



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GPL 30  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

## **GRUPO VII**

### **GRUPO DE ESTUDO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS**

#### **DISTORÇÕES NA SINALIZAÇÃO DAS TARIFAS DE USO DOS SISTEMAS DE TRANSMISSÃO, TUST, APLICÁVEIS AOS AGENTES GERADORES**

**José C. Rebouças da Silva \* João C. de Oliveira Mello Fabiano L. Fuga Alessandro de L. Castro**

**ANDRADE & CANELLAS CONSULTORIA E ENGENHARIA**

## **RESUMO**

As Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão – TUST aplicáveis aos usuários da rede básica tem sido objeto de constantes alterações visando aprimorar a formulação utilizada na determinação das tarifas e corrigir eventuais distorções na sua aplicação.

O objetivo do estudo é apresentar uma análise das TUSTs aplicáveis aos agentes de geração com relação aos objetivos considerados em sua proposição, quais sejam: (i) tratamento não discriminatório aos usuários, (ii) estímulos aos novos investimentos na expansão dos sistemas elétricos, (iii) indução a utilização racional dos sistemas elétricos, (iv) minimização dos custos de ampliação ou utilização dos sistemas elétricos.

A metodologia de análise consiste em tomar alguns pontos do sistema, onde à priori, seria indicado a instalação de unidade geradora, justificando a escolha do local através de análise de fluxo de potência. Em seguida, avalia-se as respectivas TUSTs de cada um dos pontos, considerando sua evolução em um horizonte de 4 anos, através de diferentes cenários de fluxo de potência. A partir dos resultados, analisa-se de forma quantitativa o impacto dos diversos aspectos que compõem as TUSTs.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Tarifas de uso, Sistema de Transmissão, Metodologia Nodal

### **1.0 - INTRODUÇÃO**

A localização das usinas termelétricas próximo aos centros de consumo de energia é fundamental para uma evolução otimizada do sistema elétrico.

De acordo com os critérios regulamentados pela Aneel, os custos relacionados aos serviços de transmissão devem ser determinados de forma a compensar os custos de investimento, manutenção e operação das respectivas empresas prestadoras e, simultaneamente, fornecer sinais econômicos que induzam os agentes a instalar novas fontes de geração nos locais mais adequados do ponto de vista do sistema elétrico.

A determinação das tarifas de uso do sistema de transmissão, TUST, é realizada segundo a Metodologia Nodal incorporada ao Programa Nodal (3). Este programa utiliza como dados de entrada a configuração da rede, representada com suas linhas de transmissão, subestações, gerações e cargas previstas para cada ciclo tarifário. Além disso, considera-se a Receita Anual Permitida - RAP a ser arrecadada para a cobertura dos custos do serviço prestado pelas instalações de transmissão integrantes da Rede Básica. A metodologia em vigor

incorporada na Resolução ANEEL nº 281, de 01/10/1999 define as TUSTs de cada usuário, produtor ou consumidor de energia elétrica, em função de seu ponto de conexão à Rede Elétrica. A sistemática de cálculo da TUST vigente foi definida na resolução ANEEL 117/2004 (1), onde foram incluídas diversas alterações, entre as quais destaca-se a utilização dos limites de capacidade das linhas de acordo com os valores estabelecidos nos Contratos de Prestação de Serviço de Transmissão, CPST, alteração da rampa de ponderação de carregamento, e criação de um fator visando a estabilização das tarifas.

## 2.0 - METODOLOGIA NODAL

O custo do serviço de transmissão de energia elétrica é composto pelas parcelas RAP das instalações pertencentes a RB (LTs, Subestações e equipamentos com tensão igual ou superior a 230 kV que prestam o serviço público de transmissão de energia no SIN) e Custeio do ONS.

O montante de encargos é rateado entre os usuários da Rede Básica, quais sejam, geradores conectados diretamente à rede básica, centralmente despachados, consumidores livres conectados diretamente à rede básica, concessionárias de distribuição e agentes de importação ou exportação de energia elétrica.

