

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARCELO SANTIAGO TIMOSSI

AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS NA UTILIZAÇÃO DO CONCEITO
***SMART GRID* PARA RECONFIGURAÇÃO AUTOMÁTICA DE**
CARGAS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

MONOGRAFIA

PONTA GROSSA

2013

MARCELO SANTIAGO TIMOSSI

**AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS NA UTILIZAÇÃO DO CONCEITO
SMART GRID PARA RECONFIGURAÇÃO AUTOMÁTICA DE
CARGAS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA**

Monografia apresentada como requisito parcial a obtenção do título de Especialista em Engenharia de Produção, do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos de Francisco

PONTA GROSSA

2013



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS PONTA GROSSA
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Curso de Especialização em Engenharia de Produção



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS NA UTILIZAÇÃO DO CONCEITO *SMART GRID* PARA RECONFIGURAÇÃO AUTOMÁTICA DE CARGAS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

por

Marcelo Santiago Timossi

Esta monografia foi apresentada no dia 07 de Dezembro de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de ESPECIALISTA EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Flavio Trojan (UTFPR)
Membro

Prof. Dr. Antônio Carlos de Francisco (UTFPR)
Orientador

Visto do Coordenador:

Prof. Dr. Luis Mauricio Martins de Resende
Coordenador I CEEP
UTFPR – Câmpus Ponta Grossa

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha família por todos serem um exemplo de dedicação para mim. Meu amor e orgulho por vocês e incondicional. Muito obrigado por estarem sempre ao meu lado, meu Pai, minha mãe, meus irmãos Lucio Flavio e Simone, meus cunhados e amigos Fernanda e Paulo Cesar e meus sobrinhos queridos Eduardo, Luana e Milena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre presente em minha vida e iluminando meus passos.

A minha família, pela compreensão, pelo amor e carinho que cada um tem por mim, por me apoiarem em todas minhas escolhas e decisões, e principalmente por me darem força todos os dias da minha vida para seguir em frente.

Aos meus amigos, pelos conselhos e palavras, por sempre acreditarem na minha capacidade, muitas vezes muito mais do que eu mesmo.

Ao meu orientador Professor Antonio Carlos de Francisco por me incentivar e me propor grandes desafios, pelas palavras, pelo conhecimento e principalmente pelos conselhos, pelas conversas e por me mostrar que a vida pode ter outro sentido.

A professora Regina Negri Pagani por mais uma vez ter acreditado no meu projeto, por ter me guiado mais uma vez, por estar sempre pronta a ajudar, pelos conselhos, dicas e principalmente por toda dedicação.

*“A felicidade só é verdadeira quando
compartilhada”*

(Alex Supertramp)

RESUMO

TIMOSSI, Marcelo Santiago. **Avaliação dos benefícios na utilização do conceito *Smart Grid* para reconfiguração automática de cargas na rede de distribuição de energia.** 2013. 44 fs. Monografia (Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa. 2013.

As redes de distribuição de energia elétrica exigem cada vez mais de componentes confiáveis e que possibilitem a implantação de inteligência na busca de reconfigurar o sistema elétrico quando ocorre alguma falta ou falha. As concessionárias distribuidoras de energia elétrica necessitam estar constantemente renovando seus equipamentos e buscando sistemas que apresentem um grande índice de confiabilidade e principalmente atendam ao que é exigido pelos órgãos regulamentadores. Existe uma concentração mundial para desenvolver estudos e componentes que tornem as redes de distribuição de energia elétrica autônomas, que operem e se restabeleçam sem a necessidade de intervenção de operadores, buscando principalmente a rápida recomposição do sistema quando necessário e aumentando a eficácia desse mesmo sistema. O conceito *Smart Grids* (redes inteligentes), que apresenta várias linhas de desenvolvimento para o sistema elétrico de potência, é onde as empresas têm buscado focar todos os esforços para atender as necessidades das novas exigências e necessidades das redes de distribuição de energia elétrica. O presente trabalho apresenta algumas definições sobre o conceito *Smart Grids*, suas formas de apresentação e desenvolvimento no cenário internacional e nacional. Dentro do estudo, são demonstradas algumas possibilidades de utilização do sistema de reconfiguração automática das redes de distribuição de energia elétrica buscando minimizar os impactos ocasionados pela falta indesejada de energia elétrica. Ainda dentro das redes de distribuição de energia elétrica, são apresentados os componentes necessários para operação e implantação do conceito *Smart Grids*, os equipamentos que compõem esse sistema e alguns conceitos sobre proteção dessa rede.

Palavras-chave: *Smart Grids*. Reconfiguração Automática. Redes de Distribuição de Energia.

ABSTRACT

TIMOSSI, Marcelo Santiago. **Evaluation of the benefits of using *Smart Grid* concept for automatic reconfiguration of loads in the power distribution network.** 2013. 44 p. Monograph (Post Graduate in Production Engineering) – Post Graduate Program in Production Engineering. Federal Technology University – Paraná. Ponta Grossa. 2013.

The distribution networks of electricity demand more reliable component and enable the deployment of intelligence in seeking to reconfigure the electrical system when a fault or failure occurs. The electricity distribution companies need to be constantly renewing its equipment and seeking systems that have a high rate of reliability and especially to meet what is required by regulators. There is a concentration global studies and to develop components that make the distribution networks of electricity autonomous , operating and restore without the need for operator intervention , seeking mainly to the rapid recovery of the system when needed and increasing the effectiveness of that system. The concept of Smart Grids (smart grids) , which features several lines of development for the electric power system , is where companies have been focusing all efforts to meet the needs of the new requirements and needs of the distribution networks of electricity. This paper presents some definitions of the concept Smart Grids, presentation forms and development in the international and national levels. Within the study, are shown some possible uses of the system of automatic reconfiguration of distribution networks power seeking to minimize unwanted impacts caused by the lack of electricity. Even within the distribution networks of electricity, are presented the components needed for operation and deployment of the Smart Grid concept, the devices that make up this system and some concepts on protection of the network.

Keywords: *Smart Grids*. Automatic Reconfiguration. Power Distribution Networks.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sistema Exemplo em sua Configuração Normal	24
Figura 2 – Falta Entre as Chaves A, B, C.....	25
Figura 3 – Chaves J e F Fecham.....	26
Figura 4 – Sistema Após a Reconfiguração Automática.....	27
Figura 5 – Yukon Feeder Automation em Arquitetura Descentralizada.....	29
Figura 6 – Yukon Feeder Automation em Arquitetura Centralizada em Linha	30
Figura 7 – Yukon Feeder Automation em Arquitetura Centralizada Anexa.....	31
Figura 8 – Religador Automático	35
Figura 9 – Religador instalado na saída do alimentador na SE.....	36
Figura 10 – Sequência de operação do religador.....	36
Figura 11 – Chave Seccionalizadora	37
Figura 12 – Seccionalizador Ligado a Jusante do Religador.....	38
Figura 13 – Princípio de Coordenação Religador X Seccionalizador.....	38
Figura 14 – Arquitetura Típica de um Sistema SCADA.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSI - American National Standards Institute
COD - Centro de Operações da Distribuição
COPEL - Companhia Paranaense de Energia
COR - Centro de Operações Regionais
COS - Centro de Operações do Sistema
CP - Controladores Programáveis
DEC - Duração Equivalente de Continuidade
DIC - Duração de Interrupção por Unidade Consumidora
DMS - Distribution Management System
FEC - Frequência Equivalente de Continuidade
FIC - Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora
IEC - International Electrotechnical Commission
IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers
IHM - Interface Homem Máquina
SBD - Servidor de Banco de Dados
SC - Sistema de Comunicação
SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition
SELF – HEALING - Sistemas de Auto-Recuperação
SMART GRID – Redes Inteligentes
UTR - Unidade Terminal Remota

