

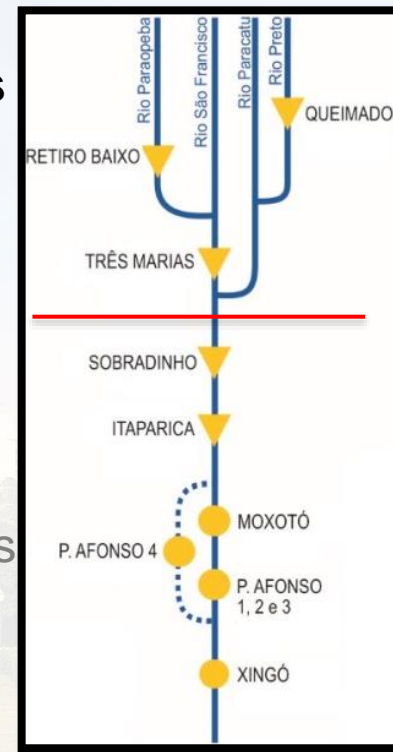


PROPOSTA DE UMA FUNÇÃO PARA ACOPLAMENTO HIDRÁULICO NO NEWAVE

GPL / Pedro Souza Simon

- Este trabalho tem como objetivo introduzir um **aprimoramento no cálculo das parcelas de acoplamento hidráulico do modelo** de planejamento da operação e expansão do sistema elétrico brasileiro, o **NEWAVE**.
- Optou-se pela **utilização de um modelo linear** que relacione as parcelas de acoplamento às energias armazenadas nos reservatórios equivalentes de energia (REEs) de montante e jusante.

- Acontece quando há **trechos de bacias que estão conectados hidráulicamente em diferentes REEs** (e.g., Bacia do São Francisco).
- Neste caso, o NEWAVE utiliza **parcelas de acoplamento** para representar a energia que transita do REE de montante para as usinas com e sem reservatório no REE de jusante.
- Atualmente**, as parcelas de acoplamento são calculadas com os reservatórios na altura equivalente (**65% do volume útil**) e **não se modificam de acordo com o nível de armazenamento** dos REEs



Cálculo das Parcelas

- Energia armazenada máxima do REE de montante

volumes
armazenados

$$EA_{REE_1} = c_1 \sum_{i \in R} \left[V_{util_i} \sum_{j \in J_i^1} \rho_j Heq_j \right]$$

Produtividade
acumulada, para
determinada queda



Própria

$$EA_1 = c_1 \sum_{i \in R} \left[V_{util_i} \sum_{j \in J_i^1} \rho_j Heq_j \right]$$



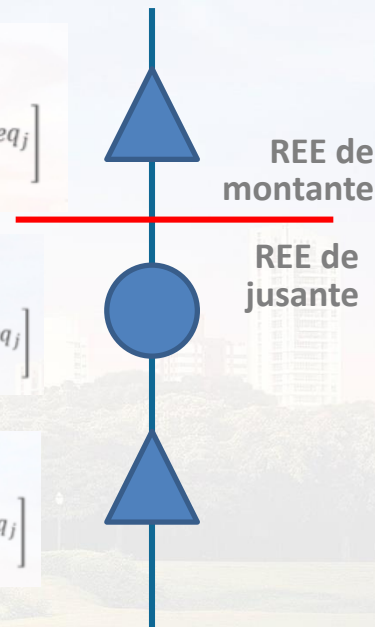
Fio d'água

$$EA_3 = c_1 \sum_{i \in R} \left[V_{util_i} \sum_{j \in J_i^1} \rho_j Heq_j \right]$$



Controlável

$$EA_2 = c_1 \sum_{i \in R} \left[V_{util_i} \sum_{j \in J_i^1} \rho_j Heq_j \right]$$



Cálculo das Parcelas

- Energia armazenada máxima do REE de montante

EA_{REE_1}

$$A + B + C = \frac{EA_1}{EA_{REE_1}} + \frac{EA_2}{EA_{REE_1}} + \frac{EA_3}{EA_{REE_1}} = 1$$



