



AVALIAÇÃO DO MODELO PVARM INTERCONFIGURAÇÕES PARA GERAÇÃO DE CENÁRIOS NO PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO DE MÉDIO PRAZO

Yasmin Cyrillo
Reinaldo Castro Souza
Fernando Cyrino

OBJETIVOS



- Apresentar o modelo PVARm Interconfigurações aplicado à simulação de cenários de ENAs na Programação Dinâmica Dual Estocástica (PDDE);
- Apresentar o Estudo de Caso para o subsistema Sudeste, com a validação do modelo;

PVAR_m



Periódico VA Autorregressivo R_m

- Modelo periódico autorregressivo;



PVetorialAR_m

- Modelo periódico autorregressivo;
- Traz a relação entre as afluências dos subsistemas no modelo;





PVAR_{multiplicativo}

- Modelo periódico autorregressivo;
- Traz a relação entre as afluências dos subsistemas no modelo;
- Usa o erro multiplicativo e é estimado de forma a garantir que as afluências geradas serão sempre positivas;

Dissertação: CABRAL, Filipe. Uma Proposta De Um Modelo Periódico Multivariado Autorregressivo Multiplicativo Para Geração De Cenários De Afluência Aplicável Ao Modelo De Planejamento Do Setor Elétrico Brasileiro. 2016

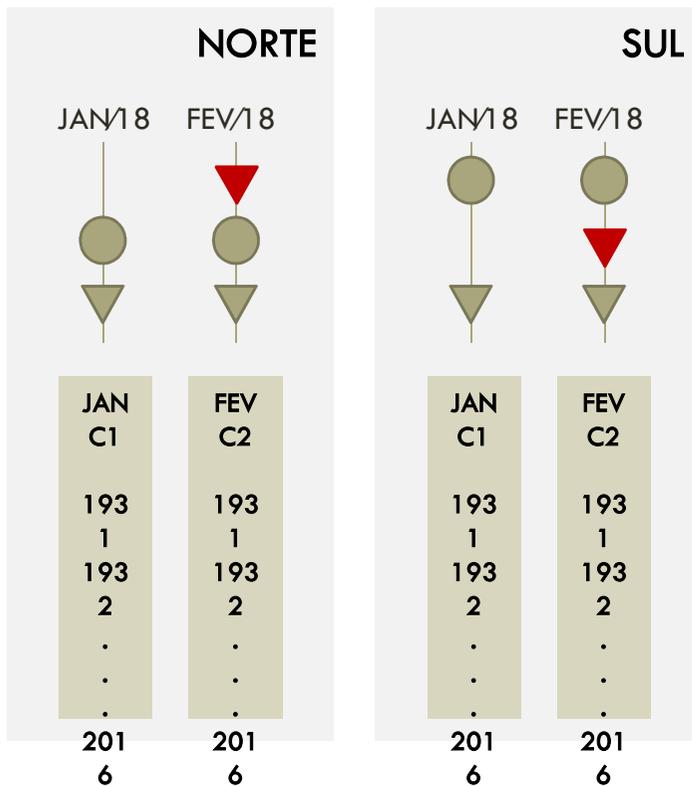
PVAR_m Interconfigurações

- Modelo periódico autorregressivo;
- Traz a relação entre as afluências dos subsistemas no modelo;
- Usa o erro multiplicativo e é estimado de forma a garantir que as afluências geradas serão sempre positivas;
- Utiliza o histórico dinâmico, seguindo o modelo interconfigurações.



O MODELO INTERCONFIGURAÇÕES

A expansão do parque hidrelétrico englobada no modelo:



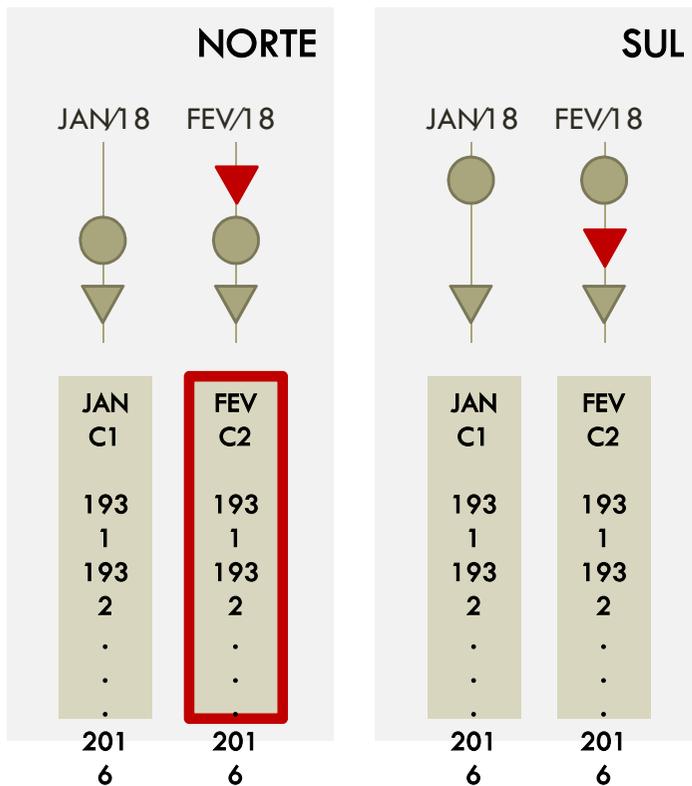
MODELO FEV/18 - CONFIGURAÇÃO C2

PVARM(1):

$$\begin{bmatrix} z_{2,C2}^N \\ z_{2,C2}^S \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} \zeta_{2,C2}^N \\ \zeta_{2,C2}^S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \emptyset_{11}^{C2,1} & \emptyset_{12}^{C2,1} \\ \emptyset_{21}^{C2,1} & \emptyset_{22}^{C2,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{1,C1}^N \\ z_{1,C1}^S \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} \eta_{2,C2}^N \\ \eta_{2,C2}^S \end{bmatrix}$$

O MODELO INTERCONFIGURAÇÕES

A expansão do parque hidrelétrico englobada no modelo:

