

Comissão Permanente para Análise de
Metodologias e Programas
Computacionais do Setor Elétrico
– CPAMP

Questões Metodológicas Associadas aos
Modelos Computacionais de Expansão e
Operação – GT7

Relatório Técnico

*“Avaliação da Representação do
SIN em Reservatórios Equivalentes
de Energia - REE”*

Membros:

MME

CCEE

ONS

EPE

ANEEL

(coordenação) **CEPEL**

Rio de Janeiro, 9 de setembro de 2015

Sumário

1	Introdução.....	3
2	Formulação Matemática Considerando REEs.....	5
2.1	Consideração de restrições elétricas no REE.....	7
3	Geração de Cenários Sintéticos de Energia Natural Afluente.....	9
3.1	Formulação Matemática	9
3.2	Amostragem Seletiva.....	9
3.2.2	Avaliação dos Ruídos para Amostra Original	10
3.2.3	Avaliação dos Ruídos para Simulação Forward.....	14
3.2.4	Avaliação dos Ruídos para Simulação Backward	16
3.3	Avaliação dos cenários gerados	19
3.3.1	Avaliação dos Cenários para Simulação Forward.....	19
3.3.2	Avaliação dos Cenários para Simulação Backward (testes não condicionados).....	24
3.3.3	Avaliação dos Cenários para Simulação Backward (testes condicionados)	29
3.4	Avaliação número de cenários forward e backward.....	32
3.5	Análise da compensação do desvio padrão.....	41
3.6	Análise da compensação da correlação cruzada	42
3.7	Influência da Tendência Hidrológica.....	42
4	Divisão do Sistema Interligado Nacional em REEs	47
4.1	Procedimentos para análise da divisão do SIN	47
4.1.1	Distribuição acumulada da ENA bruta gerada	47
4.1.2	Correlação espacial entre as ENAs históricas	50
4.1.3	Coeficiente de determinação (R2) entre as ENAs históricas.....	51
4.1.4	Agregação de curvas de ENA histórica.....	52
4.1.5	Componentes principais	53
4.1.6	Análise de restrições do sistema hidráulico e correlação entre as ENAs .	54
4.1.7	Análise do comportamento das vazões incrementais de Itaipu	55
4.2	Propostas de Topologias para o SIN	56
5	Resultados do Planejamento de Médio e Longo Prazo	70
6	Análise do comportamento dos casos com separação do REE Itaipu	281
7	Desenvolvimentos para redução do tempo computacional	286
8	Conclusões.....	287
9	Recomendações	290

10 Referências	292
Anexo A.....	294
Anexo B.....	298
Anexo C.....	341

1 Introdução

Até a versão 20 do programa NEWAVE, os sistemas equivalentes de energia eram considerados como subsistemas hidrotérmicos e submercados de forma indistinta no Sistema Interligado Nacional (SIN). Esta abordagem não permite diferenciar bacias hidrográficas com comportamentos hidrológicos distintos que pertenciam a um mesmo submercado de energia elétrica. Com o intuito de obter uma melhor representação do sistema de geração de energia elétrica brasileiro, foi proposta uma extensão da abordagem tradicional onde se mantém a representação atual dos submercados do SIN, porém permitindo que o mesmo mercado de energia possa contemplar diversas bacias hidrográficas com comportamentos hidrológicos próprios. Em outras palavras, diversos reservatórios de energia (REE) podem estar vinculados a um mesmo submercado/subsistema (SM/SS).

Este relatório tem como objetivo avaliar a representação da diversidade hidrológica das bacias do SIN por meio da utilização de REEs. Serão também apresentadas, pelo Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas Associadas aos Modelos Computacionais de Expansão e Operação – GT7” no âmbito da Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico - CPAMP, alternativas para composição dos REEs, de modo que esta comissão, instituída e coordenada pelo Ministério de Minas e Energia, com a participação da ANEEL, EPE, ONS, CCEE e CEPEL, possa ter subsídios para escolher e recomendar a topologia adequada para representação do SIN. Esta topologia então deve ser empregada em conjunto com a formulação que considera uma representação diferenciada para os REEs e SM/SSs no problema de planejamento da operação de médio/longo prazo e utilizada pelo Setor Elétrico em seus estudos oficiais.

O cronograma das reuniões realizadas pelo Grupo de Trabalho GT7 ao longo dos anos de 2014 e 2015, onde foi abordado o tema REE com o objetivo de estudar, avaliar e propor alternativas para a divisão do SIN, é apresentado na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 Cronograma de reuniões do GT7

Data	Reunião	Instituições Participantes
16/01/2014	13 ^a	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
29/04/2014	14 ^a	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, ANEEL
03/06/2014	15 ^a	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
01/08/2014	16 ^a	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
18/09/2014	17 ^a	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
21/10/2014	18 ^a	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, ANEEL
24/03/2015	19 ^a	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
07/04/2015	20 ^a	CEPEL, EPE, ONS, CCEE
22/04/2015	21 ^a	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
21/05/2015	22 ^a	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
09/06/2015	23 ^a	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
12/06/2015	24 ^a	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME,
15/07/2015	27 ^a	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL

21/08/2015	28 ^a	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
27/08/2015	29 ^a A	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
03/09/2015	29 ^a	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
09/09/2015	29 ^a B	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL
11/09/2015	29 ^a C	CEPEL, EPE, ONS, CCEE, MME, ANEEL

Na seção 2 deste Relatório Técnico será apresentada a formulação matemática do problema de planejamento da operação de médio/longo prazo considerando a representação diferenciada entre REEs e SM/SSs. Na seção 3 será detalhado o procedimento de geração de cenários sintéticos de energia natural afluyente e serão discutidos os impactos da representação do SIN considerando um número maior de REEs. As alternativas de topologia analisadas pelo GT7 serão apresentadas e discutidas na seção 4, assim como as medidas de avaliação destas topologias. Os resultados obtidos com a nova versão do programa NEWAVE considerando as topologias propostas serão mostrados na seção 5. A seguir, na seção 6, a análise do comportamento dos casos com a separação dos REEs Itaipu e Paraná é apresentada. Os desenvolvimentos para redução do tempo computacional estão descritos na seção 7. Nas seções 8 e 9 serão apresentadas as principais conclusões e recomendações deste Relatório Técnico. Finalizando, três anexos completam este Relatório.

2 Formulação Matemática Considerando a Representação Diferenciada entre Reservatório Equivalente de Energia e Submercado/Subsistema

O programa NEWAVE resolve o problema de planejamento da operação hidrotérmica representando a configuração hidráulica através de reservatórios equivalentes de energia **Erro! Fonte de referência não encontrada..** A formulação matemática simplificada de um estágio do problema de planejamento da operação hidrotérmica considerando uma representação diferenciada para os REEs e SM/SSs empregada no programa NEWAVE é dada de acordo com as equações (2.1a) a (2.1j).

$$FO_t = \min \sum_{isbm=1}^{nsbm} \sum_{ipat=1}^{npat} \left(\sum_{T=1}^{TCLISIS^{isbm}} CT^T \cdot GT_{t,ipat}^T + CDEF \cdot DEF_{t,ipat}^{isbm} \right) + CF_{t+1} \quad (2.1a)$$

s.a.

Balço hídrico controlável

$$EARM_{t+1}^{iree} + \sum_{ipat=1}^{npat} GH_{t,ipat}^{iree} + EVERT_t^{iree} + DSVc_t^{iree} = EARM_t^{iree} + FC_t^{iree} \times \gamma_t^{iree} \times EAF_t^{iree} - EVAP_t^{iree} \quad (2.1b)$$

Atendimento a demanda

$$\sum_{iree \in isbm} \left[GH_{t,ipat}^{iree} + GFIOl_t^{iree} * fp_{ipat} \right] + \sum_{T=1}^{TCLISIS^{isbm}} GT_{t,ipat}^T + DEF_{t,ipat}^{isbm} \pm INT_{t,ipat}^{isbm} - EXC_{t,ipat}^{isbm} = \left[(MERC_{t,ipat}^{isbm} + CADIC_{t,ipat}^{isbm}) - PEQUISI_t^{isbm} - \sum_{is \in isbm} SUBMOT_t^{iree} - \sum_{T=1}^{TCLISIS^{isbm}} GTMIN_{t,ipat}^T \right] * fp_{ipat} \quad (2.1c)$$

Geração hidráulica máxima

$$GH_{t,ipat}^{iree} + GFIOl_t^{iree} * fp_{t,ipat} \leq GHMAX_t^{iree} * fp_{t,ipat} \quad (2.1d)$$

Vertimento a fio d'água

$$PERDF_t^{iree} + am_t^{iree,imars} DSVF_t^{iree} \geq am_t^{iree,imars} \left[(1 - \gamma_t^{iree}) EAF_t^{iree} \right] + bm_t^{iree,imars} \quad (2.1e)$$

Balço hídrico fio d'Água

$$GFIOl_t^{iree} + PERDF_t^{iree} + DSVF_t^{iree} = (1 - \gamma_t^{iree}) EAF_t^{iree} \quad (2.1f)$$

Atendimento a Meta de Vazão Mínima

$$GH_t^{iree} + EVERT_t^{iree} + \delta v \min_t^{iree} \geq MEVMIN_{l_t}^{iree} \quad (2.1g)$$

Atendimento a Meta Desvio Controlável

$$DSVc_t^{iree} + \delta sv c_t^{iree} = MDSVc_t^{iree} \quad (2.1h)$$

Atendimento a Meta Desvio Fio D'água

$$DSVF_t^{iree} + \delta dsvf_t^{iree} = MDSVF_t^{iree} \quad (2.1i)$$

Cortes

$$CF_{t+1} - \sum_{iree=1}^{nree} \pi_{V,t+1}^{iree,icor} EARM_{t+1}^{iree} \geq RHS_{t+1}^{icor} + \sum_{iree=1}^{nree} \sum_{j=1}^p \pi_{Aj,t+1}^{iree,icor} EAF_{t+1-j}^{iree} \quad (2.1k)$$

Onde:

$nsbm$	Número de subsistemas/submercados
$npat$	Número de patamares de carga
$iree$	Reservatório equivalente de energia
$isbm$	Subsistema/submercado
$ipat$	Patamar de deficit
t	Estágio t do problema de planejamento da operação hidrotérmica
$TCLSIS^{isbm}$	Número de classes térmicas no subsistema/submercado isbm
CT^T	Custo de operação associado a classe térmica T
$GT_{t,ipat}^T$	Geração térmica da classe térmica T no patamar de carga ipat e estágio t
$CDEF$	Custo de déficit para um corte de carga no subsistema/submercado isbm
$DEF_{t,ipat}^{isbm}$	Déficit no subsistema/submercado isbm, no patamar de carga ipat, no estágio t
CF_{t+1}	Custo futuro calculado considerando uma composição entre o valor esperado de todos os cenários e o custo médio dos α piores cenários [$\lambda E(.) + (1-\lambda)CVAR_{\alpha}(.)$]
$EARM_t^{iree}$	Energia armazenada no REE iree no início do estágio t
$GH_{t,ipat}^{iree}$	Geração hidráulica controlável do REE iree, no patamar ipat e estágio t
$EVERT_t^{iree}$	Energia vertida pelo REE iree no estágio t
FC_t^{iree}	Fator de correção da energia controlável do REE iree e estágio t, associado à produtividade máxima
γ_t^{iree}	Fator de separação da energia afluyente controlável da energia afluyente total do REE iree, no estágio t
EAF_t^{iree}	Energia afluyente ao REE iree no estágio t
$EVAE_t^{iree}$	Energia evaporada do REE iree no estágio t
$GFIOL_t^{iree}$	Geração hidráulica fio d'água do REE iree no estágio t
fp_{ipat}	Duração do patamar de carga c no período t
$INT_{t,ipat}^{isbm}$	Intercâmbio do subsistema/submercado isbm no patamar de carga ipat e estágio t
$EXC_{t,ipat}^{isbm}$	Excesso de energia no subsistema/submercado isbm no patamar de carga ipat e estágio t
$MERC_{t,ipat}^{isbm}$	Mercado a ser atendido no subsistema/submercado isbm patamar de carga ipat e estágio t
$GTMIN_{t,ipat}^T$	Geração mínima na classe térmica T no estágio t
$CADIC_{t,ipat}^{isbm}$	Cargas adicionais ao subsistema/submercado isbm no patamar de carga ipat do estágio t
$PEQUS_t^{isbm}$	Geração proveniente das Pequenas Centrais Hidroelétricas no subsistema/submercado isbm, estágio t
$SUBMOT_t^{iree}$	Geração proveniente das usinas submotorizadas no subsistema/submercado isbm e estágio t
$PERDF_t^{iree}$	Perda de energia a fio d'água do REE iree no estágio t
$am_t^{iree,imars}$	Coefficiente A da equação do MARS imars para o REE iree no estágio t
$bm_t^{iree,imars}$	Coefficiente B da equação do MARS imars para o REE iree no estágio t
$\delta vmin_t^{iree}$	Variável de folga da equação de meta vazão mínima a ser atendida pelo REE iree no estágio t
$MEVMIN_{1t}^{iree}$	Meta de vazão mínima a ser atendida pelo REE iree no estágio t

$\delta dsvc_t^{iree}$	Variável de folga da equação de meta desvio controlável a ser atendida pelo REE iree no estágio t
$MDSVC_t^{iree}$	Meta de desvio controlável a ser atendida pelo REE iree no estágio t
$\delta dsv_f_t^{iree}$	Variável de folga da equação de meta desvio fio d'água a ser atendida pelo REE iree no estágio t
$MDSVF_t^{iree}$	Meta de desvio fio d'água a ser atendida pelo REE iree no estágio t
$\pi_{V,t}^{iree,icor}$	Coefficiente do corte icor construído no estágio t associado ao armazenamento REE iree
RHS_t^{icor}	Temo independente do corte de Benders icor construído no estágio t
$\pi_{Aj,t}^{iree,icor}$	Coefficiente do corte icor construído no estágio t associado a j-ésima afluência passada do REE iree
$DSVC_t^{iree}$	Energia controlável desviada do REE iree no início do estágio t
$DSVF_t^{iree}$	Energia a fio d'água desviada do REE iree no início do estágio t
$GHMAX_t^{iree}$	geração hidráulica máxima obtida pela parábola de correção de GHMAX do REE iree
EA_t^{iree}	energia armazenada no REE iree

Maiores detalhes sobre a formulação que permite a representação diferenciada para REEs e SM/SSs podem ser encontrados em **Erro! Fonte de referência não encontrada..** No Anexo A é apresentada a formulação considerando acoplamento hidráulico.

2.1 Consideração de restrições elétricas no REE

Na formulação apresentada no item anterior apenas as restrições referentes aos troncos de transmissão entre SM/SSs são consideradas. Porém, em algumas ocasiões se faz necessário levar em conta outras restrições, como por exemplo, a restrição temporária de escoamento de energia das usinas do rio Madeira ocasionada pelo atraso no cronograma de expansão das linhas de transmissão da região em questão.

Nesta nova versão do NEWAVE foi desenvolvida uma representação de restrição elétrica que pode envolver todas as usinas pertencentes a um REE ou apenas uma parte destas usinas. É importante ressaltar que as usinas associadas a uma restrição elétrica devem pertencer ao mesmo REE e que uma usina hidroelétrica só pode estar vinculada a uma restrição elétrica. Adicionalmente, podem fazer parte do conjunto de usinas associadas a uma restrição elétrica usinas motorizadas e/ou submotorizadas, sendo que a prioridade no atendimento à restrição elétrica é dada para as usinas submotorizadas.

Ao se utilizar restrições elétricas no modelo NEWAVE, a única alteração em seu problema de otimização ocorre no limite da restrição de geração hidráulica máxima. Sendo assim, a formulação do problema de planejamento da operação hidrotérmica considerando restrições na capacidade de geração de um conjunto de usinas hidroelétricas pertencentes a um mesmo REE é a mesma apresentada nas equações (2.1a) a (2.1j), exceto pela modificação ocorrida na equação de geração hidráulica máxima (2.1d), que passa a ser escrita como:

Geração hidráulica máxima

$$GH_{t,ipat}^{iree} + GFIOI_t^{iree} * fp_{t,ipat} \leq CAPMAX_{t,ipat}^{iree} * fp_{t,ipat} \quad (2.2a)$$

O cálculo da capacidade máxima de geração hidroelétrica considerando a restrição elétrica é dado conforme a equação (2.2b):

$$CAPMAX_{t,ipat}^{iree} = GHMAX [EA_t^{iree}]^{iree,0} + \sum_{irest=1}^{NRE} \min(REgh_{t,ipat}^{iree,irest}; GHMAX [EA_t^{iree}]^{iree,irest}) \quad (2.2b)$$

onde:

- NRE é o número de restrições elétricas no REE analisado;
- $GHMAX [EA_t^{iree}]^{iree,irest}$ é a geração hidráulica máxima obtida pela parábola de correção de GHMAX, sem considerar restrições elétricas, para o conjunto de usinas $irest$ ($irest = 0, \dots, NRE$);
- EA_t^{iree} é a energia armazenada no REE $iree$.
- $REgh_{t,ipat}^{irest}$ é o montante do limite da restrição elétrica $irest$ que será utilizado para restringir a energia hidráulica máxima. Se no período t não houver usinas submotorizadas para o conjunto de usinas que compõem a restrição elétrica $irest$, então $REgh_{t,ipat}^{irest} = RE_{t,ipat}^{irest}$;
- $CAPMAX_{t,ipat}^{iree}$ é a capacidade de geração hidráulica considerando as limitações das restrições elétricas do REE $iree$.

Maiores detalhes sobre a consideração de restrições elétricas no REE podem ser consultados em **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e [1a].

3 Geração de Cenários Sintéticos de Energia Natural Afluente

Os cenários de energia natural afluente, que são utilizados durante as simulações forward e backward do processo de definição da política ótima de operação, são obtidos através de um modelo autorregressivo periódico de ordem p , PAR(p) **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, que modela a afluência de um mês como sendo função das afluências dos p meses anteriores. A amostra de ruídos aleatórios utilizada pelo modelo PAR(p) é obtida atualmente através de Amostragem Seletiva **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

3.1 Formulação Matemática

Séries hidrológicas de intervalo de tempo menor que o ano, tais como séries mensais, têm como característica o comportamento periódico (sazonal) das suas propriedades probabilísticas, como por exemplo, a média, a variância, a assimetria e a estrutura de autocorrelação. A análise deste tipo de séries pode ser feita pelo uso de formulações autorregressivas cujos parâmetros apresentam um comportamento periódico. A esta classe de modelos costuma-se denominar modelos autorregressivos periódicos **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e são referenciados por modelos PAR(p), onde p é o número de termos autorregressivos do modelo. Em geral, p é um vetor, $p = (p_1, p_2, \dots, p_{12})$, onde cada elemento fornece a ordem de cada mês.

O modelo PAR(p_1, p_2, \dots, p_{12}) pode ser descrito matematicamente pela equação (3.1):

$$\left(\frac{Z_t - \mu_m}{\sigma_m} \right) = \phi_1^m \left(\frac{Z_{t-1} - \mu_{m-1}}{\sigma_{m-1}} \right) + \dots + \phi_{p_m}^m \left(\frac{Z_{t-p_m} - \mu_{m-p_m}}{\sigma_{m-p_m}} \right) + a_t \quad (3.1)$$

onde, Z_t é a série sazonal, m é o índice do período sazonal, μ_m é a média sazonal, σ_m é o desvio-padrão sazonal, ϕ_i^m é o i -ésimo coeficiente autorregressivo do período m , p_m é a ordem do operador autorregressivo do período m e a_t é a série de ruídos independentes com média zero e variância $\sigma_a^{2(m)}$. Maiores detalhes consultar as referências **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

3.2 Amostragem Seletiva

A Amostragem Seletiva utiliza técnicas estatísticas multivariadas, usualmente denominadas como técnicas de agregação **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, com o objetivo de agrupar objetos similares em grupos representativos, de acordo com o esquema apresentado na Figura 3.1. Desta forma, a partir de um grande número de cenários gerados previamente pelo método de Monte-Carlo, é possível escolher um conjunto representativo de cenários hidrológicos, reduzindo a variabilidade dos resultados produzidos pelo modelo de planejamento da operação de médio/longo prazo e ainda representando de forma adequada o processo estocástico das afluências.

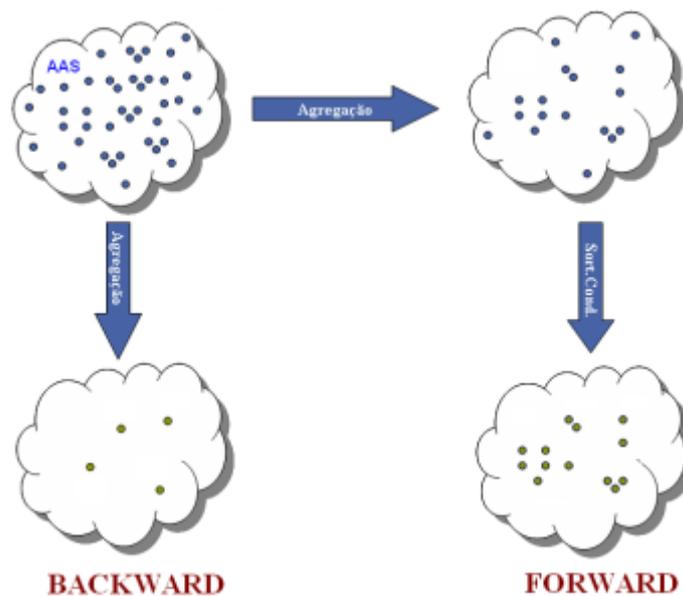


Figura 3.1 - Esquema ilustrativo Amostragem Seletiva

Durante as reuniões para discussão das alternativas de divisão do SIN, foi analisada a adequação do emprego da Amostragem Seletiva para um número maior de REEs. Atualmente, o tamanho da amostra original é de 100 mil vetores de ruídos multivariados com dimensão igual ao número de REEs, isto é, igual a 4 no âmbito do planejamento da operação de médio/longo prazo e do cálculo do preço líquido de diferenças (Sudeste, Sul, Nordeste e Norte) e igual a 10 no âmbito do planejamento da expansão (Paraná, Sudeste, Sul, Nordeste, Norte, Itaipu, Acre/Rondônia, Manaus/Boa Vista, Belo Monte e Teles Pires/Tapajós).

Foram realizados testes estatísticos para avaliar questões relacionadas ao tamanho e à qualidade da amostra original utilizada como entrada para o processo de agregação e quanto ao número de cenários utilizados nas simulações backward e forward do algoritmo de solução do problema de planejamento de médio/longo prazo. Foi utilizado um caso baseado no PMO ABR/14 considerando a divisão do SIN em 4 e 11 REEs na realização dos testes. Informações mais detalhadas sobre os testes estatísticos utilizados nesta seção podem ser obtidas em **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

3.2.2 Avaliação dos Ruídos para Amostra Original

Para cada período do horizonte de estudo é gerada uma amostra de ruídos e calculados a média e o desvio-padrão para cada REE, além da distribuição de frequência multivariada. No final, são calculadas a média e o desvio padrão, além do intervalo de confiança para estas estimativas. As distribuições da média e do desvio-padrão são dadas de acordo com as equações (3.2) e (3.3), respectivamente. O desvio relativo das estatísticas analisadas é dado pela equação (3.4), e definido como a diferença entre o

valor amostrado e o valor esperado teórico dividido pelo desvio padrão teórico da estimativa.

$$\bar{X} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right) \quad (3.2)$$

$$(n-1) \frac{S^2}{\sigma^2} \sim \chi_{n-1}^2 \quad (3.3)$$

$$\frac{\hat{\theta} - \mu_{\theta}}{\sigma_{\theta}} \sim t_n \quad (3.4)$$

Da Figura 3.2 à Figura 3.4 são apresentados, para o REE Sudeste, os desvios relativos para média e desvio-padrão, considerando uma amostra original de 100 mil vetores de ruídos com dimensão igual a 4 e 11, e também para uma amostra original com 200 mil vetores de ruídos com dimensão 11.

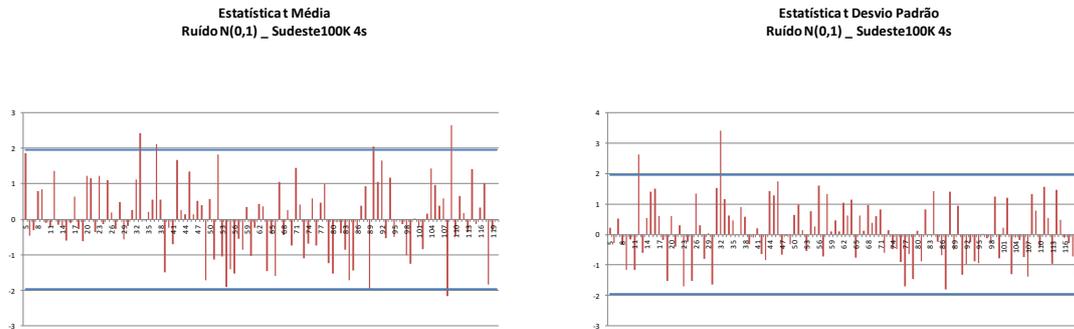


Figura 3.2 - Teste média e desvio padrão – caso 100 mil 4 REEs

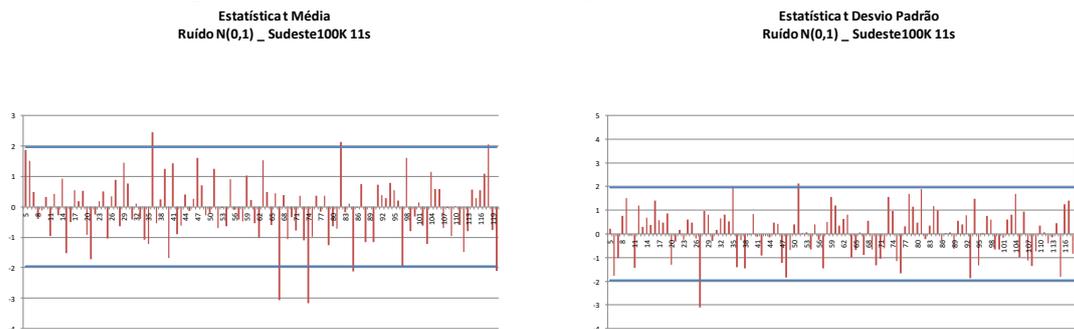


Figura 3.3 - Teste média e desvio padrão – caso 100 mil 11 REEs

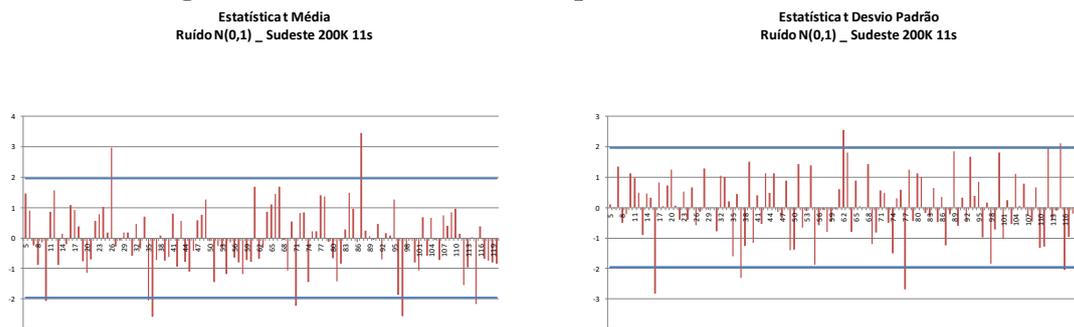


Figura 3.4 - Teste média e desvio padrão – caso 200 mil 11 REEs

Na Figura 3.5, são mostrados os resultados dos testes estatísticos para média e desvio-padrão calculados para todos os REEs e todo o horizonte de estudo, além do intervalo de confiança calculado considerando um nível de significância de 5%. Cada ponto dos gráficos abaixo equivale a um teste estatístico, isto é uma barra da Figura 3.2 à Figura 3.4.

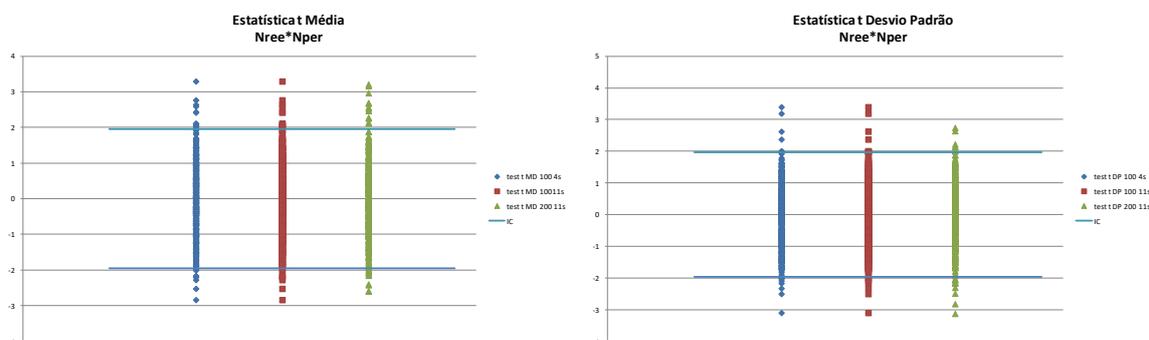


Figura 3.5 – Teste média e desvio para todos REEs

Na Figura 3.6 é apresentado o percentual de rejeições para os testes estatísticos da média e desvio-padrão, supondo um nível de significância de 5%.

