



Análise das Repercussões que Alterações nas Redes Elétricas de Distribuição Provocam nos Sinais Locacionais da Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão

GPL

Marcelo Benetti

Mauricio Sperandio

Moisés Santos

Alzenira Abaide

OBJETIVOS DO TRABALHO

- ❑ *O trabalho **analisa a repercussão que o Planejamento da Expansão de Sistemas de Distribuição (PESD) provoca:***
 - ***Nos sinais locacionais da Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST)***
- ❑ **Os valores de selo e dos sinais locacionais, componentes da TUST:**
 - **São calculados** empregando-se a **metodologia** nodal **aplicada pela** Agência Nacional de Energia Elétrica (**ANEEL**)
- ❑ Tais valores são então **utilizados no problema de PESD, obtendo-se:**
 - **Um cenário com maior demanda**
- ❑ Por fim, **examinam-se os impactos deste novo cenário** fornecido pelo PESD:
 - Especialmente nos **sinais locacionais da TUST:**
 - ✓ Determinantes da **intensidade de uso da rede de transmissão**

- ❑ O **modelo** empregado **para o PESD** é formulado como:
 - Um Problema de Programação Não-Linear Inteiro Misto (**PNLIM**)
- ❑ Os **custos** associados a **perdas, operação, manutenção**, Energia Não Suprida Esperada (**ENSE**), e Encargos de Uso do Sistema de Transmissão (**EUST**) são:
 - Representados no modelo de PESD através dos **sinais locacionais das TUSTs**
- ❑ **Metodologia Empregada:**
 - **Solução** do PESD: baseada na **decomposição do problema em 2 condições**:
 - ✓ Operação normal (**Subproblema I**), e situação de contingência (Subproblema II)
 - **O Subproblema I objetiva:**
 - ✓ A minimização de investimentos em subestações e circuitos, e também o mínimo custo com perdas, operação e encargos do uso da transmissão
 - **Para a solução do problema, é adotada a técnica metaheurística:**
 - ✓ **GRASP** (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*)

❑ A **metodologia** empregada **objetiva**:

➤ Que **os custos nodais** calculados **reflitam**:

- ✓ **Os custos incrementais de investimento** na capacidade adicional de transmissão
- ✓ **E a intensidade com que cada usuário contribuiu** para a existência do investimento na rede de transmissão sob análise

❑ **Descrição da Metodologia Nodal de Cálculo Aplicada:**

- Os **fluxos incrementais** resultantes da geração adicional, **para cada nó**, são:
 - ✓ Calculados assumindo-se que **não há capacidade de transmissão ociosa**
- Assim, um **incremento marginal de geração**, em cada nó, ocasionará:
 - ✓ **Fluxos incrementais** que:
 - **Exigirão novos investimentos** em um, ou mais, **circuitos**

❑ Descrição da Metodologia Nodal de Cálculo Aplicada:

- Portanto, os **custos de uso do sistema sinalizam** aos usuários:
 - ✓ Os **benefícios/custos** da **redução/incremento** em cada nó, sendo definidas:
 - **Tarifas**, tanto para a **geração**, quanto para a **carga**
- A **intensidade de uso** do sistema de transmissão **poderia ser calculada**:
 - ✓ Analisando-se **como cada agente** de geração ou carga, **isoladamente, utiliza o sistema**
 - ✓ Este **procedimento é ineficiente, do ponto de vista prático**, pois:
 - **Requer o processamento de um fluxo de potência para cada agente** de geração e carga

❑ Descrição da Metodologia Nodal de Cálculo Aplicada:

➤ Para evitar este processo custoso:

✓ **Calculam-se inicialmente fatores de sensibilidade**, que:

- Mostram **como o fluxo de cada circuito se modifica**, em função de um incremento marginal de geração, em um determinado nó do sistema

➤ De posse destas sensibilidades, são calculados:

✓ **Os fluxos** nos circuitos, **a partir de** uma simples **relação linear**

➤ Este procedimento é **prático**, pois os **fatores de sensibilidade** são calculados **uma única vez**

✓ Tais fatores **dependem apenas** da **configuração da rede de transmissão**

- Portanto, **independem** das **magnitudes de geração e carga** do sistema

□ Formulação Matemática:

- A **matriz de sensibilidade** β é definida como uma matriz formada por fatores de distribuição de fluxo:
 - ✓ Fornece as **alterações nos fluxos de cada circuito i** , para as **injeções de potência em cada nó j**
 - ✓ Emprega os conceitos básicos do fluxo de potência linearizado (DC)
- A partir da matriz β , pode-se obter a **diferença dos custos nodais**, dada por:

$$p_r - p_j = \sum_{pq \in \Omega} \frac{c_{pq}}{f_{pq}} (b_{pq}^r - b_{pq}^j) = k_r^j,$$