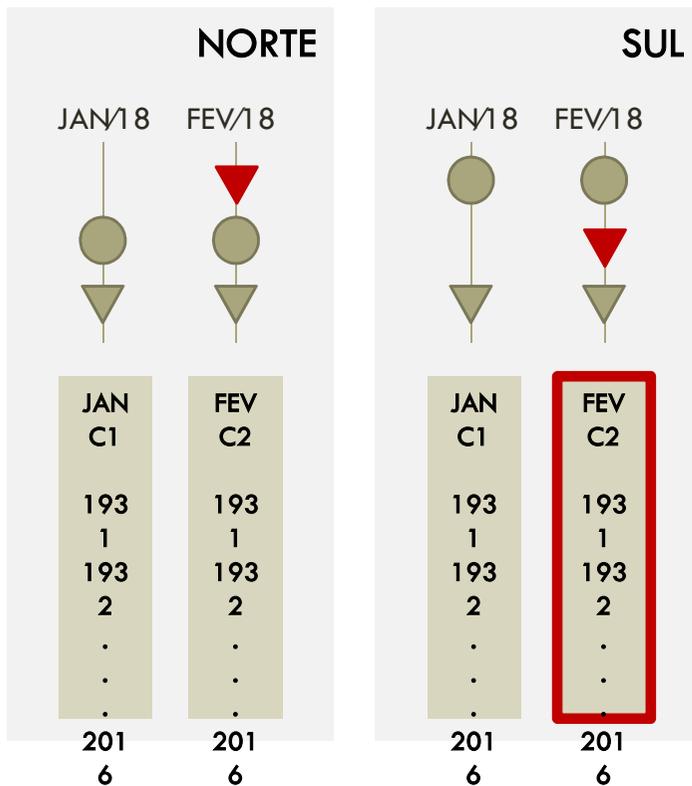


MODELO FEV/18 - CONFIGURAÇÃO C2
PVARM(1):

$$\begin{bmatrix} z_{2,C2}^N \\ z_{2,C2}^S \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} \zeta_{2,C2}^N \\ \zeta_{2,C2}^S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \emptyset_{11}^{C2,1} & \emptyset_{12}^{C2,1} \\ \emptyset_{21}^{C2,1} & \emptyset_{22}^{C2,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{1,C1}^N \\ z_{1,C1}^S \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} \eta_{2,C2}^N \\ \eta_{2,C2}^S \end{bmatrix}$$

O MODELO INTERCONFIGURAÇÕES

A expansão do parque hidrelétrico englobada no modelo:

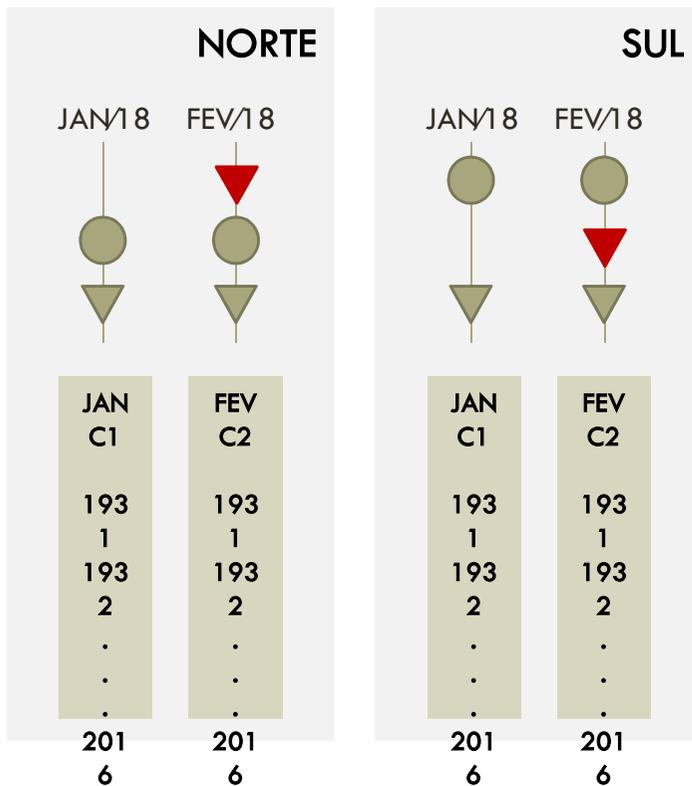


MODELO FEV/18 - CONFIGURAÇÃO C2
PVARM(1):

$$\begin{bmatrix} z_{2,C2}^N \\ z_{2,C2}^S \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} \zeta_{2,C2}^N \\ \zeta_{2,C2}^S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \emptyset_{11}^{C2,1} & \emptyset_{12}^{C2,1} \\ \emptyset_{21}^{C2,1} & \emptyset_{22}^{C2,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{1,C1}^N \\ z_{1,C1}^S \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} \eta_{2,C2}^N \\ \eta_{2,C2}^S \end{bmatrix}$$

O MODELO INTERCONFIGURAÇÕES

A expansão do parque hidrelétrico englobada no modelo:



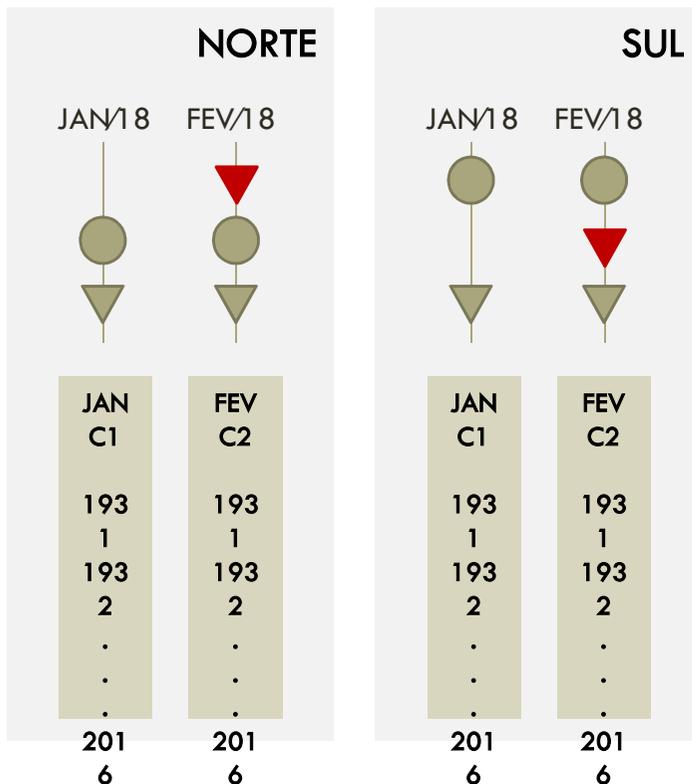
MODELO FEV/18 - CONFIGURAÇÃO C2
PVARM(1):

