

# Equipamento Automático para Proteção e Monitoração da Baixa Tensão de Transformadores de Distribuição Convencionais

M. A. Ravaglio, J. C. Nascimento, A. Bannack e J. F. Tholl, LACTEC  
R. Y. Okuyama, GRUPO REDE

*Resumo* – Os defeitos e religamentos da Rede de Distribuição Primária vem sendo estudados pelas Concessionárias do Grupo Rede desde 1.983; em 1.996 foram efetuados levantamentos de defeitos da Rede Secundária, onde constatamos que a grande maioria eram ocasionadas por defeitos não permanentes, resolvemos atuar em duas frentes. Este trabalho apresenta como resultado o protótipo de um equipamento, que pelos testes realizados tem grande probabilidade de ser uma solução para vários problemas que ocorrem nas Redes de Baixa Tensão. As funções, inclusive os materiais a serem empregados, foram especificadas pela Concessionária. Executando as funções de medição, abertura em casos de sobretensão, subtensão, sobrecarga no transformador e curto-circuitos; com religamento automático e temporizado, em tentativas programáveis, com sinalização de atuação e protetores de sobretensão.

*Palavras-chave*— Medição, Monitoramento e Proteção da Rede de Baixa Tensão; Qualidade da Energia; Religamento; Transformadores de Distribuição Convencionais.

## I. INTRODUÇÃO

Nos levantamentos dos defeitos ocorridos na Rede Secundária, constatamos que os percentuais de defeitos não permanentes nas Concessionárias variaram entre 65% e 90%, onde consideraremos como média o valor de 77% dos defeitos na Rede Secundária como sendo não permanentes, muito parecido com o percentual de sucesso em religamentos da Rede Primária, que é de 75% para a primeira tentativa, subindo para 95% de sucesso no religamento da segunda tentativa e que para os 5% restantes da terceira tentativa, temos estatisticamente 70% de probabilidade do defeito não ser permanente, isto é, em média apenas 1,5% das interrupções na Rede Primária é ocasionada por defeitos permanentes, desenvolvemos assim as funções:

---

Apoio financeiro cooperativo das Concessionárias:

CAIUÁ – CAIUÁ Serviços de Eletricidade S.A.

EEB – Empresa Elétrica Bragantina S.A.

CFLO – Companhia Força e Luz do Oeste

Participantes:

Roberto Yutaka Okuyama trabalha para o Grupo Rede

(E-mail: [roberto.yutaka@redesaiua.com.br](mailto:roberto.yutaka@redesaiua.com.br));

Marcelo Antonio Ravaglio trabalha no LACTEC – Alta Tensão

(E-mail: [marcelo@lactec.org.br](mailto:marcelo@lactec.org.br));

José Carlos do Nascimento trabalha no LACTEC - Microeletrônica

(E-mail: [jcarlos@lactec.org.br](mailto:jcarlos@lactec.org.br));

Angelo Bannack trabalha no LACTEC - Microeletrônica

(E-mail: [bannack@lactec.org.br](mailto:bannack@lactec.org.br));

Jardel Francisco Tholl trabalha no LACTEC - Alta Tensão

(E-mail: [jardel@lactec.org.br](mailto:jardel@lactec.org.br)).

A.. Religador

Dado ao alto índice de defeitos não permanentes na Rede Secundária, temos a certeza de que um equipamento que possibilite religamentos irá melhorar os índices de qualidade da energia da Concessionária, reduzindo os índices de DEC/FEC e Tempo Médio de Atendimento (TMA), por evitar a queima do elo fusível que caracteriza uma interrupção que necessita da intervenção das equipes de eletricitas afim de restabelecer o fornecimento de energia, principalmente durante e após temporais, permitindo assim uma melhor racionalização das quantidades das equipes de atendimento e seus respectivos deslocamentos.

