



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

GSE - 02
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO VIII
GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS - GSE**

**DISJUNTOR E MEIO MODIFICADO: UMA ALTERNATIVA AO ARRANJO BARRA DUPLA A QUATRO
CHAVES PARA SUBESTAÇÕES EM 230 KV DA REDE BÁSICA**

Fabio Nepomuceno Fraga *

José de Moraes Melo Junior

CHESF

SE.AT

RESUMO

O presente trabalho apresentará um arranjo alternativo ao arranjo mínimo (barra dupla a quatro chaves), atualmente exigido, nos Procedimentos de Rede (submódulo 2.3) para subestações em 230 kV da Rede Básica. O arranjo sugerido é uma configuração em disjuntor e meio que apresenta modificações nas conexões dos pontos de carga. As modificações sugeridas tornam a configuração em disjuntor e meio atrativa para utilização em subestações de 230 kV da Rede Básica, quando avaliamos os aspectos que dizem respeito a confiabilidade da configuração e o investimento em equipamentos, nas várias etapas de evolução de uma subestação. Outro aspecto relevante do arranjo sugerido diz respeito a expectativa de lucro da empresa de transmissão uma vez que, como a configuração proposta apresenta índices de indisponibilidade inferiores ao arranjo barra dupla a quatro chaves, as penalidades devidas a parcela variável serão reduzidas.

PALAVRAS-CHAVE

Subestações, Configurações de Barra, Confiabilidade

1.0 - INTRODUÇÃO

Ao longo da última década tem ocorrido grandes mudanças no setor elétrico mundial, talvez as maiores ocorridas na sua história, já centenária. Dentro deste quadro chama atenção uma mudança de paradigmas envolvendo o conceito de risco. Passa-se de uma situação de aversão ao risco para uma nova condição de, continuamente, avaliar e assumir riscos. Dentre estes riscos destacam-se dois novos. Em uma ponta, o risco de se perder o consumidor insatisfeito (consumidor não mais cativo), a não venda, e na outra extremidade o não atendimento às expectativas de remuneração do(s) investidor(es) no negócio.

Este novo cenário do setor elétrico mundial está repercutindo de uma forma muito direta na forma de planejar, projetar, operar e manter o sistema elétrico como um todo e as subestações em particular. Nestes termos, é desejado que as subestações estejam continuamente disponíveis. Infelizmente, isso não é fisicamente e economicamente viável, devido ao conjunto de incertezas e aleatoriedades presentes, em geral, fora do controle dos engenheiros responsáveis pela operação destas.

* Rua Delmiro Gouveia, N^o 333, Ed. André Falcão - DEPS - Bloco D - Sala 218 - Bongi - Recife - CEP: 50761-901
- PE - BRASIL - Tel.: (081) 3229.3042 - Fax: (081)3229.3269 - e-mail: fabionf@chesf.gov.br

A probabilidade das instalações encontrarem-se indisponíveis pode ser reduzida com o investimento de recursos durante a fase de operação, planejamento ou ambas. Entretanto, sobreinvestimentos podem levar a custos operacionais excessivos. Por outro lado, subinvestimentos levam à situação oposta, na qual a confiabilidade da instalação torna-se inadequada. É evidente portanto que as restrições econômicas e qualitativas são competitivas e uma situação de equilíbrio é sempre buscada. Assim sendo o estudo das diversas configurações das subestações e de seus índices de confiabilidade vem tornando-se um parâmetro cada vez mais importante para a disponibilidade do sistema elétrico.

Neste sentido apresentaremos uma configuração alternativa ao arranjo mínimo (barra dupla a quatro chaves), atualmente exigido, nos Procedimentos de Rede (submódulo 2.3) para subestações em 230 kV da Rede Básica onde, quando avaliamos os aspectos que dizem respeito a confiabilidade da configuração e o investimento em equipamentos, a configuração apresenta-se atrativa para as empresas de transmissão.

2.0 - A CONFIGURAÇÃO DISJUNTOR E MEIO MODIFICADO PROPOSTA

Com o objetivo de propor um arranjo alternativo ao arranjo mínimo (barra dupla a quatro chaves), atualmente exigido, nos Procedimentos de Rede para subestações em 230 kV da Rede Básica, apresentamos um arranjo disjuntor e meio com algumas modificações nas conexões dos pontos de carga.