$$\begin{bmatrix} z_{2,C2}^N \\ z_{2,C2}^S \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} \zeta_{2,C2}^N \\ \zeta_{2,C2}^S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \emptyset_{11}^{C2,1} & \emptyset_{12}^{C2,1} \\ \emptyset_{21}^{C2,1} & \emptyset_{22}^{C2,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{1,C1}^N \\ z_{1,C1}^S \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} \eta_{2,C2}^N \\ \eta_{2,C2}^S \end{bmatrix}$$

NÍVEL

O MODELO INTERCONFIGURAÇÕES

A expansão do parque hidrelétrico englobada no modelo:



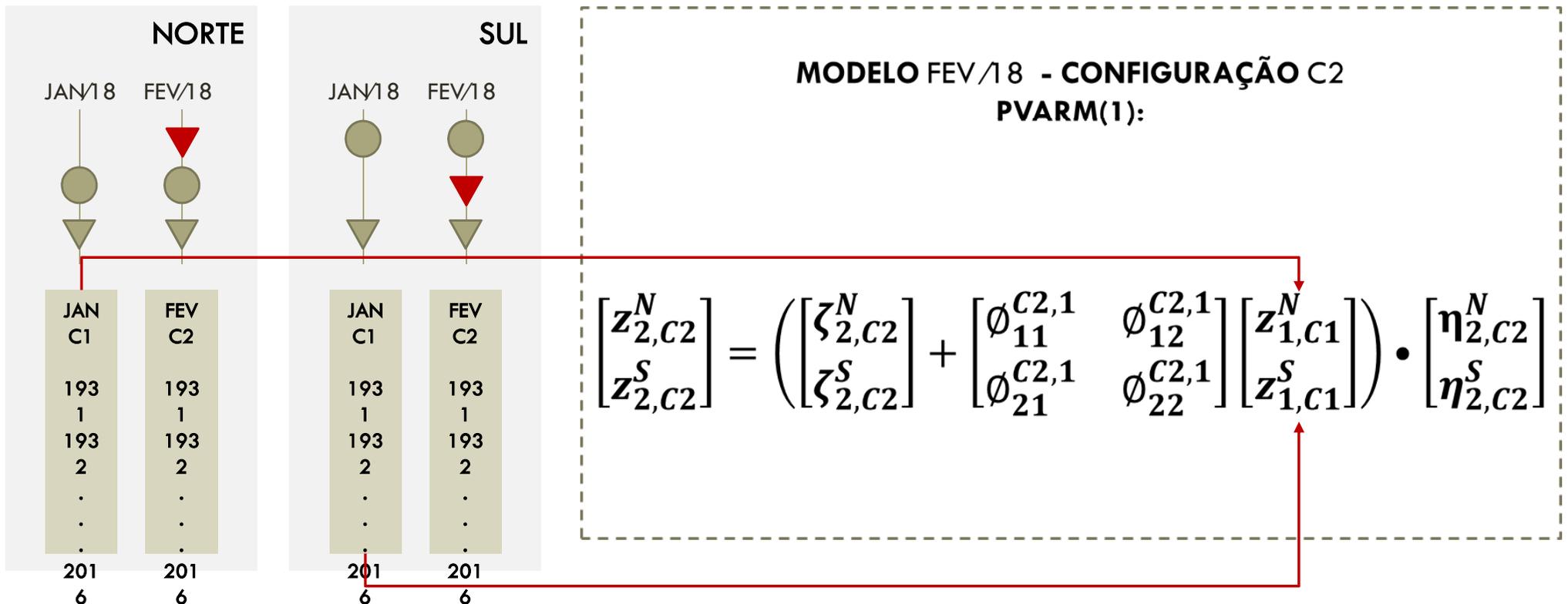
MODELO FEV/18 - CONFIGURAÇÃO C2
PVARM(1):

$$\begin{bmatrix} z_{2,C2}^N \\ z_{2,C2}^S \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} \zeta_{2,C2}^N \\ \zeta_{2,C2}^S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{11}^{C2,1} & \phi_{12}^{C2,1} \\ \phi_{21}^{C2,1} & \phi_{22}^{C2,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{1,C1}^N \\ z_{1,C1}^S \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} \eta_{2,C2}^N \\ \eta_{2,C2}^S \end{bmatrix}$$

**MATRIZ DE
COEFICIENTES**

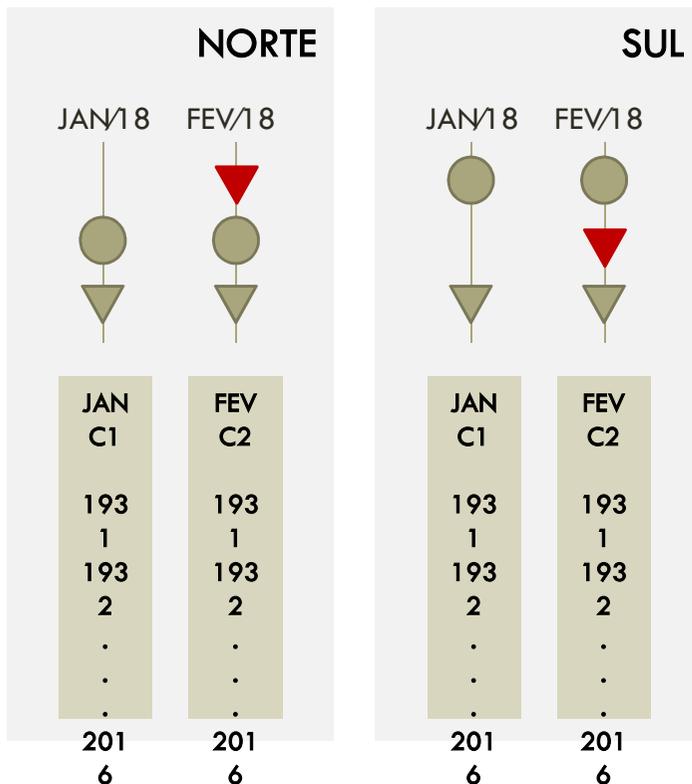
O MODELO INTERCONFIGURAÇÕES

A expansão do parque hidrelétrico englobada no modelo:



