



GAT/027

21 a 26 de Outubro de 2001  
Campinas - São Paulo - Brasil

#### GRUPO IV

#### GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT

### REQUISITOS TÉCNICOS PARA CONEXÃO DE ACESSANTES EM DERIVAÇÃO À REDE BÁSICA DE TRANSMISSÃO E IMPACTO NA PARCELA VARIÁVEL

**João Ricardo Paes de Barros**  
**CHESF - Companhia Hidro elétrica do São Francisco**

#### RESUMO

Este trabalho faz uma avaliação do impacto das falhas decorrentes de diferentes alternativas de conexão de um Acessante à rede básica na parcela variável, dada que ela é o parâmetro de referência atual para penalizar as Transmissoras. Também faz avaliações relativas a expectativa de lucro da Transmissora, indicando uma solução de conexão compatível com a nova missão da Transmissora, ou seja, a maximização da disponibilidade das instalações de transmissão.

#### PALAVRAS-CHAVE

Disponibilidade – Livre Acesso à Transmissão – Esquemas de Manobras de Subestações – Parcela Variável.

#### 1.0 INTRODUÇÃO

A indústria de energia elétrica emergente no Brasil redefiniu os objetivos empresariais e a missão da Transmissora, impondo necessidades específicas, as quais são resumidas no seguinte aspecto:

- Minimização da indisponibilidade das instalações de transmissão existentes e futuras, tais como as subestações, as linhas de transmissão, os transformadores, etc; e conseqüentemente, a maximização do lucro anual da Transmissora, através do incremento da disponibilidade das instalações de transmissão.

Neste contexto, minimizar os índices de indisponibilidade das instalações tornou-se um dos objetivos estratégicos a serem alcançados pela Transmissora.

Como a nova legislação do Setor Elétrico brasileiro prevê elevadas penalidades para a Transmissora associadas a indisponibilidades dos equipamentos do sistema de transmissão da rede básica, este aspecto também deve ser contemplado nas análises das alternativas vislumbradas para conexão do Acessante à rede básica.

Sendo a confiabilidade/disponibilidade de qualquer sistema função da confiabilidade dos componentes e da forma como eles estão conectados na rede, espera-se que

a conexão de Acessantes repercuta nos índices de indisponibilidade da rede básica de transmissão.

#### 2.0 OBJETIVO DO TRABALHO

O núcleo deste trabalho tem como objetivo apresentar a aplicação do modelo de avaliação de indisponibilidade, de avaliação penalidades das alternativas de conexão de um Acessante à rede básica.

Tem, também, como finalidade discutir os requisitos técnicos necessários para conexão do Acessante em derivação na linha de transmissão integrante da rede básica, contemplando os seguintes aspectos:

- Condições de atendimento ao mercado de energia elétrica em regime normal e em emergência, considerando um horizonte de dez anos;
- Confiabilidade, dando ênfase aos índices de indisponibilidades dos circuitos da rede básica onde o Acessante se conecta;
- Expectativa de lucro anual da Transmissora.

Mais, ainda, mostra a aplicação do modelo de avaliação de expectativa de lucro da Transmissora, ao problema descrito a seguir.

#### 3.0 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O problema em análise surgiu através de solicitação de conexão de um consumidor industrial ao sistema de transmissão da rede básica por meio de derivação de um dos circuitos de uma linha de transmissão em 230kV da CHESF. Esta linha de transmissão, que de acordo com a portaria ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica - de N° 433/2000, é integrante da rede básica e de extrema importância para o suprimento de energia elétrica à região metropolitana, com qualidade e confiabilidade, próxima ao local de conexão deste Acessante.

Como a nova legislação do Setor Elétrico prevê elevadas penalidades para as Transmissoras associadas às indisponibilidades dos equipamentos da rede básica, este

aspecto deve ser contemplado nas análises das alternativas vislumbradas para conexão do Acessante.

O problema consiste, então, em determinar os valores de indisponibilidades do conjunto conexão mais linha de transmissão, verificando o impacto na PV e na expectativa de lucro da Transmissora. Para realização destas tarefas, tornam-se necessários modelos de:

- ☞ Avaliação das Indisponibilidades;
- ☞ Avaliação das Penalidades por Indisponibilidades;
- ☞ Avaliação do Lucro Anual da Transmissora.

