



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

Julio Shigeaki Omori
Companhia Paranaense de Energia
julio.omori@gmail.com

Redes Inteligentes - A Experiência da Copel na Automação das Redes de Distribuição de Média Tensão

Palavras-chave

Automação de Redes
Automação de Redes
Redes Inteligentes

Resumo

Entre os principais elementos de aplicação do conceito de Redes Inteligentes é a Automação do Sistema Elétrico, particularmente a Automação das Redes de Média Tensão o segmento que a Copel Distribuição tem priorizado no seu plano de implantação. Os resultados obtidos com o início da implantação de sistemas de reconfiguração de cargas nas redes de média tensão de Curitiba comprovam os benefícios desta aplicação e realimentam a viabilidade de implantação do Plano Diretor de Automação idealizado. A implantação cada vez mais significativa de infraestrutura para comunicação entre dispositivos das redes e de medidores eletrônicos indica uma alternativa para integração e compartilhamento entre as aplicações ajudando na viabilização destes segmentos.

1. Introdução

Os sistemas de distribuição de energia em média tensão brasileiros são inerentemente aéreos, radiais e normalmente instalados utilizando cabo de alumínio nú. Este tipo de topologia acarreta em valores de DEC (Duração Equivalente por Consumidor) de dezenas de horas para atendimento de consumidores urbanos chegando a centena de horas para atendimento de consumidores rurais.

Com base nesta e em outras informações relevantes a Copel Distribuição estabeleceu os seguintes objetivos e expectativas para a aplicação dos conceitos de Redes Inteligentes de Distribuição de Energia:

1. Melhorar a Qualidade do Fornecimento

- Operação remota e/ou autônoma da Rede de Distribuição e de Subestações;
- Reduzir o DEC e o FEC Global para valores inferiores a Três.

2. Reduzir os Custos Operacionais

- Leitura de medidores, suspensão e religamento remoto;
- Operação remota e/ou autônoma da Rede de Distribuição;
- Reduzir custos técnico-comerciais em 35%.

3. Melhorar a Assertividade do Planejamento da Expansão

- Informações on line do consumo e fluxo de potência;
- Incremento de 20% no fator de carga da Copel;
- Reduzir os investimentos em expansão.

4. Reduzir as Perdas

- Reduzir perdas técnicas de 6,5% para 4%;
- Reduzir perdas comerciais de 1,5% para 0,5%.

5. Preparar o Sistema para a GD e Cargas Especiais

- Antecipar os benefícios da conexão em massa de pequenas gerações;
- Viabilizar o atendimento aos veículos elétricos;

O planejamento de médio prazo realizado prevê a implantação até 2020, dependendo de alguns fatores principalmente de aspectos regulatórios.

2. Desenvolvimento

2.1 MELHORIA NA QUALIDADE DO FORNECIMENTO DE ENERGIA

A prioridade para a melhoria contínua no fornecimento de energia aos consumidores é um dos objetivos estratégicos da Copel Distribuição, devido aos seguintes fatores:

- Satisfação do Consumidor e Imagem da Empresa:** Apesar da dificuldade de mensurar a melhoria da satisfação do consumidor e da imagem da empresa, pode-se afirmar que a qualidade da energia fornecida tem ação direta sobre a percepção do consumidor.
- Aumento do Faturamento:** A redução do número e na duração das interrupções proporcionam naturalmente o aumento da energia faturada (benefício da concessionária) e redução da energia não distribuída (custo social da energia).
- Redução de Multas:** A compensação financeira por baixos indicadores de qualidade de energia individuais (DIC, FIC e DMIC) representam valores significativos na ordem de milhões de reais para a maioria das grandes concessionárias de distribuição de energia.
- Redução de Custos Operacionais:** A melhoria da qualidade de energia acarreta em redução de custos

operacionais, principalmente devido a redução de atividade das equipes de manutenção, refletindo em menos horas trabalhadas e quilômetros rodados pelos veículos utilizados.

Além dos pontos citados o terceiro ciclo de revisão tarifária das distribuidoras de energia apresenta o Fator Q (qualidade do serviço) como um dos componentes a serem consideradas no cálculo do Fator X.

$$\text{Fator } X = Pd + Q + T$$

Pd = Ganhos de produtividade da atividade de distribuição;

Q = Qualidade do Serviço;

T = Trajetória dos Custos Operacionais.

Desta forma a qualidade do fornecimento de energia terá influência direta no ganho de eficiência da distribuidora. Este cálculo será realizado anualmente e afetará diretamente a geração de caixa.