## B. Monitoramento

Este equipamento estará constantemente recebendo sinais de tensão e de corrente, para possibilitar a proteção, e que aproveitaremos para viabilizar a medição, tendo softwares que podem ser programados para operarem a abertura ou fechamento do disjuntor caso ocorram variações acima das permitidas. Caso tenhamos motores trifásicos poderemos programar a abertura do disjuntor em casos de falta de uma fase, evitando assim a queima do motor por sobrecarga de uma das outras fases; poderá interromper o fornecimento no caso de sobretensões ou subtensões e retornar a ligar automaticamente quando o sistema estiver normalizado; os elos fusíveis padronizados para a primária do transformador não o protegem contra danos causados por sobrecargas ou curtos circuitos de alta impedância, os transformadores auto protegidos tem que ser religados no local, não evitando os deslocamentos das equipes que representam 60% do tempo total, este protótipo deve ser montado em transformadores convencionais já instalados, sendo que nos testes realizados provou poder ser calibrado para abrir antes da queima dos elos e acima da atuação dos disjuntores dos nossos clientes, na verdade ele aceita parâmetros de tempo e corrente que determinam sua atuação, podendo inclusive interromper a corrente em valor e em tempo bem menor que a do elo nas condições de curto circuito de alta capacidade, assim, aqui também é sugerida uma nova teoria sobre a proteção dos transformadores de distribuição onde eles fiquem sujeitos a uma menor solicitação eletromecânica.

## C. Proteção

Certamente também podemos melhorar a proteção aos equipamentos dos nossos clientes, pois em outro levanta-

mento realizado, constatamos que na grande maioria das vezes nossos clientes informam ter notado que a queima de seu aparelho ocorreu no retorno da energia, assim podemos programar um retardo no religamento além de liberar esta ação somente após a normalização da tensão. Também já está previsto o espaço para a instalação de protetores ou pára-raios. Com estes recursos, podemos reduzir a queima de equipamentos de nossos clientes, sendo este mais um diferencial oferecido pela Concessionária

#### D. Medidor

Atualmente este equipamento pode medir as correntes e tensões das 3 fases, e calcular a energia em kWh que foi posta a disposição pelo transformador, com a ajuda do software de faturamento utilizado pelo Grupo Rede poderemos confrontar este valor com as leituras de todos os medidores de energia instalados nos nossos clientes desse circuito secundário, assim poderemos medir mensalmente as perdas de cada circuito, acompanhar as variações dessas perdas, identificar possíveis vazamentos, defeitos e erros de medição, além de furtos, logo no primeiro mês da ocorrência. Futuramente pretendemos ter a medição completa da baixa tensão, com demanda, reativo, ponta e fora de ponta, o que permitirá trabalharmos objetivamente com a tarifa amarela; conhecermos a real e mais adequada capacidade em kVA do transformador para o circuito; efetuar o balanceamento das correntes das fases.

#### E. Planejamento

A melhor base para um correto planejamento é estudar a evolução individual de cada carga envolvida, seu histórico de consumo, sua influência no conjunto das cargas do circuito de baixa tensão, reportadas ao circuito primário, onde podemos estimar da melhor forma possível quais são os índices de crescimento e onde se localizam os focos de crescimento, compararmos as alternativas de soluções técnicas, para assim termos a maior eficácia na alocação dos investimentos na rede de distribuição, por tudo isso, é importante termos as medições em cada circuito secundário, bem como um software que simule e tome esse banco de dados de consumo, para estudos de fluxo de potência, quedas de tensão, aliados ao estudo de curto circuito.

#### F. Comunicação

Também poderemos ter operando em conjunto com o religador, o sistema Argos do LACTEC, que liga através de linha discada de nossos clientes para números 0800 informando que o equipamento desligou ou religou algum dos circuitos de baixa tensão.

## II. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Quando plenamente desenvolvido, o Religador deverá ser instalado com a função múltipla de proteção contra sobrecorrentes, sobretensões, monitoração e o registro da tensão, corrente, energia e demanda, devendo possibilitar:

- Monitorar tensões, correntes e registrar os seus valores máximos e mínimos até que sejam zerados;
- Interromper o circuito de baixa tensão por subtensão, sobretensão, falta de fase e sobrecorrente, registrando os

valores das cinco últimas correntes transitórias que provocaram a operação do Religador;

- Religar automaticamente o circuito de baixa tensão em condições de falta transitória, com retardo programado e monitoração da tensão;
- Medição de energia ativa (kWh), reativa (kVArh) e a demanda (kW) na ponta e fora da ponta;
- Comunicação automática da interrupção e do restabelecimento do circuito (função ARGOS);
- Comando remoto.