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBETIVOS	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	METODOLOGIA ADOTADA	16
2	SMART GRIDS (REDES INTELIGENTES)	17
2.1	SMART GRID NO CENÁRIO INTERNACIONAL	19
2.2	SMART GRID NO CENÁRIO NACIONAL	20
2.3	REDES INTELIGENTES NA ÁREA DE AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS	21
2.4	SISTEMAS DE RECONFIGURAÇÃO AUTOMÁTICA	22
2.4.1	Sistema de Recomposição Automática INTELLITEAM (S&C, 2013).	22
2.4.1.1	Princípio de Funcionamento do Sistema	23
2.4.2	Sistema de Reconfiguração Automática de Redes – Solução “Yukon Feeder Automation”	27
2.4.2.1	Princípio de Funcionamento do Sistema	28
2.4.2.2	Arquitetura do Projeto	29
2.4.2.3	Arquitetura Descentralizada	29
2.4.2.4	Arquitetura Centralizada	30
2.4.3	Sistema de Gerenciamento de Distribuição (SCADA/DMS)	31
3	A ESTRUTURA DO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA	33
3.1	GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	33
3.2	TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	33
3.3	DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	33
4	DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	35
4.1	RELIGADOR AUTOMÁTICO	35
4.2	CHAVE SECCIONALIZADORA	37
4.2.1	Função de Proteção na Chave Seccionalizadora	38
5	SISTEMAS SCADA	40
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

A temática do presente projeto está inserida no campo de estudos sobre automação de subestações e de redes de distribuição de energia.

As concessionárias de energia elétrica devem prover o serviço de fornecimento de energia, com requisitos de qualidade e de disponibilidade estabelecidos pelo órgão regulador, que no caso deste serviço é a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

Os dois principais indicadores de qualidade de fornecimento de energia elétrica são os índices de duração e de frequência da interrupção (DEC e FEC). Em uma situação de desligamento de um trecho da rede, é necessário deslocar equipes de manutenção, que devem percorrer todo o trecho do alimentador, identificando o defeito, isolando-o e reenergizando os trechos possíveis. Após esta etapa, realiza-se a manutenção do trecho com defeito. Esse processo é relativamente demorado (em média da ordem de 30 minutos) comparando-se com o tempo máximo para religamento do sistema sem que sejam computadas punições para a concessionária (tempo deve ser inferior a 3 minutos). Este processo exige a mobilização de equipes que devem percorrer até alguns quilômetros da rede de distribuição tentando encontrar o trecho com defeito.

Para que estes indicadores possam ser cumpridos, algumas ações vêm sendo tomadas, como a modernização de equipamentos instalados na rede de distribuição de energia, na qual as concessionárias têm buscado automatizar algumas destas tarefas.

Entende-se por automação no setor elétrico a integração entre dispositivos de medição e de controle, sensores, sistemas de telecomunicações e de computação para o monitoramento e o controle dos sistemas de transmissão e de distribuição de energia. Os sistemas de supervisão e controle são conhecidos como sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), e objetivam a melhoria da operação do sistema elétrico e a maximização da sua utilização do ponto de vista econômico (JARDINI, 1996).

O sistema de energia elétrica foi construído ao longo de mais um século. Atualmente é um dos componentes da infraestrutura dos quais a sociedade moderna efetivamente mais depende. Ele fornece energia elétrica para a indústria, para consumidores comerciais e residenciais, atendendo a uma crescente demanda.

Para satisfazer a crescente demanda por energia e a necessidade de redução nas emissões de dióxido de carbono, a sociedade necessita de um sistema elétrico que seja sustentável, confiável e econômico, em diálogo com os requisitos que a agenda voltada para a

tecnologia, inovação e sustentabilidade possam garantir o desenvolvimento. Assim, um sistema elétrico deverá preocupar-se em cumprir quatro requisitos (ABB, 2013):

- Capacidade: a enorme demanda por energia elétrica tem que ser satisfeita;
- Confiabilidade: sempre que necessário a eletricidade deve estar disponível, com alta qualidade e sem interrupções;
- Eficiência: da produção e transmissão, até o consumo final a energia tem que ser economizada;
- Sustentabilidade: Fontes de energia com baixo teor de carbono devem ser integradas ao sistema.

O segmento da distribuição de energia, além de realizar a interface entre o sistema de transmissão e a geração distribuída, possui a maior malha de circuitos que proporcionam o atendimento aos consumidores finais. É neste segmento que estão às maiores mudanças e as oportunidades de implantação de um novo conceito dentro do sistema elétrico, o de redes inteligentes (*Smart Grids*). Esta tecnologia permite a estruturação de uma integração plena entre as subestações, redes elétricas (de média e baixa tensão), equipamentos elétricos da rede (transformadores, reguladores de tensão, banco de capacitores, chaves, religadores, relés de proteção) (COPEL, 2010).

O conceito de rede inteligente busca incorporar tecnologias de monitoramento, informática e telecomunicações para prover o melhor desempenho da rede, identificando mais rapidamente suas falhas e capacitando-a a se auto recompor diante de ocorrências que afetem o seu desempenho (CPQD, 2013).

Este conceito de redes inteligentes é um conceito amplo, com aplicações nas mais diversas áreas, como eficiência energética, integração de geração distribuída, controle de demanda, medição eletrônica e de automação.

Embora o sistema elétrico seja de fundamental importância para satisfazer as necessidades do mundo moderno, o mesmo está sempre muito vulnerável a falhas. A interrupção de um braço da rede de distribuição causa um efeito em cascata, já que não é possível estabelecer “rotas alternativas” como em uma rede de computadores. Além disso, as distribuidoras só tomam conhecimento das falhas quando há reclamações por parte dos clientes.

Dessa forma, justifica-se a pesquisa diante da carência de estudos sobre a implementação de sistemas de recomposição automática de cargas na rede de distribuição de energia, colaborando como subsídio em termos de referenciais teóricos para a área.

Como o conceito de redes elétricas inteligentes é algo que apresenta um grande universo a ser explorado, existe a necessidade de demonstração e validação ao que se refere o tema. O assunto escolhido para esse projeto é algo relativamente novo no cenário nacional das distribuidoras de energia elétrica e o grande desafio é apresentar os ganhos obtidos com a implantação da reconfiguração da rede de distribuição, sejam eles com o aumento de confiabilidade do sistema, ou com a redução dos valores desembolsados pelas empresas para quitação das multas aplicadas pelo órgão regulador. Conforme comentado anteriormente, existe uma carência muito grande por estudos sobre o referido tema, e o grande desafio após a conclusão do estudo, é contribuir com a apresentação dos resultados através dos dados extraídos em campo e apresentar um resultado real e específico que comprovem quais os benefícios que o conceito *Smart Grid* agrega na rede de distribuição de energia.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar e avaliar os benefícios na utilização do conceito de *Smart Grid* na reconfiguração de redes de distribuição de energia elétrica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudar algumas tecnologias disponíveis no mercado que visem à recomposição automática da rede de distribuição de energia elétrica;
- Demonstrar a agilidade do novo sistema de reconfiguração de redes com a aplicação do conceito de *Smart Grid*;
- Comparar valores gastos com o pagamento de multas pelo não atendimento aos padrões de qualidade de fornecimento de energia antes e depois da implantação do *Smart Grid*;
- Avaliar os ganhos previstos pela solução proposta como auxílio para atendimento aos índices de qualidade de fornecimento de energia elétrica.

1.2 METODOLOGIA ADOTADA

Para desenvolvimento do referente estudo será realizado um estudo de caso, que pode ser definido como o estudo realizado com um único sujeito (uma pessoa, uma empresa, uma cidade, um evento, etc.) (GIL, 2002). Para alcançar os objetivos desse estudo, será desenvolvida uma pesquisa exploratória e descritiva. A pesquisa exploratória segundo Gil (2002) tem como objetivo esclarecer o problema e torná-lo mais compreensível e familiar através da construção de uma hipótese. Sua função é o amadurecimento da idéia e o esclarecimento de algumas intuições. O mesmo autor completa sobre a pesquisa descritiva ressaltando que apresenta seu objetivo conforme a descrição das características de determinadas populações ou fenômenos. Quanto à forma de abordagem, a pesquisa terá caráter qualiquantitativo para melhor visão e compreensão dos dados extraídos.