A Figura 1 apresenta uma simulação para redução de uma hora do DEC da Copel Distribuição. Os valores apresentados são anuais e demonstram que alguns dos parâmetros que pode ser calculados representam reversão de custos de R\$ 13,5 Milhões anuais.

Parâmetro	R\$ Milhões
Hora Extra	R\$ 1,20
KM Rodados	R\$ 1,30
Multa	R\$ 1,50
Fator Q	R\$ 2,50
Produtividade	R\$ 2,00
END	R\$ 5,00
Total	R\$ 13,50

Figura 1- Redução de Custos com a Melhoria de Uma hora no DEC

As ferramentas empregadas para melhoria da qualidade do fornecimento de energia são:

- A Implantação das Obras de Infraestrutura Elétrica: Novas Linhas, Subestações e Redes
- A Implantação de Obras de Melhoria do Sistema Elétrico: Reisolamento de linhas e redes, implantação de novos padrões de montagem, circuitos interligadores e atendimentos contingenciais
- A execução de Obras de Renovação do Sistema Elétrico: Substituição de Equipamentos obsoletos e depreciados por novas tecnologias que proporcionam novos recursos operativos
- Intensificação da manutenção: Aplicação de manutenção preditiva e preventiva.
- Novos Procedimentos Operacionais: Aplicação de novos procedimentos operacionais visando a minimização das interrupções no sistema elétrico.
- O Emprego de Novas Tecnologias e Sistemas Computacionais de Apoio: Neste requisito a aplicação do conceito de Redes Inteligentes possui contribuição direta.

A Copel Distribuição tem aplicado estas ferramentas e tem conseguido evoluir significativamente na qualidade da energia fornecida aos seus consumidores, conforme pode ser verificado na Figura 2.

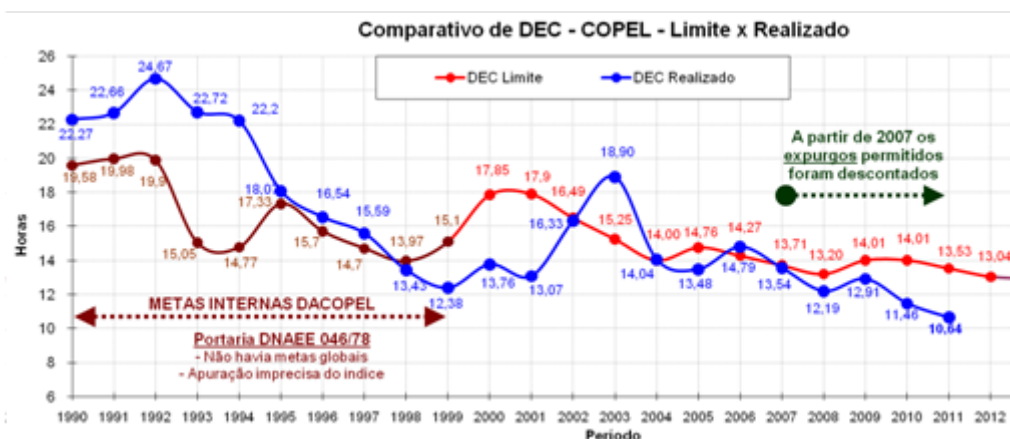


Figura 2 - Trajetória do DEC da Copel Distribuição

Para acelerar a redução dos indicadores de qualidade da energia a aplicação de novas tecnologias através da automação das redes de distribuição de média tensão, foi a ferramenta elegida como principal elemento a ser adotado.

2.2 A AUTOMAÇÃO DE REDE DE MÉDIA TENSÃO NA COPEL

A Copel Distribuição investe na automação dos sistemas elétricos de distribuição a mais de 30 anos. A primeira etapa foi a implantação da automação de subestações de alta tensão, a segunda etapa a automação de subestações de média tensão e a terceira etapa trata da automação das redes de média tensão que está em processo de execução. Os dados de automação do sistema elétrico de Distribuição da Copel são resumidos abaixo:

- 255 Subestações e Estações de Chaves de Média Tensão Automatizadas
- 120 Subestações de Alta Tensão Automatizadas
- 1820 Religadores de Saídas de Alimentadores Automatizados
- 600 Chaves de Operação Sob Carga Automatizadas
- 60 Religadores Automatizados

Os circuitos de média tensão alimentam normalmente de mil a dez mil consumidores e uma interrupção em qualquer ponto do tronco deste circuito acarreta um desligamento geral nos milhares de consumidores conectados a este. Pode-se considerar que o ponto central de desenvolvimento deve ser a redução do impacto das interrupções nos troncos dos alimentadores de média tensão. Desta forma o plano Diretor de Automação das Redes de Média Tensão da Copel, contempla esta implantação em Cinco Etapas, conforme apresentadas na Figura 3.