Com o uso destes modelos é possível representar corretamente as falhas decorrentes das alternativas vislumbradas para conexão do Acessante e oferecer uma solução compatível com a nova missão da Transmissora.

### 3.1 Configuração da Rede do Transmissor

Inicialmente informamos que, com a finalidade de proteger a confidencialidade das informações do Acessante não se mencionará o nome do mesmo, durante a apresentação dos resultados das análises realizadas neste trabalho.

Da subestação denominada de Alfa partem dois circuitos de 230 kV que alimentam, de forma radial, as cargas da subestação denominada de Beta. Os arranjos físicos dos esquemas de manobras das subestações Alfa e Beta são, respectivamente, barra dupla a cinco chaves e barra principal/ transferência.

Este tronco de transmissão foi planejado, especificamente, para atender ao critério de “N-1” componentes, em um horizonte de dez anos. Isto significa que mesmo considerando a carga do novo Acessante, as condições de atendimento permanecem satisfatórias. Este fato ocorre em virtude do porte da carga do Acessante ser pequena em relação ao mercado previsto para o regional polarizado na subestação denominada de Alfa.

### 3.2 Configuração Interna do Sistema do Acessante

A Figura 1 a seguir ilustra de forma esquemática a configuração interna do sistema do Acessante considerada nas análises de avaliação de confiabilidade, de penalidade e de expectativa de lucro da Transmissora.

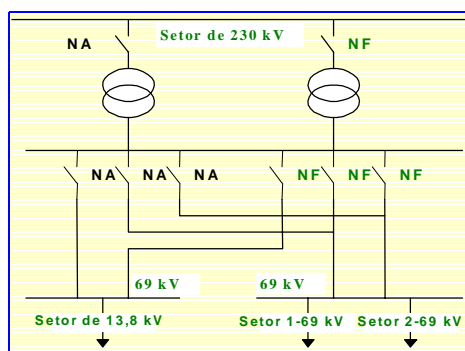


FIGURA 1- Configuração Interna do Acessante

### 3.3 Requisitos Técnicos para Conexão do Acessante

Segundo o Documento “Procedimentos de Rede” do ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico, são admitidas conexões em derivação (tapes) em linhas de transmissão integrantes da rede básica com tensão menor ou igual a 230 kV, desde que:

- ☞ Atendam os requisitos técnicos estabelecidos nos procedimentos de rede;
- ☞ Não comprometam a segurança do sistema, segundo o módulo 2 que contém os padrões de desempenho da Rede Básica;
- ☞ Não sejam em instalações onde a confiabilidade é essencial como, por exemplo, interligações inter-regionais, internacionais, entre submercados, etc.

Além destes aspectos, o documento ainda afirma que não são admitidas conexões em derivação em linhas de transmissão integrantes da rede básica com tensão superior a 230 kV. Com relação às condições de aplicação de conexão em derivações sugere que:

- ☞ A conexão em tape poderá ser utilizada em casos especiais quando o Acessante admitir uma menor confiabilidade de suprimento;
- ☞ Em função deste tipo de conexão, as eventuais perdas de suprimento por indisponibilidade programada ou não da linha de transmissão, serão assumidas como de responsabilidade do Acessante.

Afirma, também, que o Acessante deverá arcar com os custos associados à substituição dos sistemas de proteção das linhas da Rede Básica ou à instalação de esquemas de proteção adicional.

### 4.0 MODELOS DE AVALIAÇÕES UTILIZADOS

#### 4.1 Modelo de Avaliação das Indisponibilidades

As avaliações das indisponibilidades dos pontos denominados de “X” e “Y” nas Figuras 2 a 11, localizados no final da linha de transmissão – LT, para as dez alternativas de configurações de conexão do Acessante à rede básica, foram feitas com o modelo computacional CST [2]. Note que estes pontos de referência foram escolhidos com a finalidade de capturar todos os modos de falhas.

