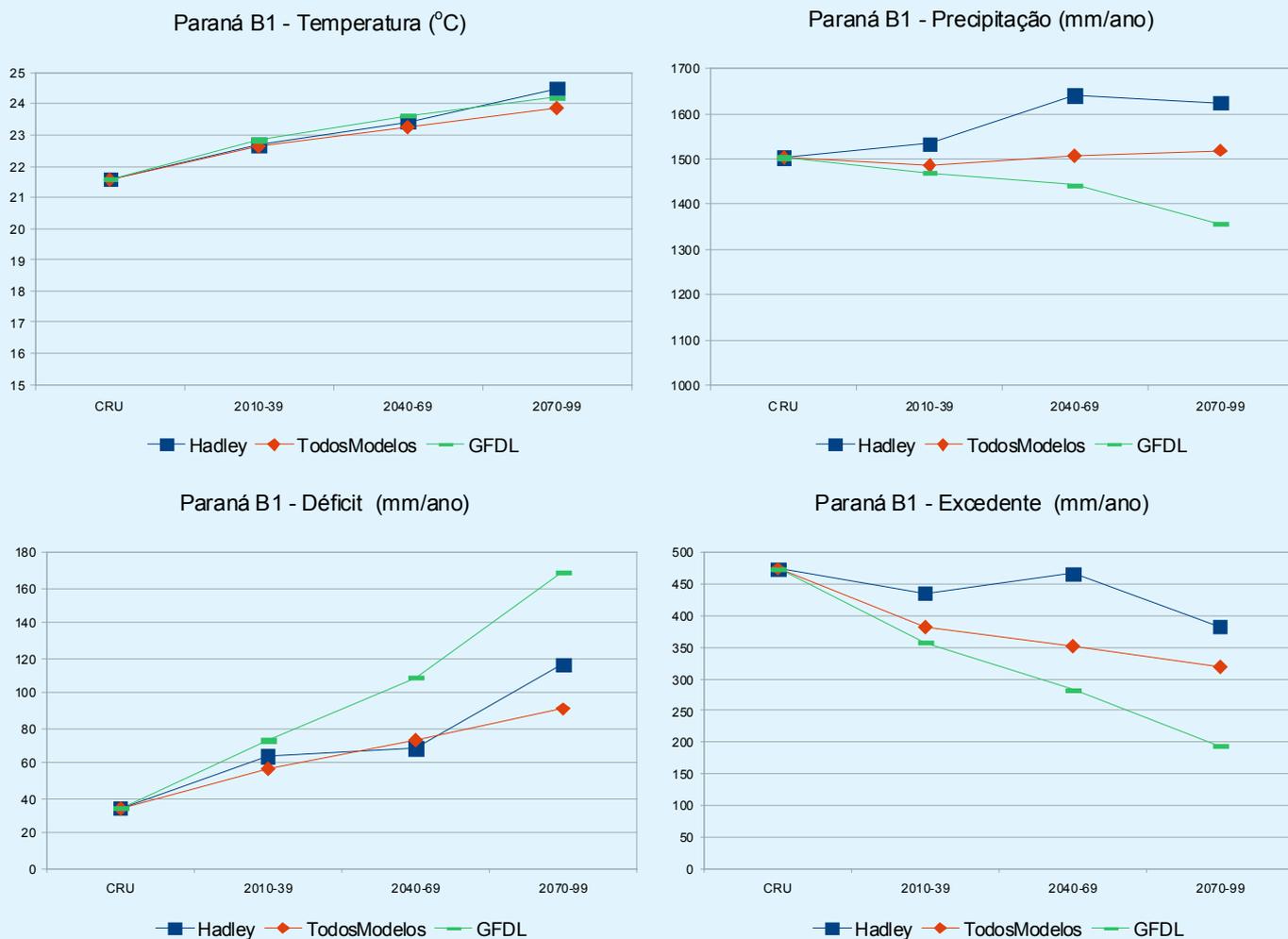


Figura 30 - Temperatura, precipitação, déficit e excedente hídrico para os modelos Hadley, GFDL e média de todos os modelos para a bacia do Paraná, cenário B1-BR [Escala 2° x 2° lat/lon].

Pelos dados da figura 29, se observa para o cenário A2-BR as variações de temperaturas são semelhantes para os modelos Hadley GFDL. Já para as precipitações observa-se uma variação sendo que para as médias dos modelos a precipitação permanece praticamente constante, as precipitações para o modelo Hadley sofrem aumento e as precipitações para modelo GFDL diminuem.

Como consequência dessas variações observa-se de maneira geral uma diminuição nos excedentes mais pronunciadas para o modelo GFDL.

