



**PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS**

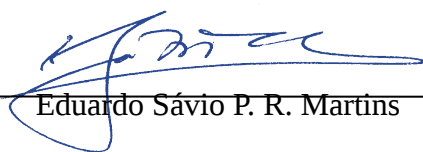


PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO
PROJETO BRA/06/032
ENQUADRAMENTO PNUD: R.1 P1.17
Carta de Acordo nº 25647/2014 (RC) – SAE – FCPC

Adaptação às Mudanças do Clima: Cenários e Alternativas – Recursos
Hídricos

Produto 2 – Balanço Hídrico 2010-2040

Responsável:



Eduardo Sávio P. R. Martins

Fortaleza, 12 de fevereiro de 2015



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

RELATÓRIO II

CARTA ACORDO Nº 25647/2014
PNUD/SAE/FCPC

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

Fortaleza



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

Sumário

1.	Introdução.....	10
1.2.	Objetivos	11
2.	O Sistema Interligado Nacional (SIN).....	12
2.1.	Método de Obtenção de Vazões Naturais	12
2.2.	Postos Bases	17
3.	Metodologia	20
3.1.	Base de Dados	20
3.2.	Cenários do CMIP5	21
3.3.	Modelo Eta	22
3.4.	Correção estatística da precipitação	23
3.5.	Método de estimativa de evapotranspiração potencial-Hangreaves	25
3.6.	O modelo hidrológico SMAP	26
3.7.	Modelo de regressões	29
3.8.	Análise das Projeções	30
3.8.1.	Cálculo das Anomalias Médias Anuais	30
3.8.2.	Análise de tendência das precipitações anuais	31
4.	Resultados.....	36
4.1.	Análise das vazões de referência - Clima Presente	36
4.1.1.	Análise da sazonalidade e correlação espacial do SIN	36
4.1.2.	Análise da variabilidade interanual	41
4.2.	Análise das variáveis meteorológicas do Eta	52
4.3.	Análise das variáveis hidrológicas do Eta – SMAP	60



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

4.4. Análise das anomalias do modelo de regressões	65
4.4.1. Teste de sensibilidade das regressões	65
4.4.2. Anomalias das regressões	67
4.5. Distribuição espacial das anomalias de vazões do SIN.....	69
5. Conclusões.....	75
6. Referências.....	77
APÊNDICE A – Aproveitamentos Hidrelétricos do SIN.....	82

Figuras

Figura 1-(a) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b	12
Figura 2-(b) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b	13
Figura 3-(c) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b	13
Figura 4-(d) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b	14
Figura 5- (e) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b.	14
Figura 6- Distribuição espacial dos Postos Base utilizados pelo ONS.	16
Figura 7-Cenários do IPCC-AR5 e forçante radiativa antropogênica global para cada um deles.	19
Figura 8- Área de simulação do modelo regional.	20
Figura 9-- Correção de viés usando a função de distribuição gama para precipitação..	21
Figura 10-Eschema conceitual do modelo chuva-deflúvio SMAP. Fonte: LOPES <i>et al.</i> (1981).	23
Figura 11-Bacias de alguns postos bases do setor elétrico.	25
Figura 12-(a) Vazões médias mensais centralizadas organizadas por bacias hidrográficas.	34
Figura 13-(b) Vazões médias mensais centralizadas organizadas por bacias hidrográficas.	35
Figura 14-Correlação entre as séries históricas de vazões médias mensais afluentes aos 88 Postos Base com a identificação das respectivas bacias hidrográficas.	36
Figura 15-Mapa de Tendências segundo o método de Mann-Kendall-Sem.	37
Figura 16-Tendências das vazões anuais médias para o posto fluviométrico de Itaipú (Posto 266).	38
Figura 17-Tendências das vazões anuais médias para o posto fluviométrico de Furnas (Posto 6).	39

Figura 18- Tendências das vazões anuais médias para o posto fluviométrico Sobradinho (Posto 169).....	39
Figura 19-Tendências das vazões anuais médias para o posto fluviométrico Paulo Afonso (Posto 175).....	40
Figura 20- Oscilação Decadal do Pacífico – 1900-2010.....	41
Figura 21-Bandas de 1 a 8, de 9 a 39 anos e baixa frequência da transformada de Wavelets : (a)Itaipú (Posto 266) e (b)Furnas (Posto 6).....	42
Figura 22-Bandas de 1 a 8, de 9 a 39 anos e baixa frequência da transformada de Wavelets : Sobradinho (Posto 169) e Paulo Afonso (Posto 175).....	43
Figura 23-Fração das Variâncias (a) Banda 1 (1 a 8 anos);(b) Fração das Variâncias – Banda 2 (9 a 39 anos) e (c) Fração das Variâncias – Banda 3 (Baixa Frequência).....	44
Figura 24- Anomalia de temperatura média(°C) para o período 2010 a 2040 para o modelo regional Eta forçados por dois modelos globais MIROC5 (cenários RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita) e HG2ES(RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita).....	46
Figura 25-Anomalia de temperatura média(°C) para o período 2041 a 2070 para o modelo regional Eta forçados por dois modelos globais MIROC5 (cenários RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita) e HG2ES(RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita).....	47
Figura 26-Anomalia de temperatura média(°C) para o período 2071 a 2098 para o modelo regional Eta forçados por dois modelos globais MIROC5 (cenários RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita) e HG2ES(RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita).....	48
Figura 27-Anomalia de precipitação média anual (%) para o período 20110 a 2040 para o modelo regional Eta forçados por dois modelos globais MIROC5 (cenários RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita) e HG2ES(RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita)..	49
Figura 27-Anomalia de precipitação média anual (%) para o período 2041 a 2070 para o modelo regional Eta forçados por dois modelos globais MIROC5 (cenários RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita) e HG2ES(RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita)..	50
Figura 28-Anomalia de precipitação média anual (%) para o período 2071 a 2099 para o modelo regional Eta forçados por dois modelos globais MIROC5 (cenários RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita) e HG2ES(RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita).	51

Figura 30-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.	52
Figura 31-Anomalia de vazões médias anuais para os períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099 para o modelo global MIROC5-RCP8.5 e modelo regional Eta forçados por este modelo global.....	54
Figura 32-Anomalia de vazões médias anuais, evapotranspiração e precipitação para Furnas para os períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099 dos modelos.....	55
Figura 33-Anomalia de vazões médias anuais, evapotranspiração e precipitação para Itaipu para os períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099 dos modelos.....	56
Figura 34-Anomalia de vazões médias anuais, evapotranspiração e precipitação para Sobradinho para os períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099 dos modelos....	57
Figura 35-Anomalia de vazões médias anuais, evapotranspiração e precipitação para Tucuruí para os períodos de 2010 a 2039, 2041 a 2070 e 2071 a 2099 dos modelos.....	58
Figura 36- Teste de sensibilidade do modelo de regressões para os postos: Mascarenhas de Moraes (7), Capivara(61) e Jupuíá(245).....	59
Figura 37-Anomalia de vazões médias anuais(%) para os períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099 para os modelos com base nas regressões.....	61
Figura 38-Anomalia de vazões médias anuais(%) para os período de 2011 a 2040, segundo o modelo ETA forçado pelo MIROC5.....	62
Figura 39-Anomalia de vazões médias anuais(%) para os período de 2011 a 2040, segundo o modelo ETA forçado pelo HG2ES.....	63
Figura 40-Anomalia de vazões médias anuais(%) para os período de 2041 a 2070, segundo o modelo ETA forçado pelos modelos globais MIROC5 e HG2ES.....	64
Figura 41-Anomalia de vazões médias anuais(%) para os período de 2071 a 2099, segundo o modelo ETA forçado pelos modelos globais MIROC5 e HG2ES.....	65
Figura 42-Tendência para os período de 2011 a 2099, segundo o modelo ETA forçado pelos modelos globais MIROC5 e HG2ES.em vermelho tendência negativa e azul tendência.	66



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



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

Tabelas

Tabela 1- Postos Bases utilizados na análise de previsão de vazões. Os valores entre parênteses representam os indicadores de postos fictícios do ONS.....	16
Tabela 2-Lista de modelos globais do CMIP5 utilizados como forçante do modelo regional Eta.....	20
Tabela 3- Parâmetros do SMAP.....	25
Tabela 4-Postos Bases utilizados na análise da sazonalidade e correlação espacial.....	32
Tabela 5- Declividade de Sen para 21 postos, para todos eles o SMAP será usado, conforme seção 4.2.....	37
Tabela 6- Características dos aproveitamentos hidrelétricos do SIN.....	73

1. Introdução

O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, na sigla em inglês) 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.

O projeto “BRASIL 3 TEMPOS” BRA/06/032, executado pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), tem como objetivo desenvolver estratégias e ações nacionais que subsidiem o governo na formulação e implementação de políticas públicas de longo prazo que promovam o crescimento econômico do país, acompanhado de inclusão social. Essas ações serão realizadas por meio de estudos, produtos e eventos sobre temas de grande importância para o planejamento estratégico brasileiro como é o caso dos recursos hídricos e setores usuários, no caso em questão, energia.

A matriz energética brasileira é basicamente constituída por energias consideradas limpas, principalmente provenientes de hidroelétricas. A hegemonia da hidroeletricidade na matriz de energia elétrica brasileira impõe cautelosa análise sobre o regime fluvial e seus padrões de variação temporal, tendo em vista o significativo impacto que estas variações podem produzir na oferta de energia, e conseqüentemente, em toda a economia nacional (ALVES et al., 2013).

Diante disso, existe uma demanda pelo Estado e pelas empresas privadas por informações climáticas para tomada de decisão ao nível regional/local de médio e longo prazo. Informações de variabilidade e mudanças climáticas de qualidade podem tornar o planejamento energético mais eficaz e minimizar os potenciais impactos sobre a disponibilidade deste recurso (BANCO MUNDIAL, 2010).

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 Intergovernment Panel on Climate Change (IPCC) 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).

1.2. Objetivos

- Análise das variáveis meteorológicas a ser utilizada como variáveis de entrada no modelo hidrológico: precipitação e temperatura média.
- Cálculo de anomalias e tendências das variáveis meteorológicas para o século XXI.
- Calibração dos parâmetros do modelo hidrológico para as bacias do Sistema Interligado Nacional (SIN).
- Estimativa dos parâmetros das regressões dos postos que não utilizam o modelo hidrológico.
- Análise do impacto das mudanças climáticas nas variáveis hidrológicas: evapotranspiração potencial e vazão.
- Cálculo de anomalias e tendências das variáveis hidrológicas para o século XXI.

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, onde 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).

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 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.

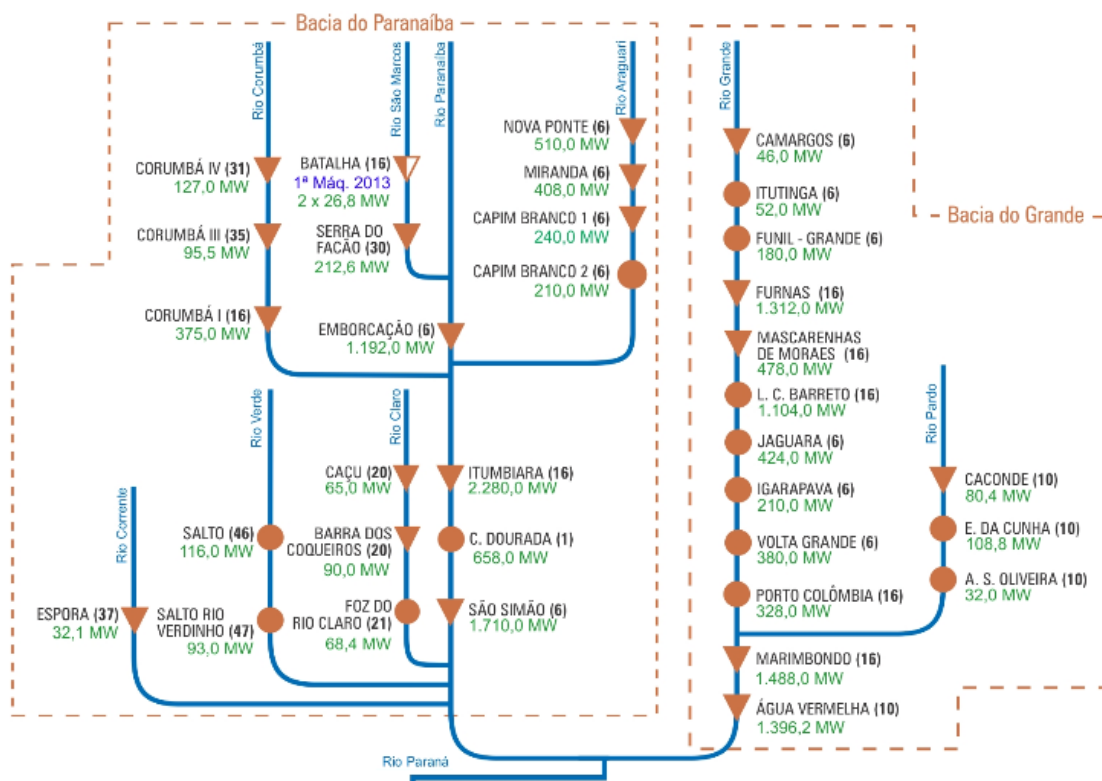


Figura 1-(a) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b

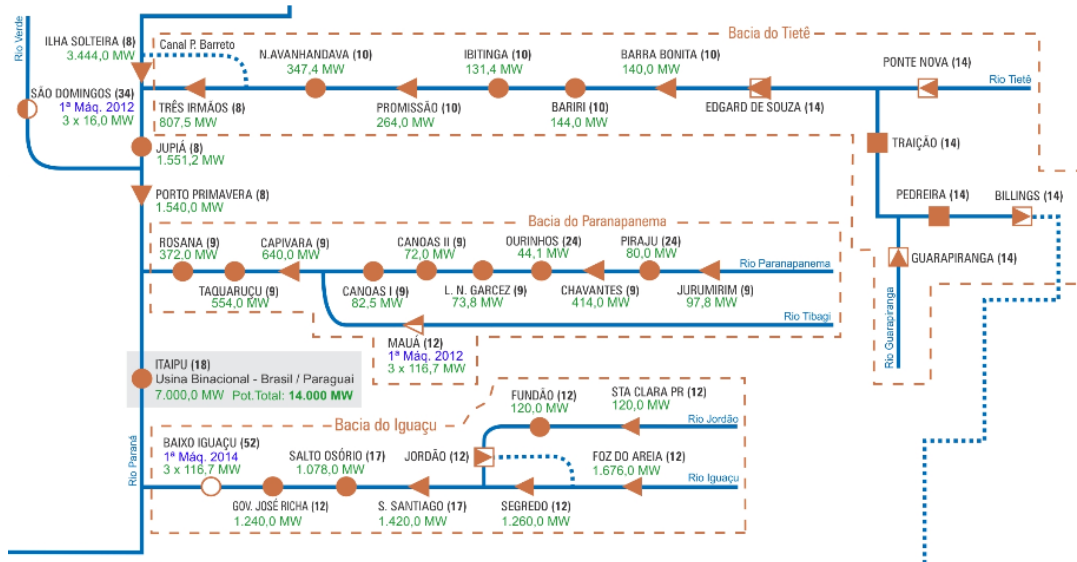


Figura 2-(b) Aproveitamento hidroelétrico do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b



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

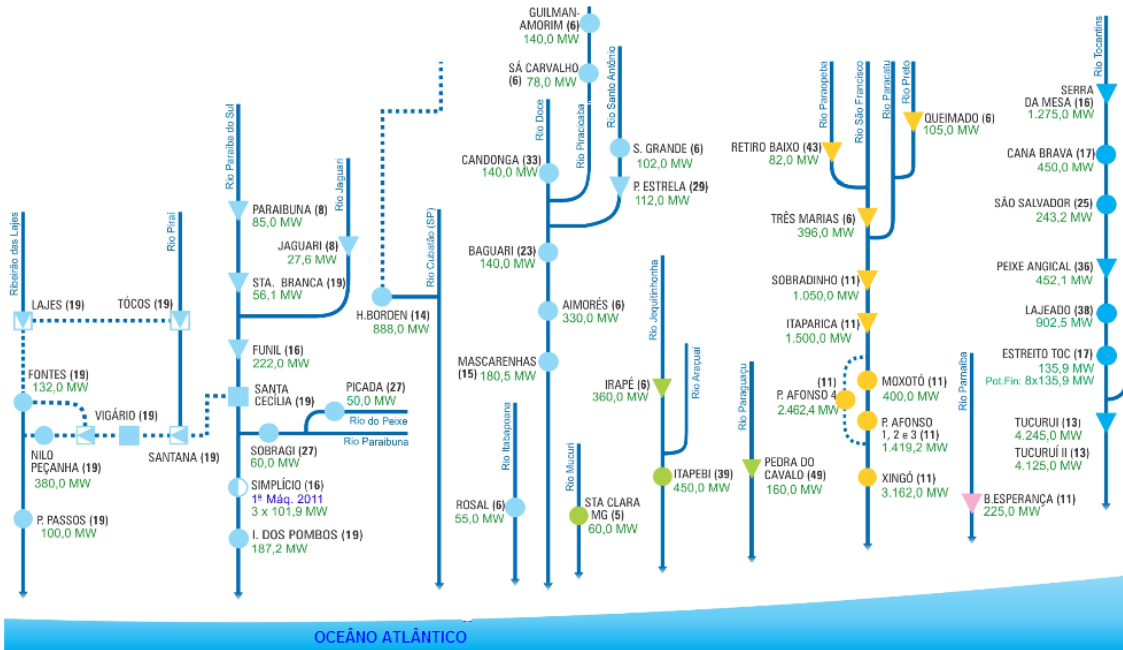


Figura 4-(d) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b

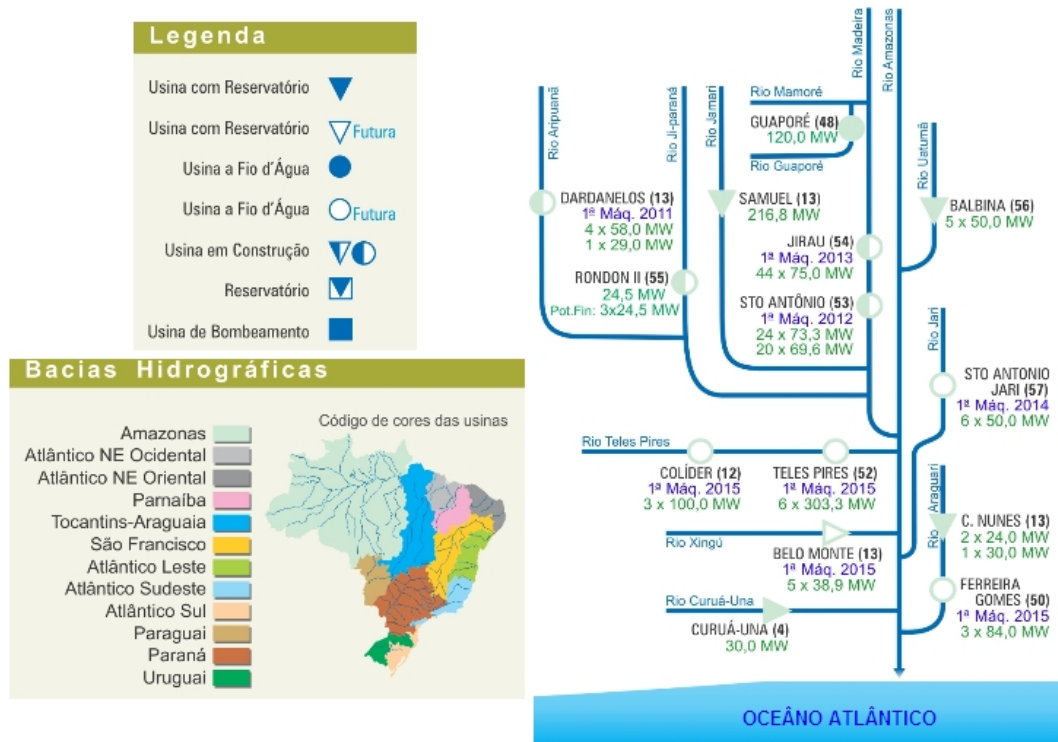


Figura 5- (e) Aproveitamento hidroelétricos do SIN divididos por bacia. Fonte: ONS, 2011b

2.2. Postos Bases

O ONS trata os aproveitamentos hidroelétricos do SIN como posto fictício nos seguintes casos: reservatórios de acumulação de usinas hidroelétricas, usinas a fio d'água, grupo de usinas agregadas, usinas considerando suas bacias hidrográficas de forma integral ou parcial, usinas com bacias hidrográficas sob influência de reservatórios a montante ou entrada/saída de vazões pontuais. Os postos fictícios podem ser também usinas planejadas ou em construção para verificação do seu comportamento individual e inserida no Sistema.

Desta forma, verifica-se que um mesmo aproveitamento hidroelétrico pode conter mais de um posto fictício, utilizado com objetivo de representar diferentes configurações e/ou critérios de operação e planejamento do Sistema. Todos os postos fictícios possuem uma série de vazões naturalizadas (VNA), até o fim de 2010 o SIN contava com 206 postos fictícios de acordo com ONS (2011b). A caracterização dos 206 postos fictícios que formam o SIN pode ser observada no APÊNDICE A.

A partir das metodologias e/ou critérios utilizados na previsão de vazões, e levando em consideração a estrutura correlacional das VNA's para os postos fictícios, o ONS adotou a realização de previsão de vazões para um subconjunto de aproveitamentos hidroelétricos considerados representativos das diferentes bacias, denominados de Postos Base (PB's). No restante dos postos fictícios, as vazões são previstas através de regressões lineares mensais a partir dos dados previstos nos PBs, complementando assim as previsões de vazões em todo o SIN.

O ONS trabalha atualmente com um número total de 88 PBs representativos dos diversos regimes hidrográficos regionais encontrados em território brasileiro. Neste trabalho foram utilizados como dados amostrais as VNAs mensais dos 88 PBs para análise da correlação espacial do clima presente e todos os postos disponíveis para análise da mudança climática no setor elétrico. Os PBs são relacionados na Tabela 1 e sua distribuição espacial é apresentada na Figura 6, enquanto os demais postos são mostrados no apêndice A.



Figura 6- Distribuição espacial dos Postos Base utilizados pelo ONS.

Tabela 1- Postos Bases utilizados na análise de previsão de vazões. Os valores entre parênteses representam os indicadores de postos fictícios do ONS.