Própria

$$A = \frac{EA_1}{EA_{REE_1}}$$



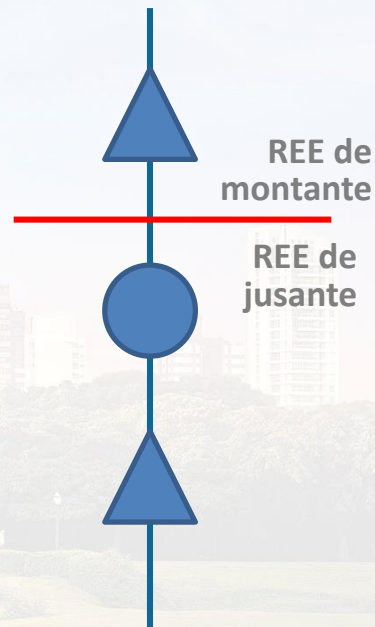
Controlável

$$B = \frac{EA_2}{EA_{REE_1}}$$



Fio d'água

$$C = \frac{EA_3}{EA_{REE_1}}$$



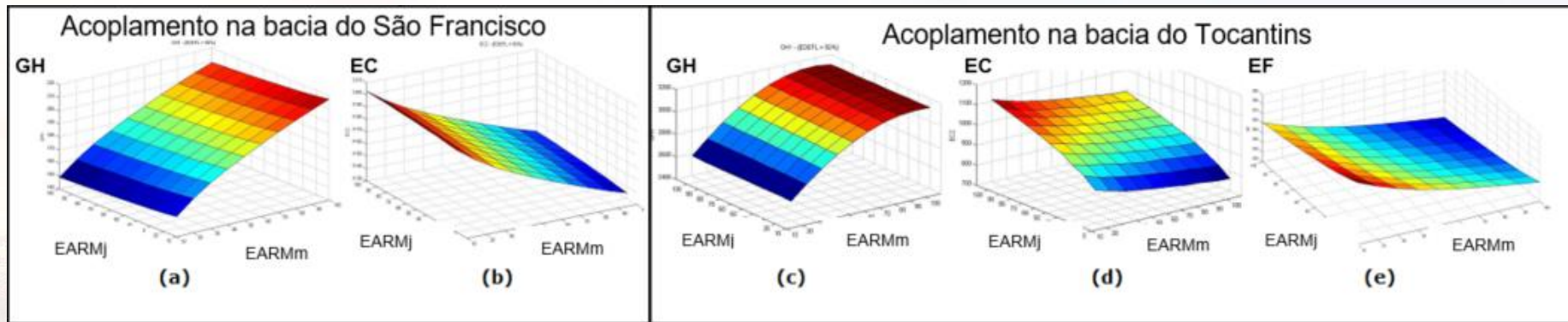
- O cálculo das parcelas de acoplamento hidráulico é feito considerando a **altura equivalente**, que é a altura correspondente à **65% do volume útil da usina**.

PROPOSTA

- Utilização de uma **função** que determine o valor das parcelas de acoplamento dependendo dos **valores de energia armazenada no REE e montante e jusante** variem.
- **Compara-se a metodologia proposta com a atual** (fatores fixos) e também com os valores de armazenamento exatos.

Metodologia Proposta (2/4)

- Busca-se definir uma relação para as parcelas própria (GH), controlável de montante (EC) e fio d'água de jusante (EF), em função da energia defluída (EDEFL) pelo REE de montante
- Para tal, inicialmente estudamos o comportamento dessas funções



Dada a concavidade das funções, optou-se por um modelo linear

Metodologia Proposta (3/4)

- Para achar relação linear de GH, EC e EF em função de EDEFL e armazenamentos de montante e de jusante, deve-se calcular os valores exatos da função atual, a partir da discretização das variáveis independentes do modelo.

$$\begin{array}{c}
 \left. \begin{array}{l}
 A \begin{cases} A_{(1/100)} \\ \vdots \\ A_{(100/100)} \end{cases} \\
 B \begin{cases} B_{(1/100)} \\ \vdots \\ B_{(100/100)} \end{cases} \\
 C \begin{cases} C_{(1/100)} \\ \vdots \\ C_{(100/100)} \end{cases}
 \end{array} \right\} \times \begin{array}{c}
 EDEFL \begin{cases} EDEFL_{(1/100)} \\ \vdots \\ EDEFL_{(100/100)} \end{cases}
 \end{array} = \begin{array}{c}
 \left[\begin{array}{l}
 GH \begin{cases} GH_{(1/10.000)} \\ \vdots \\ GH_{(10.000/10.000)} \end{cases} \\
 EC \begin{cases} EC_{(1/10.000)} \\ \vdots \\ EC_{(10.000/10.000)} \end{cases} \\
 EF \begin{cases} EF_{(1/10.000)} \\ \vdots \\ EF_{(10.000/10.000)} \end{cases}
 \end{array} \right]
 \end{array}
 \end{array}$$