Item	Etapa	2012	2014	2016	2018	2020
1	Implantação da Infraestrutura de Seccionamento, Proteção, Localização e Comunicação					
2	Desenvolvimento de Comunicação entre os Dispositivos e Telesupervisão					
3	Aplicação de Controle Automático Nível 1 Controle Automático Local					
4	Aplicação de Controle Automático Nível 2 Controle Automático Global					
5	Otimização dos Sistemas de Reconfiguração, Perdas, Tensão e Reativos					

Figura 3 – Plano de Automação das Redes de Média Tensão

Em resumo na primeira etapa pretende-se aplicar novos pontos de proteção seccionamento e interligação nas redes. Na segunda etapa pretende-se aplicar comunicação entre os novos dispositivos e o centro de controle. A terceira etapa compreende a aplicação de reconfiguração automática dos dispositivos de forma descentralizada. A quarta etapa a reconfiguração de rede será aplicada de forma centralizada. A quinta etapa compreende a aplicação de algoritmos de otimização integrando a reconfiguração de rede com a minimização de perdas e o controle de tensão e reativos.

2.3 TECNOLOGIA UTILIZADA NA AUTOMAÇÃO DE REDES

Os equipamentos básicos utilizados na implantação da automação das redes de distribuição são chaves de operação sob carga motorizadas, equipadas com interface para instrumentação e controle. São utilizadas chaves isoladas a Gás SF6 conforme ilustrado na Figura 4.

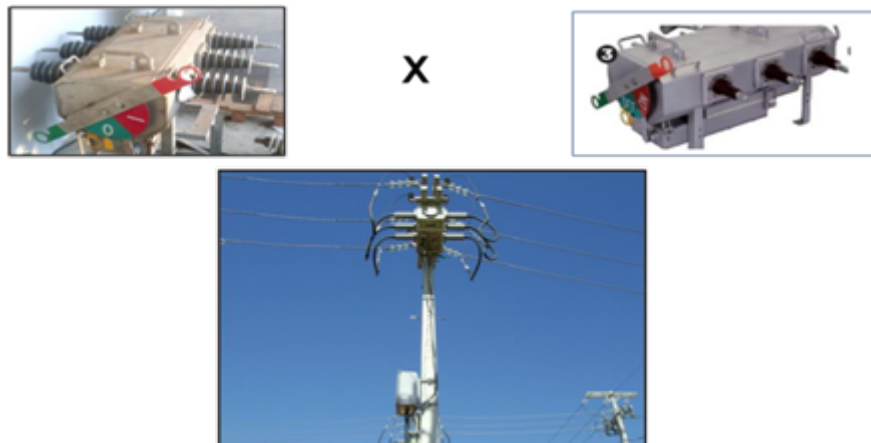


Figura 4- Chaves de Operação Sob Carga Isoladas a SF6

As chaves são equipadas com três sensores de corrente e seis sensores de tensão (três do lado da carga e três do lado da fonte). Este sensoramento permite empregar algoritmos de reconfiguração baseados na ausência ou presença de tensão e de corrente nestes pontos de monitoramento. A Figura 5 apresenta a localização dos sensores e a possibilidade de monitorar os parâmetros elétricos através do Centro de Controle da Distribuição (COD).



Figura 5- Sensoramento das Chaves e Monitoramento

A aquisição de dados e a unidade lógica de controle é realizada através de unidades remotas. Estas unidades possuem elevada capacidade de processamento, memória de massa e lógica programável. Desta forma é possível identificar através de conversão analógica/digital a passagem de corrente de falta e comparação com as curvas de proteção que são normalmente parametrizáveis. Estes dispositivos também possuem capacidade de comunicação utilizando protocolo padrão da Copel (DNP3). A Figura 6 ilustra a aplicação das unidades remotas que integram as chaves de rede.



Figura 6- Unidades Terminais Remotas

Para executar a comunicação entre as unidades terminais remotas e o centro de controle é utilizada a infraestrutura da Copel Telecomunicações. Uma rede lógica virtual privativa para o sistema de automação é empregada e provê o encapsulamento do protocolo DNP3 sobre a rede IP. Desta forma os dispositivos efetuam a comunicação individualmente trafegando pela nuvem conforme ilustrado na Figura 7.