O Religador deverá ser empregado em redes secundárias de distribuição com tensão de operação de 220/127 V, ligado entre os terminais da baixa tensão do transformador de distribuição e a rede secundária de distribuição, para as classes de 15 kV e 34,5 kV, com potências nominais de 15 kVA a 112,5 kVA. Como se admite uma sobrecarga nos transformadores em níveis de 120% a 140%, com pico de demanda diária de duração média de meia hora. Na ocorrência de curtos-circuitos ou sobrecargas excessivas na rede de baixa tensão, o Religador deverá evitar a fusão do elo fusível do lado de alta tensão do transformador. Por outro lado, o Religador deverá respeitar o tempo de atuação da proteção instalada na caixa de entrada do nosso cliente, para faltas em suas instalações.

Para viabilizar o emprego intensivo do Religador no sistema de distribuição, seu custo de fabricação deverá ser bem reduzido; quando comparado com outras alternativas atualmente em uso, como a rede isolada que protege mais a rede porém não tem os recursos deste equipamento, percebemos que o seu custo, mesmo ainda como protótipo, para algumas Concessionárias, já pode dar um bom retorno. Indicamos a utilização do circuito eletrônico de um medidor digital de energia elétrica trifásico, desenvolvido pelo LACTEC, especialmente por ser de baixo custo e por possuir certa disponibilidade de memória de programação para absorver as novas funções propostas neste projeto.

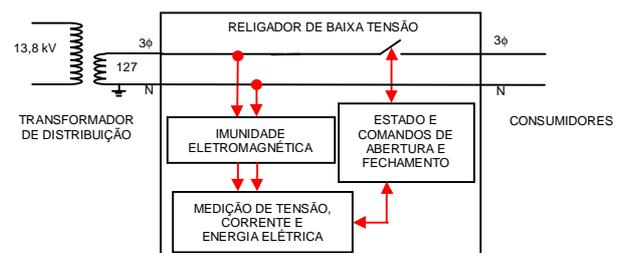


FIG. 1 – DIAGRAMA EM BLOCOS DO RELIGADOR

Este protótipo foi projetado para operar em conjunto com transformador de distribuição de classe 15 kV e potência de 30 kVA, realizando automaticamente as seguintes funções:

- Registrar a energia consumida em kWh, possibilitando sua leitura por um eletricista posicionado no solo, próximo ao poste onde o equipamento está instalado.
- Interrupção do circuito de baixa tensão por:
  - Subtensão: menor que 75% da tensão nominal;
  - Sobretensão: maior que 110% da tensão nominal;
  - Sobrecorrente:
    - Temporizada: 140% da corrente nominal (2 horas); 300% da corrente nominal (1 minuto);
    - Instantânea: maior que 300% da nominal (100 ms); maior que 1500% da nominal (10 ms);

- Falta de tensão primária;
  - Comando manual.
- c) *Religamento após subtensão ou sobretensão:*
- 1ª Tentativa: 15 a 25 s, após a normalização da tensão;
  - 2ª Tentativa: 30 a 60 s, após a normalização da tensão;
  - Bloqueio a partir da 2ª tentativa;
  - Zerar contador de tentativas após 60 s em normalidade;
  - Desativar religamento por comando manual.
- d) *Religamento após sobrecorrente:*
- 1ª Tentativa: 1 a 10 segundos, aleatoriamente;
  - 2ª Tentativa: 10 a 30 segundos, aleatoriamente;
  - 3ª Tentativa: 30 a 60 segundos, aleatoriamente;
  - Bloqueio a partir da 3ª tentativa;
  - Zerar contador de tentativas após 60 s em normalidade;
  - Desativar religamento por comando manual.
- e) *Religar automaticamente o circuito*, interrompido por falta de energia no lado de alta tensão, de 1 a 10 s, aleatoriamente, após normalização da tensão.
- f) *Religar o circuito por comando manual.*
- g) Incrementar *Contador de Subtensões e Sobretensões:*
- Subtensão: menor que 92,5% da tensão nominal (15 s);
  - Sobretensão: maior que 105% da tensão nominal (15 s);
  - Reiniciar temporização após 15 s em normalidade.
- h) Incrementar *Contador de Sobrecorrentes a cada operação de abertura por sobrecorrente.*
- i) Incrementar *Contador de Operações a cada operação completa de abertura e fechamento do Religador.*
- j) *Sinalização de bloqueio* para indicar que o circuito de baixa tensão está aberto e bloqueado; o bloqueio é desativado por operação de fechamento em comando manual ou por falta de energia elétrica no lado de alta tensão do transformador de distribuição.