Identificador		Nome do Posto Base	Identificador		Nome do Posto Base
PB	ONS		PB	ONS	
1	1	Camargos (1)	45	254	Pedra do Cavalo (254)
2	6	Furnas (6)	46	168	Sobradinho Incremental (168)
3	14	Caconde (14)	47	259	Itiquira I e II (259)
4	17	Marimondo (17)	48	278	Manso (278)
5	18	Água Vermelha (18)	49	281	Ponte de Pedra (281)
6	24	Emborcação (24)	50	295	Jauru (295)
7	25	Nova Ponte (25)	51	296	Guaporé (296)
8	31	Itumbiara (31)	52	190	Boa Esperança (190)
9	32	Cachoeira Dourada (32)	53	191	Cana Brava (191)
10	33	São Simão (33)	54	253	São Salvador (253)
11	34	Ilha Solteira (34)	55	257	Peixe Angical (257)
12	99	Espora (99)	56	270	Serra da Mesa (270)
13	117	Guarapiranga (117)	57	271	Estreito Tocantins (271)
14	119	Billings + Pedras (119)	58	273	Lajeado (273)
15	120	Jaguari (120)	59	275	Tucuruí (275)
16	121	Paraibuna (121)	60	145	Rondon II (145)
17	155	Retiro Baixo (155)	61	277	Curuá-Una (277)
18	156	Três Marias (156)	62	279	Samuel (279)
19	158	Queimado (158)	63	287	Santo Antonio (287)
20	160	Alto Tietê (160)	64	291	Dardanelos (291)
21	164	Edgard de Souza S/Tribut. (164)	65	266	Itaipu (266)
22	205	Corumbá IV (205)	66	246	Porto Primavera (246)
23	206	Miranda (206)	67	47	A.A. Laydner (47) - Jurumirim
24	209	Corumbá I (209)	68	61	Capivara (61)
25	211	Funil-Grande (211)	69	63	Rosana (63)
26	237	Barra Bonita (237)	70	115	Gov. Parigot de Souza (115)
27	240	Promissão (240)	71	71	Santa Clara PR (71)
28	242	Nova Avanhandava (242)	72	72	Fundão (72)
29	243	Três Irmãos (243)	73	73	Desvio Jordão (73) - Natural
30	245	Jupia (245)	74	74	Foz Do Areia (74)
31	247	Caçu (247)	75	76	Segredo (76)
32	251	Serra do Facão (251)	76	77	Salto Santiago (77)
33	294	Salto (294)	77	78	Salto Osório (78)
34	125	Sta. Cecília (125)	78	92	Itá (92)
35	130	Ilha dos Pombos (130)	79	93	Passo Fundo (93)
36	134	Salto Grande (134)	80	94	Foz do Chapecó (94)
37	144	Mascarenhas (144)	81	98	Castro Alves (98)
38	149	Candongá (149)	82	101	Salto Pilão (101)
39	188	Itapebi (188)	83	102	São José (102)
40	196	Rosal (196)	84	111	Passo Real (111)
41	197	Picada (197)	85	215	Barra Grande (215)
42	201	Tocos (201)	86	216	Campos Novos (216)
43	255	Irapé (255)	87	220	Monjolinho (220)
44	283	Santa Clara MG (283)	88	286	Quebra Queixo (286)

3. Metodologia

A metodologia divide-se, basicamente, em quatro etapas. A primeira consiste em obter as evapotranspirações potenciais a partir dos modelos do IPCC-AR5, 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 o 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. Desta forma é possível quantificar a sensibilidade da oferta à variabilidade e as (às) mudanças climáticas.

3.1. Base de Dados

Os dados hidrometeorológicos históricos foram reunidos a partir de informações de pluviômetros (precipitação, em mm), de estações fluviométricas (vazão, em m³/s) e de estações meteorológicas (temperatura média do ar, em °C; insolação, em horas; umidade relativa do ar, em %).

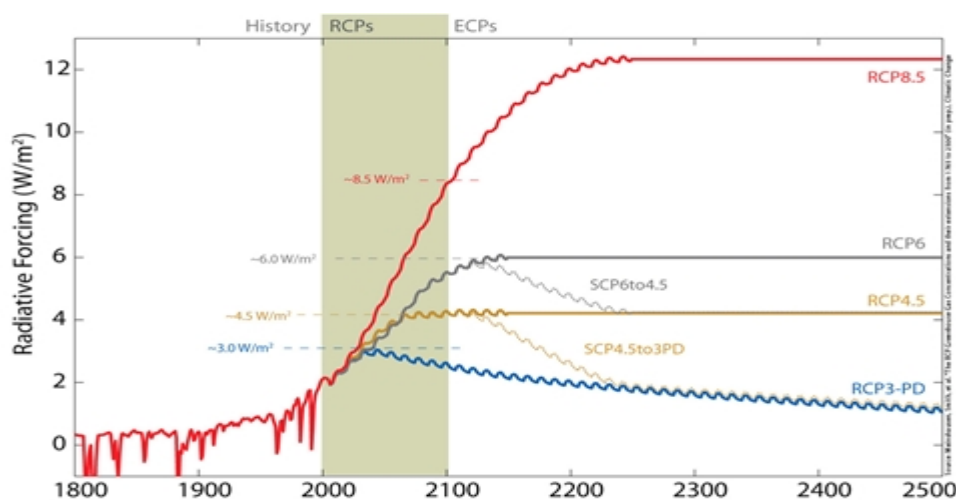
Essas informações foram obtidas na escala de tempo diária, a partir da base de dados da Agência Nacional das Águas (ANA) para o caso dos pluviômetros e das estações fluviométricas, e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o caso das estações meteorológicas. As vazões utilizadas para calibração do modelo hidrológico e para o modelo de regressões são obtidas junto o ONS, totalizando 206 postos fictícios.

Além disso, dados mensais de precipitação (em mm), temperatura média, máxima e mínima do ar (em °C) foram obtidas a partir da base do *Climate Research Unit* (CRU TS3.21, www.cru.uea.ac.uk/data). O CRU TS3.21 disponibiliza esses dados em alta resolução com uma grade regular de 0,5° x 0,5° para um período que se estende de 1901 até 2012.

Para a análise dos impactos das mudanças climáticas no setor elétrico são utilizadas as simulações disponibilizadas pelo INPE a partir do modelo atmosférico regional Eta, forçado por diferentes modelos globais do CMIP5 para diferentes cenários de emissões de gases estufa.

3.2. 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 $W.m^{-2}$. Na Figura 7 é mostrado o comportamento dos principais cenários do IPCC-AR5: RCP8.5, RCP6, RCP4.5 e RCP3-PD. Neste trabalho serão 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.

3.3. 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 possui 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 2-Lista de modelos globais do CMIP5 utilizados como forçante do modelo regional Eta.

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

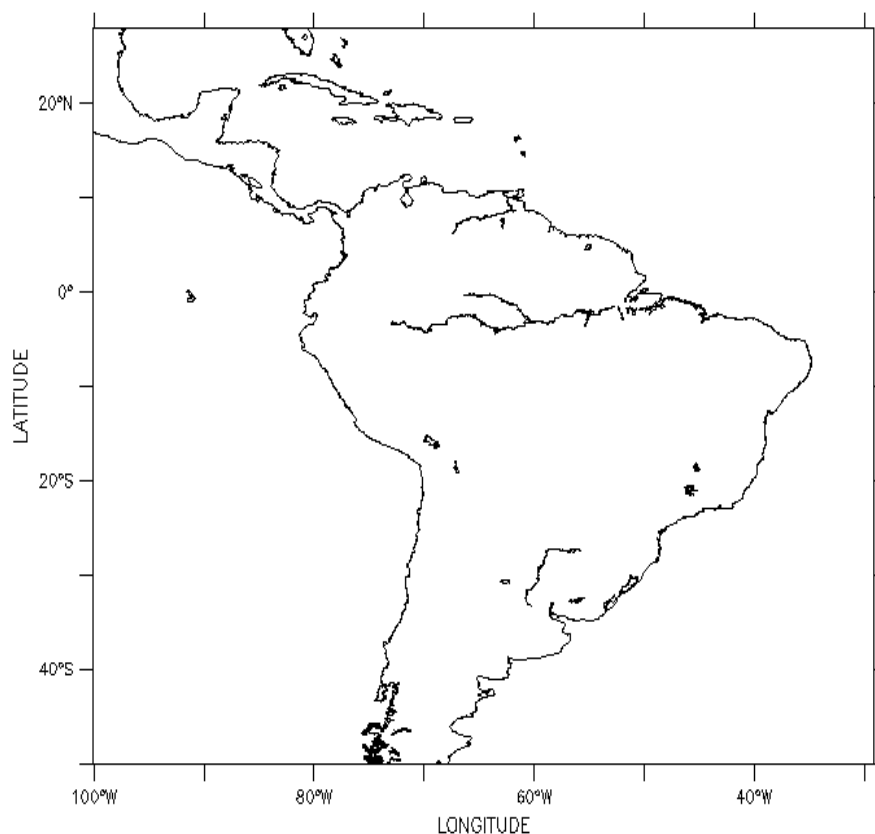


Figura 8- Área de simulação do modelo regional.

3.4. Correção estatística da precipitação

Uma distribuição probabilística muito utilizada para a representação de variáveis hidrológicas que apresentam versatilidade de formas e coeficientes de assimetria das variáveis é a distribuição gama. Esse modelo possui numerosas aplicações bem sucedidas em modelagem de vazões, porém, a distribuição gama também pode ser aplicada para análises de precipitação de duração diárias, semanais, mensais e anuais. Para o presente trabalho a correção estatística via função gama é feita nas séries de precipitações mensais dos modelos.

Para a correção gama foi utilizado um ajuste de viés seguindo os seguintes passos:

1º - Ajuste da distribuição gama para os dados observados;

- 2º - Ajuste da distribuição gama para os dados de precipitação dos modelos para o século XX para identificar o problema no ajuste do viés;
- 3º - Correção das precipitações do século XX.

A Figura 9 descreve a relação entre a probabilidade acumulada e a precipitação. O mapeamento da probabilidade foi utilizado para correção do viés da precipitação mensal baseando-se em duas funções de distribuição acumulativa (FDA), sendo uma a função obtida por meio de dados modelados e a outra função obtida por meio de dados observados. Cada FDA encaixa-se com uma distribuição gama, salvando os parâmetros de forma e escala.

A correção obtida para o século XXI segue processo semelhante, porém os parâmetros utilizados para correção das precipitações são o da série modelada do século XX. Admitindo que o viés do modelo no século XX seja mantido no século XXI.

Maiores detalhes da correção estatística utilizada podem ser encontrados em Fernandes (2012).

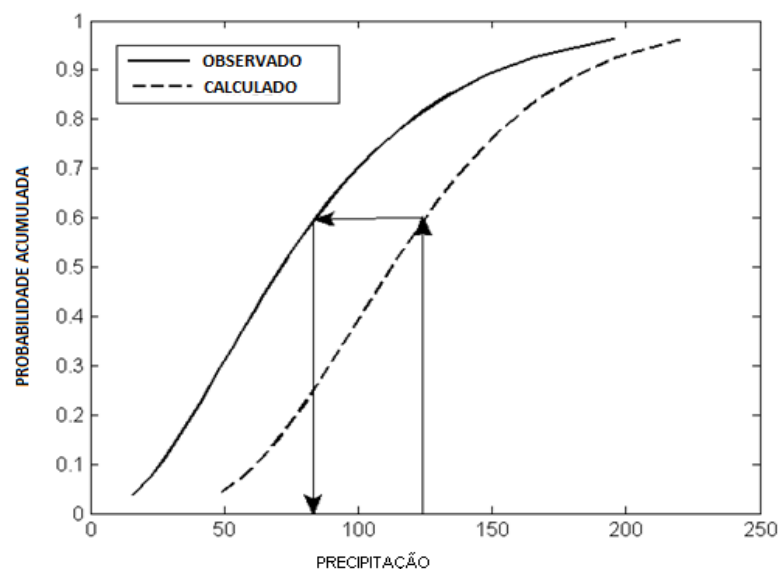


Figura 9-- Correção de viés usando a função de distribuição gama para precipitação.

3.5. Método de estimativa de evapotranspiração potencial-Hangreaves

O modelo de Hargreaves para evapotranspiração (HARGREAVES, 1974; WU, 1997), é utilizado para estimar as evapotranspirações nas bacias do setor elétrico. Esse método é apresentado na Equação 1 e utiliza somente três variáveis de entrada: temperatura máxima, mínima e média.

A escolha desse método dá-se ao fato de que a temperatura é, provavelmente, a variável de mais fácil disponibilidade. E é a suposição de que a temperatura serve como indicativo de capacidade evaporativa da atmosfera que fomenta os métodos de estimativa de evapotranspiração baseados na temperatura, tal como o modelo de Hargreaves.

Hargreaves e Samani (1985) desenvolveram um método de obtenção de evapotranspiração considerando que a porção da radiação que atinge a superfície terrestre é a principal fonte de energia. Eles mostraram que essa radiação pode ser estimada pela diferença entre os máximos e mínimos de temperaturas diárias: quando há céu claro, a temperatura máxima é alta durante o dia, já que a radiação incide na superfície sem a interferência da cobertura de nuvens, e baixas durante a noite devido à irradiação da radiação de ondas longas. O contrário ocorre quando há nebulosidade, temperatura máxima menor durante o dia, e maior durante a noite.

$$ETp = 0.0023 \cdot \left(\frac{S_0}{\lambda}\right) \cdot (tas + 17.8) \cdot (tasmx - tasmin) \quad (1)$$

Onde,

- ETp é a evapotranspiração potencial (mm/dia)
- S_0 é a radiação solar externa (kJ/m^2)
- l é o calor latente da evaporação
- tas é a temperatura média (C)
- $tasmx$ é temperatura máxima (C)
- $tasmin$ é a temperatura mínima (C)

$$S_0 = 15.392 \times d_r \times (w_s \times \text{sen}(lat) \times \text{sen}(\text{declinação}) + \text{cos}(lat) \times \text{cos}(\text{declinação}) \times \text{sen}(w_s))$$

(2)

$$Declinação = 0.4093 \times \text{sen} \left(2 \times \pi \times \frac{n}{365} - 1405 \right) \quad (3)$$

$$w_s = \arccos(\tan(lat) \times \tan(declinação)) \quad (4)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(2 \times \pi \times \frac{n}{365}\right) \quad (5)$$

$$lat = y \times \frac{\pi}{180} \quad (6)$$

Onde,

- é declinação solar descrita na equação 3
- é o ângulo em radianos do pôr do sol
- é a distancia relativa entre o planeta Terra e o Sol descrita na equação 5
- é o valor da latitude média da bacia em radianos 6
- y é o valor da latitude em graus

3.6. O modelo hidrológico SMAP

O modelo chuva-vazão *Soil Moisture Accounting Procedure* – SMAP (LOPES *et al.*, 1981) é do tipo conceitual, determinístico e de estrutura concentrada. Este modelo faz parte da grande família dos modelos hidrológicos de cálculo de umidade do solo. Sua estrutura é relativamente simples, cujos parâmetros são relacionados com parâmetros físicos médios da bacia.

O SMAP, em sua versão mensal, utiliza em seu esquema conceitual dois reservatórios lineares representando o solo (camada superior) e o aquífero, como pode ser visualizado na Figura 10. A cada evento de precipitação (P) é realizado um balanço de massa. Uma parcela de (P) é transferida como escoamento superficial (Es). Este cálculo é feito através da equação do “*Soil Conservation Service*” (SCS) para escoamento superficial. A lâmina restante da precipitação subtraída do escoamento superficial (P-E_s) sofre perda por evaporação em nível de evaporação potencial (Ep), logo a lâmina remanescente (P-E_s-Ep) é adicionada a um reservatório que representa a camada superior

do solo. Neste, a umidade é atualizada ao longo do tempo através das perdas por evapotranspiração real (E_r) que dependem do nível do reservatório (R_{solo}) e da capacidade de saturação do solo (Sat). Outra saída deste reservatório é a recarga no reservatório subterrâneo (Rec) onde é utilizado o conceito de capacidade de campo ($Capc$) para determiná-la. Este terceiro reservatório também é linear e o nível de água existente (R_{sub}) é deplecionado a uma taxa constante de recessão do escoamento básico (K), resultando em escoamento básico (E_b). A soma do escoamento superficial e básico fornece a vazão no ponto de controle da bacia.

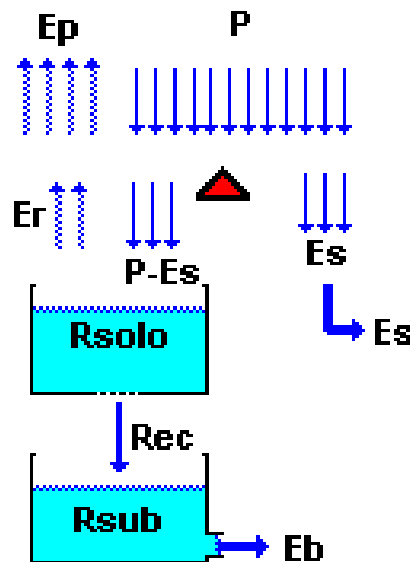


Figura 10-Esquema conceitual do modelo chuva-deflúvio SMAP. Fonte: LOPES *et al.* (1981)

O SMAP mensal possui quatro parâmetros: capacidade de saturação do solo (Sat); parâmetro que controla o escoamento superficial (PEs); coeficiente de recarga, parâmetro relacionado com a permeabilidade na zona não saturada do solo ($Crec$); taxa de deplecionamento (K) do nível (R_{sub}) que gera o escoamento de base (E_b); Outras duas variáveis de estado precisam ter seus valores inicializados: taxa de umidade do solo inicial (TU_{in}) que determina o nível inicial do reservatório do solo (R_{solo}); valor do escoamento de base inicial (EB_{in}) que define o valor inicial do reservatório subterrâneo (R_{sub}).

Em intervalo de tempo mensal o modelo trabalha com a chuva acumulada de cada mês, sendo mais relevante o aspecto quantitativo da chuva média na bacia do que a

distribuição espacial de cada evento de chuva. Por esta razão seu uso em grandes bacias é adequado e os resultados correspondem bem às características médias das bacias.

Para esse experimento foram utilizados 24 bacias com o modelo hidrológico SMAP, conforme Figura 11 e Tabela 3.

A calibração foi efetuada para o período setembro de 1997 a agosto de 2002 e a validação para setembro de 2002 a agosto de 2007 e os parâmetros obtidos são mostrados na Tabela 3.

As variáveis de estado iniciais dos reservatórios do solo e subterrâneo TU_{in} e EBin foram ajustadas manualmente para equiparação da vazão observada e calculada no primeiro intervalo de tempo de cada período de calibração. O parâmetro K foi estimado pela recessão dos hidrogramas observados. Os parâmetros Sat, Pes e Crec foram calibrados por um procedimento semiautomático utilizando-se a ferramenta *Solver* do *Excel* seguido de um refinamento manual por tentativa e erro. A função objetivo para o *Solver* foi maximizar o coeficiente de eficiência de *Nash-Sutcliffe*, sendo o ajuste manual final baseado na visualização dos gráficos de comparação entre a vazão observada e calculada. Esse procedimento foi efetuado para cada sub-bacia e nos períodos de validação foi exigido um bom ajuste visual e coeficientes de *Nash-Sutcliffe* acima de 0,8.

Os parâmetros do modelo SMAP obtidos no século XX são mantidos no século XXI, a suposição é que dado o SIN atual como ele se comportaria submetido a condições climáticas distintas.

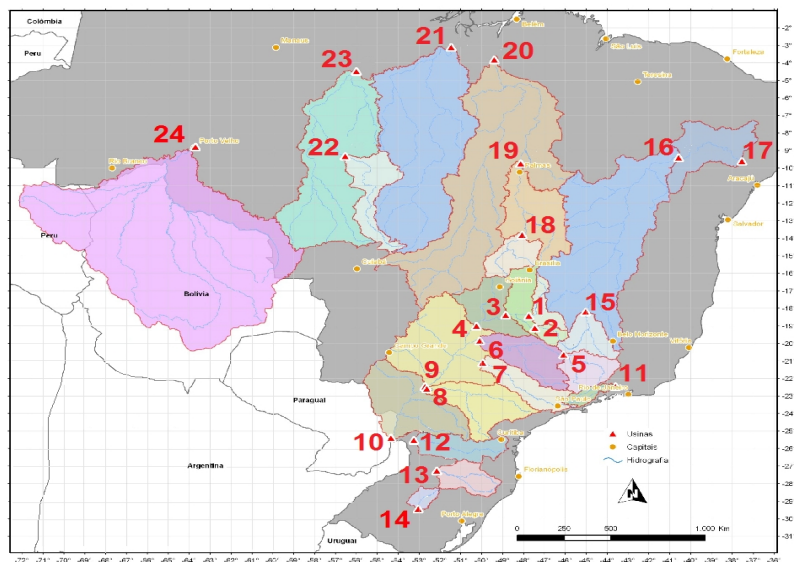


Figura 11-Bacias de alguns postos bases do setor elétrico.

Tabela 3- Parâmetros do SMAP.

Bacia	Nº Bacia	COD ONS	Área	SAT	PES	CREC	K	Tuin	Ebin
Emborcação	1	24	29000	900	3,2	20	2	55	96
Nova Ponte	2	25	15300	1100	3	25	2	52	70
Itumbiana	3	31	51011	2000	3,1	9	2	52	170
São Simão	4	33	85729	2100	4,6	7	2	60	349
Furnas	5	6	50464	1400	2,2	26	1,5	48	221
Água Vermelha	6	18	89436	1200	3,3	20	2	55	449
N. Avanhandava	7	242	62300	1200	4,6	10	3	67	352
Porto Primavera	8	246	190760	1400	3,3	20	3	54	1071
Rosana	9	63	100799	1300	3,4	22	2	65	1149
Itaipú	10	266	149000	1000	2,9	50	1	59	2204
Santa Cecília	11	125	16694	2000	3,5	8	3	63	110
Salto Caxias	12	222	57000	400	1,8	70	1	61	762
Itá	13	92	44500	600	3,7	15	1	78	513
D. Francisca	14	114	14014	1900	7	2	1	92	120
Três Marias	15	156	50600	1300	2,3	18	1	45	85
Sobradinho	16	169	447825	1800	2,5	50	6	31	541
Xingó	17	178	110275	500	2,5	1	1	22	0
Serra da Mesa	18	270	50975	1800	3,7	3	2	63	107
Nº Bacia									
Bacia									



Lajeado	19	273	134543	1350	3,9	4,5	1	59	163
Tucuruí	20	275	572482	1200	5	4	1	59	919
Belo Monte	21	288	480000	2580	10	0,54	1	72	588
Teles Pires	22	229	90707	1300	3,8	9,3	2	61	382
S. L. Tapajós	23	490	362293	1300	3,8	6	2	56	1684
Santo Antônio	24	287	988873	2700	6,41	1,64	2	71	3283

3.7. Modelo de regressões

Como as curvas de maior frequência de variáveis hidrológicas são distribuídas de maneira assimétrica, ou estão vinculadas a zero, é frequentemente necessário padronizar essas variáveis a fim de realizar a análise estatística de interesse. A primeira etapa para a obtenção das regressões é padronizar todas as séries mensais utilizando a seguinte equação:

$$z_i = \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} \quad (7)$$

onde x é o dado a ser padronizado, \bar{x} é a média do mês (este varia de 1 a 12) e σ_x é o desvio padrão da série mensal (este varia de 1 a 12).

