



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)

---

#### ADITIVO RELATÓRIO IV

CARTA ACORDO Nº 25647/2014

PNUD/SAE/FCPC

## “Adaptação às mudanças do Clima: Cenário e Alternativas – Recursos Hídricos”

Fortaleza

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)

---

## Sumário

1. Introdução
  - 1.2. Objetivos
2. O Sistema Interligado Nacional (SIN)
  - 2.1. Método de Obtenção de Vazões Naturais
3. Metodologia
  - 3.1. Cenários do CMIP5
  - 3.2. Modelo Eta
  - 3.4. Cálculo da Energia Natural afluyente
4. Resultados
  - 4.1. Modelo Regional
  - 4.2. Modelos globais
  - 4.3. Comparação regional e global
5. Conclusões
6. Referências

APÊNDICE A – Aproveitamentos Hidrelétricos do SIN



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)

---

## Figuras

[Figura 1-\(a\) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b](#)

[Figura 2-\(b\) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b](#)

[Figura 3-\(c\) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b](#)

[Figura 4-\(d\) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b](#)

[Figura 5- \(e\) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b](#)

[Figura 6-Cenários do IPCC-AR5 e forçante radiativa antropogênica global para cada um deles.](#)

[Figura 7- Área de simulação do modelo regional.](#)

[Figura 8- ENA em MWmed\( a unidade usada é relação entre a energia gerada e o tempo de funcionamento das instalações\) dos subsistemas do setor elétrico brasileiro no período de 2002 a 2011.](#)

[Figura 9- Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para todo o SIN.](#)



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)

---

[Figura 10- Anomalia da ENA usando as projeções do modelo Eta para os subssistemas do setor elétrico.](#)

[Figura 11- Anomalia das vazões médias anuais para o setor elétrico Brasileiro usando o SMAP.](#)

[Figura 12- Mediana das anomalias de vazões anuais dos modelos globais do IPCC-AR5 para os períodos 2010-2039,2040-2069 e 2070-2098 para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.](#)

[Figura 13-Anomalia percentual anual da ENA para o cenário RCP 4.5 e RCP8.5 para os subsistema que compõem o SIN.](#)

[Figura 14-Anomalia de precipitação média anual \(%\) para o período 2041 a 2070 para o modelo global MIROC5-RCP8.5 e modelo regional Eta forçados por este modelo global.](#)

[Figura 15- Comparação entre a anomalia percentual anual das precipitações para o cenário RCP 4.5 e RCP8.5 para as bacias que utilizam o SMAP.](#)

[Figura 16- Comparação entre a precipitação média anual do modelo regional e global para Furnas.](#)

[Figura 17- Comparação entre a precipitação média anual do modelo regional e global para o posto de D.Francisca.](#)

[Figura 18- Anomalia das vazões médias anuais para o cenário RCP 4.5 do modelo global HadGEM2 e do modelo regional ETA forçado pelo HadGEM2.](#)



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)

---

[Figura 19- Anomalia das vazões médias anuais para o cenário RCP 8.5 do modelo global HadGEM2 e do modelo regional ETA forçado pelo HadGEM2. \(Global a esquerda e regional a direita\)](#)

[Figura 20- Anomalia das vazões médias anuais para o cenário RCP 4.5 do modelo global MIROC5 e do modelo regional ETA forçado pelo MIROC5. \(Global a esquerda e regional a direita\)](#)

[Figura 21- Anomalia das vazões médias anuais para o cenário RCP 4.5 do modelo global MIROC5 e do modelo regional ETA forçado pelo MIROC5. \(Global a esquerda e regional a direita\)](#)

[Figura 22- Comparação entre a ENA dos modelos globais e dos hidrossistemas.](#)

[Figura 23- Comparação entre a ENA dos modelos globais e regional.](#)



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)

---

### Tabelas

[Tabela 1-Lista de modelos globais do CMIP5 utilizados como forçante do modelo regional Eta.](#)

[Tabela 2-Modelos Globais utilizados.](#)

[Tabela 3- Características dos aproveitamentos hidrelétricos do SIN](#)



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

---

## 1.Introdução

O processo de planejamento da expansão do sistema elétrico brasileiro é composto, dentre outras atividades, por simulações computacionais de configurações futuras do sistema de energia elétrica que se baseiam em previsões e projeções (COSTA et al., 2007). Nestas simulações se busca localizar e mensurar necessidades elétricas e energéticas futuras, com intuito, principalmente, de permitir a segurança do suprimento e a minimização dos custos de investimento e operação. O planejamento energético da expansão da oferta de energia elétrica deve ser ajustado de forma a atender às projeções de consumo de energia, considerando níveis de garantia de suprimento adequados e ao menor custo possível.

Neste sentido, projeções de precipitação e vazão fornecem informações importantes para o setor hidrelétrico, pois podem definir os possíveis impactos sofridos na geração de energia. Além disso, a possibilidade de projetar variações e/ou mudanças climáticas com antecedência permite que as autoridades tomem decisões que minimizem os impactos de mudanças no clima, reduzindo assim o grau de vulnerabilidade do suprimento de energia nacional. O planejamento adequado pode reduzir os impactos sociais e econômicos em diversos setores, como por exemplo, os decorrentes do episódio do “apagão” no setor elétrico brasileiro. Desta forma, torna-se relevante para o desenvolvimento de políticas públicas a identificação das alterações na ocorrência do clima e os possíveis impactos no regime de vazões.

As mudanças e variabilidade climáticas têm sido alvo de discussões e pesquisas científicas em todo mundo com vistas ao entendimento de sua ocorrência (IPCC, 2007(a); NOBRE, 2005; SILVEIRA et al.,2013; SILVEIRA et al.,2012;MARENGO e SOARES et al., 2005; MARENGO e VALVERDE, 2007). O IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) é o principal órgão científico internacional para as avaliações das alterações climáticas e foi criado pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUA) e pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) em 1988, para fornecer visões científicas claras sobre o estado atual do conhecimento das mudanças climáticas e seus possíveis impactos socioeconômicos e ambientais (IPCC).

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

---

O IPCC aponta que a mudança do clima impõe uma grande ameaça ao desenvolvimento sustentável, por afetar de forma direta e indireta grande parte da população, sua saúde, os recursos hídricos, a infraestrutura urbana e rural, as zonas costeiras, as florestas e a biodiversidade, bem como os setores econômicos – como agricultura, pesca, produção florestal, geração de energia, indústrias – além das cadeias destes setores. O IPCC aponta impactos de grande magnitude sobre a América do Sul, em especial sobre recursos hídricos e setores econômicos relacionados, impondo ao governo brasileiro a necessidade de formular e implementar medidas de adaptação, com vistas a gerenciar riscos climáticos e responder de forma tempestiva aos prováveis impactos decorrente da mudança global do clima. Desta forma, torna-se fundamental a elaboração de subsídios ao planejamento nacional de longo prazo que incorpore a mudança do clima.

Vários estudos foram realizados com o objetivo de verificar as influências das mudanças climáticas nos recursos hídricos, empregando os resultados dos cenários e modelos de circulação geral (MCGs) e regional (MCRs) com dados de centros ligados ao IPCC, acoplando esses resultados ao modelo hidrológico (MILLY et al., 2005; TOMASELLA et al., 2009).

Modelos de Circulação Geral (MCGs) são baseados nos princípios gerais da dinâmica dos fluidos e da termodinâmica. MCGs são normalmente executados em resolução espacial relativamente grosseira, geralmente maior que 1,0°, latitudinalmente e longitudinalmente. O resultado direto da baixa resolução espacial pode produzir uma diferença de escala espacial grande entre as projeções climáticas disponíveis e da escala de interesse de alguns usuários. Para superar isso, modelos climáticos regionais (MCRs) estatísticos ou dinâmicos, com maior resolução espacial, são construídos para áreas limitadas. MCRs possuem relativamente alta resolução, impulsionados pela baixa resolução dos MCG, e podem proporcionar significativos recursos de pequena escala em uma região limitada a um custo computacional acessível em comparação com MCGs de alta resolução.

Entretanto, apesar do significativo desenvolvimento ocorrido nas últimas décadas acerca da modelagem regional, existem ainda diversas incertezas associadas aos diversos sistemas de previsões ou projeções climáticas. Por exemplo, as parametrizações físicas, método numérico de resolução adotado, as condições iniciais e fronteira e a própria atmosfera que é considerada um sistema caótico.

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)

---

Estes fatores podem agregar erros sistemáticos ao modelo regional e levar a resultados que se distinguem bastante do modelo global e da própria realidade futura do horizonte previsto ou projetado. Esse fato pode ter levado o modelo regional ETA a apresentar resultados bem distintos em relação aos modelos globais que alimentam suas fronteiras, conforme sugere os Relatórios anteriores.

### 1.1. Objetivos

- Comparar os resultados do modelo regional ETA aos resultados obtidos através dos modelos globais usando interpolação para a grade do ETA;
- Sinalizar a incerteza e a tendência existente para a ENA do SIN utilizando os resultados de alguns modelos globais do IPCC-AR5;
- Identificar como as mudanças no clima afetam a energia natural afluyente (ENA) do Sistema Interligado Nacional (SIN), usando dados do modelo atmosférico regional ETA e os modelos globais do CMIP5 para o período de 2011 a 2099 para o cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.

### 2.O Sistema Interligado Nacional (SIN)

O Sistema Interligado Nacional (SIN) responde pela produção e transmissão de energia elétrica do Brasil. É um sistema hidrotérmico de grande porte com predominância de usinas hidroelétricas, em que apenas 3,4% da capacidade de produção de eletricidade do país encontram-se fora do SIN, em pequenos sistemas isolados localizados principalmente na região amazônica (ONS, 2011a).

A previsão de vazões e geração de cenários de afluências definidas em ONS (2009c, 2012) estabelece os processos para a previsão de vazões mensais, semanais e diárias e para a geração de cenários de afluências naturais médias mensais utilizadas na elaboração do Programa Mensal da Operação Energética (PMO).

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

Em razão das metodologias e critérios atualmente adotados na previsão de vazões, pode-se não utilizar a disponibilidade de vazões mensais para alguns locais de aproveitamentos em operação. Para tanto, adota-se, em geral, a realização de previsão de vazões para um subconjunto de aproveitamentos de cada bacia, denominados de Postos Base. No restante dos locais de aproveitamento, as vazões são previstas através de regressões lineares mensais a partir dos dados previstos nos Postos Bases para complementar as previsões de vazões para todo o SIN (ONS, 2011b). A ONS trabalha, atualmente, com um número total de 88 Postos Base representativo dos diversos regimes hidrográficos regionais encontrados em território brasileiro.

## 2.1. Método de Obtenção de Vazões Naturais

As vazões naturais – sejam diárias, semanais ou mensais – são calculadas e consistidas a partir dos dados hidráulicos diários medidos nas estações fluviométricas previamente definidas, de acordo com a disponibilidade da rede de monitoramento, em cada bacia hidrográfica incremental. Tal consistência tem como objetivo a eliminação e/ou minimização de valores negativos e a suavização de grandes oscilações consideradas incompatíveis com a natureza da bacia. Assim, as vazões naturais nos locais de aproveitamento do sistema são obtidas a partir das vazões naturais consistidas.

Periodicamente, o Operador Nacional do Sistema (ONS) disponibiliza um relatório apresentando séries de vazões naturais dos aproveitamentos/postos em operação e em expansão com um horizonte de 5 (cinco) anos (cada local de aproveitamento hidrelétrico do Sistema Interligado Nacional (SIN) está associado um posto fictício localizado no eixo da barragem). Em tal documento, os postos em operação e em expansão são subdivididos em naturais e artificiais onde os conceitos e características serão descritos a seguir.

Os Postos em Operação são os aproveitamentos que se encontram em operação ou já foi iniciado o processo de enchimento do seu reservatório. Os Postos em Expansão são definidos como aqueles onde o processo de enchimento de seu reservatório se dará nos próximos 60 meses (ONS, 2011b).

Os Postos Naturais são aproveitamentos que correspondem às vazões naturais obtidas a partir da incorporação das vazões relativas à evaporação líquida dos



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)

---

reservatórios, dos usos consuntivos da água na bacia, e dos efeitos da operação dos aproveitamentos de montante, devidamente propagados temporalmente.

As séries históricas de vazões naturais apresentam, também, as séries de vazões dos denominados Postos Artificiais. Para o cálculo dessas, é considerado o efeito de qualquer regra de operação preestabelecida que possa alterar o regime ou fluxo natural d'água do local, tais como desvios físicos e bombeamentos a montante. A metodologia utilizada para cálculo das séries de vazões dos Postos Artificiais é estabelecida pelo ONS, em conjunto com os agentes de geração, de forma individual e de acordo com a necessidade para operação do SIN.

As vazões dos Postos Artificiais são adotadas apenas no modelo de planejamento de médio prazo no qual a representação dos subsistemas se faz através de reservatórios equivalentes, não sendo possível considerar as operações de bombeamentos e de desvios decorrentes de regras específicas para algumas bacias. Em tais modelos, as séries de vazões naturais utilizadas são as médias mensais, discretização temporal esta compatível com os estudos a serem desenvolvidos neste estudo.

Até o fim de 2010 o SIN contava com 206 séries de vazões naturais devidamente consistidas divididas em 185 pontos de aproveitamento no sistema. Onde 161 são Postos Naturais, 3 são Postos Artificiais e 21 Naturais/Artificiais. Dos 185 locais de aproveitamento, 169 são Postos em Operação e 16 são Postos em Expansão com horizonte de projeto até 2015. Dos Postos Naturais, 144 encontram-se em Operação e 14 são de Expansões; dos Postos Artificiais 23 encontram-se em Operação e 4 são Artificiais. Com essa estrutura descrita é prevista uma potência instalada em hidroelétricas de 87.499 MW para o ano de 2015 (ONS, 2011b).

As características dos aproveitamentos hidroelétricos organizados pelo código utilizado pela ONS, nome, bacia, rio, situação de operação e tipo de serie; são apresentadas no APÊNDICE A.

As Figuras 1 a 5 apresentam a distribuição esquemática dos aproveitamentos hidroelétricos.