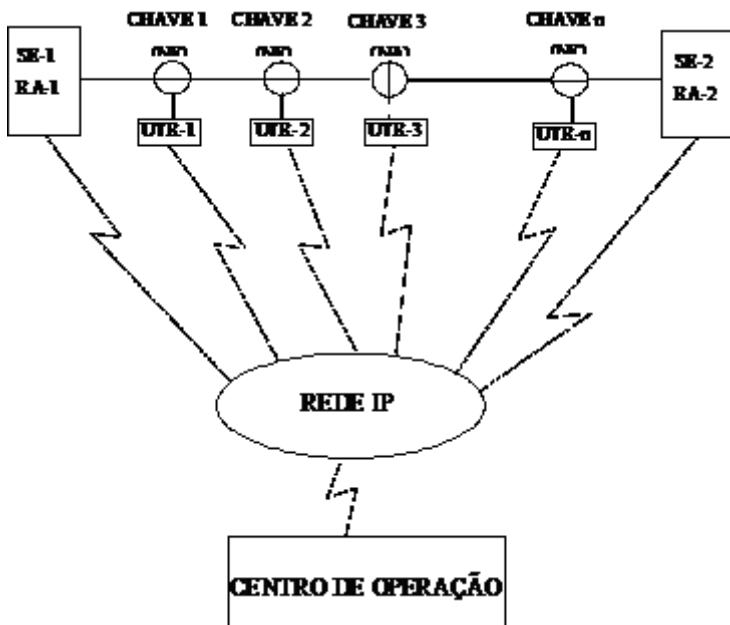


Figura 7- Sistema de Comunicações Utilizado

A integração entre as chaves, as unidades remotas, o sistema de telecomunicações e o software Scada utilizado no centro de controle, proporciona a infraestrutura para implantação da automação das redes de média tensão. A Figura 8 ilustra esta integração.

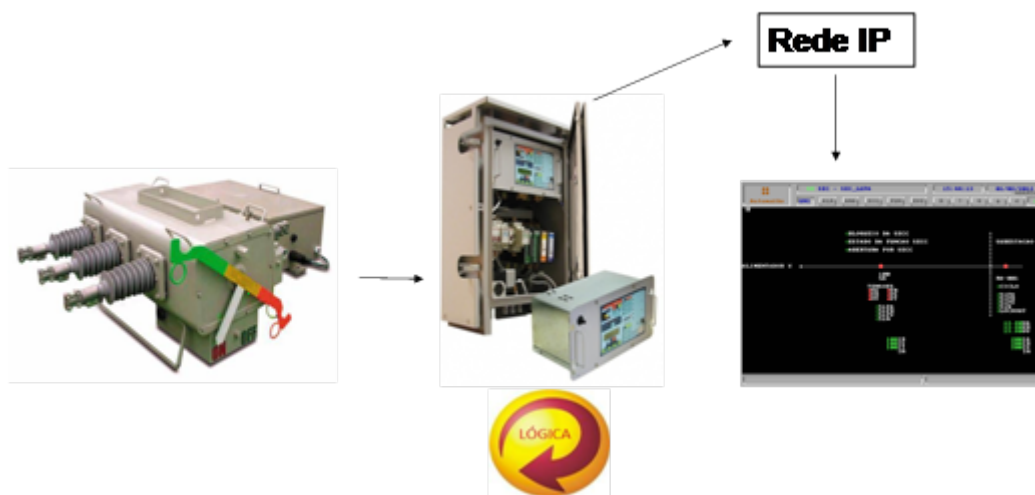


Figura 8- Integração Entre os Elementos de Automação de Chaves

Através de um ajuste realizado nas unidades terminais remotas (controle) das chaves é possível proporcionar as seguintes informações aos operadores do Centro de Controle da Distribuição, contribuindo desta forma como apoio para tomada de decisão:

- Dados da Subestação, circuito e chave
- Valor de Identificação de Ausência de tensão
- Nível de Corrente e Tempo para Identificação da Corrente de Falta para as Fases
- Nível de Corrente e Tempo para Identificação da Corrente de Falta para o Neutro
- Valor de Corrente para Identificação de Sobrecarga no Alimentador

A Figura 9 ilustra uma das configurações implantadas nas subestações da cidade de Foz do Iguaçu.

