



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Implantação e Supervisão de Sistema de Compensação de Potência Reativa com Bancos Capacitores Relocáveis em Redes de Distribuição Primária

| | | |
|--|-------------------------|---|
| Se Un Ahn; Massayuki Suzuki | Celso Cavellucci | J. de Camargo; N. R. Batista F^o; D. S. Marcelino; W. M. Borges. |
| CPFL Energia | CLCTEC / Unicamp | Expertise Engenharia |
| seun@cpfl.com.br | | |

PALAVRAS-CHAVE

Capacitor
Controle de Potencia Reativa
Otimização
Perdas Técnicas
Relocabilidade

RESUMO

O trabalho descreve a metodologia para otimização da compensação da potencia reativa. A metodologia proposta inclui 2 modulos computacionais, monitoração e otimização, e relocação de bancos de capacitores fixos do tipo plug and play. O uso integrado destes componentes possibilita o controle dinâmico do fluxo de reativo. Concomitantemente o uso mais adequado da rede de distribuição, com redução das perdas e otimização do ativo. O modulo Otimização elabora os projetos estratégicos de instalação de banco de capacitores, considera-se a variação das cargas e a taxa de indeterminação dos seus valores. A avaliação do desempenho resultante são apresentados, com a instalação de 4 prototipos, em areas com grande variação de demandas, considerou-se os aspectos dinamicos da carga, e a vantagens de possibilidades de relocação.

1. INTRODUÇÃO

As concessionárias do setor de energia elétrica investem na aquisição e manutenção de bancos capacitores. Para adaptar-se às necessidades de carga do sistema de distribuição, resolver problemas de níveis de tensão, diminuir o carregamento dos transformadores e reduzir as perdas técnicas do sistema. Apesar deste investimento, os sistemas de distribuição mostram-se com falta ou excesso de potência reativa, conseqüência do dinamismo das cargas e da falta de controle global dos fluxos reativos. Em alguns casos, os bancos capacitores tornam-se inoperantes, em virtude de ajustes ou locais de instalação inadequados para as novas condições de operação.

A partir dos registros da medição na subestação pode-se avaliar periodicamente o fluxo de reativo nos

alimentadores, separando aqueles que apresentam valores significativos de falta ou excesso de reativos. A compensação destes reativos pode ser feita pela instalação de banco capacitores.

Modelos de otimização podem ser utilizados para obter estratégias ótimas de localização e dimensionamento dos bancos capacitores, minimizando as perdas e garantindo um perfil de tensão dentro de limites regulamentados. Esses métodos são estudados desde a década de 50, sendo propostas várias abordagens para resolver o problema de localização e dimensionamento de bancos capacitores (PLDC). As primeiras abordagens utilizaram métodos analíticos com hipóteses simplificadoras [1][2], seguiram métodos formais de otimização [3] e heurísticas [4][5][6][7]. Trabalhos mais recentes procuram identificar novas propriedades estruturais do PLDC para explorar por meio de meta-heurísticas [8][9][10] e computação evolutiva [11][12][13], buscando melhorar a qualidade das soluções e tratar detalhes na representação do problema.

Dentre as soluções possíveis do PLDC são consideradas aquelas que apresentam o menor número de movimentações (instalações e retiradas). Mesmo assim, esta solução pode mostrar-se inadequada devido ao número excessivo de relocações necessárias para atender a dinâmica da carga. Desta forma, os bancos de capacitores relocáveis são uma alternativa vantajosa, pois favorecem a realização de movimentações, facilitando as instalações e retiradas destes bancos.

Com o objetivo de minimizar os efeitos provocados por esses problemas foi elaborada uma metodologia para auxiliar a compensação reativa considerando a variação de demanda. O aspecto inovador da metodologia proposta é utilizar padrões de bancos capacitores relocáveis integrado a um sistema computacional para reduzir as perdas técnicas e melhorar o desempenho do sistema por meio da monitoração dos fluxos reativos nas subestações, elaboração de estratégias ótimas de localização e dimensionamento de bancos de capacitores, considerando a instalação de novos bancos capacitores e realocação dos existentes. A utilização desta metodologia permite a CPFL reduzir suas perdas técnicas e melhorar o desempenho do seu sistema elétrico.