Os valores da TUSTs são determinados utilizando-se o programa nodal, que simula um fluxo de potência simplificado (linear) a partir de uma previsão de demanda do sistema determinada com base na máxima potência de consumo por ponto de suprimento no horário de ponta e geração determinada considerando um despacho proporcional aos montantes de potência contratados na Rede Básica por submercado. O resultado determina o sentido do carregamento dos circuitos, sendo possível calcular os fatores de sensibilidade,  $\beta$ , para cada elemento do sistema, em relação as injeções em cada barra.

O custo da fração do circuito utilizada ao se injetar 1 MW em determinada barra é obtido pelo produto do custo unitário de cada circuito e da respectiva sensibilidade.

A partir do somatório dos custos das frações de circuito utilizadas, montam-se as tarifas nodais de cada barra do sistema, para uma potência unitária injetada ou retirada da rede. Destes cálculos são encontradas as relações entre as diversas tarifas nodais da rede básica.

A tarifa encontrada não permite a recuperação da totalidade dos encargos necessários. Além disso, a tarifa encontrada também não permite o rateio desejado entre carga e geração. Dessa forma, a partir do resultado locacional adiciona-se uma parcela denominada selo, que mantém a relatividade locacional das tarifas e recupera a Receita Anual Permitida com o rateio desejado:

$$TUST_B = \pi_B + \pi_{ajuste} \quad [R\$/MW]$$

Neste trabalho serão analisadas sob diferentes aspectos as distorções na sinalização das tarifas de uso dos sistemas de transmissão aplicáveis aos agentes geradores tomando como base àqueles localizados no Nordeste. A seguir serão apresentadas várias análises de sensibilidade aos principais parâmetros que impactam nos valores de TUST. A partir dos resultados obtidos, analisa-se de forma quantitativa o impacto de diversos aspectos que compõem as TUSTs, entre os quais podemos citar:

- Despachos das usinas;
- Utilização de múltiplos cenários frente a um único cenário para o estabelecimento do ponto de operação e consequentemente do fator de ponderação frente à capacidade dos circuitos;

## 3.0 - BALANÇO ENERGÉTICO E TUST

### 3.1 Caso Base

Tomando-se como base a rede elétrica do submercado Nordeste, ciclo 2006-2007, pode-se subdividir 5 regiões considerando-se suas principais cargas (cargas com demanda contratada superior a 50 MW) e principais usinas (usinas com potência instalada superior a 100 MW). Considerou-se ainda um fator de perdas de 3%. A FIGURA 1 ilustra as regiões definidas para análise.



FIGURA 1– Regiões 1, 2, 3 e 4 - Fonte: SINDAT - ONS

A TABELA 1 apresenta o balanço energético das regiões 1, 2, 3 e 4.

TABELA 1 - Balanço Energético regiões 1, 2, 3 e 4

REGIÃO	DESPACHO PROPORCIONAL		CARGA	
	USINAS	MW	CARGAS	MW
REGIÃO 1	TERMOPERNAMBUCO	396	NATAL, TACAIMBO, C. GRANDE, ANGELIM, P. FERRO, MIRUEIRA, GOIANINHA, MUSSURE, BONGI, RIBEIRÃO, PIRAPAMA, JOAIRAM, MACEIO, R. LARGO	3065
REGIÃO 2	TERMOCEARÁ UTE FORTALEZA <b>TOTAL</b>	155 243 <b>398</b>	TERESINA, SOBRAL, FORTALEZA, CAUIPE, D.GOUVEIA, PICI, BANABUIU, RUSSAS, MOSSORO	1589
REGIÃO 3	XINGO PAULO AFONSO I, II, III PAULO AFONSO IV L. GONZAGA SOBRADINHO A. SALES B. ESPERANÇA <b>TOTAL</b>	2.406 1.079 1.875 1.127 800 305 181 <b>7.772</b>	MILAGRES, JUAZEIRO, COREMAS, IÇÓ, B. NOME e B.ESPERANÇA	602
REGIÃO 4	TERMOBAHIA FAFEN CAMAÇARI ITAPEBI P. CAVALO <b>TOTAL</b>	143 85 267 343 122,8 <b>960</b>	B.J.LAPA, BRUMADO, S. A. JESUS, CATU, TOMBA, IRECE, S. BONFIM, BARREIRAS, FUNIL, ITAPEBI, EUNAPOLIS, NARANDIBA, MATATU, COTEGIPE, JACARACANGA, CMD, PENEDO, CAMACARI, JARDIM, ITABAIANA, PITUAÇU	3325