A conexão de um ponto de carga em cada barramento com a utilização de chaves seccionadoras, operando normalmente abertas, servindo como "by-pass" dos barramentos, para alimentação dos pontos de carga conectados diretamente nos barramentos, pelos disjuntores mais próximos são as modificações sugeridas na configuração disjuntor e meio proposta, conforme destacado na

FIGURA 1.

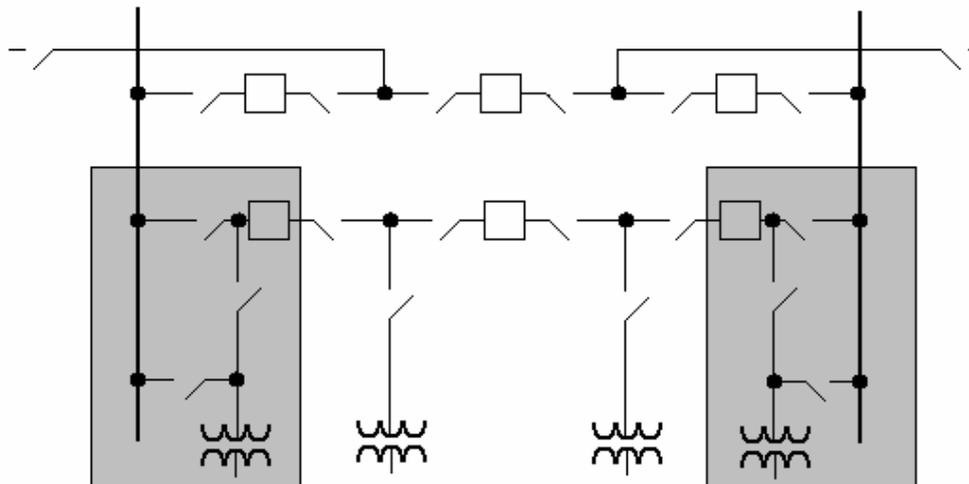


FIGURA 1 - Diagrama unifilar da configuração disjuntor e meio proposta

A figura 2 abaixo mostra o arranjo eletromecânico desenvolvido, utilizando apenas equipamentos convencionais, para a área destacada na

FIGURA 1.

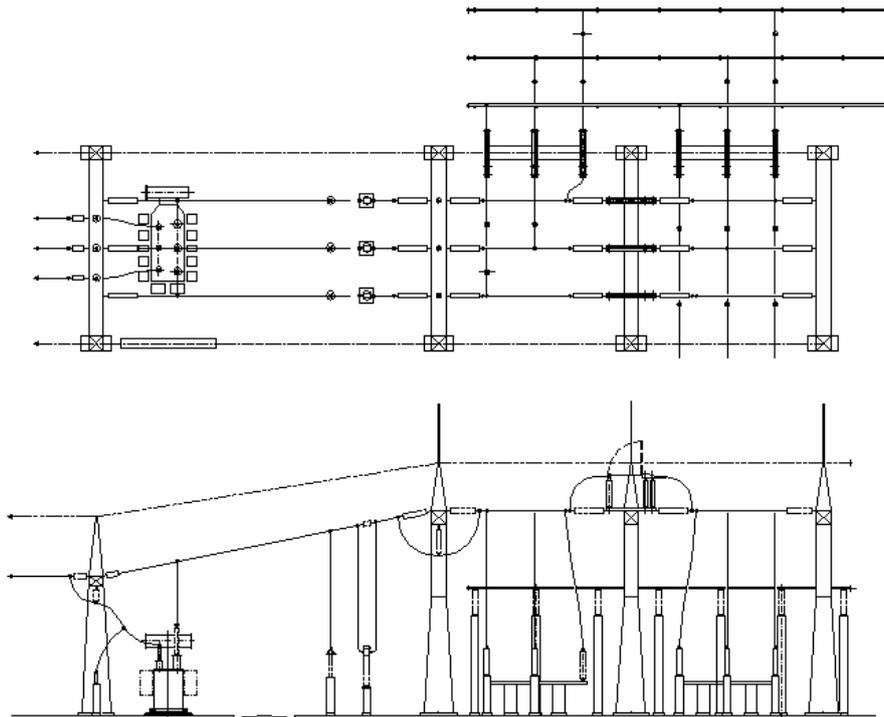


FIGURA 2 - Arranjo Eletromecânico da configuração disjuntor e meio proposta

Estas modificações sugeridas na

FIGURA 1, juntamente com a utilização de apenas três transformadores de corrente na célula de interligação de barras e a maior confiabilidade inerente à configuração tornam o arranjo disjuntor e meio proposto atrativo para utilização em subestações de 230 kV da Rede Básica como mostraremos nas próximas seções.

