

Metodologia e Ferramental para Manutenções em Linha Viva de Redes de Distribuição

Marcelo Antonio Ravaglio e Edemir Luiz Kowalski, Mário Seixas Cabussú, Dailton Pedreira Cerqueira e Cleuber Sobreira da Silva Chaves

Resumo - Este artigo apresenta os principais resultados do Projeto de P&D “Desenvolvimento de Metodologia e Ferramental para Manutenções em Linha Energizada em Redes de Distribuição”, realizado para a COELBA, nos ciclos 2005 e 2006 da ANEEL. Apresenta um conjunto inédito de ferramentas criadas e os procedimentos de linha viva desenvolvidos para a realização de serviços de substituição de condutores nus por cabos protegidos ou multiplexados em redes de distribuição de média e de baixa tensão, respectivamente. Adicionalmente, discute a metodologia proposta para a substituição de transformadores de distribuição, sem causar desligamentos aos consumidores alimentados em baixa tensão. Por fim, enumera as vantagens da adoção desta nova tecnologia na manutenção das redes de distribuição, permitindo a redução dos custos, melhoria dos índices de desempenho, otimização do emprego de equipes de linha viva e, especialmente, maior satisfação dos consumidores.

Palavras-chave – Linha Viva; Manutenção; Rede de distribuição; Remanejamento de transformadores; Substituição de condutores.

I. INTRODUÇÃO

As redes de distribuição de média e baixa tensão mais antigas devem passar por manutenções preventivas e corretivas, tanto em função da ampliação da carga e de consumidores, como também pela necessidade de mudança dos cabos de cobre ou alumínio utilizados, que, com o passar do tempo, sofrem as ações do meio ambiente e processos de envelhecimento e degradação.

A COELBA tem enfrentado problemas com a cristalização de fios de cobre nus, de bitola 6 AWG, em boa parte de sua rede primária de distribuição. A substituição destes condutores com a rede energizada é necessária devido ao elevado

percentual de condutores fragilizados em operação em seu sistema de distribuição. Se o serviço fosse realizado de forma convencional, com a rede energizada, esses condutores antigos poderiam romper-se, provocando o desligamento da rede e, eventualmente, a ocorrência de acidentes graves. Com o desligamento da rede de distribuição, por outro lado, a duração da interrupção no fornecimento de energia elétrica fica elevada, com conseqüente prejuízo nos índices de qualidade coletivos DEC e FEC e os individuais DIC, FIC e DMIC, além do lucro cessante na comercialização de energia elétrica no período e grande insatisfação dos consumidores afetados.

Nas redes de baixa tensão o problema é similar, com freqüentes ampliações de carga particularmente nas redes mais antigas. Assim, para minimizar tais problemas, a COELBA e o LACTEC iniciaram em Agosto de 2005 um projeto de P&D visando à substituição de condutores nus das redes de média e baixa tensão por cabos protegidos e multiplexados, respectivamente, empregando-se técnicas de linha viva e com o diferencial de todo o serviço ser realizado com a rede energizada. O trabalho também contemplou o desenvolvimento de metodologia e procedimento para a substituição de transformadores de distribuição, sem causar o desligamento dos consumidores alimentados em baixa tensão.

Para a execução destas tarefas, todo um novo ferramental foi criado e desenvolvido de forma a garantir a segurança das equipes de eletricitistas, bem como evitar a interrupção do fornecimento de energia elétrica aos consumidores atendidos em alta e em baixa tensão.

II. SUBSTITUIÇÃO DE CONDUTORES DA REDE DE MÉDIA TENSÃO

Para a execução da tarefa de substituição de cabos energizados por cabos protegidos, foi desenvolvido um conjunto inédito de ferramentas de linha viva, com a participação dos pesquisadores do LACTEC e da COELBA, em parceria com a FEERGS, do Rio Grande do Sul, conceituado fabricante de ferramentas para serviços em linha viva. Todas as ferramentas desenvolvidas, listadas a seguir, encontram-se em processo de solicitação de patente junto ao INPI.

- Carretilha de Média Tensão: A ferramenta desenvolvida pode ser metálica com revestimento em fibra de vidro ou

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (V CITENEL), realizado em Belém/PA, no período de 22 a 24 de junho de 2009.