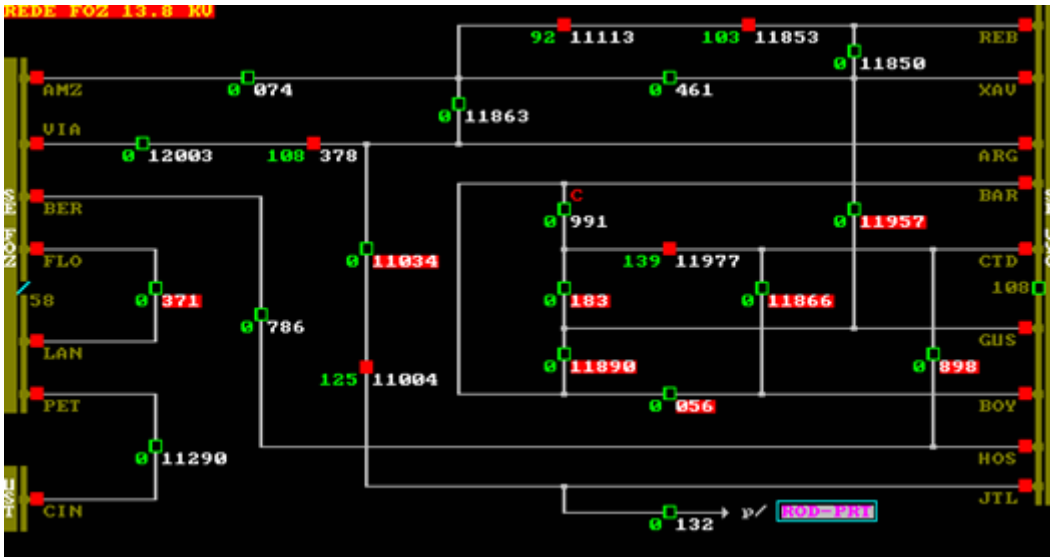


Figura 9- Disposição de Chaves Telecomandadas na Cidade de Foz do Iguaçu

4. ESTUDO DE CADO DE APLICAÇÃO EM CURITIBA

Foi utilizada a configuração da cidade de Curitiba para exposição dos resultados verificados após a instalação do sistema de automação descrito. No final do ano de 2012 foram instaladas 200 novas chaves da cidade de Curitiba. Durante o ano de 2011 foram monitoradas as ocorrências e operações realizadas com operação remota através do Centro de Controle, desta forma foi possível comparar o desempenho relativo ao tempo de atendimento e melhoria dos indicadores de qualidade da energia da Cidade. Ao todo foram realizadas 108 operações das chaves que envolviam trezentos e três mil unidades consumidoras. A Figura 12 ilustra uma das configurações utilizadas para operação remota utilizando o sistema para automação das chaves.

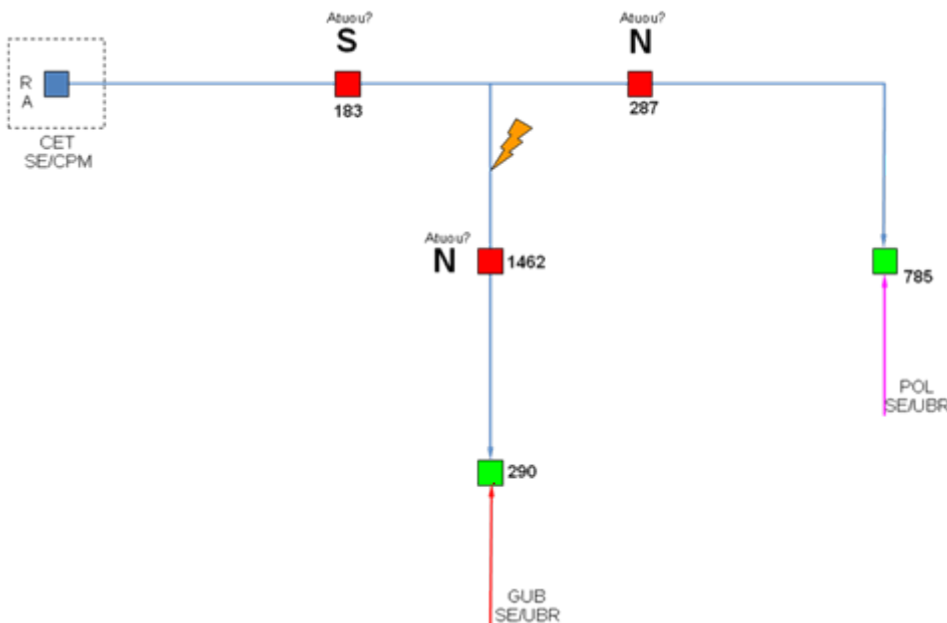


Figura 12- Locação Estratégica das Chaves para Aplicação da Operação Remota

Após a verificação de ausência de tensão no circuito e da identificação dos trechos de corrente de falta, é possível isolar o trecho defeituoso. Desta forma através das informações dos sensores de tensão e de corrente

os operadores do Centro de Controle executam operação remota reestabelecendo os trechos sem defeito, conforme ilustra a Figura 13.