✓ onde:

- Ω é o conjunto de circuitos da rede, c é o custo e f é a capacidade do circuito pq , β é o fator de sensibilidade, e k é uma constante que mede o impacto sobre todos os circuitos

❑ Formulação Matemática:

➤ Pode-se calcular então o **custo de uso da transmissão**, a partir de:

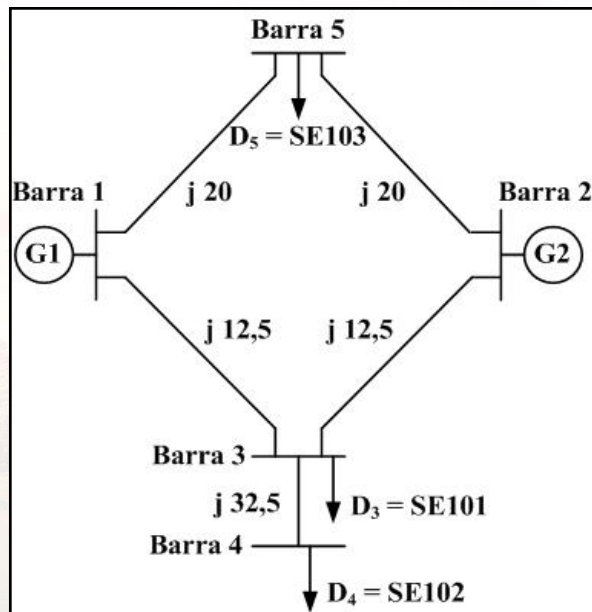
$$p_{rg} = \frac{RP^g + \sum_{j \in \Psi} k_r^j g_j}{\sum_{j \in \Psi} g_j}, \quad p_{rd} = \frac{RP^d + \sum_{j \in \Psi} k_r^j d_j}{\sum_{j \in \Psi} d_j},$$

✓ onde

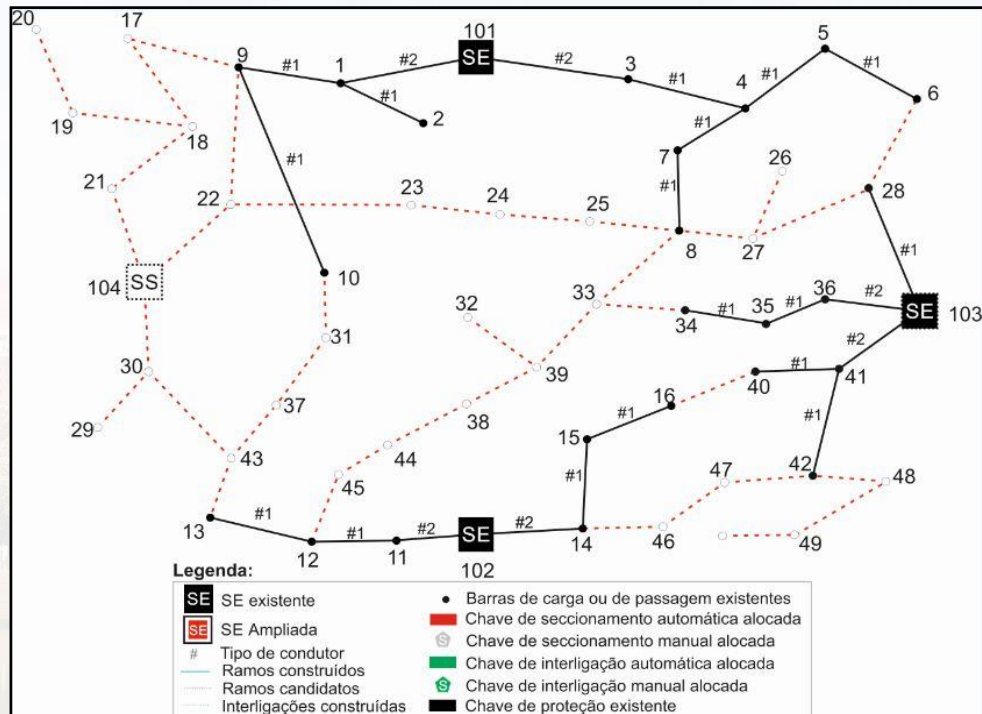
- **RP**: é a receita permitida a ser recuperada junto à geração, e à carga
- **g** e **d**: é a injeção de potência, e a demanda, em um nó do sistema
- **Ψ**: é o conjunto dos nós que possuem geradores, e demanda