Na configuração base utilizada no cálculo de tarifas, a Região 1 é uma região importadora de 2760 MW sendo que a TUST geração considerando a metodologia Nodal varia de 1,163 R\$/kw.mês em Natal até 4,483 R\$/kw.mês em Angelim. A usina mais próxima dessas cargas, Termopernambuco, apresenta TUST nodal de 3,431 R\$/kw.mês. Não obstante, a TUST aplicável a essa UTE é de 4,378 R\$/kw.mês, conforme publicado na Resolução ANEEL 354/2006 (2).

A Região 2 também é uma região importadora de 1239 MW sendo que a TUST geração considerando a metodologia Nodal varia de 1,508 R\$/kw.mês em Mossoró até 3,811 R\$/kw.mês em Cauípe. A usina na região, Termoceará, apresenta TUST nodal de 3,811 R\$/kw.mês. Vale ressaltar que no ciclo 2006 a Termoceará teve sua

potência alterada de 290 MW para 203,7 MW, dessa forma a TUST aplicável a usina é a TUST calculada utilizando a metodologia nodal.

A Região 3 é uma região exportadora de 7152 MW sendo que a TUST geração considerando a metodologia Nodal varia de 3,343 R\$/kw.mês em Icó até 4,716 R\$/kw.mês em B. Nome. As diversas usinas na região, apresentam TUST nodal variando de 5,393 R\$/kw.mês em L. Gonzaga a 6,211 R\$/kw.mês. A UHE B. Esperança apresentou ainda uma TUST nodal de 4,502 R\$/kw.mês. A TUST aplicável a essas usinas é de cerca de 5,5 R\$/kw.mês, exceto em B. Esperança onde o valor aplicável é de 4,322 R\$/kw.mês conforme publicado na Resolução ANEEL. 354/2006. A energia gerada por essas usinas supre as regiões 1, 2 e 4, bem como torna o submercado nordeste exportador de 706 MW de energia para os submercados Norte e Sudeste – Centro Oeste.

A Região 4 é uma região importadora de 2465 MW sendo que a TUST geração considerando a metodologia Nodal varia de 1,229 R\$/kw.mês em Barreiras até 6,101 R\$/kw.mês em Itabaiana. A UTE FAFEN apresenta TUST nodal de 5,404 R\$/kw.mês. A TUST aplicável a essa UTE é de 4,845 R\$/kw.mês, conforme publicado na Resolução ANEEL. 354/2006. As usina P. Cavalo, Termobahia e Camaçari apresentam valor da TUST nodal de 3,174 R\$/kw.mês, 3,146 R\$/kw.mês e 3,315 R\$/kw.mês, respectivamente e as TUSTs aplicáveis a essas usinas é de 4,378 R\$/kw.mês, 4,146 R\$/kw.mês e 4,376 R\$/kw.mês, respectivamente, conforme publicado na Resolução ANEEL. 354/2006.

Vale lembrar que na metodologia atual, o despacho é dito proporcional porque, em cada submercado, os geradores, independente de sua natureza, serão despachados de forma proporcional à sua potência disponível, até o atendimento da demanda do submercado mais suas perdas (balanço carga-geração por submercado).