3.0 - CUSTOS COM INVESTIMENTO EM EQUIPAMENTOS NAS CONFIGURAÇÕES

Um método simplificado para comparar o custo de configurações distintas consiste em atribuir um valor de 1,0 p.u. aos preços dos disjuntores e referenciar os demais equipamentos ao mesmo. Assim, por exemplo, caso se queira comparar uma subestação com 8 circuitos nas configurações de barra dupla a três chaves e disjuntor e meio (levando em conta apenas os disjuntores e as chaves seccionadoras e considerando o preço da chave igual a 0,2 p.u.), se procede da seguinte forma:

TABELA 1 - Exemplo de Aplicação do Método para Comparar Custos

Arranjo	Quantidades		Custo
	Disjuntor	Chave	
Barra Dupla	9	26	$9 \times 1 + 26 \times 0,2 = 14,2$
Disjuntor e Meio	12	32	$12 \times 1 + 32 \times 0,2 = 18,4$

Para as comparações realizadas a seguir os custos dos equipamentos da configuração foram estimados em função dos custos modulares da Eletrobrás. A base de custo tomada como referência foi preço de um disjuntor de 230 kV a partir do qual a TABELA 2 foi construída.

TABELA 2- Custo dos Equipamentos em p.u.

Equipamento	Custo em p.u.
Disjuntor	1
Chave Seccionadora	0,125
Transformado de Corrente	0,17
Transformador de Potencial	0,198
Pára-raios	0,056

As comparações serão realizadas em quatro etapas distintas da evolução de cada uma das configurações da subestação (evolução típica das subestações de 230 kV da CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco), a FIGURA 3 apresenta o diagrama unifilar da etapa 4:

- Etapa 1 - duas fontes de alimentação e dois pontos de carga (F1, F2, PC1 e PC2);
- Etapa 2 - duas fontes de alimentação e três pontos de carga (F1, F2, PC1 a PC3);
- Etapa 3 - duas fontes de alimentação e quatro pontos de carga (F1, F2, PC1 a PC4);
- Etapa 4 - quatro fontes de alimentação e quatro pontos de carga (F1, F2, F3, F4, PC1 a PC4).

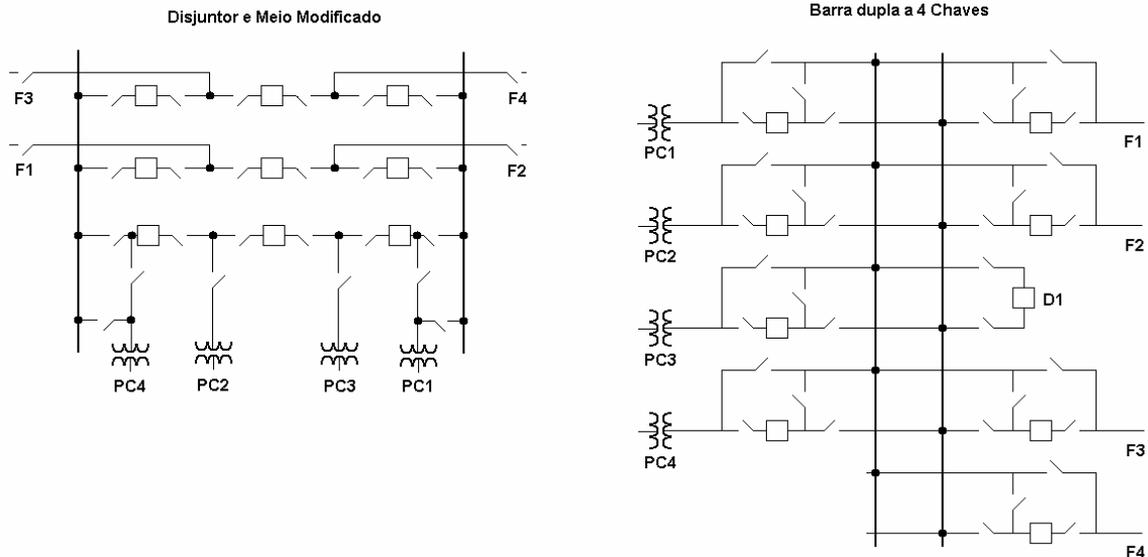


FIGURA 3 - Diagrama unifilar da etapa 4 para as configurações barra dupla a quatro chaves e disjuntor e meio