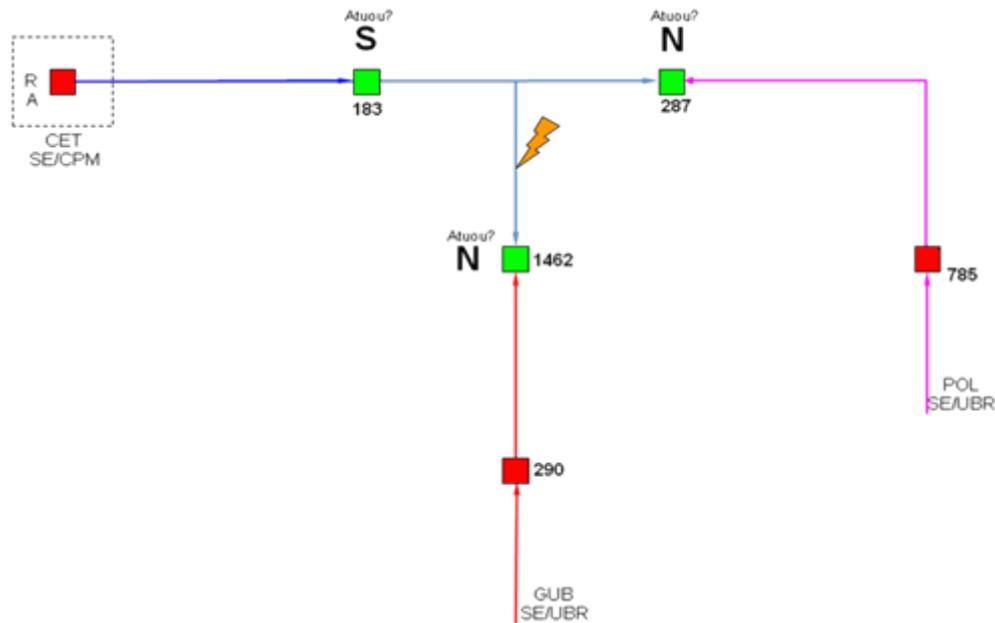


Figura 13- Reconfiguração Realizada para Isolar o Defeito e Reestabelecimento

Com a aplicação deste conceito foi recomposto em média 2.572 unidades consumidoras por operação. Acarretando a redução do DEC e DIC para 303 mil Unidades Consumidoras, com o tempo médio de recomposição reduzindo de 25 minutos para 7 minutos. Oitenta por cento das manobras foram realizadas em menos de dez minutos. A Figura 14 ilustra o ganho no tempo de recomposição.

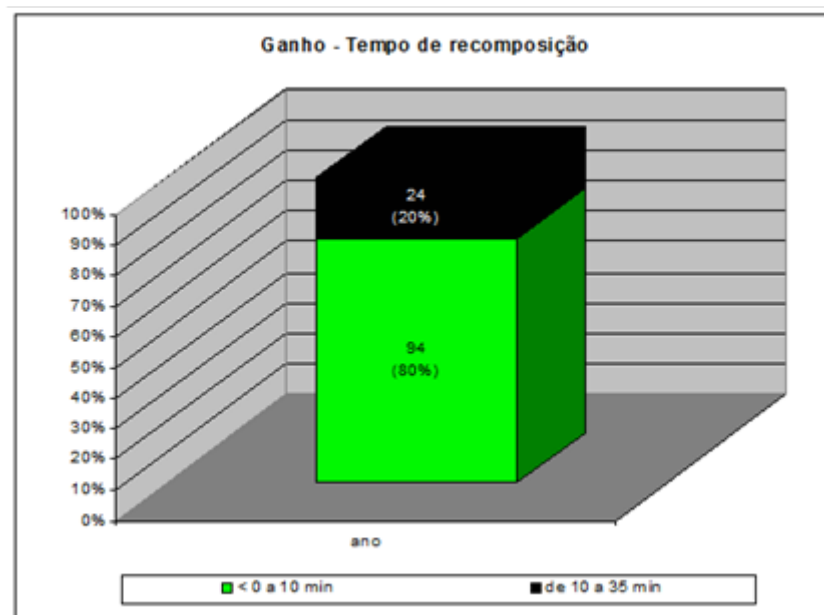


Figura 14- Tempo de Recomposição Majoritariamente Inferior a 10 Minutos

Como resultado foi possível evitar DEC, FEC, DIC, FIC e DMIC para 115 mil UCs (38,14% das operações foram realizadas com tempo inferior a 3 minutos (conforme Figura 15).