O MODELO INTERCONFIGURAÇÕES

A expansão do parque hidrelétrico englobada no modelo:



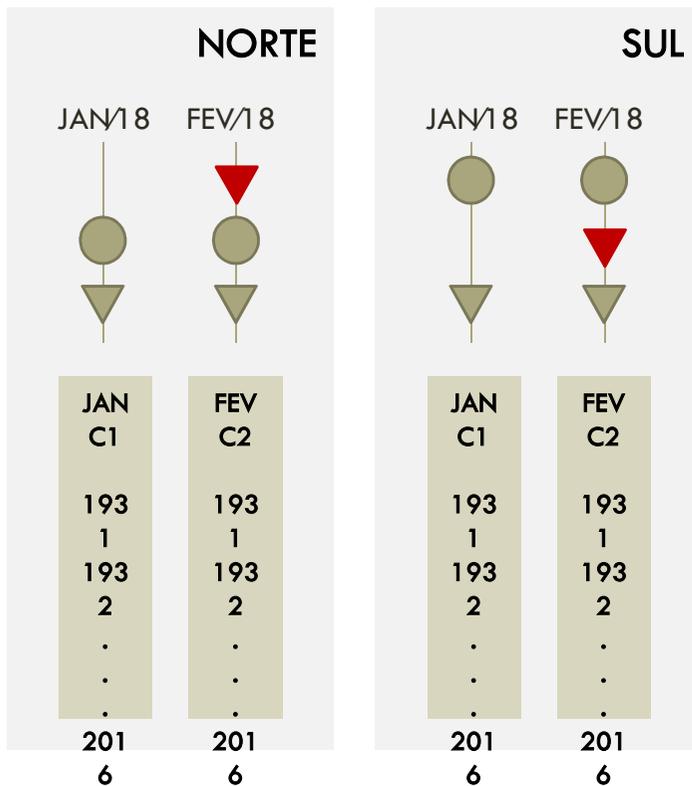
MODELO FEV/18 - CONFIGURAÇÃO C2
PVARM(1):

$$\begin{bmatrix} z_{2,C2}^N \\ z_{2,C2}^S \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} \zeta_{2,C2}^N \\ \zeta_{2,C2}^S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \emptyset_{11}^{C2,1} & \emptyset_{12}^{C2,1} \\ \emptyset_{21}^{C2,1} & \emptyset_{22}^{C2,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_{1,C1}^N \\ z_{1,C1}^S \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} \eta_{2,C2}^N \\ \eta_{2,C2}^S \end{bmatrix}$$

ERRO MULTIPLICATIVO

FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

A expansão do parque hidrelétrico englobada no modelo



Modelo PVARm, de ordem $\mathbf{p} = (p_1, p_2, \dots, p_S)$:

$$\mathbf{z}_{t,c} = \left(\zeta_{s,c} + \sum_{v=1}^{p_s} [\Phi_{s,v,c}] \mathbf{z}_{t-v,c-v} \right) \bullet \eta_{t,c}$$

$\eta_{t,c}$: erro multiplicativo i.i.d, com:

$$E[\eta_t] = \mathbb{1};$$

$$VAR[\eta_t] = \Sigma_t.$$

OBTENÇÃO DO MODELO



OBTENÇÃO DO MODELO



- Cada período de planejamento é associado ao histórico com sua configuração;
- O conjunto de dados para todos os períodos forma o histórico dinâmico.

Montagem do
histórico

OBTENÇÃO DO MODELO

Estimação dos parâmetros

- Como a afluência pode assumir qualquer valor positivo, é condição necessária e suficiente que os coeficientes no modelo sejam positivos.
- Uso do método dos mínimos quadrados com restrição de não negatividade nos coeficientes.

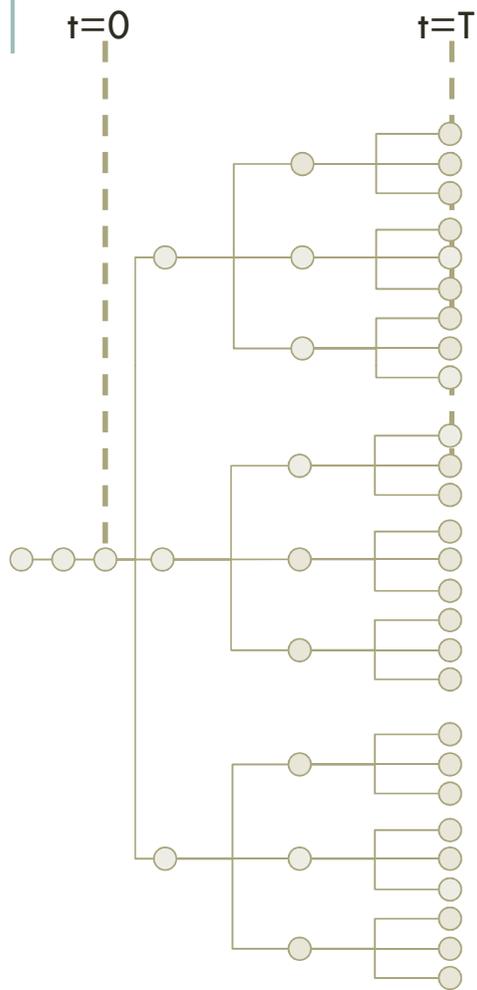
OBTENÇÃO DO MODELO



- Avaliação do modelo PVARm de ordem 1;
- Critério de menor erro de ajuste, limitado a ordem 6.