A partir dos dados mostrados na TABELA 2 foram calculados os investimentos totais para cada etapa de evolução para a configuração disjuntor e meio modificado (D1/2M) e para a configuração barra dupla a quatro chaves (BD4CH). A

FIGURA 4 apresenta um gráfico comparativo dos investimentos entre as configurações supra citadas.

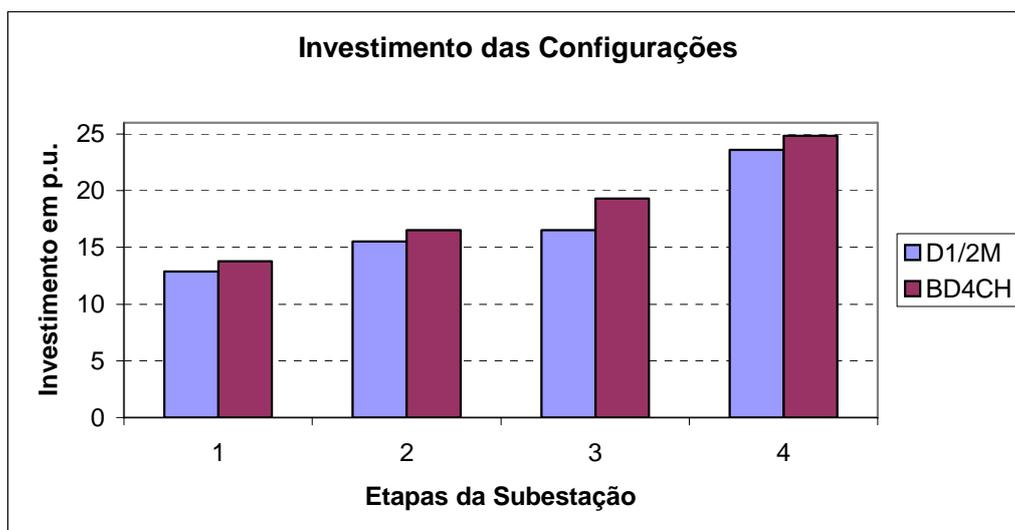


FIGURA 4 - Comparação dos Investimentos por Etapa

Como podemos observar no gráfico da FIGURA 4, em todas as etapas previstas para a evolução da subestação, o arranjo disjuntor e meio modificado proposto apresentou um custo menor sobretudo na etapa 3, onde temos um custo 16,76% inferior ao arranjo barra dupla a quatro chaves. O custo inferior apresentado pelo arranjo disjuntor e meio modificado deve-se ao número menor de chaves empregadas por célula e aos equipamentos empregados na célula de interligação de barras do arranjo barra dupla a quatro chaves.

4.0 - ÍNDICES DE CONFIABILIDADE DAS CONFIGURAÇÕES

Para cada uma das etapas de evolução da subestação descritas na seção 3.0 foram calculados os índices de confiabilidade por ponto de carga, traduzidos em termos de frequência de interrupção (F - falhas/ano), duração média de interrupção (D - horas) e indisponibilidade (U - hora/ano), associados a cada uma das configurações para eventos não programados. Foram utilizados os dados estocásticos da TABELA 3.

TABELA 3 - Dados Estocásticos dos Equipamentos 230 kV

Equipamentos	Falhas Passivas		Falhas Ativas			
	λ^P	r	λ^A	S	t_c	p
Barramento	0,028	9,9	0,028	3,0	-	-
Disjuntor	0,045	72	0,045	0,5	-	0,005
Chave Sec.	0,003	6	0,003	3,0	0,5	-
T. Corrente	0,0054	12	0,0054	0,5	-	-

Onde:

- λ^P - taxa de falhas passivas (falhas/ano)
- r - tempo médio de interrupção de uma falha passiva, tempo de reparo (horas);
- λ^A - taxa de falhas ativas (falhas/ano)
- S - tempo necessário para isolamento do componente e religamento dos elementos sadios (horas)
- t_c - tempo de chaveamento (horas)
- p - probabilidade de disjuntor preso

Os gráficos das
FIGURA 5,
FIGURA 6 e

FIGURA 7 apresentam a frequência de interrupção, a duração média de interrupção e a indisponibilidade, por ponto de carga, para as quatro etapas da evolução da subestação.