Os autores expressam seus agradecimentos a todos os colaboradores da COELBA, LACTEC e FEERGS que, de maneira direta ou indireta, auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

M.A.Ravaglio e E.L.Kowalski trabalham na Divisão de Estudos Elétricos do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC (e-mail: marcelo@lactec.org.br e edemir@lactec.org.br).

M.S.Cabussú, D.P.Cerqueira e C.S.S.Chaves trabalham no Departamento de Manutenção de Redes de Distribuição da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – COELBA (e-mail: mcabussu@coelba.com.br, dcerqueira@coelba.com.br e cchaves@coelba.com.br).

totalmente em fibra de vidro, a fim de garantir resistência mecânica e isolamento elétrico adequados. Os ensaios de tensão de descarga sob frequência industrial mostram que as ferramentas confeccionadas em metal possuem tensão disruptiva média de 29 kV, enquanto as de fibra de vidro, de 35 kV. Os dois modelos desenvolvidos para esta ferramenta podem ser vistos na figura 1.



FIG. 1 – CARRETLHAS DE MÉDIA TENSÃO DESENVOLVIDAS

- Lançador de corda-guia: A ferramenta que pode ser vista na figura 2 foi desenvolvida com o objetivo de lançar uma corda isolante fina sobre as carretilhas de média tensão, em procedimento realizado a partir do solo ou a meia altura do poste de distribuição, utilizando-se respectivamente uma vara de manobra do tipo telescópica ou do tipo “pega-tudo”. Na extremidade da corda-guia é preso um prumo, com massa suficiente para conduzir a corda-guia em direção ao solo, após sua passagem por entre os roletes da carretilha de média tensão. A ferramenta é confeccionada em fibra de vidro, com adaptador universal para sua fixação na vara de manobra e com ranhura lateral sinuosa para facilitar o desprendimento da corda-guia, após seu lançamento.



FIG. 2 – LANÇADOR DE CORDA-GUIA

- Acoplador cabo-corda: Dispositivo desenvolvido com o objetivo de isolar a extremidade do novo condutor em lançamento e garantir o aprisionamento do cabo junto à corda de tração. A ferramenta que pode ser vista na figura 3 pode ser usada com cabos protegidos de 35 mm², 70 mm² e 185 mm², ou nas bitolas convencionais de cabos nus, na situação do serviço ser realizado com a rede desenergizada.



FIG. 3 – ACOPLADORES CABO-CORDA DE 35 mm², 70 mm² e 185 mm²

- Mufla terminal do cabo protegido: Ferramenta confeccionada em polietileno, para instalação na terminação do cabo protegido em lançamento, junto à bobina que permanece em solo, visando seu isolamento elétrico. A ferramenta é confeccionada nas bitolas usuais dos condutores de cabos protegidos, como pode ser visto na figura 4.



FIG. 4 – MUFLA TERMINAL PARA CABO PROTEGIDO DE 185 mm²

Para a substituição de condutores energizados da rede de distribuição de média tensão propôs-se uma metodologia de trabalho específica. Os procedimentos convencionais de trabalho em linha viva adotados em cada concessionária ou por suas empreiteiras, entretanto, devem ser mantidos, uma vez que o procedimento apresentado refere-se apenas ao lançamento e a instalação dos novos condutores, utilizando técnicas de linha viva. O procedimento proposto para esta tarefa está detalhado a seguir:

- a) Inspeção prévia das estruturas onde se fará a manutenção em linha viva, verificando se elas possuem condições de trabalho e se possibilitam o recebimento de carga adicional. Também deve ser avaliada a firmeza dos postes de distribuição, pois os condutores antigos de cobre podem se encontrar em estado mecânico comprometido, podendo romper durante o serviço. Se houver viabilidade na aplicação da tarefa deve-se passar à etapa seguinte, que se refere ao trabalho propriamente dito de manutenção em rede energizada. Qualquer alteração na rede deverá ser realizada previamente.
- b) A seguir, realiza-se o isolamento e a sinalização completa da área onde será realizado o serviço. Não deve ser permitida a passagem de transeuntes pela área de isolamento durante toda a atividade.
- c) Prepara-se o ferramental a ser usado na execução da tarefa. Determina-se o sentido de lançamento do cabo, pois este definirá o melhor posicionamento das carretilhas.
- d) Do solo, com a vara de manobra universal, ou por meio de uma escada e bastão isolante pega-tudo (3,60 m), devem ser lançadas as carretilhas sobre as cruzetas dos postes. Antes de sua colocação, deve-se assegurar que o parafuso de fixação da carretilha à cruzeta encontra-se na posição de máxima abertura. Se durante a inspeção das estruturas (item “a”) tenha-se julgado necessária a presença das equipes de linha viva, pela complexidade na realização da tarefa, esta poderá lançar as carretilhas diretamente nas cruzetas dos postes de distribuição.
- e) Do solo, com o dispositivo de lançamento de corda-guia acoplado à vara de manobra telescópica, é lançada sobre as carretilhas a corda-guia. Esta será utilizada para tracionar a corda isolante que, por sua vez, tracionará os novos condutores. Deve-se assegurar que a corda-guia esteja por cima de todos os ramais de alimentação de consumidores, cabos telefônicos, árvores, etc.
- f) Efetua-se o acoplamento entre a corda isolante e o novo condutor. Caso haja necessidade de lançar outro condutor sem reposicionamento das carretilhas, pode-se acoplar uma nova corda-guia junto com o cabo. Esta nova corda-guia deverá ser liberada vão a vão.
- g) O conjunto corda-guia, corda isolante e o novo cabo deverá ser tracionado a cada vão (entre dois postes), de modo a evitar: i) esforço físico excessivo; ii) descarrilamento; iii) vibração excessiva das estruturas. Assim, é facilitada a execução da tarefa e aumenta-se o nível de segurança. Deve-se controlar a liberação do cabo para evitar o contato deste com o solo, sincronizando-o ao procedimento de tração.
- h) Na bobina do novo condutor, protege-se sua extremidade interna com a mufla terminal. Deve-se assegurar que a

bobina do novo condutor e o eletricitista que controla a liberação do cabo estejam adequadamente protegidos. O eletricitista deverá utilizar luvas isolantes de classe 2 e deve controlar a liberação do cabo posicionado sobre uma banquetta ou lençol isolante (classe 3). Abaixo da bobina, deve-se instalar um lençol isolante de classe 4.

- i) Faz-se o encabeçamento do condutor lançado que chegou a última estrutura, de acordo com os procedimentos convencionais de linha viva. Na outra extremidade, traciona-se o novo condutor, rebobinando o excedente, e realiza-se o seu encabeçamento na estrutura terminal.
- j) Efetua-se ligação em paralelo (*juniper*) do novo cabo lançado ao condutor antigo de mesma fase, em uma das estruturas terminais.
- k) Transferem-se os ramais de alimentação de consumidores de alta tensão e de transformadores de distribuição para o novo condutor de média tensão.
- l) Cortam-se as extremidades do cabo antigo, desenergizando-o, e retira-o dos isoladores de pino e das estruturas em manutenção, respeitando a procedimentos convencionais padronizados para esta tarefa.
- m) Retira-se o novo condutor das carretilhas de média tensão e o instala nos isoladores de pino, efetuando-se as amarrações necessárias.
- n) Repete-se o procedimento para as outras fases do circuito em manutenção, quando necessário.
- o) Recolhe-se e armazena-se todo o ferramental empregado e a sinalização de segurança.

Para validação da metodologia desenvolvida, foi selecionado um trecho da rede de distribuição da COELBA, na região metropolitana de Salvador como mostra a figura 5, em uma rodovia com grande circulação de veículos e pedestres. O trecho escolhido possuía cabos de alumínio de bitola 366, fragilizados pela ação de cerol de barbantes de pipas, bem como com diversas emendas instaladas. O trabalho foi realizado sobre dois vãos de 100 m e 64 m, conforme ilustrado na figura 5. O novo cabo lançado era de tipo protegido, com bitola de 185 mm².



FIG. 5 – REDE DE MÉDIA TENSÃO ANTES E APÓS A MANUTENÇÃO

Todo o serviço foi executado com total segurança e pleno sucesso, sem desligar consumidores e sem colocar em risco as equipes de eletricitistas e transeuntes. Os resultados obtidos mostram que a substituição de condutores energizados de redes de média tensão é totalmente viável e segura com a utili-

zação da metodologia proposta e o ferramental desenvolvido para a execução da atividade em linha viva.

O emprego desta nova tecnologia representa ganho efetivo para a concessionária, por reduzir a utilização das equipes de linha viva e, conseqüentemente, os custos de manutenção, melhora dos índices de continuidade e maior satisfação dos consumidores. A técnica desenvolvida pode também ser aplicada em ampliações de redes de distribuição e no seu recondutoramento, tanto com a rede energizada como desenergizada, permitindo um ganho de tempo considerável em relação às técnicas atuais convencionais.