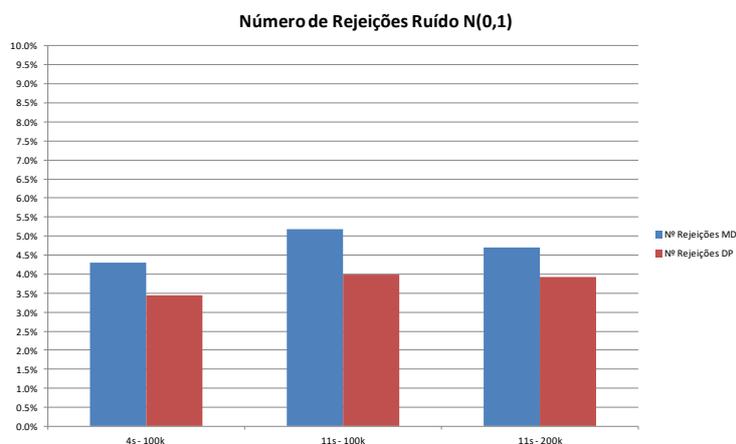


Figura 3.6 – Percentual de Rejeição

A distribuição multivariada é calculada dividindo-se a distribuição univariada normal padrão de cada REE em três intervalos e então é feita a combinação dos intervalos de cada um dos REEs. Desta forma, são definidas 3^{NREE} classes, onde NREE é o número de REEs considerado em cada caso. Para este estudo, a distribuição univariada é dividida em três intervalos de probabilidades: 0,25; 0,50 e 0,25 (correspondendo aos quantis da Normal padrão -0.67449 e 0.67449), de acordo com a Figura 3.7, e então é calculada a distribuição acumulada. A distribuição multivariada estimada é comparada com a distribuição multivariada teórica.

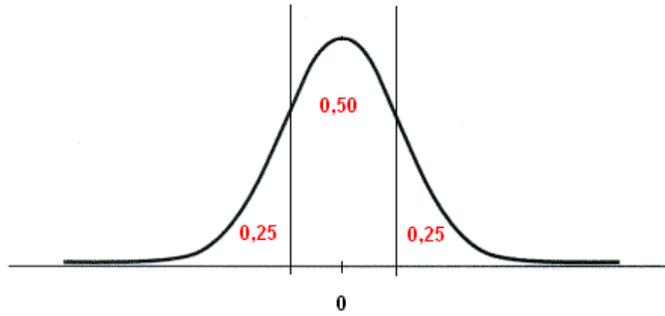


Figura 3.7 - Intervalos da Distribuição Univariada

Na Figura 3.8 (a) a (c) são apresentadas as distribuições multivariadas teórica e da amostra original de ruídos, agregadas em 100 classes para o caso com 11 REEs. Para comparar os resultados teóricos e estimados foi aplicado um teste de aderência para as duas curvas. Nos três casos avaliados, as curvas foram consideradas aderentes.

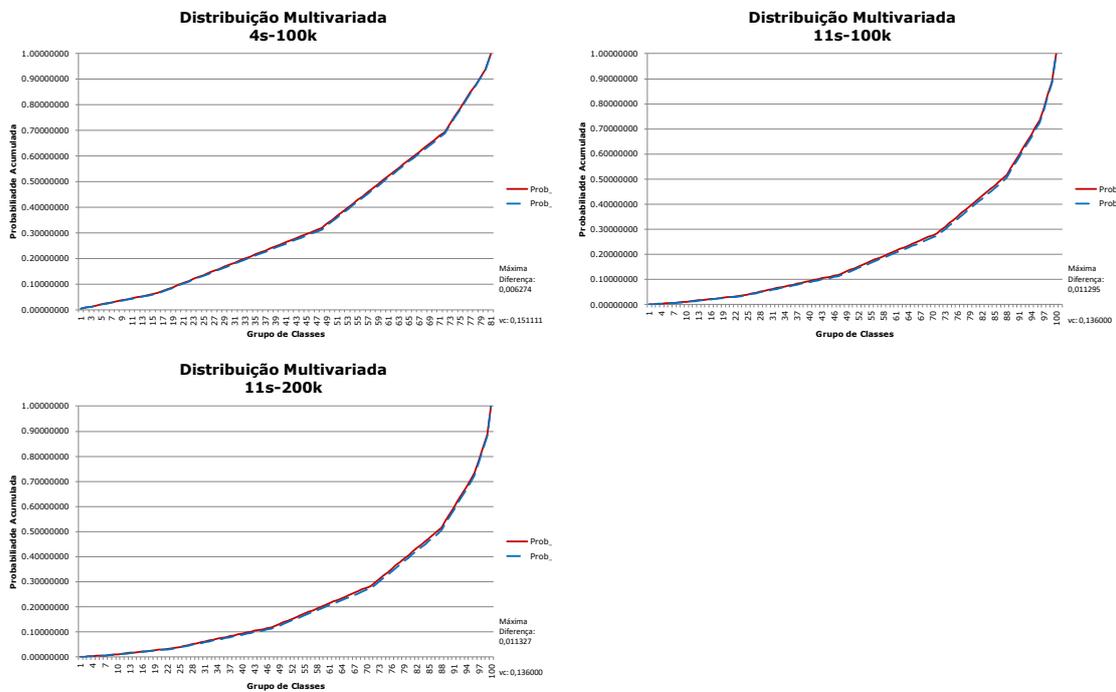


Figura 3.8 – Teste Distribuição Multivariada – Amostra original

Pode-se observar que a distribuição multivariada teórica é preservada satisfatoriamente com a amostra de tamanho 100mil. O mesmo pode ser dito para as estatísticas média e desvio-padrão. Desta forma, de acordo com os resultados apresentados, pode-se observar que a amostra de tamanho 100 mil continua adequada para casos com um número maior de REEs.

Também foram avaliadas as amostras de ruídos que são utilizadas para gerar os cenários hidrológicos do passo forward e backward. A seguir são apresentados testes estatísticos para média e desvio-padrão, bem como testes de aderência e a distribuição multivariada de frequências.

3.2.3 Avaliação dos Ruídos para Simulação Forward

Na Figura 3.9 são apresentados os resultados dos testes estatísticos para média e desvio padrão, considerando uma amostra de 200 ruídos multivariados provenientes de uma amostra original de 100mil (a e b) e 200mil ruídos (c), considerando 4 REEs em (a) e 11 REEs em (b) e (c).

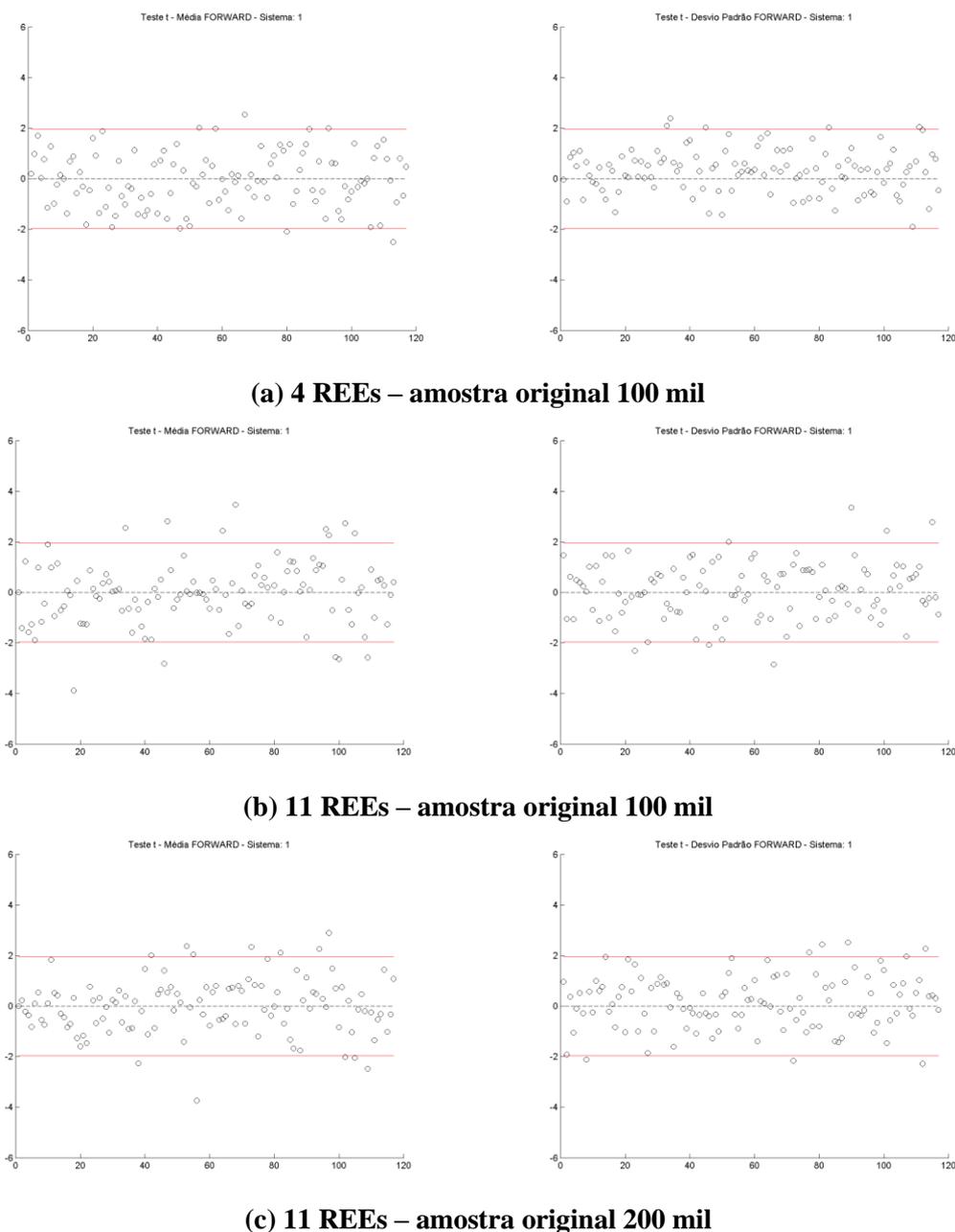
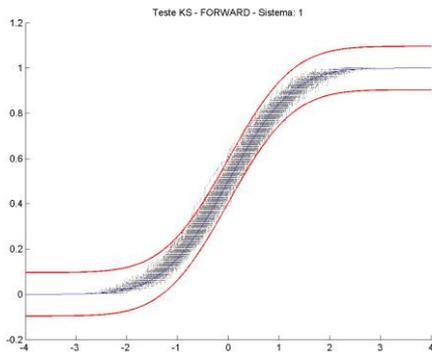


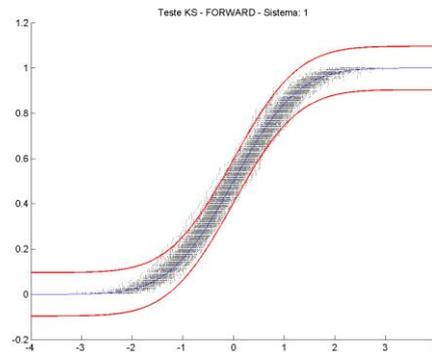
Figura 3.9 - Teste Média e Desvio Padrão – Amostra Ruídos Forward

Observa-se que, considerando uma amostra original de tamanho 100 mil, houve uma pequena degradação ao aumentar o número de REEs (dimensão do vetor de ruídos). Observa-se também que não há ganho significativo ao duplicar o tamanho da amostra original. Portanto o tamanho de 100 mil continua adequado para a topologia com 11 REEs.

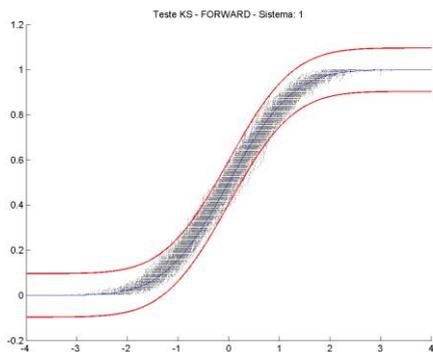
Na Figura 3.10 são apresentadas para um REE as distribuições acumuladas de todos os períodos da amostra de ruídos forward. Estas curvas são comparadas com um intervalo de confiança obtido por um teste de aderência Kolmogorov-Smirnov **Erro! Fonte de referência não encontrada.** para a distribuição teórica. São avaliadas amostras de 200 ruídos multivariados provenientes de uma amostra original de 100mil (a e b) e 200mil ruídos (c), considerando 4 REEs em (a) e 11 REEs em (b) e (c). Observe que não houve ganho significativo ao duplicar o tamanho da amostra original e que os resultados obtidos com 11 REEs têm a mesma qualidade daqueles obtidos com 4 REEs, portanto o tamanho de 100 mil continua adequado para a topologia com 11 REEs.



(a) 4 REEs – amostra original 100 mil



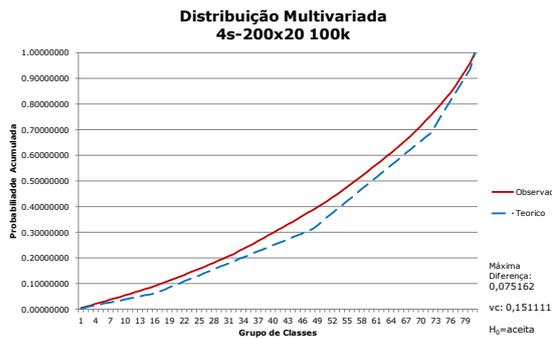
(b) 11 REEs – amostra original 100 mil



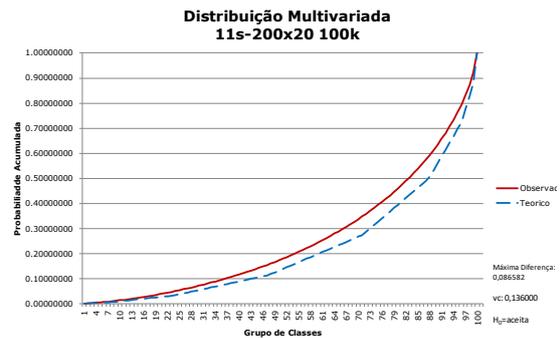
(c) 11 REEs – amostra original 200 mil

Figura 3.10 - Teste Distribuição Univariada – Amostra Ruídos Forward

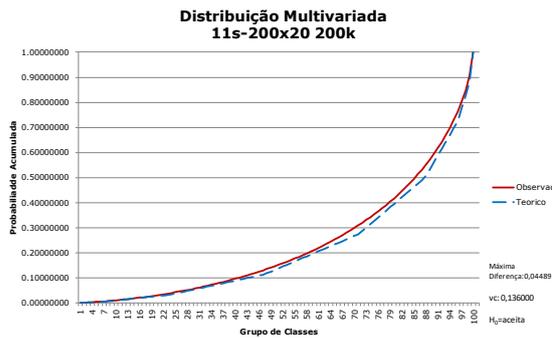
A distribuição multivariada e o teste de aderência desta distribuição com a distribuição teórica são apresentados na Figura 3.11. Foi aplicado um teste de aderência Kolmogorov-Smirnov e agregou-se a distribuição teórica em 100 classes. As duas curvas se aproximam quando o tamanho da amostra original aumenta, porém dado um nível de significância de 5%, as curvas para os casos provenientes da amostra original com 100 mil podem ser consideradas como vindas da mesma população. Adicionalmente, a qualidade apresentada para o caso 11 REEs é semelhante ao caso 4 REEs.



(a) 4 REEs – amostra original 100 mil



(b) 11 REEs – amostra original 100 mil



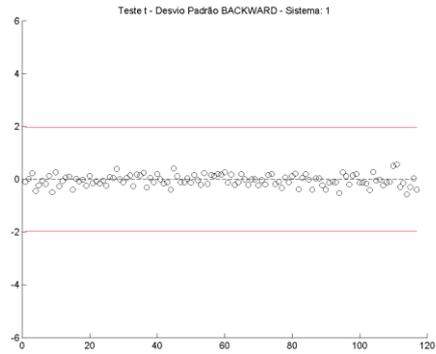
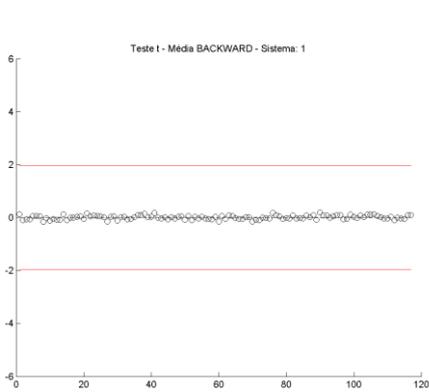
(c) 11 REEs – amostra original 200 mil

Figura 3.11 - Teste Distribuição Multivariada – Amostra Ruídos Forward

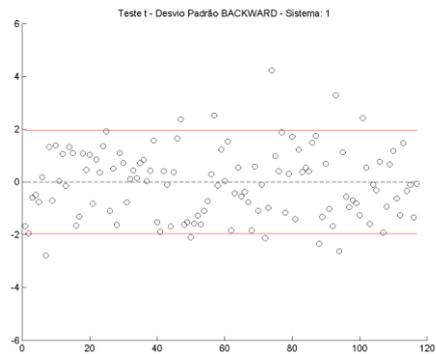
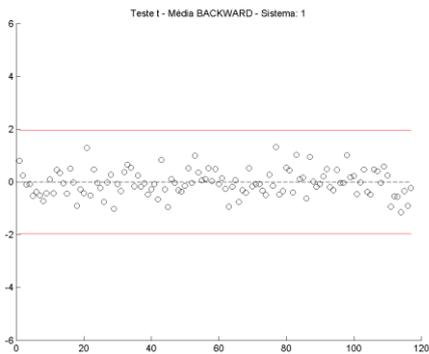
3.2.4 Avaliação dos Ruídos para Simulação Backward

Nesta análise é considerada uma amostra backward com 20 vetores de ruídos multivariados (4 REEs em (a) e 11 REEs em (b) e (c)). Os resultados dos testes para média e desvio padrão são apresentados na Figura 3.12, considerando que a amostra de ruídos backward foi obtida a partir de uma amostra original de 100 mil vetores (a) e (b) e 200 mil vetores (c).

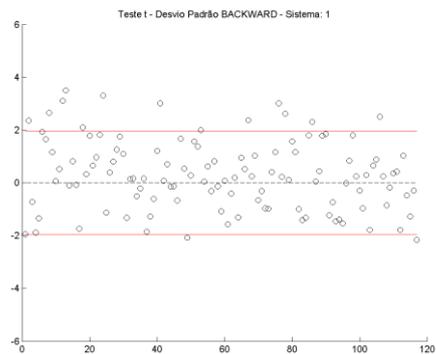
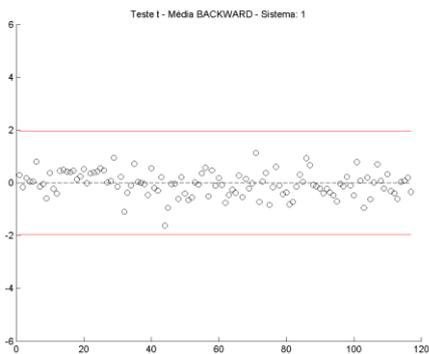
Pode-se observar que os testes estatísticos são satisfatórios para todos os casos, e que os resultados para 11 REEs se assemelham independente do tamanho da amostra original. A variabilidade é maior nos casos com 11 REEs, se comparados com os mesmos testes realizados para a amostra com 4 REEs. Isto ocorre, pois a relação entre o número de dimensões (REEs) e o tamanho da amostra backward é bem maior para o caso 11 REEs, o que torna a tarefa de reprodução do valor teórico pelo algoritmo de agregação mais difícil. Porém, vale a pena ressaltar, que estes resultados ainda são melhores do que aqueles obtidos com uma amostra obtida por amostragem aleatória simples, Figura 3.13.



(a) 4 REEs – amostra original 100 mil

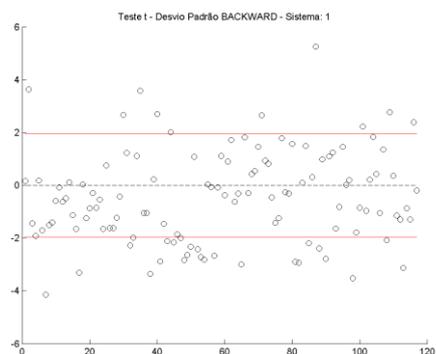
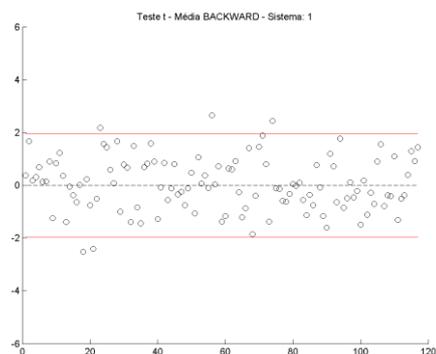


(b) 11 REEs – amostra original 100 mil

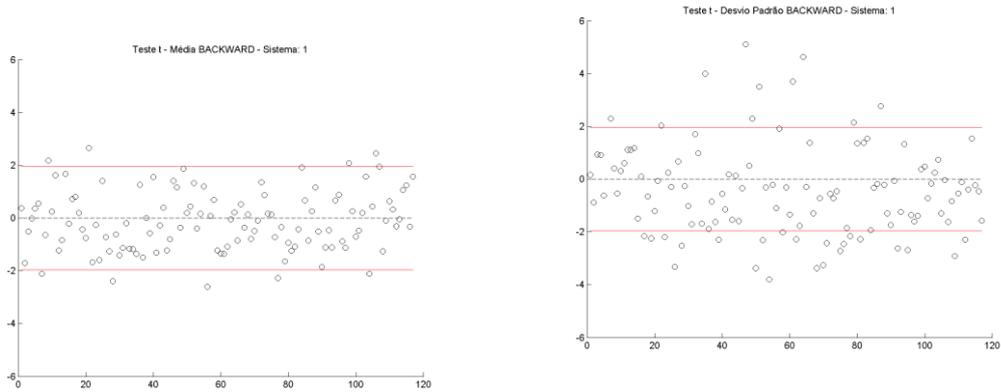


(c) 11 REEs – amostra original 200 mil

Figura 3.12 - Teste Média e Desvio Padrão – Amostra Ruídos Backward



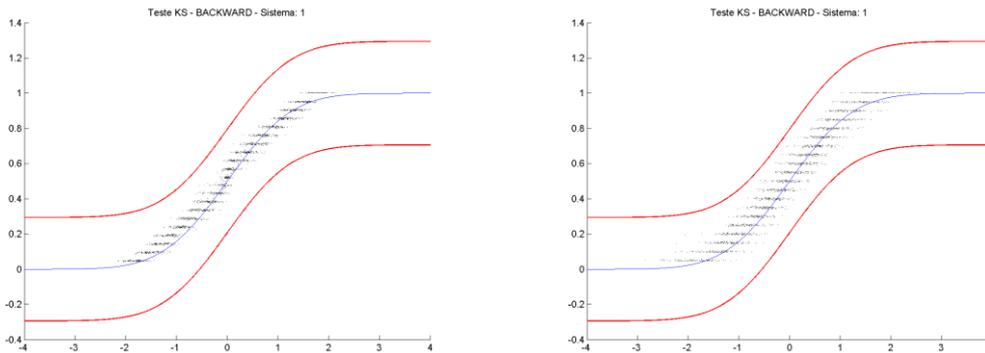
(a) 4 REEs – AAS



(b) 11 REEs – AAS

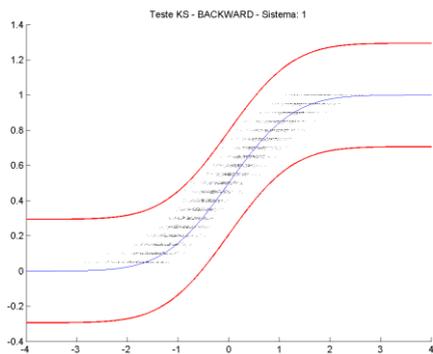
Figura 3.13 - Teste Média e Desvio Padrão – Amostra Ruídos Backward AAS

Na Figura 3.14 são mostrados os resultados do teste de aderência para a distribuição univariada dos ruídos da amostra backward. Novamente, os resultados obtidos com amostra original com 100 mil e 200 mil vetores são bastante semelhantes, tendo aderência considerada satisfatória, assim como os resultados obtidos para o caso com 4 REEs.



(a) 11 REEs – amostra original 100 mil

(b) 11 REEs – amostra original 100 mil



(c) 11 REEs – amostra original 200 mil

Figura 3.14 - Teste Distribuição Univariada – Amostra Ruídos Backward

Como a amostra de ruídos backward é menor se comparada com a amostra forward, aumenta a dificuldade para se reproduzir a distribuição multivariada. Na Figura 3.15 é apresentado um teste de aderência para a distribuição multivariada, considerando o domínio da distribuição

agrupado em um conjunto de classes. Aplicando-se o teste de aderência, com um nível de significância de 5%, os três casos apresentados são aprovados. Novamente, não há melhora significativa ao se considerar uma amostra de 200 mil ruídos para o caso 11 REEs.

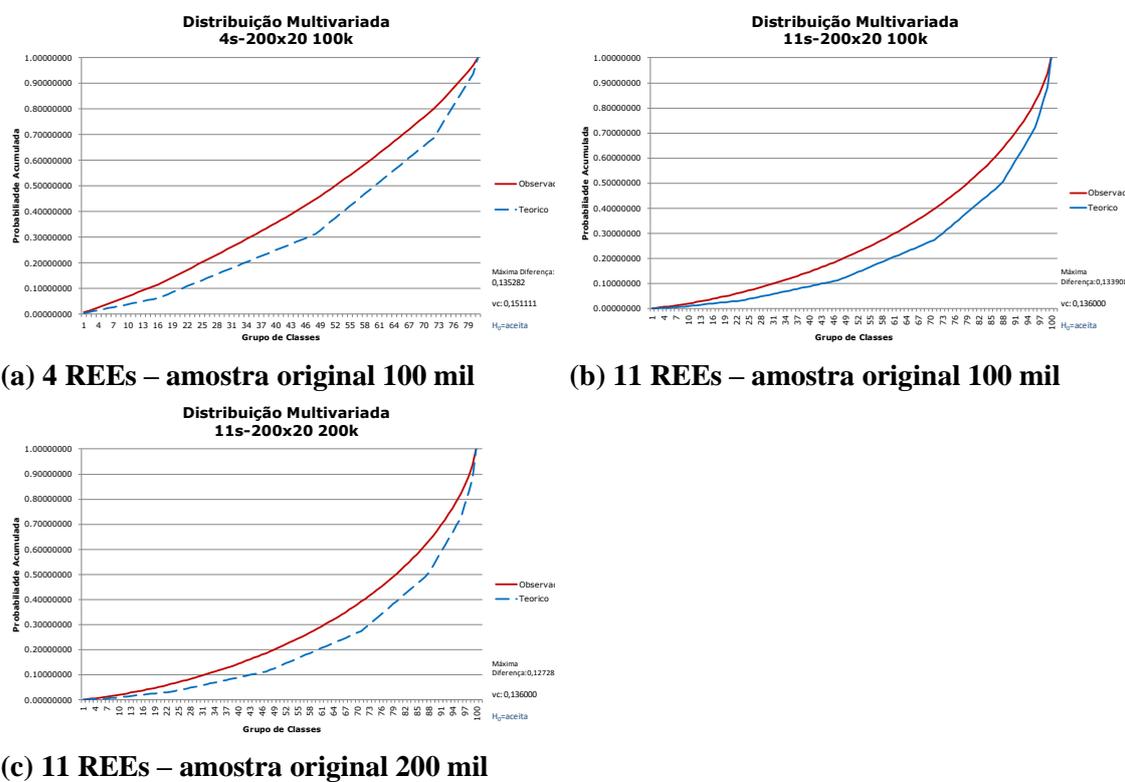


Figura 3.15 - Teste Distribuição Multivariada – Amostra Ruídos Backward

De forma geral, os resultados dos testes estatísticos com as amostras de ruídos original, forward e backward indicam que o tamanho de 100 mil ruídos na Amostragem Seletiva continua sendo um número adequado, mesmo considerando uma topologia com um número maior de REEs.