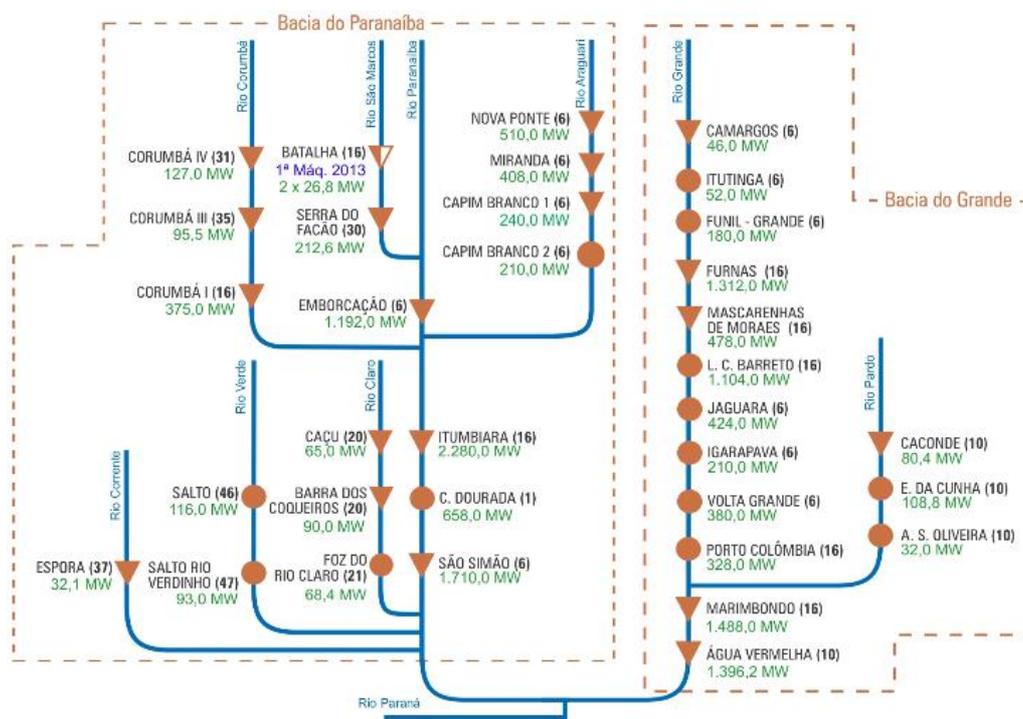


Figura 1-(a) Aproveitamento hidroelétrico do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

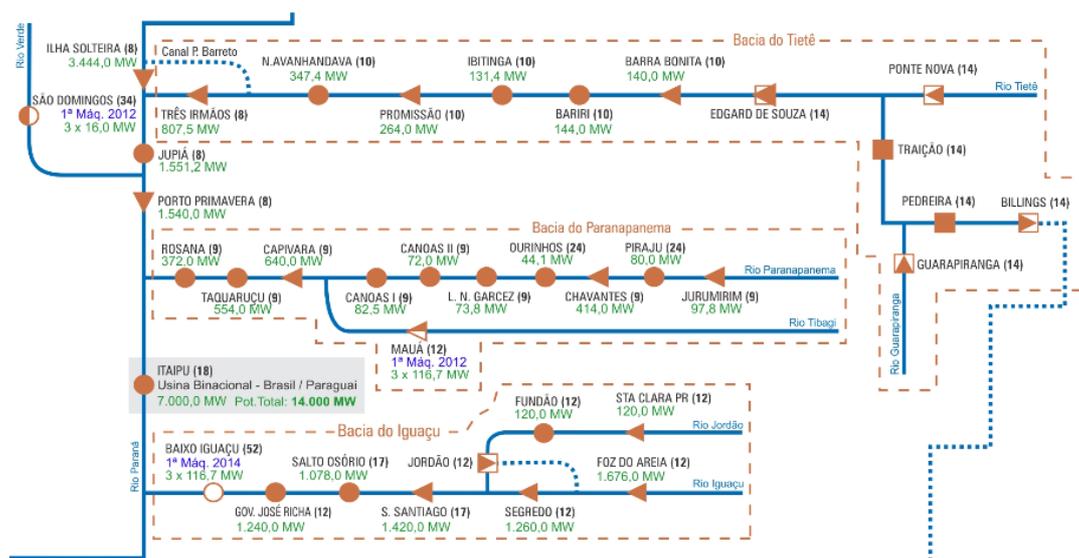


Figura 2-(b) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b



Figura 3-(c)Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b



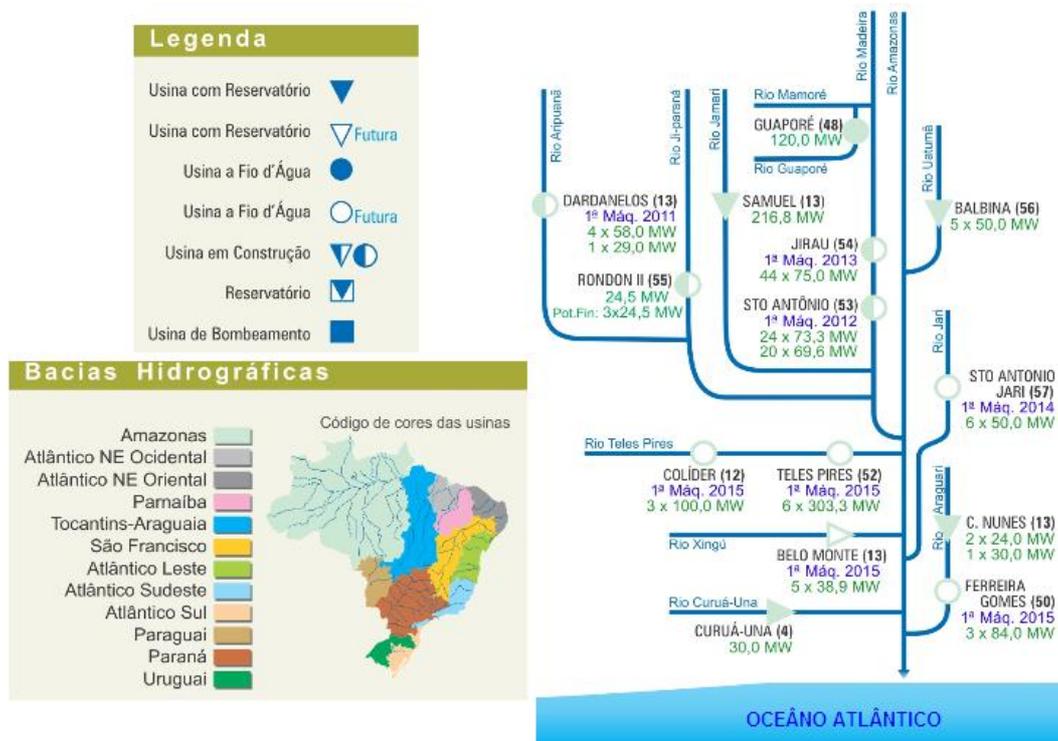


Figura 5- (e) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b

### 3. Metodologia

Esta secção mostra os cenários do IPCC-AR5 utilizados e sucintamente como as vazões foram obtidas. E através da produtividade em MWmed/m<sup>3</sup>/s estima-se a ENA, desta forma é possível quantificar a sensibilidade da oferta de energia à variabilidade e as (às) mudanças climáticas.

Para quantificar a sensibilidade do setor elétrico as mudanças climáticas, foram utilizadas três metodologias distintas, conforme Figura 6. A primeira delas, mostradas

nos relatórios anteriores, recebe os dados do modelo regional ETA (precipitação e temperatura), em seguida ocorre à remoção do viés, modelagem hidrológica e obtenção da ENA.

As outras duas metodologias partem do modelo global e são resultado do aditivo. Numa delas, o modelo global tem seus pontos interpolados para a grade do modelo regional, sendo esta estratégia executada para os modelos forçantes ETA (HadGEM2-ES e MIROC5, conforme Tabela 1). Enquanto na outra, executada para 14 modelos globais (conforme Tabela 2), tem-se os resultados para cada bacia direto da grade do modelo global.

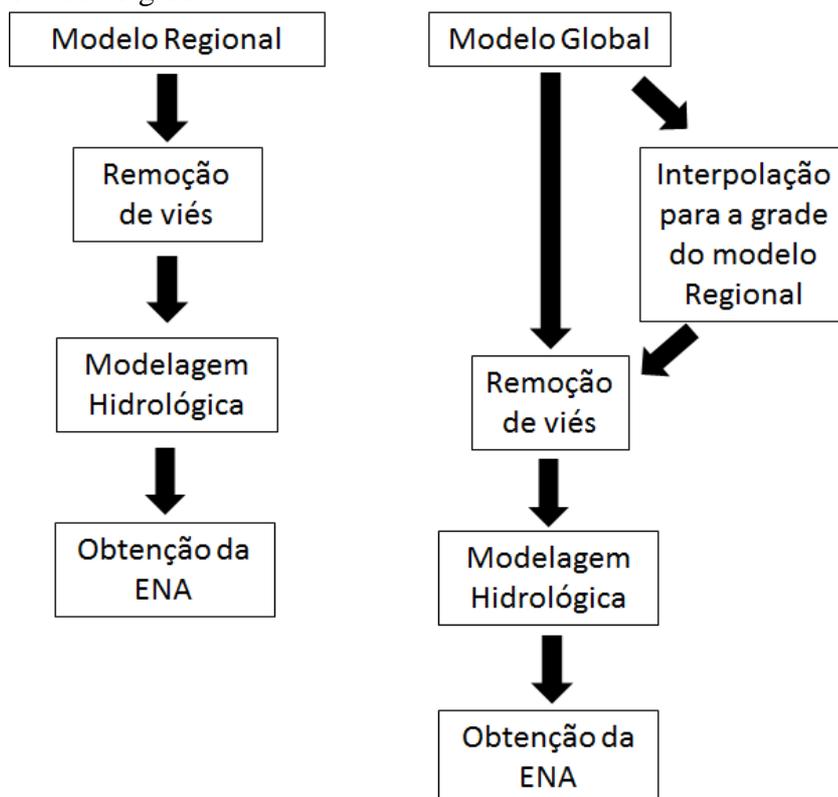
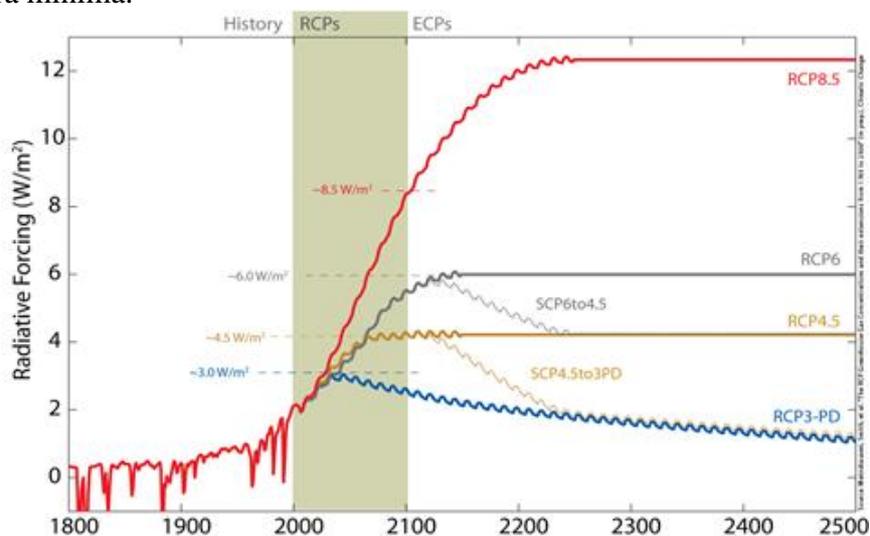


Figura 6-Metodologias adotadas para modelagem do SIN para visualização do impacto das mudanças climáticas sobre a ENA.

### 3.1. Cenários do CMIP5

Como parte da fase preparatória para o desenvolvimento dos novos cenários para o AR5, foram criados os chamados RCPs (Representative Concentration Pathways), que servem como entrada para modelagem climática e química atmosférica nos experimentos numéricos do CMIP5. Os RCPs recebem seus nomes a partir dos níveis das forçantes radiativas, conforme relatado por cada equipe de modelagem elaboradora de cada RCP. Assim, RCP-X implica em um cenário no qual a forçante radiativa de estabilização ou de pico ou ao final do século XXI corresponde a  $X \text{ W.m}^{-2}$ . Na Figura 7 é mostrado o comportamento dos principais cenários do IPCC-AR5: RCP8.5, RCP6, RCP4.5 e RCP3-PD. Neste trabalho foram usados os cenários RCP4.5 e RCP8.5 para análise das projeções do século XXI. As variáveis meteorológicas, na escala mensal, utilizadas são: precipitação, temperatura média, temperatura máxima e temperatura mínima.



Fonte: <http://www.pik-potsdam.de/~mmalte/rcps/>

Figura 7-Cenários do IPCC-AR5 e forçante radiativa antropogênica global para cada um deles.



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

### 3.2. Modelo Eta

O modelo regional Eta é rodado operacionalmente no CPTEC em dois horários, 00 e 12 UTC para a América do Sul na forma de previsão numérica do tempo. Atualmente o Eta operacional tem resolução horizontal de 40 km e resolução vertical de 38 camadas, mais detalhes do modelo ver em Blak (1994).

Este modelo será utilizado também como ferramenta de análise do impacto das mudanças climáticas no setor elétrico. Para tanto o modelo regional é forçado por dois modelos globais distintos e para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 com grade de resolução 20km x 20km. As instituições a qual os modelos globais pertencem pode ser visualizada na Tabela 2. Enquanto a área de simulação do modelo regional pode ser vista na Figura 8.

Tabela 1-Lista de modelos globais do CMIP5 utilizados como forçante do modelo regional Eta.

Modelos	Instituição	País	Home page
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre -Earth System Models	Reino Unido	<a href="http://www.geosci-model-dev.net/4/543/2011/gmd-4-543-2011.pdf">http://www.geosci-model-dev.net/4/543/2011/gmd-4-543-2011.pdf</a>
MIROC5	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute	Japão	<a href="http://www.geosci-model-dev-discuss.net/4/1063/2011/gmdd-4-1063-2011.pdf">http://www.geosci-model-dev-discuss.net/4/1063/2011/gmdd-4-1063-2011.pdf</a>
			<a href="http://www.geosci-model-dev.net/4/845/2011/gmd-4-845-2011.pdf">http://www.geosci-model-dev.net/4/845/2011/gmd-4-845-2011.pdf</a>

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

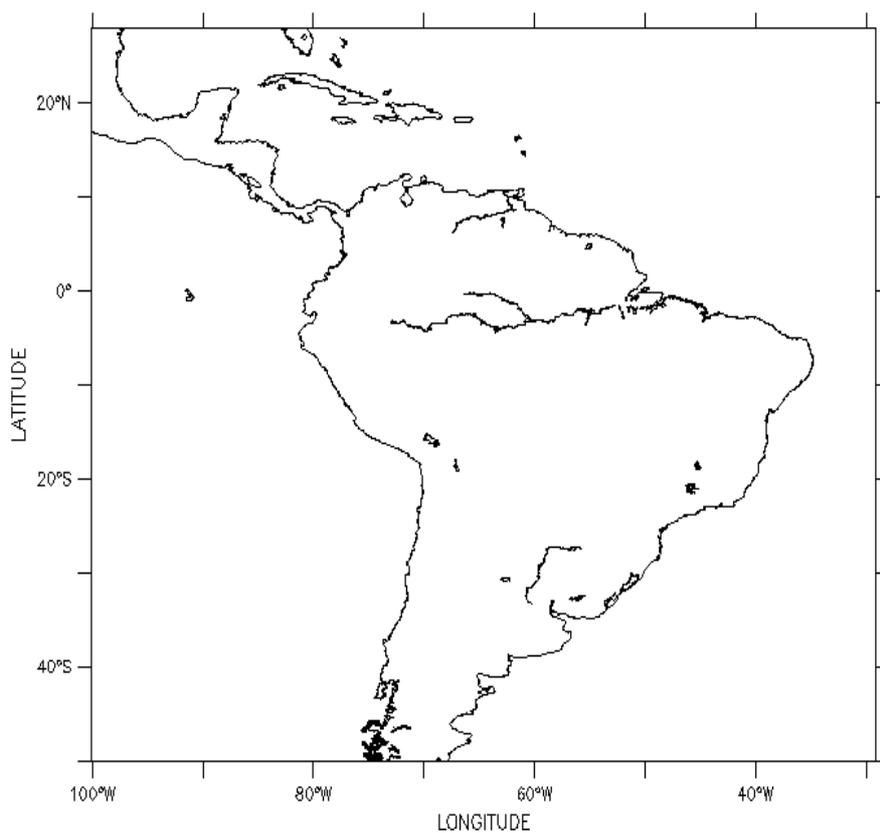


Figura 8- Área de simulação do modelo regional.