III. SUBSTITUIÇÃO DE CONDUTORES DA REDE DE BAIXA TENSÃO

Para a substituição de condutores nus da rede secundária por cabos multiplexados, sem causar o desligamento dos consumidores de baixa tensão, desenvolveu-se um novo conjunto de ferramentas de linha viva, quais sejam:

- Carretilha de Baixa Tensão: O corpo da ferramenta é metálico em função da resistência mecânica necessária, e o cabo multiplexado em lançamento, totalmente isolado, corre sobre roldanas isolantes, para reduzir o esforço de tração. A ferramenta desenvolvida é fixada à armação secundária da rede secundária convencional, porém, em situações complexas, pode ser fixada diretamente ao poste de distribuição, por meio de um sistema de fita e catraca, conforme mostra a Figura 6.



FIG. 6 – CARRETIHAS DE BAIXA TENSÃO DESENVOLVIDAS

- Dispositivo Auxiliar em “V”: Ferramenta desenvolvida com o objetivo de auxiliar a passagem do condutor em lançamento sobre ramais de alimentação de consumidores, linhas telefônicas, árvores, etc., como pode ser visto na figura 7. O dispositivo é adaptado a uma vara de manobra do tipo universal, garantindo isolamento adequado, mesmo em média tensão.



FIG. 7 – DISPOSITIVO AUXILIAR EM “V”

- Dispositivo de Acoplamento das Buchas de Baixa Tensão: Ferramenta desenvolvida para instalação nas buchas de baixa tensão do transformador de distribuição, visando permitir o estabelecimento de conexão em paralelo (*jumper*) entre esses terminais e a rede de baixa tensão em substituição. Deste modo, é possível desfazer as conexões antigas da rede secundária, deixando os terminais secundários (contatos principais) livres para a alimentação dos novos condutores do cabo multiplexado. A ferramenta desenvolvida pode ser vista na figura 8.



FIG. 8 – DISPOSITIVO DE ACOPLAMENTO DAS BUCHAS DE BAIXA TENSÃO, PARA CORRENTES DE ATÉ 400 A

- Barreira Ergonômica: A ferramenta foi criada com a finalidade de impedir o contato eventual do eletricitista que trabalha nos terminais secundários do transformador de distribuição com o circuito de média tensão, já que as buchas de baixa tensão, na padronização atual, localizam-se em região contaminada pela alta tensão. A barreira ergonômica instalada no transformador de distribuição pode ser vista na figura 9.



FIG. 9 – BARREIRA ERGONOMÉTRICA DESENVOLVIDA

- Lençóis isolantes: Ferramentas isolantes criadas para evitar contatos acidentais entre os terminais secundários do transformador de distribuição, assim como entre eles e o

tanque, o poste e o suporte metálico. As figuras 10 e 11 mostram os lençóis isolantes especialmente desenvolvidos para esta aplicação.

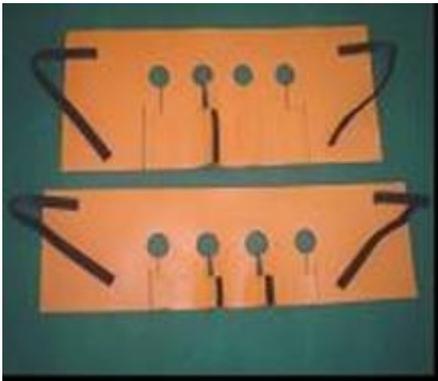


FIG. 10 – LENÇÓIS ISOLANTES PARA DOIS TAMANHOS DE TANQUE DE TRANSFORMADOR DE DISTRIBUIÇÃO

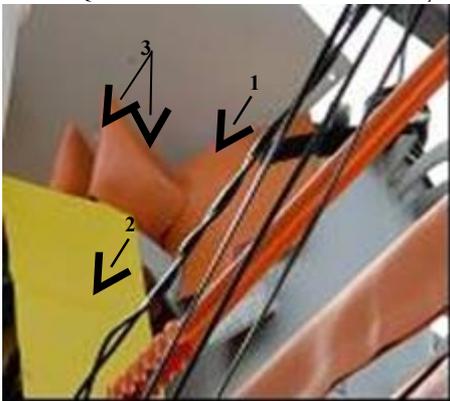


FIG. 11 – LENÇÓIS ISOLANTES INSTALADOS NO TANQUE (1), NO SUPORTE (2) E NOS TERMINAIS SECUNDÁRIOS DO TRANSFORMADOR DE DISTRIBUIÇÃO (3)