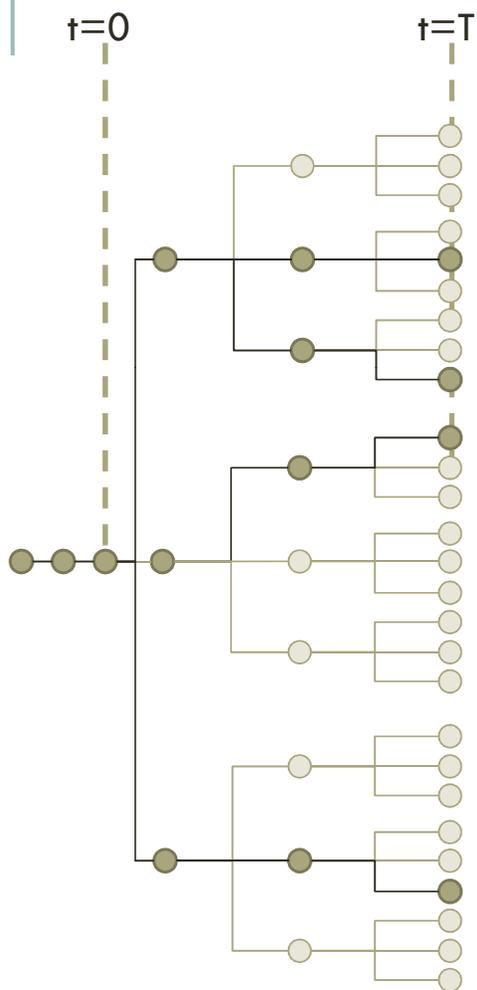
Identificação
do modelo

GERAÇÃO DE CENÁRIOS: REPRESENTAÇÃO DA INCERTEZA NA PDDE



A política de operação é calculada de forma iterativa, através de uma fase *forward* e uma fase *backward*.

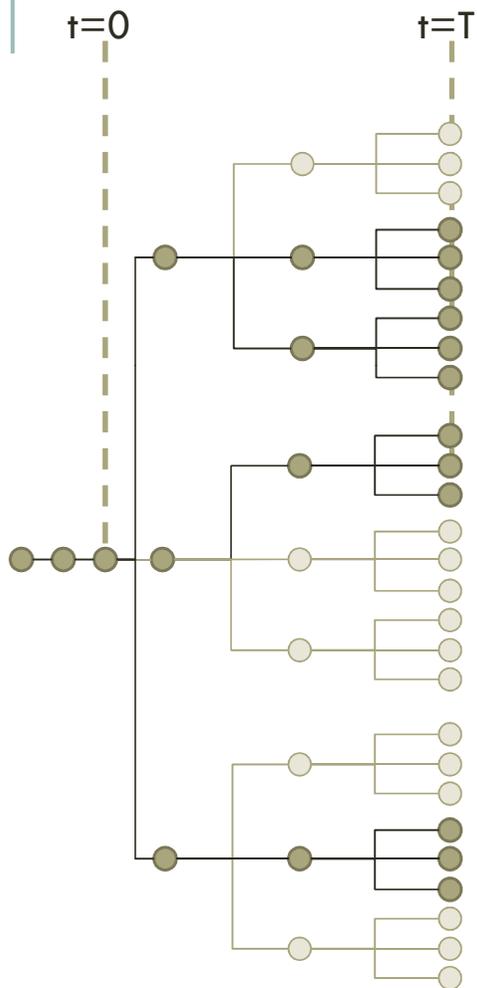
GERAÇÃO DE CENÁRIOS: REPRESENTAÇÃO DA INCERTEZA NA PDDE



A política de operação é calculada de forma iterativa, através de uma fase *forward* e uma fase *backward*.

A fase de simulação *forward* sorteia cenários de uma árvore definida, para avaliar a política de operação definida....

GERAÇÃO DE CENÁRIOS: REPRESENTAÇÃO DA INCERTEZA NA PDDE



A política de operação é calculada de forma iterativa, através de uma fase forward e uma fase backward.

A fase de simulação forward sorteia cenários de uma árvore definida, para avaliar a política de operação definida....

... enquanto a fase de *backward* varre todas as aberturas da árvore de cenários, para o passado definido pelo cenário *forward*.

GERAÇÃO DE CENÁRIOS FORWARD E BACKWARD

- Geração de cenários via bootstrap:



A partir de uma população de resíduos....

GERAÇÃO DE CENÁRIOS FORWARD E BACKWARD

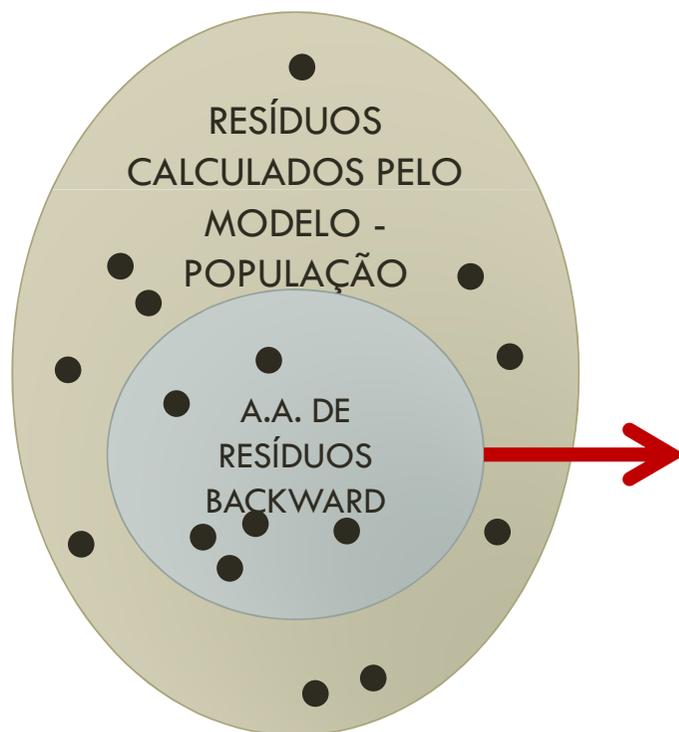
- Geração de cenários via bootstrap:



.... Realiza – se um sorteio aleatório para obtenção da amostra de ruídos utilizados nos cenários *backward*, no processo de otimização.