Para o cenário B1-BR as variações das tendências são semelhantes tanto para as variações das temperaturas como para as precipitações e excedentes, havendo um maior excedente que as médias para o modelo Hadley e menor que a média para o modelo GFDL.

Para o modelo regional HadRM3P os dois cenários A2-BR e B2-BR apresentam tendências no aumento de precipitação e também uma tendência de aumento das temperaturas. Os excedentes hídricos, no entanto permanecem constantes com pequena elevação no período de 2071 a 2100.

Bacia Hidrográfica do Paraná - Cenário A2-BR



Figura 31 - Resumo do balanço hídrico para a bacia do Paraná, cenário A2-BR, utilizando o modelo regional HadRM3P (50 Km X 50 Km).

Bacia Hidrográfica do Paraná - Cenário B2-BR



Figura 32 - Resumo do balanço hídrico para a bacia do Paraná, cenário A2-BR, utilizando o modelo regional HadRM3P (50 Km X 50 Km).

As tendências observadas no balanço hídrico utilizando o modelo Hadley são semelhantes as observadas pelo modelo regional HadRM3P (Figuras 31 e 32) (escala de 50 Km x 50 Km).

Tabela do Resumo Geral

Bacias Hidrográficas	Médias dos modelos 2° x 2°lat/lon Período de 2011 - 2100						HadRM3P 50KM x 50KM					
	B1-BR		A2-BR		B2-BR		A2 - BR		B2 - BR		A2 - BR	
	11 - 40	41 - 70	71 - 100	11 - 40	41 - 70	71 - 100	11 - 40	41 - 70	71 - 100	11 - 40	41 - 70	71 - 100
Rio Tocantins	83%	77%	73%	84%	73%	63%	72%	67%	54%	73%	55%	47%
Rio Amazonas	88%	82%	80%	89%	80%	73%	93%	84%	75%	93%	73%	70%
Rio Paraguai	68%	60%	59%	73%	54%	40%	81%	91%	92%	90%	85%	147%
Rio Parnaíba	69%	59%	56%	70%	54%	47%	32%	19%	14%	34%	13%	10%
Rio São Francisco	73%	57%	43%	72%	46%	30%	38%	42%	47%	43%	45%	53%
Atlântico NE Ocidental	88%	87%	86%	92%	85%	80%	72%	62%	59%	71%	52%	47%
Região Sul	95%	93%	92%	95%	90%	86%	111%	109%	116%	109%	101%	107%
Rio Paraná	80%	74%	67%	83%	67%	47%	84%	84%	93%	94%	88%	110%

Variações percentuais dos “excessos” hídricos para regiões brasileiras no período de 2011 a 2100, relativas ao período de 1961 a 1990 para as médias de 15 modelos climáticos na escala de aproximadamente 200 km X 200 km e para o modelo HadRM3P na escala de 50 km X 50 km.

Nota: a Região Sul inclui as bacias hidrográficas do Uruguai e do Atlântico Sul

Conclusões

Foram feitas comparações entre os possíveis efeitos das mudanças climáticas globais nos excedentes hídricos, calculados pelo método de Thornthwaite – Mather, para 8 regiões hidrográficas do Brasil, numa escala aproximada de 2° x 2° lat/long, com os dados provenientes do estudo na escala de 50 km x 50 km. Na escala de 2° x 2°, foram utilizados os dados provenientes das médias de 15 modelos climáticos para os cenários B1-BR e A2-BR.

Na comparação, o modelo regional HadRM3P foi trabalhado na escala 50 km x 50 km, para os cenários A2-BR e B2-BR.

Comparando-se as médias dos excedentes dos balanços hídricos para diversas regiões do Brasil na escala de 2° X 2° lat/lon dos modelos B1-BR e A2-BR e os excedentes hídricos para as mesmas regiões para o modelo HadRM3P numa escala de 50 km X 50 km, as seguintes observações podem ser feitas:

Bacia do Rio Tocantins - as médias dos modelos indicam redução contínua em relação ao período de 1961 a 1990 até atingir 27% para o cenário B1-BR e 37% para o A2-BR, no período de 2071-100. O modelo regional (HadRM3P) indicou uma redução mais acentuada de 46% do excedente para o cenário B2-BR e 53% para o cenário A2-BR.

Bacia Atlântica do NE Ocidental - as médias dos modelos indicam pequena redução de 10% dos excedentes tanto para o cenário B1 quanto para o cenário A2 mantendo-se nesse patamar até o período de 2071-2100. O modelo HadRM3P mostrou redução dos excedentes de 28% no período 2011-2040, 38% do período de 2041-2070 e 61% no período de 2071-2100 relativamente ao período 1961-1990. Para o cenário A2 observou-se uma redução dos excedentes em relação ao período de 1961-1990 de 29%, 48% e 53% para os mesmos 3 períodos.