O procedimento proposto para a substituição de condutores da rede de baixa tensão está descrito a seguir, utilizando técnicas de linha viva e o ferramental desenvolvido:

- a) Avaliação inicial da rede de baixa tensão a ser substituída, instalando-se espaçadores nos locais considerados críticos ou desregulados.
- b) Isolamento dos condutores nus da rede de baixa tensão, nos dois lados da armação secundária e em todos os postes envolvidos na substituição dos condutores da rede de baixa tensão, utilizando coberturas rígidas ou flexíveis apropriadas.
- c) Efetua-se o lançamento das carretilhas de baixa tensão sobre o isolador de porcelana superior das armações secundárias AS existentes ou utiliza-se o suporte auxiliar para a fixação da carretilha diretamente no poste.
- d) Fixada a carretilha, o electricista realiza o lançamento da corda de tração. Outro electricista, em solo, realiza o tracionamento da corda e sua passagem por cima de estruturas e ramais de alimentação, utilizando o dispositivo auxiliar em “V”, acoplado a uma vara de manobra.
- e) Lançada a corda isolante em todas as carretilhas de baixa tensão, uma de suas extremidades é amarrada ao cabo multiplexado. Inicia-se a tração da corda isolante e o lançamento do cabo multiplexado, com bastante cuidado e sob a orientação de um inspetor de segurança, para não permitir que as fases da rede de baixa tensão (condutores nus) entrem em contato, causando curtos-circuitos.
- f) Uma vez lançado o cabo multiplexado no trecho desejado da rede de distribuição, deve-se realizar seu encabeçamento nos postes terminais.
- g) Na seqüência, deve-se ligar em paralelo os condutores do cabo multiplexado lançado aos condutores de mesma fase da rede secundária em substituição. Tal procedimento pode ser realizado em qualquer ponto da rede de baixa tensão, porém ele é mais simples se executado junto ao transformador de distribuição.
- h) Lançamento da barreira ergonômica isolante sobre a tampa do transformador de distribuição, empregando-se vara de manobra telescópica, a partir do solo, ou vara de manobra do tipo pega-tudo, à meia altura do poste de distribuição. Alternativamente, o procedimento pode ser realizado por equipe de linha viva.
- i) Instalação de lençóis isolantes no poste, tanque e suporte de fixação do transformador de distribuição, na região próxima aos seus terminais secundários. Além disso, instala-se cobertura isolante sobre cada terminal de baixa tensão do transformador de distribuição.
- j) Instalação do dispositivo de acoplamento das buchas de baixa tensão nos terminais secundários do transformador de distribuição (fases e neutro), retirando-se provisoriamente a cobertura isolante instalada em cada terminal.
- k) Interligam-se os terminais secundários de fase e de neutro do transformador, utilizando-se o conector auxiliar do dispositivo de acoplamento das buchas de baixa tensão, aos condutores correspondentes da rede em substituição (condutores nus). Nesta operação pode ser necessária a remoção temporária ou o deslocamento das coberturas instaladas sobre os condutores da rede de baixa tensão.
- l) Removem-se as interligações existentes entre o transformador de distribuição e a rede antiga e instalam-se novas interligações entre os terminais do enrolamento de baixa tensão do transformador e os condutores correspondentes da rede multiplexada. Ao final deste procedimento, a rede secundária antiga e a nova ficam energizadas em paralelo, devendo permanecer assim até que todos os consumidores estejam alimentados pela rede multiplexada.
- m) Ligam-se os ramais de alimentação dos consumidores à nova rede multiplexada, estabelecendo ligação provisória dos terminais do ramal de alimentação aos condutores correspondentes do cabo multiplexado, enquanto se efetua o remanejamento definitivo da conexão. Alternativamente, pode-se desligar a unidade consumidora apenas por um curto intervalo de tempo para a alteração de sua alimentação.
- n) Removem-se os condutores antigos da rede secundária, de baixo para cima, e efetua-se a amarração do cabo multiplexado nos isoladores das armações secundárias.
- o) Retiram-se todas as carretilhas de baixa tensão, os dispositivos de acoplamento das buchas de baixa tensão instaladas no transformador de distribuição e as interligações temporárias com a rede secundária antiga.