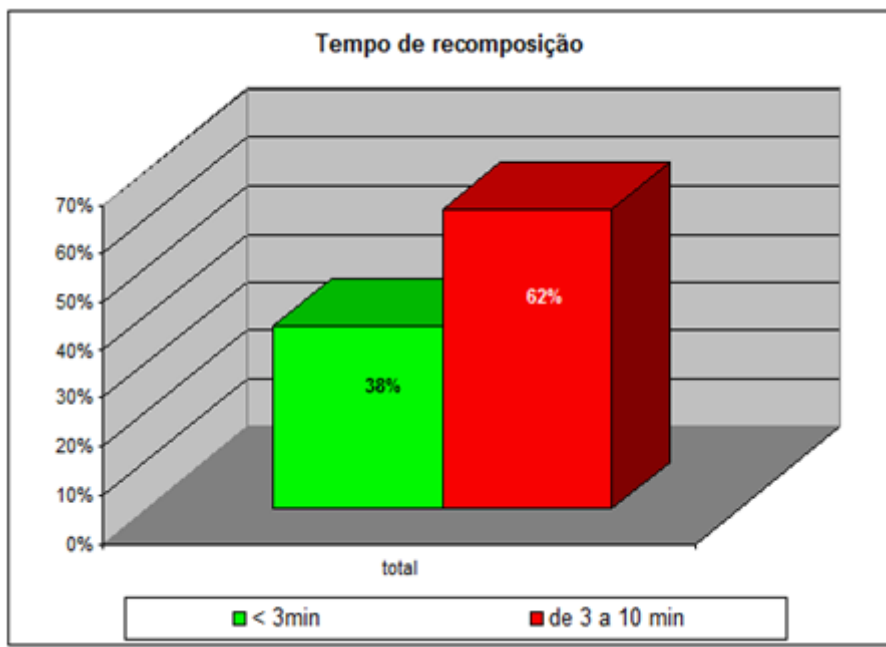


Figura 15- Expressivo Número de Eventos Inferiores a 3 Minutos

Foi possível reduzir aproximadamente 70% do DEC dos circuitos onde as chaves teleoperadas foram aplicadas.

O Programa de Automação de da rede de Média Tensão de Curitiba acompanhará o cronograma de obras para a Copa do Mundo. Está previsto até o evento (2014) as seguintes obras:

- Instalação de 700 Novos Pontos de Seccionamento e Proteção (Chaves e Religadores Automáticos)
- Construção de Circuitos Interligadores entre Subestações
- Aplicação de Sistemas de Reconfiguração de Carga Local e Regional
- Automação de Toda a Rede de Média Tensão de Curitiba

2.5 PROJETOS EM ANDAMENTO

Além do primeiro estágio de teleoperação de chaves implantado, também estão sendo realizados testes para aplicação de isolamento e reconfiguração automático dos circuitos.

2.5.1 Seccionamento e Reconfiguração de Rede

A Copel Distribuição está testando três soluções de reconfiguração automática de alimentadores, conforme ilustrado na Figura 16