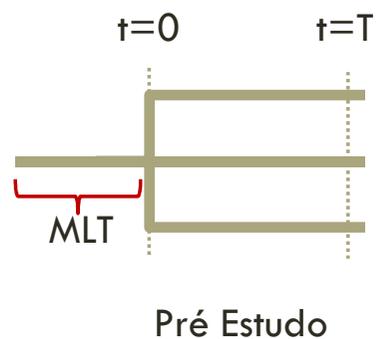
GERAÇÃO DE CENÁRIOS FORWARD E BACKWARD

- Geração de cenários via bootstrap:



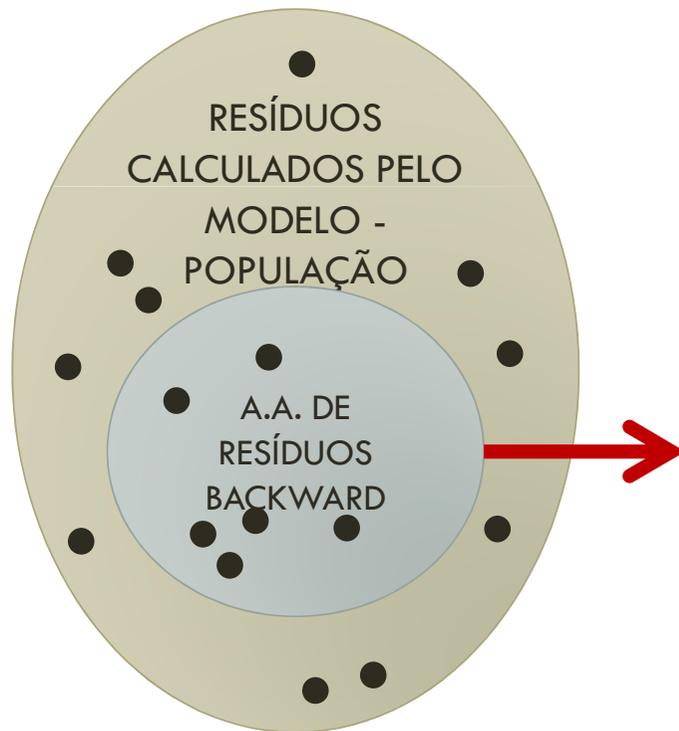
... a partir da amostra de ruídos da *backward*, sorteiam-se os ruídos utilizados na geração de cenários *forward*...

Inicialmente gera-se cenários do pré-estudo...



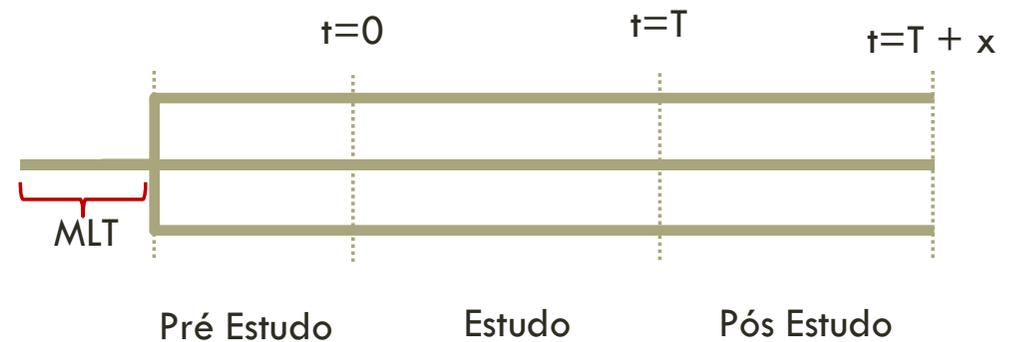
GERAÇÃO DE CENÁRIOS FORWARD E BACKWARD

- Geração de cenários via bootstrap:



... a partir da amostra de ruídos da *backward*, sorteiam-se os ruídos utilizados na geração de cenários *forward*...

Inicialmente gera-se cenários do pré-estudo...



CRITÉRIOS DE ADEQUAÇÃO DO MODELO

- Uso de testes não paramétricos por ausência de premissas acerca da normalidade dos dados;
- Teste de igualdade de distribuições – Kolmogorov - Smirnov;
- Teste de dispersão – Ansari & Bradley;
- Teste de sequências;



ESTUDO DE CASO

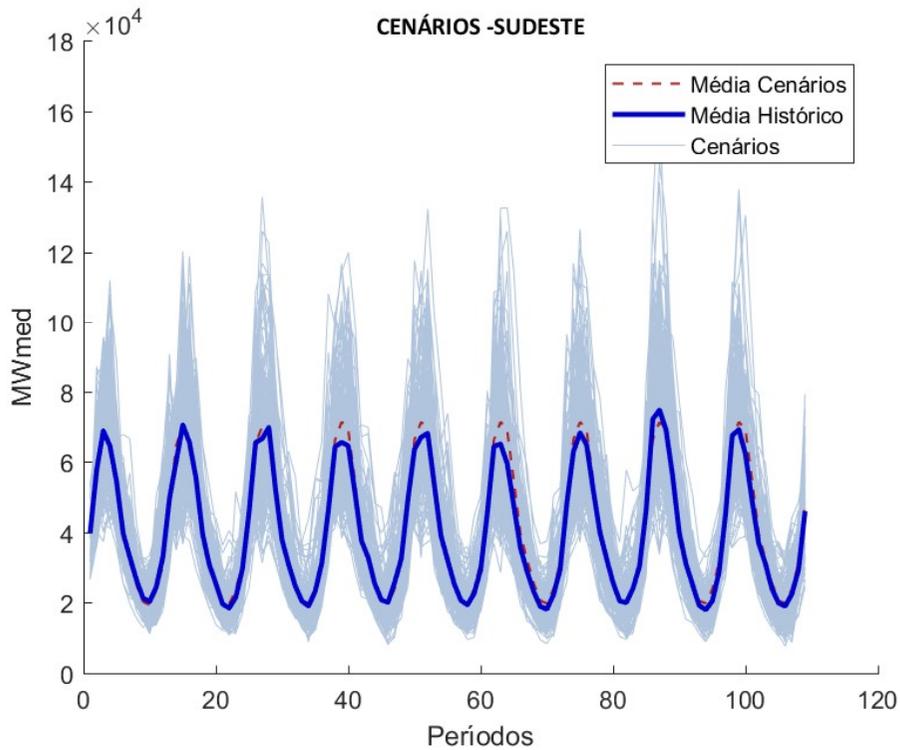
Estatísticas Mensais e Anuais e Testes de Adequação para o subsistema SE