Bacia do Rio Paraguai - as médias dos modelos indicam redução contínua até atingir 41% para o cenário B1-BR e 60% para o cenário A2-BR no período 2071 a 2100, relativamente ao período 1961-1990. O modelo HadRM3P indicou uma redução de apenas 8% do excedente de 2071 a 2100 para o cenário B2-BR, uma pequena redução para os períodos de 2011-2040 e 2041-2070, e um aumento de 147% para o período de 2071-2100 no cenário A2-BR em relação a 1961-90.

[] no território brasileiro*

Bacia do Rio Amazonas [*] - as médias dos modelos indicam redução equivalente dos excedentes hídricos, atingindo uma diminuição do excesso de aproximadamente 20% a 30% no período de 2071-2100.

Bacia do Rio Parnaíba - as médias dos modelos indicam uma redução contínua até atingir 44% do excesso para o cenário B1-BR e 53% do excesso para o cenário A2-BR no período de 2071-2100. O modelo HadRM3P indicou grande redução (84%) do excedente para o cenário B2-BR e 90% para o A2-BR em relação aos excedentes no período 1961-90.

Região Sul (parte das Bacias do Uruguai e do Atlântico Sul) - as médias dos modelos indicam para o cenário B1 uma pequena redução. Os excedentes para os 3 períodos ficam praticamente constantes com uma redução de 5 a 8% dos excedentes de 1961-1990. Para o cenário A2-BR, há uma redução de 5%, 10% e 14%. O modelo HadRM3P mostrou pequeno aumento dos excedentes para os cenários B2-BR e A2-BR durante todo o período de 2011 a 2100, com aumentos de 11%, 9% e 16% para os períodos 2011 a 2040, 2041 a 2070, 2071 a 2100 respectivamente. Para o cenário A2-BR observou-se um aumento de 9%, 1% e 7% para os mesmos períodos, respectivamente.

Bacia do Paraná [*] - as médias dos modelos indicam uma redução no cenário B1-BR de 20% no período de 2011 a 2040, 26% no período de 2041 a 2070, 32% no período de 2071 a 2100, em relação aos excedentes no período de 1961-90. O cenário A2-BR indica uma redução equivalente de 17%, 33% e 53% nos mesmos períodos. O modelo HadRM3P mostrou uma pequena variação em relação aos excedentes de 1961-90. Para o cenário B2-BR, os excedentes diminuíram de 16% no período de 2011 a 2040, 16% no período de 2041 a 2070 e 7% para o período de 2071 a 2100 em relação ao período de 1961-90. Para o cenário A2-BR, os mesmos excedentes foram de 6%, 12% e 10%.

Bacia do Rio São Francisco - as médias dos modelos indicam redução contínua dos excedentes até atingir 57% para o cenário B1-BR e 70% para o cenário A2-BR no período 2071-2100 em relação ao período 1961-90. O modelo HadRM3P indicou redução muito grande do excedente (62%) para o cenário B2-BR no período 2011-2040 e um pequeno aumento posteriormente. Para o cenário A2-BR, observa-se também uma brusca redução (57%) no período 2071-2100 em relação ao excedente no período 1961-90 e um pequeno aumento até 2071-2100.



Foto: Rio São Francisco

Observações e recomendações

Os resultados deste estudo devem ser tomados como uma primeira aproximação ao tema das variações das disponibilidades dos recursos hídricos no Brasil, decorrentes das mudanças climáticas globais. Em especial, deve se chamar a atenção para o fato de que os valores estimados para as precipitações futuras não concordam em sinal (aumento ou diminuição) entre alguns modelos.

No entanto, as disponibilidades hídricas superficiais para quase todas as regiões no Brasil apresentam uma diminuição para o Modelo HadRM3P e também para as médias dos modelos na escala aproximada de 2° x 2° lat/long. Ademais, quando analisados de um a um os modelos na escala de 200 Km x 200 Km observa-se uma variação para mais ou para menos da disponibilidade hídrica para algumas regiões do Brasil, especialmente no Nordeste Brasileiro.

Os estudos indicam que praticamente em todas as bacias hidrográficas do Brasil a tendência é de uma diminuição das vazões dos rios, cujos valores quantitativos dependem da bacia hidrográfica considerada. Esta observação é válida inclusive nas regiões em que os modelos indicam um aumento das precipitações. Nestes casos a diminuição das vazões é de corrente das perdas por evapotranspiração causada pelo aumento da temperatura.

Para os próximos trabalhos, recomenda-se:

Utilizar abordagens mais físicas, que reduzam o grau de incerteza nas estimativas de processos tais como evaporação nos cenários futuros.