❑ Sistema Teste Empregado:

- Sistema contendo a rede de transmissão:



- Sistema de distribuição empregado no PESD:



RESULTADOS DE APLICAÇÃO

❑ Caso Base:

➤ Injeções de potência e fluxo:

Injeções de Potência [MW]		Fluxos [MW]	
G1:	31,5567	P15:	10,7986
G2:	10	P13:	20,7581
D3:	-15,6280	P25:	2,5076
D4:	-12,6226	P23:	7,4924
D5:	-13,3062	P34:	12,6226

➤ Custos incrementais da rede de transmissão:

- ✓ Receita permitida total:
\$ 57000

Circuito	Custo [\$/kW]
1-5:	0,9077
1-3:	0,7555
2-5:	3,9088
2-3:	2,0931
3-4:	0,4779

RESULTADOS DE APLICAÇÃO

☐ Caso Base:

➤ TUST calculada:

Nó	Selo [\$/kW]	Sinal Locacional [\$/kW]	Valor Total [\$/kW]
1:	0,6858	-0,4758	0,2100
2:	0,6858	1,5016	2,1874
3:	0,6858	0,4602	1,1460
4:	0,6858	-0,0177	0,6682
5:	0,6858	-0,5237	0,1621

- ✓ **Selo:** mesmo valor em todos os nós (receita igual entre geração e transmissão)
- ✓ **Sinal Locacional:** valores distintos
 - **Nós com sinais negativos possuem valores totais de menor magnitude**

RESULTADOS DE APLICAÇÃO

❑ Cenário de Expansão das Redes Elétricas de Distribuição:

➤ **PESD: emprega os valores calculados de TUST dos nós de carga**

✓ Incrementa-se em **20% a demanda total** do sistema

Injeções de Potência [MW]		Variação de Potência [MW]	TUST [\$ /kW]	Fluxos [MW]	
G1:	39,9165	+ 8,3598	0,2100	P15:	19,1144
G2:	10	0	2,1874	P13:	20,8020
D3:	-12,1065	+ 3,5215	1,1460	P25:	7,6081
D4:	-11,0874	+ 1,5352	0,6682	P23:	2,3919
D5:	-26,7225	- 13,4163	0,1621	P34:	11,0874

✓ **Resultados aderentes** aos valores de **TUST** empregados no **PESD**:

▪ **Expansão da rede de distribuição conectada à SS103 (D5)**

RESULTADOS DE APLICAÇÃO

❑ Cenário de Expansão das Redes Elétricas de Distribuição:

➤ Novos valores de TUST calculados:


Nó	Selo [\$/kW]	Sinal Locacional [\$/kW]	Valor Total [\$/kW]
1:	0,5710	-0,3961	0,1748
2:	0,5710	1,5813	2,1522
3:	0,5710	0,6329	1,2038
4:	0,5710	0,1550	0,7260
5:	0,5710	-0,3511	0,2199

- ✓ **Selo:** diminuição do valor (em função do aumento da geração e da carga total)
- ✓ **Sinal Locacional:** mesma ordem hierárquica entre os valores (**Exceções: 1 e 5**)
 - **Nó 1:** redução de sua magnitude (associada a somente **G2**)
 - **Nó 5:** redução em maior intensidade (associada a **D3** e **D4**, que variam)


CONCLUSÕES


- ❑ Apresentados os **aspectos da formação de preço do serviço de transmissão**
 - Detalhada a **metodologia nodal de cálculo da TUST**, e avaliada:
 - ✓ **Acoplando-se um sistema de transmissão a redes de distribuição**
 - ✓ **Resultados: coerentes** com as características elétricas e de investimento
 - **Em ambos os segmentos**, para os cenários analisados
- ❑ Análises do **comportamento conjunto de transmissão e distribuição**:
 - **Tendência**, em função da crescente **dificuldade de estabelecerem-se**:
 - ✓ **Limites claros** entre os segmentos
 - ✓ Dificuldade **relacionada à revolução tecnológica** verificada no setor elétrico
 - **Metodologias para cálculo de tarifas**:
 - ✓ **Precisam ser constantemente aperfeiçoadas** para:
 - **Reproduzir as tendências e as características sociais em curso**

Marcelo Benetti

 (48) 3431-7550

 (48) 99600-3115

 marcelo.benetti@satc.edu.br

 www.satc.edu.br