DADOS DE ENTRADA

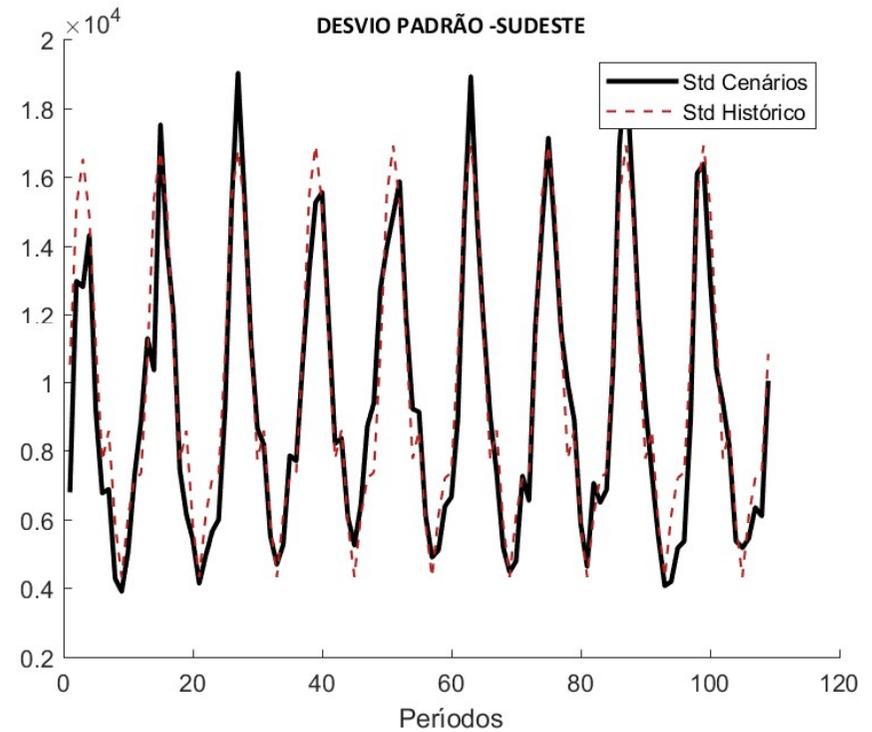


- Histórico de ENAS, para todas as configurações, de 1931 a 2013;
- Subsistemas N, NE, S e SE;
- 20 aberturas;
- 200 cenários forward;

CENÁRIOS FORWARD



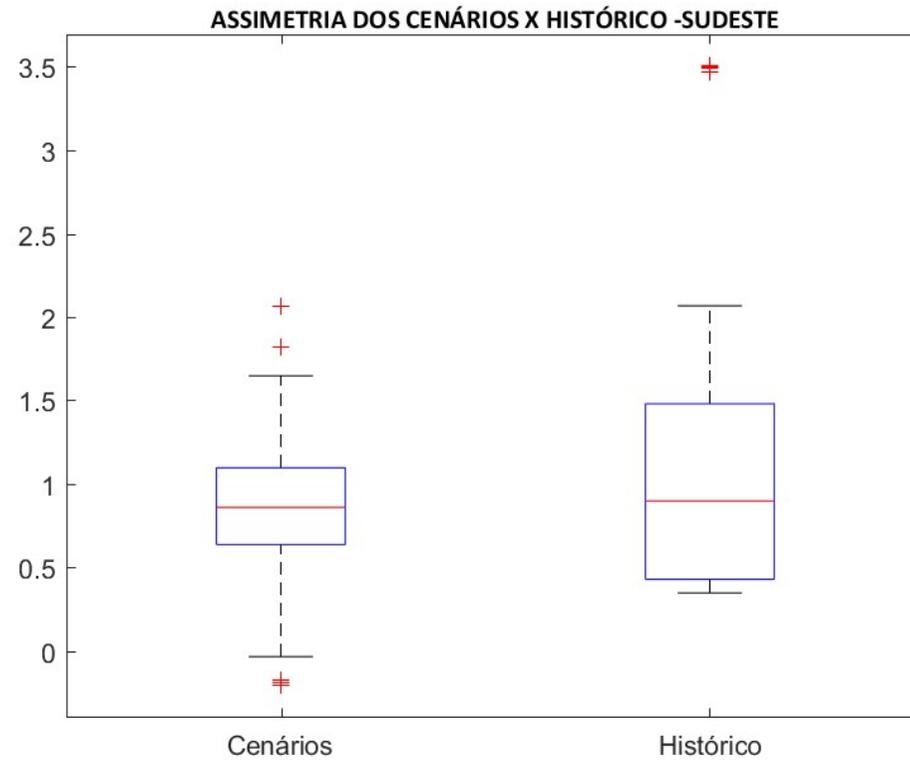
No Sudeste, 76% dos cenários gerados foram aprovados no teste de igualdade de distribuições ...



... enquanto 92% dos cenários gerados foram aprovados no teste de dispersão...