O local onde será efetuada a pesquisa será uma empresa do setor de energia elétrica, localizada no Estado do Paraná. Especificamente serão utilizados os recursos que compõe a estrutura desta empresa, como sistema de telecomunicação, dados da rede de distribuição de energia elétrica que subsidiarão o estudo, além de equipamentos (*hardware* e *software*) utilizados pela mesma em seus processos operacionais.

O estudo será estruturado a partir de dois momentos específicos de execução. O primeiro momento ocorrerá com os encaminhamentos metodológicos e à elaboração de referencial teórico que desse o devido suporte ao segundo momento da pesquisa. Este segundo momento será contemplado pela análise dos resultados de ordem econômica e operacional pela implementação da função de reconfiguração de redes de distribuição através dos conceitos de *Smart Grid*.

Os dados serão coletados conforme relatórios retirados do sistema de automação para análise dos tempos de interrupção e tempo de restabelecimento de energia, retirada de eventos e tratamento de dados dos equipamentos que compõem o sistema de reconfiguração de rede de distribuição. Os valores referentes às multas aplicadas sobre a demora na recomposição de energia serão calculados conforme manual da ANEEL, levando em conta os valores aplicados no momento da coleta de dados. Ainda serão consultados relatórios de interrupção e número de consumidores afetados que serão fornecidos pela concessionária de energia que será alvo do estudo de caso.

2 *SMART GRIDS* (REDES INTELIGENTES)

A vida moderna tornou a energia elétrica um produto cada vez mais importante. Em qualquer segmento que se pense, seja na produção de bens ou de serviços, na segurança pública, na saúde ou simplesmente para o conforto dos lares, a energia elétrica é indispensável. Entretanto, o seu uso cada vez mais intenso gera também a necessidade de aumento na produção de energia elétrica (COPEL, 2010).

O segmento da distribuição de energia, além de realizar a interface entre o sistema de transmissão e a geração distribuída, possui a maior malha de circuitos que proporcionam o atendimento aos consumidores finais. É neste segmento que estão as maiores mudanças e as oportunidades de implantação de um novo conceito dentro do sistema elétrico. Novas tecnologias permitem a estruturação de uma integração plena entre as subestações, redes elétricas (de média e baixa tensão), equipamentos elétricos da rede (transformadores, reguladores de tensão, banco de capacitores, chaves, religadores, relés de proteção), com a medição do consumidor e sua instalação elétrica. Esta integração deve ser suportada pela comunicação entre os componentes e sistemas computacionais de apoio aos processos e decisões automáticas (COPEL, 2010) (ABINEE, 2013).

A integração entre a tecnologia da informação e o sistema elétrico de potência juntamente com sistemas de comunicação e toda estrutura de uma rede de distribuição automatizada apresenta a essência do significado do termo *Smart Grid*.

Esse conjunto tecnológico seria o responsável por significativos ganhos de eficiência energética, por permitir automação e operação remota do sistema, por melhorar a fiscalização e monitoramento das condições de rede e qualidade de energia, por incrementar a capacidade de tomada de decisões nas diferentes fases do setor, por viabilizar tecnicamente ao consumo programado, inteligente, de energia, dentre outros. (RIBEIRO, 2011, p. 3).

Neste contexto, têm surgido correntes pelo mundo que tratam da visão do sistema de distribuição de eletricidade e da unidade consumidora do futuro, abrangida no conceito de redes inteligentes (*Smart Grids*). Concessionárias e consumidores terão que convergir em interesse e tecnologias para alcançar eficiência energética, confiabilidade dos sistemas de distribuição de eletricidade, menores custos e menor agressão ao meio ambiente e aos recursos naturais.

Na visão de IEC (2013), o acréscimo de inteligência melhora o aproveitamento na distribuição de eletricidade e dessa forma permitindo, o “*pipeline*”, ou meio, ao qual a energia elétrica é entregue, possa maximizar a forma de entrega dessa energia em todos os momentos.

Com o acréscimo de sensores e de qualquer forma de inteligência significa que o máximo de energia possível possa ser distribuído e entregue pelos diversos sistemas existentes.

Apesar de existirem diversas definições, um conceito bastante abrangente é o de que rede inteligente são as redes de transmissão e distribuição de eletricidade que usam um sentido bidirecional, comunicações de banda larga, sensores e computadores para melhorar a eficiência, a confiabilidade e a segurança do fornecimento de energia. Tratam de sistemas que incorporam tecnologia de informação (TI) e telecomunicação (TE) de maneira extensiva, em todos os processos de geração, fornecimento e consumo de energia, com o objetivo de minimizar o impacto ambiental, melhorar a qualidade e a flexibilidade dos serviços e aumentar a eficiência energética (GARRIDO, 2008).

O Brasil poderá se beneficiar com a melhora dos índices de perdas técnicas e comerciais, que hoje são, em grande parte, bancados pelos próprios consumidores. “A rede inteligente traz, por exemplo, melhora nos índices de qualidade, como o DEC /FEC e o DIC /FIC, que representam a duração e a frequência dos eventos de falta de energia, tanto em nível geral da rede como individual” segundo estudos da ABINEE (2013).

Conforme se pode perceber, uma das palavras chaves para aplicação das redes de distribuição Inteligentes é a inovação de várias tecnologias aplicada a rede elétrica existente empregando produtos e serviços inovadores em conjunto com tecnologias de controle e comunicação com o objetivo de facilitar a conexão e a operação de produtores de várias dimensões e tecnologias (COPEL, 2010).

As redes elétricas inteligentes deverão apresentar as seguintes características (ABB, 2013):

- Flexibilidade: Preenchendo as necessidades dos consumidores e respondendo às mudanças e desafios que se avizinham;
- Acessibilidade: Permitindo o acesso de ligação a todos os utilizadores da rede, em particular às fontes de energias renováveis, com elevada eficiência, produção local com emissões nulas ou muito baixas;
- Confiabilidade: Garantindo e melhorando a segurança e qualidade de abastecimento, indo ao encontro das exigências da era digital, resistindo a riscos e incertezas.
- Economicidade: Proporcionando melhor valor através da inovação, gestão da eficiência energética e elevar o nível da competição e regulação.

2.1 SMART GRID NO CENÁRIO INTERNACIONAL

Dentro das diversas discussões no cenário internacional entre as empresas responsáveis pela distribuição de energia elétrica, as redes elétricas inteligentes e todos componentes que envolvem o assunto são onde ocorrem as maiores discussões. Diferentes variâncias e iniciativas acabam sendo adotado e em alguns países como o mercado norte americano, que não apresenta uma única forma de tratar o assunto (TOLEDO et al. 2012).

O mercado europeu apresenta diversas alternativas para o tema e foca grande parte dos estudos em geração renovável dentro dos programas relacionados as redes elétricas inteligentes. Dentro desse cenário, destaca-se a iniciativa apresentada pela empresa italiana ENEL no que se refere a medidores inteligentes, e juntamente com sua subsidiária espanhola Endesa, implantou mais de 30 milhões de medidores inteligentes no mercado Italiano (TOLEDO et al. 2012).

Cada país apresenta uma forma distinta de abordar o tema. Na sequência serão apresentados diversos exemplos de como as empresas ao redor do mundo tem despendido seus esforços para implantar o conceito das redes elétricas inteligentes na visão de LIMA (2012).

Reino Unido: Como em sua estrutura de distribuição de energia somado com a inteligência para oferta da mesma possibilita o consumidor a escolher qual empresa será responsável pelo seu fornecimento, o Reino Unido é um país avançado em relação a reestruturação do negócio de energia elétrica. Sua forma de geração e inteligência nas redes de distribuição possibilitará a (re)evolução do atendimento e transição para o *Smart Grid*.