3.3 Avaliação dos cenários gerados

Nesta etapa, foi realizada uma avaliação para aferir a qualidade dos cenários hidrológicos gerados para a simulação forward e backward utilizando a Amostragem Seletiva. Nesta análise são considerados 200 cenários forward e 20 cenários backward. Os testes empregados nesta avaliação foram aqueles utilizados durante o processo de validação da Amostragem Seletiva pelo GT2/SGAM e FT-NEWAVE **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

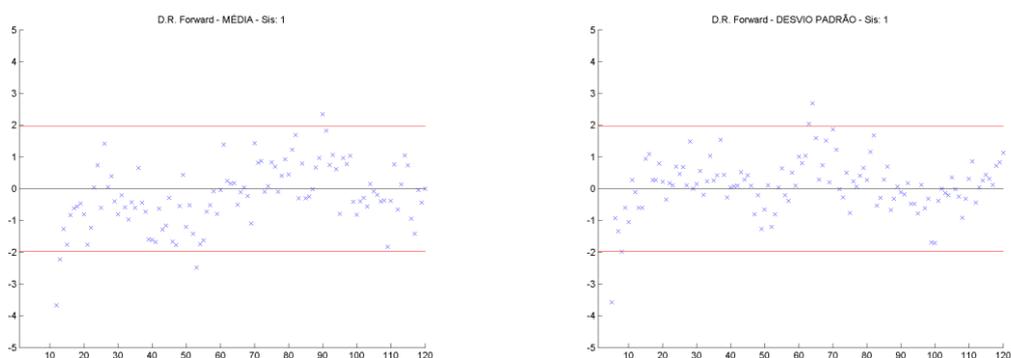
3.3.1 Avaliação dos Cenários para Simulação Forward

Inicialmente são apresentados o desvio relativo para média e desvio padrão dos cenários forward obtidos originalmente de uma amostra de 100 mil (4 e 11 REEs) e 200 mil (11 REEs) ruídos. O cálculo do valor do desvio relativo já foi apresentado em (5). Também

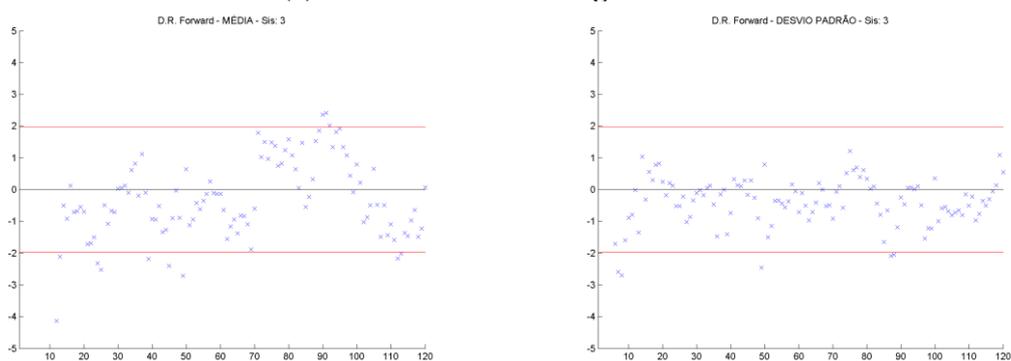
foram avaliadas as distribuições de frequência empregando-se o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov.

Na Figura 3.16 (a) a (c) são apresentados os desvios relativos da média e do desvio padrão, assim como o intervalo de confiança para esta medida, para os casos com 4 REE-100mil, 11REE-100mil e 11REE-200mil. Como os valores gerados de ENA para os primeiros meses são altamente condicionados ao passado recente, as estatísticas obtidas para estes períodos podem ser significativamente diferentes do valor histórico. Pode-se observar que a qualidade dos 200 cenários forward não é degradada quando se eleva o número de REEs de 4 para 11. Também não foi observado ganho significativo de qualidade ao aumentar a amostra original para 200 mil.

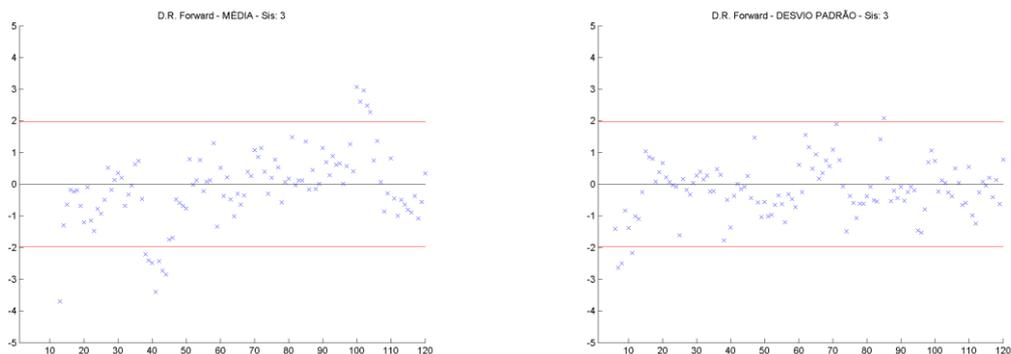
Adicionalmente, são apresentados na Figura 3.16 (d) os mesmos testes exibidos na figura anterior, porém considerando os 11 REEs agregados em 4 REEs. Isto é, os cenários gerados para os REEs Paraná, Paranapanema, Itaipu, Madeira e SE (demais bacias) são somados e comparados com os cenários gerados para o REE SE do caso 4REEs.



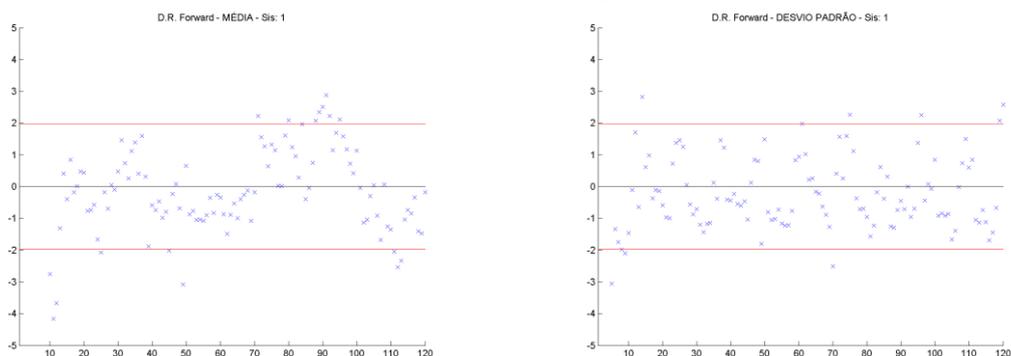
(a) 4 REEs – amostra original 100 mil



(b) 11 REEs – amostra original 100 mil



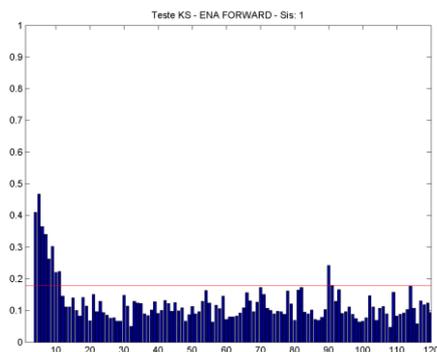
(c) 11 REEs – amostra original 200 mil



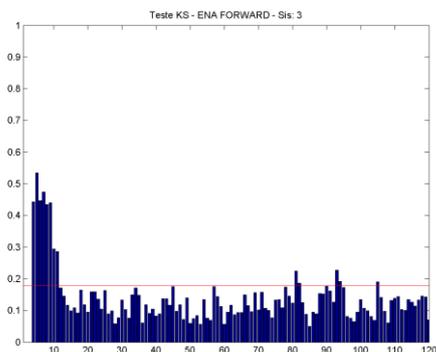
(d) 11 REEs agregados – amostra original 100 mil

Figura 3.16 - Teste Média e Desvio Padrão – Cenários ENA Forward

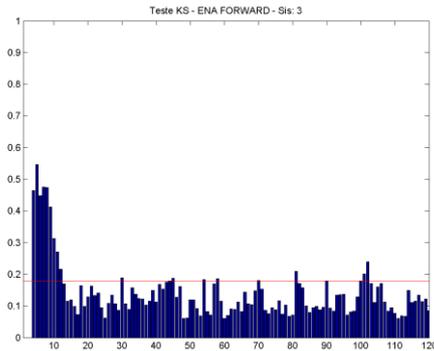
Os resultados do teste de aderência para a distribuição univariada dos 200 cenários de ENA, e o valor padrão do teste para um nível de significância de 5% são apresentados na Figura 3.17 (a) a (c). Na Figura 3.17 (d) são apresentados os resultados para caso 11 REEs, porém agregados em 4 REEs. Novamente, é importante ressaltar que os primeiros períodos da análise são altamente condicionados à tendência hidrológica recente. De uma forma geral, a distribuição univariada histórica foi bem preservada tanto para 4 quanto para 11 REEs, considerando a amostra original de tamanho 100 mil ou 200 mil.



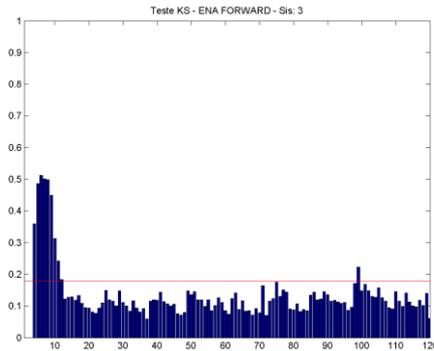
(a) 4 REEs – amostra original 100 mil



(b) 11 REEs – amostra original 100 mil



(c) 11 REEs – amostra original 200 mil



(d) 11 REEs agregados – amostra original 100 mil

Figura 3.17 - Teste Distribuição Univariada – Cenários ENA Forward

A preservação da correlação cruzada é um objetivo a ser perseguido pelo processo de geração de cenários sintéticos multivariados. A seguir, é apresentada uma análise desta grandeza através de inspeção visual dos resultados obtidos. Os valores calculados são comparados com o valor histórico. Nas figuras abaixo são apresentados os resultados apenas para o REE Sudeste, os demais REEs apresentaram comportamento semelhante.

Na Figura 3.18 é apresentada a evolução temporal da correlação cruzada para o caso com 4 REEs. Estas correlações não podem ser comparadas diretamente com aquelas obtidas nos casos com 11 REEs, uma vez que a definição dos REEs são distintas. Na Figura 3.19 e Figura 3.20 são apresentados os casos com 11 REEs e, pode-se observar que os resultados obtidos são compatíveis entre si. Na Figura 3.21 são apresentados os resultados para caso 11 REEs agregados em 4 REEs.

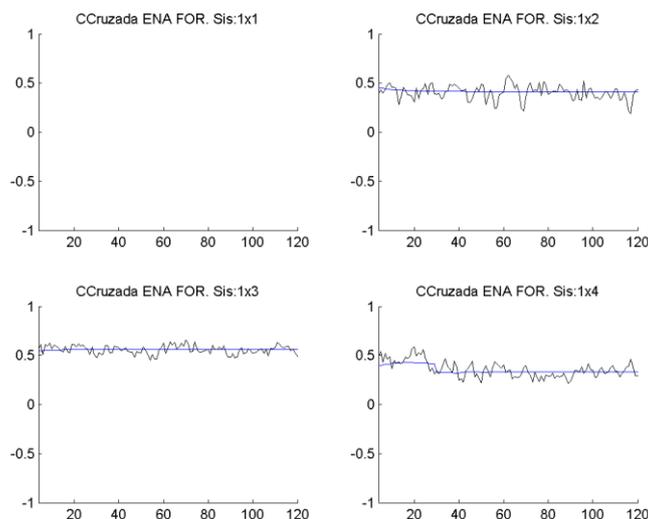


Figura 3.18 – Correlação Cruzada 4 REEs-100mil – Cenários ENA Forward

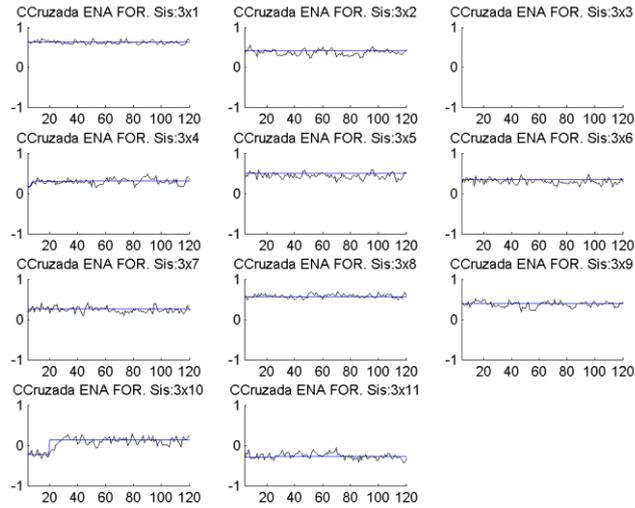


Figura 3.19 – Correlação Cruzada 11 REEs-100mil – Cenários ENA Forward

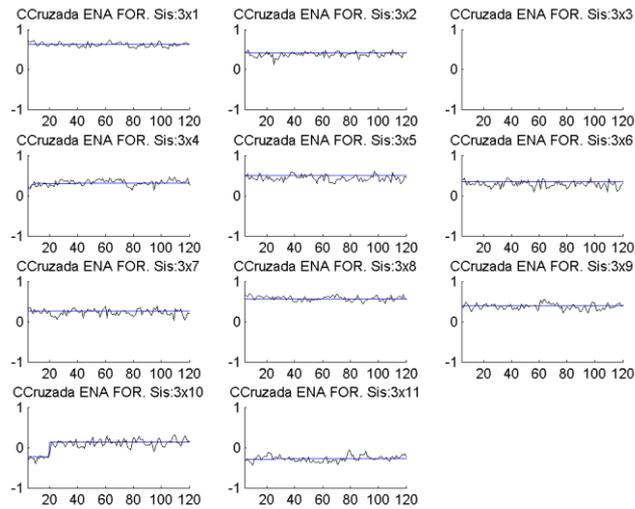


Figura 3.20 – Correlação Cruzada 11 REEs-200mil – Cenários ENA Forward

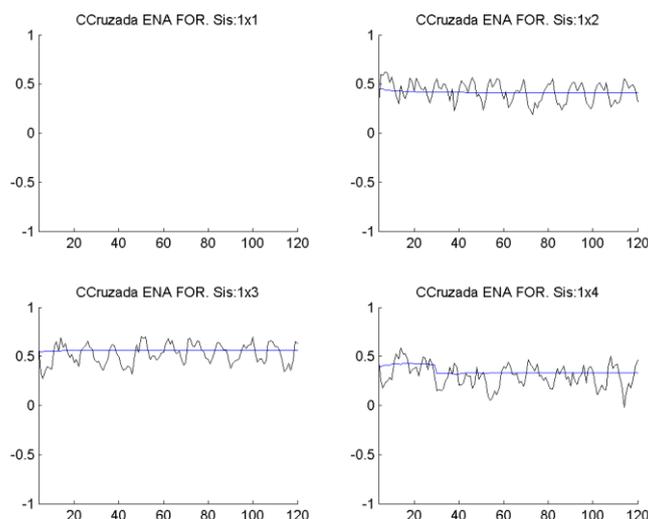


Figura 3.21 – Correlação Cruzada 11 REEs agregados -100mil – Cenários ENA Forward

Analisando os resultados apresentados anteriormente, não se pode verificar aumento da degradação das estatísticas das séries forward ao se aumentar o número de REEs.

3.3.2 Avaliação dos Cenários para Simulação Backward (testes não condicionados)

A seguir é apresentada uma avaliação dos cenários hidrológicos obtidos para a simulação backward gerados com Amostragem Seletiva. Assim como na análise dos cenários do item anterior, são considerados 200 cenários forward e 20 cenários backward.

São utilizados testes não condicionados para a avaliação da capacidade de preservação das estatísticas média, desvio-padrão e correlação cruzada, e testes para verificação da aderência entre as distribuições gerada e histórica. Para a realização dos testes não condicionados, a cada período são considerados todos os cenários backward gerados, independentemente do estado de afluência passada, conforme ilustrado na Figura 3.22. Desta forma, nesta avaliação é considerada uma amostra com 4000 vetores multivariados de ENA (200x20).

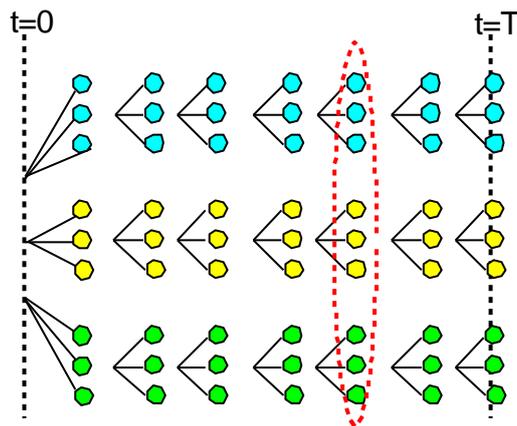
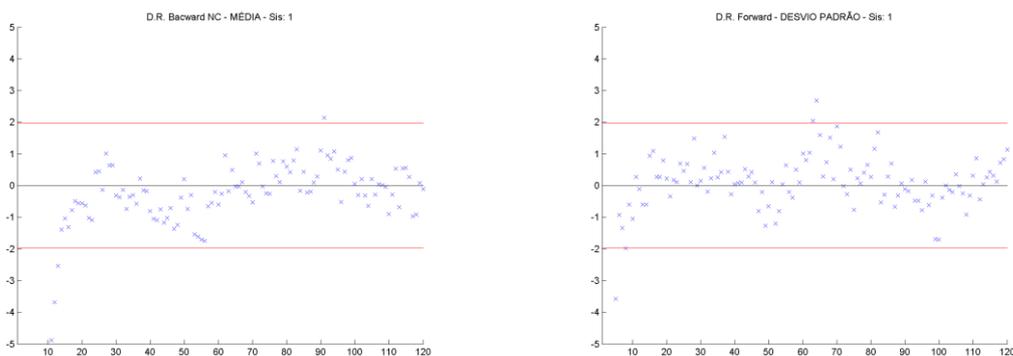


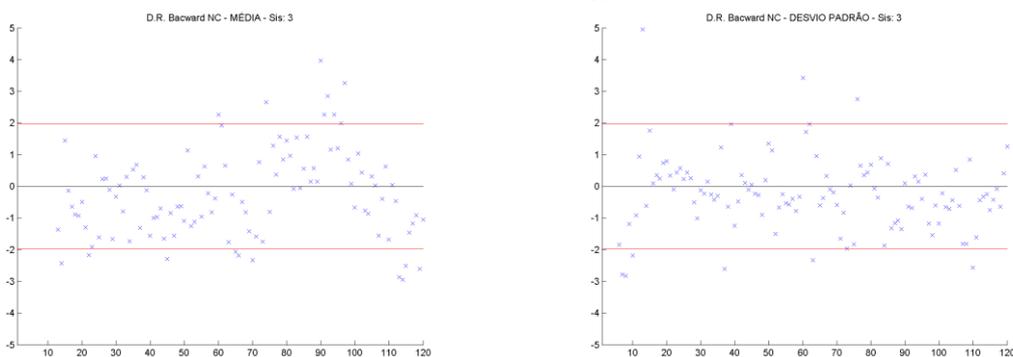
Figura 3.22 Amostra utilizada no teste não condicionado

A mesma observação realizada para os cenários forward, com relação ao forte condicionamento dos primeiros períodos é válida para a análise não condicionada dos cenários da simulação backward.

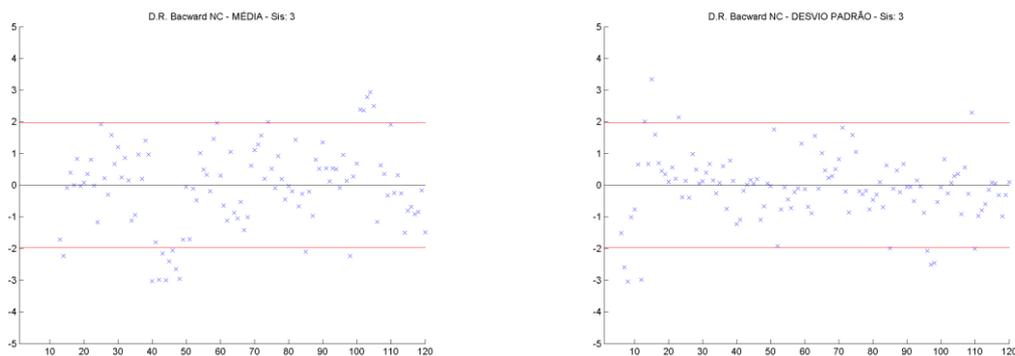
Na Figura 3.22 (a) a (d) são apresentados os desvios relativos da média e do desvio padrão, assim como o intervalo de confiança para esta medida para os casos com 4 e 11 REEs, e considerando 100 mil e 200 mil vetores de ruídos na amostra original. Neste caso, há um pouco mais de rejeição para o teste da média quando se passou para 11 REEs, mas de forma geral, o desempenho foi satisfatório tanto para a amostra original com tamanho igual a 100 mil e 200 mil.



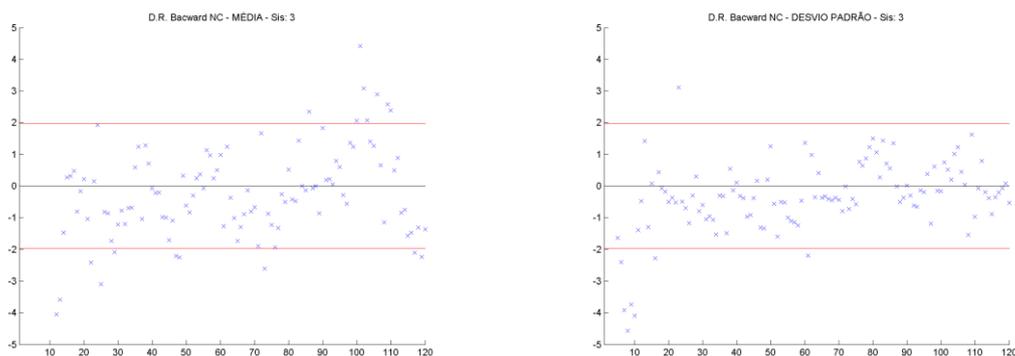
(a) 4 REEs – amostra original 100 mil



(b) 11 REEs – amostra original 100 mil



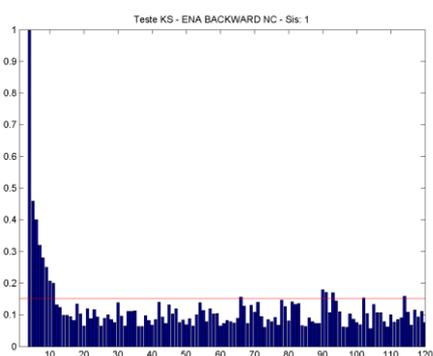
(c) 11 REEs– amostra original 200 mil



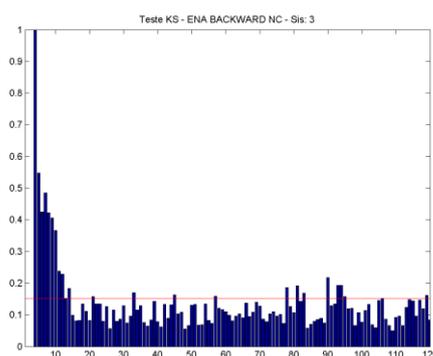
(d) 11 REEs agregados – amostra original 100 mil

Figura 3.23 - Teste Média e Desvio Padrão – Cenários ENA Backward NC

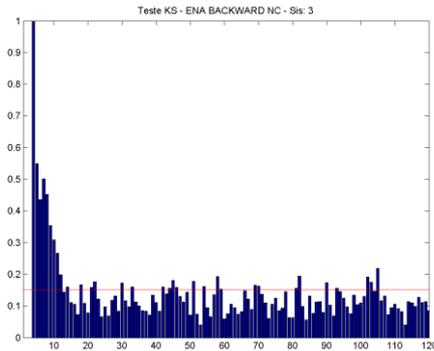
Na Figura 3.24 são apresentados os resultados do teste de aderência para a distribuição univariada dos 4000 cenários backward, e o valor padrão do teste para um nível de significância de 5%. A distribuição univariada histórica foi bem preservada tanto para 4 quanto para 11 REEs, considerando a amostra original de tamanho 100 mil ou 200 mil.



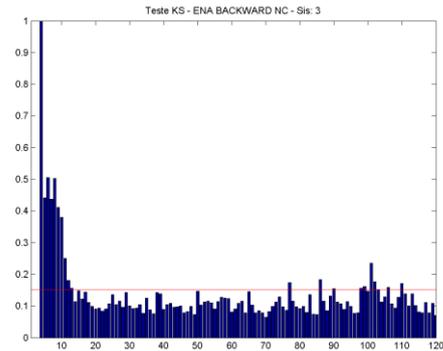
(a) 4 REEs – amostra original 100 mil



(b) 11 REEs – amostra original 100 mil



(c) 11 REEs – amostra original 200 mil



(d) 11 REEs agregados – amostra original 100 mil

Figura 3.24 – Teste Distribuição Univariada – Cenários ENA Backward NC

A seguir é apresentada evolução temporal da correlação cruzada para o caso com 4 REEs e 11 REEs. Os valores obtidos para o caso com 4 REEs são apresentados apenas de forma ilustrativa, Figura 3.25. Pode-se verificar que as correlações cruzadas dos casos com 11 REEs, Figura 3.26 e Figura 3.27, são bastante semelhantes, não trazendo benefícios o aumento da amostra original de 100 mil para 200 mil vetores de ruídos. Na Figura 3.28 são apresentados os resultados do caso 11 REEs agregado em 4 REEs (amostra original 100mil).

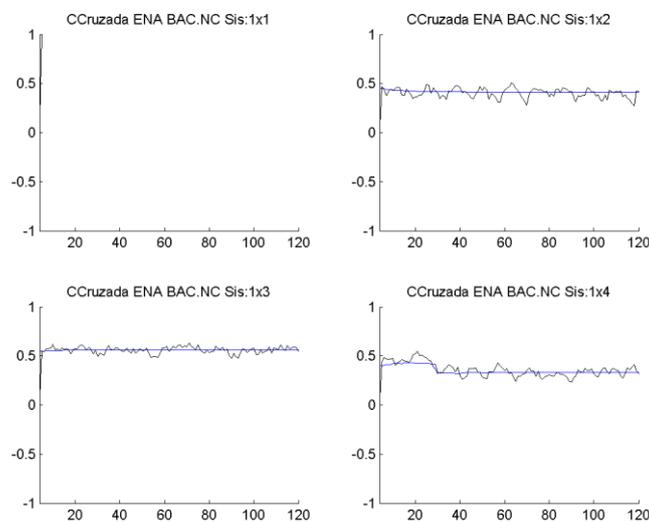


Figura 3.25 – Correlação Cruzada - 4 REEs-100mil – Cenários ENA Backward NC

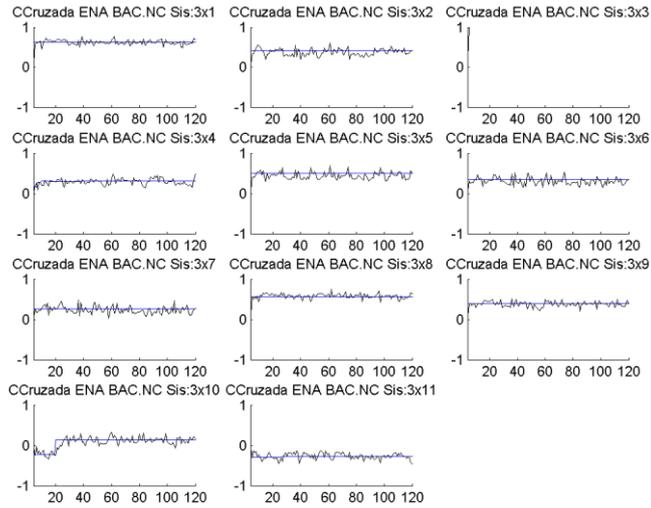


Figura 3.26 – Correlação Cruzada - 11 REEs-100mil – Cenários ENA Backward NC

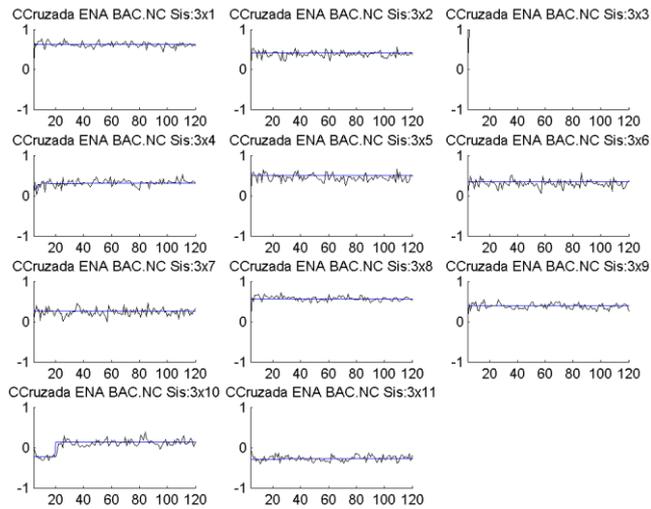


Figura 3.27 – Correlação Cruzada - 11 REEs-200mil – Cenários ENA Backward NC

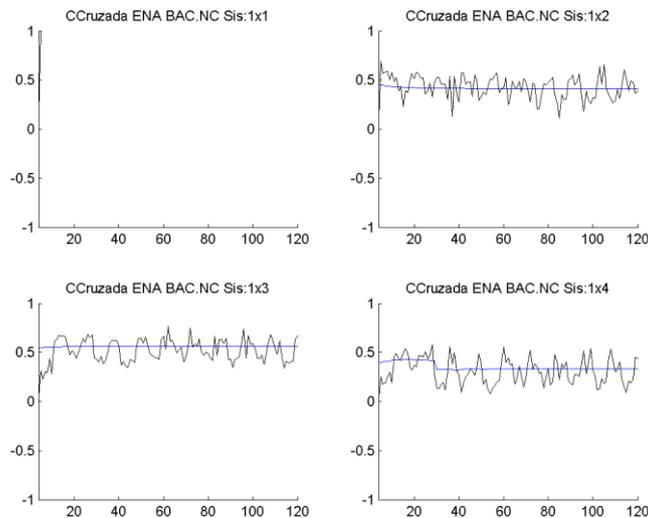


Figura 3.28 – Correlação Cruzada - 11 REEs agregados-100mil – Cenários ENA Backward NC

3.3.3 Avaliação dos Cenários para Simulação Backward (testes condicionados)

Para a avaliação da qualidade dos cenários gerados para cada conjunto de aberturas são realizados testes condicionados. Neste caso, o teste é aplicado a cada estado de afluência passada, conforme mostrado na Figura 3.22. Neste estudo são realizados a cada período 200 testes considerando uma amostra de 20 vetores multivariados de ENA.