### 3.3. Modelos Globais Utilizados

A tabela 2 indica os modelos globais do CMIP5 utilizados para o cálculo das vazões e da ENA.

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

Tabela 2-Modelos Globais utilizados.

Modelos	Instituição e País
bcc-csm1-1	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration; China
BNU-ESM	College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University; China
CanESM2	Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis; Canada
CESM1-BGC	Community Earth System Model Contributors, USA
CSIRO-Mk3-6-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in collaboration with Queensland Climate Change Centre of Excellence; Australia
GISS2-ER	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory; USA
GFDL-ESM2M	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory; USA
HadGEM2-AO	National Institute of Meteorological Research/Korea Meteorological Administration; UK
HadGEM2-CC	Met Office Hadley Centre; UK
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre; UK

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

---

IPSL-CM5A-LR	Institut Pierre-Simon Laplace; France
IPSL-CM5A-MR	Institut Pierre-Simon Laplace; France
MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute, National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology; Japan
MIROC-ESM	Atmosphere and Ocean Research Institute, National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology; Japan

---

#### 3.4. Metodologia de obtenção das vazões

A metodologia divide-se, basicamente, em quatro etapas. A primeira consiste em obter as evapotranspirações potenciais a partir do modelo Eta, usando o método de Hangreaves. A segunda consiste na obtenção das precipitações dos modelos para bacia de interesse, para posterior correção estatística para remoção de viés usando a função de distribuição gama. Já na terceira etapa obtém-se as vazões usando modelo hidrológico SMAP em 24 postos, tendo como dados de entrada as evapotranspirações e precipitações corrigidas. A quarta etapa consiste em obter as projeções de vazões para os postos que não possuem o modelo hidrológico calibrado, para tanto são utilizados regressões a partir dos postos que possuem o SMAP. Maiores detalhes podem ser consultados no relatório 2.

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

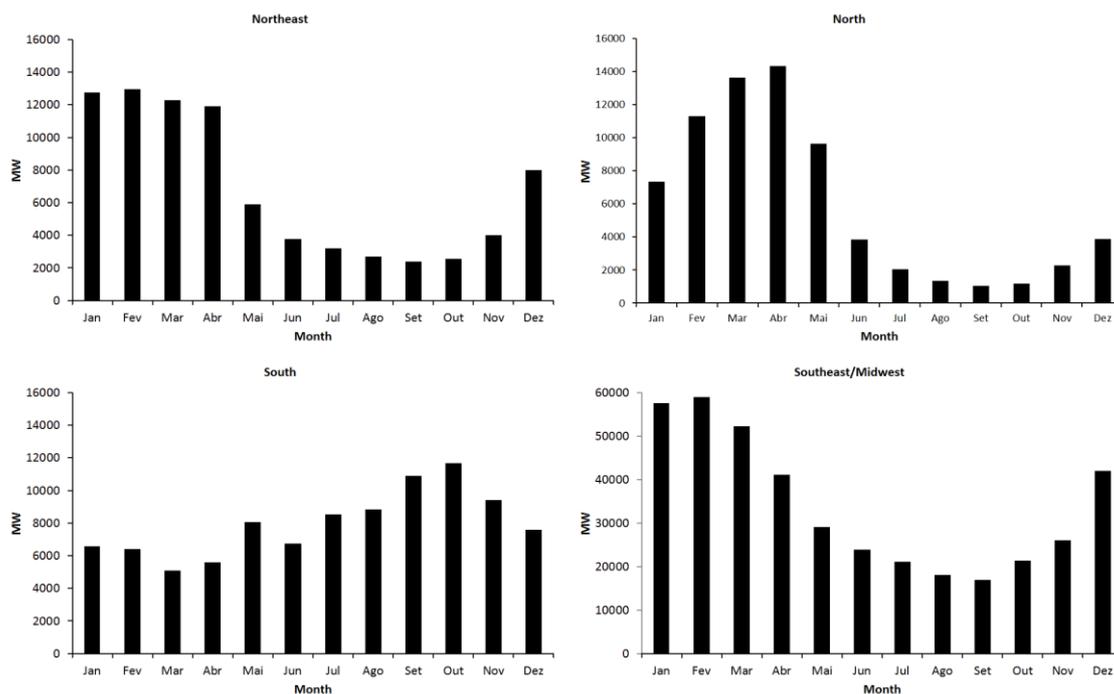
CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)

### 3.4. Cálculo da Energia Natural afluyente

A partir das vazões incrementais mensais de cada aproveitamento hidroelétrico estimam-se as vazões naturais afluentes, a partir do diagrama esquemático das Figuras de 1 a 5. A ENA é obtida, portanto, pelo multiplicando-se a vazão natural de cada posto pela produtividade, conforme Tabelas de 3 a 6.



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)-  
[http://www.ons.org.br/historico/energia\\_natural\\_afluyente\\_outaspx#](http://www.ons.org.br/historico/energia_natural_afluyente_outaspx#)

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

---

Figura 9- ENA em MWmed( a unidade usada é relação entre a energia gerada e o tempo de funcionamento das instalações) dos subsistemas do setor elétrico brasileiro no período de 2002 a 2011.

#### 4.Resultados

Os resultados estão divididos em três seções. A primeira mostra os resultados apresentados no produto 3 (Item 4.2 do plano de trabalho): as anomalias de ENA anual utilizando as projeções do modelo regional ETA. Já a segunda, mostra o resultados do conjunto de 14 modelos globais para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, utilizando box plot para mostrar a dispersão e estatística das anomalias do conjunto de membros. Por fim, na terceira seção, a comparação entre os resultados usando o modelo regional e o modelo global que fornece suas condições iniciais e de fronteira. Essa etapa contempla o item 4.3 do plano de trabalho que corresponde à simulação dos recursos hídricos considerando o uso atual e futuro pelo setor elétrico.

##### 4.1. Modelo Regional

Os modelos indicam reduções na ENA anual média do SIN para o período de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099. Essa anomalia negativa é mais intensa para o cenário RCP 8.5, considerando ambos os modelos globais forçantes do modelo regional. Além disso, o modelo Eta forçado pelo HG2ES indica reduções da ENA superiores a 10% em qualquer que seja o cenário em cada período de 30 anos. Essa anomalia na ENA não é distribuída uniformemente em cada subsistema.

Os modelos mostram redução na ENA anual dos setores Norte, Nordeste e Sudeste nos três períodos e para os dois cenários. Enquanto para o subsistema Sul o modelo MIROC, para ambos os cenários mostra aumento nos três períodos, chegando a uma anomalia superior a 60% no período de 2071 a 2099. Conforme mostra as Figura 9 e 10.



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

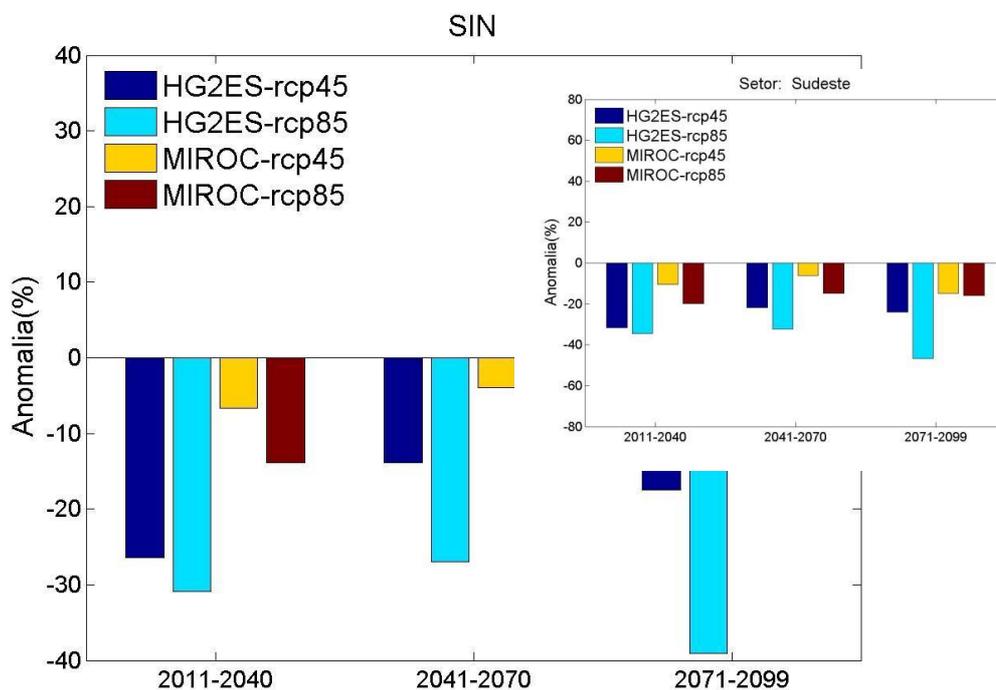


Figura 10- Anomalia da ENA anual usando as projeções do modelo Eta para todo o SIN.

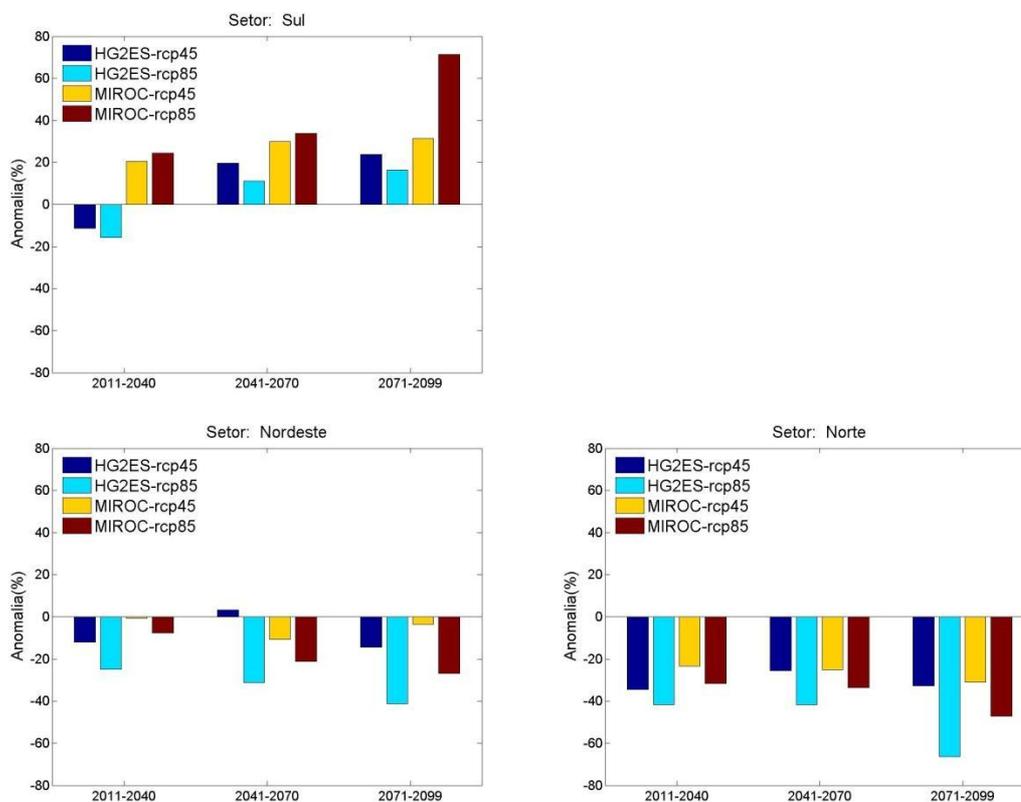


Figura 11- Anomalia da ENA usando as projeções do modelo Eta para os subssistemas do setor elétrico.

## 4.2. Modelos globais

### 4.2.1. Vazões do SMAP

Os resultados apresentados por box-plots (figuras 12 e 14) contém as informações de todos os modelos listados na Tabela 2. Esse tipo gráfico apresenta a distribuição dos resultados dos modelos através de medidas de dispersão, descritas pela amplitude e



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

amplitude interquartil (IQR, representada pelo comprimento da caixa), a mediana, e os quartis (inferior e superior). A mediana dos resultados está entre os quartis, representada pela linha horizontal que divide a caixa (Figura 11). No caso dos resultados apresentados a seguir, cada caixa apresenta a dispersão dos modelos para uma bacia específica, a amplitude interquartil é representada pela altura da caixa e significa que 50% das anomalias dos modelos estão entre os quartis inferior e superior. Na figura 12, por exemplo, é possível também identificar os outliers, representados por cruces no gráfico. Nesse caso, os outliers são os modelos cujas anomalias ficaram além dos limites inferiores ou superiores do box-plot, ou seja, são modelos cujas anomalias tem valores abaixo ou acima em 1.5 vezes a amplitude interquartil.

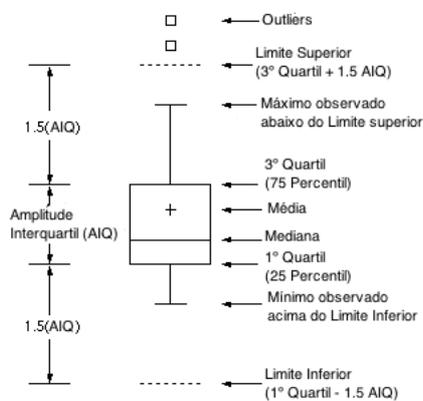


Figura 12: Descrição dos box-plots

A Figura 12 indica o comportamento das anomalias na média percentual anual das vazões mostrada pelos modelos do CMIP5 para os períodos de 2010 a 2039, 2040 a 2069 e 2070 a 2098 para os cenários RCP4.5 e RCP 8.5 em relação ao período de 1950 a 1999 para as algumas das principais bacias do setor elétrico brasileiro. Os modelos mostram maior dispersão no terceiro período, isto é associado, muito provavelmente ao fato da incerteza das projeções serem função do tempo.