O artigo está organizado em cinco seções. Na Seção II descreve-se o sistema computacional composto dos módulos de monitoração e otimização, para auxiliar na compensação de reativos de sistemas de distribuição de energia elétrica. As características técnicas, aspectos de instalação e os resultados obtidos dos bancos capacitores do tipo “plug-and-play” são apresentados na Seção III. As instalações práticas realizadas são detalhadas na Seção IV. A Seção V apresenta as conclusões do trabalho.

2. SISTEMA COMPUTACIONAL

O sistema computacional é constituído por dois módulos: monitoração e otimização. Sua arquitetura é apresentada na Figura 1.

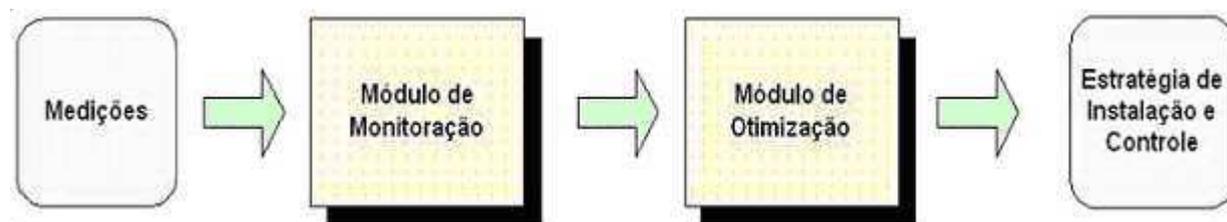


Figura 1: Estrutura do Sistema Computacional.

A coleta de dados é realizada diretamente nos medidores existentes, na saída dos alimentadores ou nos barramentos dos transformadores das subestações. Os dados adquiridos são formatados e, em seguida, armazenados em tabelas MS-ACCESS. Por meio do módulo de monitoração é possível acompanhar e

analisar sistematicamente as condições de operação dos bancos capacitores, supervisionando o fluxo reativo nos alimentadores e transformadores da subestação. Consultando o cadastro de bancos capacitores instalados nos alimentadores, é possível propor alterações na rede, emitindo ordens de inspeção em bancos capacitores possivelmente com problemas, buscando melhoria contínua do sistema de distribuição.

Usando filtros apropriados, são selecionados os alimentadores com fluxo de reativos fora de padrões pré-definidos. Estes são formatados para serem lidos pelo módulo de otimização, que propõe estratégias otimizadas de compensação de reativos definindo o local de instalação, tamanho e o controle dos bancos capacitores, buscando o menor custo de investimento possível e a redução de perdas do sistema de distribuição.

3. MÓDULO DE MONITORAÇÃO

O objetivo deste módulo é identificar os alimentadores que necessitam compensação de potência reativa. Este módulo é parte integrante do projeto de compensação reativa desenvolvido pela CPFL em parceria com a USP e Expertise Engenharia, motivado pelo aproveitamento inadequado de equipamentos convencionais de compensação reativa. A Figura 2 mostra a interface do módulo de Monitoração.

The screenshot shows the 'Software PD-69' interface. It features a menu bar with 'Importar CSV' and 'Abrir Banco de Dados'. Below the menu, there are filter sections for 'Patamares' (with '12:00:00 - 17:45:00' selected) and 'Fator de Potência' (with '0.70 < fp < 0.92' selected). The main area displays a table with 9 columns: Alimentador, MVA_r, δ, cMVA_r, δ, MW, δ, and FP. The table lists 62 feeders, with the first few rows visible as follows:

| Alimentador | MVA _r | δ | cMVA _r | δ | MW | δ | FP |
|-------------|------------------|------|-------------------|---|--------|------|--------|
| 80Q-32 | 0,9551 | 0,11 | 0 | 0 | 1,718 | 0,23 | 0,874 |
| 80Q-33 | 0,8944 | 0,11 | 0 | 0 | 1,5517 | 0,22 | 0,8664 |
| 80Q-34 | 2,1072 | 0,31 | 0 | 0 | 3,7758 | 0,65 | 0,8732 |
| 80Q-36 | 0,7114 | 0,11 | 0 | 0 | 1,3715 | 0,31 | 0,8877 |
| 80Q-37 | 0,0536 | 0 | 0 | 0 | 0,1039 | 0 | 0,8885 |
| 80Q-39 | 1,1418 | 0,16 | 0 | 0 | 2,2444 | 0,35 | 0,8913 |
| 80Q-40 | 1,0806 | 0,09 | 0 | 0 | 1,8602 | 0,2 | 0,8647 |
| 80Q-41 | 0,4845 | 0,08 | 0 | 0 | 0,9683 | 0,17 | 0,8943 |
| 80Q-42 | 1,303 | 0,24 | 0 | 0 | 2,8287 | 0,65 | 0,9083 |
| 80Q-43 | 1,5351 | 0,18 | 0 | 0 | 2,685 | 0,37 | 0,8681 |
| 80Q-44 | 1,0165 | 0,12 | 0 | 0 | 1,6462 | 0,2 | 0,8508 |
| CUB-31 | 1,2298 | 0,06 | 0 | 0 | 2,5535 | 0,06 | 0,901 |
| CUB-35 | 0,739 | 0,5 | 0 | 0 | 1,6377 | 1,22 | 0,9115 |
| CUB-38 | 0,902 | 0,18 | 0 | 0 | 2,0539 | 0,48 | 0,9156 |
| ESU-31 | 1,4 | 0,05 | 0 | 0 | 2,3578 | 0,06 | 0,8588 |

At the bottom of the interface, there is a 'Gerar Relatório' button.

Figura 2: Interface do módulo de Monitoração

As medições são obtidas de arquivos do sistema de supervisão e controle da rede da CPFL e armazenadas em um banco de dados MS-ACCESS. Utilizando os filtros Patamares e Fator de Potência pode-se identificar os alimentadores com falta ou excesso de potência reativa. A Figura 2 exemplifica a seleção do patamar das 12:00 horas até às 17:45 e o intervalo de 0,70 a 0,92. Foram listados 62 alimentadores que satisfazem essas condições. Pode-se então selecionar aqueles alimentadores que apresentam os piores resultados e obter uma estratégia de compensação de reativos por meio do módulo de otimização.

4. MÓDULO DE OTIMIZAÇÃO

Este módulo é resultado da metodologia desenvolvida no projeto “Estratégias Evolutivas para Otimização do Controle de Reativos com Sazonalidade das Demandas, conduzido pela CPFL – Piratininga em parceria com a UNICAMP [1]. Seu principal objetivo é apresentar alternativas de

estratégias para o controle de reativos em redes de distribuição, por meio da instalação capacitores e controle de seus estados, considerando a variação das cargas e indeterminação de seus valores.

O problema de instalação de bancos de capacitores (PIBC) sob variação de demanda inclui a definição do número, capacidade, tipo (fixo ou variável) e localização de cada banco de capacitores a ser instalado nos alimentadores da rede. A técnica utilizada para a resolução do PIBC é baseada na metaheurística de algoritmos meméticos (AM) [15]. Os AMs são métodos computacionais que podem ser considerados como uma extensão dos algoritmos genéticos (AG)[16]. A estrutura básica comum dos algoritmos genéticos compreende nas etapas: seleção de indivíduos (representando as soluções do PIBC), cruzamento dos indivíduos selecionados gerando filhos (novas soluções para o PIBC), promovendo mutações nos filhos gerados (busca diversidade das soluções) e alterando a população privilegiando os indivíduos mais adaptados (busca pelas melhores soluções para o PIBC). Este processo inicia com uma população pouco adaptada (soluções para o PBIC com reduções de perdas baixas), que ao fim de um certo número de gerações, constituir-se-á, na sua maioria em indivíduos bem adaptados (boas soluções para o PBIC). A principal diferença entre os algoritmos meméticos e genéticos é a evolução cultural dos AMs, além da evolução genética simulada pelos AGs. A evolução cultural dos AMs é simulada por operadores de busca local para transmitir a informação cultural entre os indivíduos [15].