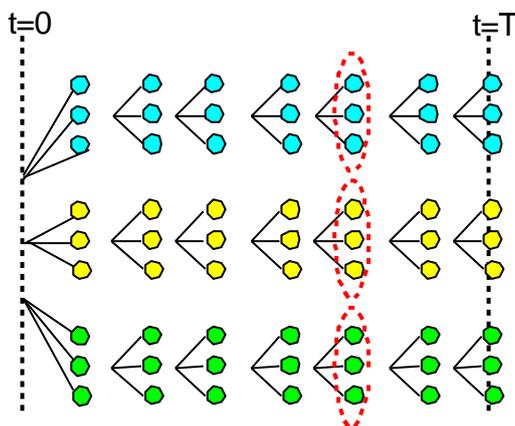
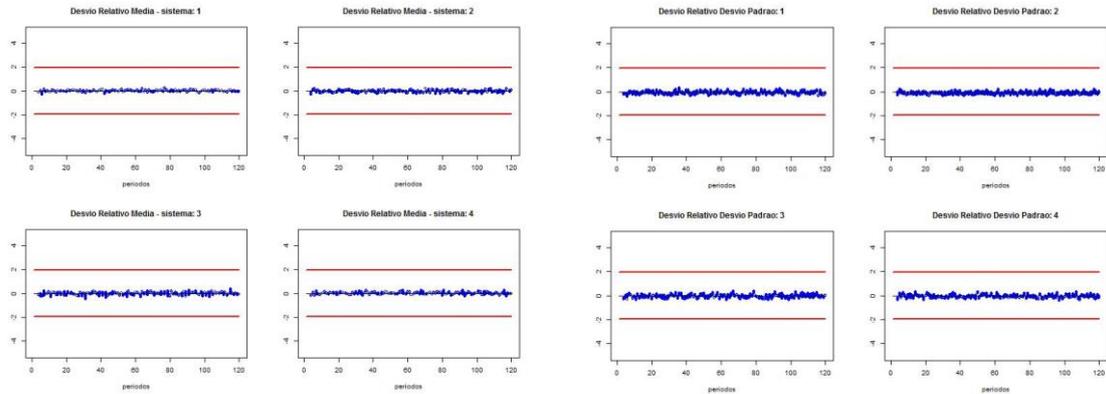


Figura 3.29 Amostras utilizadas no teste condicionado

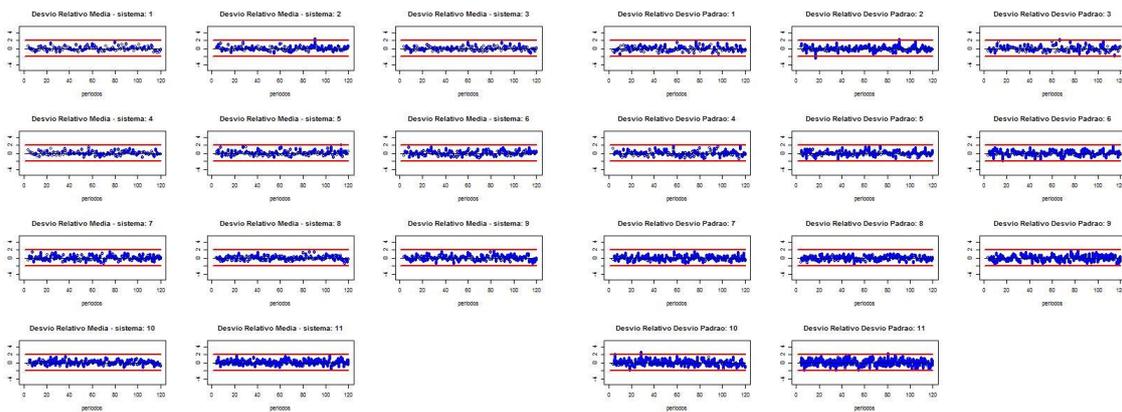
Na Figura 3.30 (a) a (d) são apresentados os testes para média e desvio padrão. Neste teste, o desvio relativo foi comparado com as respectivas estimativas teóricas e não históricas como feito nos testes anteriores.

Neste caso, a média e o desvio padrão são calculados para cada amostra de 20 cenários. Para cada período são apresentados os resultados de 200 testes. Apesar de um pouco

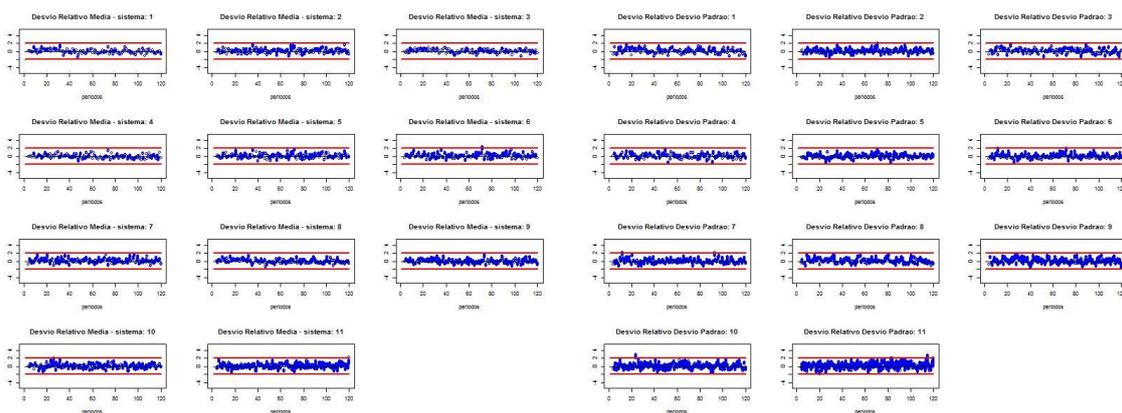
mais dispersos, os resultados do teste para os casos com 11 REEs estão dentro do intervalo de confiança. Assim como ocorreu na análise dos ruídos da backward, a dispersão observada nos casos de 11 REEs deve-se à maior dificuldade de reprodução da média e desvio padrão em uma amostra de tamanho reduzido, como ocorre na backward, e com uma grande dimensão (11 dimensões).



(a) 4 REEs – amostra original 100 mil



(b) 11 REEs – amostra original 100 mil



(c) 11 REEs – amostra original 200 mil

Figura 3.30 - Teste Média e Desvio Padrão – Cenários ENA Backward

A correlação cruzada para cada conjunto de aberturas em cada período do horizonte de planejamento é mostrada nas figuras seguintes. Na Figura 3.31 são apresentadas as correlações para o caso 4 REEs. Os valores calculados para os casos 11 REEs são

mostrados na Figura 3.32 e Figura 3.33. Pode-se observar que os valores obtidos com a amostra original de tamanho 100 mil tem a mesma qualidade do que aqueles obtidos com a amostra maior.

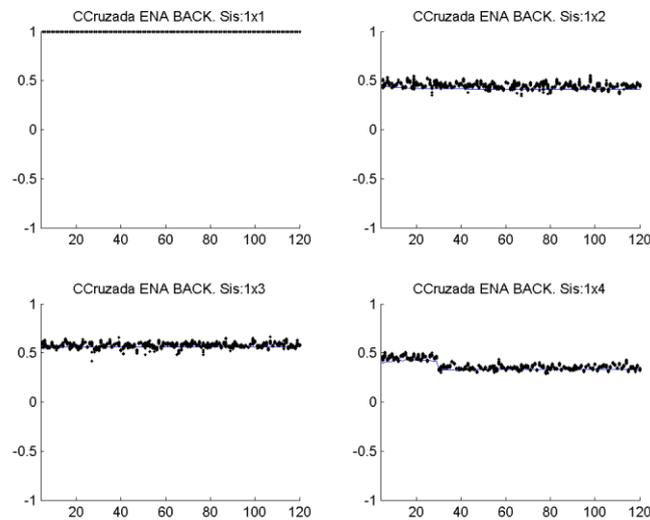


Figura 3.31 – Correlação Cruzada - 4 REEs-100mil – Cenários ENA Backward

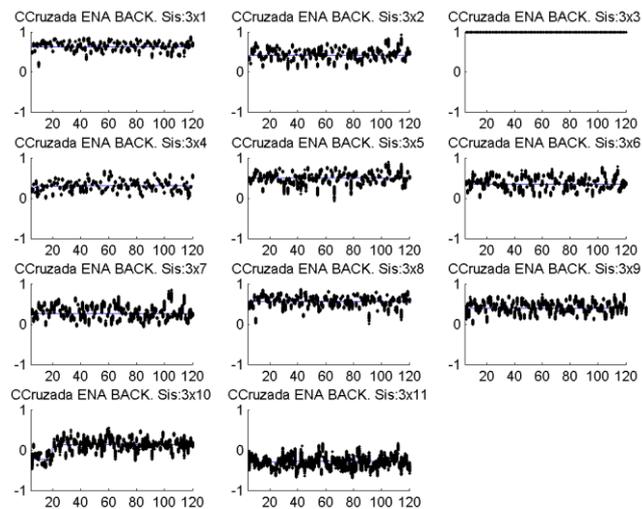


Figura 3.32 – Correlação Cruzada - 11 REEs-100mil – Cenários ENA Backward

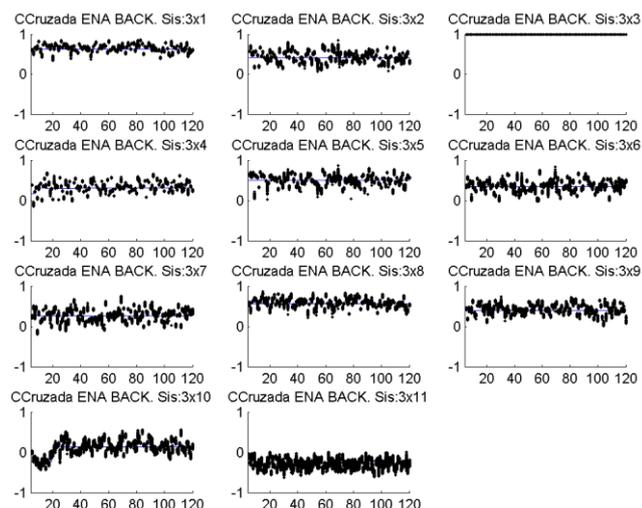


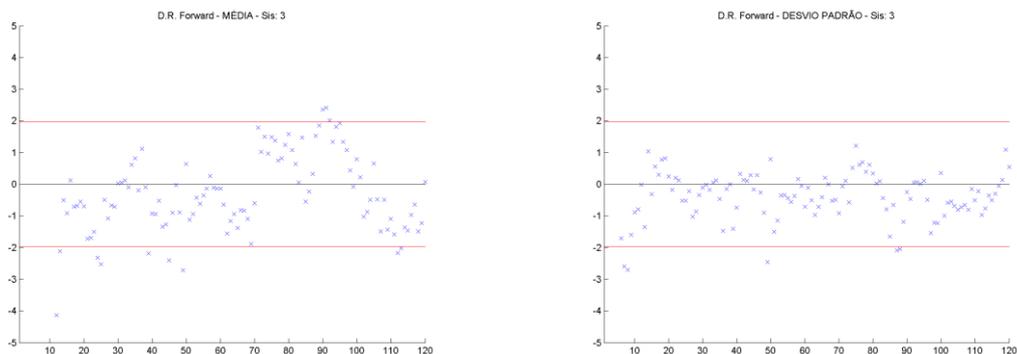
Figura 3.33 – Correlação Cruzada - 11 REEs-200mil – Cenários ENA Backward

De acordo com o exposto nos testes apresentados neste item, para o caso com um número maior de REEs, foi observado um comportamento bem satisfatório para média, desvio-padrão, teste de aderência e correlação cruzada tanto para os cenários forward quanto para os cenários backward, quando se considera a Amostragem Seletiva com uma amostra original de tamanho 100 mil. Desta forma, considera-se que não é necessário alterar este parâmetro na nova versão do programa NEWAVE que permite um tratamento diferenciado para REEs e SM/SSs.

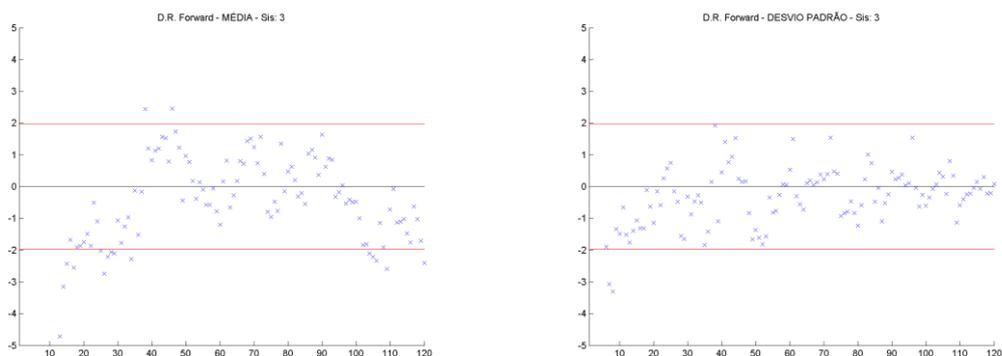
3.4 Avaliação número de cenários forward e backward

Após a verificação da adequação do tamanho da amostra original, foi realizada uma análise do tamanho das amostras utilizadas nas simulações forward e backward. Para tanto, foram considerados casos com 200/300 simulações forward e 20/50 aberturas (simulações backward) no caso com 11 REEs.

Para os cenários de ENA utilizados na simulação forward, da Figura 3.34 a Figura 3.37 são apresentados os resultados dos testes para média, desvio padrão, distribuição univariada e correlações cruzadas. Os cenários forward dos casos 300x20 e 300x50 são idênticos, assim como os casos 200x20 e 200x50, pois são gerados a partir da mesma amostra de ruídos. Os resultados do caso 200x20 foram apresentados no item 3.3.1.

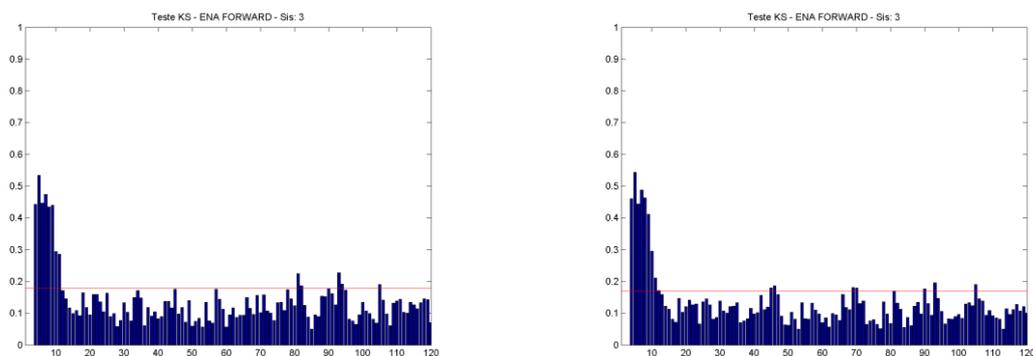


(a) 11 REEs – 200x20 e 200x50



(b) 11 REEs – 300x20 e 300x50

Figura 3.34 - Teste Média e Desvio Padrão – Forward - Variando Número de Cenários



(a) 11 REEs – 200x20 e 200x50

(b) 11 REEs – 300x20 e 300x50

Figura 3.35 - Teste Distribuição Univariada – Forward - Variando Número de Cenários

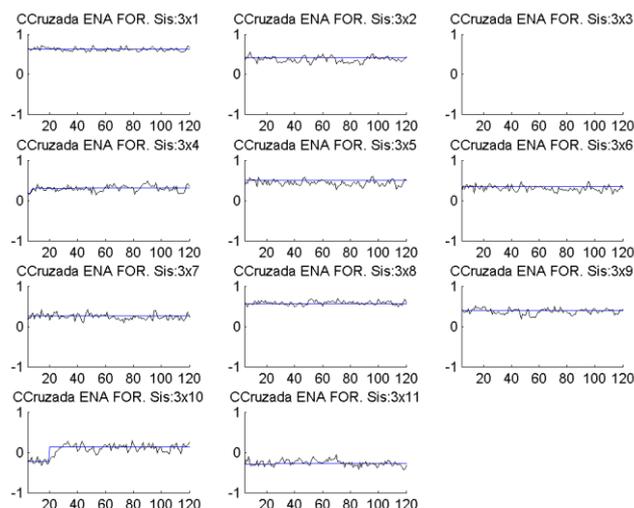


Figura 3.36 – Correlação Cruzada – Forward – 200x20 e 200x50

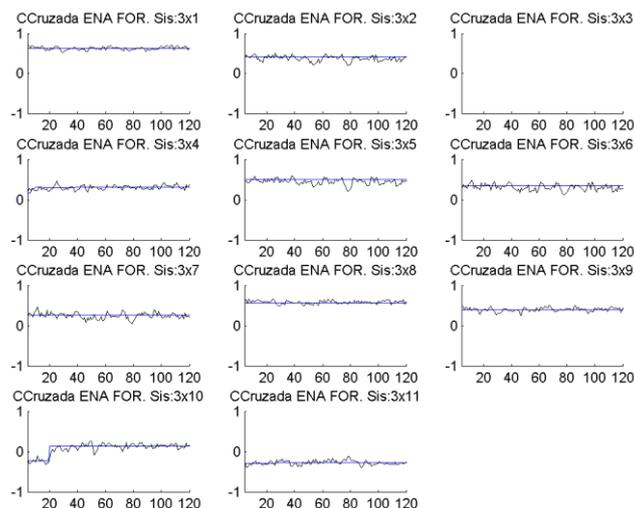
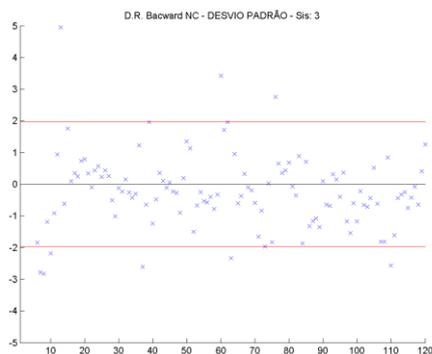
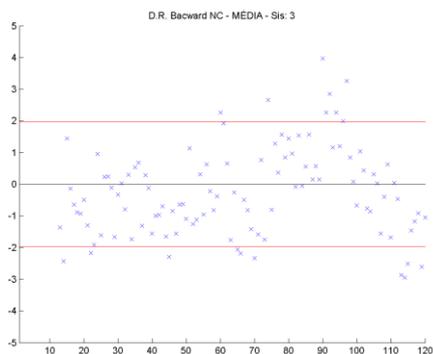


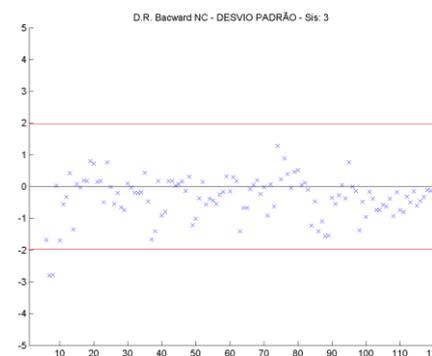
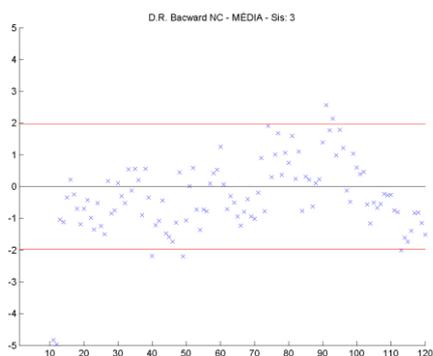
Figura 3.37 – Correlação Cruzada – Forward – 300x20 e 300x50

Analisando os resultados para os cenários forward, pode-se observar que não há ganho ao aumentar o número de cenários de 200 para 300. Foram apresentados resultados somente para o REE Paraná, mas o comportamento observado permanece qualitativamente o mesmo para os demais REEs.

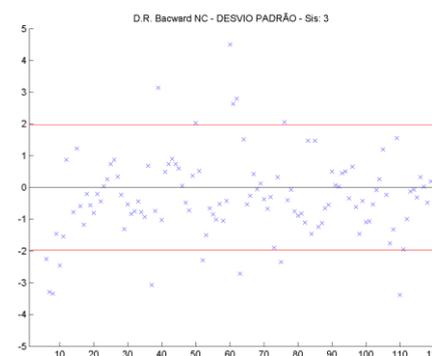
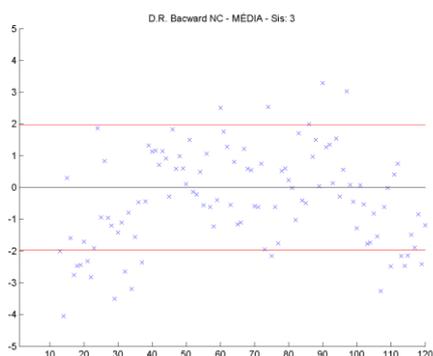
Para os cenários de ENA da simulação backward, da Figura 3.38 à Figura 3.43 são apresentados os resultados dos testes não condicionados (4000, 6000, 10000 e 15000 cenários) para média, desvio padrão, distribuição univariada e correlações cruzadas. Os resultados do caso 200x20 já foram apresentados no item 3.3.2.



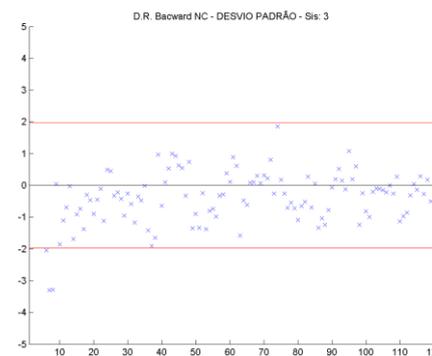
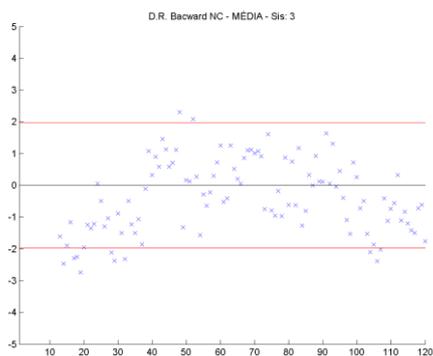
(a) 11 REEs – 200x20



(b) 11 REEs – 200x50

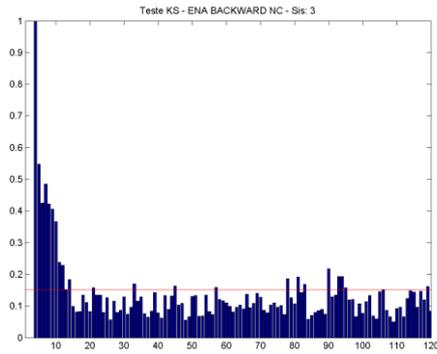


(c) 11 REEs – 300x20

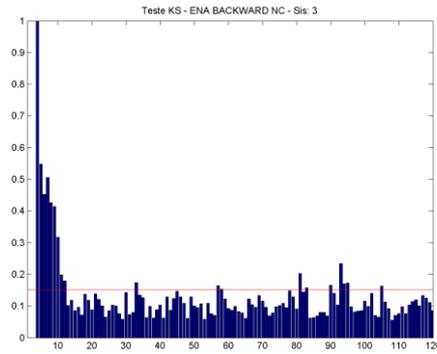


(d) 11 REEs – 300x50

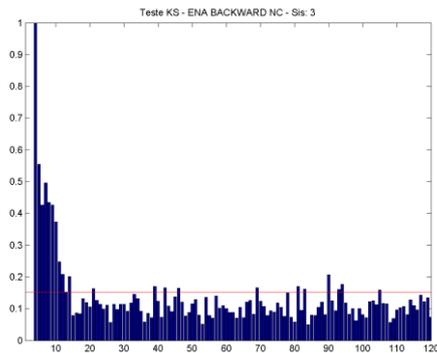
Figura 3.38 - Teste Média e Desvio Padrão – Backward NC - Variando Número de Cenários



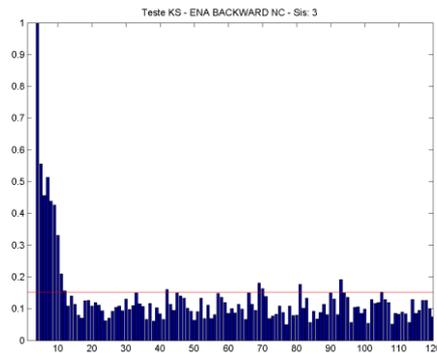
(a) 11 REEs – 200x20



(b) 11 REEs – 200x50



(c) 11 REEs – 300x20



(d) 11 REEs – 300x50

Figura 3.39 - Teste Distribuição Univariada – Backward NC - Variando Número de Cenários