EARMs de montante e jusante
Energia defluente do EARM de montante

Valores das variáveis

Metodologia Proposta (4/4)

- Faz-se uma regressão linear:

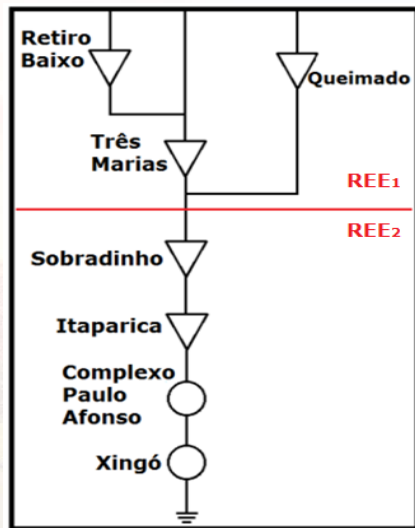
$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \cdots + \beta_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon_i$$

- Os coeficientes são obtidos pela técnica de minimização dos erros médios quadráticos

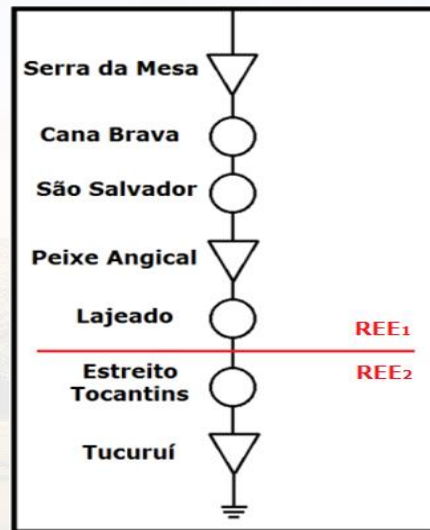
$$X_{n \times p} = \begin{bmatrix} 1 & EARMm_1 & EARMj_1 & EDEFL_1 \\ 1 & EARMm_2 & EARMj_2 & EDEFL_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & EARMm_n & EARMj_n & EDEFL_n \end{bmatrix}$$

- A metodologia foi aplicada para dois acoplamentos hidráulicos existentes no sistema brasileiro:

São Francisco

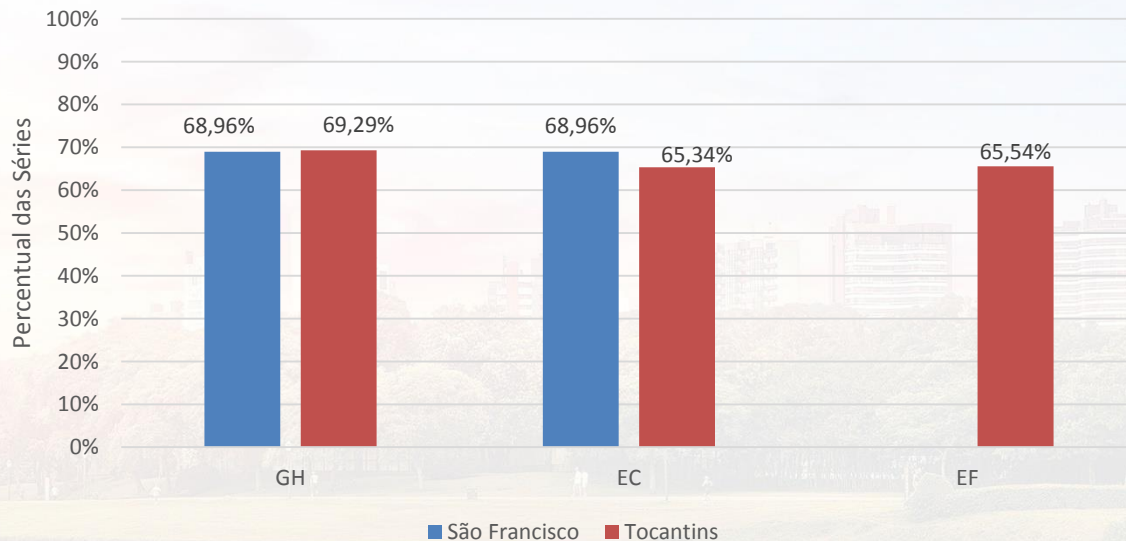


Tocantins



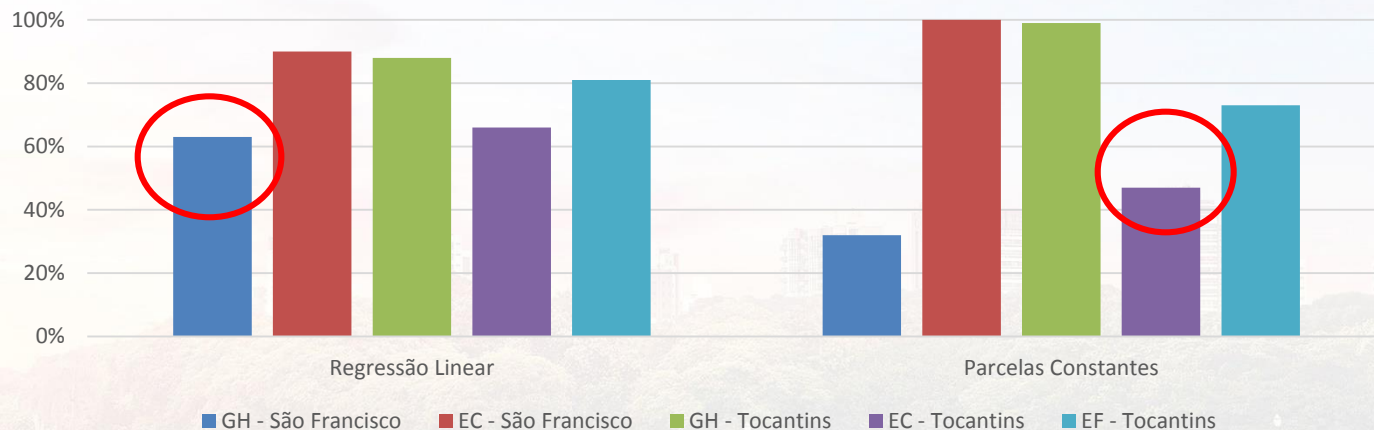
Comparação entre as metodologias proposta e vigente

- Quantidade de vezes em que o erro foi menor na metodologia proposta



Cenários em que o erro absoluto foi menor do que 5%

- Quantidade de vezes em que o erro foi menor do que 5% em ambas as metodologias



Melhoria visível na distribuição das parcelas

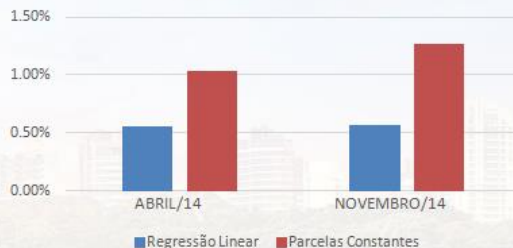
Erro Médio da Modelagem Linear (SF)

São Francisco

Erro Médio de GH

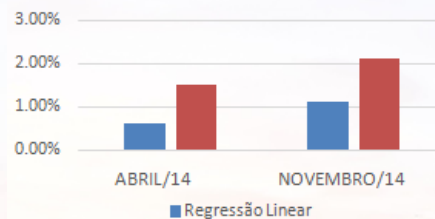


Erro Médio de EC



Tocantins

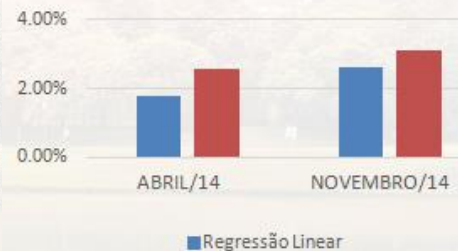
Erro Médio de GH



Erro Médio de EC



Erro Médio de EF




- Propõe-se o uso de uma função linear para representar as parcelas de acoplamento hidráulico entre REEs:
 - geração própria (GH)
 - energia controlável de montante (EC)
 - energia a fio d'água de jusante (EF)
- A metodologia leva a erros médio menores do que a metodologia atual (uso de parcelas constantes)
- O impacto das energias armazenadas de montante e jusante nessas parcelas pode ser introduzido internamente do modelo, mantendo os requisitos de convexidade da PDDE

IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA NO MODELO NEWAVE

- Alguns ajustes podem ser necessários, para evitar comportamentos indesejados do modelo para valores muito baixos de energia defluente (ex: zero)
- Um modelo linear por partes para GH pode ser vantajoso
- Deve-se buscar manter a soma das parcelas muito próxima de 1

PEDRO SOUZA SIMON
ANDRÉ LUIZ DINIZ
DEBORA DIAS JARDIM PENNA

 (21) 2598-6236

 pedrosimon-bolsista@cepel.br
diniz@cepel.br