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

---

Os modelos globais para cenário RCP 8.5 indicam projeções com reduções de vazões mais intensas do que o RCP 4.5 para a maioria das bacias e nos três períodos, isto pode estar associado ao maior aumento de temperatura projetado pelo RCP 8.5, e consequente aumento das evapotranspirações potenciais projetadas para o século XXI. Para as bacias do setor Sudeste/Centro-oeste os modelos sugerem uma maior possibilidade de redução nas vazões ou leve aumento, visto que as anomalias das projeções de vazões anuais dos modelos para estas bacias encontram-se entre aproximadamente 5% e -20% na maioria das bacias em cada período analisado e a mediana das anomalias apresenta valores negativos em praticamente todas as bacias. Entretanto, para o período de 2070 a 2098 há um aumento da dispersão entre os modelos com desvio padrão das anomalias de aproximadamente 20% na maioria das bacias.

No setor Nordeste, os modelos indicam bastante incerteza, não havendo convergência a respeito dos resultados dos mesmos em magnitude na anomalia média anual, conforme sugere a dispersão nas precipitações mostradas por SILVEIRA et al. (2013). Na bacia do Xingó, por exemplo, os modelos apontam anomalias que indicam desde um máximo de aumento de aproximadamente 20% no período de 2070 a 2098 para o cenário RCP 8.5, assim como indicam reduções de vazões médias anuais superiores em módulo a 60%.

As bacias de Salto Caxias, Itá e D. Francisca a maioria dos modelos indicam possibilidade de aumento nas vazões nos três períodos.

Já nas bacias do setor Norte, a maioria dos modelos sugerem reduções nas vazões em todas as bacias deste Setor nos três períodos analisados, principalmente nas bacias de Belo Monte, S.L. Tapajós e Teles Pires. Esse fato é evidenciado principalmente entre 2040 e 2069, em que todos os modelos indicam diminuição nas vazões anuais e a mediana das anomalias dos modelos é inferior a -10% para ambos os cenários.



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

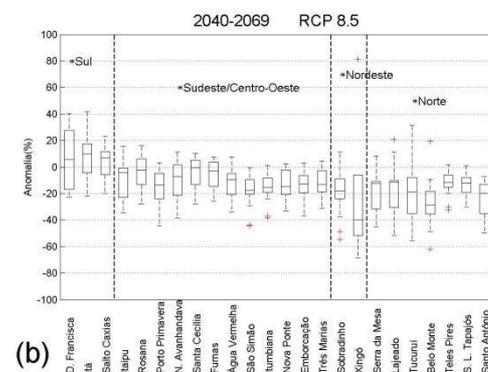
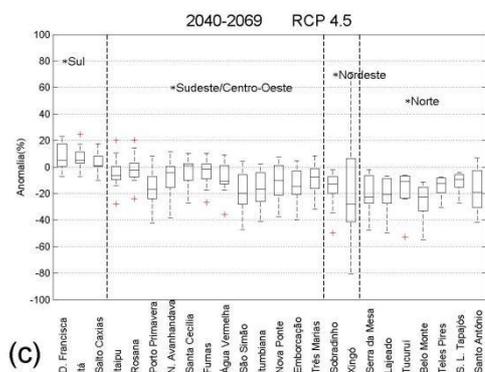
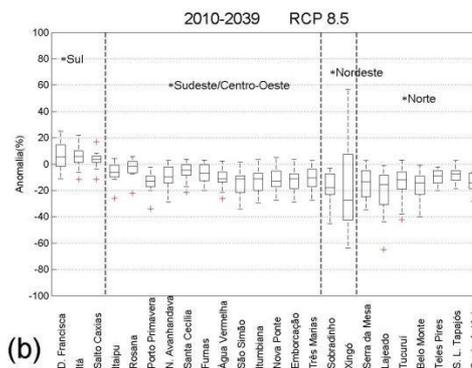
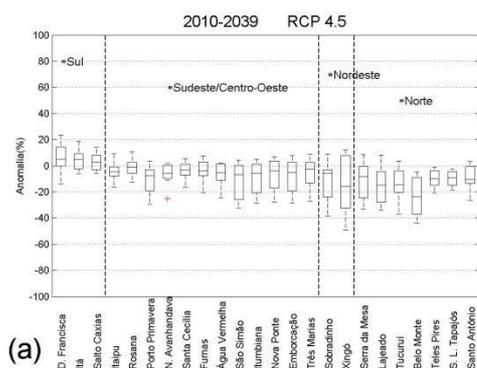
AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br



Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6

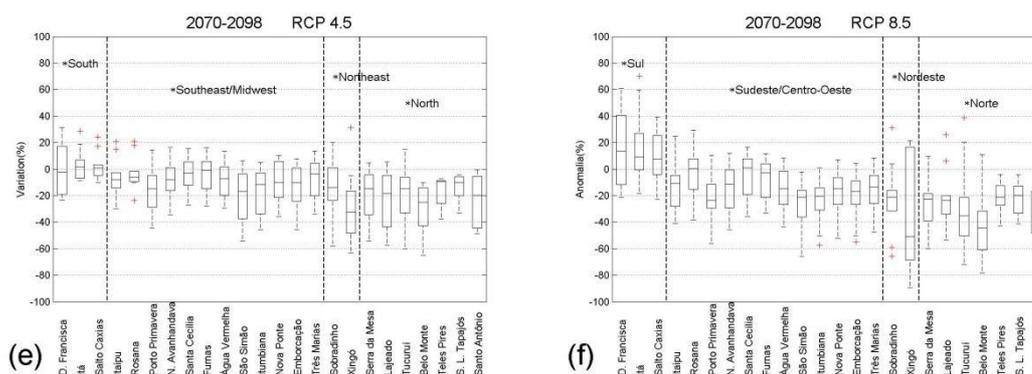


Figura 13- Anomalia das vazões médias anuais para o setor elétrico Brasileiro usando o SMAP.

### 1.1.1. Vazões por regressão

A mediana das anomalias das vazões médias anuais reforça que o impacto das mudanças no clima não é uniformemente distribuído espacialmente no Brasil, evidencia-se que o extremo Sul provavelmente se apresentará mais úmido no século XXI do que no XX, enquanto as demais regiões do país devem apresentar reduções significativas nas vazões, conforme indica a Figura 13.

Entretanto, no subsistema Norte existe uma leve dispersão espacial entre a resposta das vazões dos postos aos cenários de mudanças climáticas. Os postos mais ao Norte mostraram reduções de magnitude inferior aos postos mais Sul, próximo ao Centro-Oeste. No período de 2070 a 2098 para o cenário RCP8.5 (Figura 13f), por exemplo, enquanto a primeira região citada mostrou aproveitamentos com a mediana das anomalias entre -5% e 5%, a segunda mostrou a mediana entre -15% e -20%.

Assim como no subsistema Norte o setor sudeste/centro-oeste apresenta leves divergências espaciais, a mediana das anomalias mostra duas regiões que respondem diferentemente as mudanças climáticas, os aproveitamento mais ao centro-oeste do país e a região litorânea do Sudeste do país. Isto é evidenciado para o cenário RCP 4.5 no período de 2040 a 2069 (Figura 13c), a mediana na primeira região apresenta vários postos entre -10% e -15%, enquanto na segunda os valores ficam entre -5% e 5%.



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

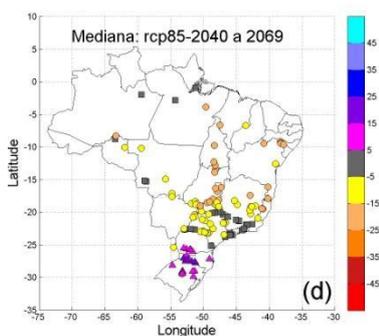
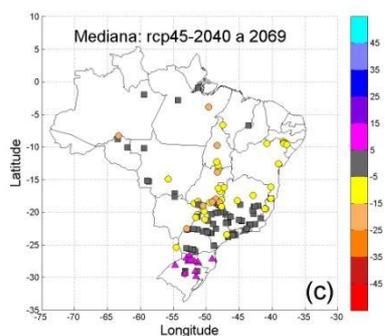
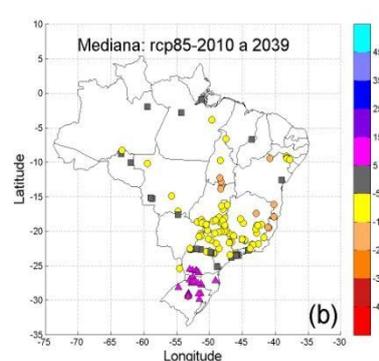
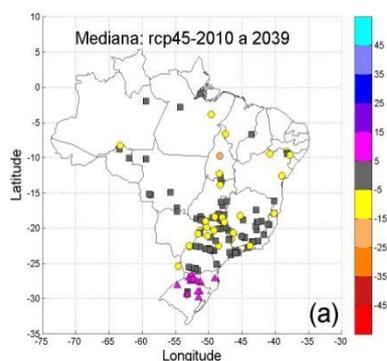
CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

No setor Nordeste resalta-se a magnitude da mediana das anomalias em Sobradinho e Xingó. , Nestes aproveitamentos a mediana atinge valores inferiores a -20%. Destaca-se que a magnitude da mediana das anomalias é superior para o cenário RCP 8.5 do que para o RCP 4.5, indicando que essa região semiárida é extremamente sensível ao aumento nas concentrações dos gases de efeito estufa no planeta.



Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6

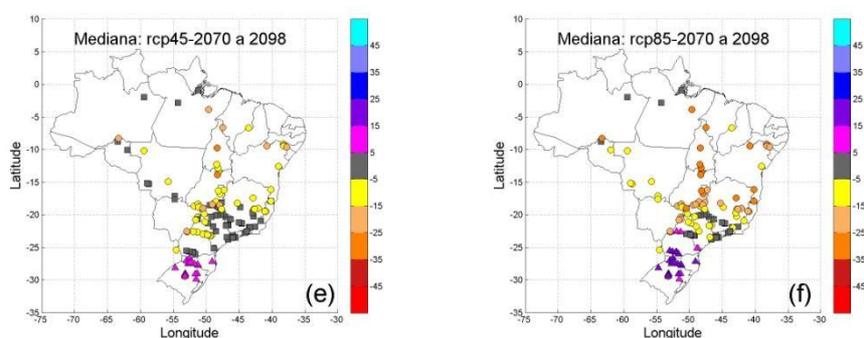


Figura 14- Mediana das anomalias de vazões anuais dos modelos globais do IPCC-AR5 para os períodos 2010-2039,2040-2069 e 2070-2098 para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.

### 1.1.2. ENA

A maioria dos modelos mostra redução na ENA anual nos setores Norte, Nordeste e Sudeste nos três períodos e para os dois cenários, conforme Figura 15. Enquanto para o subsistema Sul a maioria dos modelos mostra aumento nos três períodos.

Os modelos globais para o cenário RCP 8.5 indicam projeções com reduções da ENA mais intensas do que o RCP 4.5 para os subsistemas Norte, Nordeste e Sudeste. Isso ocorre provavelmente devido às projeções de aumento de temperatura do RCP 8.5 serem superiores ao aumento de temperatura projetado pelo RCP 4.5. Conseqüentemente, o aumento das evapotranspirações potenciais projetadas no cenário RCP8.5 para o século XXI é mais pronunciado, o que impacta diretamente as vazões naturalizadas.



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

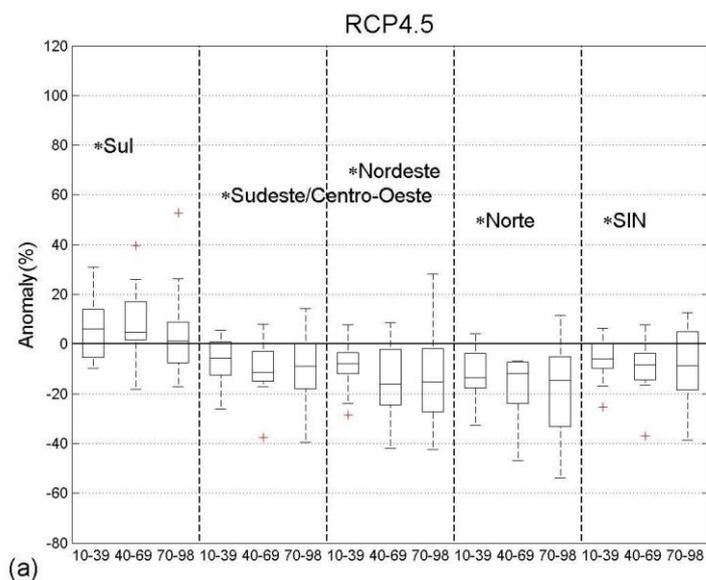
CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

Além disso, as anomalias positivas mostradas para o subsistema Sul são mais intensas para o cenário RCP 8.5 do que o RCP 4.5, indicando a possibilidade de anos com chuvas mais intensas e maior escoamento superficial.



Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6

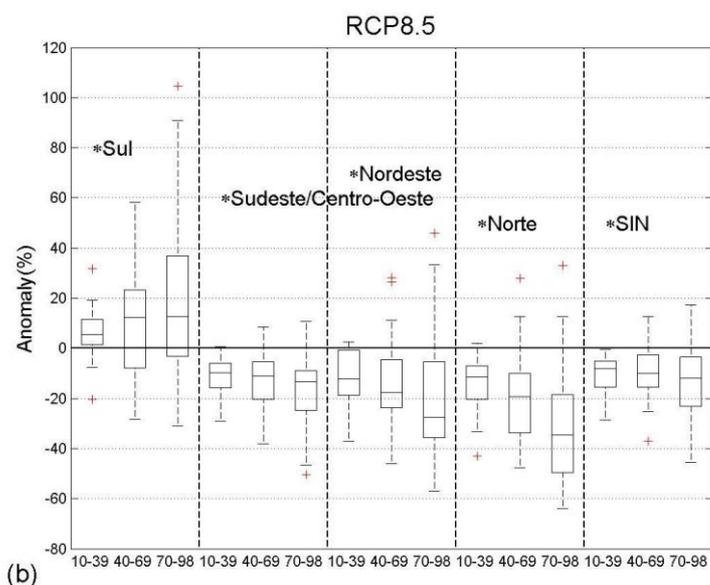


Figura 15-Anomalia percentual anual da ENA para o cenário RCP 4.5 e RCP 8.5 para os subsistema que compõem o SIN.



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

---

### 1.3. Comparação regional e global

A seguir, é apresentada a análise da disponibilidade hídrica futura nas bacias em estudo considerando o uso da energia e a comparação dos resultados encontrados com os modelos globais e os resultados da regionalização (item 4.4 do acordo). As anomalias de precipitações do modelo ETA mostradas nos relatórios anteriores indicam que Brasil pode sofrer com uma grande escassez de chuvas no período de 2010 a 2099, porém é importante destacar que ao comparar a anomalias propostas pelo modelo global e regional é evidente que o ETA tende a amplificar o sinal mais seco em praticamente todo o Brasil e tornar bem mais úmido o extremo sul do país, conforme mostra Figura 15 e Figura 16.

O modelo Eta forçado pelo modelo global HadGEM2-ES apresenta uma anomalia 20% inferior na maioria das bacias do setor Sudeste do que a simulação do modelo global sem downscaling dinâmico nos períodos de 2010 a 2039 e 2040 e 2069. Esse comportamento também é edificado nas simulações com o modelo MIROC5, porém é mais evidente no período de 2071 a 2098. Conforme indica a Figura 16.