Japão: Apresenta diferenciação aos demais países na adoção de novas tecnologias para o *Smart Metering*. Por ser uma sociedade focada na baixa emissão de carbono, o país realizou e programou um plano elaborado na efficientização geral no uso de energia, tanto para produção de novos equipamentos como na produção industrial, apresentando metas estabelecidas e controladas.

Estados Unidos: Foram criados vários incentivos para promoção do *Smart Grid*, em seu primeiro ato o presidente Obama, ofereceu um pacote de US\$ 4,5 bilhões em gastos diretos para aplicação do conceito *Smart Grid*. Como consequência na modernização dos sistemas de medição dos consumidores residenciais e aplicação do conceito de *Smart Metering*, o número de reclamações dos clientes aumentou de forma considerável após o recebimento de suas faturas apresentando um valor maior do que quando os medidores eram de ordem mecânica, com tecnologia mais antiga. Essa diferença na medição antes e após a

modernização dos equipamentos se deve ao fato de que os medidores antigos muitas vezes apresentavam uma leitura errada em relação ao consumo de energia elétrica, e após a atualização e com as leituras mais precisas, os consumidores começaram a desconfiar do novo sistema implantando.

Comunidade Europeia: Além do exemplo citado anteriormente nos medidores na Itália, questões e estratégias relacionadas a uma matriz energética mais limpa acabam ganhando destaque dentro do continente. Uma saída bastante adotada é a geração distribuída (mais próximo das fontes de consumo), e alguns países criaram incentivos para implantação de micro geração.

2.2 *SMART GRID* NO CENÁRIO NACIONAL

Como o Brasil apresenta uma região demográfica muito extensa, diversas características de consumidores e regiões de consumo, desde redes sobrecarregadas de consumidores até longas redes com um grande trecho de abrangência territorial, porém com um número pequeno de consumidores, o mais importante nesse momento é entender o propósito do que se refere as redes elétricas inteligentes e buscar adequar os modelos internacionais para a realidade no nosso país.

Inicialmente como o Brasil ainda não dispôs de normas e regulações em vigor, o Ministério das Minas e Energia (MME), criou um grupo de trabalho com o objetivo de avaliar e identificar ações necessárias para subsidiar o estabelecimento de políticas públicas para a implantação de um programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente (TOLEDO et al. 2012).

O mesmo autor ainda complementa citando que foram realizados diversos estudos por parte da Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica (Abradee), como o objetivo de subsidiar as autoridades com a visão dos distribuidores de energia sobre o tema. Em 2011 com a conclusão dos estudos foi apresentada uma proposta de âmbito nacional para migração tecnológica do setor elétrico brasileiro do estágio atual até a adoção em todo o território nacional sobre o conceito de *Smart Grid*.

2.3 REDES INTELIGENTES NA ÁREA DE AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

Dentre as várias características que uma rede inteligente deve apresentar, o conceito de auto recuperação (*Self-Healing*) é um dos mais importantes para que uma rede seja considerada inteligente (GELLINGS, 2006) (OHARA, 2009).

Segundo o DOE (*Department of Energy – USA*), o conceito de *Self-Healing* refere-se à capacidade da rede de, frente a um distúrbio (OHARA, 2009) de:

- Isolar o problema;
- Reduzir ao máximo o número de clientes afetados;
- Retornar ao seu estado normal.

Tais ações devem ocorrer de forma autônoma, com uma menor intervenção humana, de forma que os elementos automatizados da rede de distribuição tomem as decisões, e seja minimizado o deslocamento de equipes.

O objetivo de tais ações é minimizar o impacto de um evento ao menor número de clientes possível, com uma função automática que possa antecipar muitos potenciais problemas, reduzindo o tempo de recuperação quando distúrbios inesperados ocorrem, e melhorar o desempenho de operações normais (GELLINGS, 2006).

O desenvolvimento de um sistema de *Self-Healing* para o sistema de distribuição de energia capaz de automaticamente antecipar e responder a distúrbios, e continuamente otimizar sua própria performance é um dos desafios para o sistema elétrico do futuro, sendo os objetivos típicos mostrados a seguir (IECSA, 2010):

- Otimizar dinamicamente a performance e a robustez do sistema, onde em condições normais, um conjunto de sensores monitorará as características elétricas do sistema (tensão, corrente, frequência, harmônicos) bem como a situação de componentes críticos, como transformadores, religadores, disjuntores, etc., e quando um problema potencial é detectado, sua severidade, bem como suas conseqüências são avaliadas. Em função desta avaliação, várias ações corretivas podem ser identificadas, e simulações feitas para estudar a efetividade de cada ação.
- Rapidamente reagir a distúrbios no sentido de minimizar impactos, quando um evento inesperado ocorre no sistema, ele será rapidamente detectado e identificado. Um esquema inteligente de isolamento e seccionamento podem ser ativados automaticamente, para manter o fornecimento de energia aos consumidores de acordo com prioridades definidas.

- Efetivamente colocar o sistema em uma região de operação estável após uma ocorrência, onde seguindo a reação do sistema para um distúrbio, ações podem ser tomadas para mover o sistema para uma região de operação estável. Para isso, o estado e a topologia do sistema dever ser acessado em tempo real, permitindo ações corretivas serem identificadas e sua efetividade determinada por simulações computacionais (INTELLIGRID, 2013) (IECSA, 2013).

Algumas aplicações de automação de distribuição (como muitas funções de automação de subestações) pode ser implementada utilizando-se apenas informação local. Entretanto, muitas aplicações que podem melhorar o sistema de distribuição devem ser feitos de forma centralizada, o que requer trocas de informações para monitorar diferentes locais no sistema (INTELLIGRID, 2013).

Conforme citado anteriormente, a decisão de controle pode ser feita de duas maneiras:

- Centralizada, onde um elemento do sistema aquisita as informações dos elementos sensores instalados ao longo da rede elétrica, e processa-as, tomando as decisões adequadas. Este é o caso de um sistema denominado SCADA/DMS (*Distribution Management System*), que dentre inúmeras funções programa os algoritmos de controle automático de recomposição de cargas. Nota se que com o aumento crescente do volume de entidades instaladas, necessita-se de alto poder de processamento deste sistema.
- Descentralizada, onde o processo de adquirir as informações é distribuído aos elementos instalados na rede elétrica.

Na sequência serão apresentados alguns exemplos de sistemas de recomposição automáticos existentes no mercado, dos casos acima citados.

2.4 SISTEMAS DE RECONFIGURAÇÃO AUTOMÁTICA

Nas seções seguintes serão apresentados alguns tipos de soluções para reconfiguração automática das redes de distribuição, suas definições e seu princípio de funcionamento.

2.4.1 Sistema de Recomposição Automática INTELLITEAM (S&C, 2013).

O sistema executa uma função de recomposição automática através do controle de dispositivos de manobras para a rede de distribuição, podendo ser chaves tripolares sob carga ou religadores. Estes dispositivos comunicam-se entre si de forma constante, e na ocorrência

de uma falta, o sistema identifica o trecho sob falta, isolando-o e recompondo o maior número de clientes possíveis, através de fontes alternativas de energia elétrica, provenientes de diversas subestações interconectadas.

2.4.1.1 Princípio de Funcionamento do Sistema

Conforme citado anteriormente, o sistema de recomposição automática é feito em duas etapas: isola-se a falta inicialmente e recompõe-se o sistema nos trechos sem falta. As informações referentes a esta seção são baseadas em (Ohara, 2009):

a) Isolamento da falta:

O isolamento da falta terá um comportamento diferente, quando se utiliza o controlador em um religador ou em uma chave. No caso de um religador, se a falta ocorrer após o mesmo, este será responsável por abrir a falta e isolá-la.