A validação da metodologia de substituição de condutores da rede de baixa tensão foi realizada em uma área residen-

cial da orla de Salvador, sem interferir significativamente na rotina dos moradores e comerciantes da região. A única intervenção realizada, como medida de precaução, foi solicitar aos moradores que retirassem seus veículos do lado da rua onde o serviço foi executado. As figuras 12 e 13 mostram detalhes da atividade realizada.



FIG. 12 – REDE DE BAIXA TENSÃO EM MANUTENÇÃO



FIG. 13 – VEGETAÇÃO PRESENTE NO LOCAL DO DESENVOLVIMENTO DA ATIVIDADE

Ainda que o procedimento proposto possa ser executado com total segurança apenas por eletricitistas de baixa tensão, empregou-se uma equipe de linha viva nos ensaios de campo, em Salvador, para a instalação da barreira ergonômica isolante sobre a tampa do transformador de distribuição, de modo a evitar a invasão da área contaminada pelos eletricitistas de baixa tensão.

Os eletricitistas envolvidos na tarefa assimilaram facilmente a funcionalidade de cada ferramenta desenvolvida e as utilizaram com perfeição. Em nenhum momento houve situação de risco aos eletricitistas ou transeuntes, demonstrando que a tarefa em linha viva é perfeitamente executável e segura.

IV. NOVO PADRÃO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO

As situações de maior risco observadas na validação da metodologia desenvolvida para a substituição de condutores da rede de baixa tensão estão relacionadas à proximidade excessiva entre os terminais dos enrolamentos de alta e baixa tensão dos transformadores de distribuição.

No procedimento em linha viva proposto para esta tarefa (ver capítulo III), foi incluída a instalação de uma barreira

ergonômica sobre a tampa do transformador de distribuição, visando evitar a invasão da área contaminada pela alta tensão durante a realização de serviços nos seus terminais secundários.

Devido à necessidade atual em realizar o maior número possível de intervenções nas redes de distribuição, sem causar o desligamento de consumidores, incluindo a substituição de condutores da rede de baixa tensão, propõe-se alterar a posição convencional das buchas de baixa tensão dos transformadores de distribuição, posicionando-as próximas à base do tanque, como pode ser visto na figura 14. Assim sendo, obtém-se maior facilidade para o atendimento dos critérios de segurança dos eletricitistas de baixa tensão, assim como a realização da tarefa totalmente em linha viva. A figura 15 mostra as alterações propostas para facilitar a montagem da parte ativa do transformador de distribuição e detalhes das conexões dos terminais do enrolamento de baixa tensão.



FIG. 14 - TRANSFORMADOR DE DISTRIBUIÇÃO COM AS BUCHAS DE BAIXA TENSÃO REPOSICIONADAS



FIGURA 15 - DETALHE INTERNO DAS CONEXÕES ENTRE OS TERMINAIS DO ENROLAMENTO DE BAIXA TENSÃO

Ensaios de tipo e rotina no transformador de distribuição com padrão modificado, realizados no Laboratório de Alta Tensão do LACTEC, indicaram resultados satisfatórios, não ocorrendo perda de estanqueidade em decorrência do reposicionamento proposto para as buchas de baixa tensão.

A figura 16 mostra detalhe de transformador de distribuição de classe 15 kV e potência nominal de 45 kVA, com padrão modificado, instalado na rede de distribuição da COELBA.



FIGURA 16 – TRANSFORMADOR DE DISTRIBUIÇÃO COM PADRÃO MODIFICADO EM OPERAÇÃO NA REDE DA COELBA
V. SUBSTITUIÇÃO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO EM LINHA VIVA

Na substituição de transformadores de distribuição, sem o desligamento da rede de distribuição, optou-se em utilizar um transformador auxiliar, ligado em paralelo ao equipamento em remanejamento, para prover a alimentação da rede de baixa tensão, durante a manutenção em linha viva.

O transformador auxiliar deverá possuir potência nominal igual ou superior a do transformador de distribuição em remanejamento, impedância de curto circuito da mesma ordem de grandeza e comutador de derivações para permitir o ajuste da mesma relação de tensões. Além disso, ele deve ser instalado em um cubículo blindado, similar à unidade móvel da COELBA, mostrada nas figuras 17 e 18.

O conjunto deverá possuir chaves com elos fusíveis adequados para a proteção primária e um disjuntor de baixa tensão, com características apropriadas, para a proteção secundária.