### III – DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO DE POTÊNCIA

Considera-se a operação do Religador com um transformador de distribuição trifásico 13.800–220/127 V de 30 kVA. A corrente nominal de 1,25 A na alta tensão e de 78,7 A na baixa tensão. De acordo com a ABNT NBR 5440/1999, a impedância de curto-circuito deve apresentar valor de 3,5 %. Assim, podemos ter uma corrente máxima de curto-circuito de 2.250 A. A corrente nominal do disjuntor foi escolhida levando-se em conta a operação do transformador com carregamento máximo de 140. Ensaios de laboratório, indicaram a operação adequada do disjuntor, com tempos de aproximadamente 18 minutos e 3 minutos, respectivamente para o transformador carregado a 200% e 300% do seu valor nominal. Sem o disjuntor na baixa tensão, mesmo aguardando 30 minutos, não se verificou a fusão dos elos fusíveis para a condição de carregamento a 300% da corrente nominal do transformador, indicando que os elos fusíveis não são apropriados para a proteção contra sobrecargas excessivas, tendo ocorrências em todas as Concessionárias de queima de transformadores por deste tipo de problema.

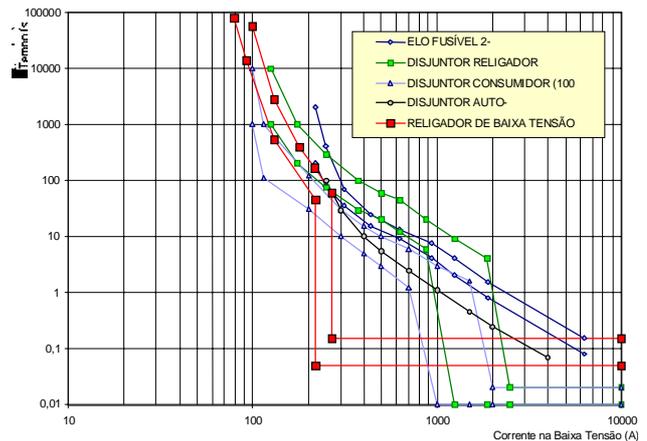


FIG. 2 - CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PROTEÇÃO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO (30 kVA)

### IV – DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO DE CONTROLE

O medidor de energia desenvolvido pelo LACTEC, denominado *SMARTMETER*, é um medidor eletrônico de energia elétrica, de tecnologia digital, para a medição do consumo ativo de energia elétrica (kWh) e do consumo reativo de energia elétrica (kVArh) para instalações em baixa tensão, alimentadas em 127 V ou 220 V, com alta capacidade de corrente e com grande poder de processamento digital. Um módulo auxiliar específico foi desenvolvido para a verificação do estado das grandezas monitoradas e o acionamento do disjuntor do Religador. É composto de fonte chaveada, circuito de proteção contra surtos de tensão e circuitos de condicionamento e interfaceamento de sinais, com isolamento óptica de alta rigidez dielétrica. O *software* foi implementado em linguagem Assembler, processador possui memória *flash* de 8 Kbytes para o armazenamento de instruções de programas, a cada 100 ms, o programa atualiza a leitura da energia elétrica consumida, monitora os valores de tensão e corrente para determinar eventual ocorrência de falta na rede de distribuição e, quando necessário, opera o disjuntor de proteção do circuito de baixa tensão.

### V – ENSAIOS DE LABORATÓRIO E DE CAMPO

O protótipo do Religador foi submetido a ensaios de laboratório para avaliar sua operação sob condições de subtensão, sobretensão e sobrecorrente, com os terminais de saída devidamente curto-circuitados (ver Fig. 3).



FIG. 3 – DETALHE INTERNO DO RELIGADOR

Três chaves fusíveis, com elos do tipo 2H, foram ligadas aos terminais de alta tensão do transformador. Em nenhuma

condição de falha imposta verificou-se a fusão do elo fusível, indicando coordenação satisfatória da proteção oferecida pelo Religador, atributo fundamental para viabilizar sua futura instalação no sistema. Ensaios de verificação funcional, de exatidão, de elevação de temperatura e de imunidade a surtos elétricos foram aplicados ao Religador.

