

XV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - SENDI 2002

Estudo de Flexibilização/Otimização dos Alimentadores da Área Metropolitana de São Luís

J. C. A. Nascimento – CEMAR, L. F. L. Viana – CEMAR, M. A. F. Sá – CEMAR, Y. S. J. P. França – CEMAR, H. B. Nascimento e S. D. P. González – PPL Latinoamérica

COMPANHIA ENERGÉTICA DO MARANHÃO - CEMAR

E-mail: jose.carlos@cecar-ma.com.br

Palavras-chave – Alimentadores, Flexibilização, Planejamento Elétrico, Software de Otimização.

Resumo - O Estudo de Flexibilização/Otimização dos Alimentadores da Área Metropolitana de São Luís foi elaborado para impactar com resultados significativos não só a melhoria na qualidade e continuidade dos serviços prestados pela Empresa à comunidade, bem como permitir uma redução no índice de perdas técnicas do Sistema Elétrico de São Luís.

Este estudo se propõe a determinar o ponto de equilíbrio, custo x benefício, para justificar os investimentos da Empresa na flexibilização de seu sistema. Elenca-se abaixo os principais ganhos na implementação do modelo:

Redução nos índices operacionais DEC¹;

Melhoria na confiabilidade do sistema;

Menor probabilidade da empresa sofrer as multas aplicadas pela ANEEL²;

Diminuição das perdas técnicas na rede elétrica de média tensão de São Luís;

Liberação de potência implicando na postergação de investimento na ampliação da rede.

1. INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico de São Luís é radial e rígido sob a ótica operacional e apresenta alto índice de perda de energia devido ao longo tempo empregado no restabelecimento de uma falha.

Uma rede com essas características, entretanto, pode ser adaptada para um modelo ótimo de operação e flexibilização com a instalação de equipamentos de proteção bidirecionais.

O objetivo foi apresentar um modelo de sistema otimizado, com grande flexibilidade operacional e perfeitamente adaptado à rede de São Luís.

Foi definida a utilização do Software Windmil³ que é uma ferramenta direcionada ao Planejamento da Engenharia de Distribuição Elétrica, para modelagem e análise em qualquer nível de tensão, sistema radial ou anel.

2. METODOLOGIA DO ESTUDO

A execução da metodologia proposta possibilitou determinar as características e condições atuais de operação do sistema elétrico de distribuição da Área Metropolitana de São Luís, a fim de estabelecer um valor de demanda máxima que numa dada contingência admitisse deixar fora de operação.

2.1. Definição de PkLk

PkLk [1], por definição, é o máximo valor de demanda (KW*KM) que admite-se perder em caso de contingência e se representa pela equação (1):

$$P_k * L_k = \frac{r * C}{C_f * \tau} \quad (1)$$

Onde:

PkLk Valor de KW*KM admissível de perder numa falha;

r Fator de recuperação de capital $r = \frac{i * (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$

C Custo do equipamento de proteção;

C_f Custo de falha;

τ Probabilidade de falha.

O objetivo é determinar um critério geral sobre a quantidade de equipamentos de proteção bidirecional necessários para flexibilização, o local da sua instalação e as interconexões entre os alimentadores.

2.1.1. Determinação do Custo de Falha

Esta análise constituiu-se do levantamento do Custo de Falha nos Alimentadores de São Luís no período de janeiro a dezembro de 2000, ou seja através de dados como - tempo gasto para atendimento da ocorrência, materiais necessários para a correção do defeito nos alimentadores, custo de homem x hora, veículos, número de interrupções, duração da interrupção e energia interrompida (MWh) - chegou-se a estimar o custo de falha para a Área Metropolitana de São Luís, conforme equação (2):

¹ Duração Equivalente por consumidor

² Agência Nacional de Energia Elétrica

³ Milsoft Integrated Solutions, Inc

$$C_f = \frac{\sum Gfa \text{ R\$}}{ENVa \text{ kWh}} \quad (2)$$

Onde:

C_f	Custo de falha
Gfa	Gastos anuais na falha
$ENVa$	Energia não Vendida Anual

A tabela 1 mostra os resultados obtidos:

TABELA I
CUSTO DE FALHA ALIMENTADORES DE SÃO LUÍS

Veículo e gasto com pessoal	R\$	1.530.474,00
Margem ⁴	R\$	273.739,00
Custo reparação da falha (Anual)	R\$	801.321,00
Multa (não considerada)	R\$	0
TOTAL GASTOS	R\$	2.605.534,00
Energia não vendida	kWh	2.975.420

Custo de Falha	R\$/kWh	0,88
----------------	---------	------

2.1.2. Probabilidade de falha por km nos alimentadores de São Luís

A probabilidade de falha dos alimentadores de São Luís foi determinada considerando a extensão dos troncos dos alimentadores em Km e o número de horas de Energia interrompida no período de um ano, tanto por falha quanto por manutenção do sistema.