Caso seja uma chave, o controlador irá detectar a sobrecorrente caso a falta ocorra após a chave, porém irá aguardar a ação do disjuntor do alimentador. Quando o controlador instalado na chave detecta a sobrecorrente e uma falta de tensão posterior, indicando a abertura do disjuntor da subestação, este irá comandar a abertura da chave no tempo morto do disjuntor (tempo de religamento), evitando que a chave sob carga abra sob uma corrente de falta para a qual ela não está dimensionada. As ações de isolamento da falta ocorrem de forma independente dos demais membros do sistema.

b) Recomposição Automática do Sistema:

A partir do isolamento da falta, cada controlador envia as informações do evento, para os demais controladores. Juntando com as informações dos controladores adjacentes a eles, cada controlador tomará a decisão de fechar o religador ou chave sob carga, restabelecendo a tensão no trecho. Esta decisão seguirá uma série de regras, descritas a seguir:

- A falta não deve estar no trecho recomposto;
- O trecho a ser recomposto não deve sobrecarregar o alimentador para o qual será transferido, sendo desta forma verificada a carga anterior antes da transferência. Caso a recomposição venha a trazer sobrecarga a um alimentador, se houver um outro alimentador alternativo para realizar esta recomposição o sistema irá fechar a chave conectada a este alimentador.

A Figura 1 ilustra um sistema exemplo da solução, constituído de 12 chaves sob carga (chaves nomeadas de A a M). Quatro alimentadores que indicam quatro fontes provenientes de quatro subestações (SUB1, SUB2, SUB3 e SUB4), dotados de disjuntores na subestação

com lógica de religamento, sendo que em condição normal SUB2 atende ao trecho em verde, SUB3 ao trecho em laranja, SUB4 ao trecho em azul e SUB1 serve como fonte alternativa de interconexão.

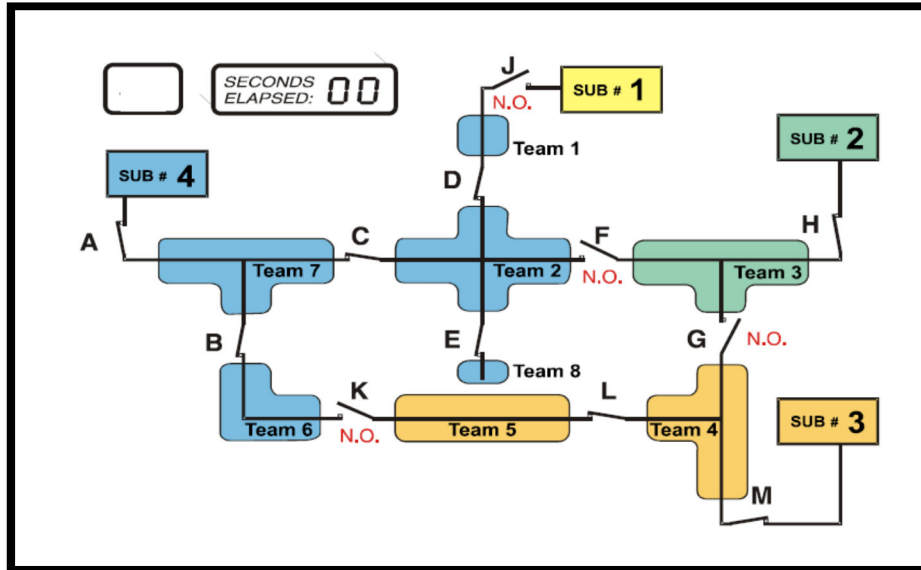


Figura 1 - Sistema Exemplo em sua Configuração Normal
Fonte: OHARA (2009)

Considerando uma falta ocorrida entre as chaves A, B, C, como ilustra a Figura 1, como são chaves sob carga, sem capacidade de interrupção de falta, quem irá interromper a falta será o disjuntor da subestação 4, deixando todo o trecho em azul desligado, como pode ser visto na Figura 2.

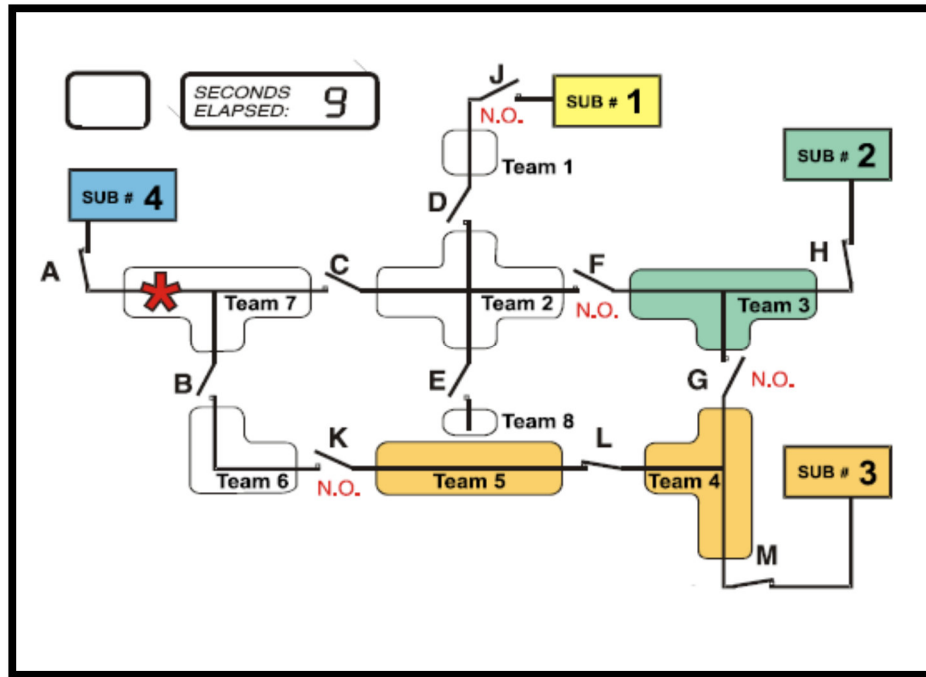


Figura 2 – Falta Entre as Chaves A, B, C
Fonte: OHARA (2009)

Após detectar a falta de tensão, as chaves A, B, C, D e E (normalmente fechadas) irão abrir, seguindo a premissa de isolar a falta. Depois deste fato, haverá a troca de informações entre os controladores instalados nas chaves, informando o que cada controlador detectou (ausência de tensão, detecção de falta, posição da chave). Depois de cumprida esta etapa, inicia-se o processo de recompor o sistema automaticamente.

O controlador da chave J (normalmente aberta), com as informações do controlador da chave D, saberá que o trecho entre eles está desligado, e que D não detectou falta de sobrecorrente, logo a falta não está neste trecho. A conclusão é que poderá restabelecê-lo através do alimentador SUB1, e então, fechará a chave J.

A chave F receberá informações das chaves D, E e C, e tomará a mesma decisão (fechar a chave F), restabelecendo pelo alimentador SUB2 este trecho, conforme ilustra a Figura 3.

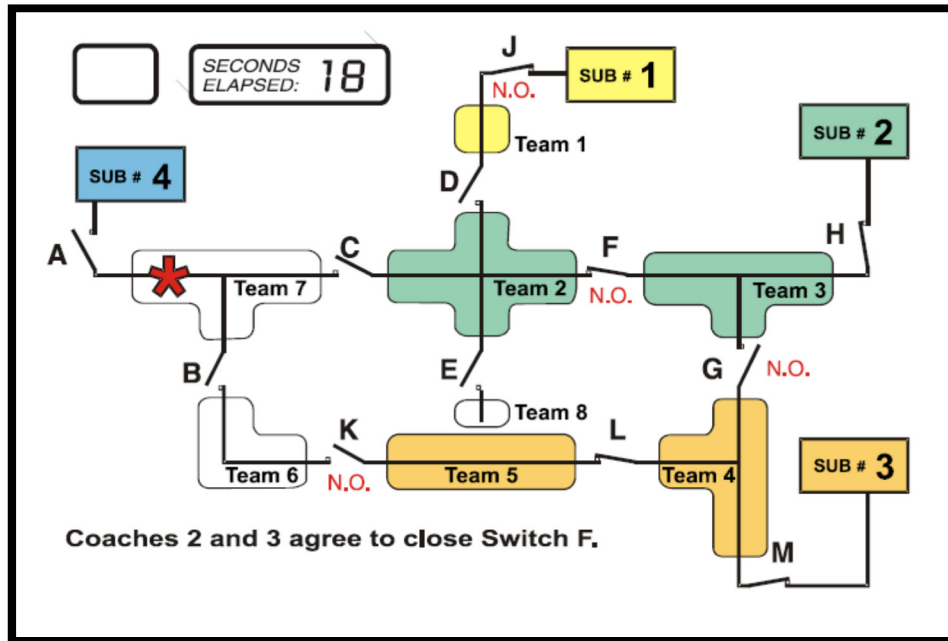


Figura 3 – Chaves J e F Fecham
Fonte: OHARA (2009)

Após estas recomposições, as chaves K e E detectam o retorno de tensão (no caso da chave K não houve perda de tensão). A chave K recebe a informação de B, de que não ocorreu falta no seu trecho, decidindo assim por restabelecer este trecho através da SUB3, fechando desta forma a chave K.