Ao se comparar a região Nordeste com as demais regiões na FIGURA 2, pode-se verificar que no subsistema Nordeste a TUST geração, em média, é superior TUST geração, mesmo sendo esta uma região importadora de energia na maior parte do tempo, e que portanto, deveria ter uma sinalização favorável a inserção de nova geração através de uma TUST baixa.

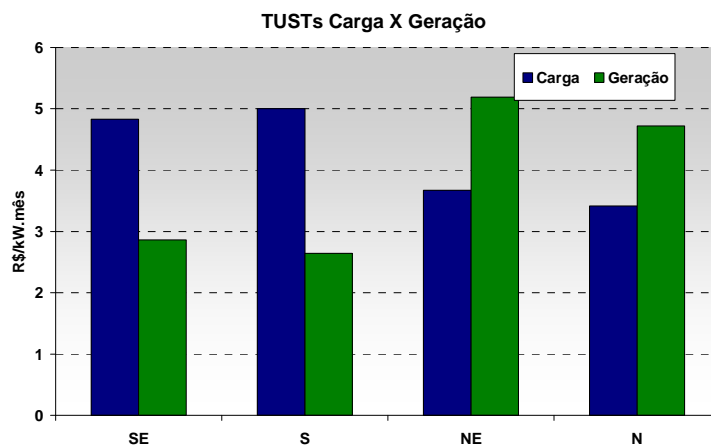


FIGURA 2 - Comparação das TUSTs carga e geração

### 3.1 Caso – NE Auto-suficiente

Em seguida, as tarifas foram simuladas considerando uma redução da geração no NE, de forma a obter um fluxo de potência com o submercado NE auto-suficiente de energia. Tais reduções de geração no NE foram compensadas aumentando-se as capacidades das principais usinas no submercado sudeste. A Aplicação do algoritmo de despacho proporcional resulta em uma redução de 24% da potência disponível de geração do NE. A simulação a seguir considerou uma redução ainda maior de 30% da capacidade.

TABELA 2 – Balanço Energético regiões 1, 2, 3 e 4 – Despacho reduzido

REGIÃO	DESPACHO PROPORCIONAL		CARGA	
	USINAS	MW	CARGAS	MW
REGIÃO 1	TERMOPERNAMBUCO	<b>364</b>	NATAL, TACAIMBO, C. GRANDE, ANGELIM, P. FERRO, MIRUEIRA, GOIANINHA, MUSSURE, BONGI, RIBEIRÃO, PIRAPAMA, JOAIRAM, MACEIO, R. LARGO	<b>3065</b>
REGIÃO 2	TERMOCEARÁ	143	TERESINA, SOBRAL, FORTALEZA, CAUIPE, D.GOUVEIA, PICI, BANABUIU, RUSSAS, MOSSORO	<b>1589</b>
	UTE FORTALEZA	223		
	<b>TOTAL</b>	<b>366</b>		
REGIÃO 3	XINGO	2.209	MILAGRES, JUAZEIRO, COREMAS, IÇÓ, B. NOME e B.ESPERANÇA	<b>602</b>
	PAULO AFONSO I, II, III	991		
	PAULO AFONSO IV	1.721		
	L. GONZAGA	1.034		
	SOBRADINHO	735		
	A. SALES	280		
	B. ESPERANÇA	166		
<b>TOTAL</b>	<b>7.135</b>			
REGIÃO 4	TERMOBAHIA	131	B.J.LAPA, BRUMADO, S. A. JESUS, CATU, TOMBA, IRECE, S. BONFIM, BARREIRAS, FUNIL, ITAPEBI, EUNAPOLIS, NARANDIBA, MATATU, COTEGIPE, JACARACANGA, CMD, PENEDO, CAMACARI, JARDIM, ITABAIANA, PITUAÇU	<b>3325</b>
	FAFEN	78		
	CAMAÇARI	245		
	ITAPEBI	315		
	P. CAVALO	112,7		
<b>TOTAL</b>	<b>881</b>			