A Área Metropolitana de São Luís possui 48 alimentadores distribuídos por 9 subestações com 343,83 km de troncos de linhas e segundo o levantamento realizado o sistema ficou fora de operação por 1999,76 horas com energia interrompida no decorrer de todo o ano pesquisado. Da equação (3) chegou-se ao seguinte resultado:

$$\tau = \frac{T_{td}}{l_T} \cdot \frac{(h)}{(km)} \quad (3)$$

Onde:

τ	Probabilidade de falha
T_{td}	Tempo total de desligamento
l_T	Extensão dos troncos dos alimentadores

$$\tau = 5,82 \text{ horas /Km}$$

2.1.3. Cálculo de PkLk

De posse do custo e probabilidade de falha do sistema, além dos custos em equipamentos de proteção bidirecionais e do fator de recuperação de capital, utilizando-se a equação (1) calculou-se o PkLk, ou seja, os KW*KM de perdas admitidas quando da ocorrência de uma falha chegando-se ao seguinte valor:

$$PkLk = 1.921 \text{ (Kw * Km)}$$

2.1.4. Cálculo do número de equipamentos de proteção necessários

A partir do valor de PkLk definido pode-se então calcular a quantidade de equipamentos de proteção que deverão ser distribuídos ao longo da rede elétrica. Isto é possível através da equação (4):

$$N = \sqrt{\frac{Dm * Km_T}{P_k * L_k}} \quad (4)$$

Onde:

N	Nº de equipamentos
Dm	Demanda média do sistema São luís
Km_T	Extensão total do tronco dos Alimentadores

Considerando a demanda média do sistema elétrico de São Luís como 129,5 MW e a extensão total dos troncos dos alimentadores 344 km, obtém-se:

$$N = 152,$$

significando o número de equipamentos necessários para garantir a máxima potência que a empresa admite perder durante uma falha (PkLk). Contudo, este número é referencial podendo apresentar variações de acordo com as características do sistema.

3. ESTUDO DA CONFIGURAÇÃO ÓTIMA DA REDE PARA OPERAR A MÍNIMA PERDA

O sistema elétrico da rede de média tensão da Área Metropolitana de São Luís, em sua configuração atual, imputa ao sistema um montante de perdas elevado tendo em vista que o traçado dos alimentadores não observou um planejamento prévio que apontasse o caminho ideal para atendimento à demanda e a inexistência de bancos de capacitores na rede para regular o fluxo de potência reativa.

Tendo em vista o diagnóstico apresentado considerou-se para a redução das perdas técnicas em média tensão duas etapas:

3.1. Otimização dos Alimentadores

Nesta etapa utilizou-se WindMil da Milsoft [2] que simulou os quarenta e oito alimentadores de São Luís ao mesmo tempo, utilizando o algoritmo "Optimization Feeder", o qual permite que sistema tipicamente radial seja convertido num excelente modelo entrelaçado com fechamento de chaves existentes e abertura de circuitos a fim de propiciar o melhor caminho para atendimento a demanda.

O estudo gerou os seguintes dados:

Perdas kW antes da Otimização
7.310,71

⁴ Refere-se ao Lucro bruto x Energia não vendida

Perdas kW após Otimização
6.313,51

Redução de Perdas kW
997,20

3.2. Instalação de Capacitores

A instalação de Banco de Capacitores foi simulada mediante WindMil da Milsoft através do algoritmo “Capacitor Placement”, o qual define qual a instalação ótima dos bancos de capacitores. Nesta etapa utilizou-se o fator de potência dos alimentadores observados na carga máxima e mínima. Com esta injeção de potência reativa no sistema de média tensão chegou-se a uma economia de perdas em torno de 2.000 kW.

Esse é o resultado considerando a instalação de 43% de capacitores fixos no ano I e 57% de capacitores automáticos no ano II. Os bancos a serem instalados deverão ser de 600 kVAr [3].

O outro benefício adicional com a instalação de bancos de capacitores para o sistema é a liberação de potência aparente, isto permite uma folga em investimento por crescimento do sistema elétrico.