Verificar os ajustes dos modelos utilizando dados hidrológicos em nível diário e mensal, e permitir a

análise de extremos hidrológicos no que diz respeito a sua grandeza e frequência nos cenários futuros.

Refinar os modelos de balanço hídrico e hidrológicos para escalas menores, visando prover informação mais detalhadas dos impactos.

Avaliar diferentes metodologias para corrigir erros sistemáticos dos modelos atmosféricos antes de sua aplicação aos modelos de balanço-hídrico e hidrológicos.

Utilizar modelos capazes de prever áreas sazonalmente alagadas, com a finalidade de se avaliar o possível impacto na expansão dessas áreas sobre o balanço hídrico da bacia.

Em decorrência das recomendações, deve-se fazer um esforço no aprimoramento dos modelos de clima futuro, além de desenvolver estudos para adaptação ao aumento da temperatura e das possíveis diminuições da oferta dos recursos hídricos. As atividades socioeconômicas mais críticas são a produção de energia hidroelétrica, a produção agropecuária, a saúde pública, além da estabilidade dos ecossistemas naturais.

É importante lembrar que cenários futuros do clima apenas são projeções prováveis de mudanças que possam vir a acontecer como consequência do aumento nas concentrações dos gases de efeito estufa. O nível de incerteza ainda é grande em relação ao que de fato possa acontecer. Espera-se que nos aprimoramentos a serem feitos pelos simuladores de climas futuros essas incertezas venham a diminuir. No entanto, se houver aumento das concentrações dos gases de efeito estufa, as tendências aqui indicadas se tornarão uma realidade.



Foto: Rio Tocantins

Bibliografia

Agência Nacional de Águas. Disponibilidade de Recursos Hídricos no Brasil. Caderno de Recursos Hídricos. v 2. 2007

Ambrizzi, T. et al. Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais. Relatório 3. Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio. Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, fevereiro 2007.

Camargo, A.P., Marin, F.R., Sentelhas, P.C., Picini, A.G., Adjust of the Thornthwaite's method to estimate the potential evapotranspiration for arid and superhumid climates, based on daily temperature amplitude. Rev. Bras. Agrometeorol. 7 (2), 251–257. 1999 [in Portuguese with English summary]

Marengo J. A. et al. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, fevereiro 2007.

Marengo, J.A. & Dias, P.S. Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. [Global climate change and its impacts on water resources] In: Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação. 3 rd edition. Eds. Rebouças, A.C.; Braga B.; Tundisi J.G. Institute of advantage studies, University of São Paulo (USP) and Brazilian Academy of Sciences. São Paulo, p. 63 – 109, 2006.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Relatório 4 (Tendências da Variações Climáticas para o Brasil no Século XX e Balanços Hídricos para Cenários Climáticos para o Século XXI). Brasília. 2006. 182 p.

Müller I.I.; Krüger, M.; Kaviski, E. Análise de estacionariedade de séries hidrológicas na bacia incremental de Itaipu. Anuário da RBRH. ABRH. v. 3. 1998.

New, M., M. Hulme and P. Jones, 1999: Representing twentieth-century space-time climate variability. Part I: Development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. J. Climate, 12, 829-856.

Pereira, A. R. Simplificado o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. Bragantia vol.64 no.2 Campinas. 2005.

THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. The water balance. Publications in climatology. Laboratory of Climatology, New Jersey, v.8, 1995, 104p.

Thornthwaite, C.W. Na approach toward a rational classification of climate. Geogr. Review 38:55-94, 1948.

Tucci, C.E.M.; Clarke R.T. Impactos das mudanças ambientais nas vazões dos rios: Bacia incremental de Itaipu. Porto Alegre: IPH 1996. p.82.

Victoria, Reynaldo Luiz ; RICHEY, Jeffrey E. . Water Balance for the Ji-Parana River Basin, Western Amazon, Using a Simple Method through Geographical Information Systems and Remote Sensing. Earth Interactions, v. 11, p. 1-22, 2007.



Foto: Rio São Francisco, Pirapora, MG

Realização:

Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável - FBDS

Conselho Curador:

Israel Klabin, Jerson Kelman, Maria Sílvia Bastos Marques,
Philippe Reichstul, Rubens Ricupero e Thomas Lovejoy

Coordenação Geral:

Eneas Salati

Projeto Editorial:

DaGema Comunicação // www.dagemacomunicacao.com.br

Coordenação Editorial:

Lília Giannotti

Projeto Gráfico:

Chris Lima // Evolutiva Estúdio / www.evolutivaestudio.com.br

Diagramação:

Ana Carolina Bringhamti // Evolutiva Estúdio / www.evolutivaestudio.com.br

Realização:



www.fbds.org.br

Apoio:



Embaixada Britânica
Brasília