O problema de controle do estado dos bancos de capacitores (PCBC) busca a melhor estratégia para chaveamento dos bancos de capacitores controláveis instalados, considerando as variações de carga ao longo do período de estudo.

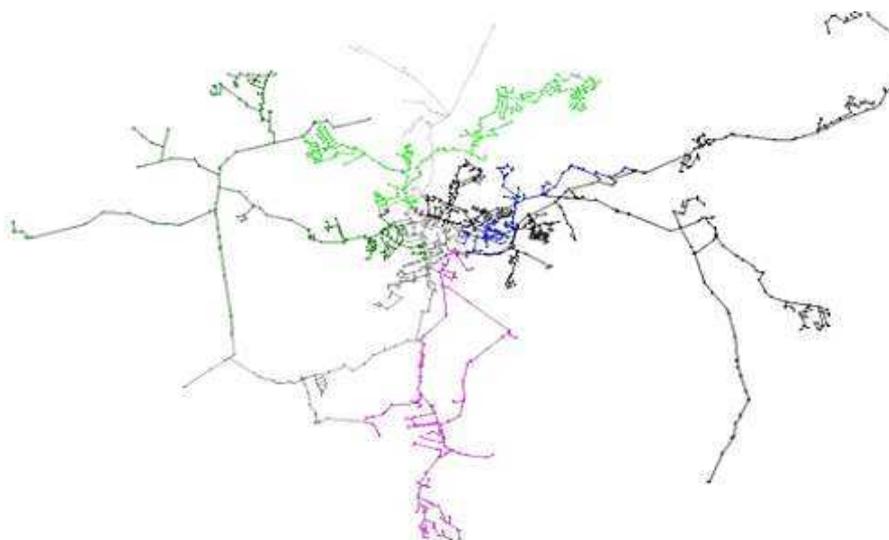


Figura 3: Rede de distribuição utilizada no estudo de caso

Normalmente, o objetivo deste controle é reduzir as perdas nas redes de distribuição ao longo do período de estudo, com benefícios associados ao aumento na capacidade do sistema e melhora dos níveis de tensão. Sistemas Complexos Adaptativos, também denominados sistemas classificadores (SC) [16], foi a técnica utilizada para resolver o PCBC. Essencialmente os SC são estratégias de computação evolutiva para criar e atualizar regras (classificadores), que codificam ações adequadas ao propósito da aplicação e o estado do sistema. No caso do PCBC, o “propósito da aplicação” é o controle dos bancos de capacitores e o “estado do sistema” é o perfil de demandas em um determinado instante [17]. Para exemplificar os métodos utilizados, descreve-se a seguir um estudo de caso. A Figura 3 mostra a rede utilizada no estudo de caso. Ela possui 11 alimentadores e 2.273 barras, operando em 13,8 kV.

Os resultados obtidos indicam a instalação de dez bancos capacitores, sendo três fixos e sete variáveis, obtendo ganhos de 13% conforme mostra a Tabela 1.

TABELA 1
Resultados obtidos no estudo de caso

| Alimentador | Custo inicial de perdas (R\$) | Custo da solução (R\$) | Ganho percentual |
|--------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1 | 136.798 | 109.258 | 25 |
| 2 | 31.066 | 29.848 | 4 |
| 3 | 44.146 | 40.370 | 9 |
| 4 | 26.219 | 24.838 | 6 |
| 5 | 8.715 | 8.715 | 0 |
| 6 | 28.181 | 25.788 | 9 |
| 7 | 34.198 | 32.152 | 6 |
| 8 | 17.149 | 16.964 | 1 |
| 9 | 469 | 469 | 0 |
| 10 | 1.914 | 1.914 | 0 |
| 11 | 4.745 | 4.745 | 0 |
| Total | 333.600 | 295.061 | 13 |

Na Tabela 1, o custo inicial das perdas é calculado em relação à configuração inicial da rede. O custo da solução é obtido somando o custo dos bancos capacitores e o custo de perdas, com os capacitores instalados. O ganho percentual é calculado em relação aos valores dos custos iniciais de perdas.