Na configuração com despacho reduzido, a Região 1 importa 2793 MW sendo que a TUST geração considerando a metodologia Nodal varia de 0,435 R\$/kw.mês em Natal até 3,312 R\$/kw.mês em Angelim. A usina Termopernambuco apresenta TUST nodal de 2,568 R\$/kw.mês. Porém, considerando-se apenas o afator de ajuste a TUST da usina seria de 4,867 R\$/kw.mês.

A Região 2 importa 1271 MW sendo que a TUST geração considerando a metodologia Nodal varia de 0,919 R\$/kw.mês em Mossoró até 3,237 R\$/kw.mês em Cauípe. A usina Termoceará apresenta TUST nodal de 3,237 R\$/kw.mês. Vale ressaltar que no ciclo 2006-2007 a Termoceará teve sua potência alterada de 290 MW para 203,7 MW, dessa forma a TUST aplicável a usina é a TUST calculada utilizando a metodologia nodal.

A Região 3 exporta 6515 MW sendo que a TUST geração considerando a metodologia Nodal varia de 2,719 R\$/kw.mês em Icó até 3,954 R\$/kw.mês em B. Nome. As diversas usinas na região, apresentam TUST nodal variando entre 4,604 R\$/kw.mês em L. Gonzaga a 5,32 R\$/kw.mês em A. Sales. A UHE B. Esperança apresentou ainda uma TUST nodal de 4,031 R\$/kw.mês. A TUST aplicável a essas usinas é de cerca de 5,2 R\$/kw.mês, exceto em B. Esperança onde o valor aplicável é de 4,805 R\$/kw.mês. A energia gerada por essas usinas supre as regiões 1, 2 e 4, porém, o submercado nordeste apresenta-se como importador de 74 MW de energia dos submercados Norte e Sudeste – Centro Oeste.

A Região 4 é uma região importadora de 2544 MW sendo que a TUST geração considerando a metodologia Nodal varia de 0,873 R\$/kw.mês em Barreiras até 5,186 R\$/kw.mês em Itabaiana. A UTE FAFEN apresenta TUST nodal de 4,537 R\$/kw.mês. A TUST aplicável a essa UTE é de 5,386 R\$/kw.mês. As usinas P. Cavalo, Termbahia e Camaçari apresentam valor da TUST nodal de 2,526 R\$/kw.mês, 2,425 R\$/kw.mês e 2,611 R\$/kw.mês, respectivamente e as TUSTs aplicáveis a essas usinas é de 4,867 R\$/kw.mês, 4,609 R\$/kw.mês e 4,865.

A análise dos resultados revelou que:

- a região Nordeste é importadora de potência/energia e a metodologia nodal em vigor não reproduz essa realidade. Além disso, ainda sinaliza uma característica contrária, com NE exportador;
- a sinalização da TUST, portanto, não é aderente à realidade de mercado verificada na região Nordeste;
- O critério de despacho em vigor tende a estabelecer um perfil irreal de utilização do sistema de transmissão;
- As elevadas tarifas de transmissão da geração indicam que a expansão do parque gerador no Nordeste é desfavorável à otimização do uso do sistema. A simulação do caso com redução de geração provoca uma queda das TUSTs;
- Entre todas as regiões, a Nordeste apresenta constantemente o perfil médio de tarifas de transmissão mais atrativo à expansão da carga;

#### 4.0 - ANÁLISE DE INTERCÂMBIO

A análise do intercâmbio Sudeste-Nordeste, revelou que nos últimos anos o Nordeste tem se comportado como submercado predominantemente importador de energia. A FIGURA 3 apresenta o histórico de 7 anos de operação do intercâmbio NE-SE.