Este modelo foi concebido para calcular os índices de confiabilidade, traduzidos em termos de frequência, duração e indisponibilidades dos pontos de carga e total dos esquemas de manobras de subestações, para os seguintes modos de falhas:

- ☞ Falha permanente de um componente;
- ☞ Falha permanente de dois componentes simultaneamente;
- ☞ Falha permanente de um componente quando um outro está em manutenção;
- ☞ Falha ativa de um componente;

- ☛ Falha ativa de um componente quando um outro está em reparo ou em manutenção;
- ☛ Falha ativa de um componente com a ocorrência de disjuntor emperrado.

O referido programa computacional considera ainda que nenhum equipamento da subestação entrará em manutenção se houver um ou mais componentes falhados. Considera também que uma vez iniciada a manutenção de um outro equipamento ela será concluída, mesmo que um outro equipamento falhe neste período.

É conveniente ressaltar que normalmente o modelo CST considera que as saídas programadas para manutenções não provocam perda de continuidade de qualquer ponto de carga da subestação.

#### 4.2 Modelo de Avaliação das Penalidades

As avaliações das penalidades por indisponibilidades dos pontos denominados de “X” e “Y” nas Figuras 2 a 11, foram realizadas através do modelo estabelecido pelo agente regulador, a ANEEL. Note que estes pontos de referência foram escolhidos com a finalidade de capturar todos os modos de falhas.

Este modelo foi concebido com a finalidade de fornecer um sinal econômico, para a manutenção da qualidade de serviço da Transmissora, e consiste de uma penalidade definida pela PV por indisponibilidade dos seus ativos de transmissão, deduzida mensalmente do Pagamento Base – PB. Segundo o Contrato de Prestação de serviço de Transmissão – CPST, esta parcela deve ser calculada pela seguinte expressão:

$$PV = \frac{PB}{1440 \times D} \left[ K_p \times \sum_{i=1}^{NP} DDP_i + K_{0i} \times \sum_{i=1}^{NO} DOD_i \right] \quad (1)$$

Onde:

DDP = Duração, em minutos, de cada desligamento programado que ocorra durante o mês;

DOD = Duração, em minutos, de cada um dos outros desligamentos que ocorram durante o mês;

PB = pagamento base das instalações de transmissão;

K<sub>p</sub> = Fator para desligamentos programados = K<sub>0</sub>/15;

K<sub>0</sub> = Fator para outros desligamentos de até 300 minutos após o primeiro minuto (o fator será reduzido para K<sub>0</sub>/15, após o 301º minuto);

NP = Número de desligamentos programados da instalação ao longo do mês;

NO = Número de outros desligamentos da instalação ao longo do mês;

D = Número de dias do mês.

O parâmetro K<sub>0</sub> vale 150 para os equipamentos com nível de tensão acima de 230 kV, e 100 para os equipamentos com nível de tensão igual ou inferior de 230 kV. Considerando o fato de que após 5 horas (300 minutos) o fator K<sub>0i</sub> será reduzido para K<sub>0</sub>/15 e que as indisponibilidades foram calculadas em uma base anual, a expressão para o cálculo da PV total anual toma a seguinte

forma algébrica geral, a qual pode ser aplicada aos desligamentos com durações superiores a 5 horas, como ocorrem no estudo de caso apresentado mais adiante.

$$PV = PB \cdot K_0 \cdot Pu \quad (2)$$

Onde:

$$Pu = \left[ \frac{1}{15} \times \sum_{i=1}^{NP} \left( \frac{DDP_i + DOD_{i>5}}{8760} \right) + \sum_{i=1}^{NO} \left( \frac{DOD_i + DOD_{i<5}}{8760} \right) \right] \quad (3)$$

Pu – Probabilidade de Indisponibilidade programada e não programada das instalações de transmissão.

Com estas considerações os valores de indisponibilidades DOD e DDP são calculados na base anual.

#### 4.3 Modelo de Avaliação do Lucro da Transmissora

Os futuros Contratos de Prestação de Serviços de Transmissão - CPST a serem celebrados entre as empresas Transmissoras e o ONS, para disponibilidade das instalações de transmissão aos diversos usuários e acessantes da rede básica, deverão estabelecer requisitos mínimos de segurança e confiabilidade para a operação da rede básica de transmissão.