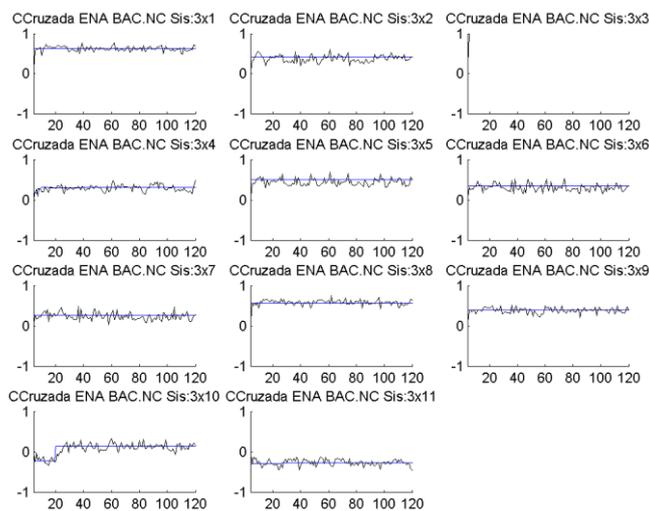


Figura 3.40 – Correlação Cruzada – Backward NC – 200x20

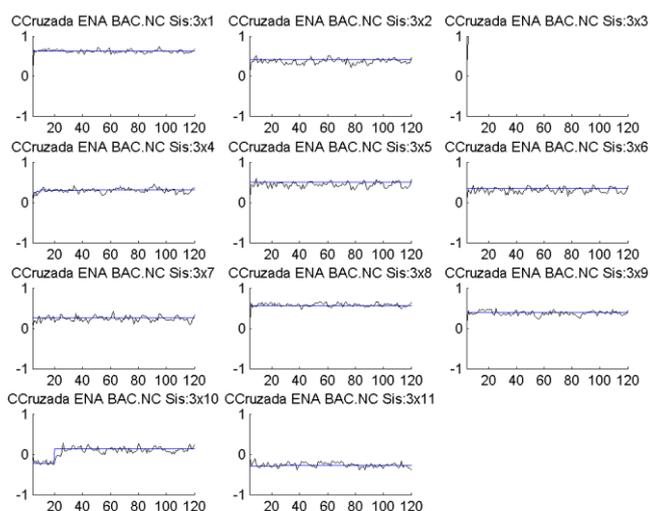


Figura 3.41 – Correlação Cruzada – Backward NC – 200x50

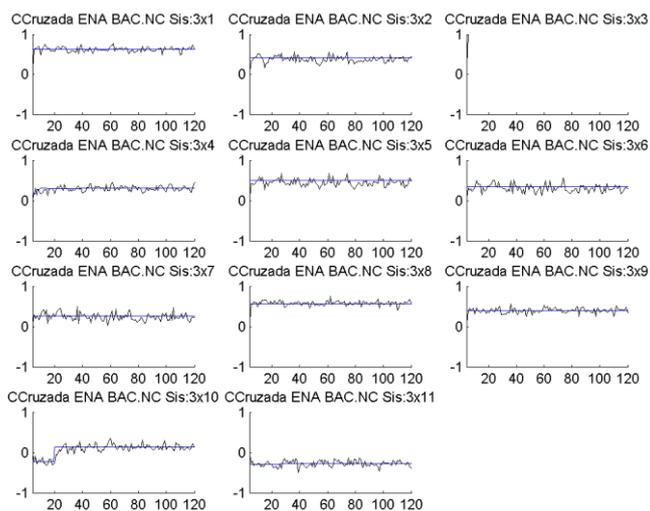


Figura 3.42 – Correlação Cruzada – Backward NC – 300x20

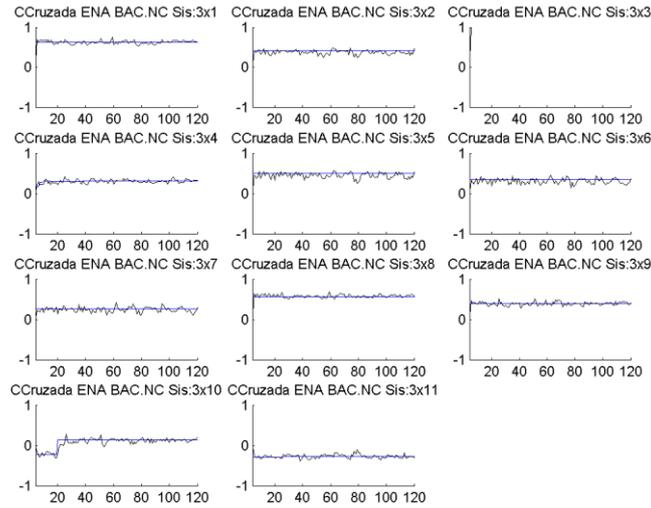
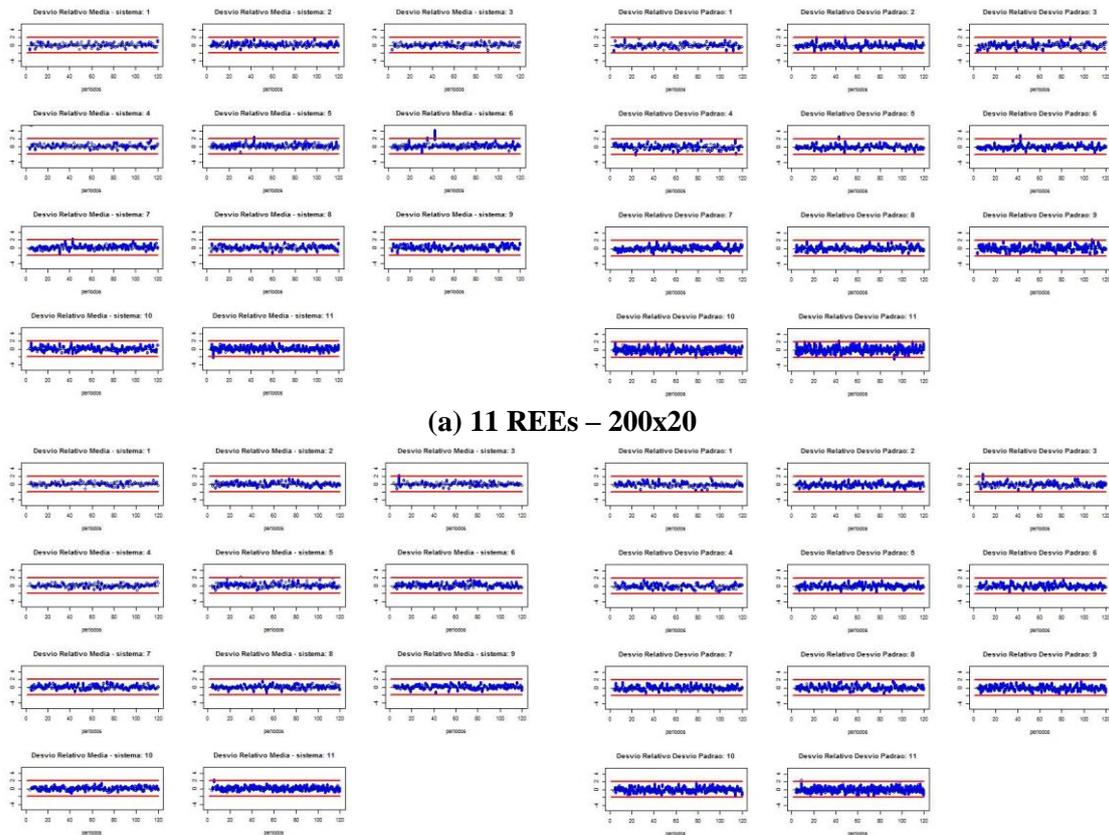
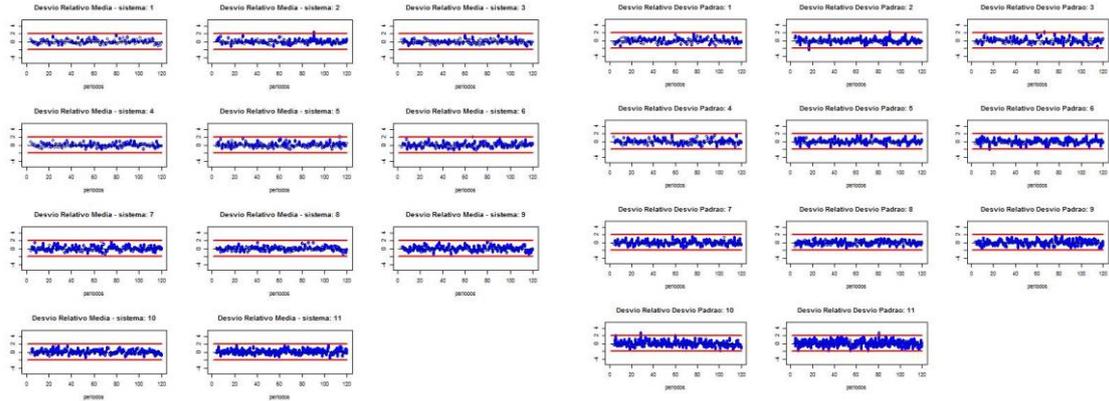


Figura 3.43 – Correlação Cruzada – Backward NC – 300x50

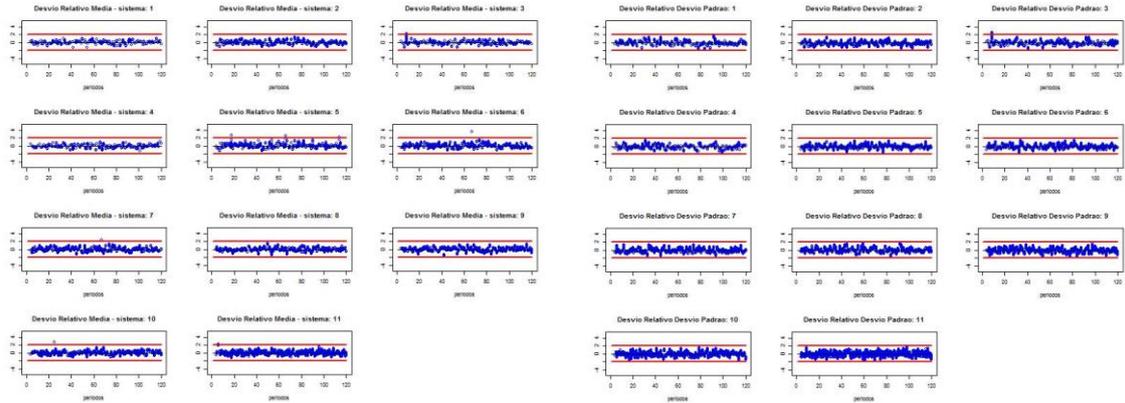
Da Figura 3.44 à Figura 3.48 são apresentados os testes condicionados para média, desvio padrão e correlações cruzadas, respectivamente, para os 200/300 conjuntos de 20/50 aberturas utilizados na simulação backward. Os resultados do caso 200x20 já foram apresentados no item 3.3.3.



(b) 11 REEs – 200x50



(c) 11 REEs – 300x20



(d) 11 REEs – 300x50

Figura 3.44 - Teste Média e Desvio Padrão – Backward - Variando Número de Cenários

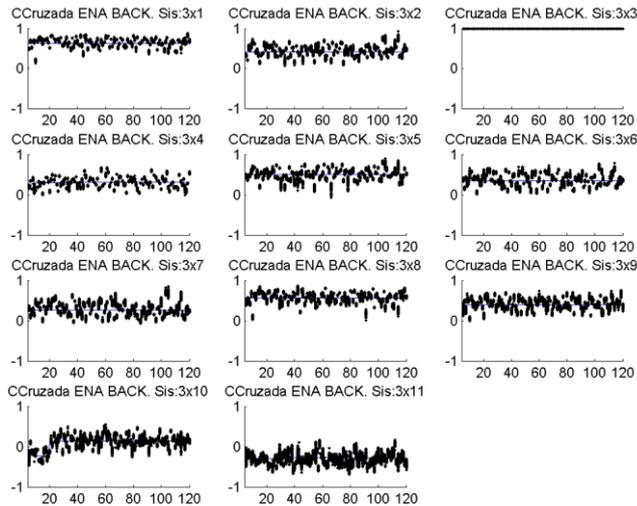


Figura 3.45 – Correlação Cruzada – Backward – 200x20

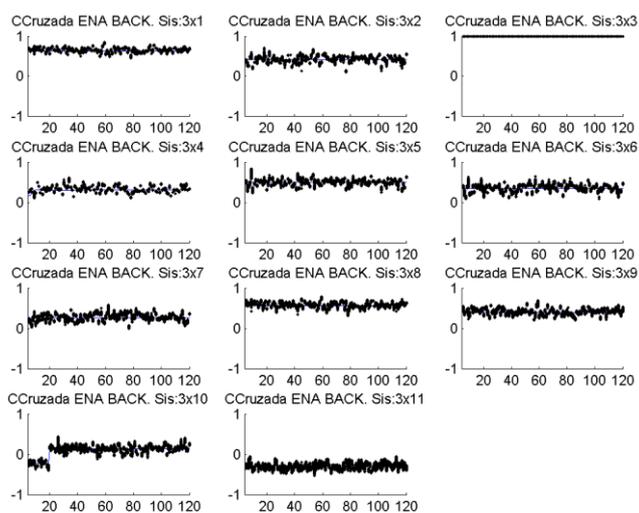


Figura 3.46 – Correlação Cruzada – Backward – 200x50

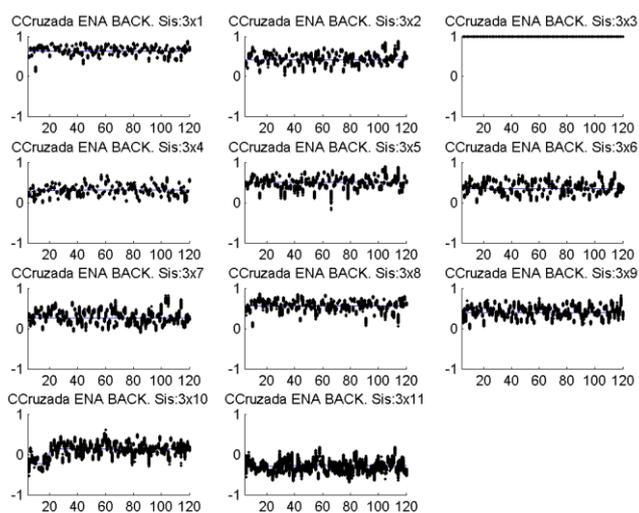


Figura 3.47 – Correlação Cruzada – Backward – 300x20

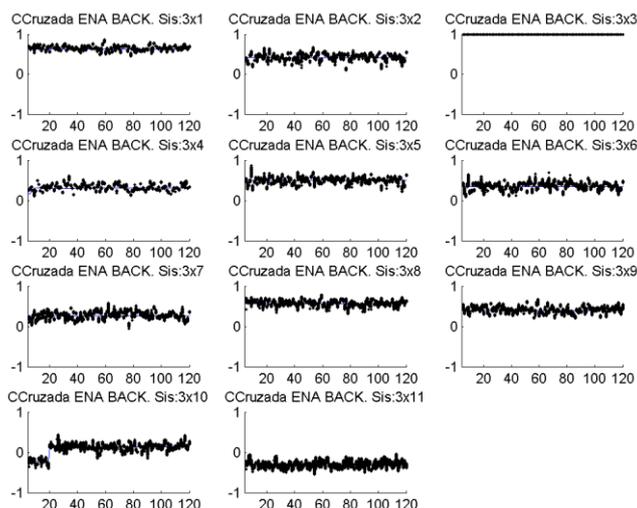


Figura 3.48 – Correlação Cruzada – Backward – 300x50

Não foi observada alteração na representatividade não condicionada dos cenários backward ao aumentar o número de cenários forward de 200 para 300. Pode-se verificar alguma melhoria no resultado dos testes de média e desvio-padrão dos cenários backward não condicionados quando se utilizam 50 cenários backward. Tendo em vista que o desempenho do caso 200x20 nos testes de média e desvio é satisfatório, é necessário avaliar se o custo computacional do acréscimo de cenários backward compensa a melhoria detectada nos seus testes de média e desvio-padrão.

3.5 Análise da compensação do desvio padrão

A compensação do desvio padrão da amostra de ruídos é um procedimento que visa reduzir a degradação observada no desvio padrão após a aplicação das técnicas de agregação. A ideia por trás deste procedimento é aumentar a variância da amostra original, de forma que, ao final do processo de agregação a amostra de ruídos backward/forward tenha um valor de desvio padrão próximo ao valor unitário, Figura 3.49. A compensação do desvio é feita de forma univariada. Sendo assim, não é necessário fazer alterações quando se aumenta o número de REEs. O procedimento utilizado é genérico para qualquer que seja o número de REEs da configuração.

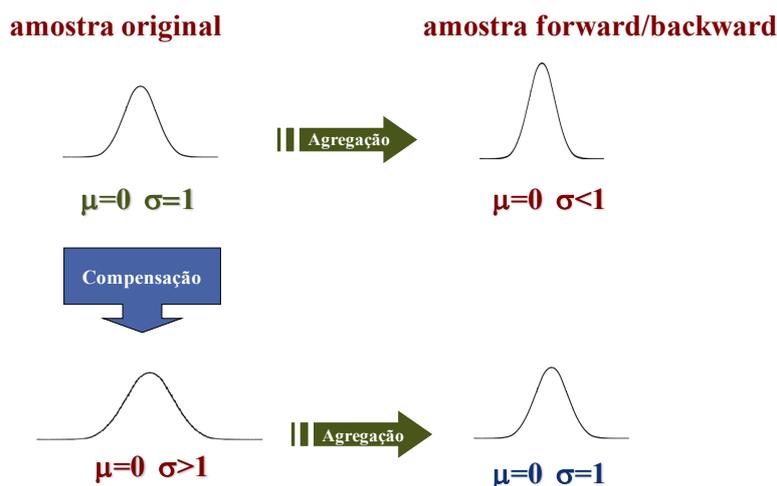


Figura 3.49 - Compensação do desvio padrão

3.6 Análise da compensação da correlação cruzada

Um tópico relacionado à correlação cruzada, abordado pelo GT7, foi a adequação do procedimento de compensação da correlação cruzada, aplicado no processo de geração de cenários, para os casos com um número maior de REEs. O procedimento foi revisto e chegou-se a conclusão que a metodologia aplicada é genérica, isto é, independe o número de REEs definidos na topologia. Mais detalhes sobre a metodologia utilizada no procedimento de compensação da correlação cruzada pode ser consultada em **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

3.7 Influência da Tendência Hidrológica

Durante os estudos efetuados pelo GT7, foi observado que as séries históricas de energia natural afluente bruta (ENAB), por exemplo, do SM/SS SE obtidas em um caso com 4 REEs foram idênticas àquelas obtidas pelo somatório de todos REEs que compõem este SM/SS em um caso com 11 REEs. Isto indica que a repartição do SE em diversos REEs não criou ou sumiu com energia afluente no SIN. Porém, ao fazer a mesma análise considerando séries sintéticas, foi observada uma diferença razoável nos valores da ENAB do primeiro ano.

As séries sintéticas geradas para diversas bacias e posteriormente agregadas em um único REE não serão idênticas aos valores gerados diretamente para este único REE. Os principais fatores que podem levar a estas diferenças são os ruídos utilizados no processo de geração amostral (responsável pela variação amostral), a estrutura de correlação temporal e espacial e a distribuição dos valores de afluência do passado recente.

Para ilustrar a explicação destas diferenças foram utilizados dois casos baseados no PMO Maio/14: caso 4x4 considerando 4 REEs e caso 4x11, com 11 REEs. As topologias consideradas nos casos 4x4 (azul) e 4x11 (preta) são apresentadas na Figura 3.50.

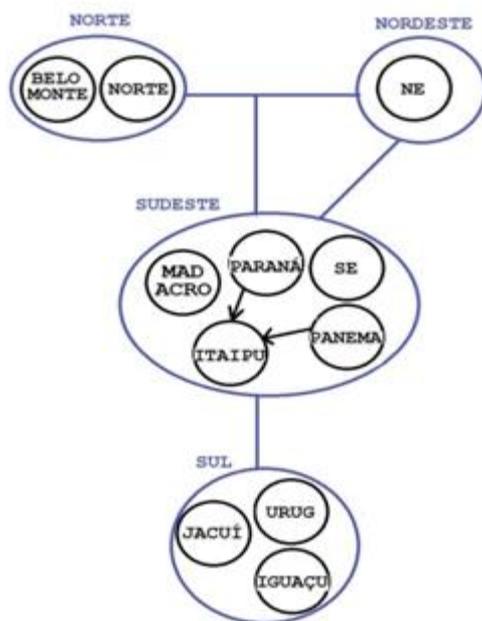


Figura 3.50 - Divisão dos REEs

Para mostrar a diferença da distribuição dos valores de afluência do passado recente, na Figura 3.51 são apresentados os três últimos valores que compõe a tendência hidrológica para o subsistema/submercado SE e seus REEs.

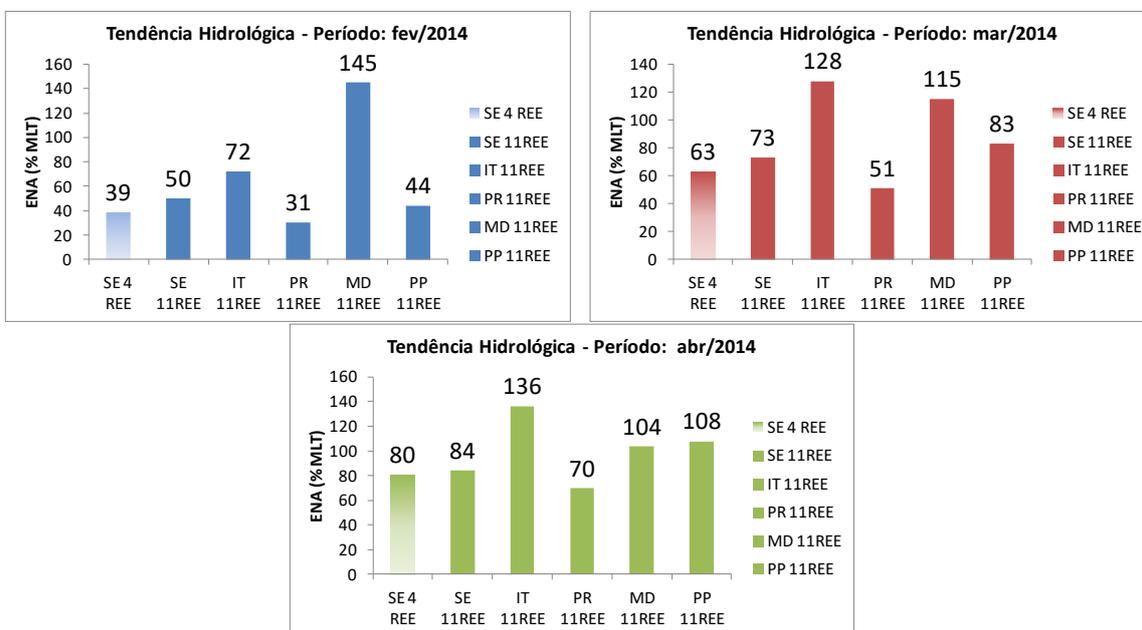


Figura 3.51 - Tendência Hidrológica REE do SE, caso 4x4 e 4x11

Para avaliar se a diferença observada nos resultados de ENAB sintética do primeiro ano para o SM/SS SE é devido à variação amostral (geração de uma sequência estatisticamente diferente de ruídos), foram avaliados diferentes conjuntos de 2000 cenários de ENAB para o Caso 4x11. A Figura 3.52 apresenta as médias destes cenários

para o primeiro mês (maio/2014), considerando diferentes sementes (original, A1, A2, A3 e A4) para o Caso 4x11. Pode-se observar que os valores médios destas cinco amostras são coerentes entre si, e todas apresentam praticamente a mesma diferença com relação ao Caso 4x4, para o SM/SS SE.

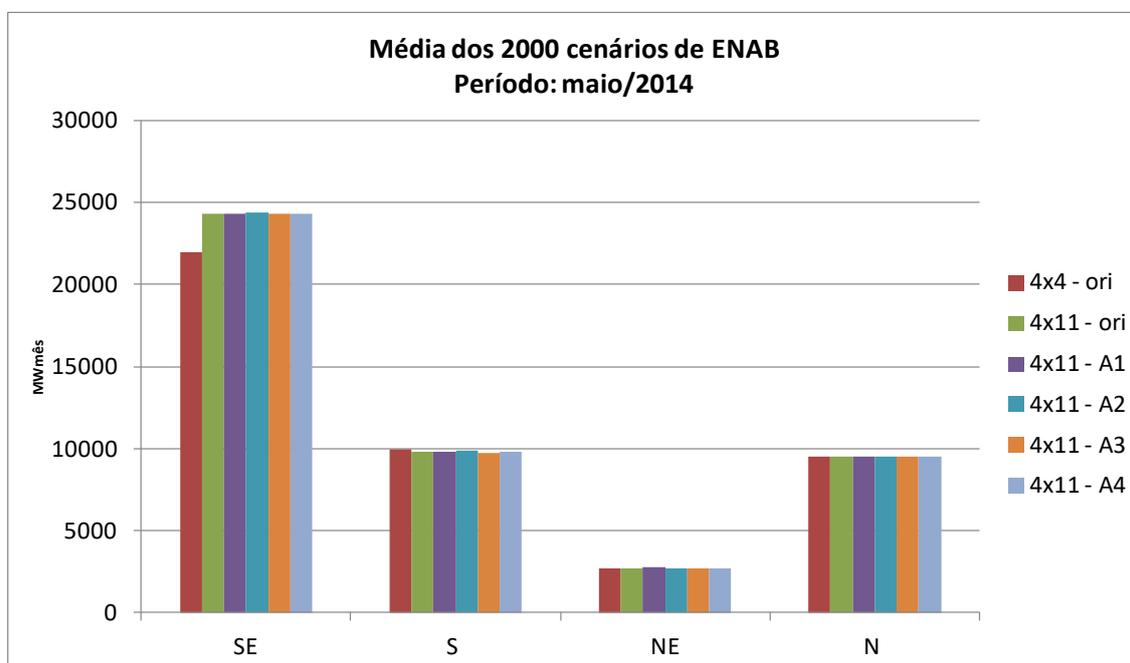


Figura 3.52 - Média cenários sintéticos com diferentes amostras

Ao ajustar um modelo estatístico para geração dos cenários sintéticos é levada em consideração uma aproximação das estruturas de correlação, que são estimadas com base no histórico. As estruturas de correlação do Caso 4x4 e do Caso 4x11 são específicas para cada configuração, pois dependem de como os REEs foram construídos. Vale lembrar que no cálculo das séries históricas são utilizados os valores “reais” observados, não sendo considerados modelos matemáticos e aproximações das estruturas de correlação.

Para cada REE e em cada estágio é ajustado um modelo autorregressivo (AR) de acordo com sua estrutura de correlação temporal. Na Tabela 3.1 são apresentados os modelos que foram ajustados para o primeiro mês de estudo para os REEs contidos no submercado/subsistema Sudeste para os casos 4REE e 11REE. Note que os cinco modelos ajustados no Caso 4x11 têm ordem e parâmetros diferentes daquele ajustado para o REE SE do Caso 4x4.

Tabela 3.1 Ordem e Parâmetros do modelo AR

REE	Caso	Ordem	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
Sudeste	4x4	3	0.627	-0.0369	0.324
Sudeste	4x11	1	0.908	-	-
Paraná	4x11	3	0.643	0.111	0.261
Parapanema	4x11	1	0.487	-	-
Itaipu	4x11	1	0.674	-	-
Madeira	4x11	1	0.540	-	-

A partir do modelo ajustado para cada REE e do seu respectivo passado recente é possível calcular os valores esperados condicionados (VEC). Espera-se que a média dos 2000 cenários sintéticos de ENAB esteja bem próxima ao VEC. O somatório dos valores de VEC para cada REE que compõe o SB/SS SE no Caso 4x11 foi comparado com o valor médio dos cenários sintéticos. Conforme esperado, pode-se observar na Figura 3.53, que estes valores são bem aderentes para ambos os casos. Desta forma, podemos afirmar que a geração está sendo realizada de forma correta, sem a presença de nenhum viés.

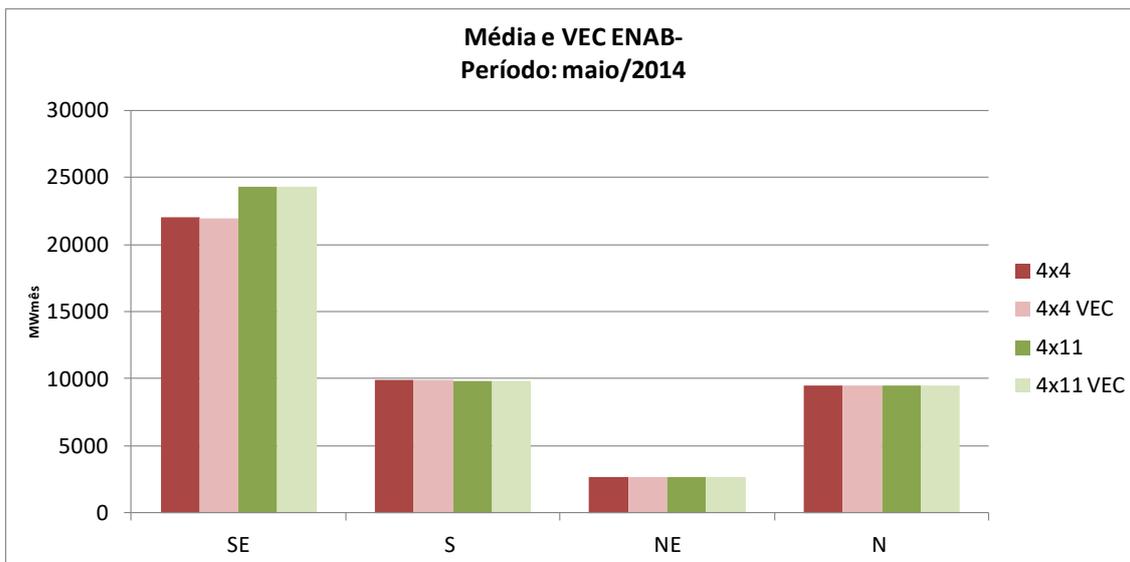


Figura 3.53 - Média dos cenários sintéticos e VEC

Para complementar a avaliação, foi realizada uma análise não condicionada dos valores gerados de ENAB. Na Figura 3.54 é apresentada uma comparação das médias anuais dos 2000 cenários sintéticos de ENAB, obtidos de forma não condicionada (sem dependência do passado recente) para os casos 4x4 e 4x11. Como dito anteriormente, espera-se que no caso não condicionado, os valores médios tendam à média histórica logo nos primeiros meses. De acordo com o esperado, pode-se verificar as diferenças obtidas entre o Caso 4x4 e o Caso 4x11 são bem pequenas.

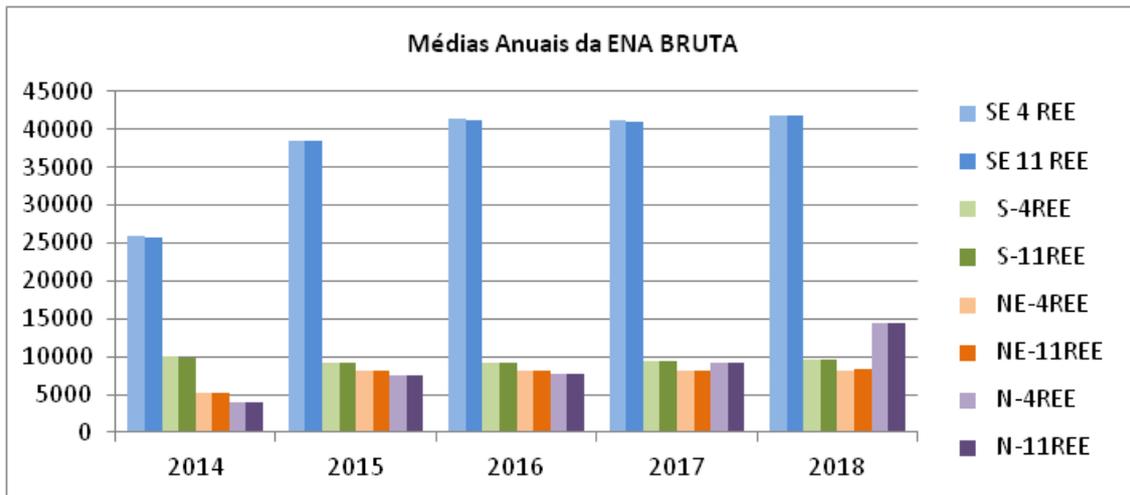


Figura 3.54 - Médias anuais ENAB (sem tendência hidrológica)

Desta forma, pode-se concluir que a diferença observada advém principalmente do condicionamento ao passado recente, uma vez que a afluência não apresenta o mesmo comportamento hidrológico em todas as bacias que compõem um submercado/subsistema.