Depois de padronizadas, é realizada a regressão linear dos dados, considerando os demais postos, os que tiveram as vazões obtidas com SMAP, como variáveis explanatórias. A regressão linear é dada por:

(8)

onde x_j são as variáveis explanatórias de cada mês m (varia de 1 a 12) para cada posto j

com vazões obtidas pelo SMAP, β_j são os coeficientes calculados de cada preditor. Sendo

um conjunto de valores previstos pelo modelo para um mês m e um posto i .

A função *stepwise* é utilizada para definir as variáveis significantes na regressão, quando não significativa t igual a zero.

3.8. Análise das Projeções

Nesta seção são apresentadas as medidas estatísticas utilizadas para análise das séries temporais de vazões do ONS e do modelo ETA. As séries são analisadas através de métodos clássicos, como regressão linear e Man-kendall-Sen, e através de métodos modernos, como a transformada em ondeletas.

3.8.1. Cálculo das Anomalias Médias Anuais

Para o cálculo da anomalia na média anual considerou-se a Equação 9, dada pela diferença entre a média anual o cenário do século XXI e média anual do cenário histórico sobre a média anual do século XX:

$$A_{\text{anual}} = \frac{(P_{\text{XXI}}^a - P_{\text{XX}}^a)}{P_{\text{XX}}^a} \cdot 100 \quad (9)$$

Onde P_{XXI}^a é média da precipitação anual para o cenário do século XXI e P_{XX}^a é a média da precipitação anual para o cenário histórico.

3.8.2. Análise de tendência das precipitações anuais

Para analisar a tendência do século XXI as séries de precipitações anuais dos cenários do século XXI foram padronizadas com base nas características da série do cenário histórico de 1961 a 2005. Essa padronização segue a Equação 10:

$$Z = \frac{X_{\text{XXI}}^j - \bar{X}_{\text{XX}}}{\sigma_{\text{XX}}} \quad (10)$$

Onde Z é a precipitação do cenário do século XXI padronizada, X_{XXI}^j a precipitação anual dos cenários RCP4.5 e RCP8.5 para um ano j, \bar{X}_{XX} a precipitação anual média do cenário histórico na série de 1961 a 2005 e σ_{XX} o desvio padrão da série de precipitações anuais do cenário histórico.

As metodologias de avaliação de tendência/variabilidade podem ser divididas em dois tipos quanto à sua abordagem: Métodos Clássicos e Métodos Modernos.

Neste trabalho foram utilizados os métodos clássicos de Mann-Kendall-Sen, Média

Móvel de 10 anos e Regressão Linear, e dentre os métodos modernos, utilizou-se a análise de ondeletas (*wavelets*).

Métodos Clássicos

Nos testes de tendência, segundo Xu et al. (2003), a hipótese nula H_0 ocorre na ausência de tendência na série histórica. Já a hipótese não nula (H_1) ocorre quando existe uma tendência na série.

Os testes estatísticos podem ser classificados em paramétricos e não paramétricos (NAGHETTINI e PINTO, 2007). Os testes paramétricos se baseiam na hipótese de que os dados amostrais foram obtidos a partir de uma população cuja distribuição seja conhecida ou previamente especificada. Já os testes não-paramétricos não necessitam da especificação do modelo distributivo da população, sendo formulados com base nas características da amostra. Segundo Xu et al. (2003), os testes não-paramétricos são mais robustos.

Ainda segundo Xu et al. (2003), a utilização de testes paramétricos e não-paramétricos dependem das características dos dados em que se está trabalhando.

O modelo de regressão linear é dado pela Equação 11 (HELSEL e HIRSCH, 2002):

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon_i \quad (11)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Onde: y_i é a i -ésima observação da variável dependente;

x_i é a i -ésima observação da variável independente;

β_0 é a interceptador;

β_1 é a inclinação;

ε_i é o erro aleatório ou residual para a i -ésima observação;

n é o tamanho da amostra.

O erro ε_i depende da variabilidade natural do sistema, possui média igual a zero e variância (σ^2) constante, portanto, ε_i é independente de x_i .

A regressão linear é obtida estimando-se os valores de β_0 e β_1 através de alguma técnica de ajustamento. Segundo Naghettini e Pinto (2007), o método dos mínimos quadrados é um dos procedimentos mais adequados para este ajuste.

Se uma tendência linear está presente em uma série, a declividade (mudança por unidade de tempo) pode ser estimada usando o método não-paramétrico desenvolvido por Sen (1968).

No método de Sen são computadas a declividade de N pares de dados através da Equação 12:

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{(j - k)} \quad (12)$$

Para $i = 1, 2, \dots, N$.

Onde x_j e x_k são os valores de x nos períodos j e k respectivamente, com $j > k$. A mediana dos N valores de Q_i será a declividade de Sen. Se houver apenas uma referência em cada período de tempo, então:

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (13)$$

Onde n é o tamanho da série. Se N for ímpar, a declividade de Sen será:

$$Q_{\text{mediana}} = Q_{(N+1)/2} \quad (14)$$

Se N for par, a declividade de Sen será:

$$Q_{\text{mediana}} = \frac{[Q_{(N)/2} + Q_{(N+2)/2}]}{2} \quad (15)$$

O valor de Q_{mediana} é então testado através de um teste bicaudal com grau de confiança de $100(1 - \alpha) \%$ e a declividade estimada é obtida através de um teste não paramétrico.

O teste de tendência de Man-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975; KENDALL e GIBBONS, 1990) é um dos mais utilizados na avaliação de tendências de séries históricas naturais que se distanciam da distribuição normal, como a de qualidade da água, vazões, temperatura e precipitação (HAMED, 2009).

No teste de Mann-Kendall, também conhecido por Kendall's tau, assume-se que os

dados estão aleatoriamente distribuídos, caso das séries históricas naturais.

O teste estatístico de Mann-Kendall é dado pela equação 24 (BURN e ELNUR, 2002):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n Sgn(X_j - X_i) \quad (16)$$

Onde X_i e X_j são valores sequenciais, n é o tamanho da série e

$$Sgn(\theta) = \begin{cases} +1 & \theta > 0 \\ 0 & \text{se } \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases} \quad (17)$$

O teste de Mann-Kendall possui dois parâmetros importantes para a análise de tendência: o nível de significância α e a declividade β (BURN e ELNUR, 2002).

A declividade β é determinada por (HIRSCH et al., 1982):

$$\beta = \text{Mediana} \left[\frac{(X_j - X_i)}{(j - i)} \right] \quad (18)$$

para todo $i < j$

Análise da Transformada em Ondeletas

Para análise de tendência e do comportamento dos diferentes padrões de variações do clima foi utilizado a transformada em ondeletas.

A análise da transformada em ondeletas (*wavelets*) vem se tornando uma ferramenta bastante utilizada para a análise de variações locais de séries temporais, uma vez que os sistemas físicos apresentam características não-estacionárias de várias frequências (BOLZAN, 2004). A decomposição destas séries em espaços de tempo-frequência permite a determinação dos modos dominantes de variabilidade, bem como a variação destes modos no tempo (TORRENCE e COMPO, 1998).

A análise em ondeletas consiste em decompor um sinal a diferentes níveis de resolução, processo conhecido como multiresolução (BOLZAN, 2004).

Ainda segundo Bolzan (2004) a expansão em série de ondeletas e a transformada são dadas por:

$$\langle f, \Psi_{a,b} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (19)$$

Onde: $\Psi(t)$ é a função base geradora simples;

a é a variável de dilatação;

b é a variável de translação;

t é o tempo.

O termo ondeleta refere-se a um conjunto de funções com forma de pequenas ondas gerada por dilatações e translações, de uma função base geradora (BOLZAN, 2004).

Existem dois tipos básicos de funções ondeletas: ondeletas contínuas e discretas. Dentre as contínuas, a mais comum e a utilizada neste estudo foi a ondeleta de Morlet, dada por:

$$\Psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0\eta} e^{-\eta^2/2} \quad (20)$$

Onde: ω_0 é a frequência adimensional, que, no caso da ondeleta de Morlet, é igual a seis, de forma a satisfazer a condição de admissibilidade; e η é o parâmetro adimensional do tempo.

A função ondeleta de Morlet possui o parâmetro de frequência igual a 6.

Para avaliação e análise de tendência dos modelos foi calculado o espectro de energia global sobre as regiões de estudo e as observações. Em seguida, foram identificados os principais padrões de variação das séries observadas a partir do Espectro Global da Ondeleta e a partir disto foram executadas as seguintes etapas:

- decomposição do sinal para obter os coeficientes *wavelets* no domínio transformado. Para o caso das séries observadas de vazões regiões avaliadas, a decomposição foi igual à soma das bandas características no século XX e o resíduo. A partir da Equação 21, tem-se:

$$R(i) = z(i) - \sum_{i=1}^b B_b(i) \quad (21)$$

Onde: $z(i)$ é o valor da variável padronizada para o ano i ; $B_b(i)$ é o valor da banda b no ano i .

- análise e processamento dos coeficientes neste domínio;
- reconstrução do sinal a partir dos coeficientes modificados;
- Em seguida, é feita análise do comportamento das bandas reconstruídas.

4. Resultados

Esta seção é dividida em duas grandes subseções: análise das vazões de referência e análise do clima futuro.

A primeira análise corresponde a discussões a respeito dos padrões de variação da série histórica de vazões e sua possível relação com variáveis climáticas. Além disso, uma análise detalhada da sazonalidade dos PB's mostra a correlação espacial entre estes, os valores elevados destas indica que o uso de regressões lineares para o cálculo de vazões pode fornecer informações de qualidade.

Tanto a variabilidade natural do clima e as mudanças climáticas podem influenciar as vazões na escala de décadas. Existem, controles de baixa frequência, associados aos lentos processos oceânicos, que podem influenciar o clima na escala decenal, principalmente na região tropical. Portanto, ainda na primeira seção são mostrados os padrões de baixa frequência séries temporais de vazões, e mostra-se uma possível relação com a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).

Na segunda análise são mostrados os impactos das mudanças climáticas no SIN, para tanto são analisados os resultados de simulações do modelo atmosférico regional ETA para todo o setor elétrico.

4.1. Análise das vazões de referência - Clima Presente

4.1.1. Análise da sazonalidade e correlação espacial do SIN

Essa seção possui dois grandes objetivos:

- a) Verificar a sazonalidade hidrológica das vazões naturais afluente aos Postos Base (PB's) através da média mensal da série histórica;
- b) Análise de correlação da série histórica das vazões médias mensais para os 88 PB's do Sistema Interligado Nacional (SIN).

O regime hidrológico será apresentado através da Tabela 4 o qual apresenta as estatísticas mensais das séries históricas dos PB's através de sua média (MED), desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV). As Figuras 12 e 13 mostram as vazões médias mensais agrupadas por bacias hidrográficas. A correlação da série histórica das vazões médias mensais para os 88 PB's e suas respectivas bacias hidrográficas encontra-se na Figura 13.

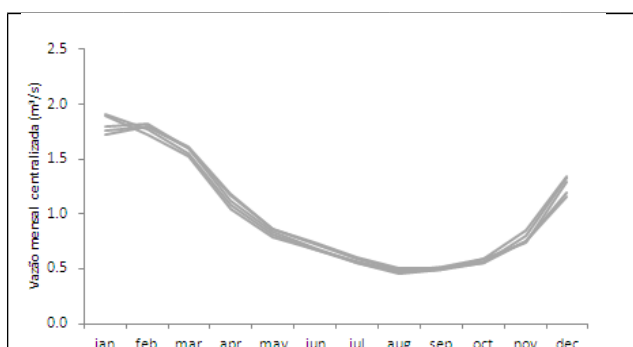
As Figuras 12 e 13 mostram que a bacia do rio Paraná possui regimes hidrológicos bastante diversificados onde se percebe a necessidade de divisão desta em seus diferentes rios: Grande, Tietê, Paranapanema, Iguazu e Paranaíba. Devido à grande ramificação da bacia do rio Paranaíba optou-se por separar a bacia em três grupos de acordo com o regime hidrológico homogêneo. A bacia do rio Amazonas possui uma variabilidade relativa grande entre as vazões, apesar do pequeno número de aproveitamentos hidroelétricos na região.

Na Figura 14 observa-se que na bacia do Amazonas há uma estação com regime destoante em termos de correlação com as outras estações da bacia. Esta estação é a de Coruá-Una, localizada na região mais a jusante do rio Amazonas, enquanto as outras se encontram basicamente nas cabeceiras dos rios que formam a bacia do Amazonas. Algo semelhante se observa na estação São José na região hidrográfica do rio Uruguai, esta é a única estação em estudo localizada no rio Ijuí, um dos menores afluente do rio Uruguai, o que pode explicar tal disparidade no regime hidrográfico do restante da bacia.

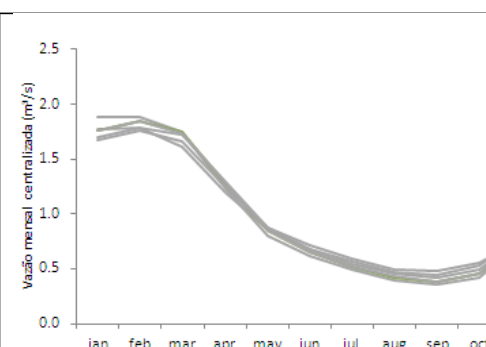
Tabela 4-Postos Bases utilizados na análise da sazonalidade e correlação espacial.

Posto Base	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Posto Base	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
PB1	128,0	80,7	0,63	PB45	103,9	166,0	1,60
PB2	921,4	613,0	0,67	PB46	1.844,3	1.399,1	0,76
PB3	54,4	35,8	0,66	PB47	75,0	33,1	0,44
PB4	1.869,6	1.168,8	0,63	PB48	174,2	123,4	0,71
PB5	2.098,9	1.276,6	0,61	PB49	79,1	20,9	0,26
PB6	489,8	377,0	0,77	PB50	85,3	16,6	0,19
PB7	297,0	196,0	0,66	PB51	40,6	9,8	0,24
PB8	1.542,5	1.070,5	0,69	PB52	456,0	242,6	0,53
PB9	1.621,9	1.116,3	0,69	PB53	828,4	740,5	0,89
PB10	2.466,9	1.579,8	0,64	PB54	917,6	808,8	0,88
PB11	5.400,0	3.153,7	0,58	PB55	1.594,3	1.493,7	0,94
PB12	64,5	21,4	0,33	PB56	732,7	666,2	0,91
PB13	12,3	6,9	0,56	PB57	4.111,2	3.345,7	0,81
PB14	19,3	11,3	0,59	PB58	2.332,5	2.181,4	0,94
PB15	27,1	14,3	0,53	PB59	10.698,4	9.254,9	0,87
PB16	69,1	33,7	0,49	PB60	81,5	38,6	0,47
PB17	159,4	130,3	0,82	PB61	189,6	125,5	0,66
PB18	676,8	610,0	0,90	PB62	349,9	298,1	0,85
PB19	53,7	34,4	0,64	PB63	18.327,3	10.947,3	0,60
PB20	7,8	3,6	0,46	PB64	320,4	294,8	0,92
PB21	85,2	49,9	0,59	PB65	10.688,3	4.843,3	0,45
PB22	136,9	97,8	0,71	PB66	7.447,0	3.905,2	0,52
PB23	347,4	222,6	0,64	PB67	234,3	141,5	0,60
PB24	472,5	343,2	0,73	PB68	1.153,2	701,6	0,61
PB25	298,6	192,0	0,64	PB69	1.365,7	812,9	0,60
PB26	448,2	286,3	0,64	PB70	20,1	9,2	0,46
PB27	720,3	419,4	0,58	PB71	107,8	84,4	0,78
PB28	769,2	461,8	0,60	PB72	113,0	88,4	0,78
PB29	824,3	485,9	0,59	PB73	133,7	105,1	0,79
PB30	6.587,8	3.646,2	0,55	PB74	676,3	509,3	0,75
PB31	194,9	98,2	0,50	PB75	787,8	586,4	0,74
PB32	181,1	136,8	0,76	PB76	1.047,6	797,5	0,76
PB33	181,3	64,1	0,35	PB77	1.097,9	834,9	0,76
PB34	287,9	168,3	0,58	PB78	1.096,0	892,9	0,81
PB35	578,3	336,6	0,58	PB79	59,8	50,2	0,84
PB36	147,4	109,9	0,75	PB80	1.335,4	1.085,9	0,81
PB37	913,0	641,5	0,70	PB81	163,0	132,4	0,81
PB38	147,1	86,7	0,59	PB82	126,2	100,6	0,80

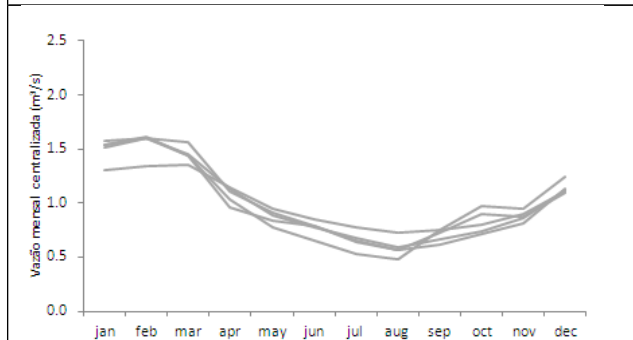
PB39	386,9	440,6	1,14	PB83	255,8	223,1	0,87
PB40	32,9	23,5	0,71	PB84	213,8	175,3	0,82
PB41	35,7	20,4	0,57	PB85	287,7	230,8	0,80
PB42	13,5	9,2	0,68	PB86	330,5	273,1	0,83
PB43	150,7	174,8	1,16	PB87	104,0	90,6	0,87
PB44	99,5	90,4	0,91	PB88	85,2	68,8	0,81



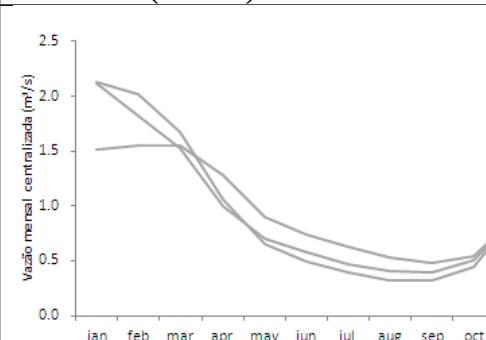
(a) Vazões Mensais Centralizadas para os PB's 1 a 5 na bacia do rio Grande (Paraná).



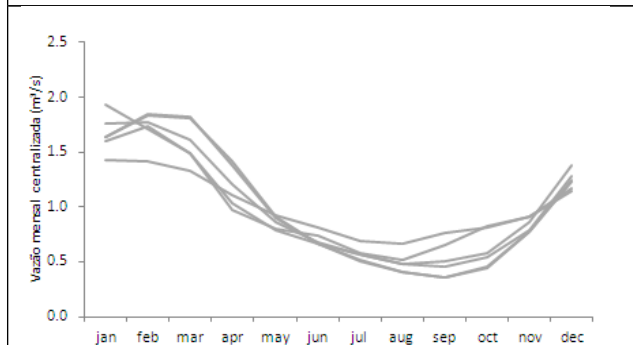
(b) Vazões Mensais Centralizadas para os PB's 6 a 11 na bacia do rio Paranaíba (Paraná).



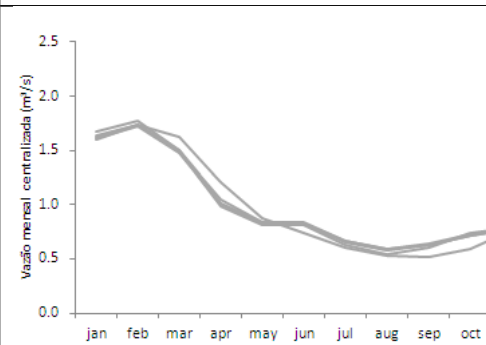
(c) Vazões Mensais Centralizadas para os PB's 12 a 16 na bacia do rio Paraíba do Sul (Atlântico Sudeste).



(d) Vazões Mensais Centralizadas para os PB's 17 a 19 na bacia do São Francisco.



(e) Vazões Mensais Centralizadas para os PB's 20 a 25 na bacia do rio Paranaíba (Paraná).



(f) Vazões Mensais Centralizadas para os PB's 26 a 30 na bacia do rio Tietê (Paraná).

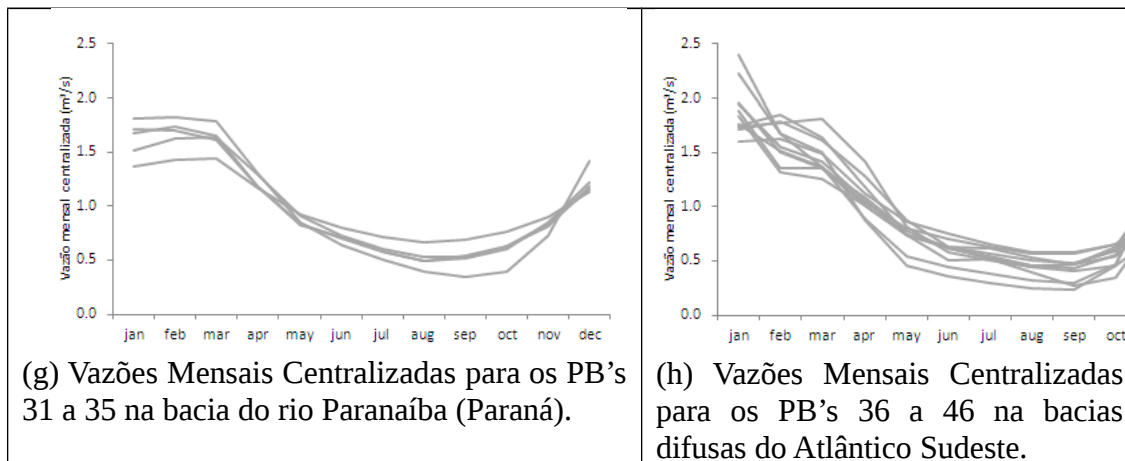


Figura 12-(a) Vazões médias mensais centralizadas organizadas por bacias hidrográficas.