De acordo com o CPST as empresas Transmissoras poderão ter suas receitas anuais descontadas do valor total da PV, de modo a refletir a efetiva disponibilidade das instalações de transmissão. Considerando estas definições a avaliação do Lucro Anual – LA da Transmissora pode ser calculada através da seguinte expressão matemática:

$$LA = RA - (PV - CA) \quad (4)$$

Onde:

LA - Lucro Anual da Transmissora;

RA - Receita anual da Transmissora;

CA - Custo anual, incluindo operação, manutenção, amortização do investimento, etc.

Fica evidente desta expressão que a expectativa de lucro anual da Transmissora:

- ☛ É função de variáveis aleatórias. Ou seja, depende dos índices de indisponibilidade programada (manutenção preventiva) e não programada (queda de torres, falha de equipamento, falha humana, descarga atmosférica, etc) das instalações de transmissão;
- ☛ A necessidade de reduzir dos custos decorrentes das penalidades por indisponibilidades, de modo a maximizar o lucro anual da Transmissora;
- ☛ O lucro anual aumenta com o crescimento de RA e com a redução de CA. Porém a redução de CA aumenta a probabilidade de crescimento da PV, e conseqüentemente, reduz do lucro anual da Transmissora.

#### 5.0 ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso faz a aplicação do modelo de avaliação de indisponibilidade, de avaliação penalidades por indisponibilidades decorrentes das alternativas vislumbradas para conexão do Acessante à rede básica de transmissão. Faz também uma aplicação do modelo de avaliação de expectativa de lucro da Transmissora diante das diferentes alternativas de conexão.

Como estudo de caso, foram analisadas dez configurações considerando opções de alimentação através de:

- ☞ Tape simples;
- ☞ Tape duplo normal - normal;
- ☞ Tape duplo normal - reserva;
- ☞ Seccionamento de linha através de duas conexões; e,
- ☞ Conexão padrão através do barramento.

Em seguida foram determinados os valores da PV e da expectativa de lucro da Transmissora, em função dos índices de indisponibilidades associados as alternativas.

### 5.1 Configurações de Conexões Analisadas

Nos itens que se seguem são apresentados os arranjos físicos das subestações Alfa e Beta, bem como os detalhes das diversas formas de conexões à rede básica contempladas nas análises.

#### 5.1.1 Conexão Através de Tape Simples

Para este tipo de conexão foram analisadas cinco configurações de alimentação ao novo Acessante via tape simples. Elas se diferenciam quanto aos equipamentos de manobra instalados para isolar os defeitos originados na subestação do novo Acessante, conforme podem ser vistos nas Figuras 2 a 6.