Para avaliação em campo, o protótipo construído foi instalado no sistema de distribuição da CAIUÁ, em Presidente Prudente, ligado aos terminais de baixa tensão de um transformador de distribuição de 30 kVA, conforme mostrado na Fig. 4.



FIG. 4 – ENSAIOS DE CAMPO DO RELIGADOR

A simulação de falta de fase, pela abertura da chave fusível de uma das fases na alta tensão do transformador de distribuição, demonstrou a adequada operação do protótipo desenvolvido, interrompendo e religando a rede de baixa tensão de acordo com as especificações e temporizações definidas. Após o número limite de tentativas previstas, a função de religamento automático foi bloqueada, com sinalização luminosa para alertar a equipe de manutenção da necessidade de intervenção no circuito de baixa tensão protegido.

Além disso, foram realizados ensaios de curto-circuito na rede de baixa tensão, a fim de avaliar a capacidade de interrupção do protótipo desenvolvido em condições reais de operação, assim como para verificar sua coordenação com os elos fusíveis instalados na alta tensão do transformador. Neste caso, a aplicação de um curto-circuito trifásico impôs a circulação de correntes da ordem de 2.300 A eficazes na rede de baixa tensão, com potência de curto-circuito estimada em 0,88 MVA e amplitude da componente assimétrica da corrente de 6.400 A.

O protótipo ensaiado do Religador operou adequadamente nos três primeiros curtos-circuitos aplicados à rede de baixa tensão, demonstrando coordenação satisfatória com o elo fusível instalado na alta tensão do transformador.

Na quarta aplicação, entretanto, verificou-se o superaquecimento do disjuntor, com soldagem dos contatos de um dos pólos, não interrompendo adequadamente o circuito protegido e provocando a fusão do elo-fusível de uma das fases da alta tensão do transformador.

Ainda que a falha do disjuntor em ensaios de campo na rede de distribuição tenha revelado um componente a ser melhor especificado, os resultados obtidos foram plenamente satisfatórios, em especial por atestar que o projeto proposto é adequado para monitorar as redes de baixa tensão, medir energia, tensões, por isso servir futuramente de base para o planejamento da distribuição e proteger transformadores de distribuição convencionais.

## VI – CONCLUSÕES

Atualmente, devido à regulamentação do setor elétrico, as concessionárias de energia elétrica passaram a ter maiores cuidados com a rede de distribuição em baixa tensão, especialmente pela necessidade de reduzir a frequência e a duração das interrupções no suprimento de energia, o custo e o tempo de atendimento de equipes de manutenção, a taxa de falhas de transformadores de distribuição e a ocorrência de fraudes no sistema. Além disso, buscam maximizar a qualidade da energia elétrica comercializada, assim como a satisfação dos consumidores.

O Religador desenvolvido oferece recursos para o atendimento de várias dessas expectativas atuais e futuramente será a base para otimização dos recursos de investimentos planejados das Concessionárias, aliados a programas específicos. O projeto e a montagem de um protótipo, previsto nesta etapa do projeto, extensivamente avaliado por ensaios de laboratório e de campo, indicou que o equipamento proposto é adequado para monitorar as redes de baixa tensão e para proteger transformadores de distribuição convencionais. Apresenta coordenação satisfatória com os elos fusíveis instalados no lado de alta tensão, em futuro próximo, necessários apenas para proteger eventuais falhas internas em transformadores de distribuição.

## VII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NBR 5361 *Disjuntores de Baixa Tensão*, ABNT, 1998.
- NBR 5440 *Transformadores para Redes Aéreas de Distribuição. Padronização*, ABNT, Jul. 1999.
- Ravaglio, M.A., Nascimento, J.C., Bannack, A. Relatório de Conclusão da 1ª Etapa do Projeto *Desenvolvimento de Equipamento automático para a Proteção e Monitoração da Baixa Tensão de Transformadores de Distribuição Convencionais*, LACTEC, AELE 2524/2001, Julho de 2001.
- Yamasaki, H, *Intelligent Sensors (Handbook of Sensors and Actuators, vol. 3)*”, Elsevier Science, 1996.
- MIT *Magnetic Circuits and Transformers*, Department of Electrical Engineering, John Wiley e Sons Inc., 1962.