4 Divisão do Sistema Interligado Nacional em REEs

Para propor novas alternativas de topologia a ser utilizada no planejamento da operação de médio/longo prazo e expansão, é necessário avaliar a criação de novos REEs sob os aspectos de representatividade do sistema hidráulico e do comportamento hidrológico e, buscar uma forma eficiente para avaliar a melhor composição de sub-bacias para criação de um REE.

4.1 Procedimentos para análise da divisão do SIN

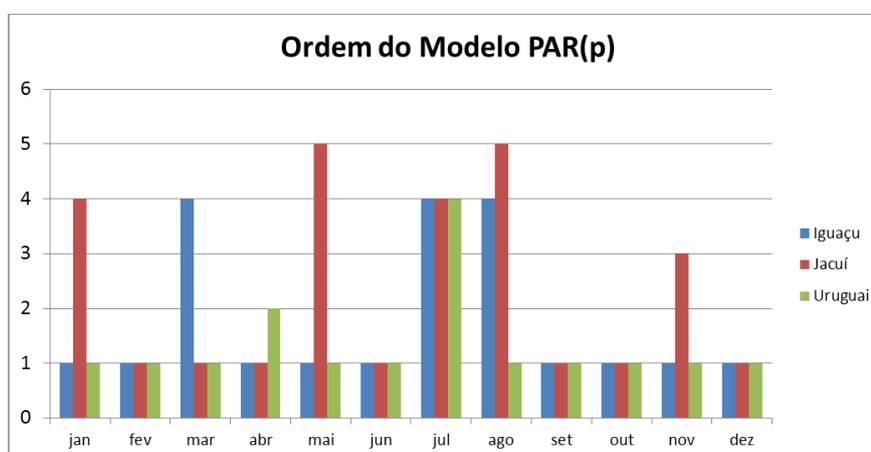
Com o intuito de criar medidas que auxiliassem na avaliação das possíveis divisões do SIN, foram utilizadas técnicas de estatística multivariada, tais como análise de agrupamento e componentes principais, análise da correlação espacial entre as diversas bacias, avaliação das restrições dos sistemas hidráulicos e do comportamento hidrológico das bacias, além do comportamento de algumas variáveis do sistema hidrotérmico.

4.1.1 Distribuição acumulada da ENA bruta gerada

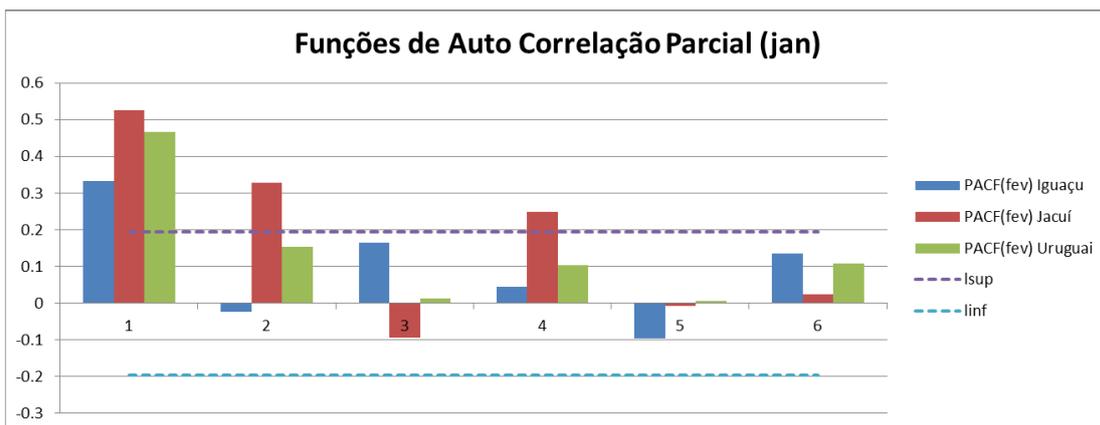
Nesta análise são comparadas as distribuições de frequências acumuladas dos cenários sintéticos de energia natural afluyente bruta e controlável, empregando-se o teste qui-quadrado para avaliar a aderência entre essas distribuições de ENA para combinações de divisão de um dado REE.

O teste realizado considerou as bacias do Rio Jacuí e Rio Uruguai representadas juntas em um mesmo REE e em 2 REEs distintos. Também avaliou-se a inclusão da bacia do Rio Iguaçu no mesmo REE.

Como pode ser visto na Figura 4.1, as ordens dos modelos PAR(p) identificadas são significativamente diferentes nas três bacias, assim como as funções de autocorrelação parcial.



(a)



(b)

Figura 4.1 – (a) Ordem do Modelo PAR(p) e (b) função de autocorrelação parcial para as bacias do Iguazu, Jacuí e Uruguai

Apesar dos modelos ajustados serem distintos, pode-se observar na Figura 4.2 que as ENAs mensais padronizadas (pela média anual) são muito próximas entre o Uruguai e o Jacuí.

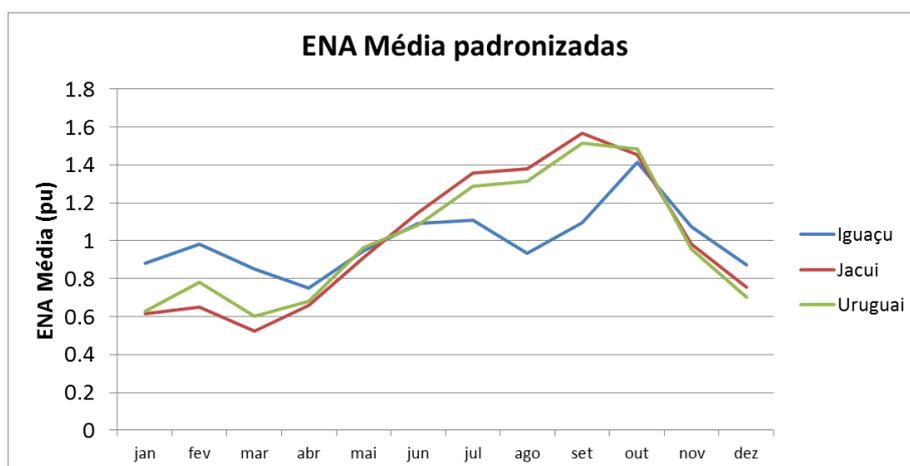
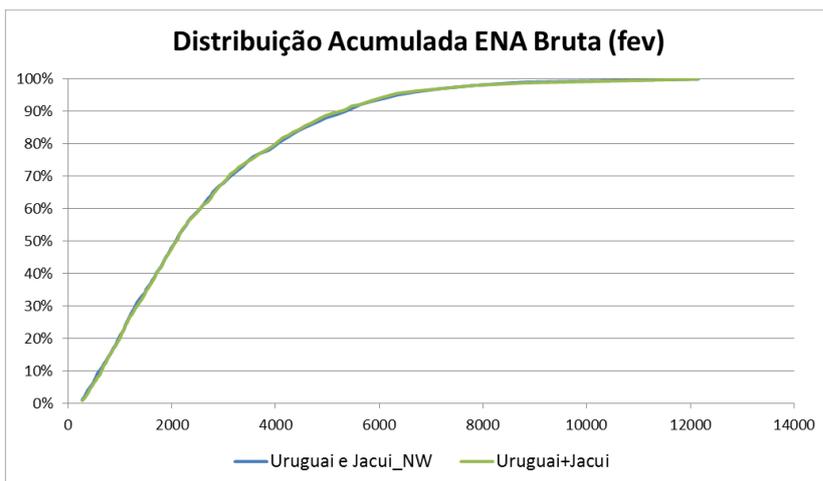


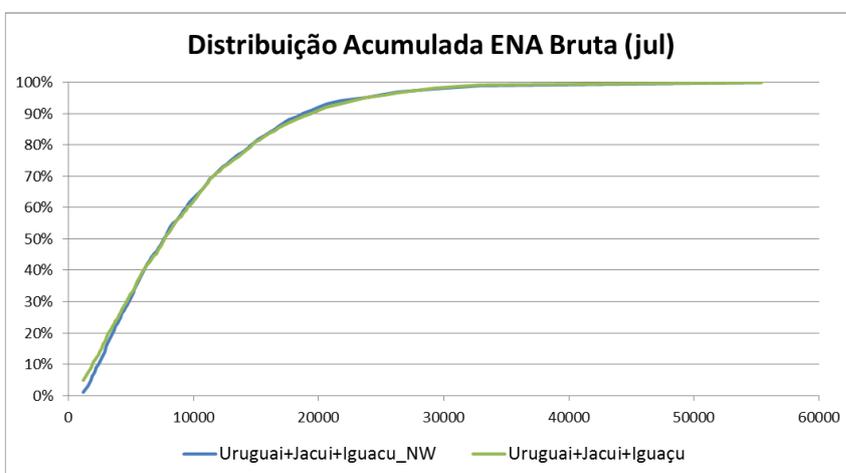
Figura 4.2 – ENA Média padronizada

Apesar dos modelos serem distintos, as ENAs geradas ao se agrupar o Uruguai e o Jacuí tem a mesma distribuição (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), no entanto, quando se agrega também o Iguazu já não se pode aceitar a hipótese de mesma distribuição no teste Qui-quadrado em todos os meses. Nota-se na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** que para alguns meses o teste de aderência foi rejeitado. O teste Qui-Quadrado foi realizado com 100 classes $\chi_{(5\%,99)}=77,05$.



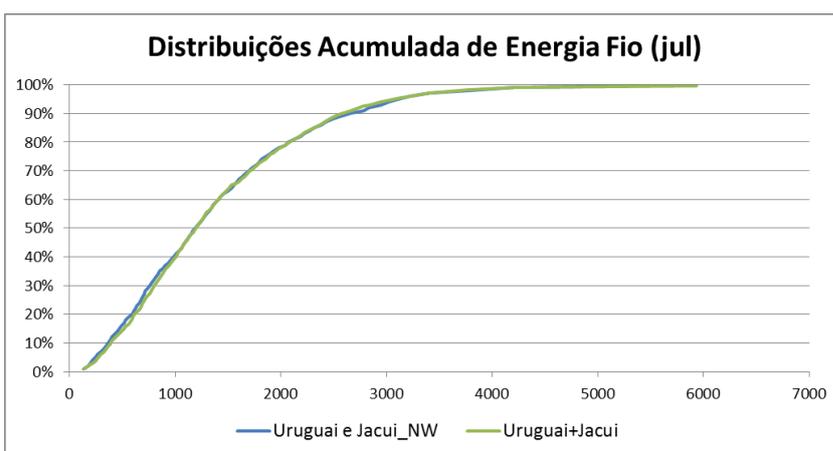
	Valor	p-valor
jan	30.94	0%
fev	43.29	0%
mar	36.09	0%
abr	35.49	0%
mai	13.82	0%
jun	17.71	0%
jul	22.8	0%
ago	22.81	0%
set	11.65	0%
out	13.85	0%
nov	45.36	0%
dez	12.03	0%

Figura 4.3 – Distribuição Acumulada ENA bruta (mês FEV) – Bacias do Uruguai e Jacuí



	Valor	p-valor
jan	23.39	0%
fev	35.84	0%
mar	26.98	0%
abr	298.6	100%
mai	82.63	12%
jun	130.5	98%
jul	466.9	100%
ago	64.97	0%
set	85.12	16%
out	112.5	83%
nov	55.61	0%
dez	21.02	0%

Figura 4.4 – Distribuição Acumulada ENA bruta (mês JUL) – Bacias do Uruguai, Jacuí e Iguaçu



	Valor	p-valor
jan	38.39	0%
fev	54.85	0%
mar	41.54	0%
abr	85.86	18%
mai	20.58	0%
jun	79.41	7%
jul	165.4	100%
ago	99.14	52%
set	15.05	0%
out	18.04	0%
nov	71.44	2%
dez	15.48	0%

Figura 4.5 – Distribuição Acumulada ENA fio d'água (mês JUL) – Bacias do Uruguai e Jacuí

A agregação em um mesmo REE de diferentes bacias pode alterar a partição entre as parcelas de energia controlável e fio d'água, conforme pode ser verificado na **Erro!**

Fonte de referência não encontrada. e na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Neste caso, considerando a distribuição acumulada da ENA fio d'água, o número de rejeições aumenta significativamente ao agregar a Bacia do Iguaçu às Bacias do Uruguai e Jacuí.

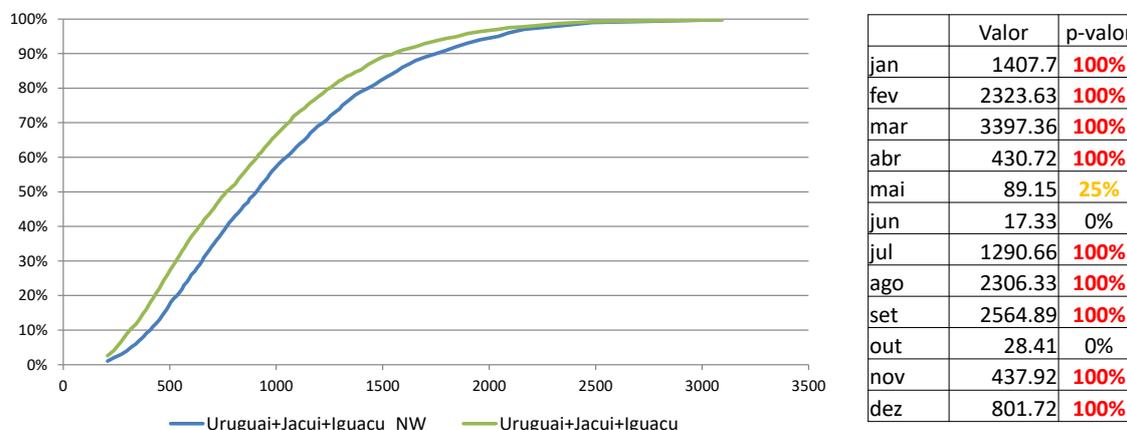


Figura 4.6 – Distribuição Acumulada ENA fio d'água (mês MAR) – Bacias do Uruguai, Jacuí e Iguaçu

Através do teste de hipóteses Qui-quadrado verificou-se que considerar Jacuí e Uruguai em REE distintos ou agregados são equivalentes em termos de ENA bruta. Já quando se agrega também o Iguaçu não se pode aceitar a hipótese de mesma distribuição no teste Qui-quadrado em todos os meses, sugerindo que este fique em um REE separado. Entretanto, nos testes para as distribuições de ENA controlável não foi possível aceitar a hipótese de equivalência para as agregações avaliadas.

4.1.2 Correlação espacial entre as ENAs históricas

Nesta análise foi avaliada a correlação de Pearson para cada par de ENAs e analisado o grau de correlação entre elas. Se este valor for muito alto, pode-se dizer que não há ganho significativo em representar estas bacias em REEs distintos.

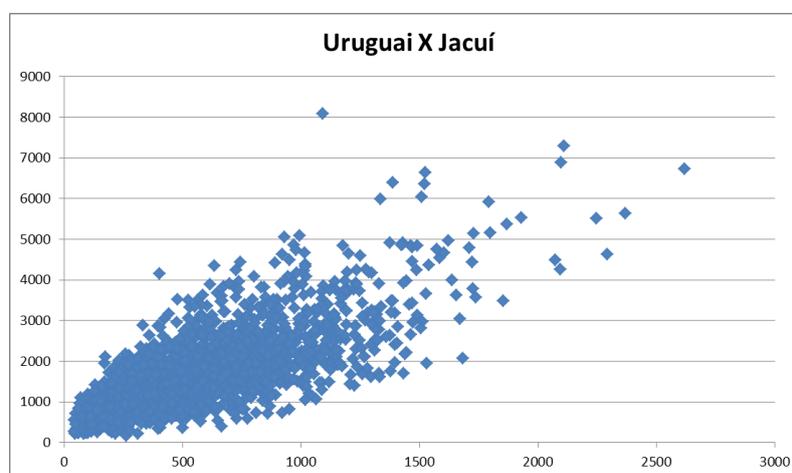


Figura 4.7 – ENA Bacia do Uruguai x ENA Bacia do Jacuí

Espera-se que com a agregação das bacias haja maior armazenamento na simulação com o programa NEWAVE, pois, por exemplo, quando uma bacia tem grande afluência e a outra bacia baixa afluência, o REE terá a capacidade de armazenar o excedente da outra, mas na prática essa afluência seria vertida (vertimento localizado).

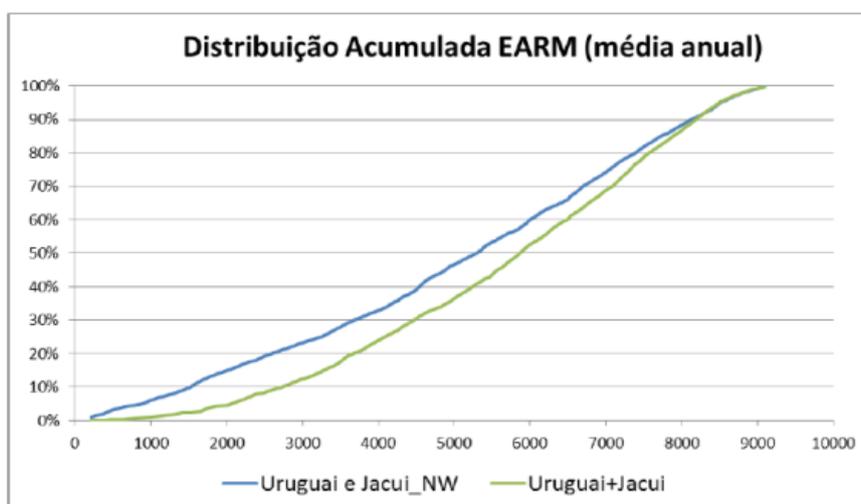


Figura 4.8 – Distribuição Acumulada de Energia Armazenada – Bacias do Uruguai e Jacuí

Ressalta-se assim, a importância em avaliar as estatísticas mensais e não agregadas no ano, de maneira a identificar diferenças de sazonalidade entre as bacias e vertimentos localizados, exemplificado com o caso do Jacuí e o Uruguai, Figura 4.7, que têm correlação de Pearson alta (0,76), mas sua agregação acarreta em distribuições de armazenamento significativamente diferentes, Figura 4.8.

4.1.3 Coeficiente de determinação (R²) entre as ENAs históricas

É ajustada uma regressão linear entre as ENAs históricas de duas bacias e então é calculado o coeficiente de determinação, que representa o coeficiente de correlação amostral. Assim como no teste anterior, se este valor for suficientemente alto, pode-se dizer que as duas bacias têm comportamento semelhante e, então, podem ser representadas em um mesmo REE.

Foram analisadas as correlações entre 21 bacias hidrográficas, considerando a ENA mensal do período de janeiro de 2000 a janeiro de 2014. Considerando os dados resultantes desta análise, sem levar em consideração as limitações em relação ao acoplamento hidráulico, as bacias poderiam ser agrupadas em 14 REEs:

Reservatório equivalente de Energia	Submercado
1	Amazonas
2	São Francisco
3	Tocantins
4	Tietê

5	Parapanema	Sudeste
6	Grande/Paraná/Paranaíba	Sudeste
7	Atlântico	Sudeste
8	Paraguai	Sudeste
9	Itaipu	Sudeste
10	Iguaçu	Sul
11	Uruguai/Jacuí/Capivari	Sul
12	São Francisco	Nordeste
13	Amazonas	Norte
14	Tocantins	Norte

Como exemplo, a Figura 4.9 ilustra os coeficientes de correlação para as bacias do Sul, onde é possível observar a baixa correlação entre os regimes hidrológicos das bacias do Iguaçu e Jacuí, bem como da bacia do Iguaçu com o Uruguai:

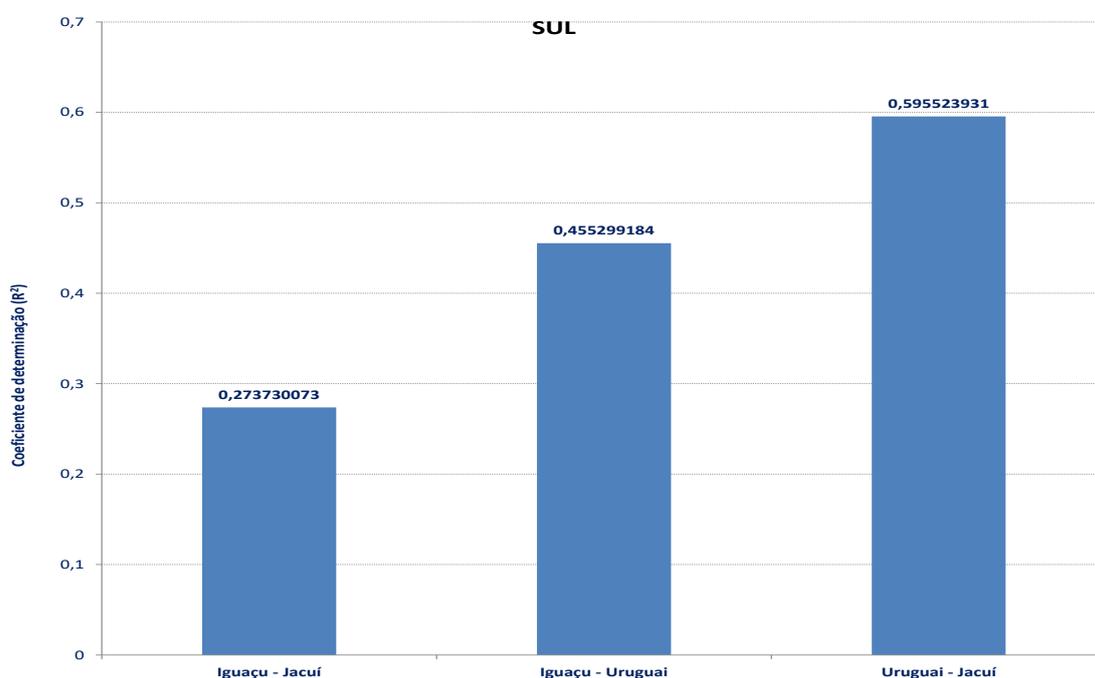


Figura 4.9 – Coeficientes de correlação para as bacias do Sul

4.1.4 Agregação de curvas de ENA histórica

Nesta abordagem, foi construída mensalmente para cada bacia uma curva representativa da ENA obtida em diferentes níveis de armazenamento. Esta curva deve ser padronizada, por exemplo, pelo valor ao nível mínimo (EARM = 0%). Após a obtenção das curvas, são aplicadas técnicas de agregação **Erro! Fonte de referência não encontrada.** para agrupar curvas semelhantes em um mesmo grupo. Desta forma, todas as bacias pertencentes a um mesmo grupo podem ser representadas em um mesmo REE, uma vez que não apresentam comportamento hidrológico diferente entre si.

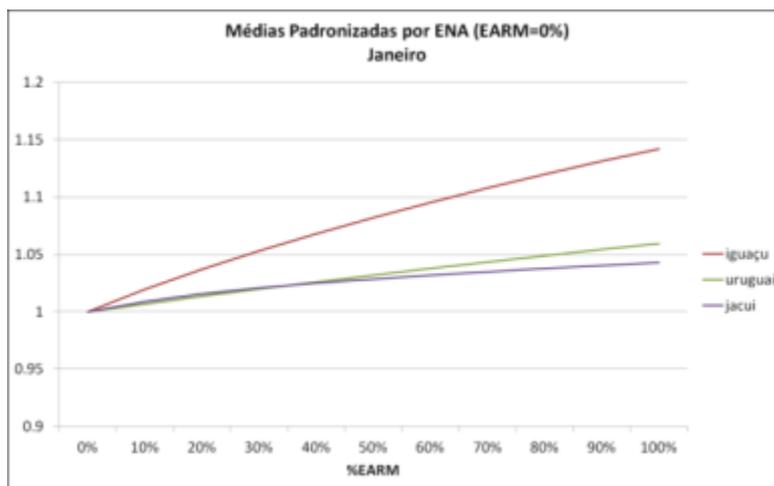


Figura 4.10 – Curva representativa da ENA

Como exemplo, esta avaliação foi aplicada nas bacias que compõem o SM/SS Sul, conforme Figura 4.10. Pode-se observar que por esta abordagem as bacias dos rios Jacuí e Uruguai têm comportamento bastante semelhante e diferente daquele observado para a bacia do rio Iguaçu. Ainda se encontram em desenvolvimento um critério para avaliar a formação dos agrupamentos (distância de corte) no algoritmo de agregação e uma extensão desta abordagem para considerar sub-bacias com elevada participação de usinas sem regularização.

4.1.5 Componentes principais

A técnica multivariada de análise de componentes principais **Erro! Fonte de referência não encontrada.** permite converter um conjunto de observações correlacionadas em um conjunto linearmente dependente, chamado de componentes principais. Cada componente explica uma parcela da variabilidade do processo.

Na Figura 4.11 é apresentado o percentual acumulado de explicação da variabilidade do processo de cada componente, para um conjunto de observações compreendendo as ENAs históricas de 22 bacias do SIN. O objetivo deste teste é analisar o número ideal de reservatórios equivalentes capaz de representar satisfatoriamente a variabilidade das ENAs nas diversas bacias. Observe na Figura 4.11 que a configuração atual, com 4 REEs, representa 85,48% da variabilidade, enquanto que com 6 REEs as componentes principais representam 90,58%, 9 REEs explicam 94,5% da variabilidade e 12 REE representam 97,17%. A consideração de 14 REEs representaria quase a variabilidade total.

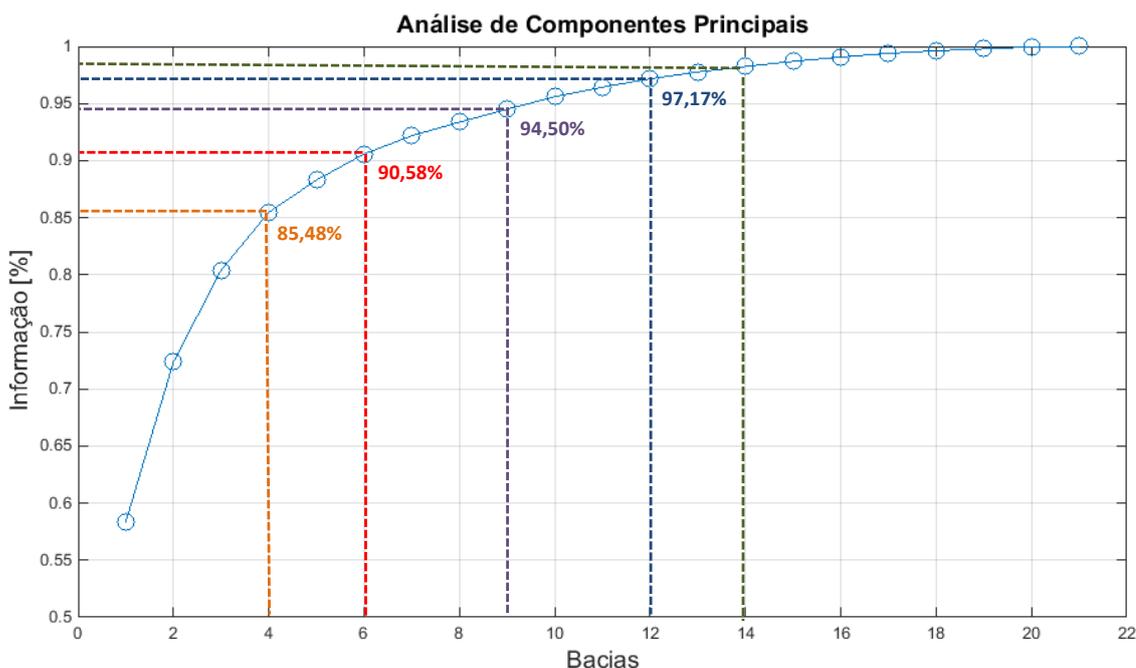


Figura 4.11 – Análise de componentes principais

4.1.6 Análise de restrições do sistema hidráulico e correlação entre as ENAs

Em conjunto com a análise da correlação espacial tradicional e da correlação de Spearman entre as ENAs históricas de diferentes bacias do SIN, foi avaliado se em cada bacia há restrições do sistema que justifiquem sua representação em um REE a parte. Foram analisadas diversas bacias do SIN e as principais observações são apresentadas na Tabela 4.1.