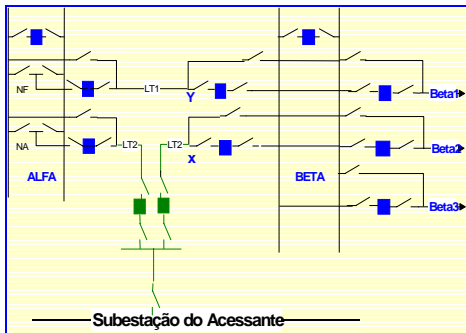


FIGURA 2: Conf.1 - Tape Simples c/ Barramento e DJ

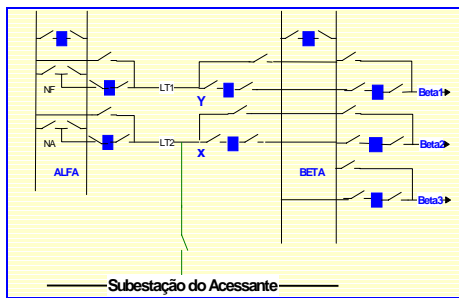


FIGURA 3: Conf.2 - Tape Simples com Seccionadora

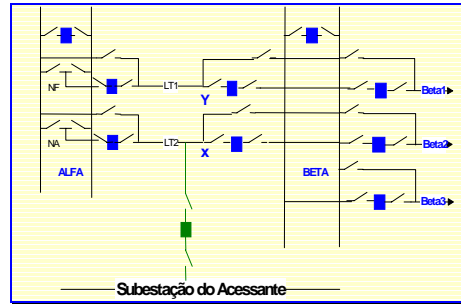


FIGURA 4 – Conf.4: Tape Simples com Um DJ

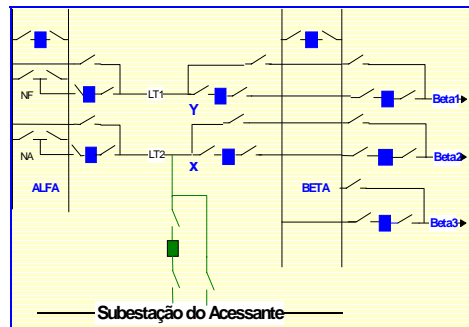


FIGURA 5: Conf.5 - Tape Simples c/ DJ e Chave Bypass

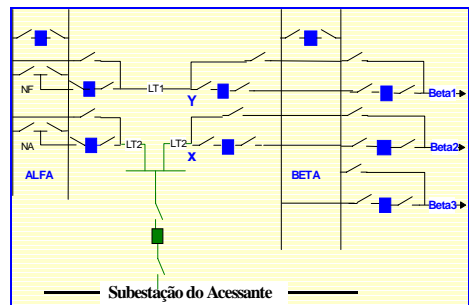


FIGURA 6: Conf.10-Tape Simples com Barramento e DJ

#### 5.1.2 Conexão Via Tape Duplo Normal - Normal

Para este tipo de conexão foi analisada uma configuração em tape duplo normal - normal. A Figura 7 mostra de forma esquemática esta configuração de conexão à rede básica.

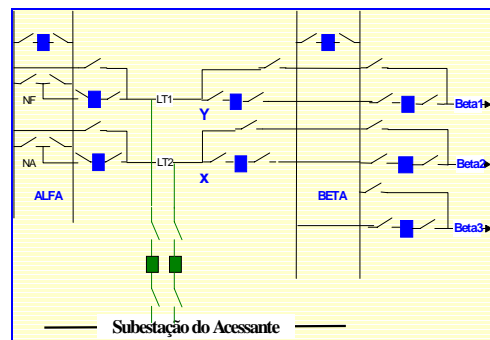


FIGURA 7: Conf.6 - Tape Duplo Normal - Normal

### 5.1.3 Conexão Via Tape Duplo Normal - Reserva

Para este tipo de conexão foi analisada apenas uma configuração em tape duplo normal - reserva. Ela difere da configuração 6 na forma como a subestação do Acessante é isolada da rede principal. A Figura 8 mostra de forma esquemática esta configuração.

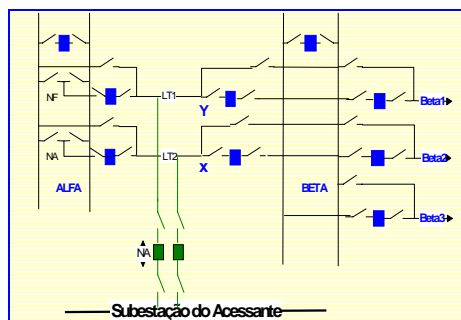


FIGURA8: Conf.7 - Tape Duplo Normal - Reserva

### 5.1.4 Conexão Através de Seccionamento de LT

Neste tipo de conexão foram analisadas duas configurações de seccionamento da linha de transmissão da rede básica. A Figura 9 mostra, de forma esquemática, a configuração composta de dois disjuntores - DJ.

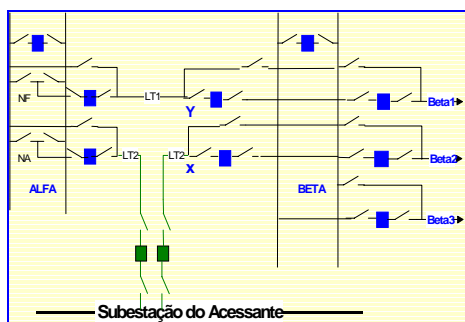


FIGURA9: Conf.3 - Seccionamento com Dois DJ

Já a Figura 10 mostra a forma de conexão utilizando apenas chaves seccionadoras. Ela difere da configuração 9 na forma como a subestação do Acessante é isolada da rede básica, ou seja, por meio de duas chaves.