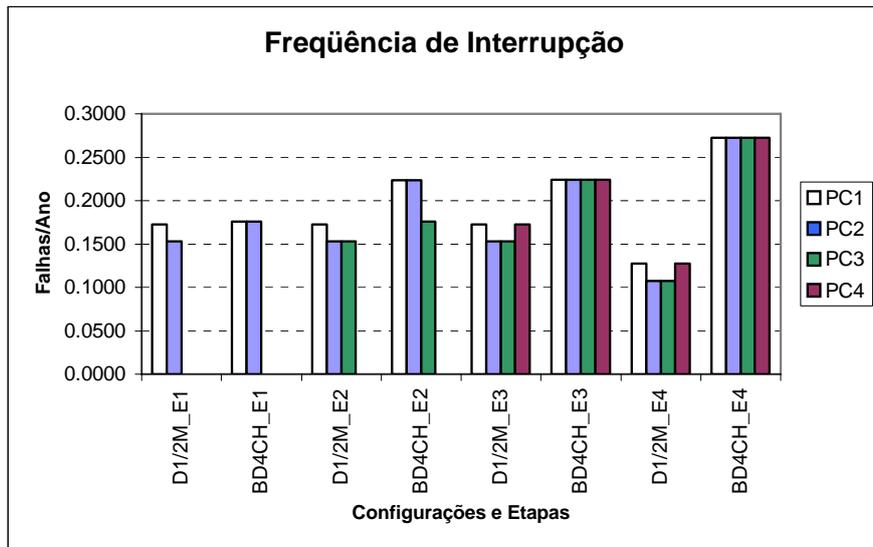


FIGURA 5 - Frequência de Interrupção (falhas/ano)

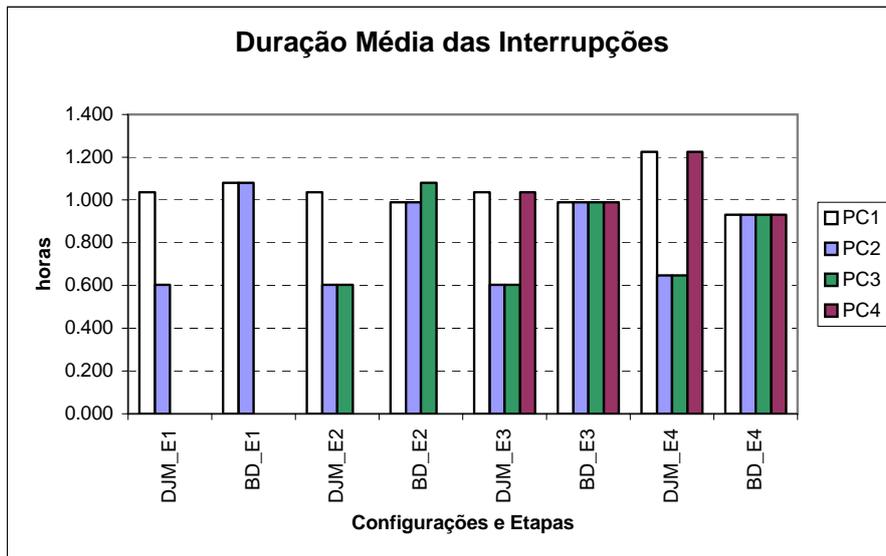


FIGURA 6 - Duração Média de Interrupção (Horas)