5. ESTRUTURA DO BANCO DE CAPACITORES RELOCÁVEIS

A Estrutura do Banco Relocável desenvolvida no PD-84, considerou a possibilidade da utilização de bancos de capacitores formados por capacitores monofásicos ou trifásicos, priorizando os requisitos de segurança, na instalação e retirada, transporte, manuseio e armazenagem da estrutura. Esta Estrutura Híbrida comporta capacitores Monofásicos ou Trifásicos para formar bancos com 300, 600, 900 e 1200 KVAR.

A Estrutura é flexível e bastante versátil, pois se molda totalmente às condições do poste e do local de instalação. Pois pode ser instalada com a chave fusível voltada para rua ou calçada, pode ser instalada em ângulo, facilitando a instalação em locais com rede secundária, rede telefônica, braço de iluminação pública ou proximidade de construções. Evitando a necessidade de elaboração de projeto detalhado para instalação do Banco.

6. CAPACITORES UTILIZADOS

Além dos capacitores monofásicos normalmente utilizados em sistemas de 15 e 25 KV, foram desenvolvidos capacitores trifásicos. A Figura 4 apresenta uma foto deste capacitor.

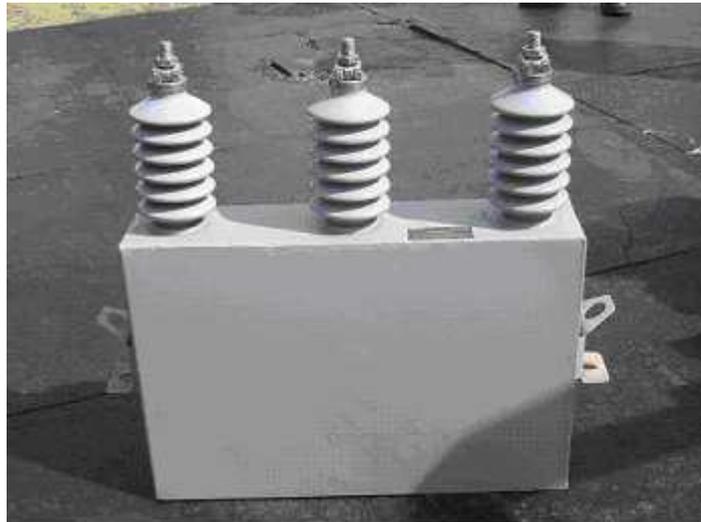


Figura 04 - Capacitores Trifásicos desenvolvidos para Bancos Relocáveis.

7. INSTALAÇÕES EFETUADAS

Na CPFL já existem 13 BCDR – Banco de Capacitores Derivação Relocáveis instalados, sendo 04 na Baixada Santista, 04 em Jundiaí, 02 em Campinas, 02 em Penapólis e 01 em Sertãozinho.

Estas instalações estão mudando o conceito sobre a aplicação de Bancos de Capacitores na Empresa. Pois enquanto a instalação de um Banco de Capacitor Convencional necessita, normalmente, um dia e meio para ser instalado, o BCDR precisa de aproximadamente 1 (uma) hora, e sua instalação e retirada, apresenta maior segurança e praticidade de operação.

A Estrutura do BCDR pode ser utilizada tanto para capacitor trifásico como monofásico, e apresenta versatilidade, pois se molda a necessidade do local podendo girar e ficar em ângulo em relação ao poste, facilitando a conexão com a rede primária e o acesso ao equipamento, desviando de estruturas como braços de iluminação, redes telefônicas, etc., e ainda pode aumentar a distância entre edificações de consumidores.