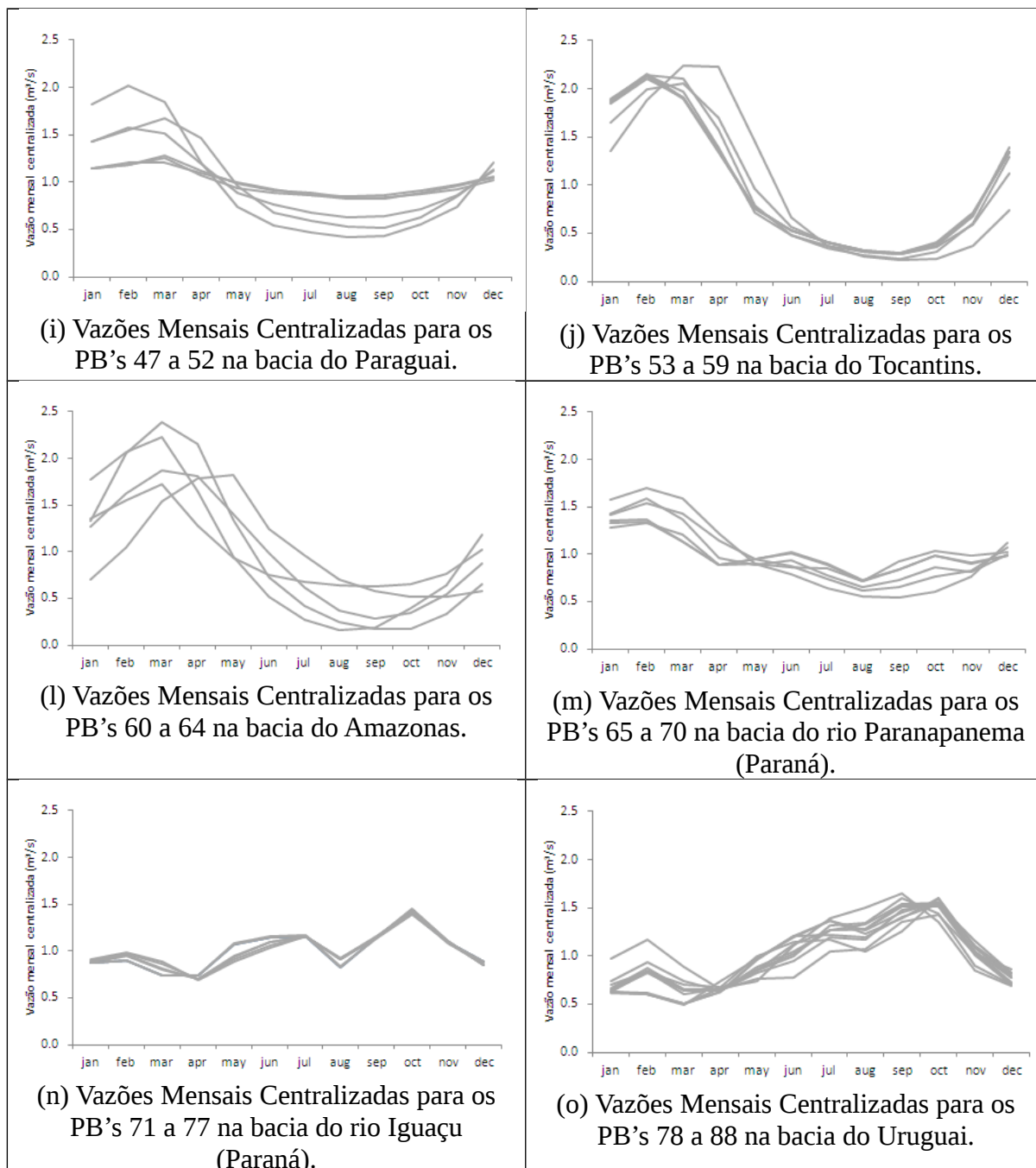


Figura 13-(b) Vazões médias mensais centralizadas organizadas por bacias hidrográficas

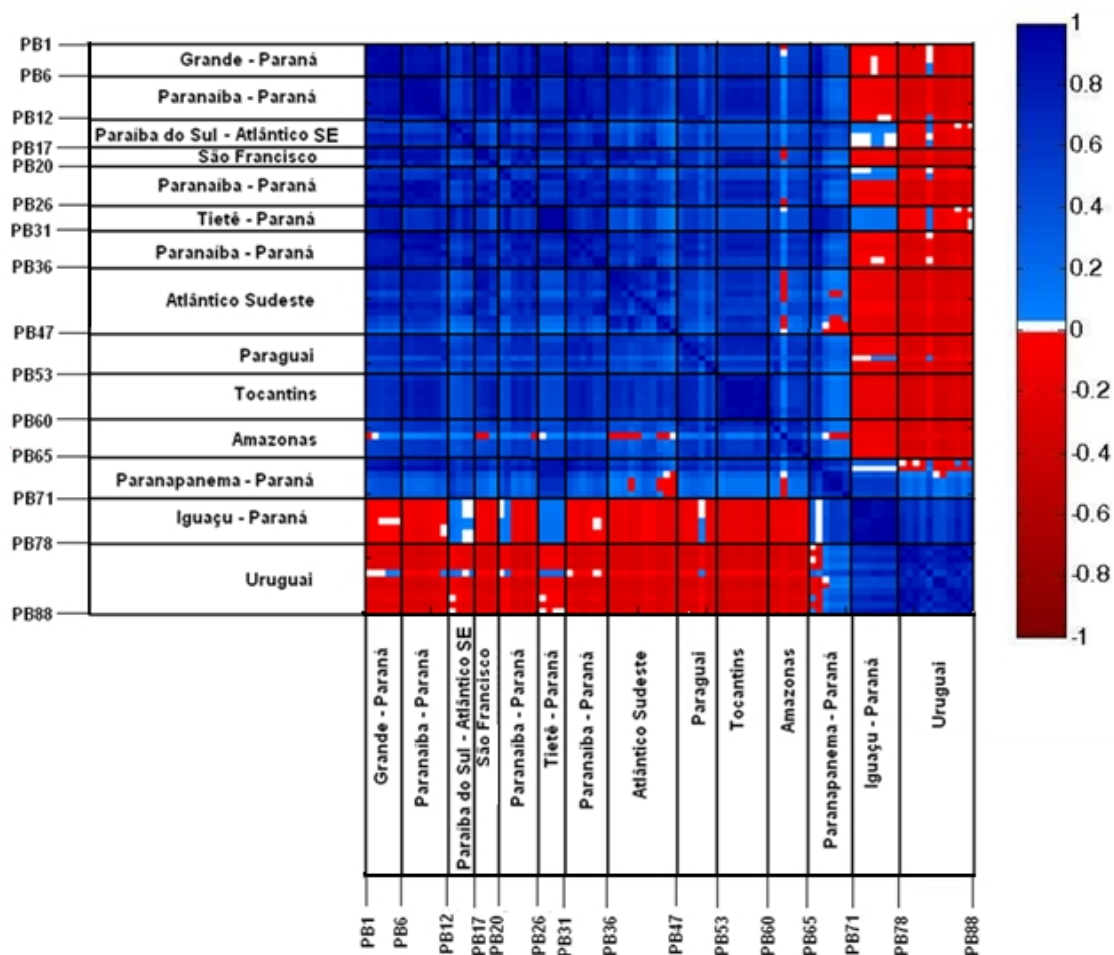


Figura 14-Correlação entre as séries históricas de vazões médias mensais afluentes aos 88 Postos Base com a identificação das respectivas bacias hidrográficas.

4.1.2. Análise da variabilidade interanual

Métodos clássicos

A análise de tendências utilizando o método de Mann-Kendall-Sen, mostrou que existe tendência de aumento das vazões nos postos fluviométricos localizados nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, enquanto nas regiões norte e nordeste a tendência é de uma pequena queda (Figura 15).

A Tabela 5 apresenta os resultados para os 21 postos selecionados para este estudo (postos representativos das principais bacias hidrográficas do setor hidrelétrico e usados para rodadas do SMAP da seção 4.2), sendo que no teste de hipótese (h), o valor igual a zero indica uma ausência de tendência significativa na série. Apenas oito postos, dentre os 21 selecionados, apresentam tendência significativa, sendo que sete postos apresentaram tendência positiva, e apenas um apresentou tendência negativa.

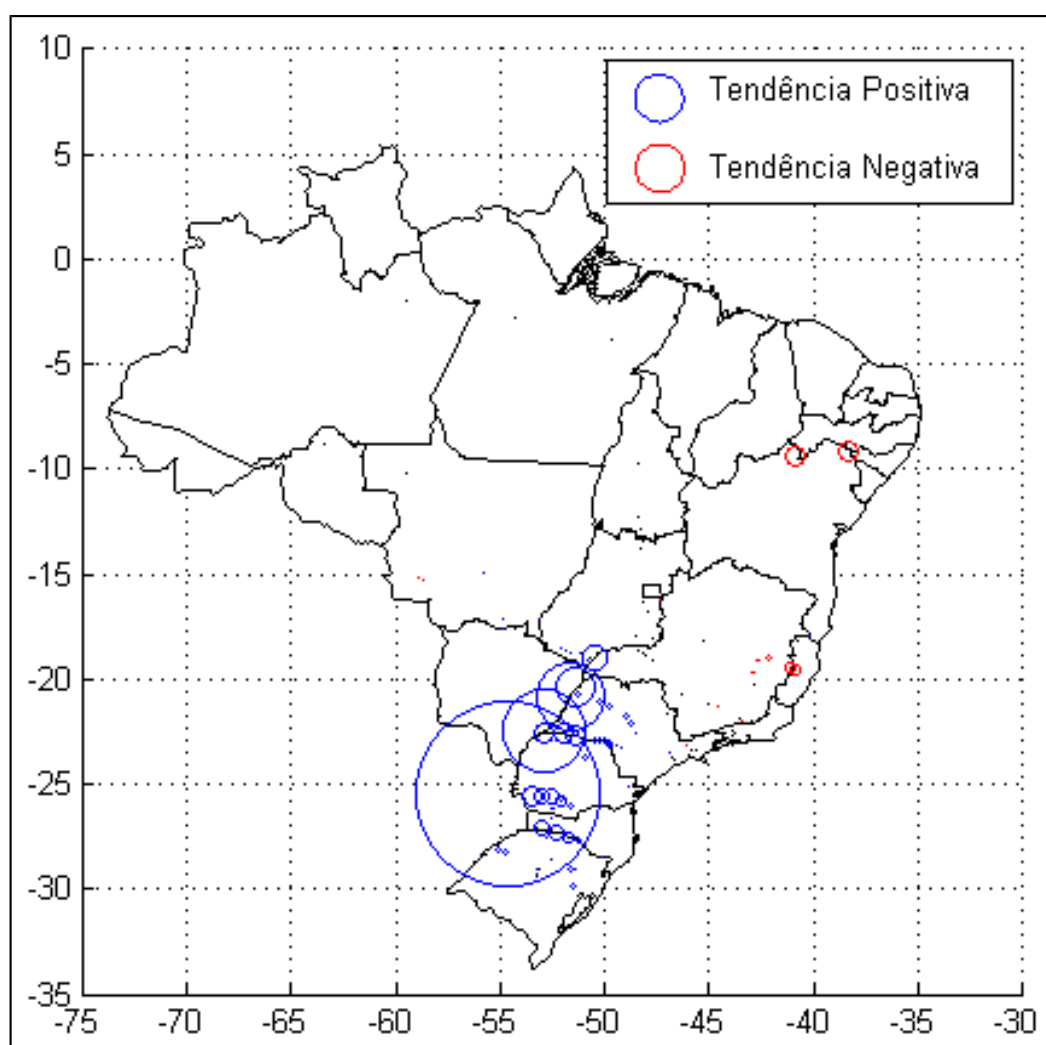


Figura 15-Mapa de Tendências segundo o método de Mann-Kendall-Sem

Tabela 5- Declividade de Sen para 21 postos, para todos eles o SMAP será usado, conforme seção 4.2.

Postos do Sistema Interligado Nacional (SIN)	Número da Bacia	Nome da Bacia	Mann-Kendall Ajustado (Taub)	Teste da Hipótese Nula (h0)	Declividade de Sen (m³/s/ano)	Vazão Média (m³/s) 1981-2010	Varição anual (%)
EMBORCAÇÃO (24)	1	Alto Paranaíba	-0,030	0	-0,242	486	-0,05%
NOVA PONTE (25)	2	Alto Paranaíba	-0,076	0	-0,443	299	-0,15%
ITUMBIARA (31)	3	Paranaíba	-0,054	0	-1,349	1.557	-0,09%
SÃO SIMÃO (33)	4	Paranaíba	0,195	1	7,599	2.410	0,32%
FURNAS (6)	5	Alto Grande	-0,029	0	-0,443	927	-0,05%
ÁGUA VERMELHA (18)	6	Grande	0,051	0	1,614	2.102	0,08%
NOVA AVANHANDAVA (242)	7	Tietê	0,216	1	2,567	753	0,34%
PORTO PRIMAVERA (246)	8	Paraná	0,314	1	26,824	7.259	0,37%
ROSANA (63)	9	Parapanema	0,273	1	6,967	1.293	0,54%
ITAÍPU (266)	10	Paraná	0,421	1	57,201	10.239	0,59%
STA CECILIA (125)	11	Paranaíba do Sul	-0,100	0	-0,370	297	-0,12%
SALTO CAXIAS (222)	12	Iguaçu	0,217	1	6,990	1.339	0,52%
ITÁ (92)	13	Uruguai	0,190	1	4,932	1.033	0,48%
DONA FRANCISCA (114)	14	Jacuí	0,135	0	1,016	324	0,31%
TRÊSMARIAS (156)	15	Alto São Francisco	-0,019	0	-0,199	691	-0,03%
SOBRADINHO (169)	16	Médio São Francisco	-0,160	1	-6,652	2.666	-0,25%
XINGÓ (178)	17	Baixo São Francisco	-0,143	0	-6,016	2.763	-0,22%
SERRA DA MESA (270)	18	Alto Tocantins	-0,114	0	-1,659	774	-0,21%
LAJEADO (273)	19	Tocantins	-0,069	0	-2,858	2.444	-0,12%
TUCURUI (275)	20	Tocantins	0,021	0	3,278	10.980	0,03%
SANTO ANTONIO (287)	24	Madeira	-0,083	0	-18,090	18.890	-0,10%

Na sequência será mostrada uma amostra de quatro postos em regiões distintas para caracterizar o mostrado na Figura 15.

A análise de tendências utilizando os métodos LOWESS, média e mediana móveis estão representadas nas Figuras 16, 17, 18 e 19 correspondentes aos postos Itaipú (266), Furnas (6), Sobradinho (169) e Paulo Afonso (175), respectivamente.

O Posto 266 – Itaipú apresentou valor mínimo na LOWESS de 8.000m³/s em 1954 e valor máximo de 12.000m³/s em 1993. Observa-se ainda, uma tendência de aumento dos valores deste a metade da década de 1960 até o ano de 1993. A média e a mediana móvel apresentam dois patamares bem definidos: entre 1941 e 1965, com valores por volta de 8.000m³/s, e a partir de 1990, com valores por volta de 12.000m³/s. Durante as décadas de 1960, 1970 e nos primeiros anos da década de 1980, observa-se uma tendência de aumento nos valores das vazões.

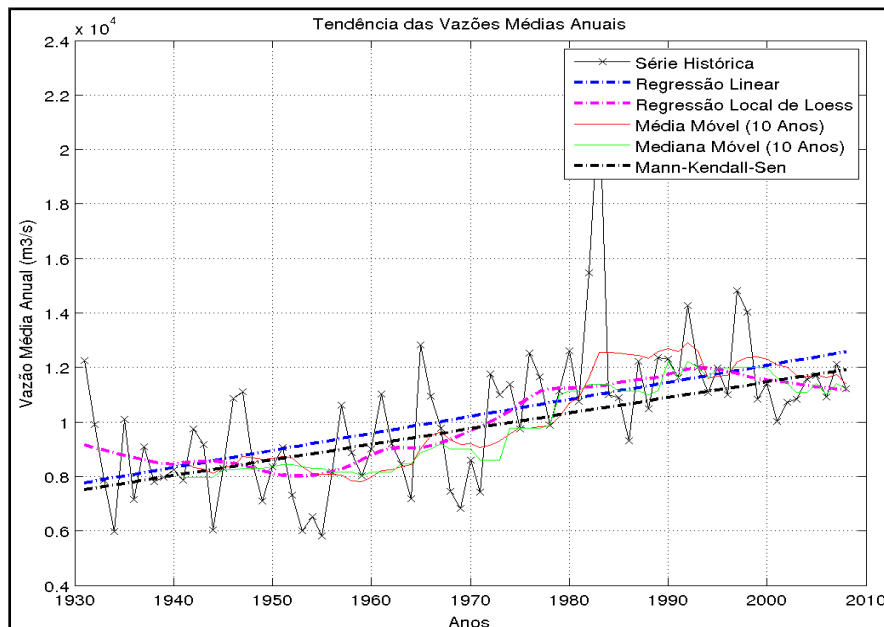


Figura 16-Tendências das vazões anuais médias para o posto fluviométrico de Itaipú (Posto 266).

O Posto 6 – Furnas apresentou valores mínimos na LOWESS iguais a $850\text{m}^3/\text{s}$ nos anos de 1955, 1972 e 2000 e valor máximo de $1.050\text{m}^3/\text{s}$ em 1981. A média e a mediana móveis de 10 anos apresentam valores mínimos por volta de $850\text{m}^3/\text{s}$ nos anos 1960, 1972 e 2008, e valores máximos de $1.150\text{m}^3/\text{s}$ entre 1985 e 1989.

O Posto 169 – Sobradinho apresentou valores máximos na LOWESS acima de $3.000\text{m}^3/\text{s}$ em 1945 e 1981 e valor mínimo de $2.100\text{m}^3/\text{s}$ em 1999. A média móvel apresentou valor máximo de $3.400\text{m}^3/\text{s}$ entre 1985 e 1989 e valor mínimo de $1.800\text{m}^3/\text{s}$ entre 2003 e 2005. A mediana móvel apresentou valor máximo de $3.400\text{m}^3/\text{s}$ entre 1985 e 1989 e valor mínimo de $2.000\text{m}^3/\text{s}$ em 2002.

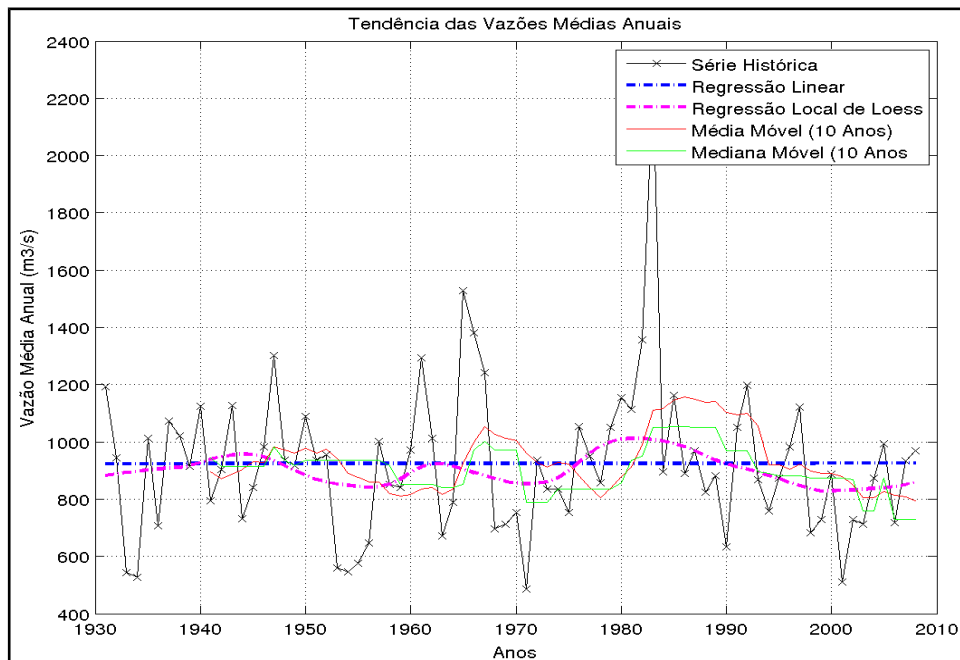


Figura 17-Tendências das vazões anuais médias para o posto fluviométrico de Furnas (Posto 6).

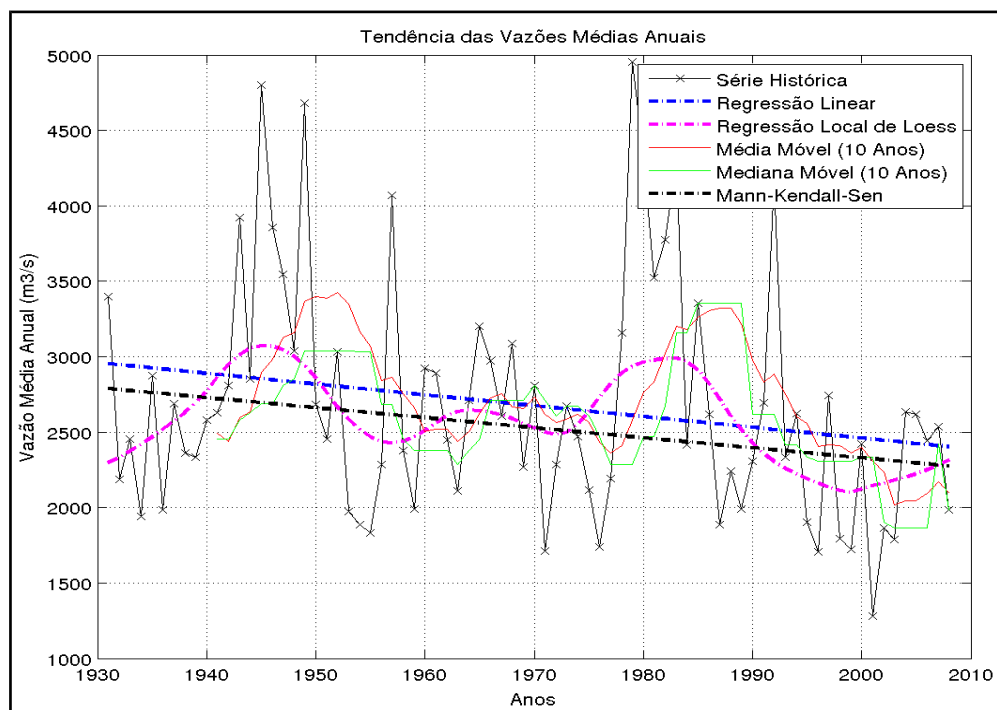


Figura 18- Tendências das vazões anuais médias para o posto fluviométrico Sobradinho (Posto 169).

O Posto 175 – Paulo Afonso apresentou valores máximos na LOWESS de $3.200\text{m}^3/\text{s}$ nos anos de 1945 e 1992 e valores mínimos de $2.250\text{m}^3/\text{s}$ em 1931 e 1999. Observa-se, ainda, que entre o final da década de 1950 e o início da década de 1970 os valores na LOWESS se situam por volta de $26^3/\text{s}$. Na média e mediana móvel apresenta valores máximos de $3.500\text{m}^3/\text{s}$ em 1951 e 1986 e valores mínimos de $2.500\text{m}^3/\text{s}$ em 1941, 1962 e 1989, além do valor de 2.000 em 2005.