A chave E receberá também informações de C, D e F, e também tomará a decisão de fechar. As chaves B e C receberão a informação de que a chave A detectou sobrecorrente, logo, a falta encontra-se entre eles e nenhuma delas tomará a decisão de fechar, mantendo o sistema como ilustrado na Figura 4.

Com todas essas etapas, o sistema elétrico mostrado foi recomposto de forma autônoma, sem intervenção do operador ou do sistema SCADA, o que vai de encontro ao conceito *Self-Healing*, que é o de localizar o defeito, isolá-lo, recompondo o maior número possível de carga.

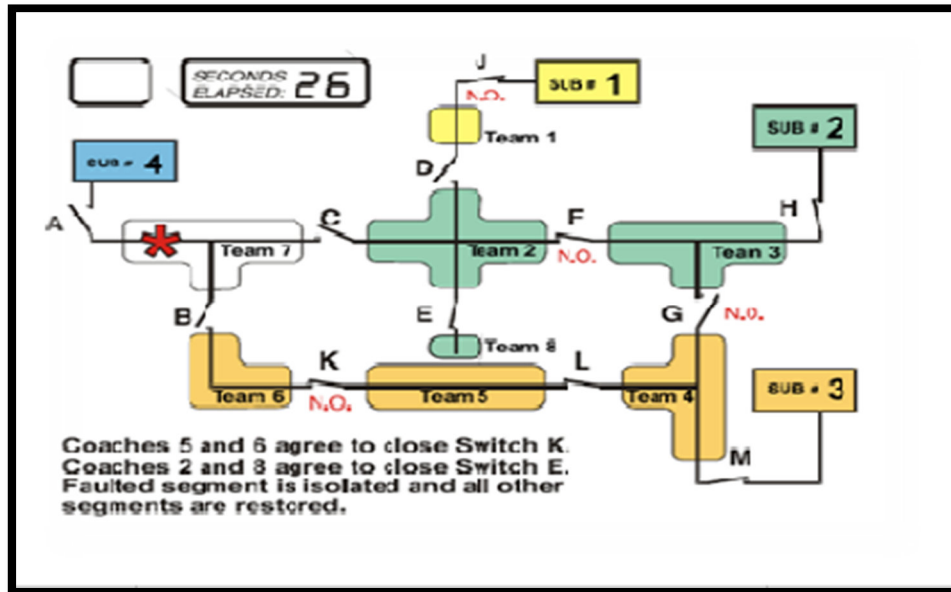


Figura 4 – Sistema Após a Reconfiguração Automática
Fonte: OHARA (2009)

No exemplo dado pelo fornecedor do equipamento, com a configuração mostrada nas Figuras 3 e 4, o tempo estimado para que a recomposição venha a ocorrer foi de 26 segundos. Este tempo é inferior aos 3 minutos necessários para que a ANEEL contabilize a falta nos índices DEC e FEC.

Se for considerado que um despachante no Centro de Operações (COD) levaria pelo menos 30 minutos para efetuar as manobras de isolamento e recomposição da falta, o Sistema de Recomposição Automática estaria reduzindo os registros em índices de DEC e FEC a somente os consumidores do trecho entre A, B e C, enquanto que a atuação manual, mesmo que remota feita pelo despachante, ocasionaria em registros em todo o trecho alimentado por SUB4.

2.4.2 Sistema de Reconfiguração Automática de Redes – Solução “Yukon Feeder Automation”

A *Yukon Feeder Automation* é uma solução que executa a auto reconfiguração dinâmica de sistema, integrando dados em tempo real da rede de distribuição para detectar distúrbios e reconfigurar a rede automaticamente, isolando um trecho da linha onde foi detectado o distúrbio e diminuindo o total de consumidores atingidos. O principal objetivo da implantação desta solução é de acelerar a tomada de decisão em situações onde seja possível reconfigurar a rede em um pequeno intervalo de tempo inferior a um minuto, reduzindo o

índice DEC e, visando minimizar a quantidade de manobras realizadas, conseqüentemente a redução do índice FEC. O conteúdo deste item é baseado em (COOPER POWER SYSTEM, 2010).

2.4.2.1 Princípio de Funcionamento do Sistema

Um sistema de arquitetura flexível que tem como principais características:

a) Característica do Algoritmo: Detectam situações em que o sistema requer isolamento e reconfiguração, baseadas em parâmetros definidos pelo usuário. Possui capacidade para executar reconfiguração automática em eventos como defeito no circuito, sobrecarga e subtensão, podendo ser agregada outras soluções de rede inteligente futuramente.

b) Característica de Integração: Qualquer dispositivo que utiliza um protocolo de comunicação pode ser integrado ao sistema de reconfiguração automática, eliminando qualquer necessidade de equipamentos adicionais ou conversores de protocolo. Desta forma se assegura a compatibilidade com controles existentes assim como novas gerações de controles.

c) Característica do Meio de Comunicação Flexível: A solução pode trabalhar com diversos meios de comunicação, incluindo rádios de porta serial e *Ethernet*, fibra óptica, modems celulares, dentre outros.

d) Sistema Dinâmico: O sistema detecta a execuções de operações realizadas pelo Centro de Operações ou operações manuais executadas em campo e se adapta as novas condições de característica da rede, sem perda da capacidade de auto reconfiguração.

e) Simulador: Permite ao usuário testar a configuração programada e oferece resposta do sistema sob condições normais e adversas do sistema facilitando os testes de laboratório reduzindo o tempo de instalação e os custos de automação.

f) Gerenciamento de Sobrecarga em Alimentadores e Transformadores: O algoritmo é capaz de observar a carga nos alimentadores, nos transformadores de subestação e determinar se há potência disponível para ser utilizada. Este gerenciamento de sobrecarga previne à necessidade do operador do sistema de ter que desabilitar a reconfiguração automática durante horários de pico, podendo também reconfigurar a rede quando a carga em algum alimentador do sistema ultrapassar parâmetros pré-definidos pelo usuário.

2.4.2.2 Arquitetura do Projeto

O sistema *Yukon Feeder Automation* pode ser instalado em arquitetura centralizada e descentralizada. A inteligência do sistema fica concentrada em ambos os casos dentro de um equipamento denominado SMP16/SP, que fará a aquisição de todos os dados necessários para o funcionamento do sistema de reconfiguração automática.

2.4.2.3 Arquitetura Descentralizada

A arquitetura descentralizada é caracterizada pela instalação do SMP16/SP em uma subestação, ilustrada na Figura 5. Este tipo de arquitetura tem como vantagem de ser inerente a mitigação de contingência, caso aconteça de perda operativa total de uma subestação, somente uma parte do sistema de reconfiguração automática estará comprometido.

Neste caso arquitetura de comunicação determina o número de processadores de reconfiguração. Assim, toda reconfiguração automática pode ser comandada por uma única subestação, e pode ser segregada em diversas subestações.