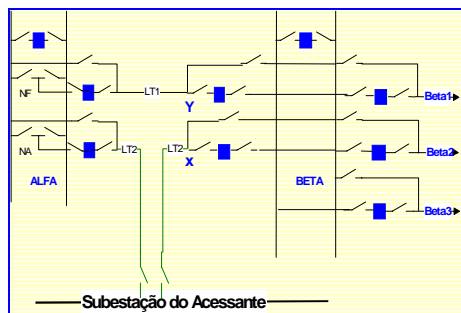


FIGURA 10: Conf.9 - Seccionamento com Duas Chaves

### 5.1.5 Conexão Via Barramento do Transmissor

Neste tipo de conexão foi analisada uma configuração, onde o Acessante é alimentado através do barramento da rede básica com disjuntor (padrão de conexão do transmissor). A Figura 11 mostra esta configuração.

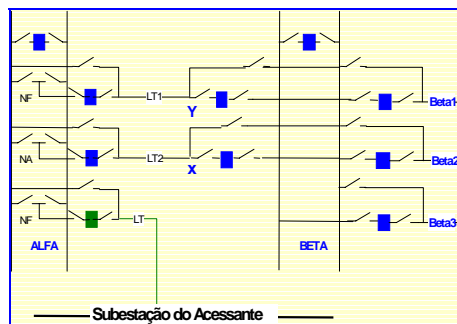


FIGURA 11: Conf.8 - Conexão no Barramento da Rede

## 5.2 Análise dos Índices de Indisponibilidades

Na Tabelas 1 são apresentados os valores dos índices de expectativas de frequência de interrupção e indisponibilidades dos pontos denominados de X e Y, localizados nos finais dos dois circuitos entre as subestações Alfa e Beta e início das entradas de linhas do arranjo barra principal/transferência da subestação Beta, para as configurações ilustradas nas Figuras 2 a 11.

TABELA 1: Índices de Continuidade dos Pontos X e Y

Configuração	$FI_X$ (f/ano)	$U_X$ (h/ano)	$FI_Y$ (f/ano)	$U_Y$ (h/ano)
Conf.1	0,485	7,85	0,261	0,801
Conf.2	0,355	1,020	0,261	0,801
Conf.3	0,454	7,56	0,261	0,801
Conf.4	0,310	0,849	0,261	0,801
Conf.5	0,310	0,849	0,261	0,801
Conf.6	0,310	0,849	0,310	0,849
Conf.7	0,310	0,849	0,261	0,816
Conf.8	<b>0,310</b>	<b>0,832</b>	<b>0,261</b>	<b>0,801</b>
Conf.9	0,358	1,040	0,261	0,801
Conf.10	0,338	1,130	0,261	0,801

## 5.3 Análise das Penalidades por Indisponibilidades

Para todos os arranjos os valores das PB foram estimados em função dos respectivos custos modulares de entrada de linha e de linha de extraídos de [3].

De posse dos índices de indisponibilidades associados a cada tipo de conexão, foram realizados os cálculos das PV e em seguida a obtenção das expectativas de lucros anuais da Transmissora associadas às alternativas.

A Figura 12 apresenta os resultados da análise de expectativas de penalidades anuais associadas às dez alternativas de conexão.

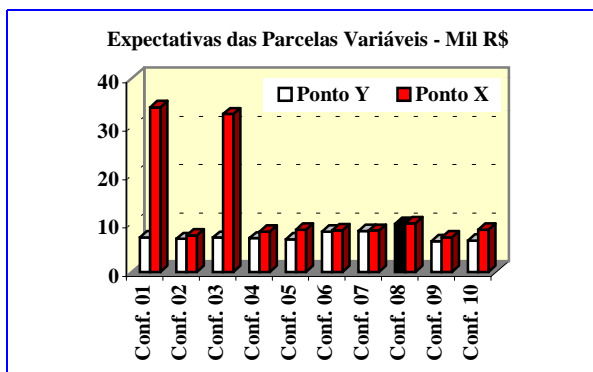


FIGURA 12: Expectativas de Custos das PV

#### 5.4 Análise de Lucro Anual da Transmissora

A Figura 13 apresenta os resultados da análise de expectativas de lucros anuais da transmissora propiciados pela utilização das dez alternativas de conexão.