Vale lembrar que na correlação de Spearman, dada em (4.2), não é necessário que a relação entre as variáveis seja linear, pois considera a equidistância entre duas posições subsequentes.

$$rho_{sp} = 1 - \frac{6 \times \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (4.2)$$

Tabela 4.1 – Análise da correlação e restrições entre bacias

Sistema 1	Sistema 2	rho	rho_sp	Restrição sistema
Uruguai	Jacuí	0.89	0.91	Sem restrição
Uruguai + Jacuí	Iguaçu	0.74	0.71	Sem restrição
Uruguai	Iguaçu	0.76	0.73	Sem restrição
Jacuí	Iguaçu	0.59	0.6	Sem restrição
Norte	Belo Monte	0.88	0.94	Escoamento de energia
ATOC	SE	0.82	0.9	Acoplamento hidráulico com reservatório com Norte
ATOC	PB+GR+PR+TI	0.79	0.88	Acoplamento hidráulico com reservatório com Norte

ASF	SE	0.9	0.94	Acoplamento hidráulico com reservatório com Sudeste
ASF	PB+GR+PR+TI	0.89	0.91	Acoplamento hidráulico com Sudeste
Grande	Paranaíba	0.88	0.9	Sem restrição
Grande+Paranaíba	Paraná	0.75	0.76	Sem restrição
Paraná + Paranaíba + Grande	Tietê	0.79	0.82	Sem restrição
Paraná + Paranaíba + Grande + Tietê	Paranapanema	0.44	0.5	Sem restrição
Paraná+Paranaíba+ Grande + Tietê	Itaipu	0.25	0.29	Acoplamento hidráulico a fio d'água e escoamento de energia de Itaipu
Paranapanema	Itaipu	0.72	0.73	Acoplamento hidráulico a fio d'água e escoamento de energia de Itaipu
SE	PB+GR+PR+TI	0.9	0.94	Sem restrição
SE	MD-AC-RO	0.76	0.81	Picos de cheias em período distintos
SE	Itaipu	0.11	0.16	Acoplamento hidráulico a fio d'água e escoamento de energia de Itaipu

Ao longo das reuniões de 2014, foi realizada uma série de análises referentes à representação do acoplamento hidráulico entre REEs com reservatório a jusante. Tais análises indicam a necessidade de um maior aprofundamento das discussões antes da efetiva consideração da representação de REEs com este tipo de acoplamento.

4.1.7 Análise do comportamento das vazões incrementais de Itaipu

Foram analisados os registros históricos das ENAs calculadas considerando as vazões incrementais da área de interesse. Pode-se notar na Figura 4.12, que o comportamento da vazão incremental a jusante da usina de Porto Primavera é bem diferente da vazão incremental a montante desta usina, da ENA do REE SE e da bacia do rio Paraná. Desta forma, justifica-se a representação da usina de Itaipu em um REE a parte.

Nesta configuração a usina Itaipu representaria um REE dentro do SM/SS Sudeste, com acoplamento hidráulico a fio d'água com o REE de montante, modalidade já validada em abr/2002. Recentemente, foram introduzidos dois novos aperfeiçoamentos na modelagem de acoplamento hidráulico que devem ser validados. No Anexo B deste Relatório é apresentado um estudo que mostra o impacto de cada um destes dois novos aperfeiçoamentos na operação do sistema.

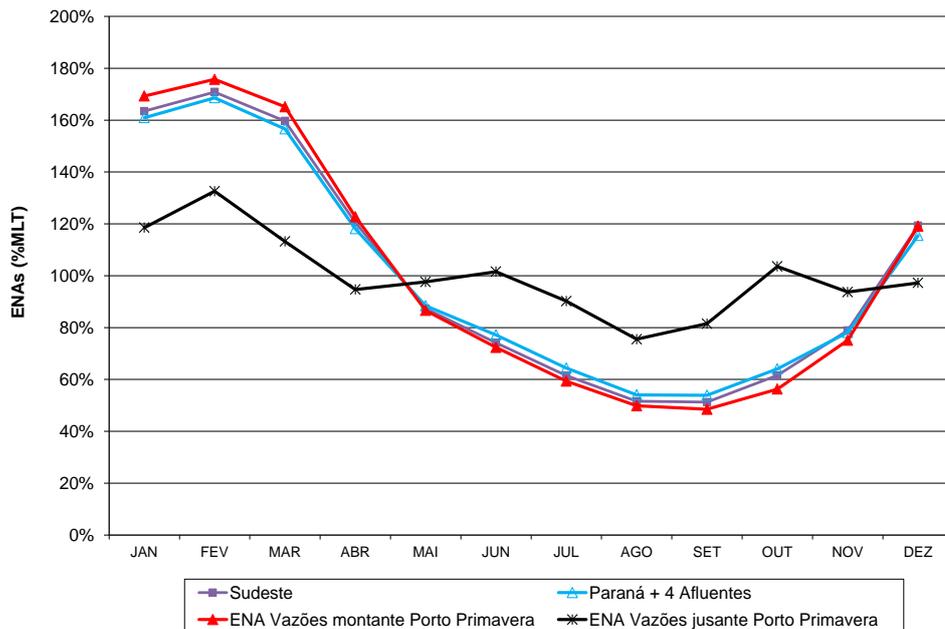


Figura 4.12 – Energia Natural Afluente Histórica

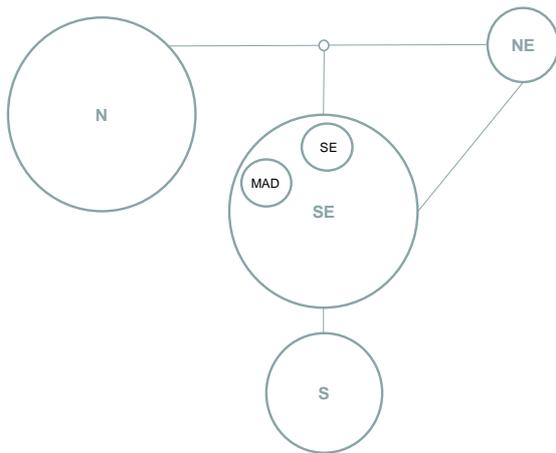
4.2 Propostas de Topologias para o SIN

Com base nos resultados apresentados acima e nas discussões mantidas nas reuniões, as instituições participantes do GT7 propuseram nove topologias para serem avaliadas. Estas topologias, assim como a topologia atualmente utilizada no planejamento da operação e cálculo do PLD, serão utilizadas no programa NEWAVE com o objetivo de avaliar o impacto que cada uma traz na operação do sistema. Estas topologias são mostradas na Figura 4.13 e as siglas dos REEs estão indicadas na Tabela 4.2. As setas entre REEs nas figuras abaixo indicam acoplamento hidráulico entre estes REEs.

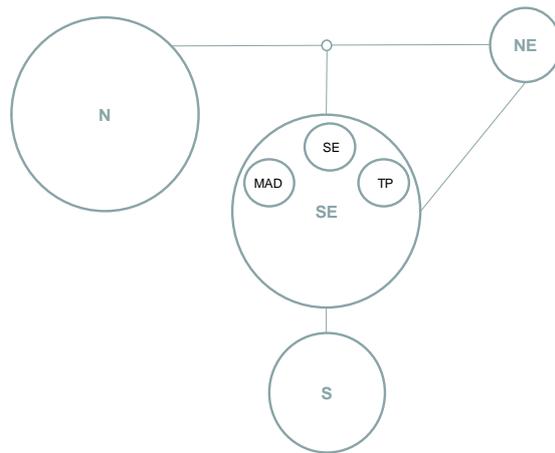
Tabela 4.2 – Siglas REEs

Sigla	REE
SE	Sudeste
S	Sul
NE	Nordeste
N	Norte
MAD	Madeira
TP	Teles Pires
PR	Paraná
IT	Itaipu
PRP	Parapanema
IG	Iguaçu
BM	Belo Monte
AM	Amazonas

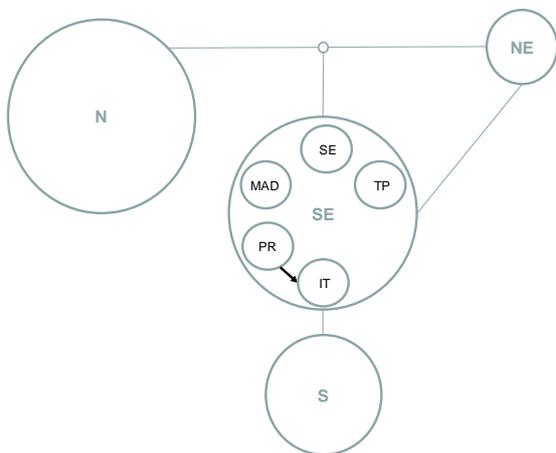
- **Topologia A [4X5]**



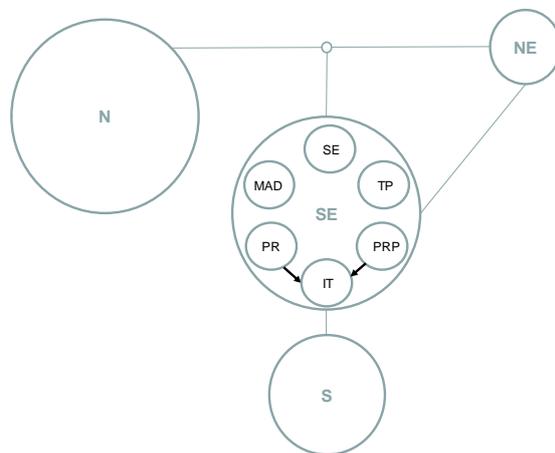
- **Topologia B [4X6]**



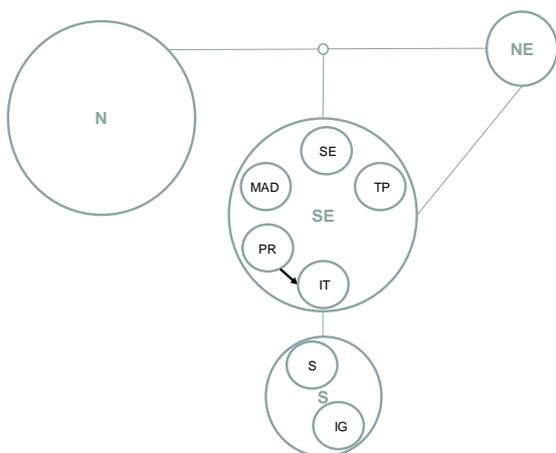
- **Topologia C [4x8]**



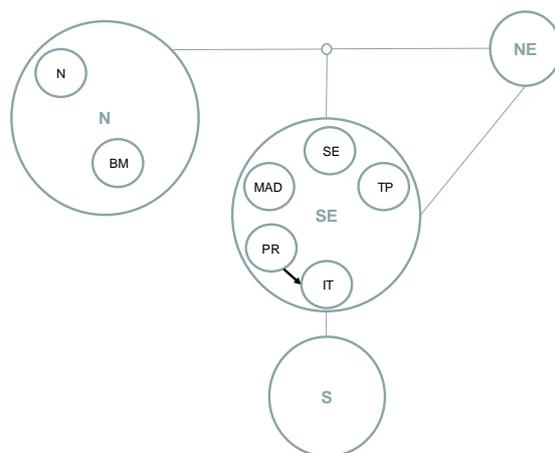
- **Topologia D1 [4X9]**



- **Topologia D2 [4x9]**

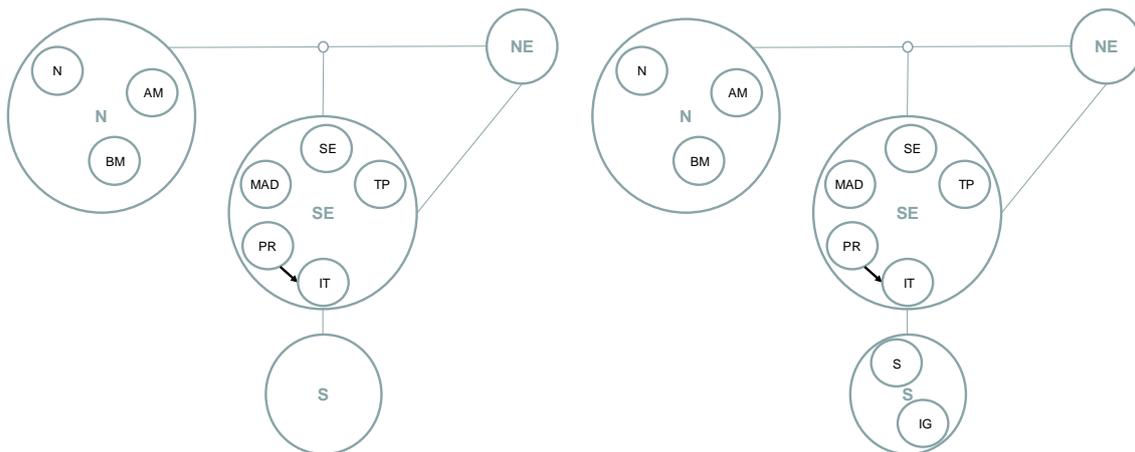


- **Topologia D3 [4x9]**



- **Topologia E [4x10]**

- **Topologia F [4x11]**



- **Topologia G [4x12]**

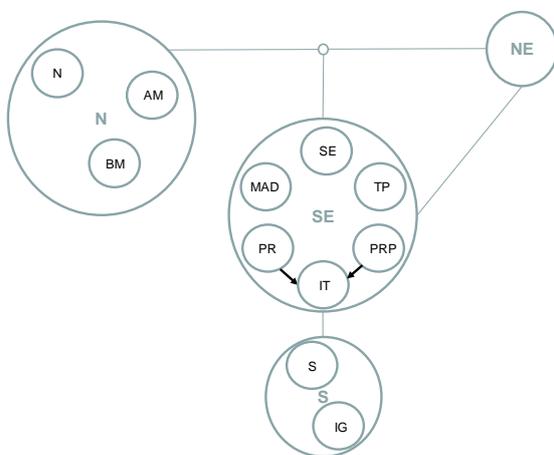


Figura 4.13 - Propostas para divisão do SIN (A a G)

As topologias apresentadas neste Relatório foram obtidas a partir da configuração dos casos utilizados no planejamento da operação de médio prazo e no cálculo do PLD, denominado BASE (4x4). As diferentes topologias são apresentadas na Figura 4.14 e o conjunto de usinas que compõem cada REE é mostrado da Figura 4.15 à Figura 4.24. Vale lembrar que para o Plano Decenal de Expansão (PDE), o conjunto de usinas a ser considerado é maior que o apresentado nas figuras abaixo, uma vez que seu horizonte de estudo é mais extenso (15 anos).

Em todas as topologias onde Itaipu é representada como um REE é considerado o acoplamento hidráulico entre este REE e o REE de montante (Paraná e/ou Paranapanema). Vale destacar que o acoplamento entre os REEs é considerado perfeito, isto é, todas as usinas do REE de montante estão na bacia acoplada ao REE de jusante. Foi considerado apenas acoplamento hidráulico com REE a jusante puramente a fio d'água.

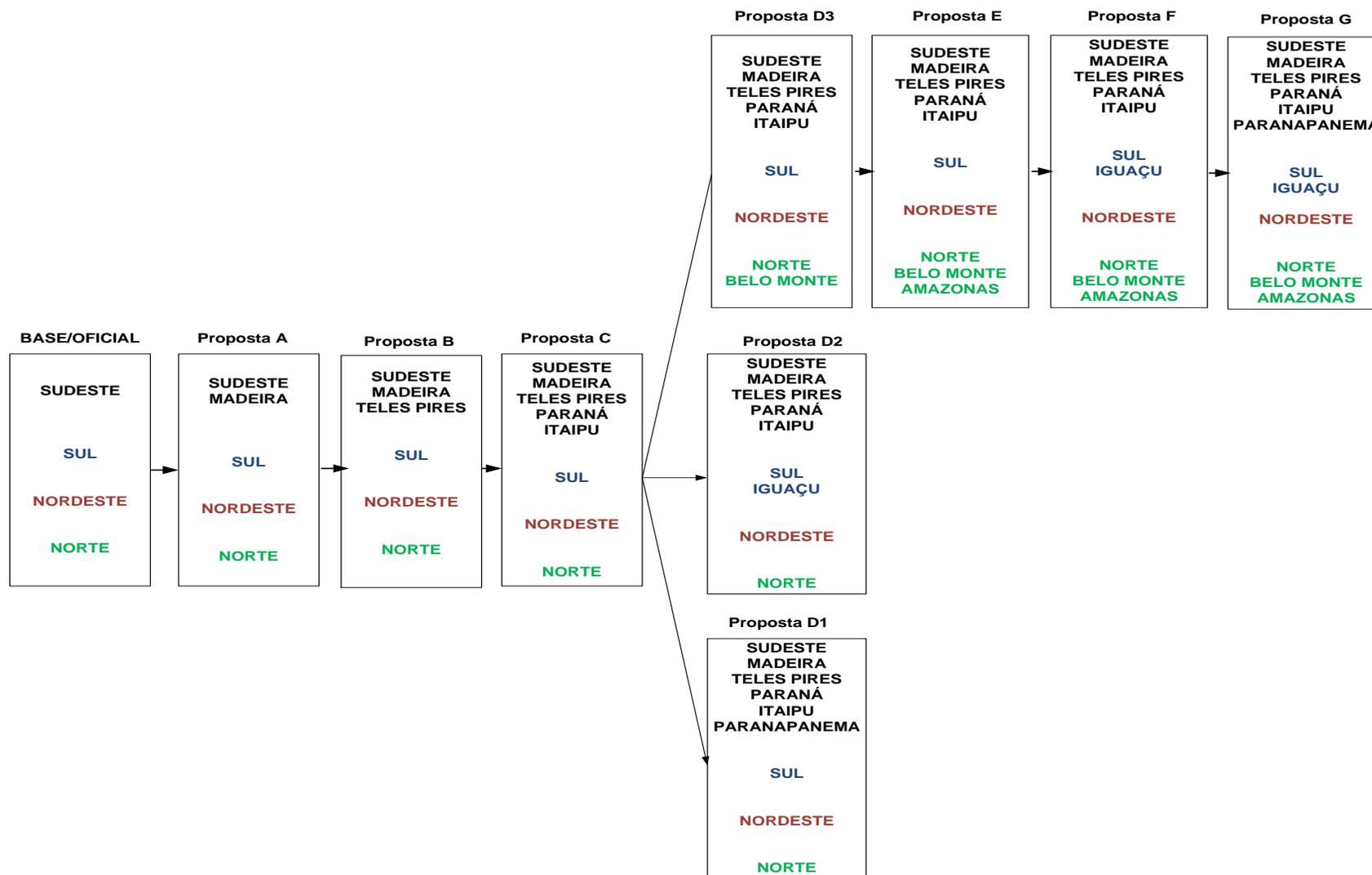


Figura 4.14 – Evolução das Propostas para divisão do SIN

Diagrama Esquemático das Usinas Hidroelétricas do SIN

Usinas Hidroelétricas Despachadas pelo ONS na Otimização da Operação Eletroenergética do Sistema Interligado Nacional

Horizonte: 2015 - 2019

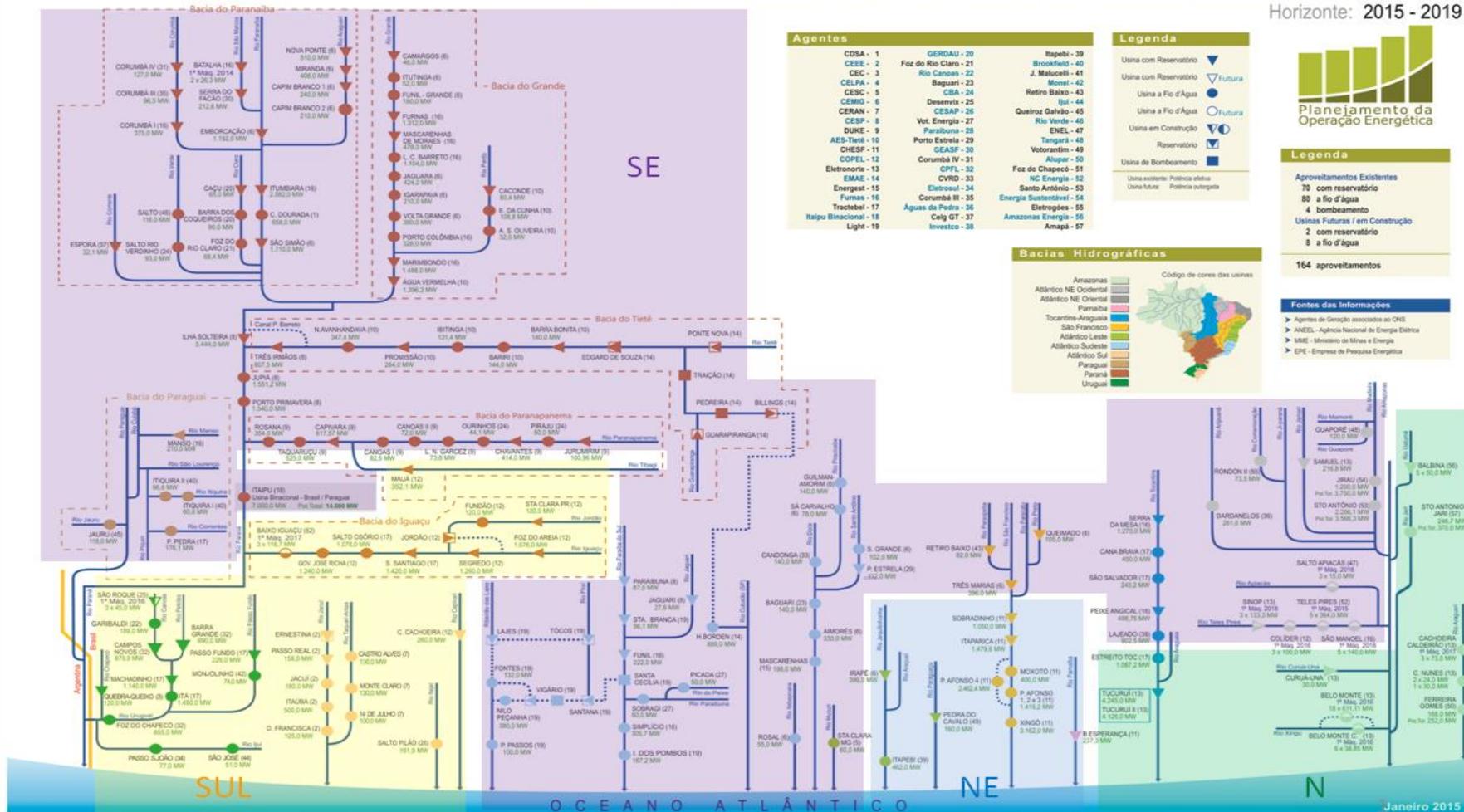


Figura 4.15 – Usinas hidroelétricas – BASE (4x4)

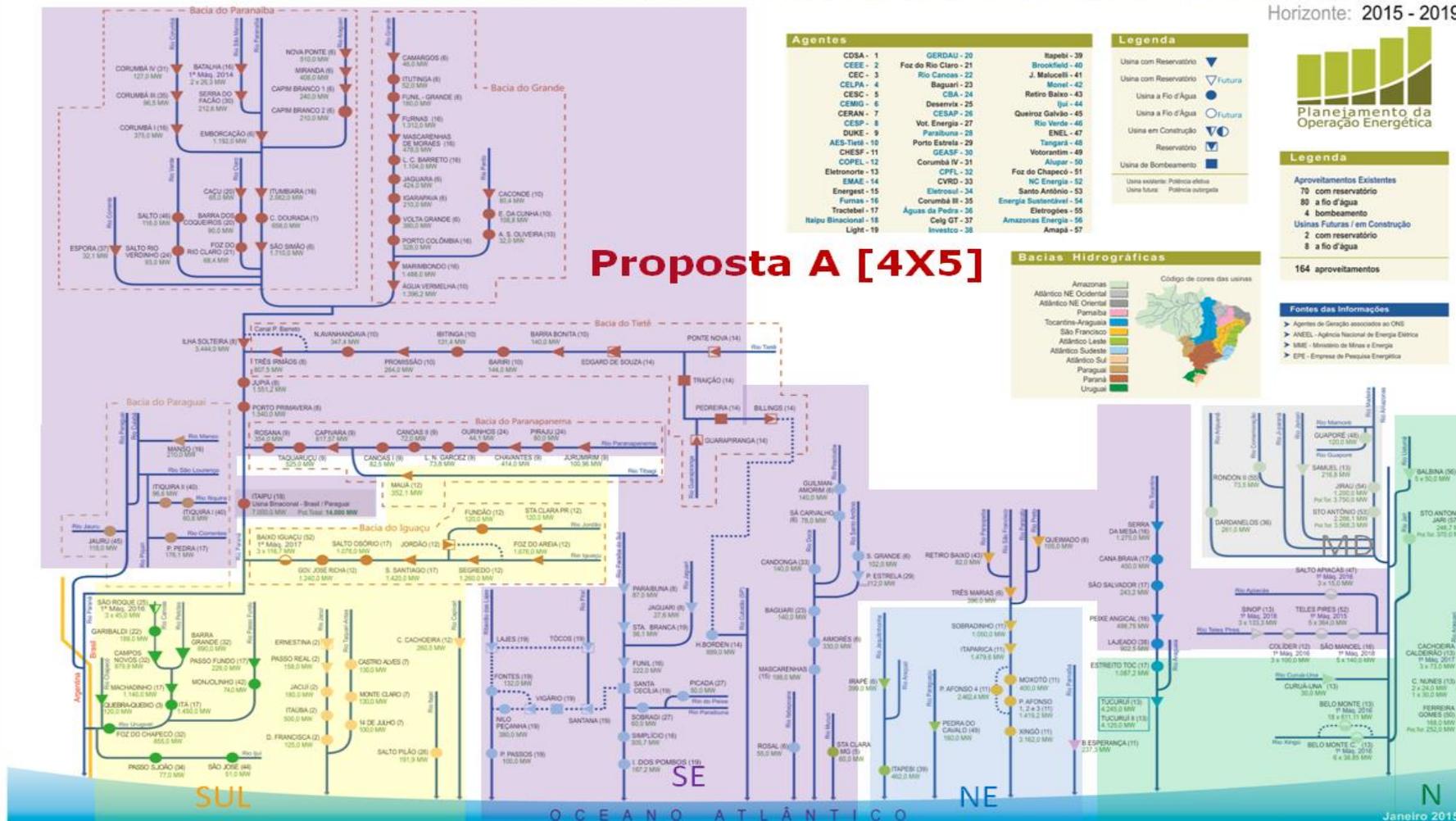


Figura 4.16 – Usinas hidroelétricas – Proposta A (4x5)

Diagrama Esquemático das Usinas Hidroelétricas do SIN

Usinas Hidroelétricas Despachadas pelo ONS na Otimização da Operação Eletroenergética do Sistema Interligado Nacional

Horizonte: 2015 - 2019

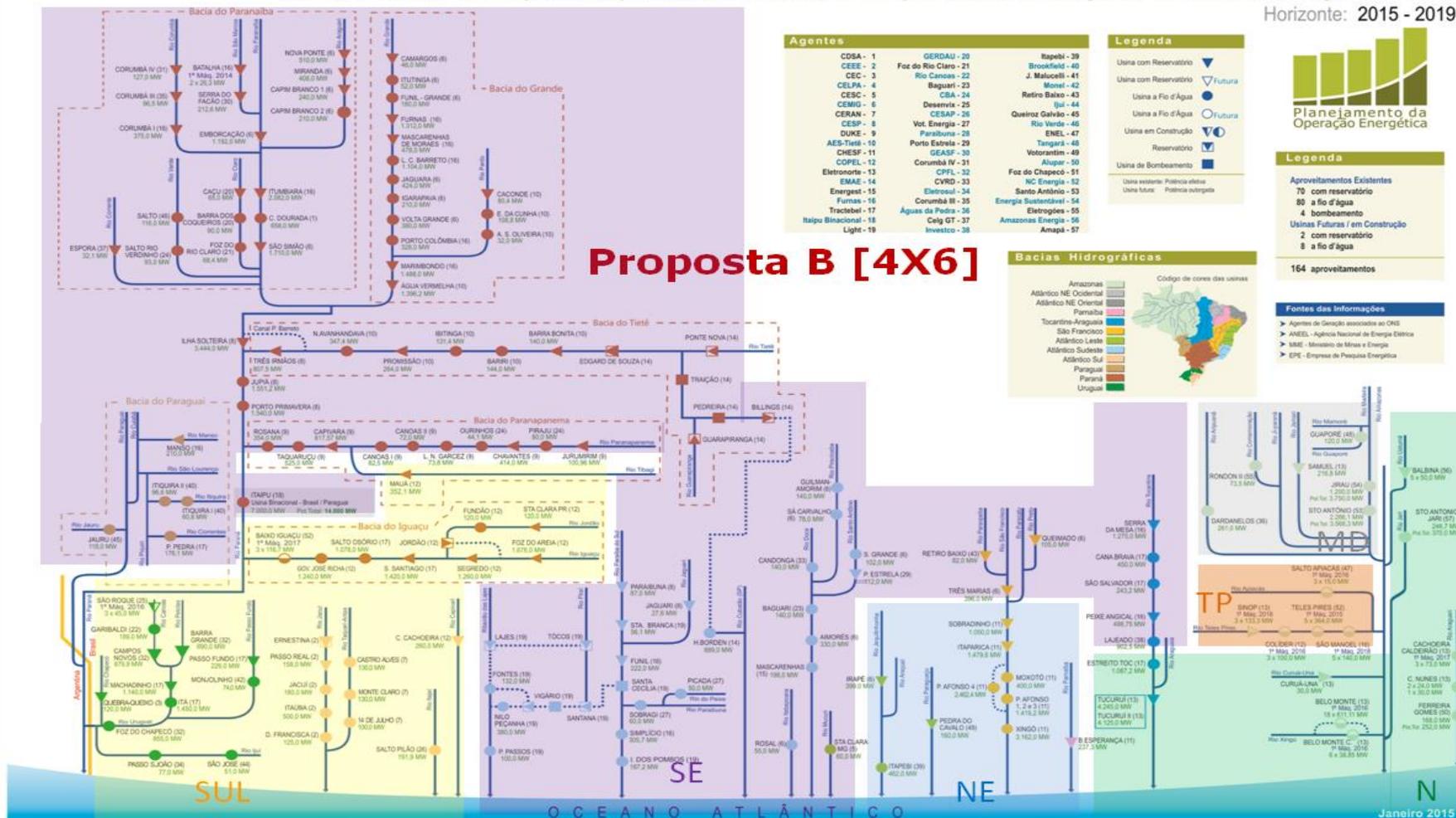


Figura 4.17 – Usinas hidroelétricas – Proposta B (4x6)