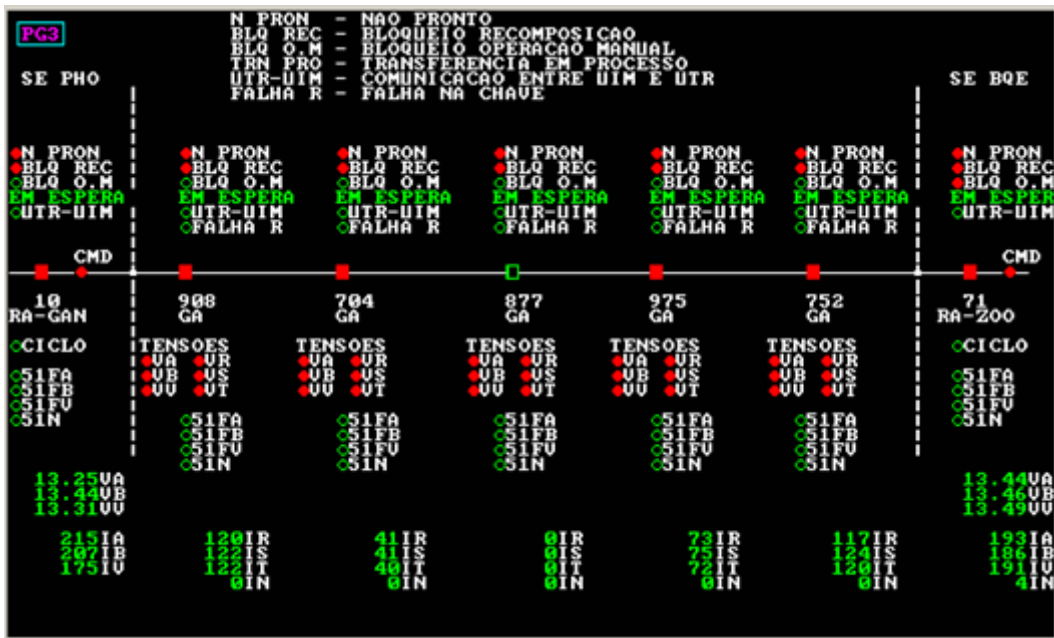


Figura 16- Sistema de Reconfiguração Automática

Nestes casos a ação de controle é realizada automaticamente sem a interferência dos operadores. As soluções utilizam controle descentralizado que atua de forma local e disponibiliza os dados de supervisão para o Centro de Controle, que a qual quer momento também poderá atuar remotamente ou bloquear a função de reconfiguração.

2.5.2 -Configuração Híbrida

Também estão sendo testadas configurações híbridas entre chaves a gás (GA) e religadores automáticos (RAs). Conforme ilustra a Figura 17.

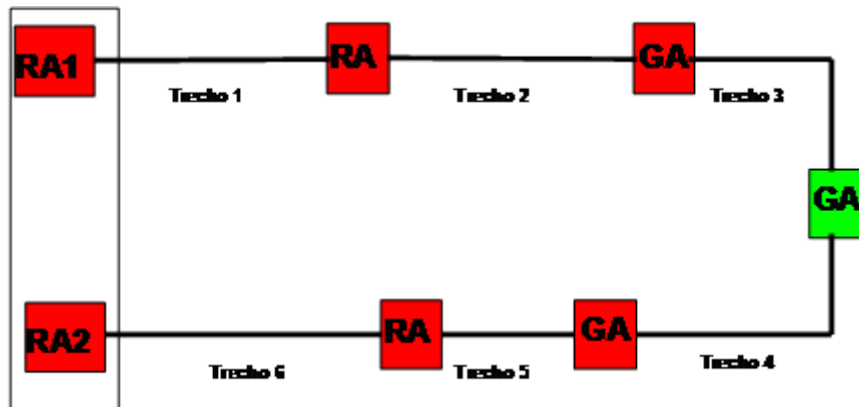


Figura 17 –Configuração Híbrida com Chaves e Religadores

A aplicação de religadores apresentam como vantagem a possibilidade de tentativa sob falta, identificação de falta mais robusta e recursos especiais como o cálculo da localização da falta e registros oscilográficos. A maior desvantagem são os custos superiores em comparação a aplicação de chaves.

3. Conclusões

Nos circuitos onde foram possíveis a aplicação da primeira e segunda etapas previstas no plano diretor de automação de redes, foi possível reduzir em 70% o valor do DEC na cidade de Curitiba.

A automação da rede de distribuição apresentou excelente relação de Custo x Benefício. Determinados circuitos onde esta metodologia é aplicada o retorno sobre a aplicação ocorre em menos de um ano.

A obtenção de valores de DEC inferiores a uma hora no Brasil onde os sistemas são aéreos e radiais, somente será possível através de aplicação de investimentos em redundância de alimentação, proteção dos cabos e principalmente a adoção de sistemas de automação de rede.

A reconfiguração automática local e centralizada, que são previstas na terceira e quarta etapas do plano de automação de rede da Copel, devem ser os próximos passos a serem implantados e naturalmente proporcionaram redução no tempo de operação e melhoria substancial na qualidade da energia fornecida.

A aplicação plena dos sistemas de reconfiguração automática de rede de média tensão, resultam em uma extensa rede de sensores e apresentam convergência direta com o conceito das redes inteligentes de distribuição que sem dúvida contribuirão decisivamente para a melhoria na qualidade do fornecimento de energia no Brasil.

4. Referências bibliográficas

- 1- Portela, Juliano. Automação de Subestações Através de Substituição de Religadores, XV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, 2002.
 - 2 - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Prodlist Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica – Brasil.
-