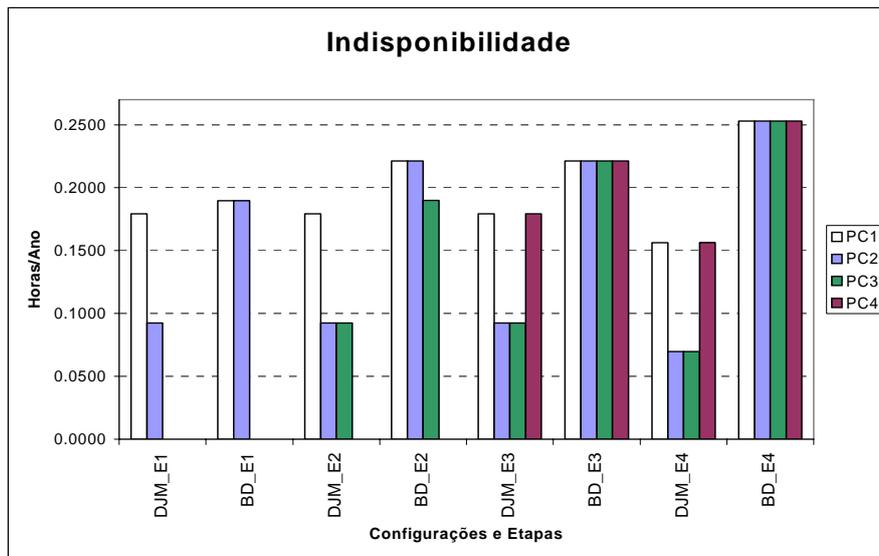


FIGURA 7 - Indisponibilidade (hora/ano)

Onde:

- DJM_Ei - Configuração disjuntor e meio proposta na etapa i
- BD_Ei - Configuração barra dupla a quatro chaves na etapa i
- PCi - Ponto de carga i

A análise dos gráficos das
FIGURA 5,
FIGURA 6 e

FIGURA 7 mostram que o arranjo disjuntor e meio modificado proposto apresentou índices de confiabilidade sensivelmente melhores que os apresentados no arranjo barra dupla a quatro chaves em todas as etapas da evolução da subestação. A etapa 4 apresentou os melhores resultados do arranjo proposto no que diz respeito ao desempenho dos índices de confiabilidade chegando a apresentar indisponibilidade 53,12% menor nos pontos de carga diretamente ligados a barra (PC1 e PC4) e 60,47% menor nos demais pontos carga (PC2 e PC3) quando comparados aos índices do arranjo barra dupla a quatro chaves.

5.0 - IMPACTO NO LUCRO DAS EMPRESAS DE TRANSMISSÃO

De acordo com o CPST (Contrato de Prestação de Serviço de Transmissão), as empresas de transmissão poderão ter suas receitas anuais descontadas do valor total da parcela variável (penalidade por indisponibilidade), de modo a refletir a efetiva disponibilidade das instalações de transmissão. Considerando estas definições a avaliação do lucro anual das empresas de transmissão pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$LA = RA - (PV+CA) \quad [1]$$

Onde:

- LA - Lucro anual da transmissora;
- RA - Receita anual da transmissora;
- CA - Custo anual, incluindo operação, manutenção, amortização do investimento, etc.;
- PV - Parcela variável (penalidade por indisponibilidade).

Esta expressão mostra que a expectativa de lucro anual das empresas de transmissão depende dos índices de indisponibilidade programada e não programadas (PV), com isso surge a necessidade de reduzir os custos decorrentes das penalidades por indisponibilidade, de modo a maximizar o lucro anual da transmissora.

Neste sentido a configuração em disjuntor e meio proposta apresenta, em todas as etapas de evolução das configurações estudadas, índices de indisponibilidade sensivelmente melhores que os apresentados na configuração barra dupla a quatro chaves.

Com o objetivo de exemplificar o impacto das configurações estudadas na parcela variável e tomando como base a receita anual permitida (RAP), autorizada para CHESF, pela ANEEL através da resolução 148, de 16 de abril de 2004 e as indisponibilidades não programadas calculadas na seção 4.0, podemos calcular o valor da parcela variável anual, para cada etapa de evolução das subestações conforme mostrado na seção 3.0. Os valores calculados estão apresentados na FIGURA 8.