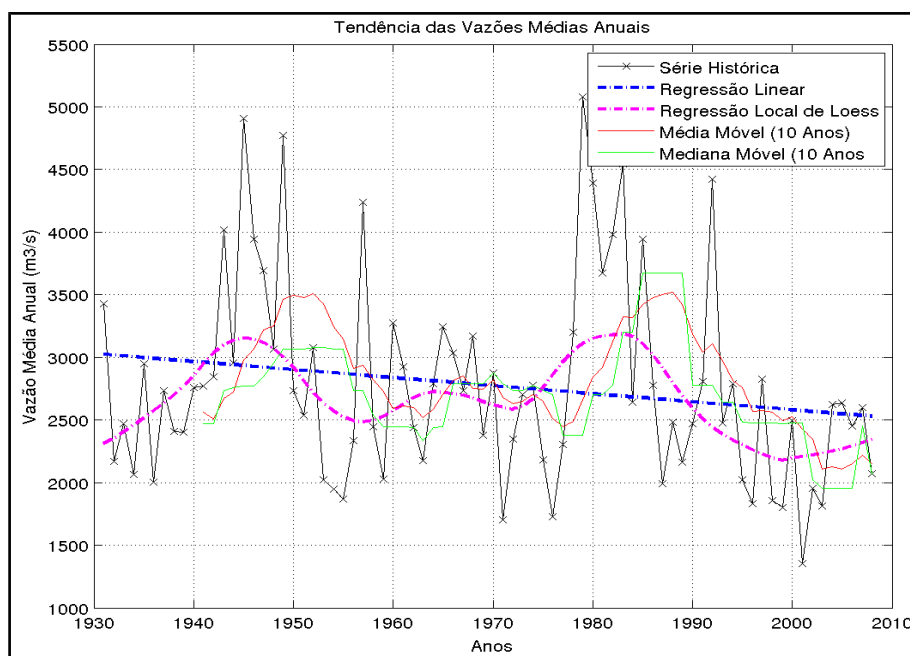


Figura 19-Tendências das vazões anuais médias para o posto fluviométrico Paulo Afonso (Posto 175).

Nota-se que o método de Mann-Kendall-Sen indica uma tendência no aumento das vazões dos postos de Sobradinho e Itaipu enquanto que os postos Furnas e Paulo Afonso não apresentaram tendências significativas pelo método de Mann-Kendall-Sen.

Análise da Transformação em ondeletas

Nesta seção a tendência é analisada segundo o método da transformada em ondeletas. Esta análise visa identificar os postos que possuem maior dependência com a

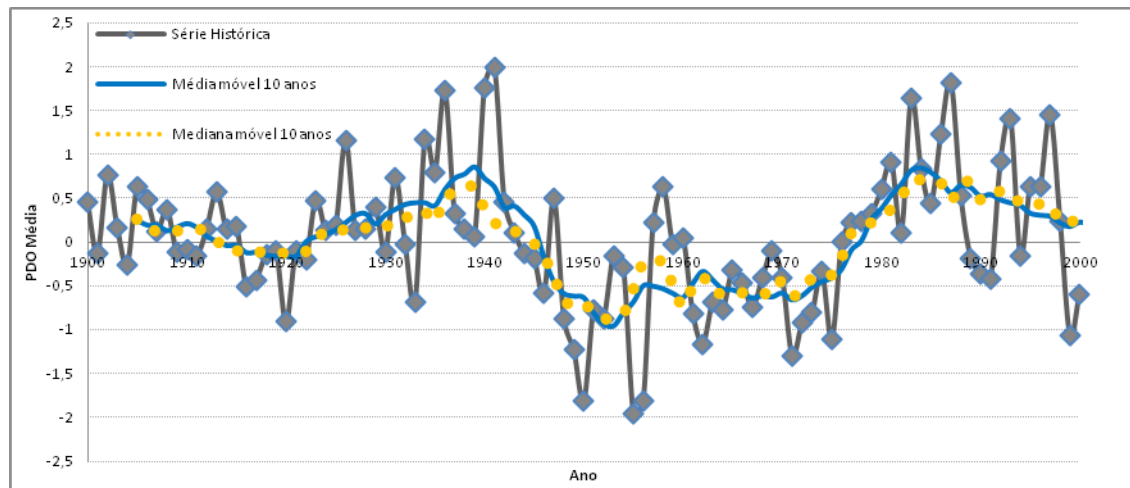
média e baixa frequência e analisar se pode haver relação com alguma oscilação climática de médio prazo.

Nas Figuras 21 e 22 são apresentadas as bandas da transformada em ondeletas para os postos de Itaipu, Furnas, Sobradinho e Paulo Afonso. A análise da transformação em ondeletas mostrou que existe uma mudança de fase na banda de baixa frequência durante o início e o meio da década de 1970, na maioria dos reservatórios.

Nos postos Furnas e Porto Primavera a banda de baixa frequência apresentou mudança de fase na segunda metade do século XX, com um acentuado pico na década de 1980. A influência dessa banda na série histórica e sua possível inversão pode levar a um período de vazões menores nos próximos 30 anos.

É possível que essa variabilidade tenha relação com alguns índices climáticos, como por exemplo a Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation - PDO*).

A *PDO* é descrita como uma variação na temperatura da superfície do Oceano Pacífico Norte, do mesmo modo que o El Niño. Um crescente número de evidências mostram uma forte tendência dos impactos da *PDO* sobre o hemisfério Sul, com importantes anomalias climáticas sobre médias latitudes no Oceano Pacífico Sul, Austrália e América do Sul. No século XX, a *PDO* apresentou duas flutuações periódicas, uma com um período de 15 a 25 anos e outra com um período de 50 a 70 anos. Os mecanismos que causam estas flutuações ainda são incertos (Mantua *et al*, 2002). Ela é quantificada através do número de desvios padrões que distância a temperatura da superfície do mar (TSM) do Pacífico Norte (Figura 20) em um dado ano da sua média de longo prazo.



Fonte: <http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.lastest> (Acesso em Maio de 2011)

Figura 20- Oscilação Decadal do Pacífico – 1900-2010.

A série histórica em Sobradinho mostra uma possível relação com a anomalia da ODP, indicando que a tendência indicada pela mesma pode estar relacionada à variabilidade climática. Esta relação sugere que para períodos de fase fria da ODP as vazões tendem a ser menores.

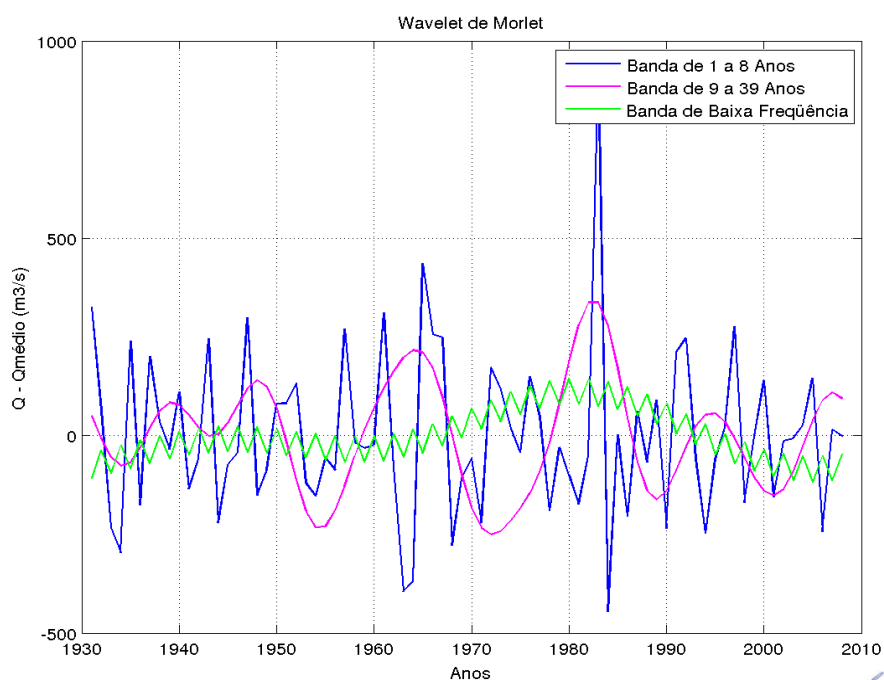
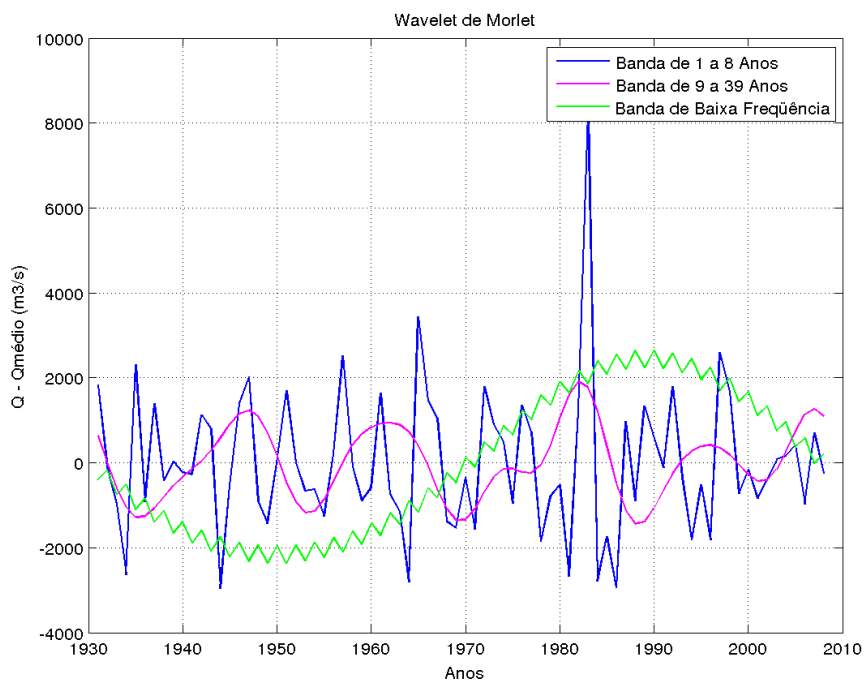


Figura 21-Bandas de 1 a 8, de 9 a 39 anos e baixa frequência da transformada de Wavelets: (a) Itaipú (Posto 266) e (b)Furnas (Posto 6).

A variância de cada banda (em %), para cada posto são apresentadas na Figura 21.

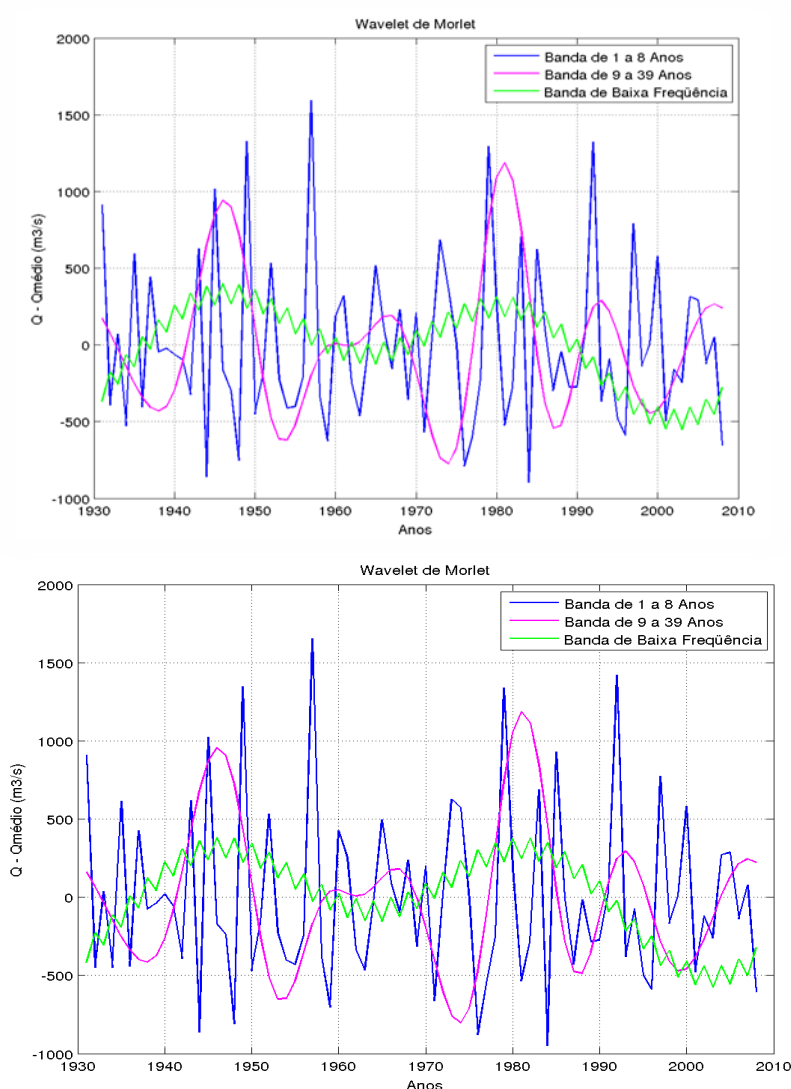


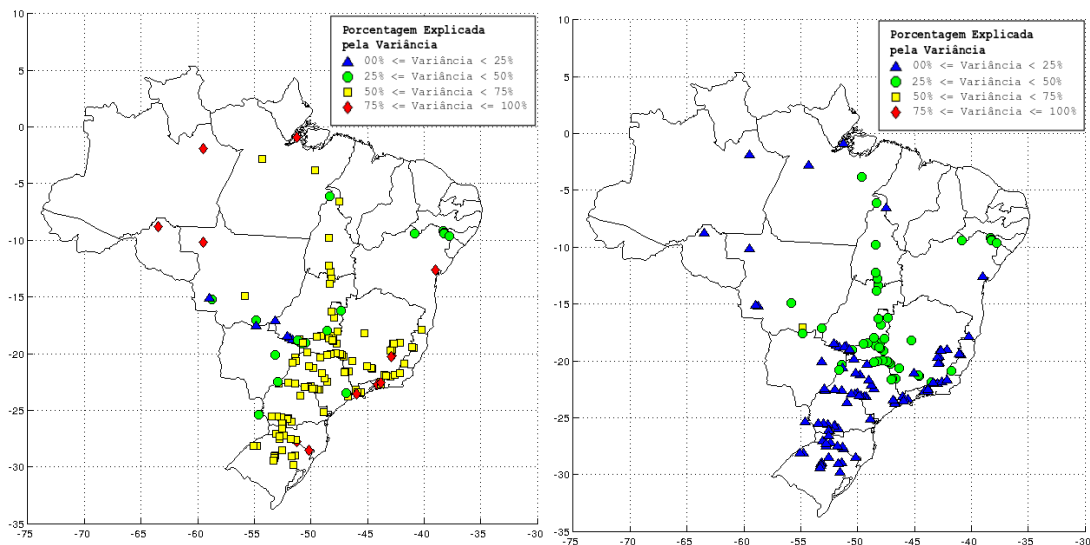
Figura 22-Bandas de 1 a 8, de 9 a 39 anos e baixa frequência da transformada de Wavelets: Sobradinho (Posto 169) e Paulo Afonso (Posto 175).

Na Figura 23(a), observa-se que a banda de alta frequência é responsável por mais de 50% da variância na maioria das séries de vazões dos postos localizados nas regiões

Norte, Sul e Sudeste. Enquanto isso, nas regiões Centro-Oeste e Nordeste, a banda de alta frequência é responsável por menos de 50% da variância na maioria dos postos.

A Figura 23(b) mostra que a banda de média frequência é responsável por menos de 25% da variância nas series de vazões dos postos na região Sul, no leste da região Sudeste, no estado de São Paulo e nas áreas central e oeste da região Norte. Em parte da região centro-oeste, no leste da região Norte e na maior parte do Nordeste a banda de média frequência é responsável por até 50% da variância das séries.

A Figura 23(c) mostra que a banda de baixa frequência é responsável por menos de 25% da variância das séries, exceto em partes da região Centro-Oeste, nos postos na divisa de São Paulo com o Paraná e em mais dois postos na região Sudeste.



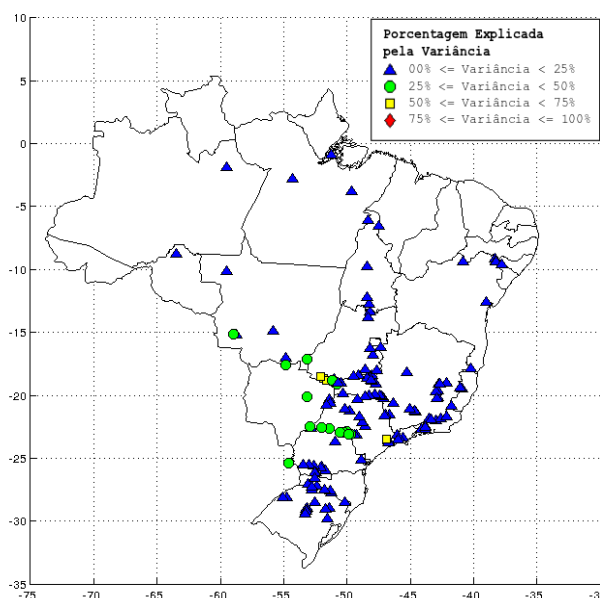


Figura 23-Fração das Variâncias (a) Banda 1 (1 a 8 anos);(b) Fração das Variâncias – Banda 2 (9 a 39 anos) e (c) Fração das Variâncias – Banda 3 (Baixa Frequência).

As séries de vazões naturalizadas mostram que:

- *O regime de vazões médias e as cheias dos postos variam de acordo com a região e com a ocorrência de fenômenos climáticos, como o El Niño/La Niña e a ODP.*
- *Os resultados apresentados para as médias e medianas móveis, além do método LOWESS, mostra que existe uma variabilidade de alta frequência, com período de poucos anos, nas séries de vazões naturalizadas estudadas.*
- *Os resultados mostram que existe uma tendência de aumento, ou variabilidade de baixa frequência, nas vazões nos postos das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, enquanto que existem uma tendência de redução, ou variabilidade de baixa frequência, nas vazões das regiões Norte e Nordeste, segundo o método de Mann-Kendall-Sen.*
- *Estas tendências podem estar associadas a mudanças nos patamares da PDO.*

4.2. Análise das variáveis meteorológicas do Eta

Nesta seção será mostrado como os cenários de RCP8.5 e RCP 4.5 indicam que a precipitação irá se comportar no período de 2010 a 2099.

4.2.1. Anomalia de Temperatura

Nas Figuras 24,25 e 26 são mostradas as anomalias de temperatura média(°C) para o período 2010 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099 para o modelo regional Eta forçados por dois modelos globais MIROC5 e HG2ES para dois cenários: RCP4.5 e RCP 8.5. Para os três períodos as simulações mostram o centro-oeste do Brasil com anomalias de temperatura maiores do que as demais regiões do país, no período de 2010 a 2040 já é possível identificar um acréscimo de temperatura 2,5°C estimado pelo HG2ES-RCP8.5 nessa região.

O modelo Eta forçado pelo modelo global HG2ES apresenta anomalias de temperatura superiores ao MIROC5 nos três períodos, esse comportamento torna-se evidente nos últimos trinta anos analisados, onde as anomalias do modelo HG2ES chega a atingir valores superiores a 6°C na maior parte do Brasil, enquanto o MIROC5 indica aproximadamente 4°C.

Comparando os cenários RCP4.5 e RCP8.5 as diferenças de temperatura são mias evidentes no terceiro período, de 2071 a 2099, enquanto o HG2ES-RCP8.5 mostra anomalias superiores a 6°C nesse período em todo o Brasil o mesmo modelo para o cenário RCP4.5 indica em torno 4.5°C.

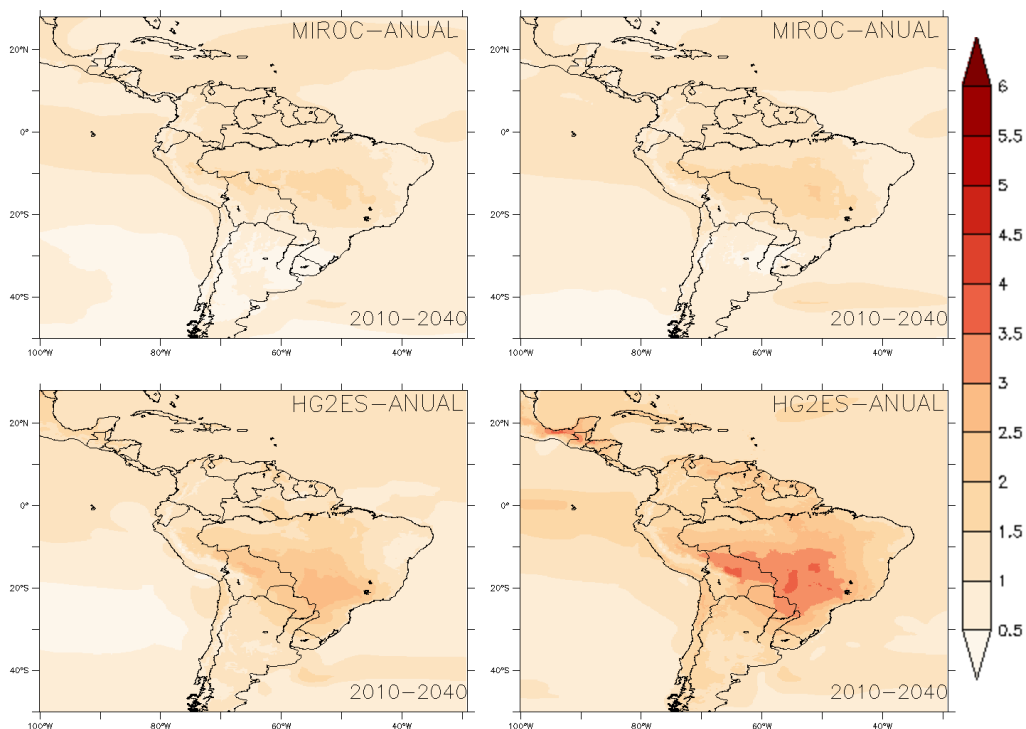


Figura 24- Anomalia de temperatura média(°C) para o período 2010 a 2040 para o modelo regional Eta forçados por dois modelos globais MIROC5 (cenários RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita) e HG2ES(RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita).

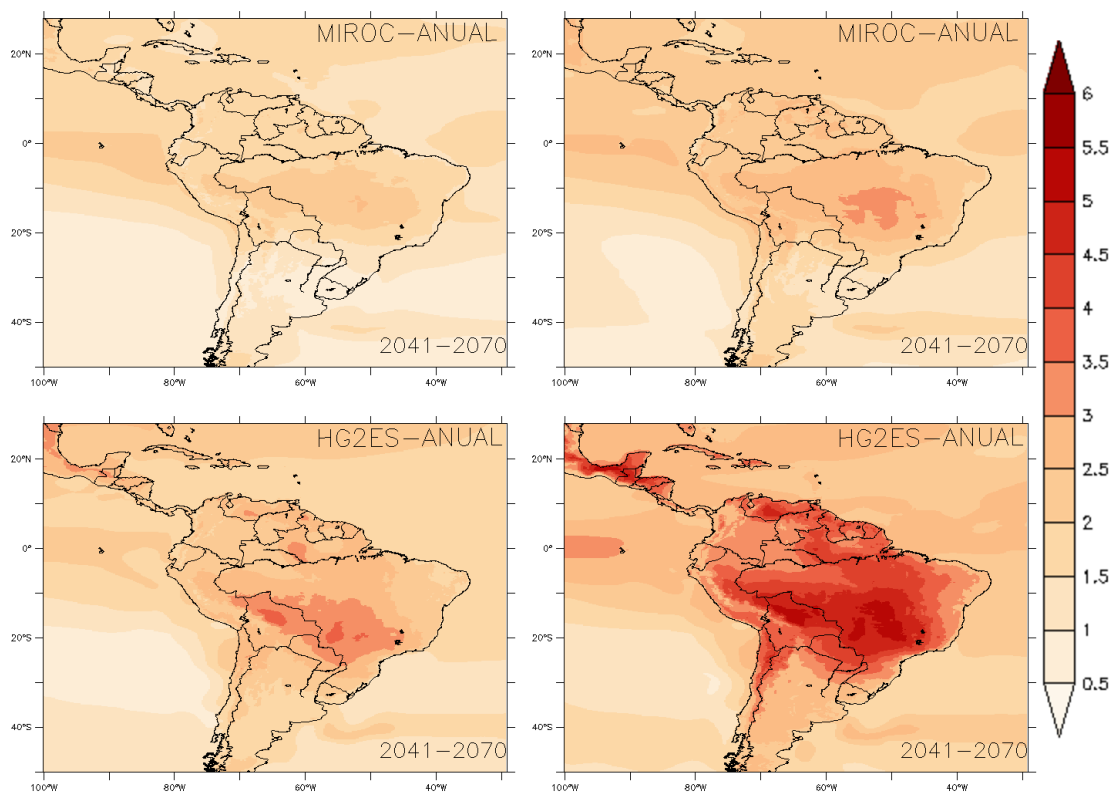


Figura 25-Anomalia de temperatura média(°C) para o período 2041 a 2070 para o modelo regional Eta forçados por dois modelos globais MIROC5 (cenários RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita) e HG2ES(RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita).