FIG. 17 – UNIDADE MÓVEL COM TRANSFORMADOR AUXILIAR



FIG. 18 – TRANSFORMADOR DE DISTRIBUIÇÃO EM SUBSTITUIÇÃO

O procedimento proposto para a substituição de transformadores de distribuição, em linha viva, inclui as atividades:

- a) Isola-se toda a área onde será realizado o serviço, incluindo o poste onde o transformador de distribuição a ser substituído está instalado e um poste adjacente, a ser utilizado para a alimentação do transformador auxiliar pertencente à unidade móvel.
- b) Posiciona-se a unidade móvel ao lado do poste adjacente escolhido e providencia-se a instalação de um ponto de aterramento.
- c) Eleva-se o poste articulado da unidade móvel, respeitando a distância de segurança a ramais de alimentação de consumidores e ramais telefônicos.
- d) Certifica-se que as chaves-fusíveis da unidade móvel e o disjuntor de baixa tensão encontram-se abertos.
- e) No poste adjacente, um eletricitista de baixa tensão deverá isolar com coberturas rígidas ou flexíveis as fases onde serão realizadas as conexões em paralelo da baixa tensão do transformador auxiliar.
- f) Ligam-se as fases correspondentes da rede de baixa tensão aos terminais do disjuntor de baixa tensão (aberto), com condutores isolados de comprimento apropriado, observando-se a correta identificação das fases.
- g) Efetua-se a ligação das fases correspondentes da rede de média tensão aos terminais das chaves-fusíveis, empregando-se uma equipe de linha viva e adotando-se os procedimentos convencionais de segurança.
- h) Fecham-se as três chaves fusíveis da unidade móvel, energizando a alta tensão do transformador auxiliar.
- i) Medem-se as diferenças de tensão entre os terminais de mesma fase no disjuntor de baixa tensão, na posição aberta e compara-se:
 - i. Se as tensões medidas nos três pólos do disjuntor não forem da mesma ordem de grandeza, deve haver inversão de fases na ligação dos terminais secundários do transformador auxiliar à rede de baixa tensão, o que deverá ser corrigido antes de prosseguir o procedimento.
 - ii. Se as tensões medidas forem da mesma ordem de grandeza, porém superiores a aproximadamente 5 V, será necessário alterar a derivação (*tap*) do transformador auxiliar, exigindo sua prévia desenergização.

Quando as tensões medidas no lado do transformador auxiliar forem inferiores àquelas medidas no lado da rede de baixa tensão, deve-se reduzir a derivação atual, a fim de elevar a tensão nos terminais secundários, ou aumentar a derivação atual, em caso contrário.

- iii. Se as tensões medidas nos três pólos do disjuntor forem inferiores a aproximadamente 5 V, aciona-se a manopla de operação do disjuntor, fechando-o e estabelecendo a ligação em paralelo do transformador auxiliar com o transformador de distribuição em substituição.
- j) Abrem-se as chaves-fusíveis do transformador de distribuição em substituição, por equipe de linha viva.
- k) Desfazem-se as conexões entre os terminais secundários do transformador de distribuição em substituição e a rede de baixa tensão, ora alimentada pelo transformador auxiliar, isolando-as adequadamente.
- l) Retira-se o transformador de distribuição antigo e instala-se o novo, por equipe de linha viva, adotando-se todos os critérios de segurança exigidos para esta tarefa.
- m) Restabelecem-se as ligações entre os terminais de baixa tensão do novo transformador de distribuição com os condutores da rede de baixa tensão, observando-se a sequência de fases. Deve-se lembrar que, ao ligar os terminais secundários do transformador à rede de baixa tensão, os terminais de alta tensão serão energizados.
- n) Fecham-se as três chaves fusíveis que alimentam o novo transformador de distribuição, novamente estabelecendo ligação em paralelo com o transformador auxiliar.
- o) Abre-se o disjuntor de baixa tensão e as três chaves fusíveis que alimentam o transformador auxiliar.
- p) Desfazem-se as interligações entre a unidade móvel e as redes de média e de baixa tensão.
- q) Recolhe-se todo o material utilizado e o armazena em compartimento apropriado na unidade móvel.