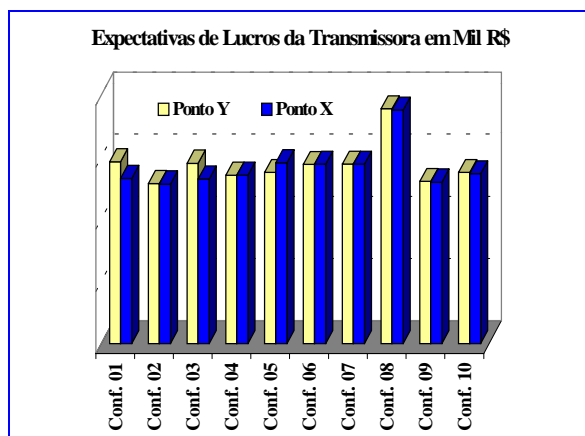


FIGURA 13: Expectativas de Lucros da Transmissora

Desta análise comparativa fica evidente que a configuração de conexão via o barramento Alfa (conf. 8) propicia maior expectativa de lucro para a Transmissora. Vale salientar que os custos anuais associados às alternativas de conexões à rede básica não foram considerados, uma vez que se trata de análises comparativas, e que os referidos custos são proporcionais aos valores das PB das alternativas de conexões contempladas.

#### 6.0 CONCLUSÕES

É apresentada a seguir uma síntese das principais conclusões extraídas das análises efetuadas neste estudo de caso de conexão de um Acessante à rede básica, enfocando os aspectos de viabilidade da metodologia e empresariais.

##### 6.1 Aspectos Metodológicos

Este trabalho mostrou como pode ser feita a interação entre o modelo de avaliação de confiabilidade de

arranjo de subestação com o modelo de avaliação de penalidade estabelecido pela ANEEL.

A viabilidade da metodologia foi demonstrada através de resultados bastante coerentes, onde foi possível formular uma alternativa de conexão à rede básica bastante aderente à nova missão da Transmissora.

O resultado obtido é uma representação realista dos efeitos das indisponibilidades decorrentes das alternativas de conexão para o Acessante, das filosofias e objetivos da Transmissora, oferecendo ao agente de decisão uma ferramenta de auxílio precisa e confiável.

##### 6.2 Aspectos Empresariais

A CHESF deverá aproveitar o máximo seu amplo conhecimento da região Nordeste e do seu sistema elétrico, com 17.000 km de linhas de transmissão e 85 instalações. Este conhecimento se constitui em uma importante base de dados técnica, a qual, juntamente com um ferramental de análise e de simulação do sistema, constituem-se em um diferencial para a futura Transmissora.

#### 7.0 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões de trabalhos futuros vislumbra-se o desenvolvimento de modelos sob medida para:

- Avaliação e gerenciamento de risco incorrido pela Transmissora diante das penalidades;
- Avaliação das penalidades, considerando as incertezas inerentes aos valores de taxas de falhas e tempos de reparo e manutenção.

#### 8.0 BIBLIOGRAFIA

- [1] Barros, J. R. P.; Jesus, V. S.; Moura, J. J.: "Análise de Desempenho dos Arranjos Disjuntor e Meio, Barra Dupla, Principal/Transferência e Barra Simples, Sob o Enfoque de Confiabilidade". XI SNPTEE, Rio de Janeiro, 1991;
- [2] Eletrosul: "Modelo Computacional CST – Confiabilidade de Sistemas de Transmissão, Metodologia de Cálculo de Índices de Confiabilidade de Subestações", 1985;
- [3] Eletrobrás: "Referências de Custos de Linhas de Transmissão e Subestações". Dezembro/1997;
- [4] Barros, J. R. P. B.; Andrade, V. S.: "Um método Eficiente para Obtenção dos Índices de Confiabilidade de Arranjos de Subestações". VII ERLAC, P. Iguazú – Argentina, Mayo 1997;
- [5] Mendes, D. P.; Melo, A. C. G.; Pereira, J. L. R.: "Subtransmission Systems Reliability Evaluation Including Substation Originated Failures". 4<sup>th</sup> PMAPS, RJ – Brasil, September 1994;
- [6] Barros, J. R. P.; Andrade, V. S.: "Requisitos Técnicos para Conexão de Acessantes em Derivação à Rede Básica". VII SEPOPE, Curitiba - Paraná, 2000