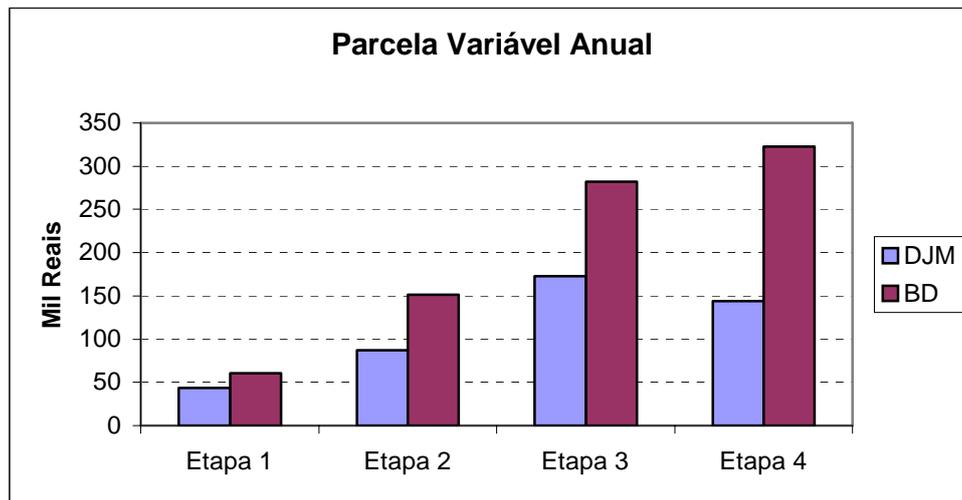


FIGURA 8 - Parcela Variável

A FIGURA 8 nos mostra que, a medida que a subestação evolui, a diferença entre os valores de parcela variável entre as configurações vai aumentando chegando, na configuração disjuntor e meio proposta, a apresentar um valor 55,33 % menor que a configuração barra dupla a quatro chaves .

Outro ponto a destacar é que, como os investimentos iniciais em equipamentos na configuração em disjuntor e meio proposta apresentam-se inferiores, os custos de amortização do investimento tornam-se menores. Desta forma a configuração em disjuntor e meio proposta atua reduzindo também a CA melhorado assim a expectativa de lucro anual da transmissora conforme mostrado na Equação [1].

6.0 - CONCLUSÕES

De acordo com o apresentado, o arranjo disjuntor e meio proposto, apresenta-se como uma alternativa de configuração para subestações de 230 kV da Rede Básica em que o investimento em equipamentos e a indisponibilidade da instalação apresentam-se sensivelmente mais atraentes para a empresa de transmissão quando comparado com o arranjo barra dupla a quatro chaves.

Um outro aspecto relevante do arranjo sugerido diz respeito ao aumento da expectativa de lucro da empresa de transmissão uma vez que, como o arranjo proposto apresenta índices de indisponibilidade inferiores ao arranjo barra dupla a quatro chaves, as penalidades devidas a parcela variável serão reduzidas aumentando assim o lucro anual das transmissoras.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Barros, J. R. P., Andrade, V.S. Método Analítico para Simulação e Análise de Confiabilidade de Arranjos de Subestação, XVI SNPTE - Campinas, Outubro, 2001;
- (2) Barros, J. R. P., Andrade, V.S. Análise de Desempenho dos Arranjos Disjuntor e Meio, Barra Dupla, Principal/Transferência e Barra Simples, Sob o Enfoque de Confiabilidade; XI SNPTE - Rio de Janeiro, 1991;

- (3) Barros, J. R. P. Requisitos Técnicos para Conexão de Acessantes em Derivação à Rede Básica de Transmissão e Impacto na Parcela Variável, XVI SNPTE - Campinas, Outubro, 2001;
- (4) Fraga, F. N. Desenvolvimento de um Modelo Computacional para Análise de Confiabilidade de Arranjos de Subestações, Monografia UFPE - Recife, 2003;
- (5) Eletrosul.- Modelo Computacional CST, Confiabilidade de Sistemas de Transmissão - Metodologia de Cálculo de Índices de Confiabilidade de Subestações, 1985;
- (6) Eletrobrás. Referência de Custos de Linhas de Transmissão e Subestações, Julho, 1999;
- (7) ONS, Procedimentos de Rede - Módulo 2 - Padrões de Desempenho da Rede Básica e Requisitos Mínimos para Suas Instalações - Submódulo 2.3 - Requisitos Mínimos para Subestações e Equipamentos Associados, Revisão 1, 2002;
- (8) Billinton, R. , Generalised computational method for reliability analysis os eletric power installations, IEE Proceedings, Vol 125, No. 1, January 1978;
- (9) ENERGY CHOICE Engenharia e Representações, Nota Técnica - Configurações de Barras para Subestações da Rede Básica - Versão Final, Maio, 2000;