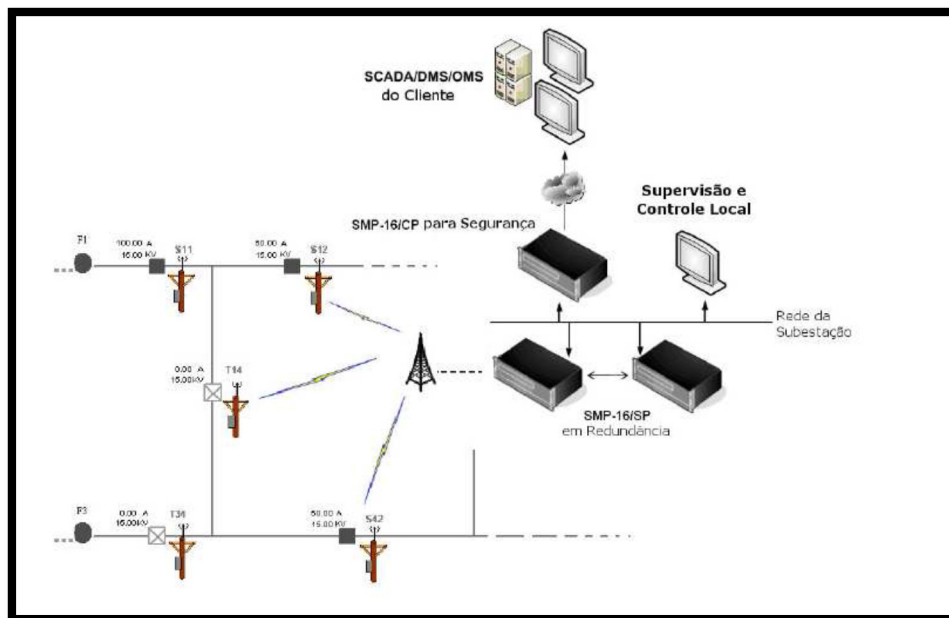


Figura 5 – Yukon Feeder Automation em Arquitetura Descentralizada
Fonte: COOPER (2010)

2.4.2.4 Arquitetura Centralizada

Na arquitetura centralizada a instalação da inteligência da reconfiguração automática é junto ao sistema SCADA/DMS. Ao utilizar esta arquitetura, pode-se optar por duas formas de instalação: em linha ou anexa. A Figura 6 e a Figura 7 mostram as formas de utilização da arquitetura centralizada em um sistema de automação.

Nesta configuração os processadores de reconfiguração automática são configurados em modo redundante de forma que se algum processador falhar por qualquer razão, automaticamente o segundo processador assumirá as funções do processador principal. A comunicação para o sistema SCADA é independente para ambos os equipamentos de forma que não haverá um ponto único de falha. Ao utilizar a arquitetura centralizada em linha, todos os pontos serão lidos pelos SMPs e repassados diretamente para o SCADA e os comandos enviados pelo SCADA passam primeiro pelos SMPs e posteriormente são enviados para os equipamentos no campo.

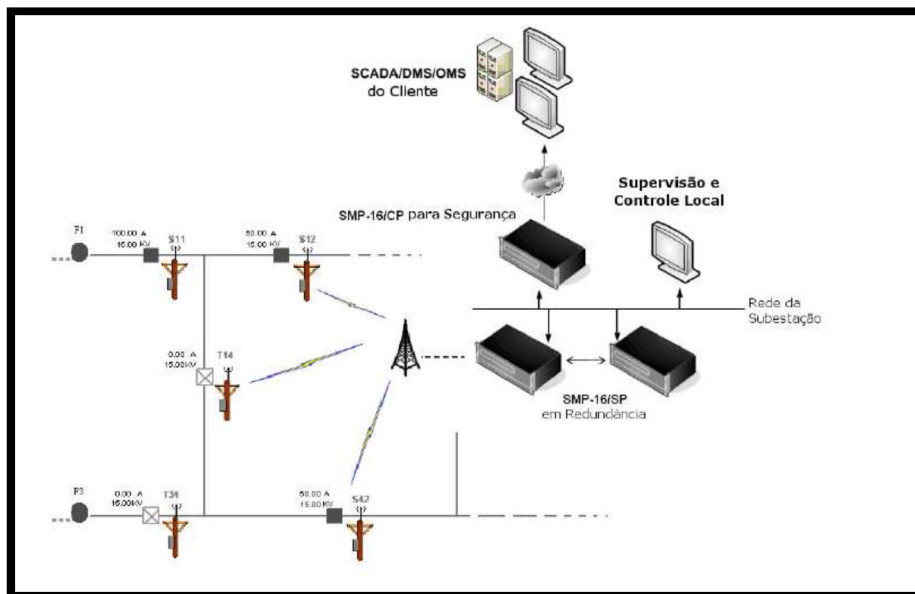


Figura 6 – Yukon Feeder Automation em Arquitetura Centralizada em Linha
Fonte: COOPER (2010)

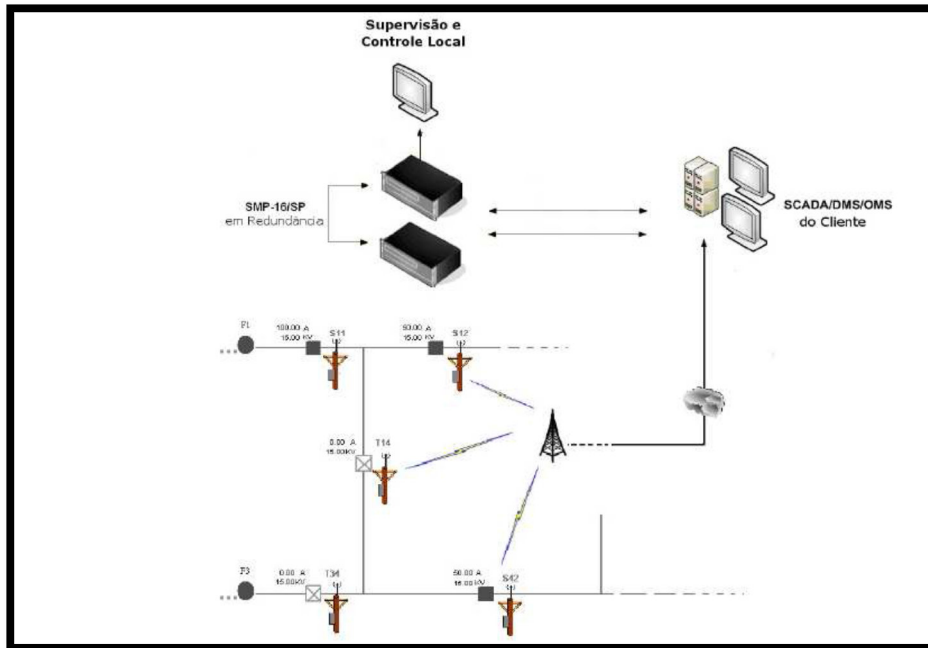


Figura 7 – Yukon Feeder Automation em Arquitetura Centralizada Anexa
Fonte: COOPER (2010)

2.4.3 Sistema de Gerenciamento de Distribuição (SCADA/DMS)

O sistema SCADA/DMS é uma aplicação específica dos sistemas SCADA, para gestão de redes elétricas de distribuição. Além das funções típicas de um sistema de supervisão e controle, oferece outras ferramentas, tais como (BURDET e ALBERTO, 2013):

- Processamento de topologia da rede, com o objetivo de identificar ramos energizados e não energizados da rede, coloração de rede por fonte injetora ou por níveis de tensão, etc.
- Estimação de estado e cálculo de fluxo de potência, com o objetivo de providenciar dados calculados sobre correntes, níveis de tensão, fluxos de potência, perdas, etc., baseados em dados de tempo real referentes ao estado dos órgãos de corte da rede e referentes a medidas reais dos valores de potência das cargas e dos pontos injetores.
- Análise de curto-circuito, com o objetivo de providenciar estudos sobre os parâmetros de dispositivos de proteção dos equipamentos de alta tensão.
- Controle de tensão/potência reativa, para a minimização da energia reativa com impacto na redução de perdas.
- Detecção de defeitos, com o objetivo de isolar os ramos da rede em que tenha ocorrido um defeito, bem como de permitir a recuperação de cargas, na máxima extensão possível, através de reconfigurações da rede.