Isto permite que, em geral, possa ser eliminada a necessidade de elaboração de projeto detalhado para instalação ou relocação.

A instalação do BCDR é realizada sem dificuldades. Durante todo o processo de içamento há um perfeito equilíbrio. Na abertura ou fechamento das chaves fusíveis oferece uma ótima estabilidade estrutural, em virtude da sua excelente rigidez mecânica dos braços de fixação das chaves. Existem facilidades para operação com Caminhão MULK assim como fixação da estrutura ao poste e interligação com a rede primária, apenas uma fixação (amarração) de escada. O cabo de interligação com a rede elétrica tem curta extensão. A mobilidade do braço superior para adaptação da chave fusível permite que a mesma possa ser instalada tanto do lado do capacitor, quanto do lado oposto, ou seja, apresentam uma perfeita adaptação as condições do local. Permite a instalação de capacitor com altura de até 0,56m, contemplando assim todo tipo de capacitor existente na CPFL.

Possui um suporte para escada incorporado na estrutura, que reduz o tempo de instalação e manutenção do BCDR, e aumenta a segurança durante estes processos, evitando que eletricitas se aproximem do equipamento energizado para desamarrar a escada. Permite também a instalação de Bancos de Capacitores em postes de madeira como de concreto, mesmo que tenha 11 m. E ainda pode ser utilizada em Alimentadores de 23 KV.

As versões 1 e 2 da estrutura do BCDR foram desenvolvidas com o apoio da equipe técnica local da Baixada Santista. Os testes da versão 3 foram realizados na cidade de Jundiaí, com o apoio da equipe técnica local. Foram apontadas evoluções significativas nos itens rigidez estruturais, ponto de

içamento ideal para melhor equilíbrio, dinâmica durante a instalação, retirada ou armazenamento, simplificação da conexão com a rede e adaptação estrutural para capacitores de dimensões superiores.

Também foram verificados ganhos operacionais em termos de redução do tempo necessário para execução dos trabalhos de instalação, assim como da segurança devido ao processo de fixação e energização serem efetuados apenas com o apoio da escada colocada no lado oposto ao capacitor.

A versão 4, última versão do desenvolvimento do BCDR, foi realizada em Campinas, através da instalação de 2 (dois) equipamentos de 300 KVAR. As instalações visaram o alívio da carga do alimentador e melhoria da qualidade do fornecimento de energia. Além disso, em função do afastamento da rede primária das edificações, em uma das instalações, optou-se pela montagem com as chaves de proteção voltada para a calçada.

Duas instalações foram efetuadas em Penapólis visando reduzir o carregamento do transformador da subestação. Em virtude de sua estrutura possuir poucos componentes, e a montagem ser muito fácil, rápida e prática em ambiente seguro, o BCDR foi totalmente aprovado pela equipe técnica local.

Em Sertãozinho foi instalado 1 (um) BCDR de 600 KVAR, que permitiu reduzir o carregamento do alimentador, onde existia um trecho onde a corrente ultrapassava a corrente admissível do cabo. A configuração do terreno exigiu que o BCDR fosse instalado à 45° em relação à rua, possibilitando assim o uso do suporte de escada e melhor posicionamento de operação do equipamento. Pela sua facilidade, praticidade, versatilidade e segurança da estrutura o BCDR foi aceito plenamente também em Ribeirão Preto. Abaixo apresentamos algumas instalações realizadas.

7.1. Instalação na cidade de Campinas

Foram instalados dois BCDR-3F Bancos de Capacitores em Derivação Relocável formado por um capacitor trifásico, no caso 300 KVAR, com o requisito de resolver temporariamente problemas de regulação de tensão em consumidores do Grupo B. Esta situação deverá perdurar até o segundo semestre de 2007, quando está previsto a ampliação da SE Quilombo com construção de novos alimentadores, que resolverá definitivamente o problema de tensão abaixo dos níveis recomendados. A Figuras 2 mostram os 2 (dois) BCDR-3F instalados em Campinas, com destaque para o poste de concreto com chaves fusíveis voltadas para o meio fio e o poste de madeira com a proteção voltada para calçada.