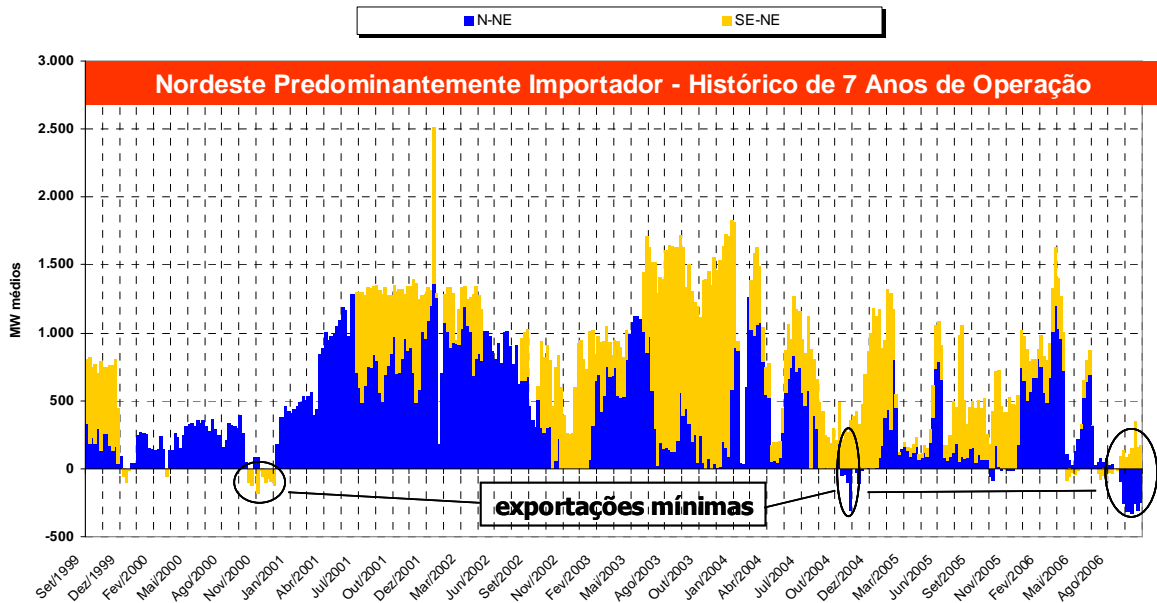


FIGURA 3– Intercâmbio SE-NE - Fonte: Síntese Gerencial da Operação - ONS

#### 5.0 - EFEITO DO DESPACHO

##### 5.1 MÚLTIPLOS DESPACHOS

Foram realizadas simulações para avaliar o efeito comparativo do despacho na TUST. Utilizou-se um modelo “proxy” da PSR dado que a reprodução das tarifas publicadas ANEEL exigiria a abertura do programa Nodal, que não é disponibilizada para ajustes e testes em seu código.

Utilizou-se 80 cenários de despacho equiprováveis a partir de um modelo de despacho hidrotérmico individualizado (SDDP). Os resultados da simulação são utilizados para calcular os valores dos despachos individualizados da geração hidro e térmica a serem testados no modelo de cálculo de sinal locacional. A FIGURA 4 apresenta os resultados.