A validação da metodologia proposta para a substituição de transformadores de distribuição, sem causar desligamento dos consumidores de baixa tensão, foi realizada na rede de distribuição da COELBA, no bairro de Calabetão, em Salvador. Na oportunidade, foi efetuada a substituição de um transformador de distribuição de classe 15 kV, 75 kVA, alimentado em 11,4 kV, contando com a participação de uma equipe de linha viva da COELBA e outra equipe de eletricitas de baixa tensão de empreiteira.

A partir dos resultados obtidos e observações realizadas no ensaio de campo, conclui-se que o procedimento proposto para a substituição de transformadores de distribuição em linha viva é seguro, de execução relativamente simples e não requer investimentos significativos para sua realização.

VI. CONCLUSÕES

As metodologias desenvolvidas para a substituição de condutores das redes de média e baixa tensão e de transfor-

madores de distribuição, em linha viva, são totalmente viáveis, seguras, de baixo custo e não requerem o desligamento dos consumidores atendidos em alta e baixa tensão. Para tanto, foi criado um conjunto inédito de procedimentos e ferramentas de linha viva, dando origem à solicitação de pedido de patente junto ao INPI, sob a designação “Sistema para Substituição de Condutores em Redes de Média e Baixa Tensão em Linha Viva”.

Em face à necessidade atual de realizar o maior número possível de intervenções nas redes de distribuição sem causar o desligamento de consumidores, propõe-se alterar a posição convencional das buchas de baixa tensão dos transformadores de distribuição, posicionando-as próximas à base do tanque. Deste modo, facilita-se o acesso dos eletricitas aos terminais secundários dos transformadores, respeitando a distância mínima de segurança exigida para a realização de serviços com a rede de baixa tensão energizada.

Por fim, pode-se afirmar que as técnicas de linha viva desenvolvidas deverão permitir a otimização da rotina de manutenção de redes de distribuição na COELBA, com consequente redução de custos, melhoria dos índices de desempenho, alocação eficiente das equipes de linha viva e, especialmente, maior satisfação dos consumidores.

AGRADEDIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos às equipes técnicas da COELBA e do LACTEC e, em especial, aos profissionais da FEERGS, co-responsável na criação das ferramentas de linha viva e no desenvolvimento das metodologias de linha viva apresentadas neste trabalho.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM F 711-89 “Standard Specification for Fiberglass-Reinforced Plastic (FRP) Rod and Tube Used in Live Line Tools”.
- ASTM F 712 – 88 “Standard Test Methods for Electrically Insulating Plastic Guard Equipment for Protection of Workers”.
- IEEE “Guide for Maintenance Methods on Energized Power Lines”. IEEE Std .516-1995 (Revision of IEEE Std. 516-1987).
- IEEE Committee Report “Recommendations for Safety in Live Line Maintenance”, IEEE PAS, v.87, n.2, Feb.1968.
- NBR 11855 “Plataforma isolante para trabalho em redes energizadas de distribuição”, ABNT.
- NBR 11856 “Ferramentas e acessórios para trabalhos em redes energizadas de distribuição”, ABNT.
- NBR 5244 “Determinação da resistência relativa de isolantes sólidos à ruptura causada por descargas superficiais”, ABNT.
- NBR 5244 “Determinação da resistência relativa de isolantes sólidos à ruptura causada por descargas superficiais”, ABNT.
- NBR 5403 “Materiais isolantes elétricos sólidos - Determinação da resistividade volumétrica e superficial”, ABNT.
- NBR 5405 “Materiais isolantes sólidos - Determinação da rigidez dielétrica sob frequência industrial”, ABNT.
- NBR 5440 “Transformadores para Redes Aéreas de Distribuição - Características Elétricas e Mecânicas - Padronização”, ABNT, 1999.
- Ravaglio, M.A., Kowalski, E.L et alli “Nova Configuração de Transformador de Distribuição”, III Congresso Internacional sobre

Trabajos con Tensión y Seguridad en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica (III CITTES), CIER, San Luis, Argentina, Abril de 2007.

Ravaglio, M.A., Kowalski, E.L et alli “Substituição de Cabos Aéreos em Redes de Média Tensão Energizada”, III Congreso Internacional sobre Trabajos con Tensión y Seguridad en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica (III CITTES), CIER, San Luis, Argentina, Abril de 2007.

Cabussú, M.S., Ravaglio, M.A., Kowalski, E.L et alli “Metodologia e Ferramental para Substituição em Linha Viva de Transformadores de Distribuição”, 18º Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, SENDI, Olinda, Pernambuco, Outubro de 2008.