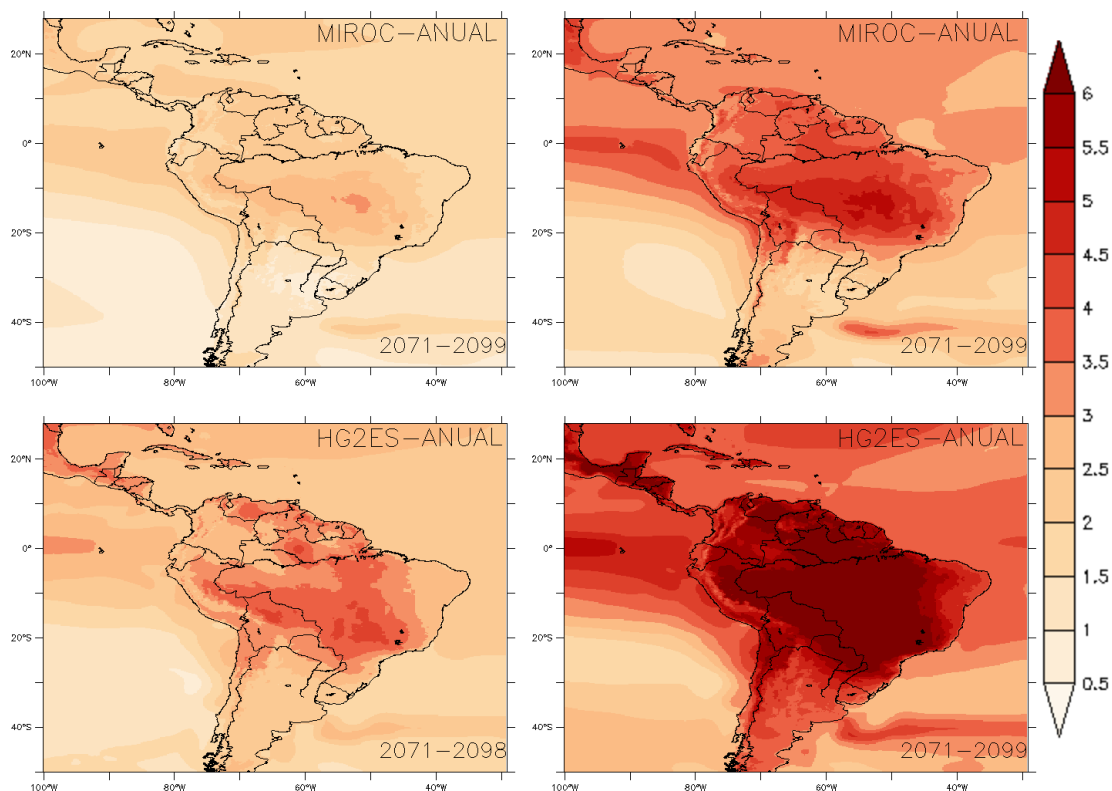


Figura 26-Anomalia de temperatura média(°C) para o período 2071 a 2098 para o modelo regional Eta forçados por dois modelos globais MIROC5 (cenários RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita) e HG2ES(RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita).

4.2.2. Anomalias de Precipitação

Nas Figuras 27,28 e 29 são mostradas as anomalias de precipitação média anual (%) para o período 2010 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099 para o modelo regional Eta forçados por dois modelos globais MIROC5 e HG2ES para dois cenários: RCP4.5 e RCP 8.5. Para os três períodos as simulações mostram o extremo sul do Brasil com anomalias positivas e as demais regiões do país com anomalias negativas.

O modelo HG2ES é extremamente pessimista em relação à precipitação, principalmente na região litorânea do Brasil, onde o mesmo apresenta sistemáticas anomalias negativas de precipitações nos três períodos de 30 anos. No período de 2071 a 2099 as anomalias atingem valores inferiores a -50% em várias regiões para o cenário RCP8.5.

Comparando os cenários RCP4.5 e RCP8.5 as simulações indicam que o RCP8.5 apresenta-se mais seco na maior parte do Brasil, principalmente litorânea da região Nordeste e Sudeste do país.

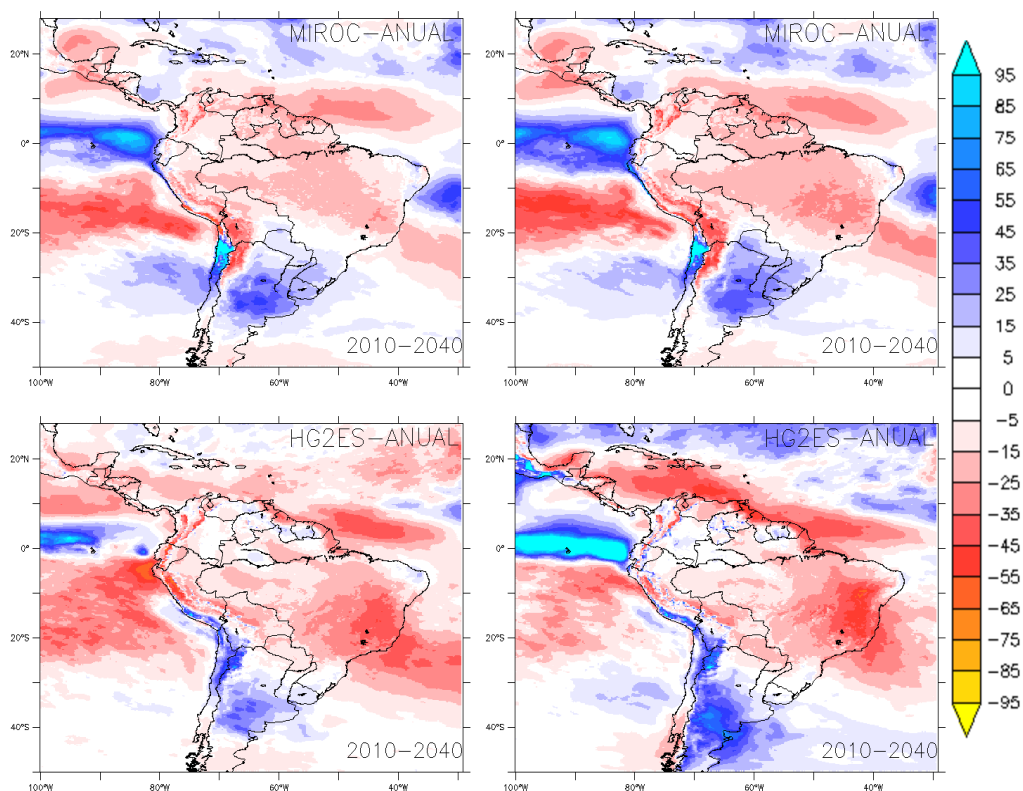


Figura 27-Anomalia de precipitação média anual (%) para o período 2010 a 2040 para o modelo regional Eta forçados por dois modelos globais MIROC5 (cenários RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita) e HG2ES(RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita).

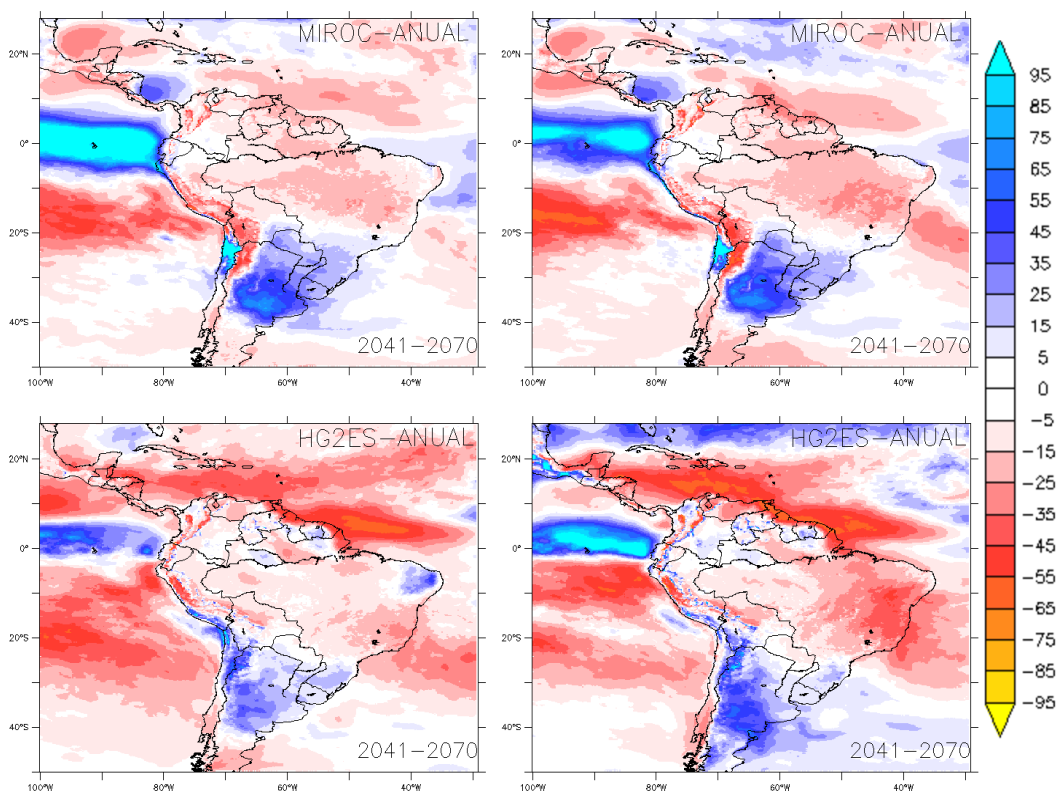


Figura 28-Anomalia de precipitação média anual (%) para o período 2041 a 2070 para o modelo regional Eta forçados por dois modelos globais MIROC5 (cenários RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita) e HG2ES(RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita).

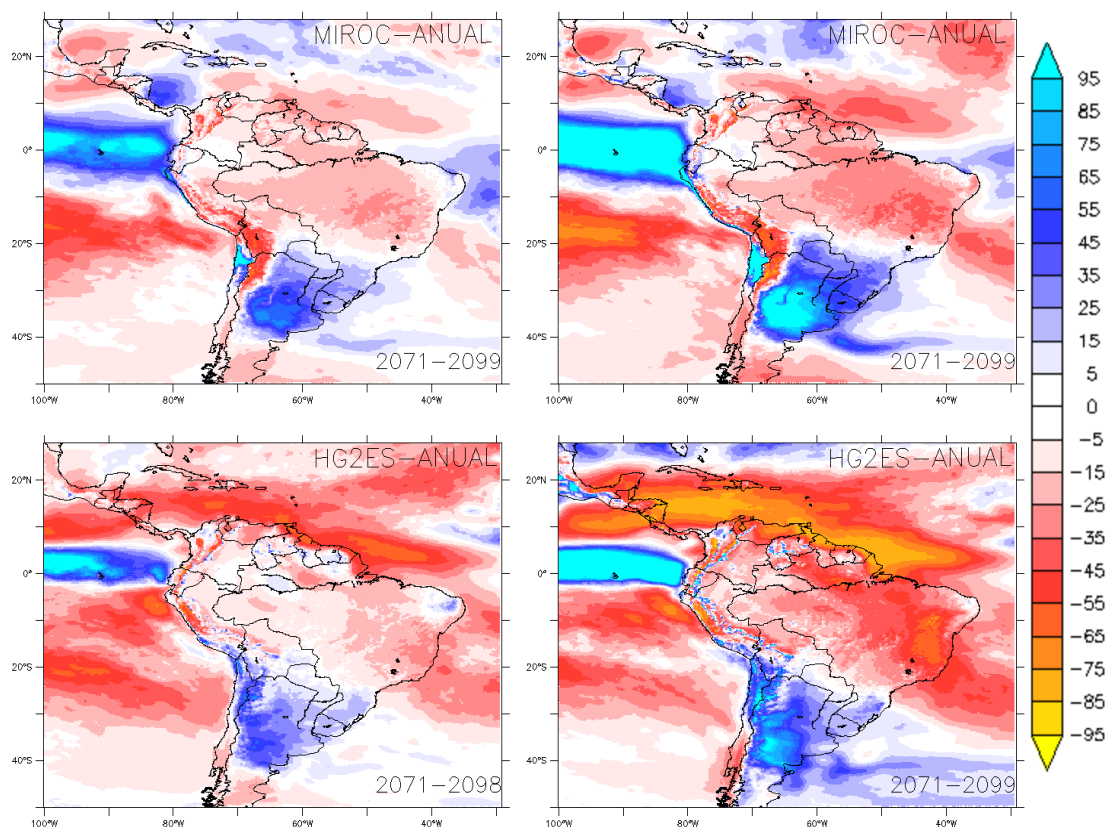


Figura 29-Anomalia de precipitação média anual (%) para o período 2071 a 2099 para o modelo regional Eta forçados por dois modelos globais MIROC5 (cenários RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita) e HG2ES(RCP4.5 e RCP 8.5, da esquerda para direita).

As anomalias de precipitações mostradas nas Figuras 27,28 e 29 indicam que o país 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 30.

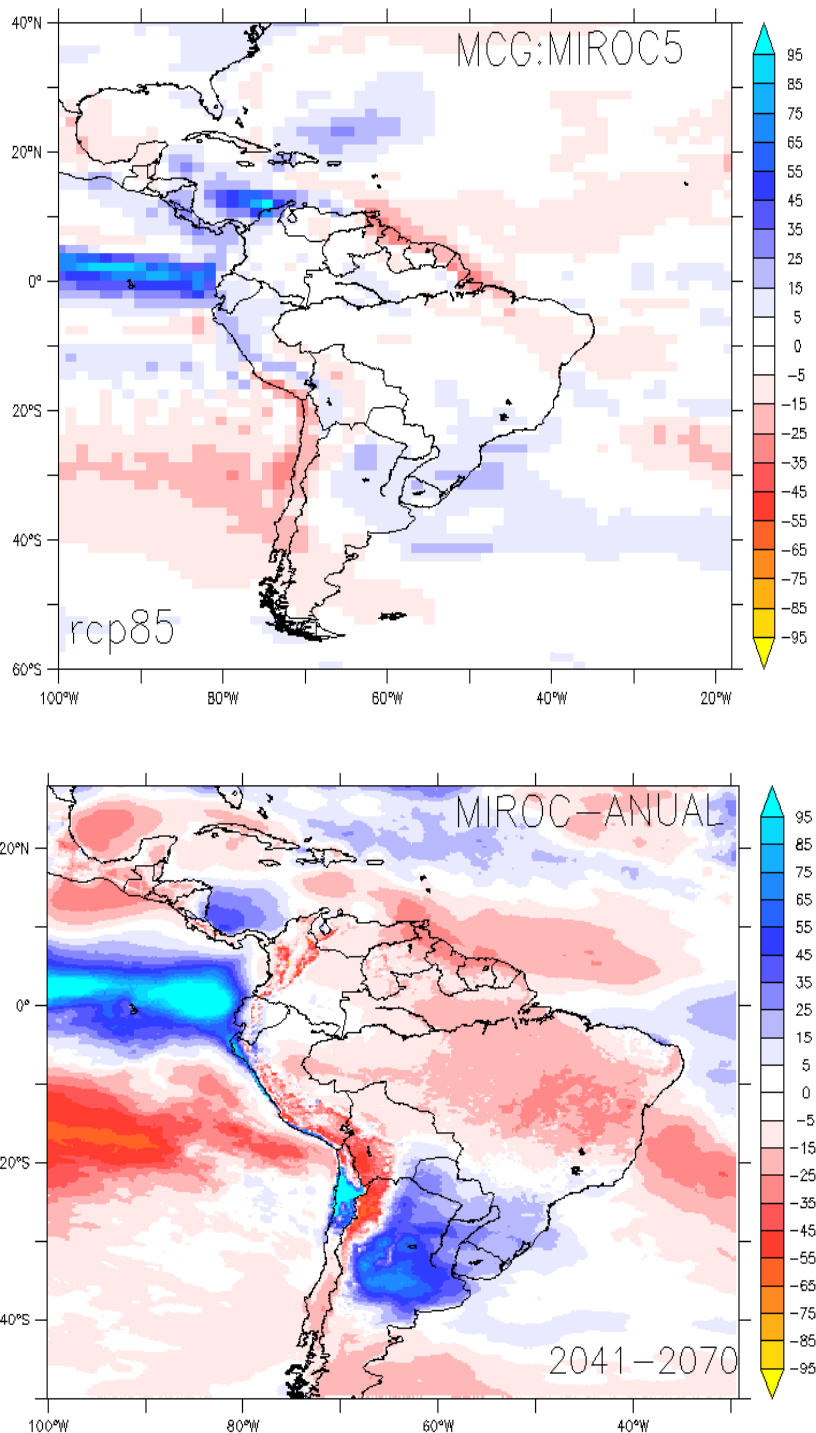


Figura 30-Anomalia de precipitação média anual (%) para o período 2041 a 2070 para o modelo global MIROC5-RCP8.5 e modelo regional Eta forçados por este modelo global.

4.3. Análise das variáveis hidrológicas do Eta – SMAP

Na Figura 29 é mostrado o impacto na média anual de vazões no século XXI para o modelo Eta para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 em relação ao século XX(1961 a 2005) para os períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099.

Para as bacias dos setores norte e sudeste/centro-oeste os modelos sugerem uma maior possibilidade de reduções nas vazões, divergindo apenas em magnitude.

Entretanto no setor sul os modelos divergem, o modelo Eta forçado com o MIROC5 projeta aumento nas vazões de várias bacias, enquanto o modelo HG2ES mostra vazões abaixo da média histórica em até 40% em algumas bacias, nos três períodos.

No setor nordeste os modelos indicam bastante incerteza na bacia do Xingó. Neste aproveitamento, o modelo HG2ES-RCP4.5 mostra 40% de aumento, enquanto o HG2ES-RCP8.5 mostra redução superior a 70% entre 2041 e 2070. Essa bacia mostra grande dependência entre os cenários, sugerindo grande vulnerabilidade ao clima, enquanto o cenário RCP4.5 mostra anomalias de vazões menores em magnitude para ambos os modelos globais no período de 2041 a 2070 o cenário RCP8.5 mostra anomalias de vazões negativas superiores em módulo a -30%.

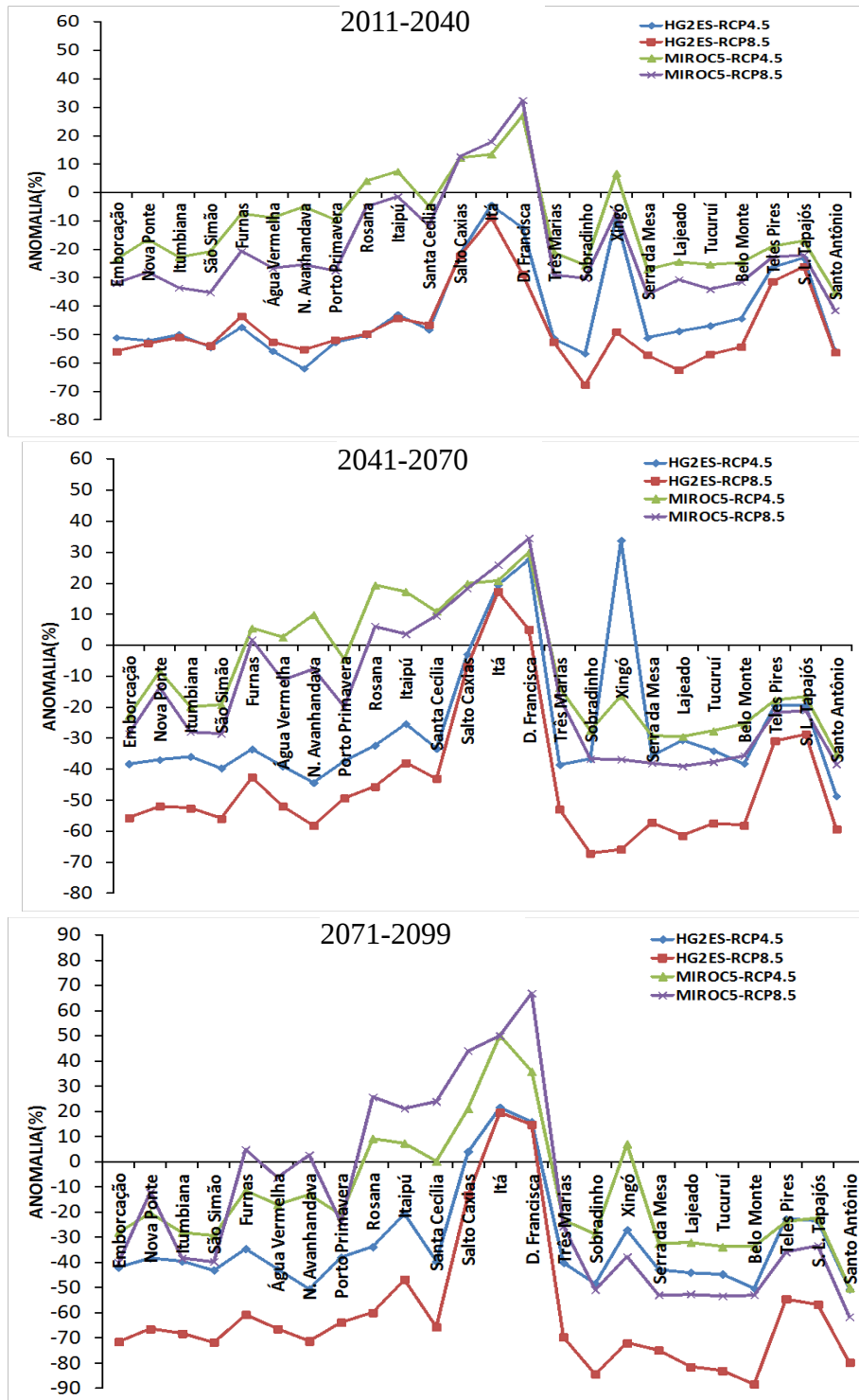


Figura 31-Anomalia de vazões médias anuais para os períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099 para o modelo global MIROC5-RCP8.5 e modelo regional Eta forçados por este modelo global.