Diagrama Esquemático das Usinas Hidroelétricas do SIN

Usinas Hidroelétricas Despachadas pelo ONS na Otimização da Operação Eletroenergética do Sistema Interligado Nacional

Horizonte: 2015 - 2019

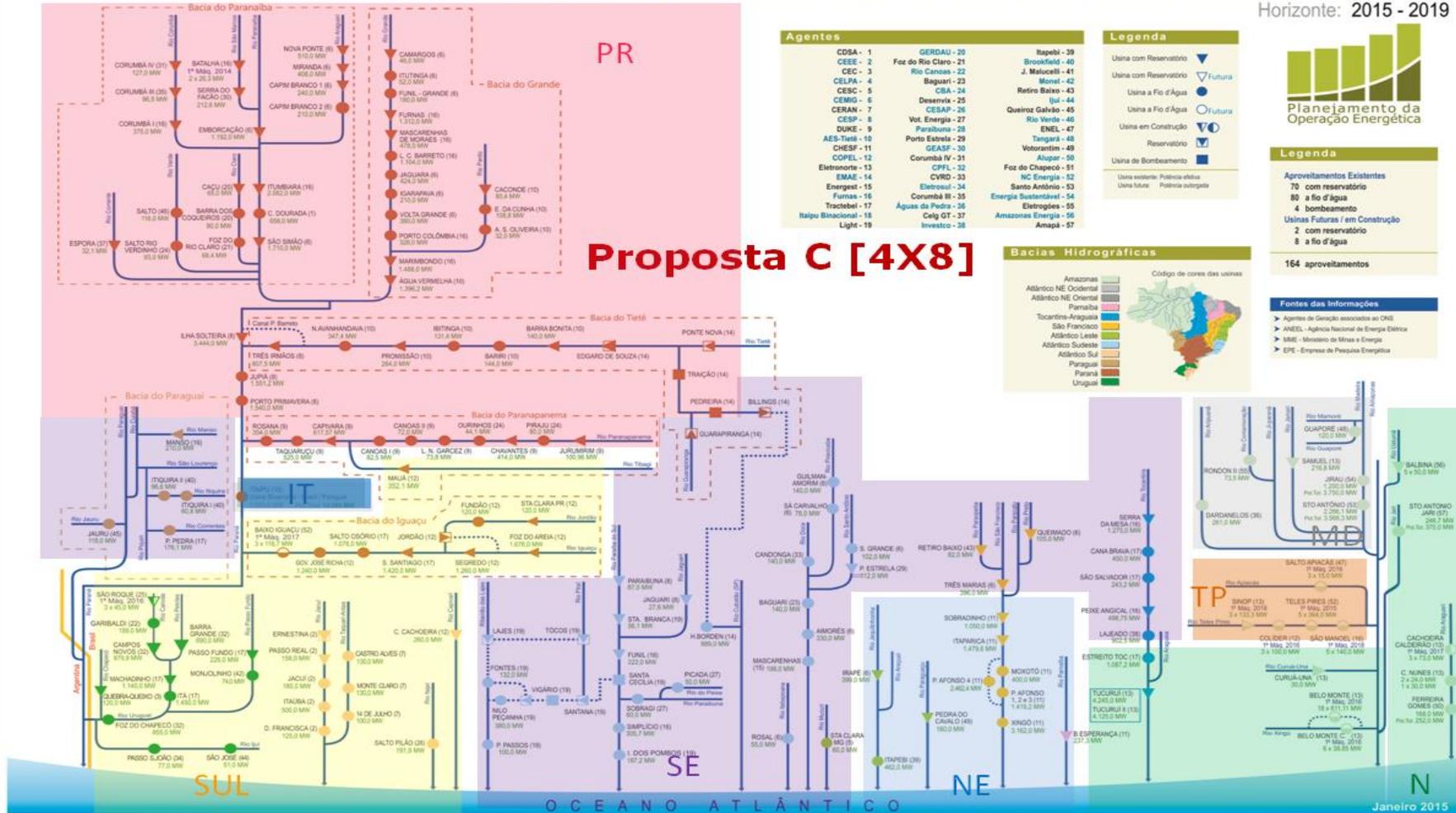


Figura 4.18 – Usinas hidroelétricas – Proposta C (4x8)

Diagrama Esquemático das Usinas Hidroelétricas do SIN

Usinas Hidroelétricas Despachadas pelo ONS na Otimização da Operação Eletroenergética do Sistema Interligado Nacional

Horizonte: 2015 - 2019

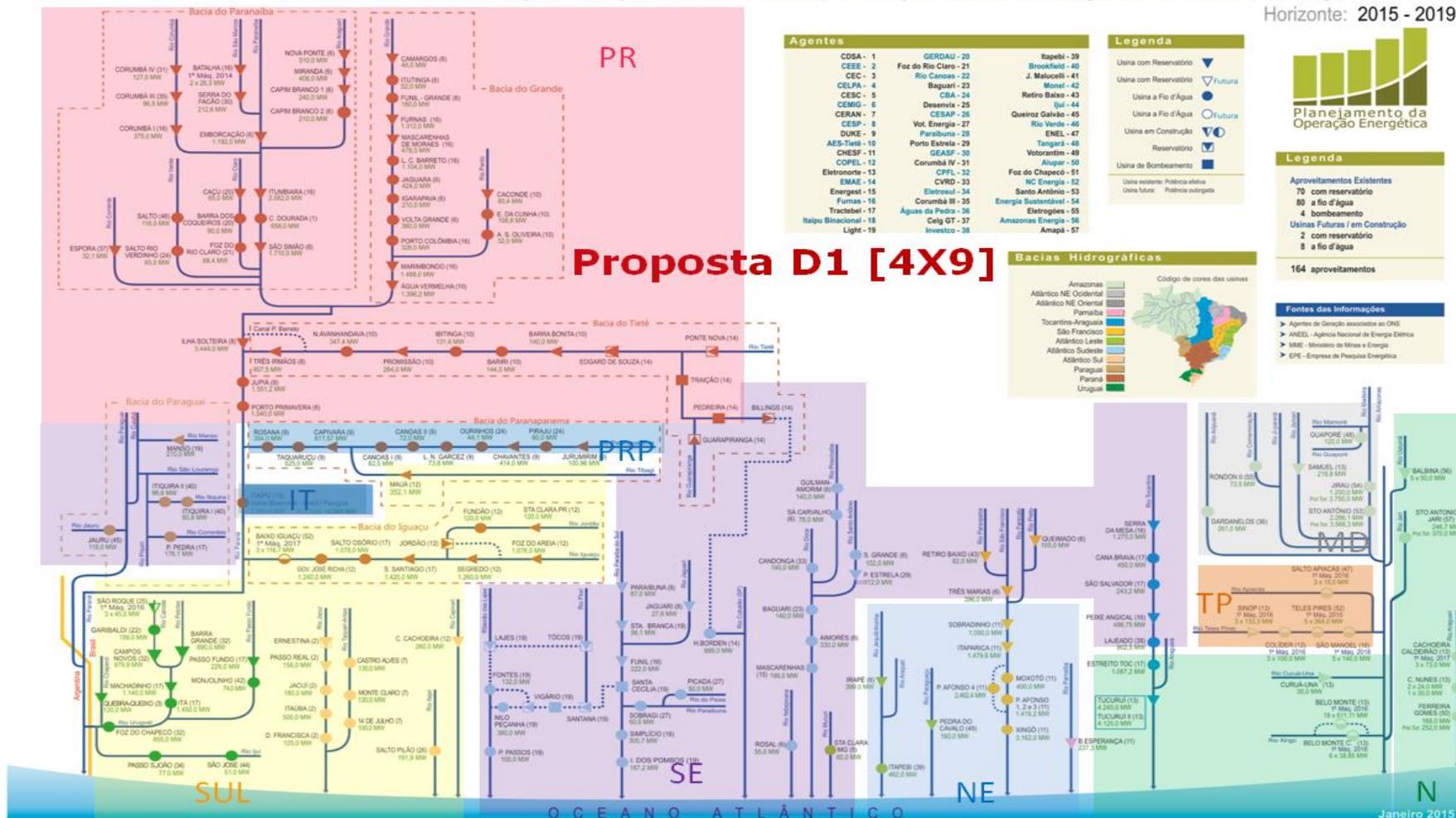


Figura 4.19 – Usinas hidroelétricas – Proposta D1 (4x9)

Diagrama Esquemático das Usinas Hidroelétricas do SIN

Usinas Hidroelétricas Despachadas pelo ONS na Otimização da Operação Eletroenergética do Sistema Interligado Nacional

Horizonte: 2015 - 2019

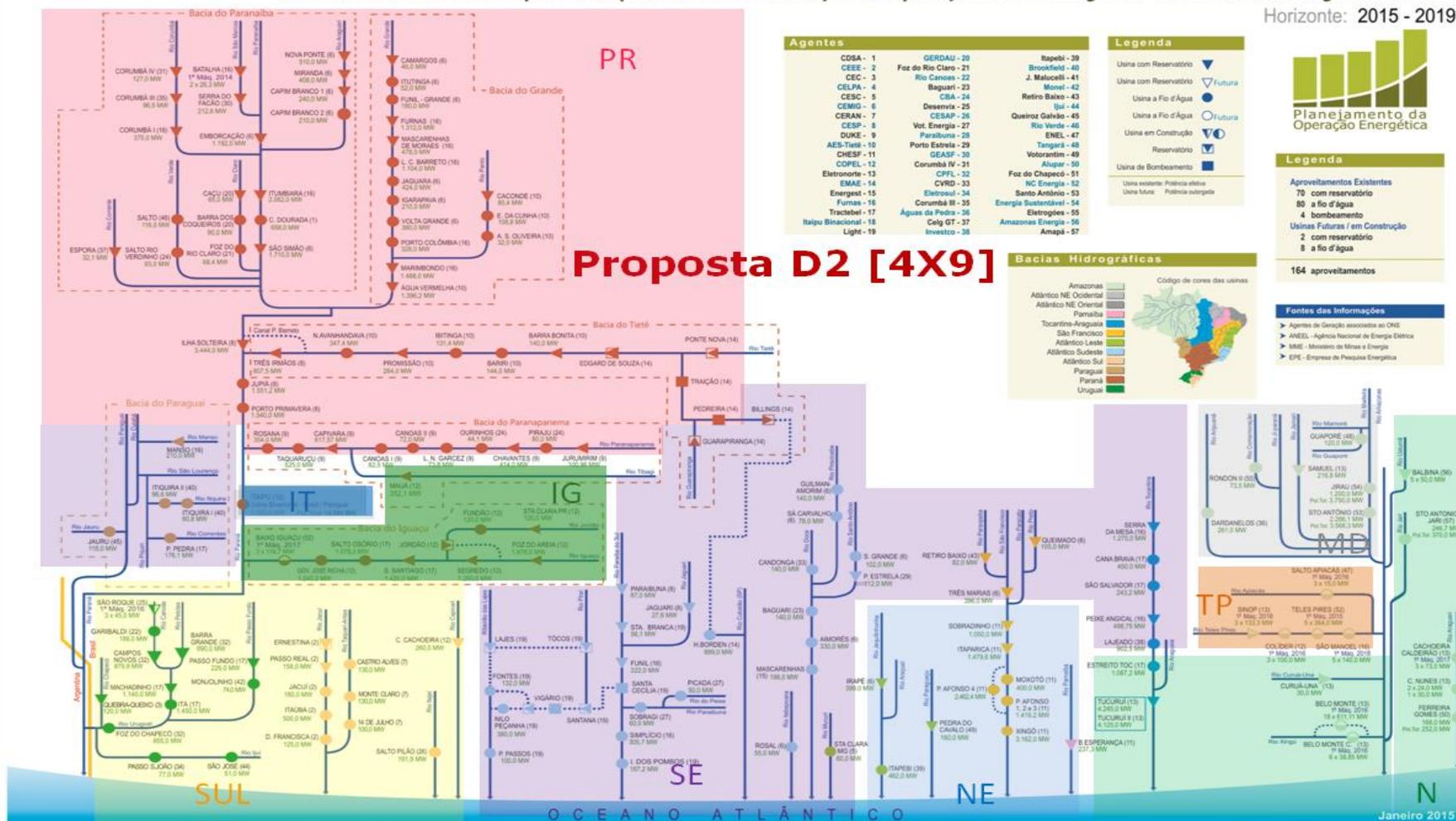


Figura 4.20 - Usinas hidroelétricas – Proposta D2 (4x9)

Diagrama Esquemático das Usinas Hidroelétricas do SIN

Usinas Hidroelétricas Despachadas pelo ONS na Otimização da Operação Eletroenergética do Sistema Interligado Nacional

Horizonte: 2015 - 2019

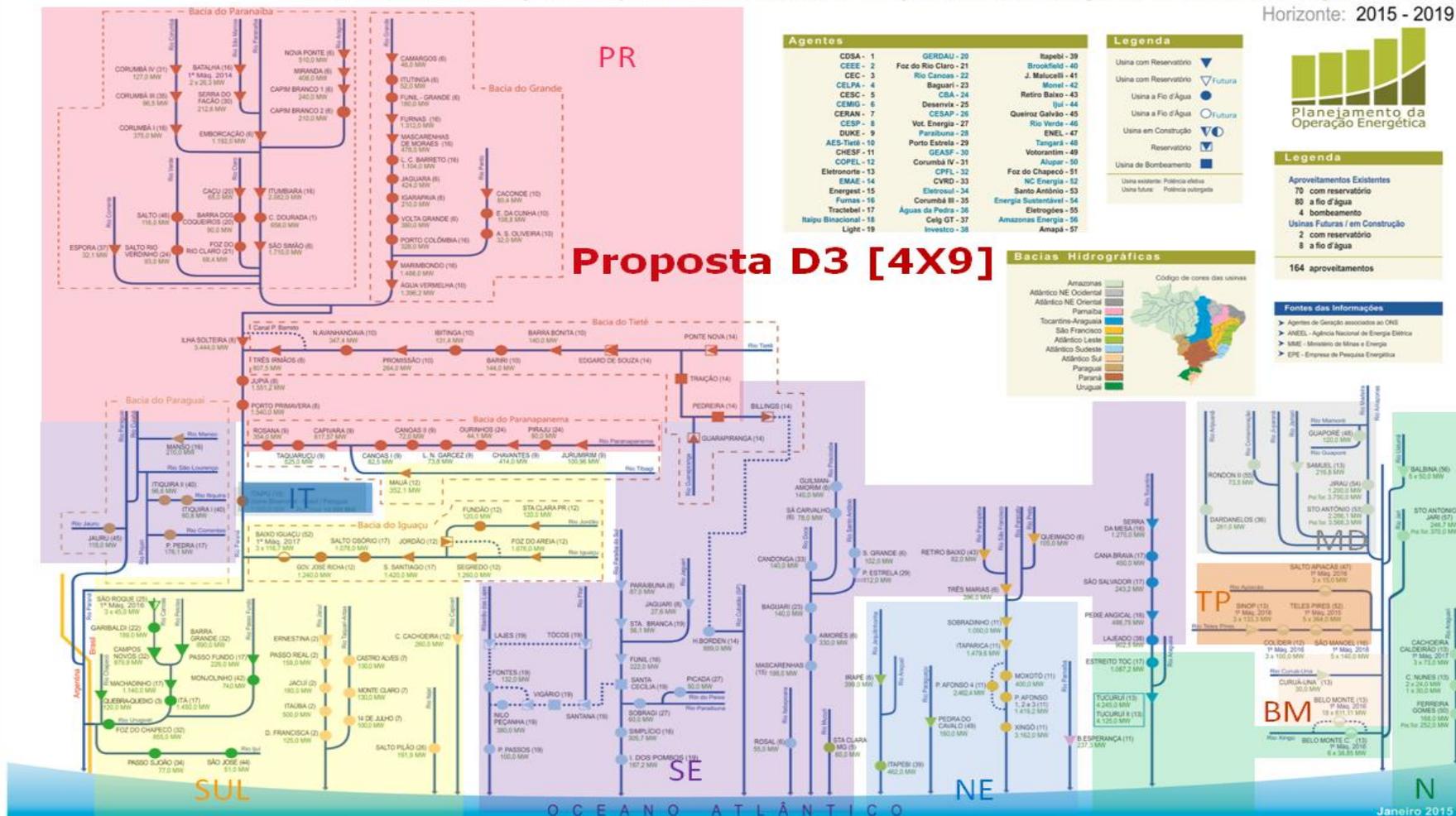


Figura 4.21 – Usinas hidroelétricas – Proposta D3 (4x9)

Diagrama Esquemático das Usinas Hidroelétricas do SIN

Usinas Hidroelétricas Despachadas pelo ONS na Otimização da Operação Eletroenergética do Sistema Interligado Nacional

Horizonte: 2015 - 2019

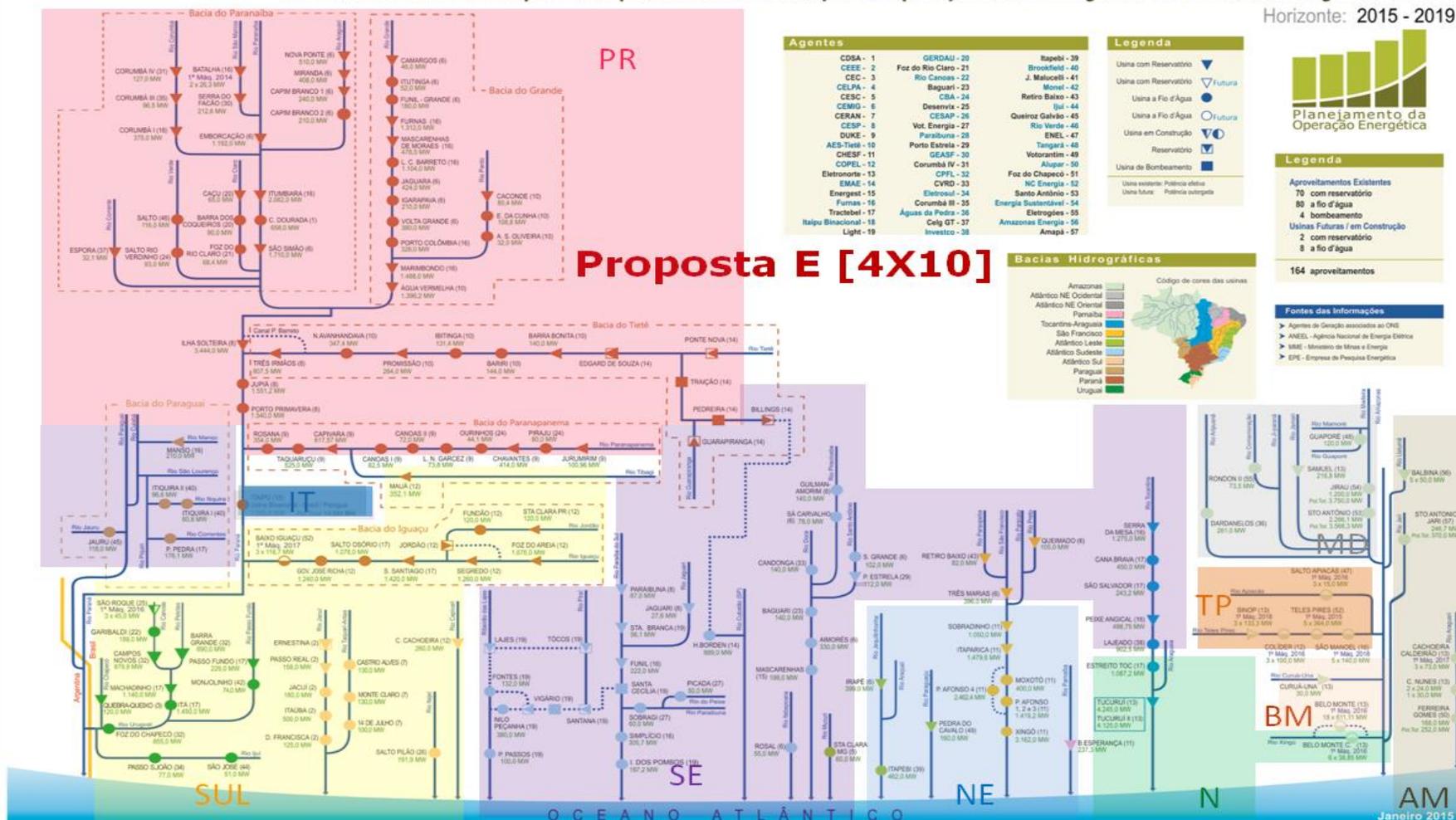


Figura 4.22 – Usinas hidroelétricas – Proposta E (4x10)

Diagrama Esquemático das Usinas Hidroelétricas do SIN

Usinas Hidroelétricas Despachadas pelo ONS na Otimização da Operação Eletroenergética do Sistema Interligado Nacional

Horizonte: 2015 - 2019

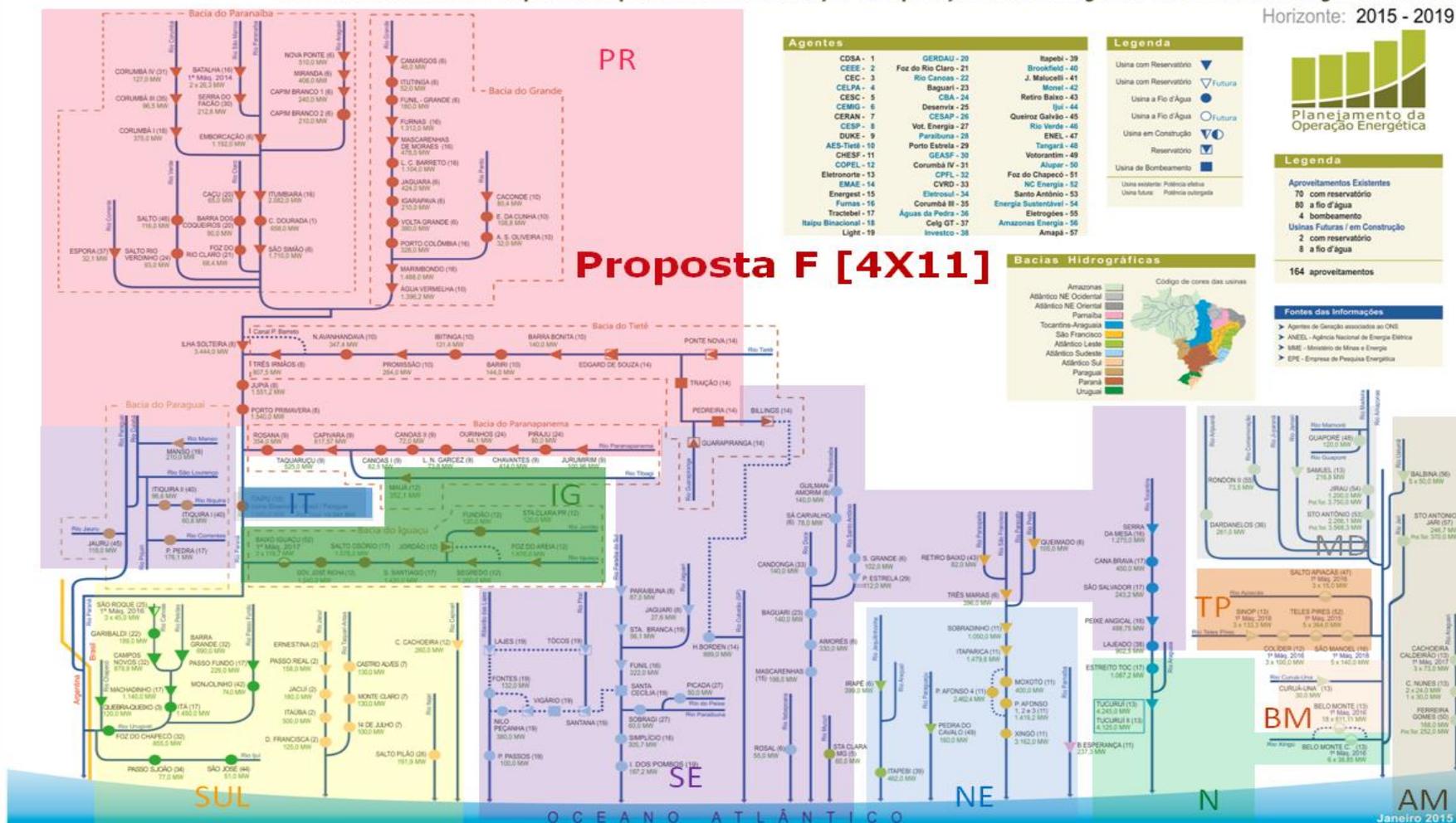


Figura 4.23 – Usinas hidroelétricas – Proposta F (4x11)

Diagrama Esquemático das Usinas Hidroelétricas do SIN

Usinas Hidroelétricas Despachadas pelo ONS na Otimização da Operação Eletroenergética do Sistema Interligado Nacional

Horizonte: 2015 - 2019

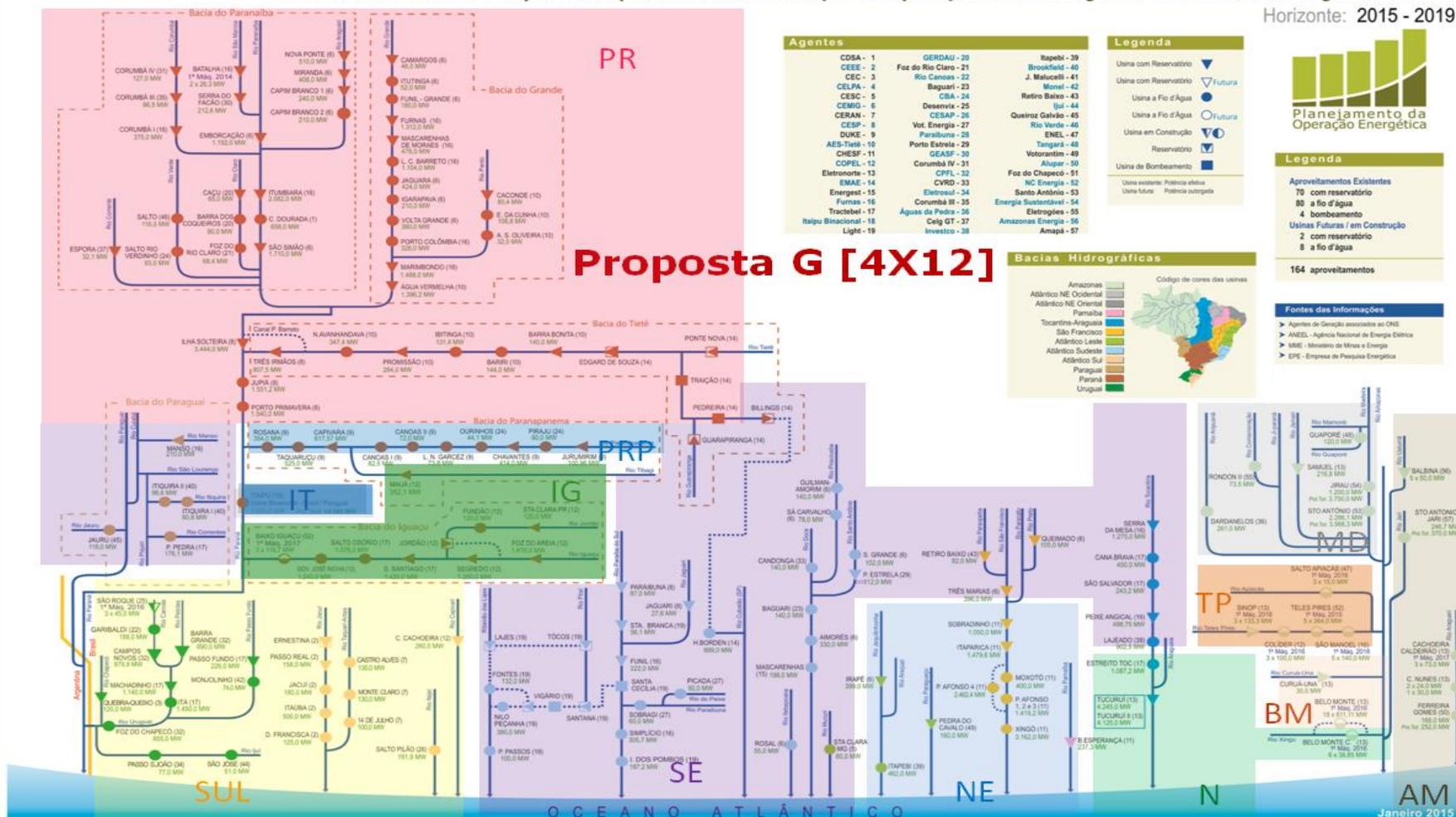


Figura 4.24 – Usinas hidroelétricas – Proposta G (4x12)