A intensificação das anomalias negativas de precipitação mostradas pelo modelo regional pode estar associada a o aumento da variabilidade temporal das series anuais em detrimento dos modelos globais. Além disso, há uma clara intensificação dos eventos de mínimo. Esse comportamento também é repetido nas bacias do norte do país.

Já no setor Sul o modelo regional intensifica o sinal das máximas anuais em detrimento do modelo global, conforme sugere a Figura 17.

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

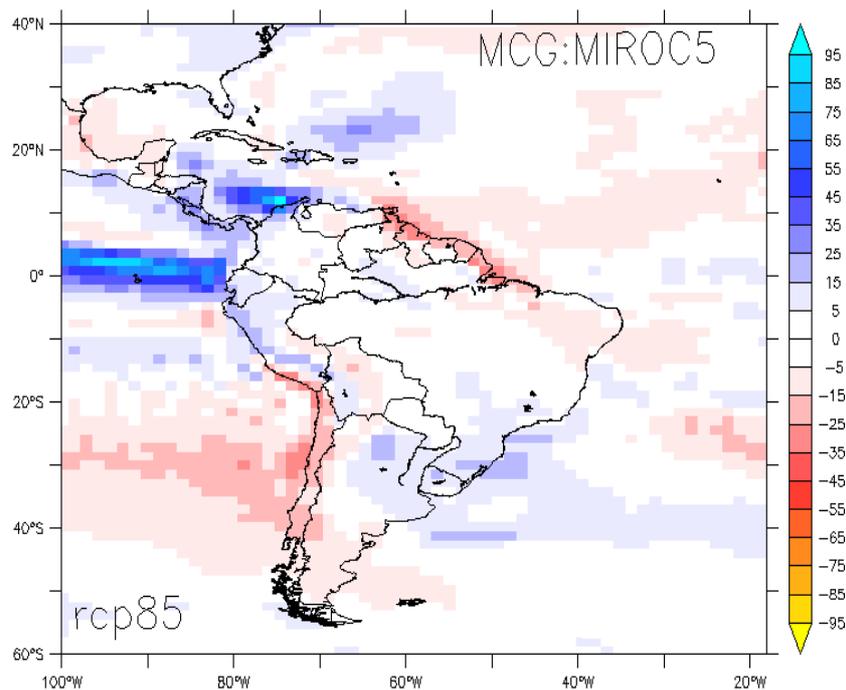
CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)

Esse comportamento se reflete no comportamento da ENA e das vazões advindas dos modelos regionais, na maioria dos casos o modelo regional apresenta-se mais seco do que o global, conforme as Figuras 19 a 22, esse conjunto de anomalias negativas sugere projeções mais pessimistas da ENA do modelo regional. Os modelos globais mostram reduções no setor Norte e aumento no Sul, porém sinalizam normalidade ou reduções menos significativas no setor sudeste do que o modelo regional.



Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

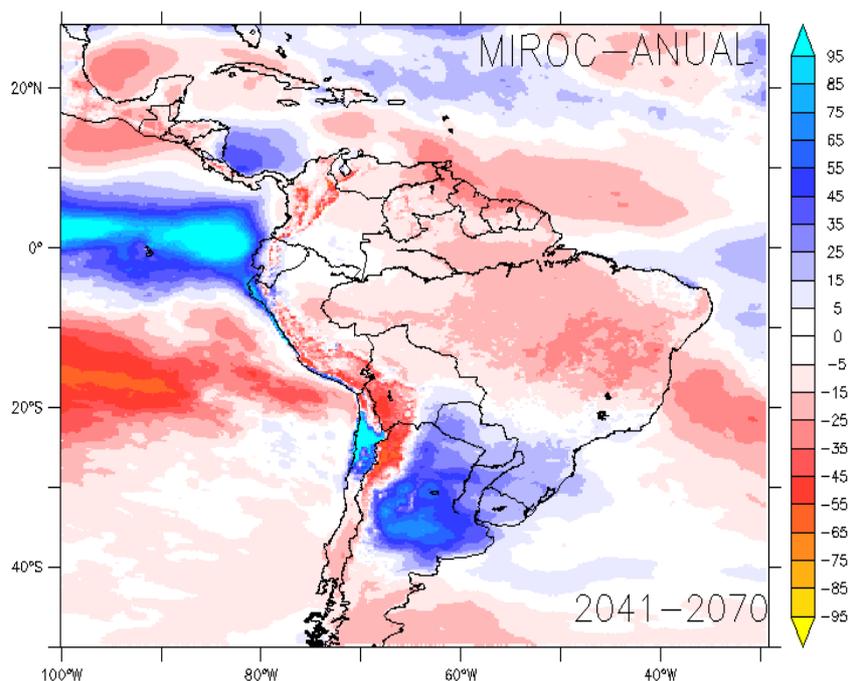


Figura 16-Anomalia de precipitação média anual (%) para o período 2041 a 2070 para o modelo global MIROC5-RCP8.5 e modelo regional Eta forçados por este modelo global.

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

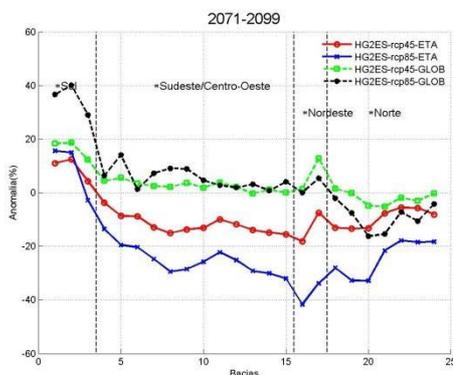
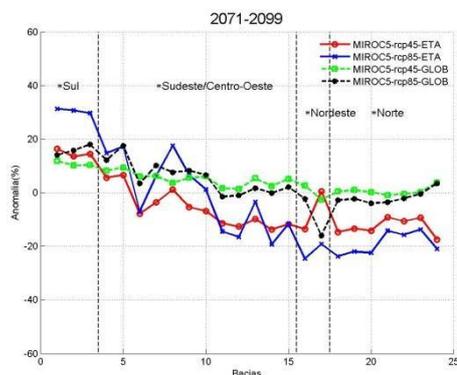
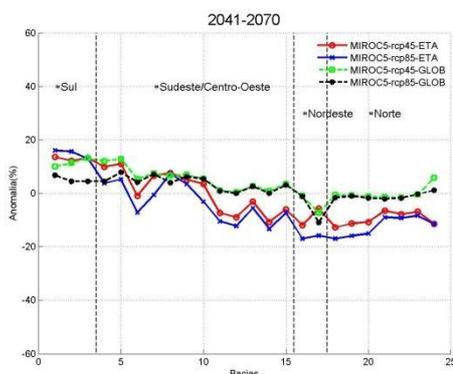
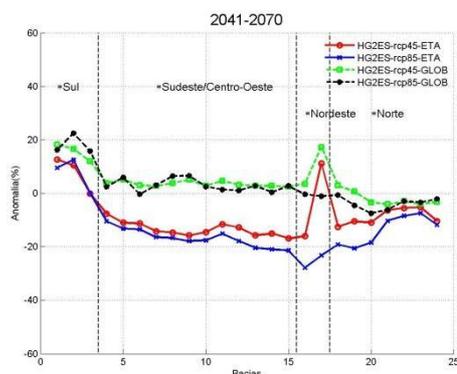
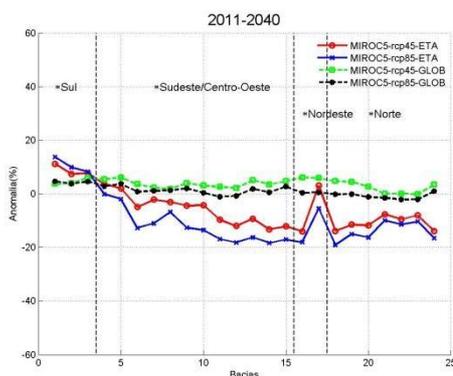
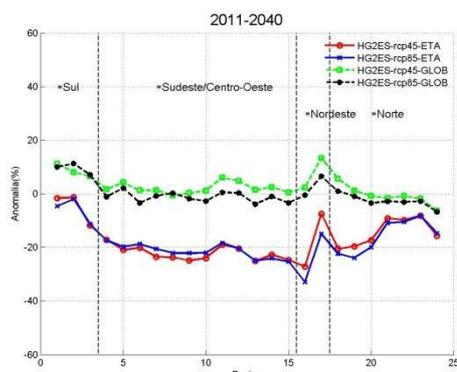
AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br



Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

Figura 17- Comparação entre a anomalia percentual anual das precipitações para o cenário RCP 4.5 e RCP8.5 para as bacias que utilizam o SMAP.

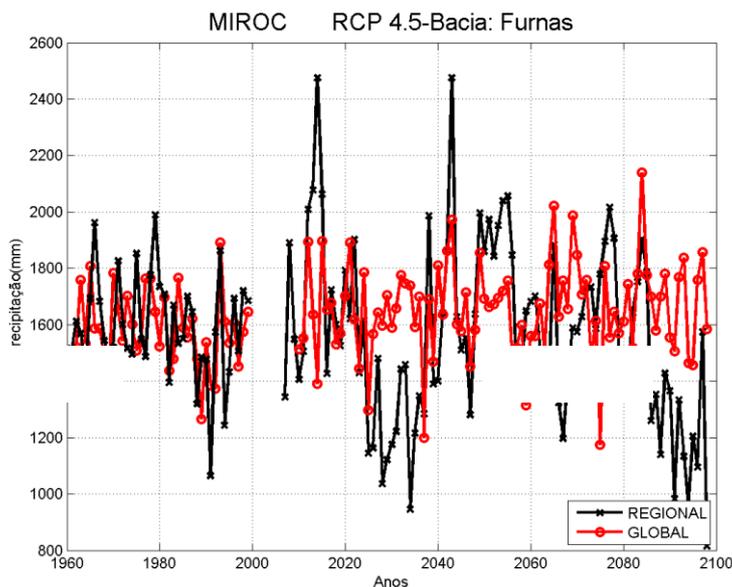


Figura 18- Comparação entre a precipitação média anual do modelo regional e global para Furnas.

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

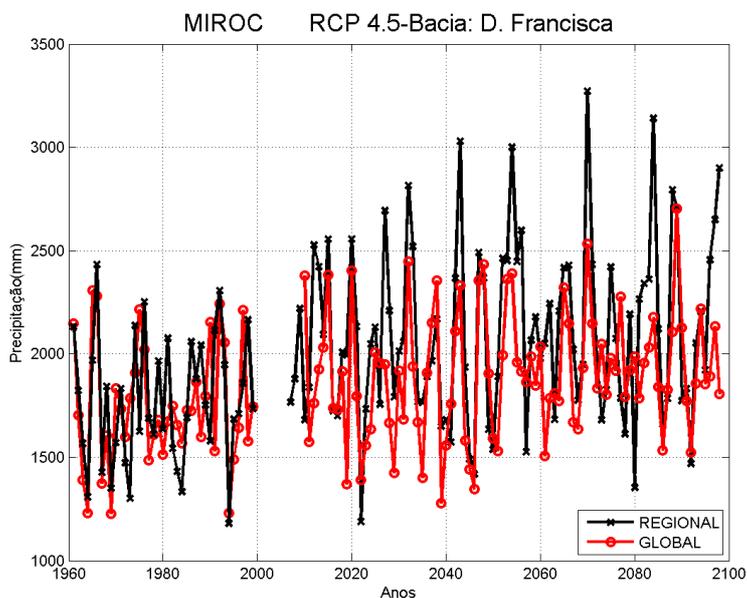


Figura 19- Comparação entre a precipitação média anual do modelo regional e global para o posto de D.Francisca.

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

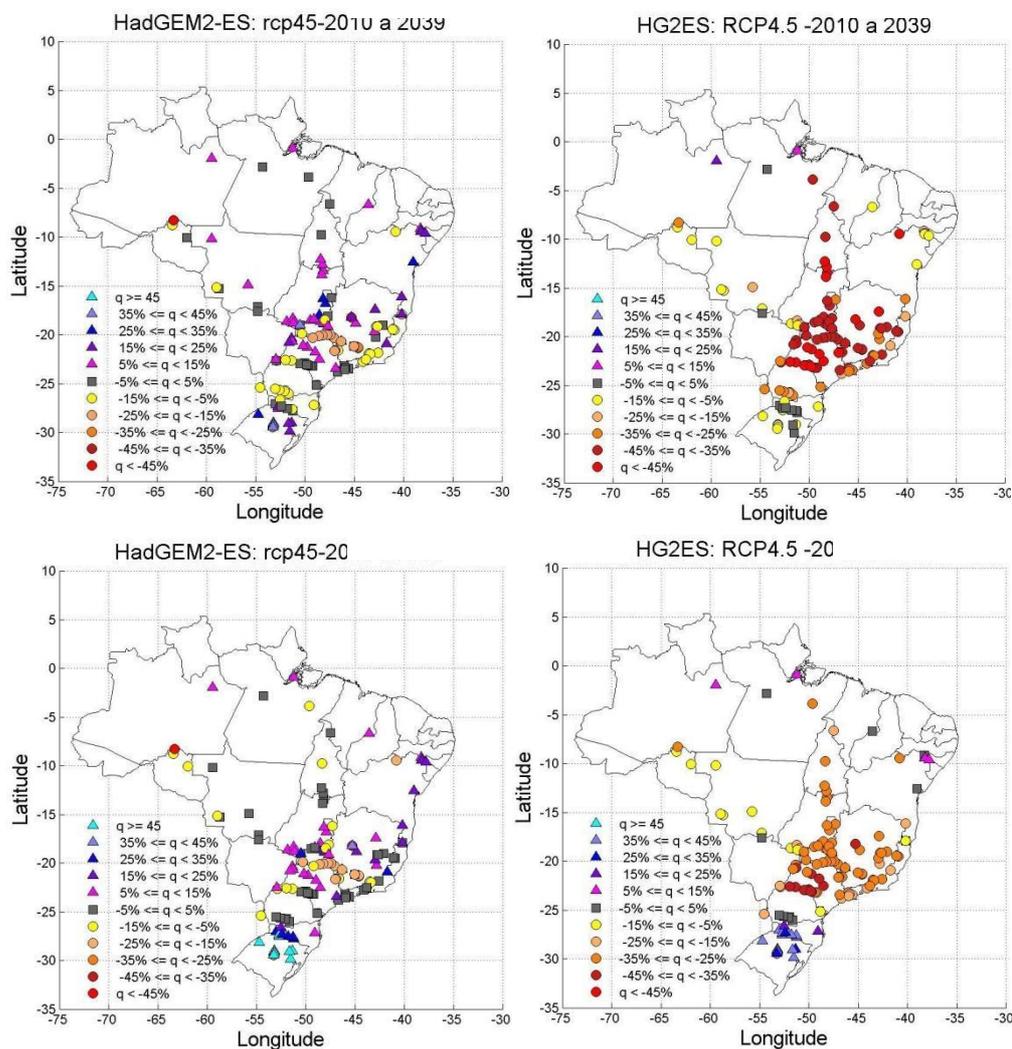
AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br



Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

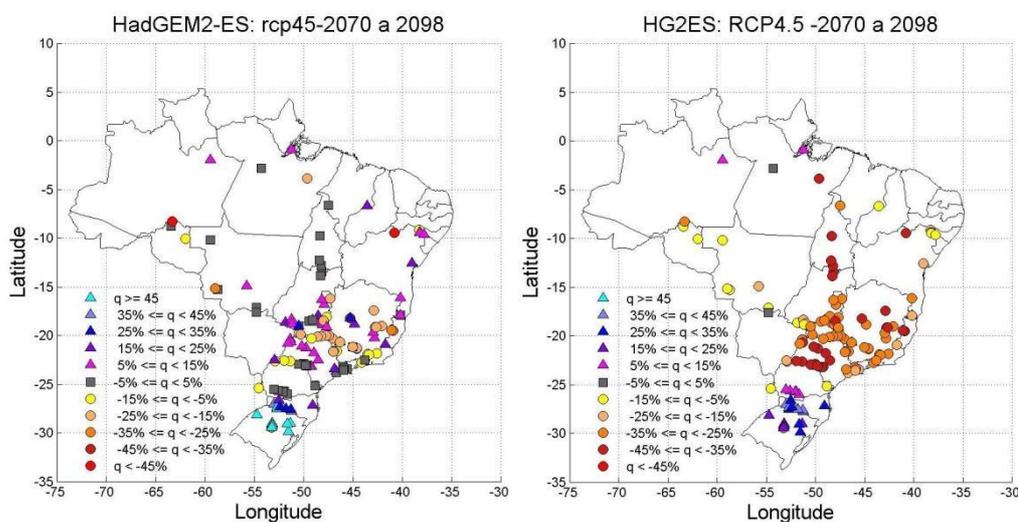
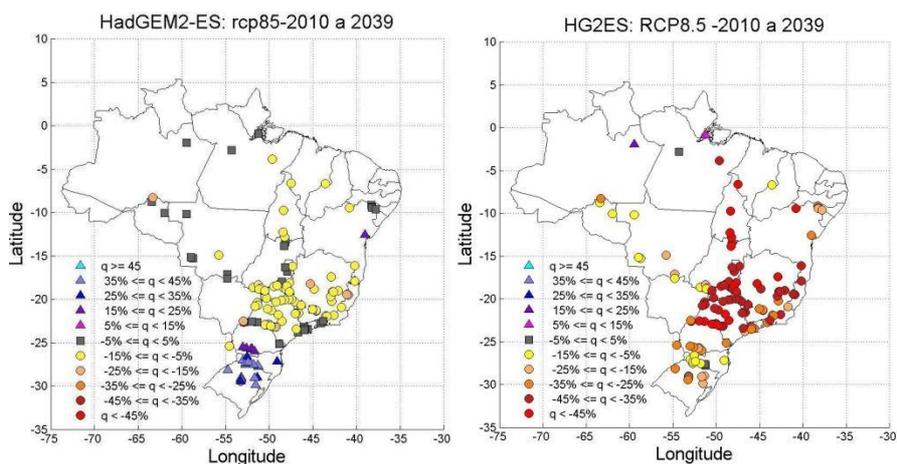


Figura 20- Anomalia das vazões médias anuais para o cenário RCP 4.5 do modelo global HadGEM2 e do modelo regional ETA forçado pelo HadGEM2.



Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br

CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6

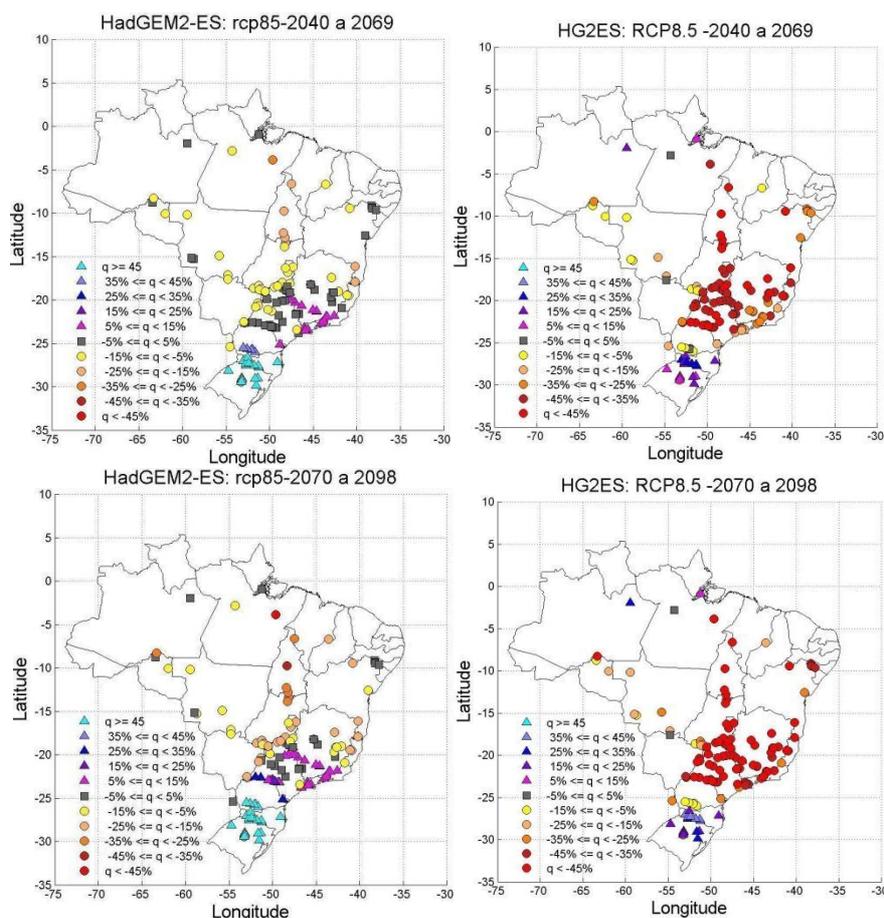


Figura 21- Anomalia das vazões médias anuais para o cenário RCP 8.5 do modelo global HadGEM2 e do modelo regional ETA forçado pelo HadGEM2. (Global a esquerda e regional a direita)



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

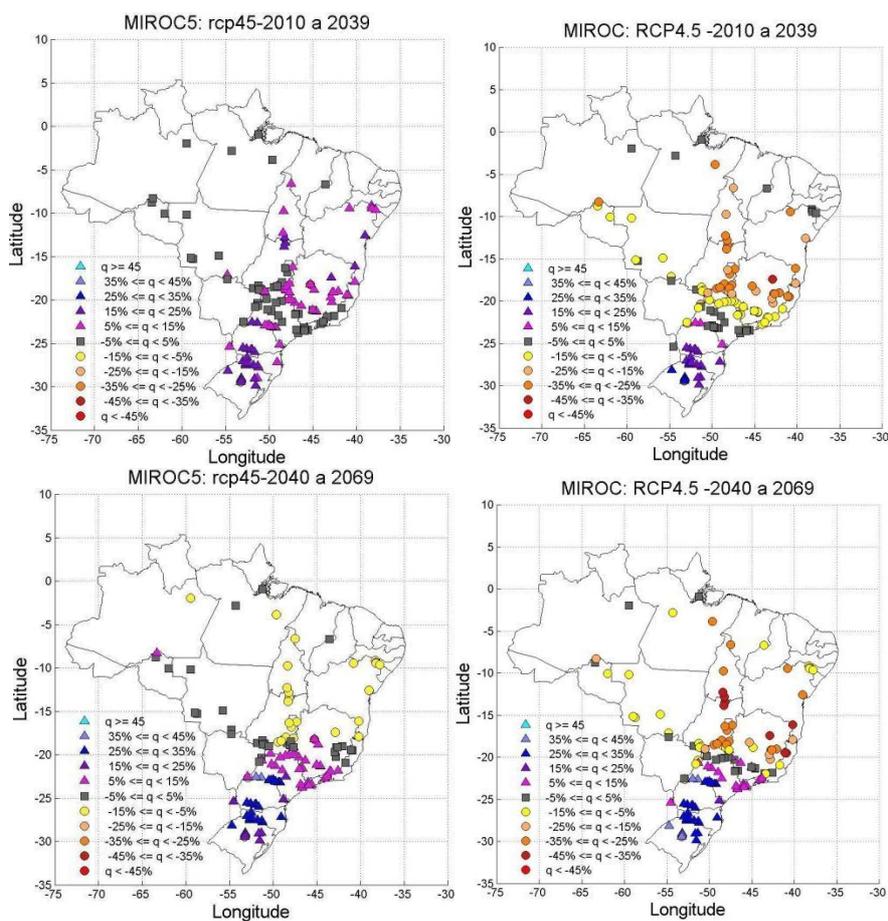
AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br



Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6

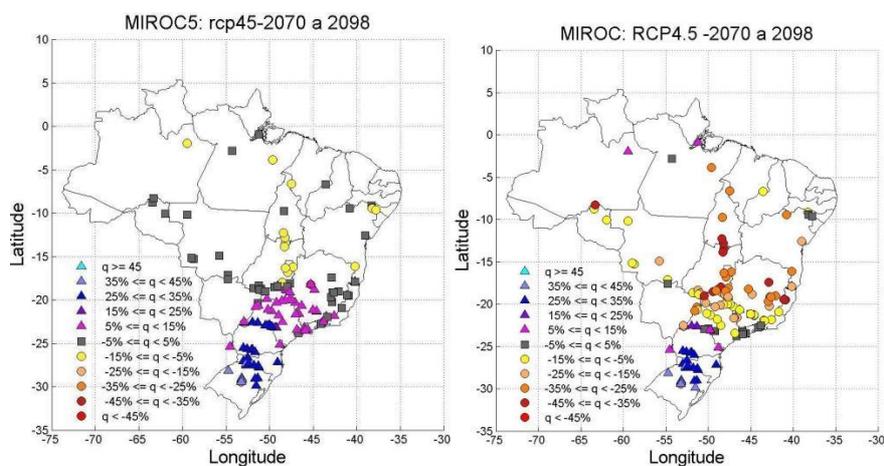
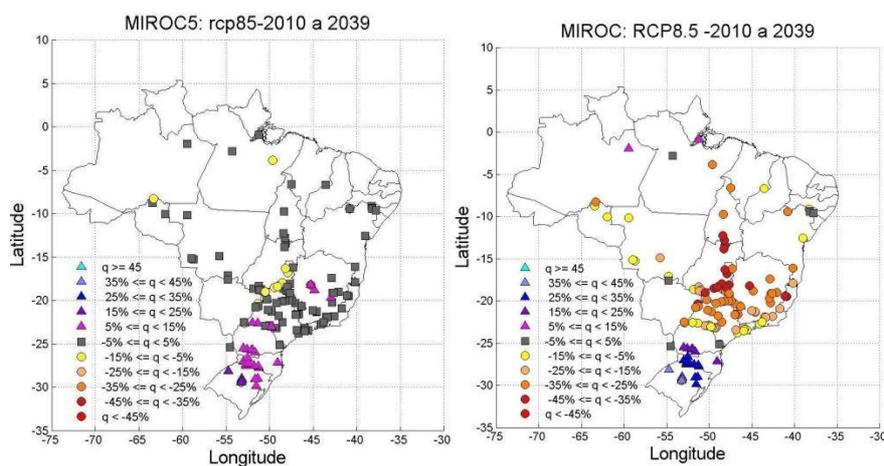


Figura 22- Anomalia das vazões médias anuais para o cenário RCP 4.5 do modelo global MIROC5 e do modelo regional ETA forçado pelo MIROC5. (Global a esquerda e regional a direita)



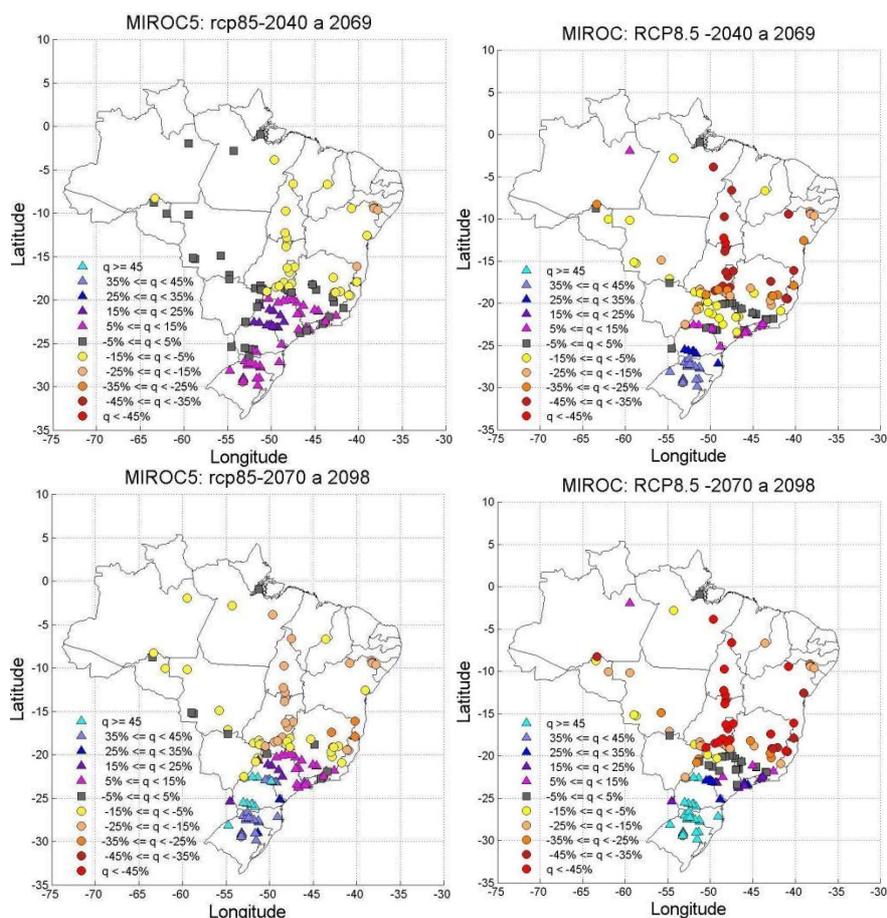


Figura 23- Anomalia das vazões médias anuais para o cenário RCP 4.5 do modelo global MIROC5 e do modelo regional ETA forçado pelo MIROC5. (Global a esquerda e regional a direita)



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)