Nas Figuras 32, 33, 34 e 35 é mostrado o impacto na média anual de vazões, evapotranspiração potencial e precipitação no século XXI em três períodos (2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099) para os modelos em relação ao período de 1961-2005 para as bacias de Furnas, Itaipu, Sobradinho e Tucuruí.

Os resultados a partir do modelo MIROC5 mostram pequena redução nas vazões no primeiro período em Furnas, já projetado pelo sinal da variabilidade decadal e PDO, seguido por normalidade nos demais períodos. Enquanto o modelo HG2ES mostra reduções nas vazões superiores a 30% em nos três períodos (superior a 10%), está deve a grande aumento de ETP projetado por esses modelo e sinal negativo das anomalias de precipitação (inferior a -10%).

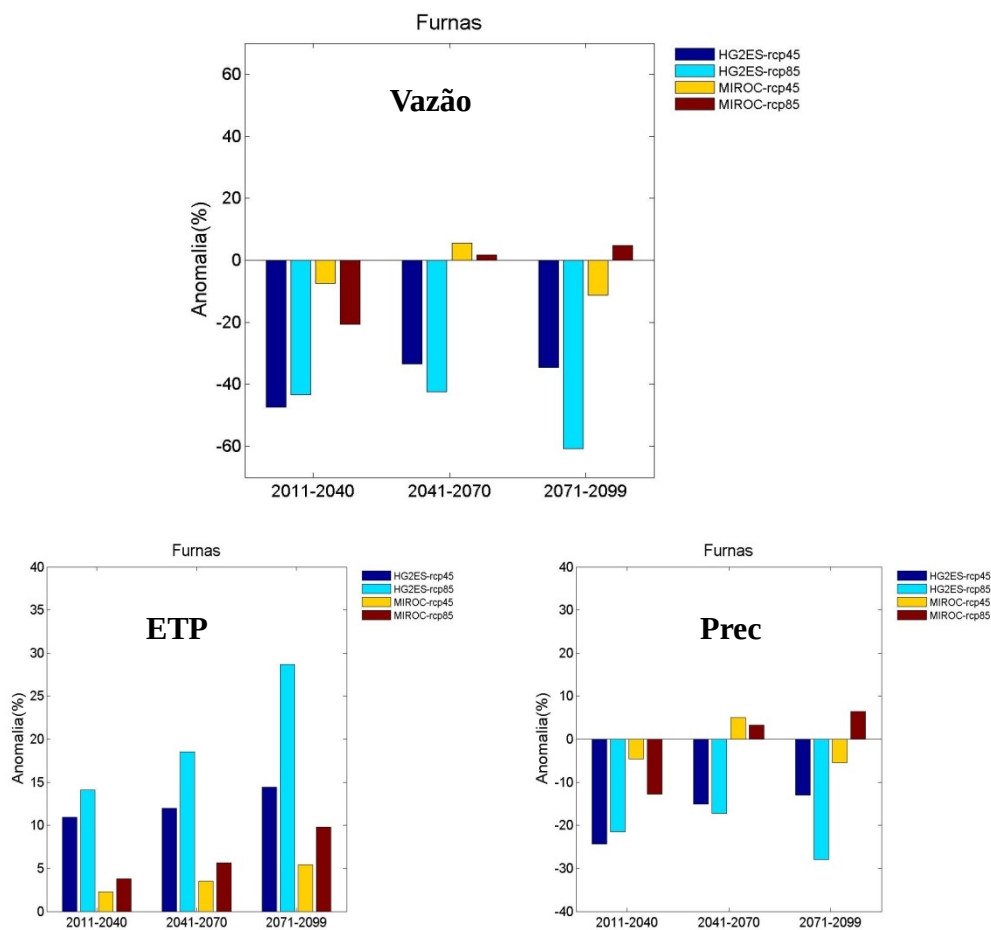


Figura 32-Anomalia de vazões médias anuais, evapotranspiração e precipitação para Furnas para os períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099 dos modelos.

Em Itaipu o modelo MIROC5 indica aumento de vazões, com uma possível tendência positiva, enquanto o HG2ES apresenta anomalias negativas de até 40%. Esse sinal reflete a anomalia positiva da ETP mostrado pelo HG2ES, superior a 20% para o cenário RCP8.5 no período de 2071 a 2099.

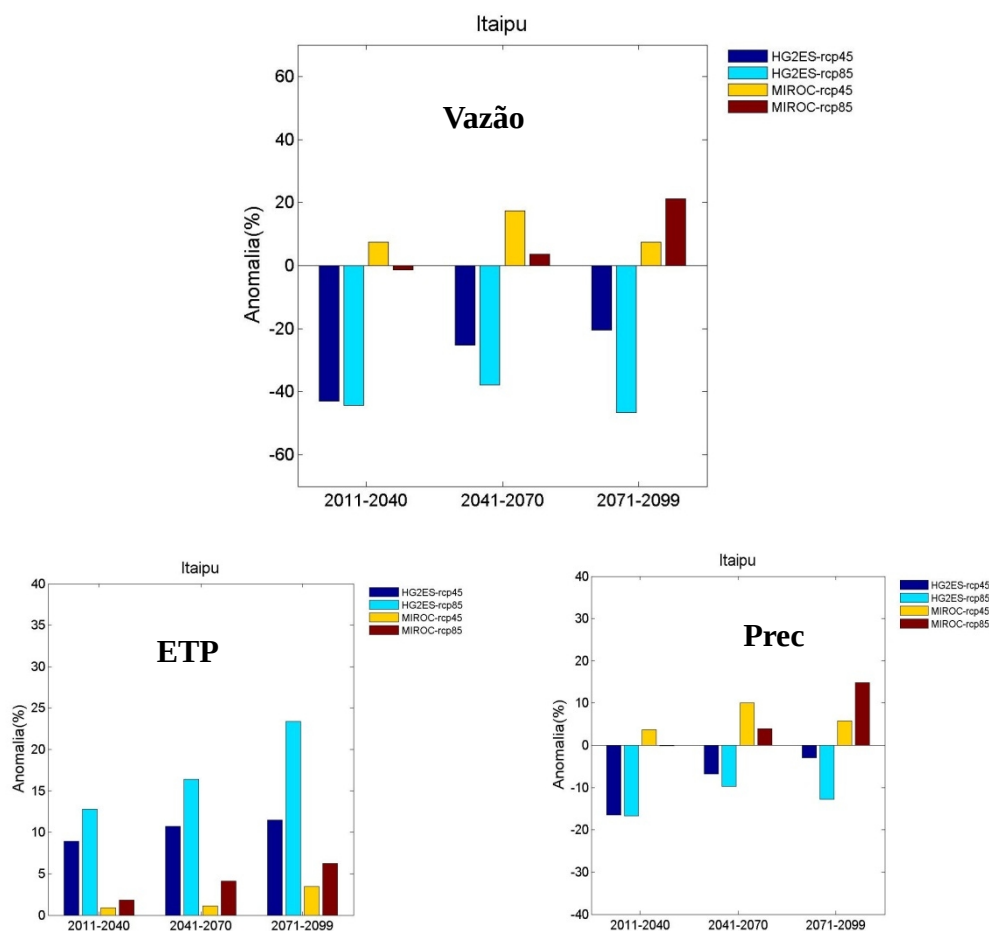


Figura 33-Anomalia de vazões médias anuais, evapotranspiração e precipitação para Itaipu para os períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099 dos modelos.

Em Sobradinho os modelos indicam reduções significativas nas vazões e precipitações. A anomalia de vazões para o modelo MIROC5 é -20% em média para cada período de trinta anos e para ambos os cenários, já para o modelo HG2ES essa anomalia atinge valores superiores em módulo a -50%.

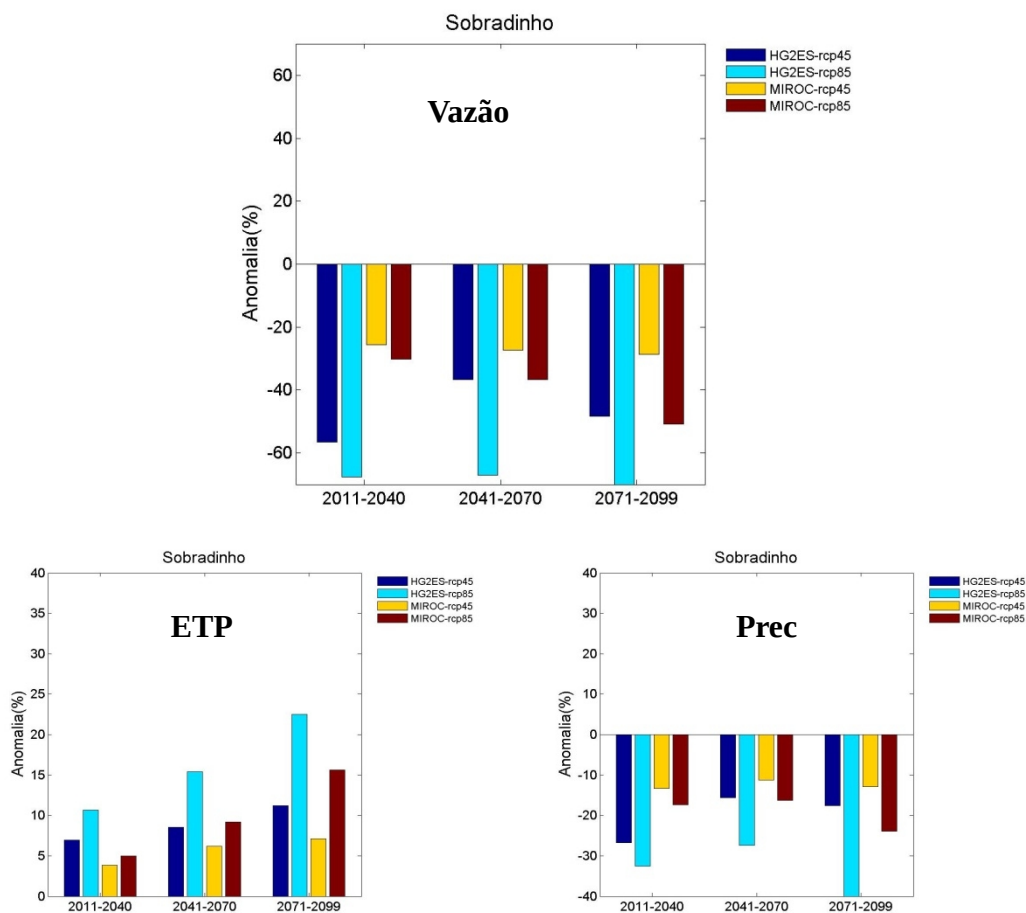


Figura 34-Anomalia de vazões médias anuais, evapotranspiração e precipitação para Sobradinho para os períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099 dos modelos.

Em Tucuruí os modelos também indicam reduções significativas nas vazões e precipitações combinados a anomalias positivas de ETP. A anomalia de vazões para o modelo MIROC5 é -25% em média para cada período de trinta anos e para ambos os cenários, já para o modelo HG2ES essa anomalia atinge valores superiores em módulo a -60% para o cenário RCP8.5.

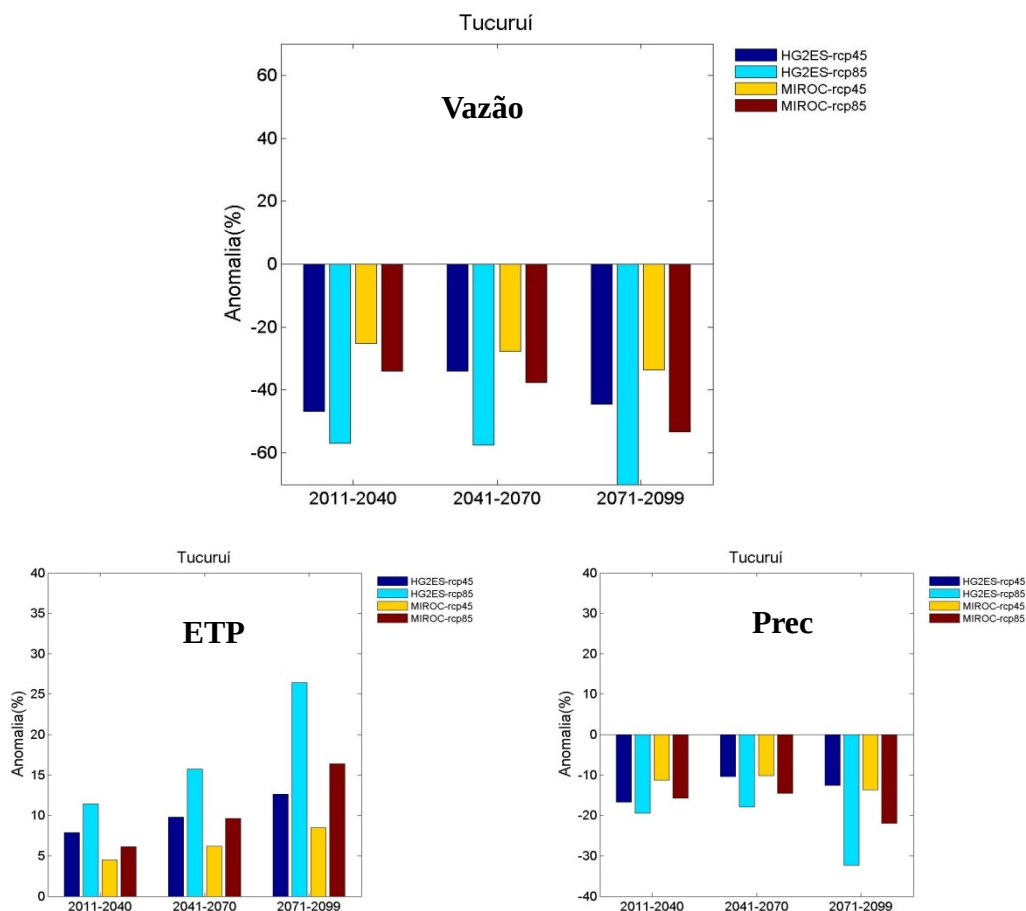


Figura 35-Anomalia de vazões médias anuais, evapotranspiração e precipitação para Tukurui para os períodos de 2010 a 2039, 2041 a 2070 e 2071 a 2099 dos modelos.

4.4. Análise das anomalias do modelo de regressões

4.4.1. Teste de sensibilidade das regressões

Na Figura 36 é mostrado o teste de sensibilidade para alguns postos(Mascarenhas de Moraes, Capivara e Jupιά), selecionados aleatoriamente para mostrar os desempenho e funcionamento da regressão linear, para o período de 2001 a 2008 tendo como variáveis explanatórias as vazões do SMAP. Para maioria dos postos bases o modelo de regressões possui aderência satisfatória, o que indica que seu uso é adequado para o problema proposto.

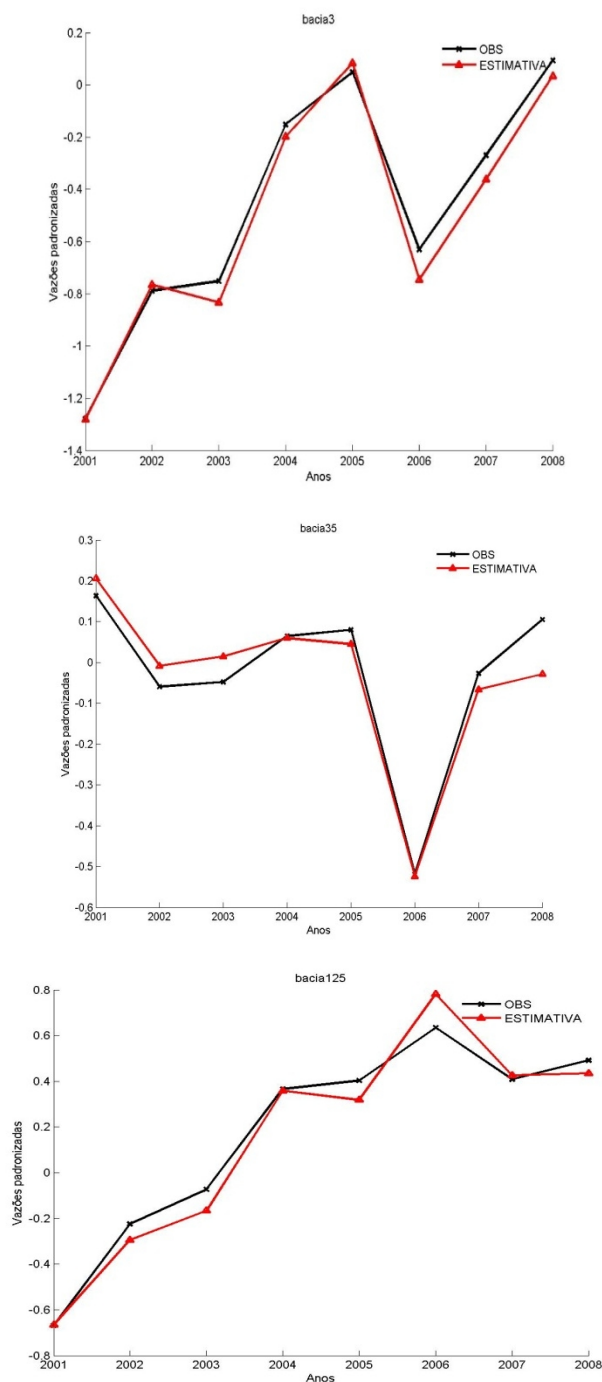
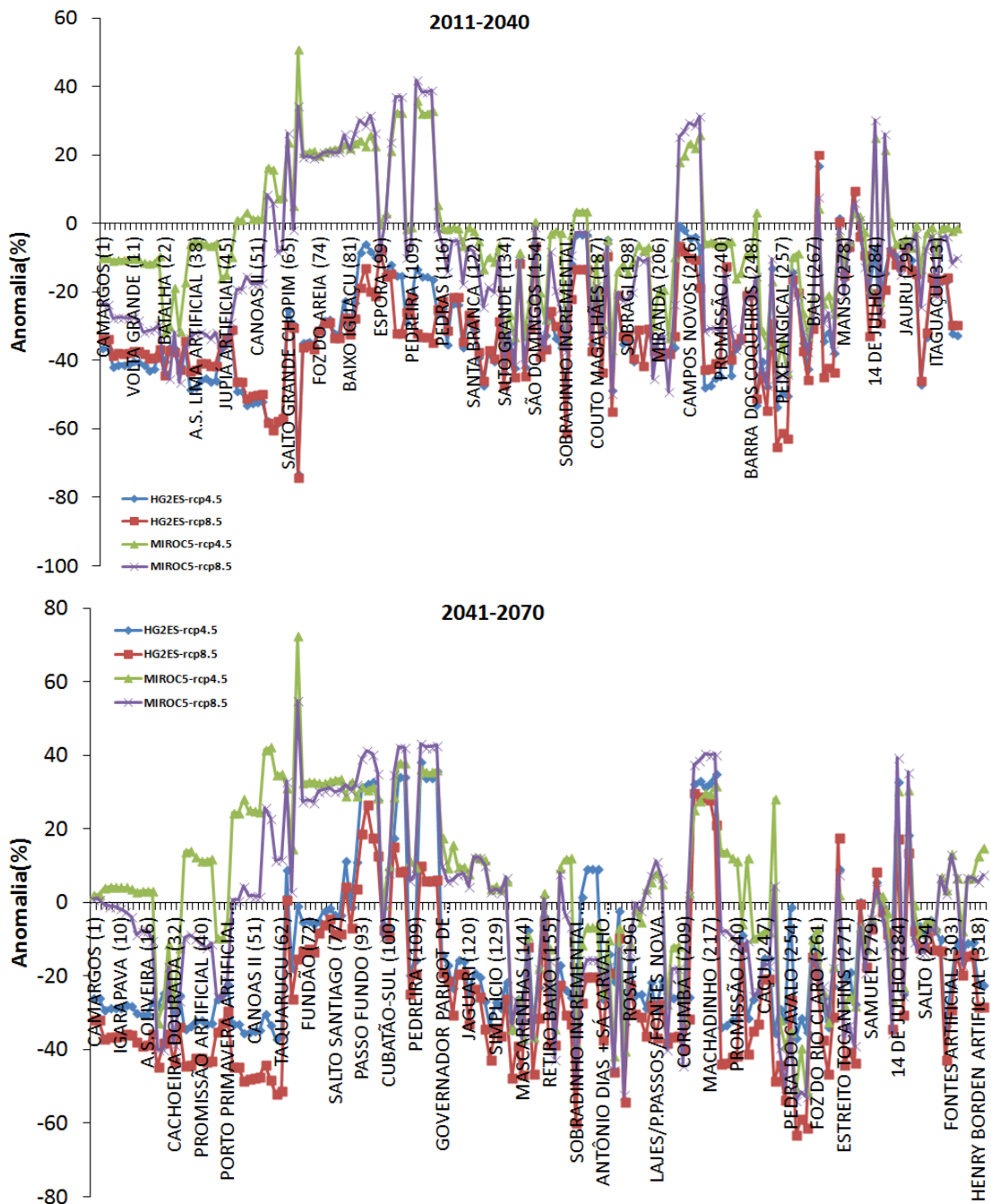


Figura 36- Teste de sensibilidade do modelo de regressões para os postos: Mascarenhas de Moraes (7), Capivara(61) e Jupuíá(245).

4.4.2. Anomalias das regressões

Na Figura 35 são mostrados as anomalias de vazões para o século XXI com base nas regressões. O modelo HG2ES mostra reduções em praticamente todos os postos do SIN para os três períodos de 30 anos. Enquanto o modelo MIROC5 mostra aumento em alguns postos da região sudeste e Sul, associado a reduções na região Norte.