4. ADEQUAÇÃO DO SISTEMA SÃO LUÍS AO PROJETO

Para implementação do projeto em campo, elaborou-se um Módulo Operacional, que detalha as alterações a serem executadas no sistema atual, tais como:

4.1. Modificação do Status atual das chaves

Consistiu em identificar as chaves que tiveram seus status alterados ou que, devido a transferência de carga, passaram a pertencer a outro alimentador.

4.2. Abertura de circuito com instalação de chaves

No processo da otimização alguns trechos de alimentadores foram abertos em função da transferência de carga, fazendo-se necessária a definição da instalação de novas chaves NA. Nesta etapa foram identificadas em campo a localização das novas chaves.

4.3. Instalação/Localização de bancos de capacitores automáticos e fixos

Em função da curva de carga do sistema, definiu-se a instalação/localização de bancos de capacitores fixos e automáticos, evitando-se assim sobretensão no período de carga leve e mínima. A tabela II mostra a quantidade de bancos previstos.

TABELA II

INSTALAÇÃO DE BANCOS DE CAPACITORES

Bancos de Capacitores	Quantidades
Fixos	56
Automáticos	73

4.4. Definição dos TAP's dos transformadores de força

Em função da nova configuração do sistema foram necessários ajustes nos Tap's dos transformadores de força de algumas subestações.

4.5. Instalação/Localização dos novos religadores bidirecionais

Aplicando o conceito do PkLk em cada alimentador, definiu-se o local da instalação dos religadores bidirecionais.

4.6. Definição de obras para o horizonte de 5 (cinco) anos

Considerando o crescimento por zona (subestação) definiu-se o programa de obras necessário adaptado a nova configuração do sistema.

5. CONCLUSÕES DO ESTUDO

5.1. Impacto no Índice de Qualidade de Serviço – DEC

No primeiro ano da implementação do projeto será observada uma redução gradativa no DEC; para o segundo ano da implementação será constatado a redução total do índice previsto. Ver figura I.

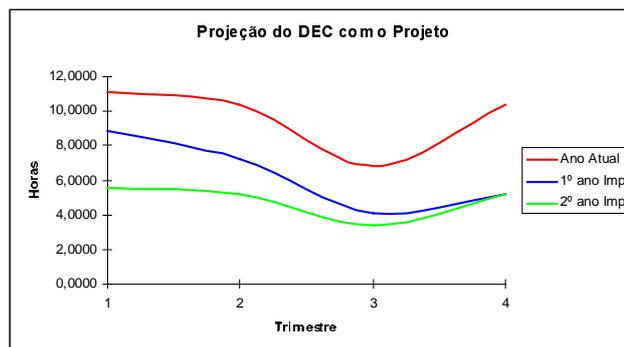


FIGURA I

PROJEÇÃO DO DEC COM O PROJETO

A CEMAR tem o expressivo número de mais um milhão de clientes, distribuídos em 215 municípios, sendo que só o conjunto São Luís com 4 municípios: São Luís, São José de Ribamar, Raposa e Paço do Lumiar, representa 30% desse universo.

O projeto garantirá a redução dos blocos de potência que ficam fora de operação e conseqüentemente a melhoria na continuidade do fornecimento de energia, para essa significativa parcela de clientes.

5.2. Impacto nas Perdas Técnicas

A implementação deste projeto trará uma significativa redução nas perdas técnicas que atualmente ocorrem no sistema de média tensão de São Luís. A tabela III mostra a economia de perdas com a execução do projeto:

TABELA III
ECONOMIA DE PERDAS COM O PROJETO

Economia em Perdas	Redução de Perdas (kWh/ano)	Redução de Perdas (%/ano)	Economia na Compra (R\$/kWh)
Otimização/BC	19.179.595,26	0,6358	786.363,41

5.3. Avaliação Econômica

A Avaliação Econômica do Projeto mostra que o mesmo terá em 02 (dois) anos, o retorno do investimento total aplicado. A tabela IV mostra o resultado da avaliação econômica:

TABELA IV
RESULTADO DA AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Taxa de Desconto	12,5 %
VPL	3.936,77
TIR	35 %

5.4. Comentário Final

A CEMAR, como uma Empresa em busca de reconhecimento no Cenário Nacional, definiu ataque às perdas globais e melhoria na qualidade de serviço como duas de suas principais prioridades para atingir sua meta.