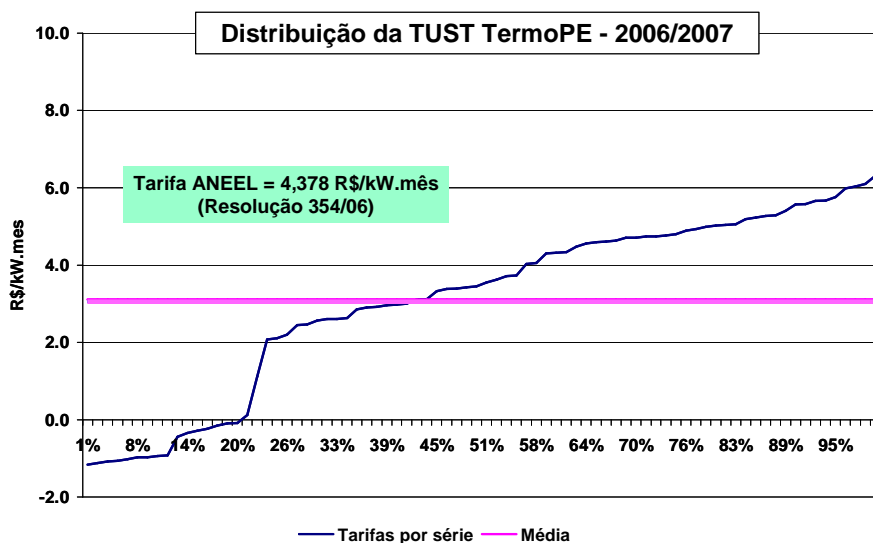


FIGURA 4 – Distribuição da TUST da TERMOPERNAMBUCO.

A análise dos resultados das simulações do efeito do despacho sobre as TUSTs mostrou grande dispersão em torno da MÉDIA. Tomando-se como base a TUST da Termopernbuco, cuja tarifa é de 4,378 R\$/kw.mês, verificou-se valores de TUST variando na faixa de 1 a 6,5 R\$/kw.mês. A FIGURA 5 apresenta os resultados obtidos.

A título de exemplo selecionamos um cenário com o submercado Nordeste numa condição de IMPORTAÇÃO elevada de cerca de 4000 MW.

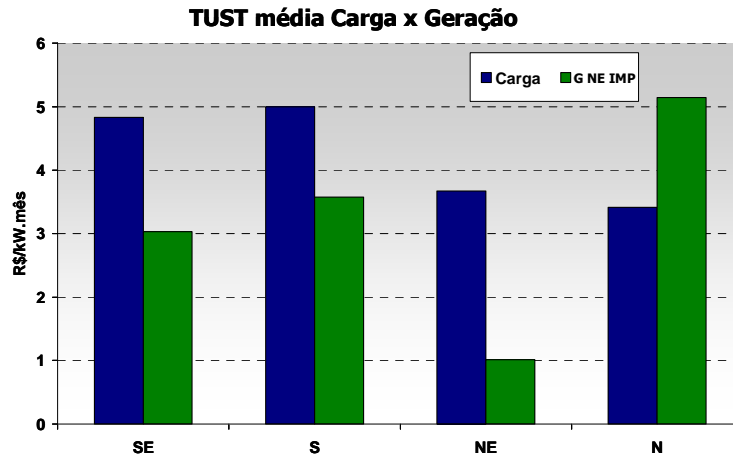


FIGURA 5 – TUST média Carga x Geração (NE importador)

## 5.2 Despacho proporcional

Visando analisar a sensibilidade das TUST a variação de despacho, tomou-se um despacho de geração com base no PAR 2006-2009 (Plano de Ampliações e Reforços na Rede Básica) e comparou-se aos valores obtidos no caso base oficial, que utiliza um despacho proporcional.

### a. Cenário PAR 2006-2009

- Ciclo 2006-2007
- Despacho proposto como no caso base disponibilizado pelo ONS
- Carga Pesada - Abr-Set 2006
- Nordeste importando cerca de 1000 MW

### b. Cenário Despacho proporcional - ANEEL

- Ciclo 2006-2007 e despacho proporcional conforme Resolução ANEEL 117/04
- Considerou-se todas as usinas como novas (por simplificação) para não se submeter ao fator de atenuação da Resolução ANEEL 117/04

A análise dos resultados apresentados na FIGURA 6 revelou que as TUST das termelétricas apresentaram uma queda de 36% no cenário com NE importador.