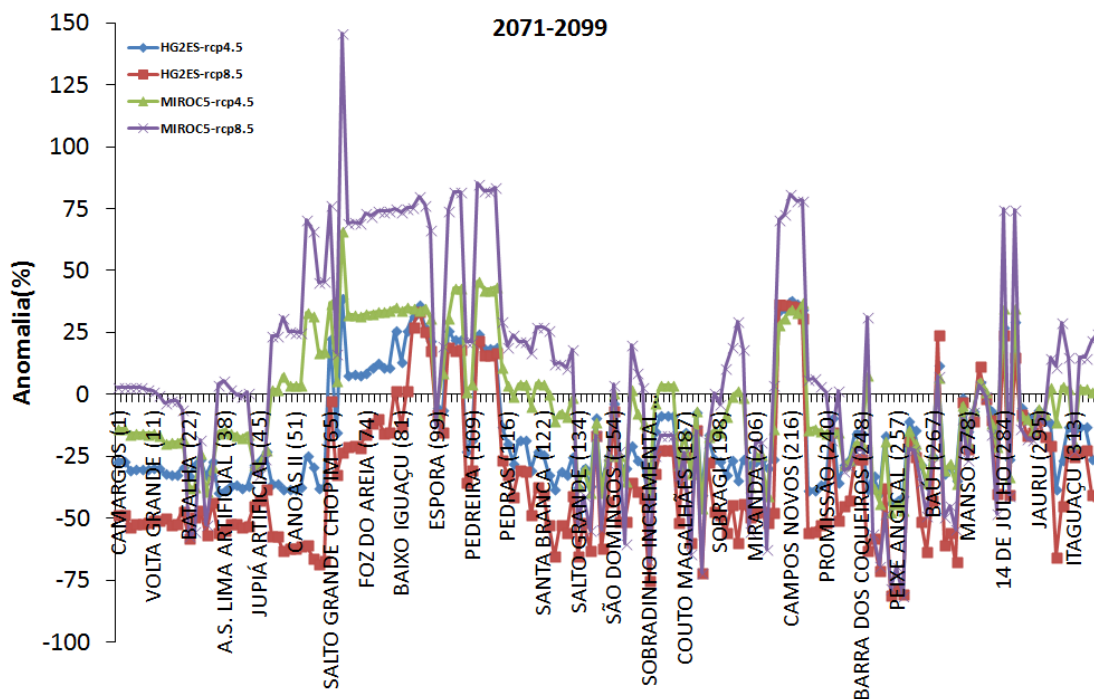


Figura 37-Anomalia de vazões médias anuais(%) para os períodos de 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2099 para os modelos com base nas regressões.

4.5. Distribuição espacial das anomalias de vazões do SIN

As Figuras 38, 39, 40, 41 e 42 mostram espacialmente como o modelo ETA projeta o século XXI.

O modelo ETA forçado pelo MIROC5 sinaliza aumento nas vazões no extremo sul do Brasil, superior a 10% em relação à média histórica entre 2011 e 2040 e superior a 30% entre 2071 e 2099, associado a reduções na região Nordeste e Centro-Oeste. O sinal mostrado é intensificado pelo cenário RCP8.5, onde o extremo sul no período de 2071 a 2099 apresenta anomalia de vazões superiores a 50% e Nordeste -50% na maioria dos postos.

O modelo ETA forçado pelo HD2ES apresenta projeções mais pessimistas para o SIN, principalmente para o Nordeste do Brasil onde as anomalias de vazões são inferiores a -50% no segundo e no terceiro período para o cenário RCP8.5.



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

Apesar de mostrar nos primeiros 30 anos analisados praticamente todo o domínio com vazões abaixo da média histórica, o segundo e o terceiro período de 30 anos são caracterizados por projeções semelhantes ao MIROC5. Sugerindo, portanto, o extremo sul do país com anomalias positivas e Norte, Nordeste e Centro-Oeste com anomalias negativas.

Assim como o ETA-MIROC5, o ETA-HD2ES intensifica o sinal das anomalias para o cenário RCP8.5 em detrimento do RCP4.5. Porém, é importante notar que o cenário RCP8.5 do HD2-ES mostra vazões anuais 50% abaixo da média histórica já nos primeiros 30 anos em alguns postos do Centro-Oeste e Norte e para mais da metade dos aproveitamento hidrelétricos no período de 2071 a 2099.

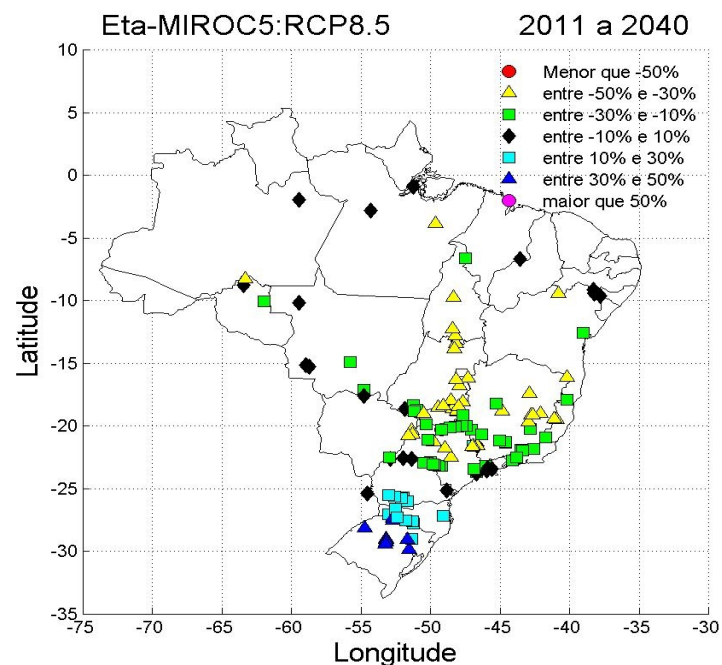
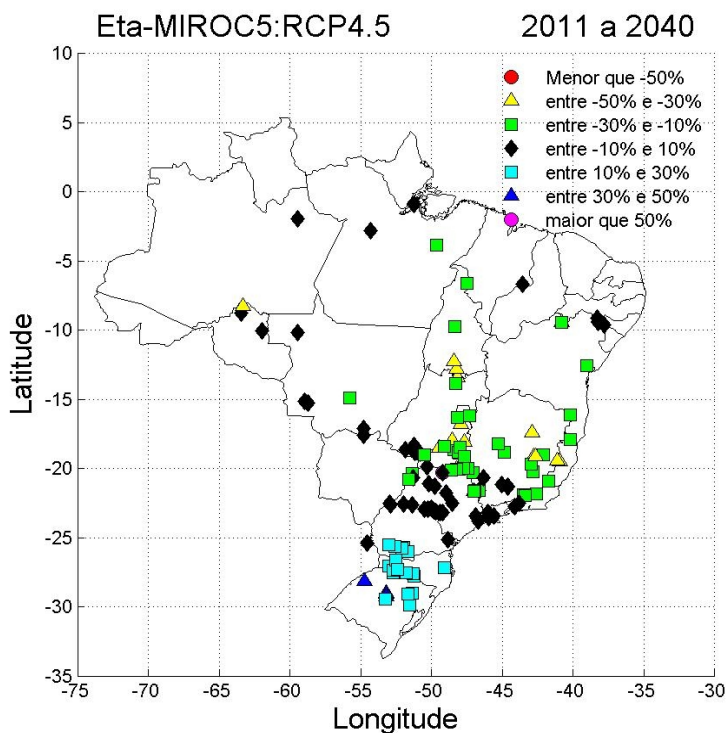


Figura 38-Anomalia de vazões médias anuais(%) para os período de 2011 a 2040, segundo o modelo ETA forçado pelo MIROC5.

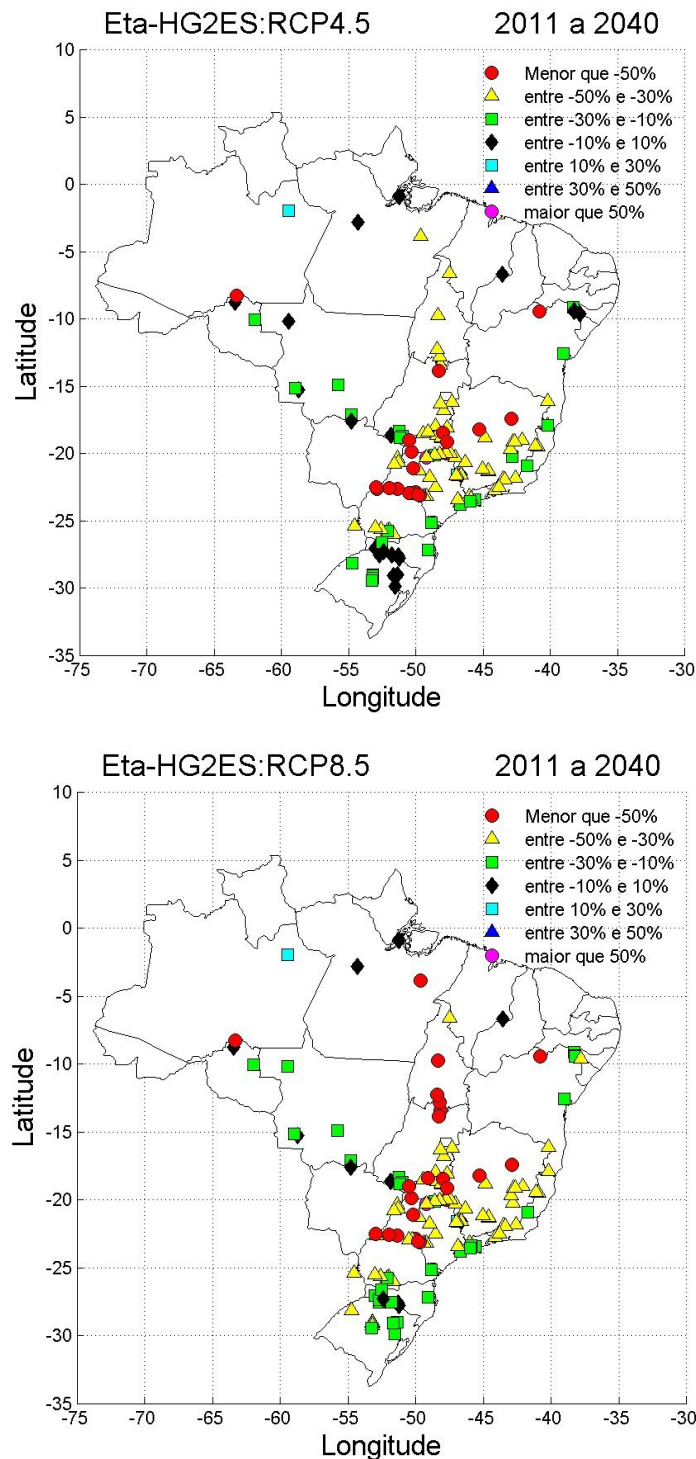


Figura 39-Anomalia de vazões médias anuais(%) para os período de 2011 a 2040, segundo o modelo ETA forçado pelo HG2ES.

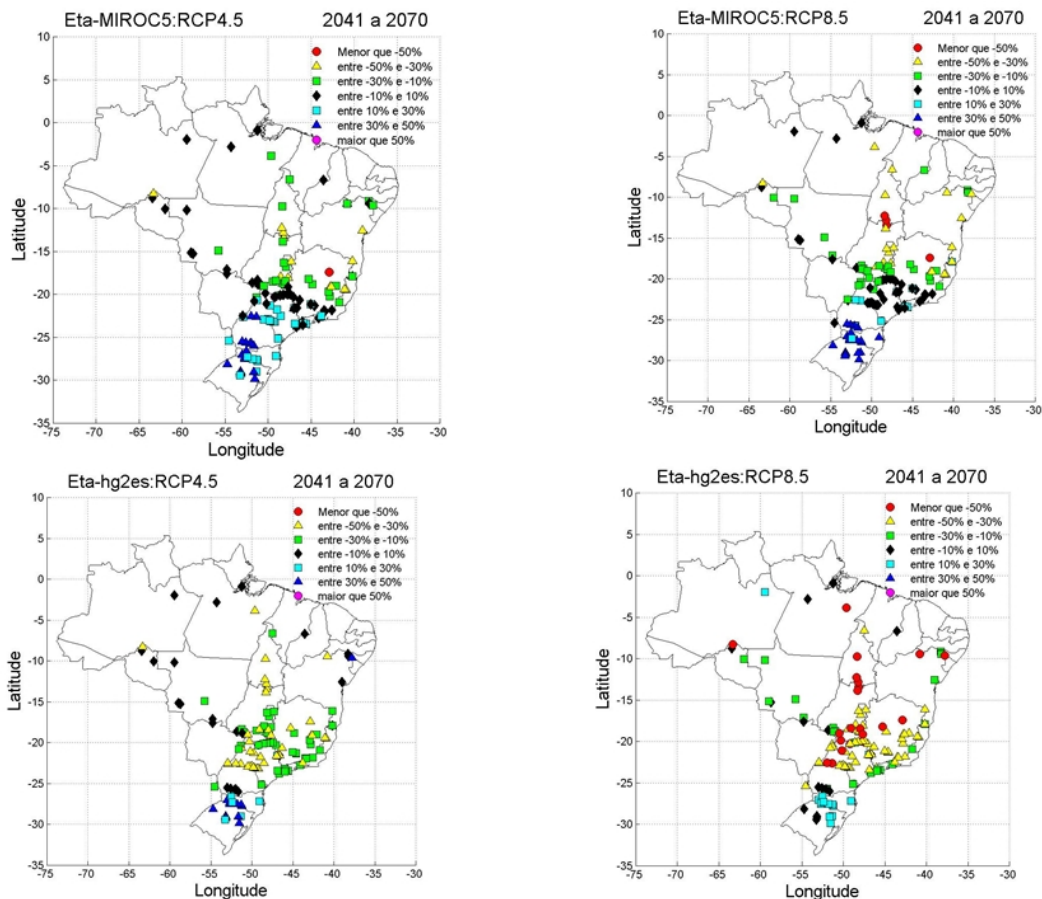


Figura 40-Anomalia de vazões médias anuais(%) para os período de 2041 a 2070, segundo o modelo ETA forçado pelos modelos globais MIROC5 e HG2ES.

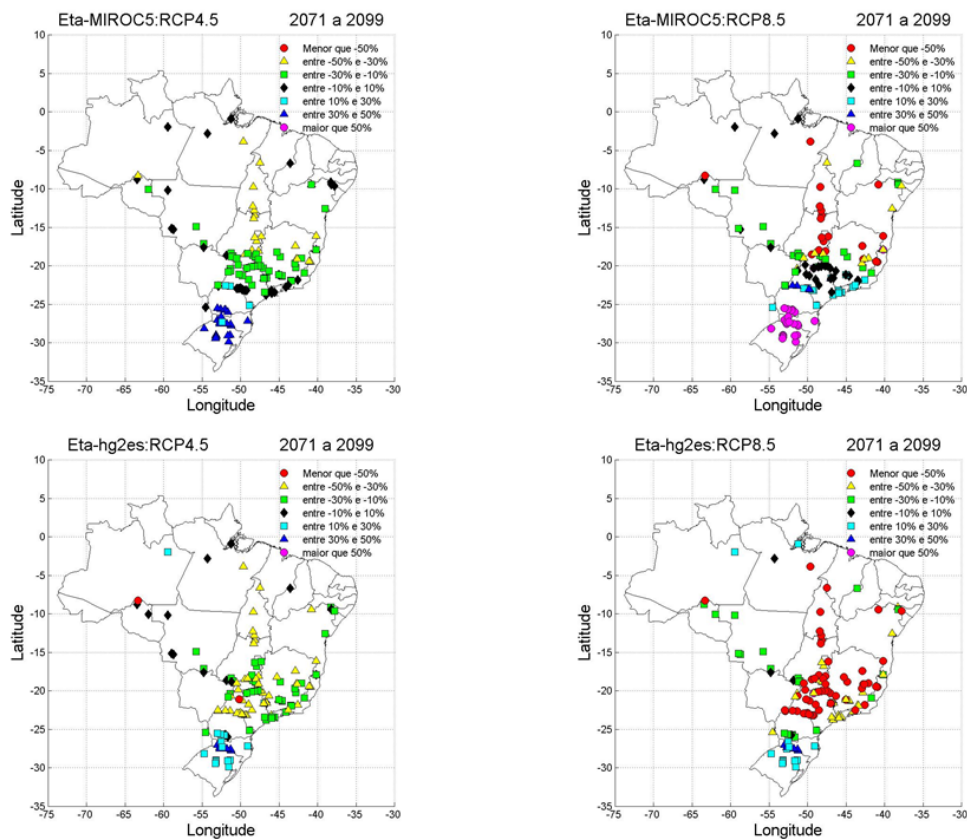


Figura 41-Anomalia de vazões médias anuais(%) para os período de 2071 a 2099, segundo o modelo ETA forçado pelos modelos globais MIROC5 e HG2ES.

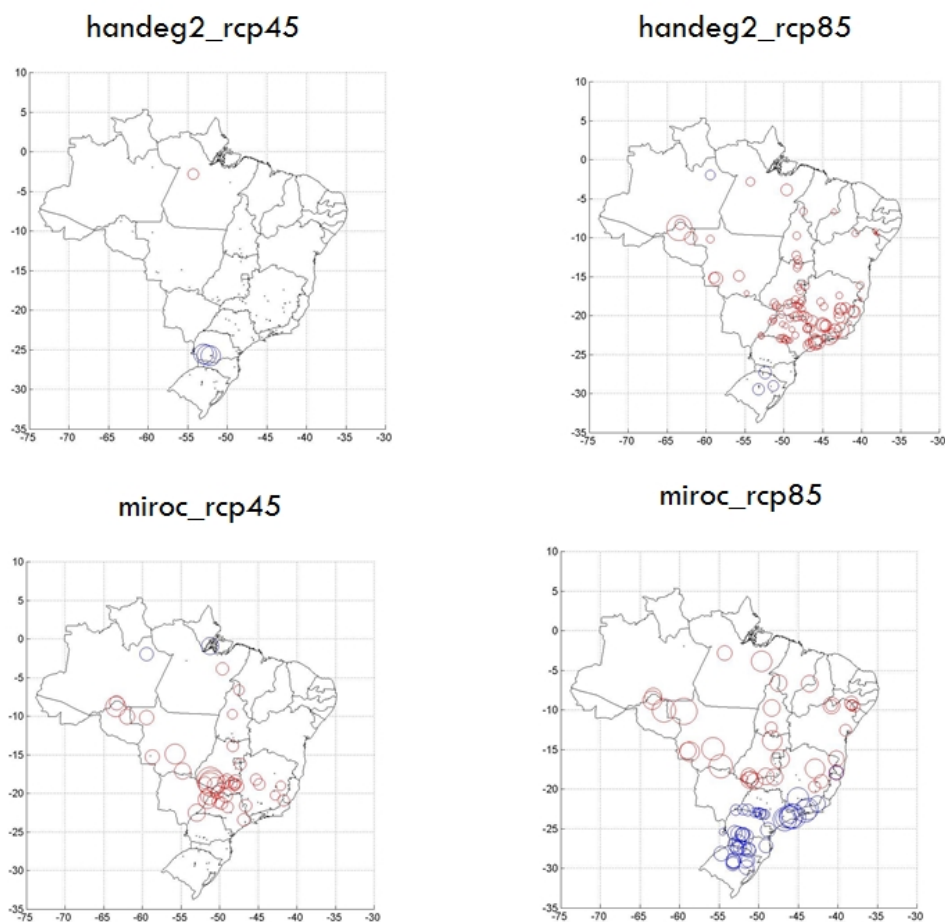


Figura 42-Tendência para os período de 2011 a 2099, segundo o modelo ETA forçado pelos modelos globais MIROC5 e HG2ES.em vermelho tendência negativa e azul tendência.

5. Conclusões

A variabilidade e a mudança climática exercem 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 do clima sobre as vazões 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.

A análise das series observadas de vazões mostrou que:

- *Existe uma tendência de aumento nas vazões dos postos das regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste, segundo o método de Mann-Kendall-Sen. Os resultados apresentados para as médias e medianas móveis, além do método LOWESS, mostra que existe uma alta variabilidade de baixa frequência das séries de vazões estudadas.*
- *A análise da transformada em ondeletas mostrou que existem séries temporais cujas bandas de baixa e média frequência são responsáveis por explicar grande parte da variância. Isto indica que pode haver um forçante climático de baixa frequência responsável por está variação, como por exemplo a PDO. As variações dos índices climáticos (ENSO e PDO) podem ser uma das causas que estão afetando o regime pluviométrico do Brasil, bem como alterações no uso e ocupação do solo.*

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

- *- As simulações indicam que a temperatura nos SIN deve aumentar em aproximadamente 3°C nos últimos trinta anos do século XXI para o cenário RCP4.5 e aproximadamente 4,5°C a 6°C para o cenário RCP 8.5.*

- - Os campos de precipitação indicam que o Centro-Oeste e Sudeste do Brasil devem apresentar-se mais seco no século XXI, enquanto o extremo Sul do país, principalmente na Bacia do Uruguai, apresentam anomalias positivas superiores a 15% em cada período de 30 anos.
- -A evapotranspiração possui tendência positiva de aumento e deve apresentar anomalias positivas em pelo menos 5% em cada período de 30 anos em todo o domínio analisado, segundo o modelo ETA forçado por diferentes modelos globais.
- O modelo ETA sinaliza reduções nas vazões na maioria dos aproveitamentos hidroelétricos com aumento no extremo sul do país. Porém, é importante destacar que o modelo ETA amplificar as anomalias de precipitações em até 2 vezes em relação ao modelo global.
- O modelo forçado com HD2ES apresenta cenários mais pessimistas do que o MIROC5. Em Furnas, por exemplo, o HD2ES mostra vazões 40% abaixo da média histórica em todos os períodos de 30 anos.
- 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.
- Na região Norte do País os modelos indicam que as vazões devem diminuir a uma taxa superior a 5% em cada em cada período de 30 anos.
- Na região Sudeste/Centro-Oeste os modelos indicam margens que sugerem uma maior possibilidade de reduções nas vazões ou leve aumento. Enquanto que na Região 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.

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.
- 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.



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

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.

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.

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.



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

NOBRE C. A. *Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança no clima. In: Brasil, Presidência da Republica. Núcleo de Assuntos Estratégicos. Mudança do clima: Negociações Internacionais sobre a Mudança do Clima. Brasília. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da Republica. 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.

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.

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 6- 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
302	BELO MONTE Complementar	Amazonas	Xingu	Expansão	Natural
293	BELO MONTE Jusante	Amazonas	Xingu	Expansão	Artifici

CÓDIGO	NOME	BACIA	RIO	SITUAÇÃO	TIPO DE SÉRIE
					al
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	Itajaí-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

CÓDIGO ONS	NOME	BACIA	RIO	SITUAÇÃO	TIPO DE SÉRIE
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
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	Artifici al
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	Artifici al
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

CÓDIGO	NOME	BACIA	RIO	SITUAÇÃO	TIPO DE SÉRIE
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
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	Pirai	Operação	Natural
315	SANTANA	Paraíba do Sul	Ribeirão das Lajes	Operação	Artificial

CÓDIGOS	NOME	BACIA	RIO	SITUAÇÃO	TIPO DE SÉRIE
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	CORUMBÁ 4	Paranaíba	Corumbá	Operação	Natural
23	CORUMBA III	Paranaíba	Corumbá	Operação	Natural
24	EMBORCACAO	Paranaíba	Paranaíba	Operação	Natural
99	ESPORA	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

CÓDIGO ONS	NOME	BACIA	RIO	SITUAÇÃO	TIPO DE SÉRIE
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	Parnaíba	Parnaíba	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

CÓDIGO ONS	NOME	BACIA	RIO	SITUAÇÃO	TIPO DE SÉRIE
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
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/Cubatã	Pinheiros/Pedra	Operação	Natural

CÓDIGO ONS	NOME	BACIA	RIO	SITUAÇÃO	TIPO DE SÉRIE
		o	s		
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