O Estudo de Flexibilização/Otimização dos Alimentadores da Área Metropolitana de São Luís foi elaborado para impactar com resultados significativos não só a melhoria na qualidade e continuidade dos serviços prestados pela Empresa à comunidade, bem como permitir uma redução no índice de perdas técnicas do Sistema Elétrico.

As figuras (II) e (III) ilustram, respectivamente, os diagramas simplificados da Área Metropolitana de São Luís, para o caso base e otimizado com bancos de capacitores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Estudio de Optimización para Operar a Mínima Pérdida de Potencia y a Mínima Potencia de Falla, DELSUR, PPL Latinoamérica, 1998.
- [2] Engineering Methods, WindMil, Milsoft Inegrated Solution, Inc. 2000.
- [3] Cipoli, J. A. "Engenharia de Distribuição". Qualitymark Editora Ltda. Rio de Janeiro. 1993.

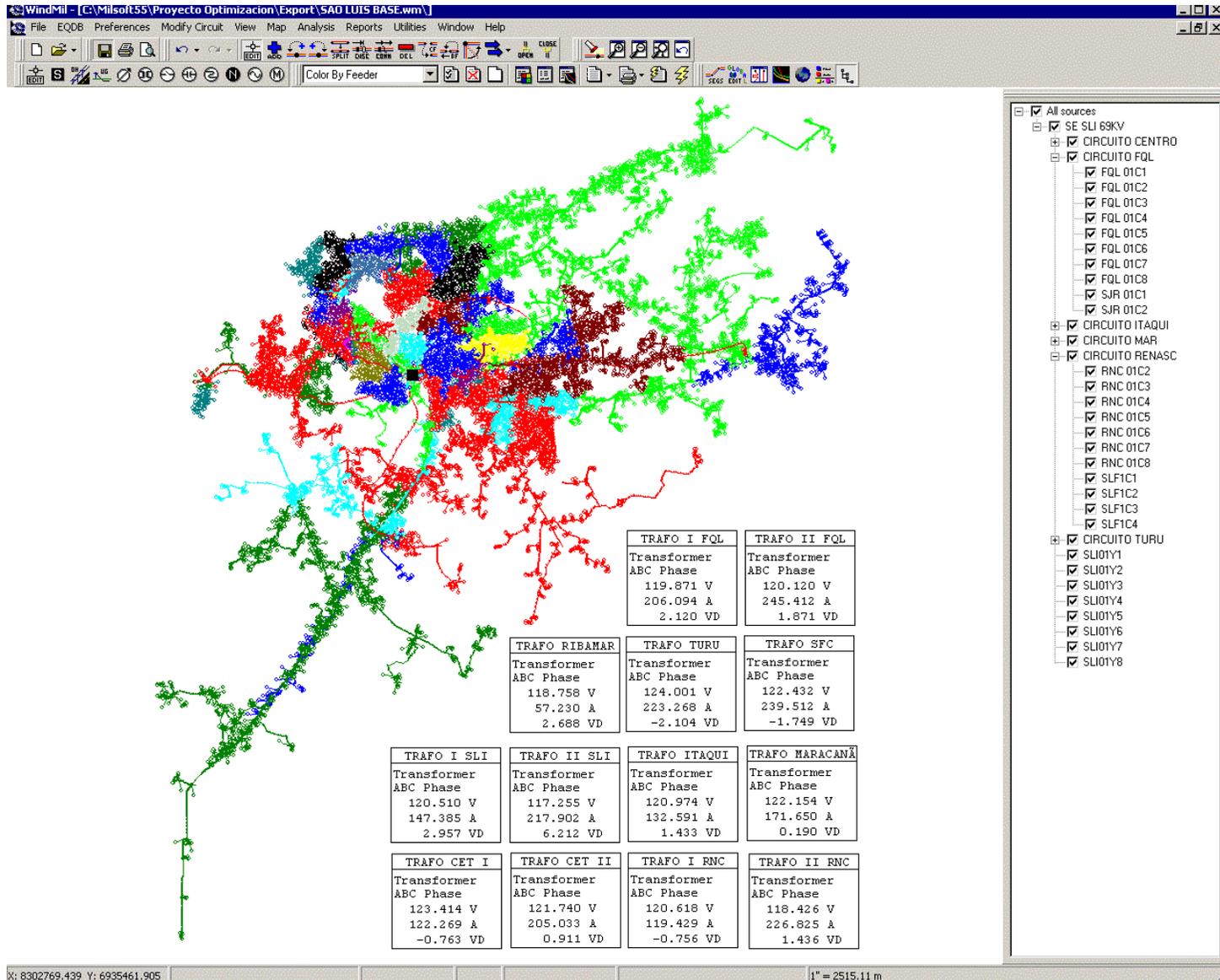


FIGURA II

DIAGRAMA SIMPLIFICADO ÁREA METROPOLITANA DE SÃO LUÍS - CASO BASE

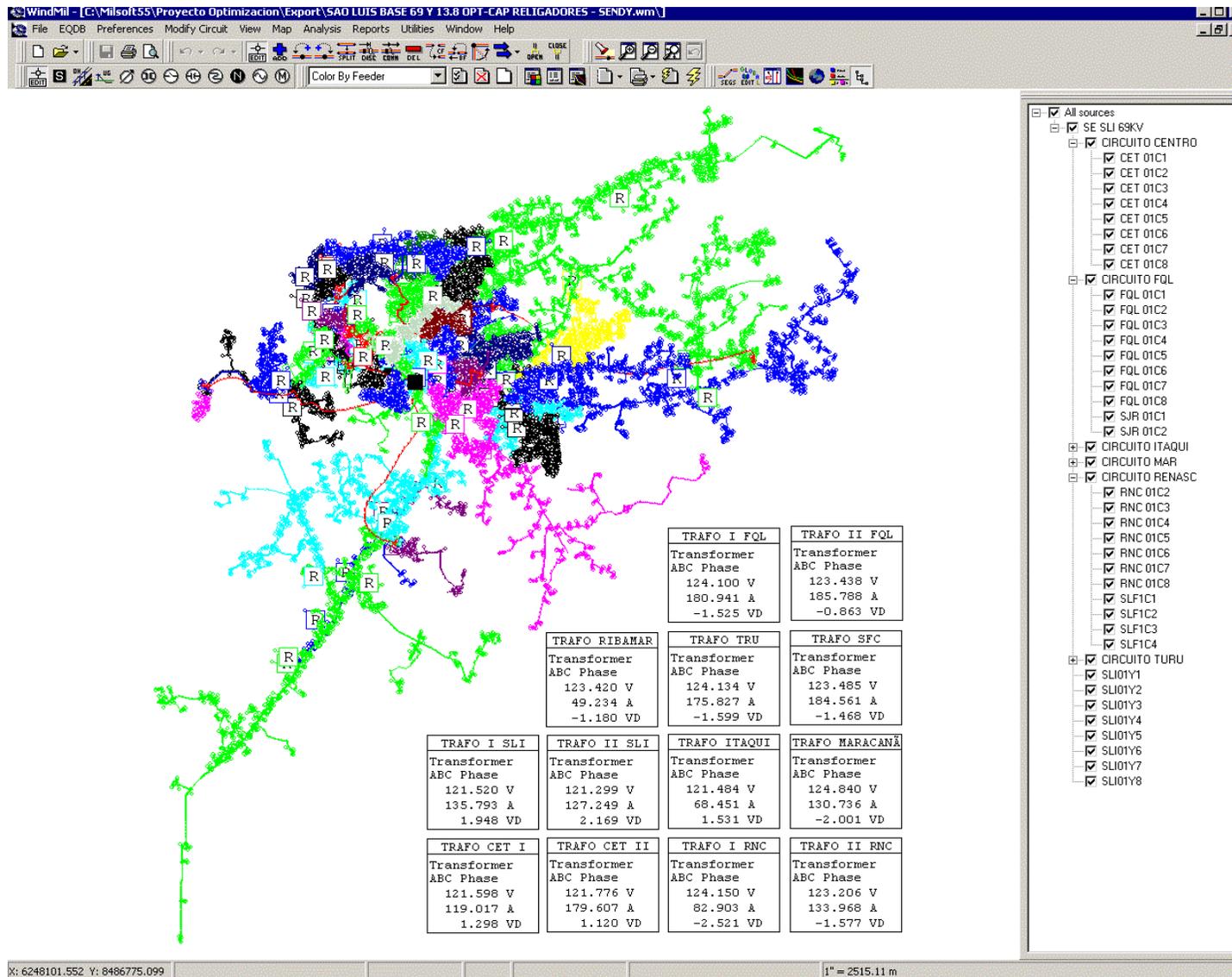


FIGURA III
DIAGRAMA SIMPLIFICADO ÁREA METROPOLITANA DE SÃO LUÍS - CASO OTIMIZADO COM CAPACITOR