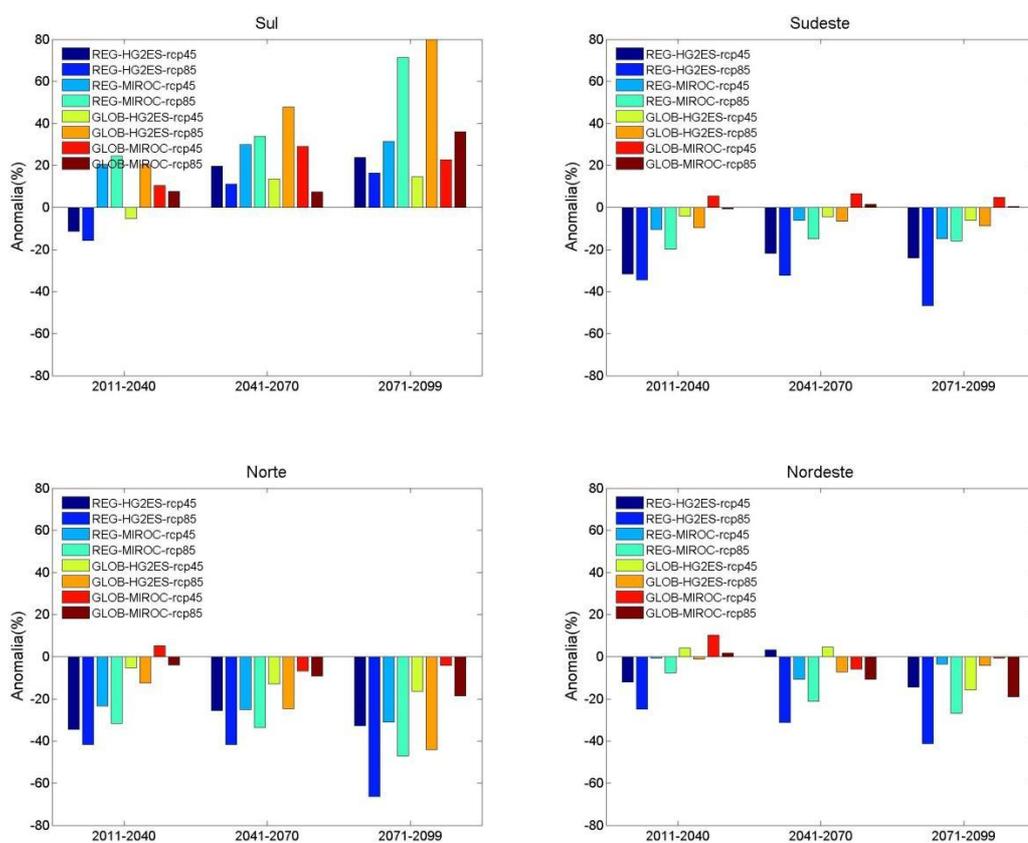


Figura 24- Comparação entre a ENA dos modelos globais e dos hidrossistemas.

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

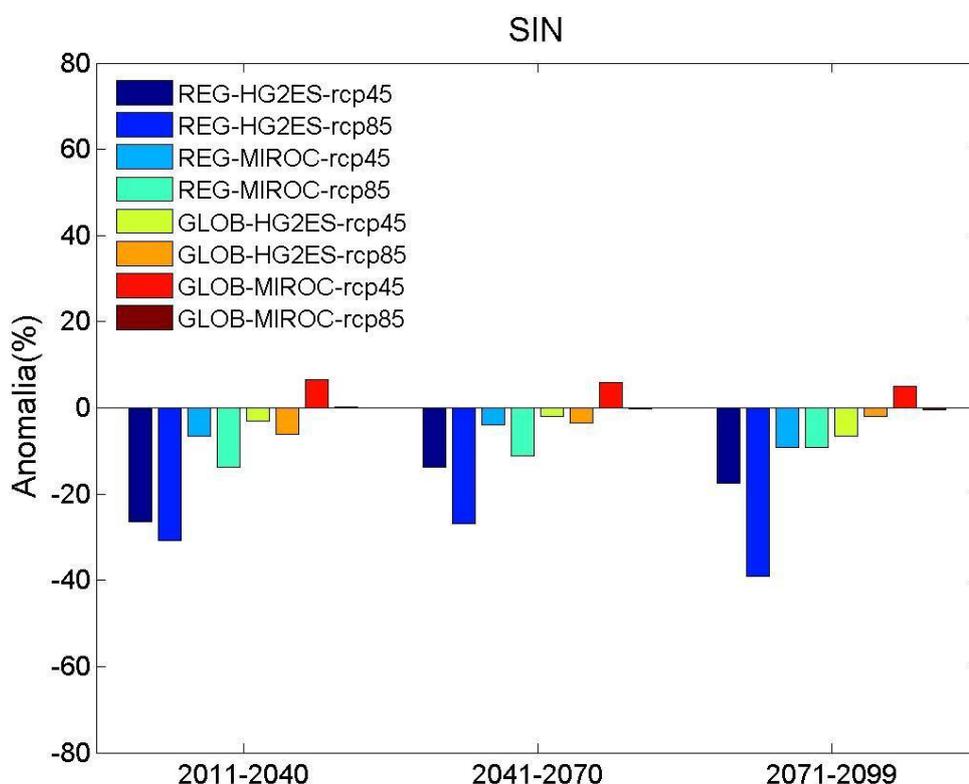


Figura 25- Comparação entre a ENA dos modelos globais e regional.

## 5. Conclusões

A síntese dos resultados encontrados é apresentada a seguir: o balanço Hídrico 2010-2040, 2041-2070 e 2071-2099 atual e futuro integrando o uso da energia e o conjunto dos resultados obtidos pelas duas metodologias aplicadas (modelagem global e regionalização), atendendo, dessa forma, o item 4.5 do acordo.

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

---

O clima exerce uma forte influência no desenvolvimento da sociedade, devido às enchentes, às secas, às catástrofes, dentre muitos outros fatores que interferem diretamente no meio ambiente, na agricultura, no setor energético, na qualidade do ar etc. A análise proposta neste trabalho visou gerar informações sobre o impacto das mudanças climáticas sobre a Energia Natural Afluente e, conseqüentemente, na produção de energia no Brasil. Essas informações podem ser usadas pelos gestores na adoção de políticas energéticas e auxiliar medidas que minimizem os impactos de tais cenários.

Quanto às projeções do modelo ETA são feitas as seguintes proposições:

O modelo ETA sinaliza reduções na ENA na maioria dos aproveitamentos hidroelétricos com aumento no extremo sul do país. Porém, é importante destacar que o modelo ETA tende a amplificar as anomalias de precipitações em até 2 vezes em relação ao modelo global.

O cenário RCP8.5 intensifica as anomalias de vazões em comparação ao RCP4.5, principalmente no extremo Sul do país e Nordeste.

Os modelos apresentam em comum uma pronunciada tendência positiva no extremo sul do país associado com reduções na maioria dos aproveitamentos do Centro-Oeste, Norte e Nordeste.

No Setor Norte do País os modelos indicam que as vazões devem diminuir a uma taxa superior a 5% em cada período de 30 anos.

No setor Sudeste/Centro-oeste os modelos indicam margens que sugerem uma maior possibilidade de reduções nas ENA ou leve aumento. Enquanto o setor Nordeste as vazões devem diminuir bastante (anomalias de 50% abaixo da média histórica no período de 2071 a 2099), principalmente se as projeções do cenário RCP8.5 forem confirmadas.

Apesar do modelo ETA indicar reduções significativas na ENA do SIN, é muito claro que o modelo intensifica o sinal das anomalias de precipitação, especialmente nos setores norte, nordeste e centro-oeste em mais de 20%. Além disso, há uma tendência deste modelo intensificar os extremos de anos secos e úmidos.

Quanto às projeções dos modelos globais, a maioria dos modelos indica que o setor elétrico brasileiro pode sofrer reduções na ENA, sendo esta diminuição não linear espacialmente. A maioria dos modelos sugere que o subsistema sul aumente a energia



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

---

produzida, somado a reduções substanciais da ENA nos setores Norte, Nordeste e Sudeste em comparação ao período de referência do século XX (Historical).

A possível redução na ENA indicada pela maioria dos modelos sugere que as mudanças climáticas somadas ao crescimento da demanda energética do Brasil podem levar a uma grande crise no setor energético brasileiro com investimentos em energias não renováveis devido ao risco de não atendimento dos usuários com a atual matriz energética. Esse tipo de ação pode aumentar o custo da geração de energia e criar um feedback positivo para a mudança climática, já que há uso de energia que emitem combustíveis fósseis, e intensificar seus efeitos sobre todo o sistema climático e, conseqüentemente, sobre o país.

## 6. Referências

ALBURQUERQUE, I. F.; FERREIRA, J. N.; SILVA, M. G.; DIAS, M. F. Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

ALLEN, R. G. et al. Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.. FAO-Irrigation and Drainage Paper. Roma, p. 297. 1998.

ALVES, B. C. C.; SOUZA FILHO, F. A.; SILVEIRA, C. S. Análise de tendência e Padrões de Variação das séries históricas de vazões do Operador Nacional de Sistemas(ONS). Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18, n. 4, p. 19-34, 2013.

BOGGESS, A., NARCOWICH, F. J. A first course in wavelets with fourier analysis. 2nd.ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2009.

CAMPO, J. N. B.; NÉRIS, L. F. A. Mudanças climáticas e disponibilidades hídricas no semiárido: resultados preliminares. In: SERVAIN, J.; CAMPOS, J. N. B.; MARTINS, E. S. P. P. Clima do Atlântico Tropical e impactos sobre o Nordeste . 1. ed. Fortaleza: FUNCEME/IRD, 2010. v. 1.

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

---

COMPO, G.P.; WHITAKER, J. S.; SARDESHMUKH, P.D. Feasibility of a 100 year reanalysis using only surface pressure data. *Bull. Amer. Met. Soc.*, v. 87, p. 175-190, 2006.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change: *Climate Change 2007: The physical science basis*. Cambridge, 18 p. 2007a.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press: Cambridge, 23 p, 2007b.

LÁZARO, Y.M.C. Avaliação dos modelos do IPCC – AR4 quanto à sazonalidade e à variabilidade plurianual de precipitação no século XX em três regiões da América do Sul - projeções e tendência para o século XXI. Dissertação de Mestrado. 2011. 182f. Fortaleza, Ceará, Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), 2011.

LOPES, J. E. G.; BRAGA JR., B. P. F.; CONEJO, J. G. L. A. Simulação Hidrológica: Aplicações de um Modelo Simplificado. *Anais do III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Fortaleza: [s.n.]. 1981. p. 42-62.

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend.. *Econometrica*, v. 13, p. 245-259, 1945.

MANTUA, N. J. et al. A Pacific Interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, v. 78, p. 1069-1979, 1997.

MANTUA, N. J.; HARE, S. R. The Pacific Decadal Oscillation. *Journal of Oceanography*, v. 58, p. 35-44, 2002.

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)

---

MACEIRA, M.E.P.; PENNA, D.D.J.; DAMÁZIO, J.M. Geração de Cenários Sintéticos de Energia e Vazão para o Planejamento da Operação Energética. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, João Pessoa, 2005.

MACEIRA, M.E.P.; MERCIO, C.M.V.B. Stochastic Sreamflow Model for Hydroelectric Systems. 5th International Conference PMAPS – Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Vancouver, Canada, 1997.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. Impacto das mudanças climáticas no Brasil e Possíveis Cenários Climáticos: Síntese do Terceiro Relatório do IPCC de 2001. CPTEC-INPE, p. 29 2005.

MARENGO J.A., VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. Revista Multiciência Campinas Ed. No. 8 Maio 2007.

MILLY, P. C. D.; DUNNE, K. A.; VECCHIA, A. V. Global pattern of trends in streamflow e water availability in a changing climate. Nature, Vol 438, 17 November 2005|doi:10.1038/nature 04312.

MOLION, L. C. B; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro (RJ), v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

NEW, M., HULME, M., JONES, P.D.,: Representing twentieth century space-time climate variability. Part 1: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. Journal of Climate 12, 829-856, 1999.

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

---

NEW, M., LISTER, D., HULME, M., MAKIN, I.,: A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research* 21, 1-25, 2001.

NOBRE C. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança no clima. In: Brasil, Presidência da República. Núcleo de Assuntos Estratégicos. *Mudança do clima: Negociações Internacionais sobre a Mudança do Clima*. Brasília. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica. V. 1 parte 2, p. 147-216, 2005.

NOBRE, C.A., SELLERS,P.J. AND SHUKLA,J. "Amazonian deforestation and regional climate change". *J. Clim.*, 4, 957-988.1991.

NÓBREGA, M.T., COLLISCHONN, W., TUCCI, C.E.M., PAZ, A.R. Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 15, p. 585–595, 2011.

ONS - Atualização de Séries Históricas de Vazões – 1931 a 2010. Operador Nacional do Sistema – ONS. Brasília. 36p, 2011.

ROCHA, V. B. Uma abordagem de Wavelets Aplicada à Combinação de previsões:

Uma análise teórica e experimental. 2008. 155f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia), Curitiba, 2008.

ROHN, M.C.; KAVISKI, E.; CUNHA, L.M. Estimativa de variáveis hidrológicas a partir de indicadores do fenômeno EL NIÑO. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, ABRH, Curitiba, 2003.

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

---

RUCH, D.K., FLEET, P. J.V.. Wavelet theory: an elementary approach with applications. Segunda edição. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, p480, 2009.

SALAS, J.D.; DELLEUR, J.W.; YEVJEVICH, V.; LANE, W.L. Applied Modeling of Hydrologic Time Series. Water Resources Publications, Colorado. 482p, 1997.

SALATI, T., SCHINDLER, W., VICTORIA, D.C., SALATI, E., SOUZA, J.C.S., NOVA, N.A.V. Economia das Mudanças Climáticas no Brasil. Estimativas da Oferta de Recursos Hídricos no Brasil em Cenários Futuros de Clima. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2008. 80 p.

SANTOS, C. A. C. et al. TENDÊNCIAS DOS ÍNDICES DE PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO CEARÁ. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 22, n. 3, p. 303-312, 2007.

SARNAGLIA, A. J. Q.; REISEN, V. A. Estimação robusta em processos periódicos auto-regressivos na presença de outliers aditivos. 19o SINAPI - Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística. São Pedro-SP: [s.n.]. 2010.

SEBER, G. A. F. Multivariate Observations. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 1984

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau.. Journal of the American Statistical Association, v. 63, p. 1379-1389, 1968.

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

---

SILVEIRA, C.S. ; SOUZA FILHO, F. A; LÁZARO, Y. M. C.; COSTA, A. C.; SALES, D. C.; COUTINHO, M.M. Sazonalidade da Precipitação Sobre o Nordeste Setentrional Brasileiro nas Simulações do IPCC-AR4. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. V.17, n.3, 125-134, 2012.

TOMASELLA, J., RODRIGUEZ, D. A., CUARTAS, L. A., FERREIRA, M., FERREIRA, J. C., FERREIRA, J.C., MARENGO, J. Estudo de impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos superficiais e sobre os níveis dos aquíferos na Bacia do Rio Tocantins. CCST/INPE, Cachoeira Paulista, 2009.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A practical guide to wavelet analysis, Bull. Am. Meteor. Soc., v.79, n.1, p.61-78, 1998.

UVO, C. R. B. e C. A. NOBRE, 1987: A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região norte do Nordeste brasileiro. II Cong. Interamer. Meteor., 30.nov.-04.dez., Buenos Aires, Argentina, 6.9.1-6.