Nota: Não tem necessidade da elaboração de projeto para instalação de banco relocável.



Figura 5: Instalação do Banco em Campinas

7.2 Instalação na cidade de Penapólis

Visando resolver temporariamente problemas de carregamento do transformador de força da SE, até que seja ampliada a capacidade da mesma foram instalados dois BCDR-3F de 300 KVAR. A Figuras 3a mostra detalhes da primeira instalação, destacando a montagem do banco no pátio da Estação Avançada de Penapólis, o ensaio de içamento do banco, e banco instalado em 45° em poste com rede secundária elevada, devido ao cruzamento de ruas, e rede telefônica logo abaixo. A Figura 3b mostra os detalhes da segunda instalação, observe a proximidade com a edificação e da estrutura com braço

de IP.



Figura 6: Instalação do Banco em Penapólis.

7.3 Instalação na cidade de Sertãozinho

Visando reduzir o carregamento de trecho do alimentador e elevar o nível da tensão, até que obra de redistribuição de Cargas seja implementada, foi instalado um BCDR-3F, de 600 KVAR. A Figura 4 mostra detalhes da instalação, com destaque para a instalação em 45°.

Nota: Não foi necessário elaborar projeto para a instalação.



Figura 7: Instalação do Banco Sertãozinho

7.4. Instalação na cidade de Vinhedo

Visando reduzir o carregamento do alimentador e elevar o nível da tensão até que obra de redistribuição de Cargas seja implementada, foi instalado um BCDR-1F, Banco de Capacitor Derivação Relocável formado por capacitores monofásicos. A Figura 5 mostra os detalhes Instalação, com destaque para o suporte da escada e a instalação em 45°.

- BCDR reduziu o carregamento de 420 para 391 A.
- Foram utilizados capacitores de um banco inoperante.
- Não houve necessidade do Projeto de Instalação.



Figura 8: Instalação do Banco em Vinhedo

8. CONCLUSÃO

Este trabalho descreveu uma metodologia para compensação otimizada de reativos em sistemas de distribuição. Ela é composta de programa computacional para monitorar o fluxo reativo do sistema e indicar os alimentadores com falta ou excesso de potência reativa, programa computacional para definição do local, tamanho e controle otimizado de bancos capacitores e bancos capacitores relocáveis do tipo “plug-and-play”.

Um estudo de caso, utilizando o programa computacional de otimização e bancos relocáveis, foi apresentado.

Este projeto está tendo grande receptividade dentro da CPFL em virtude da redução de investimentos necessários, tanto em materiais como em serviços, pois a facilidade de execução dos serviços e redução dos componentes além de reduzir a quantidade de mão de obra necessária para instalação, retirada e manutenção dos bancos de capacitores. Estão em andamento, em toda a área de concessão da CPFL, projetos de instalação utilizando a metodologia do banco relocável, a partir da evolução dos padrões construtivos que possibilitaram a utilização de capacitores monofásicos, motivando a utilização dos equipamentos ociosos que existem no seu Sistema.