ASSIMETRIA DOS CENÁRIOS

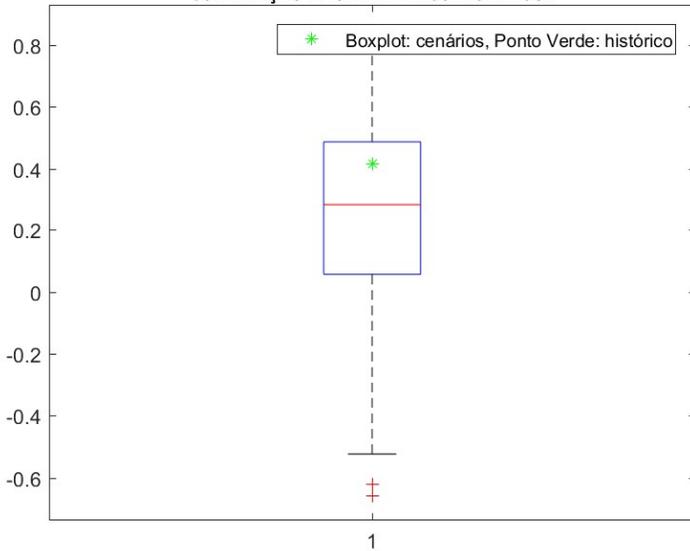


Nota-se, através dos gráficos apresentados, que os cenários gerados possuem assimetria com média próxima à do histórico, mas este apresenta maior dispersão....

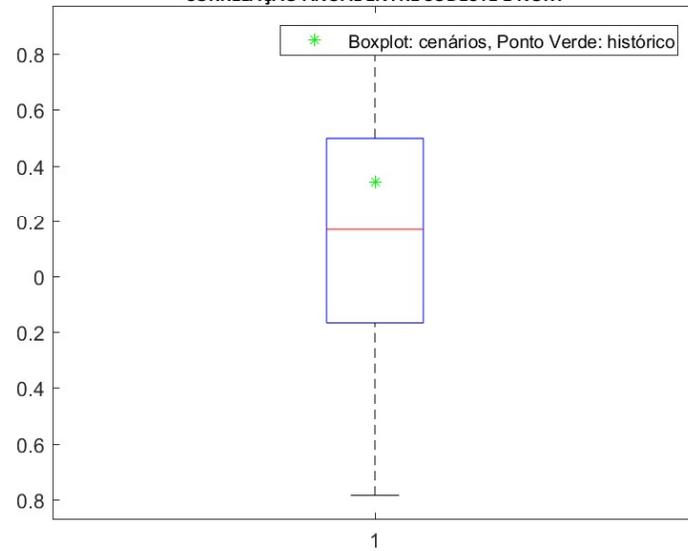
CORRELAÇÃO ANUAL ENTRE SUBSISTEMAS



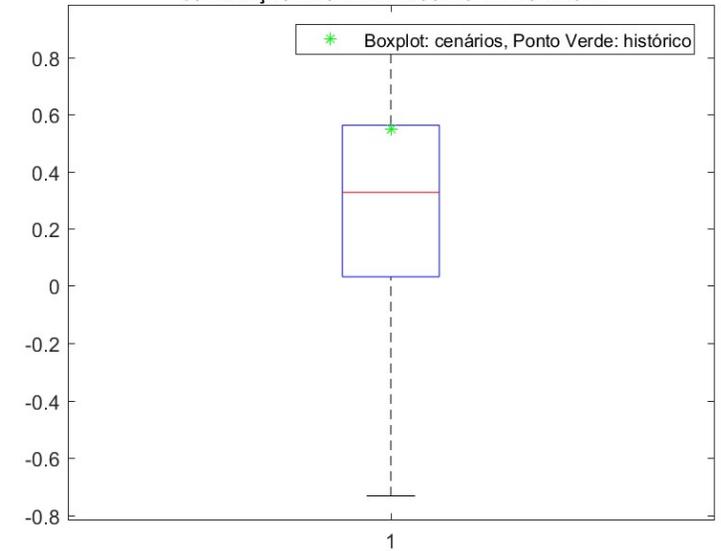
CORRELAÇÃO ANUAL ENTRE SUDESTE E SUL



CORRELAÇÃO ANUAL ENTRE SUDESTE E NORT

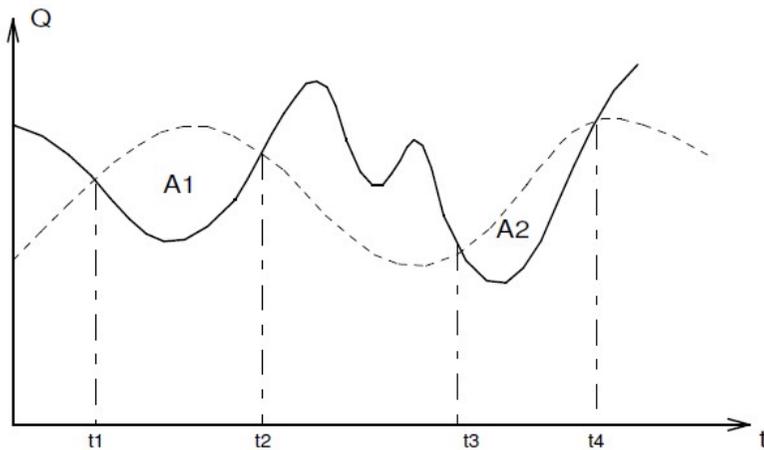


CORRELAÇÃO ANUAL ENTRE SUDESTE E NORDESTE



A correlação entre os subsistemas está entre os quartis centrais em todas as combinações...

TESTES DE SEQUÊNCIAS



FONTE: 2009, Débora Dias Penna

SOMA DA SEQUÊNCIA:

$$S = \sum_{i=t_1}^{t_2} (Z_i - \hat{\mu}_i)$$

INTENSIDADE DA SEQUÊNCIA:

$$I = \frac{\sum_{i=t_1}^{t_2} (Z_i - \hat{\mu}_i)}{t_2 - t_1}$$

SEQUÊNCIA NEGATIVA

PORCENTAGEM DOS CENÁRIOS

SOMA

86%

INTENSIDADE

85%

SEQUÊNCIA POSITIVA

PORCENTAGEM DOS CENÁRIOS APROVADOS

SOMA

92%

INTENSIDADE

91%

TRABALHOS FUTUROS

Além das propostas inseridas na proposição do modelo, há espaço para:

- Inserção no algoritmo de otimização MDDH;
- Geração de cenários hidrológicos correlacionados aos cenários eólicos.



Obrigada pela atenção!

yasmin@ele.puc-rio.br