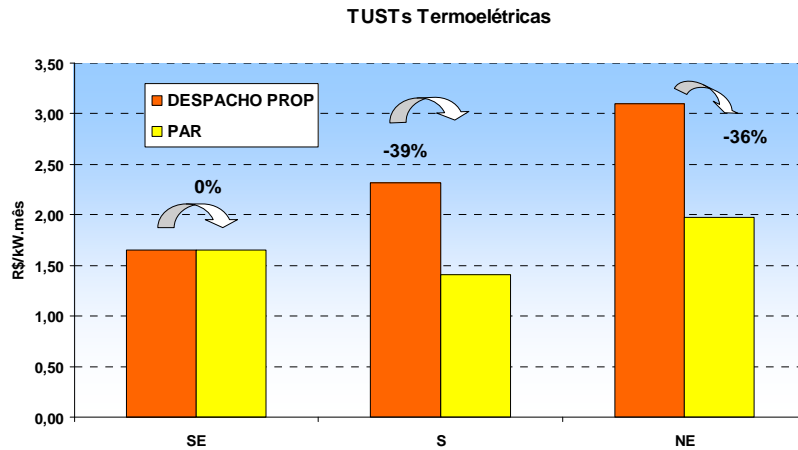


FIGURA 6 – TUST média Termoeletricas Despacho proporcional X PAR (NE importador)

## 6.0 - CONCLUSÃO

A análise dos resultados mostrou que as TUSTs no submercado Nordeste apresentam-se fortemente influenciadas pelos despachos das usinas, obtidos através da metodologia que define um despacho proporcional às potências disponíveis das usinas. Além disso, algumas regiões importadoras do NE apresentaram valores altos de TUST. Dessa forma, as tarifas não sinalizam corretamente aos agentes, os melhores pontos de conexão de unidades geradoras. Ou seja, as tarifas não refletem o uso do sistema de forma a otimizá-lo. Contudo, a análise revelou pontos que seriam indicados para a instalação de unidades geradoras.

A formulação considerando os despachos proporcionais não refletem a condição operacional verificada no intercâmbios.

Verificou-se também grande influência da TUST em função do despacho considerado, o que mostra a necessidade de consideração de múltiplos despachos na formulação de forma a refletir a operação mais próxima a real do sistema.

Com relação estabilização das tarifas e minimização dos riscos regulatórios, verifica-se que o fator de atualização aplicado as tarifas que não refletem uma sinalização correta, perpetua a distorção.

Com base no exposto concluímos que a formulação atual está em desacordo com os comandos legais, que definem a qualidade do sinal econômico da tarifa de transmissão no sentido de onerar os agentes que mais usam as redes (“quem usa mais paga mais”).

Interpretações divergentes sobre a qualidade do sinal e dificuldades recorrentes de correção de rota prejudicam a metodologia tarifária da TUST.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ANEEL – Agência Nacional de energia Elétrica, Resolução Normativa Nº 117 de 03/12/2004, Brasília, 2004
- (2) ANEEL - Agência Nacional de energia Elétrica, Resolução Normativa Nº 354 de 27/06/2006, Brasília, 2006
- (3) ANEEL - Programa de Simulação de Tarifas de Uso do Sistema Elétrico, NODAL Versão 3.4, Brasília, 2005

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

João Carlos de Oliveira Mello  
Doutorado(1990) em Engenharia Elétrica: PUC – RJ – Rio de Janeiro  
Presidente da Andrade & Canellas Consultoria e Engenharia

José Claudio Rebouças da Silva  
Mestrado (2005) e Graduação (2000) em Engenharia Elétrica: POLI-USP – São Paulo  
Empresa: Andrade & Canellas Consultoria e Engenharia, desde 2002  
Engenheiro do Núcleo de Estudos e Gestão de Energia

Fabiano Lúcio Fuga  
Mestrado (2004) e Graduação (2000) em Engenharia Elétrica: POLI-USP – São Paulo  
Empresa: Andrade & Canellas Consultoria e Engenharia, desde 2001  
Coordenador do Núcleo de Estudos e Gestão de Energia