WILKS, D.S Statistical Methods in the Atmospheric Science. San Diego: Academic Press, 467 p, 1995.



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

---

### APÊNDICE A – Aproveitamentos Hidrelétricos do SIN

Tabela 3- Características dos aproveitamentos hidrelétricos do SIN

CÓDIGOS	NOME	BACIA	RIO	SITUAÇÃO	TIPO DE SÉRIE
269	BALBINA	Amazonas	Uatumã	Operação	Natural
288	BELO MONTE	Amazonas	Xingu	Expansão	Natural

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)

302	BELO MONTE Complementar	Amazonas	Xingu	Expansão	Natural
293	BELO MONTE Jusante	Amazonas	Xingu	Expansão	Artificial
292	BELO MONTE Principal	Amazonas	Xingu	Expansão	Artificial
280	COARACY NUNES	Amazonas	Araguari	Operação	Natural
228	COLIDER	Amazonas	Teles Pires	Expansão	Natural
277	CURUA-UMA	Amazonas	Curuá-Una	Operação	Natural
291	DARDANELOS	Amazonas	Aripuanã	Operação	Natural
297	FERREIRA GOMES	Amazonas	Araguari	Expansão	Natural
296	GUAPORE	Amazonas	Guaporé	Operação	Natural
285	JIRAU	Amazonas	Madeira	Expansão	Natural
145	RONDON II	Amazonas	Comemoração	Operação	Natural
279	SAMUEL	Amazonas	Jamari	Operação	Natural
287	SANTO ANTONIO	Amazonas	Madeira	Expansão	Natural
290	SANTO ANTONIO DO JARI	Amazonas	Jari	Expansão	Natural
229	TELES PIRES	Amazonas	Teles Pires	Expansão	Natural
255	IRAPE	Atlântico Leste	Jequitinhonha	Operação	Natural
188	ITAPEBI	Atlântico Leste	Jequitinhonha	Operação	Natural
254	PEDRA DO CAVALO	Atlântico Leste	Paraguaçu	Operação	Natural
283	SANTA CLARA MG	Atlântico Leste	Mucuri	Operação	Natural
115	CAPIVARI CACHOEIRA	Atlântico Sudeste	Capivari-Cachoeira	Operação	Natural
318	HENRY BORDEN	Atlântico Sudeste	Cubatão	Operação	Artificial
116	PEDRAS	Atlântico Sudeste	Rio das Pedras	Operação	Natural
196	ROSAL	Atlântico Sudeste	Itabapoana	Operação	Natural
101	SALTO PILAO	Atlântico Sudeste	Itajá-Açu	Operação	Natural
148	AIMORES	Doce	Doce	Operação	Natural
183	ANTÔNIO DIAS+SÁ CARVALHO	Doce	Piracicaba e Severo	Operação	Natural
141	BAGUARI	Doce	Doce	Operação	Natural
149	CANDONGA	Doce	Doce	Operação	Natural
262	GUILMAN-AMORIM	Doce	Piracicaba	Operação	Natural
144	MASCARENHAS	Doce	Doce	Operação	Natural
263	PORTO ESTRELA	Doce	Santo Antônio	Operação	Natural
134	SALTO GRANDE	Doce	Doce	Operação	Natural
18	AGUAVERMELHA	Grande	Grande	Operação	Natural
14	CACONDE	Grande	Pardo	Operação	Natural
1	CAMARGOS	Grande	Grande	Operação	Natural
8	ESTREITO	Grande	Grande	Operação	Natural
15	EUC DA CUNHA	Grande	Pardo	Operação	Natural
211	FUNIL-GRANDE	Grande	Grande	Operação	Natural

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)  
 CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

6	FURNAS	Grande	Grande	Operação	Natural
10	IGARAPAVA	Grande	Grande	Operação	Natural
2	ITUTINGA	Grande	Grande	Operação	Natural
9	JAGUARA	Grande	Grande	Operação	Natural
16	LIMOEIRO	Grande	Pardo	Operação	Natural
17	MARIMBONDO	Grande	Grande	Operação	Natural
7	MASCARENHAS DE MORAES	Grande	Grande	Operação	Natural
12	PORTO COLOMBIA	Grande	Grande	Operação	Natural
11	VOLTA GRANDE	Grande	Grande	Operação	Natural
81	BAIXO IGUAÇU	Iguaçu	Iguaçu	Expansão	Natural
74	FOZ DO AREIA	Iguaçu	Iguaçu	Operação	Natural
72	FUNDAO	Iguaçu	Jordão/Iratim	Operação	Natural
73	JORDAO	Iguaçu	Jordão e Iguaçu	Operação	Natural
70	JORDÃO	Iguaçu	Jordão e Iguaçu	Operação	Artificial
222	SALTO CAXIAS	Iguaçu	Iguaçu	Operação	Natural
78	SALTO OSORIO	Iguaçu	Iguaçu	Operação	Natural
77	SALTO SANTIAGO	Iguaçu	Iguaçu	Operação	Natural
71	SANTA CLARA PR	Iguaçu	Jordão	Operação	Natural
76	SEGREDO	Iguaçu	Iguaçu	Operação	Natural
75	SEGREDO + DESVIO	Iguaçu	Iguaçu	Operação	Artificial
284	14 DE JULHO	Jacuí	Antas	Operação	Natural
98	CASTRO ALVES	Jacuí	Taquari-Antas	Operação	Natural
114	DONA FRANCISCA	Jacuí	Jacuí	Operação	Natural
110	ERNESTINA	Jacuí	Jacuí	Operação	Natural
113	ITAUBA	Jacuí	Jacuí	Operação	Natural
112	JACUI	Jacuí	Jacuí	Operação	Natural
97	MONTE CLARO	Jacuí	Taquari-Antas	Operação	Natural
111	PASSO REAL	Jacuí	Jacuí	Operação	Natural
259	ITIQUEIRA I E II	Paraguai	Itiquira	Operação	Natural
295	JAURU	Paraguai	Jauru	Operação	Natural
278	MANSO	Paraguai	Manso	Operação	Natural
281	PONTE DE PEDRA	Paraguai	Correntes	Operação	Natural
127	ANTA	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Expansão	Artificial
129	ANTA	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Expansão	Natural
303	FONTES	Paraíba do Sul	Ribeirão das Lajes	Operação	Artificial
123	FUNIL	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Operação	Natural
299	ILHA DOS POMBOS	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Operação	Artificial
130	ILHA POMBOS	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Operação	Natural

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

120	JAGUARI	Paraíba do Sul	Jaguari	Operação	Natural
132	LAJES	Paraíba do Sul	Ribeirão das Lajes	Operação	Artificial
202	LAJES / PEREIRA PASSOS / FONTES	Paraíba do Sul	Ribeirão das Lajes	Operação	Natural
131	NILO PECANHA	Paraíba do Sul	Não definido	Operação	Artificial
121	PARAIBUNA	Paraíba do Sul	Paraibuna-Paraitinga	Operação	Natural
306	PEREIRA PASSOS	Paraíba do Sul	Ribeirão das Lajes	Operação	Artificial
197	PICADA	Paraíba do Sul	Peixe	Operação	Natural
122	SANTA BRANCA	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Operação	Natural
125	SANTA CECILIA	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Operação	Natural
298	SANTA CECÍLIA Bombeamento	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Operação	Artificial
203	SANTANA	Paraíba do Sul	Piraí	Operação	Natural
315	SANTANA	Paraíba do Sul	Ribeirão das Lajes	Operação	Artificial
304	SANTANA Vertimento	Paraíba do Sul	Piraí	Operação	Artificial
126	SIMPLICIO	Paraíba do Sul	Paraíba do Sul	Expansão	Artificial
198	SOBRAGI	Paraíba do Sul	Paraibuna	Operação	Natural
201	TOCOS	Paraíba do Sul	Piraí	Operação	Natural
317	TOCOS Vertimento	Paraíba do Sul	Piraí	Operação	Artificial
316	VIGÁRIO	Paraíba do Sul	Ribeirão das Lajes	Operação	Artificial
44	ILHA SOLTEIRA Equivalente	Paraná	Tietê e Paraná	Operação	Artificial
244	ILHA SOLTEIRA Equivalente	Paraná	Tietê e Paraná	Operação	Natural
34	ILHASOLTEIRA	Paraná	Paraná	Operação	Natural
66	ITAIPU	Paraná	Paraná	Operação	Artificial
266	ITAIPU	Paraná	Paraná	Operação	Natural
45	JUPIA	Paraná	Paraná	Operação	Artificial
245	JUPIA	Paraná	Paraná	Operação	Natural
46	PORTO PRIMAVERA	Paraná	Paraná	Operação	Artificial
246	PORTO PRIMAVERA	Paraná	Paraná	Operação	Natural
154	SÃO DOMINGOS	Paraná	Verde	Expansão	Natural
248	BARRA DOS COQUEIROS	Paranaíba	Claro	Operação	Natural
22	BATALHA	Paranaíba	São Marcos	Expansão	Natural
32	CACHOEIRA DOURADA	Paranaíba	Paranaíba	Operação	Natural
247	CAÇU	Paranaíba	Claro	Operação	Natural
207	CAPIM BRANCO 1	Paranaíba	Araguari	Operação	Natural
28	CAPIM BRANCO 2	Paranaíba	Araguari	Operação	Natural
209	CORUMBA 1	Paranaíba	Corumbá	Operação	Natural
205	CORUMBA 4	Paranaíba	Corumbá	Operação	Natural
23	CORUMBA III	Paranaíba	Corumbá	Operação	Natural
24	EMBORCACAO	Paranaíba	Paranaíba	Operação	Natural

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

99	ESFORA	Paranaíba	Corrente	Operação	Natural
261	FOZ DO RIO CLARO	Paranaíba	Claro	Operação	Natural
31	ITUMBIARA	Paranaíba	Paranaíba	Operação	Natural
206	MIRANDA	Paranaíba	Araguari	Operação	Natural
25	NOVA PONTE	Paranaíba	Araguari	Operação	Natural
294	SALTO	Paranaíba	Verde	Operação	Natural
241	SALTO VERDINHO	Paranaíba	Verde	Operação	Natural
33	SAO SIMAO	Paranaíba	Paranaíba	Operação	Natural
251	SERRA FACAO	Paranaíba	São Marcos	Operação	Natural
52	CANOAS 1	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
51	CANOAS 2	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
61	CAPIVARA	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
49	CHAVANTES	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
47	JURUMIRIM	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
50	LUCAS GARCEZ	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
57	MAUÁ	Paranapanema	Tibagi	Expansão	Natural
249	OURINHOS	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
48	PIRAJU	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
63	ROSANA	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
62	TAQUARUCU	Paranapanema	Paranapanema	Operação	Natural
190	BOA ESPERANÇA	Paranaíba	Paranaíba	Operação	Natural
176	PAULO AFONSO -MOXOTÓ	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
172	ITAPARICA	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
171	ITAPARICA Incremental	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
173	MOXOTO	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
175	PAULO AFONSO	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
158	QUEIMADO	São Francisco	Preto	Operação	Natural
155	RETIRO BAIXO	São Francisco	Paraopeba	Operação	Natural
169	SOBRADINHO	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
168	SOBRADINHO Incremental	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
156	TRES MARIAS	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
178	XINGÓ	São Francisco	São Francisco	Operação	Natural
38	BARIRI	Tietê	Tietê	Operação	Artificial
238	BARIRI	Tietê	Tietê	Operação	Natural
37	BARRA BONITA	Tietê	Tietê	Operação	Artificial
237	BARRA BONITA	Tietê	Tietê	Operação	Natural
118	BILLINGS	Tietê	Pinheiros	Operação	Natural
319	BILLINGS	Tietê	Pinheiros	Operação	Artificial

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> admfcpc@fcpc.ufc.br

161	EDGARD DE SOUZA C/ Tributários	Tietê	Tietê	Operação	Natural
164	EDGARD DE SOUZA S/ Tributários	Tietê	Tietê	Operação	Natural
117	GUARAPIRANGA	Tietê	Guarapiranga	Operação	Natural
39	IBITINGA	Tietê	Tietê	Operação	Artificial
239	IBITINGA	Tietê	Tietê	Operação	Natural
42	NOVA AVANHANDAVA	Tietê	Tietê	Operação	Artificial
242	NOVA AVANHANDAVA	Tietê	Tietê	Operação	Natural
109	PEDREIRA	Tietê	Pinheiros	Operação	Natural
160	PONTE NOVA	Tietê	Tietê	Operação	Natural
40	PROMISSAO	Tietê	Tietê	Operação	Artificial
240	PROMISSAO	Tietê	Tietê	Operação	Natural
104	TRAIÇÃO	Tietê	Pinheiros	Operação	Natural
43	TRES IRMAOS	Tietê	Tietê	Operação	Artificial
243	TRES IRMAOS	Tietê	Tietê	Operação	Natural
119	BILLINGS + PEDRAS	Tietê/Cubatão	Pinheiros/Pedras	Operação	Natural
191	CANA BRAVA	Tocantins	Tocantins	Operação	Natural
271	ESTREITO TOCANTINS	Tocantins	Tocantins	Operação	Natural
273	LAJEADO	Tocantins	Tocantins	Operação	Natural
257	PEIXE ANGICAL	Tocantins	Tocantins	Operação	Natural
253	SÃO SALVADOR	Tocantins	Tocantins	Operação	Natural
270	SERRA DA MESA	Tocantins	Tocantins	Operação	Natural
275	TUCURUI	Tocantins	Tocantins	Operação	Natural
215	BARRA GRANDE	Uruguai	Pelotas	Operação	Natural
216	CAMPOS NOVOS	Uruguai	Canoas	Operação	Natural
94	FOZ CHAPECÓ	Uruguai	Uruguai	Operação	Natural
89	GARIBALDI	Uruguai	Canoas	Expansão	Natural
92	ITÁ	Uruguai	Uruguai	Operação	Natural
217	MACHADINHO	Uruguai	Pelotas	Operação	Natural
220	MONJOLINHO	Uruguai	Passo Fundo	Operação	Natural
93	PASSO FUNDO	Uruguai	Passo Fundo	Operação	Natural
103	PASSO SÃO JOÃO	Uruguai	Ijuí	Expansão	Natural
286	QUEBRA QUEIXO	Uruguai	Chapecó	Operação	Natural
102	SÃO JOSÉ	Uruguai	Ijuí	Operação	Natural

Fonte: ONS, 2011b

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: admfcpc@fcpc.ufc.br  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6



## Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura

AV. DA UNIVERSIDADE, 2995 – BENFICA

CEP 60.020-181 – FORTALEZA-CEARÁ.

CP. 12.132 – CNPJ 05.330.436/0001-62.

FONE (85) 3521.3444 - FAX (85) 3243.5381.

<http://www.fcpc.ufc.br/> [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)

---

Av. da Universidade, 2995 - Benfica – Fortaleza – Ceará

Tel.: (85) 3521 3444 – Fax: (85) 3243 5381 - E-mail: [admfcpc@fcpc.ufc.br](mailto:admfcpc@fcpc.ufc.br)  
CNPJ: 05.330.436/0001-62 - Inscrição Estadual: 06.840.206-6