A aplicação de tecnologias convencionais de bancos de capacitores não atende amplamente as necessidades dos sistemas de compensação reativa existentes nos sistemas elétricos. Isto porque eles não acompanham a dinâmica da carga, tornando praticamente impossível que a compensação seja otimamente localizada e/ou aproveitada ao longo do tempo. Essa é uma das causas da existência de uma quantidade significativa de bancos de capacitores inoperantes no sistema elétrico de qualquer distribuidora. Buscando minimizar o problema, a CPFL está desenvolvendo o PD-84, Cabeça de Série do Banco de Capacitor Relocável - Validação de Novos Critérios de Planejamento da Expansão e Operação.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- [1] NEAGLE, N. M. and SAMSON, D. R. (1956). “Loss reduction from capacitor installed on primary feeders”, *AIEE Transactions* pt. III 75: 950–959.
- [2] COOK, R. F. (1959). “Analysis of capacitor application as affected by load cycle”, *AIEE Transactions* pt. III 78: 950–957.
- [3] DURAN, H. (1968) “Optimum Number, Location, and Size of Shunt Capacitors in Radial Distribution Feeders: A Dynamic Programming Approach”, *IEEE Transaction. On Power Apparatus and Systems*, vol. 87, pp. 1769-1774, Sept.
- [4] GRAINGER, J. J. and LEE, S. H. (1981). “Optimum size and location of shunt capacitors for reduction of losses on distribution feeders”, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems* PAS-100(3): 1105–1118.
- [5] KAPLAN, M. (1984) “Optimization of number, location, size, control type, and control setting of shunt capacitors on radial distribution feeders”, *IEEE on Power Apparatus and Systems*, PAS-103(9): 2659-2663.
- [6] BARAN, M. E, WU, F. F., (1989) “Optimal capacitor placement on radial distribution systems”, *IEEE Trans. Power Delivery* 4.(1): 725-733.
- [7] BARAN, M. E, WU, F. F.,(1989) “Optimal sizing of capacitors placed on a radial distribution systems”, *IEEE Trans. Power Delivery* 4(1): 735-743.

- [8] CHIANG, H., WANG, J., COCKINGS, O. and SHIN, H. D. (1990). “Optimal capacitor placements in distribution systems: Part 1: A new formulation and the overall problem”, *IEEE Transactions on Power Delivery* 5(2): 634–642.
- [9] CHIANG, H., WANG, J., COCKINGS, O. and SHIN, H. D. (1990). “Optimal capacitor placements in distribution systems: Part 2: Solution algorithms and numerical results”, *IEEE Transactions on Power Delivery* 5(2): 643–649.
- [10] GALLEGO, R. A., MONTICELLI, A. J., ROMERO, R. (2001) “Optimal Capacitor Placement in Radial Distribution Networks”, *IEEE Transactions On Power Systems*, 16(4): 630–637
- [11] BOONE, G. and CHIANG, H. (1993). “Optimal capacitor placement in distribution systems by genetic algorithm”, *Electric Power & Energy Systems* 15(3): 155–162.
- [12] LEVITIN, G., KALYUZHNY, A., SHENKMAN, A. and CHERTKOV, M. (2000). “Optimal capacitor allocation in distribution systems using a genetic algorithm and a fast energy loss computation technique”, *IEEE Transactions on Power Delivery* 15(2): 623–628.
- [13] MENDES, A., FRANÇA, P., LYRA, C., PISSARRA, C. and CAVELLUCCI, C. (2002). “An evolutionary approach for capacitor placement in distribution networks”, *Proceedings of Third International NAISO Symposium on Engineering of Intelligent Systems, Natural and Artificial Intelligence Systems Organizations (NAISO)*, Malaga, Spain.
- [14] LYRA, C., VIZCAINO, J. F., FRANÇA, P. M., CAVELLUCCI, C. e BUENO, E. A. (2003). “Estratégias Evolutivas para Otimização do Controle de Reativos com Sazonalidade das Demandas: Elaboração da metodologia”, Relatório Técnico R6, Contrato CPFL -UNICAMP 4600001348, Campinas, São Paulo, Brasil
- [15] MOSCATO, P. (1989). “On evolution, search, optimization, genetic algorithms, and martial arts: Towards memetic algorithms”, Technical Report, Caltech Concurrent Computation Program, C3P Report 826.
- [16] HOLLAND, J. H. (1975). “Adaptation in Natural and Artificial Systems,” The University of Michigan Press.
- [17] VIZCAINO, J. F. (2003). “Redução de Perdas em Redes Primárias de Distribuição de Energia Elétrica por Localização e Controle de Capacitores” Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP, Campinas – SP.