- Despacho de serviços e acompanhamento de equipes de campo.

Esta última característica permite um gerenciamento centralizado da rede de distribuição, sendo uma alternativa para a implementação de controle automático de recomposição de cargas.

3 A ESTRUTURA DO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

O sistema elétrico de potência (SEP) tem como objetivo gerar, transmitir e distribuir energia elétrica atendendo padrões de confiabilidade, disponibilidade, normas de qualidade conforme determinado pelos órgãos responsáveis principalmente minimizando os impactos ambientais que existem dentro desse processo.

3.1 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Existem várias formas para a geração de energia elétrica, as mais comuns são as provenientes de águas pluviais e são conhecidas como as hidroelétricas e as que são geradas a partir da força dos ventos, que são denominadas eólicas. De acordo com Leão (2011), na geração de energia elétrica, uma tensão alternada é produzida, com frequência fixa e uma amplitude que pode variar conforme a forma de entrega, sendo em baixa, média ou alta tensão. Dentro do sistema elétrico, ocorre a propagação dessa onda senoidal mantendo constante a frequência e alterando as amplitudes no momento em que trafega pelos transformadores.

3.2 TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Responsável pela ligação entre as fontes geradoras de energia elétrica às áreas de grande consumo. Apenas alguns consumidores com necessidades específicas são conectados diretamente às linhas de transmissão.

A segurança é um aspecto fundamental para as redes de transmissão. Qualquer falta neste nível pode levar a descontinuidade de suprimento para um grande número de consumidores. A energia elétrica é permanentemente monitorada e gerenciada por um centro de controle. O nível de tensão depende do país, mas normalmente o nível de tensão estabelecido está entre 220 kV e 765 kV (LEÃO, 2011).

3.3 DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

As redes de distribuição de energia elétrica são as que alimentam os consumidores industriais de pequeno e médio porte, consumidores comerciais e os consumidores residenciais.

Conforme apresentado na Resolução nº 414/2010 da ANEEL, a tensão de fornecimento para unidades consumidoras serão dispostas da seguinte forma:

- Tensão secundária em rede aérea: quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou inferior a 75 kW;
- Tensão secundária em sistema subterrâneo: até o limite de carga instalada conforme padrão de atendimento da distribuidora;
- Tensão primária de distribuição inferior a 69 kV: quando a carga instalada na unidade consumidora for superior a 75 kW e a demanda a ser contratada pelo interessado, para o fornecimento, for igual ou inferior a 2.500 kW; e
- Tensão primária de distribuição igual ou superior a 69 kV: quando a demanda a ser contratada pelo interessado, para o fornecimento, for superior a 2.500 kW.

4 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

4.1 RELIGADOR AUTOMÁTICO

O religador automático é um dispositivo de proteção que tem a função de interromper automaticamente o circuito abrindo e fechando seus contatos, repetidas vezes em uma eventual falta no circuito que por ele está protegido (ALMEIDA, 2000). Um religador é basicamente constituído por um mecanismo automático projetado para abrir e fechar circuitos em carga ou em curto-circuito, comandado por relés de sobrecorrente de ação indireta, que realizam as funções de proteção de sobrecorrente de fase ou neutro instantânea (função ANSI 50), função de sobrecorrente de fase ou neutro temporizado (função ANSI 51), e por um relé com a função de religamento (função ANSI 79) conforme mostrado na Figura 8.

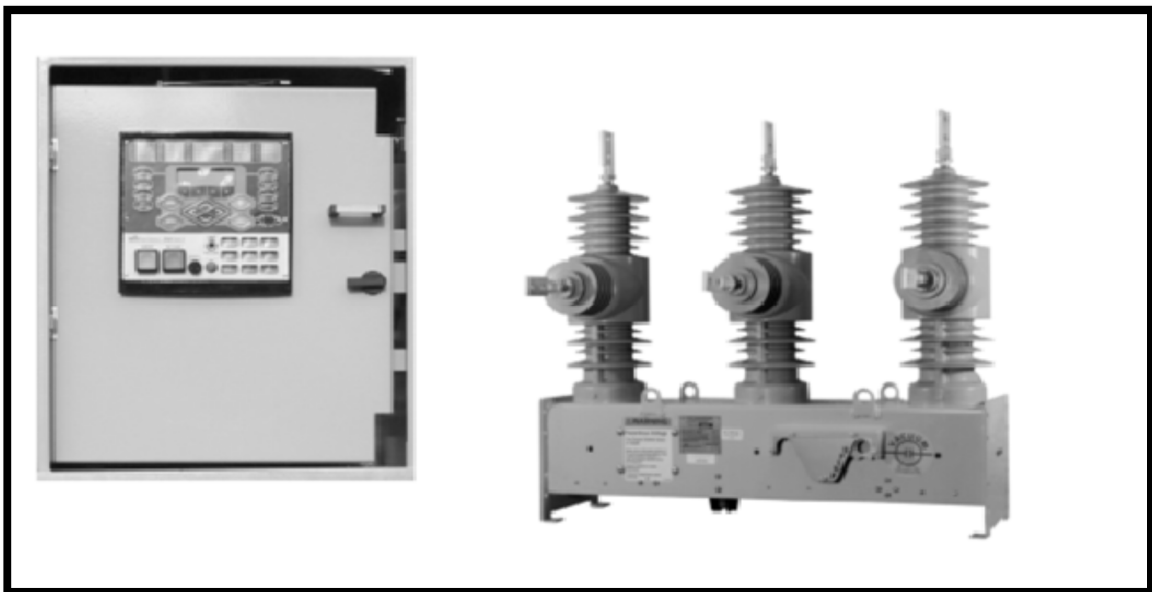


Figura 8 – Religador Automático
Fonte: COOPER (2002)

Os dispositivos sensores e o de controle de um religador são microprocessadores dedicados e realizam diversas funções de proteção, sendo que os códigos de proteção (50, 51, 79) são definidos pela norma ANSI C37.2 (ANSI, 2008). Os códigos de proteção estão apresentados no ANEXO 1.

Os religadores utilizam mecanismos e meios de interrupção similares aos disjuntores, para extinguir os arcos elétricos inerentes às operações de chaveamento de circuitos em carga

ou curto-circuito. Ao detectar uma condição de sobrecorrente, o religador interrompe o circuito, religando-o automaticamente, após um tempo pré-determinado. Se perceber, no momento do religamento, que o defeito ainda persiste, repete a sequência “disparo x religamento”, até o número de vezes que estiver ajustado. Exemplificando, se normalmente for utilizado o ajuste de três religamentos, após a quarta abertura, o dispositivo de religamento é travado, deixando aberto o circuito.

A repetição da sequência (o religamento), permite que o religador teste repetidamente se o defeito desapareceu, diferenciando um defeito permanente de um defeito transitório.

As Figuras 9 e 10 ilustram um religador instalado em um alimentador, e a ação decorrente do ajuste de quatro disparos, dois rápidos (instantâneos), seguidos por dois lentos (temporizados) (ALMEIDA, 2000).

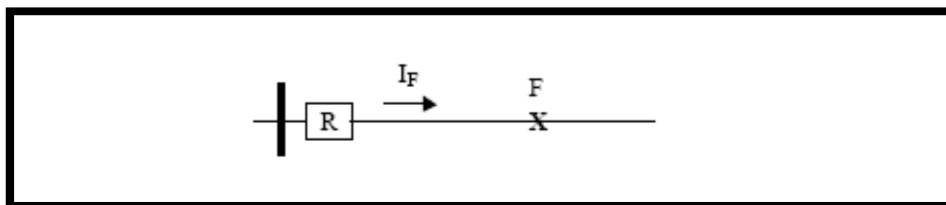


Figura 9 – Religador instalado na saída do alimentador na SE
Fonte: ALMEIDA (2000)

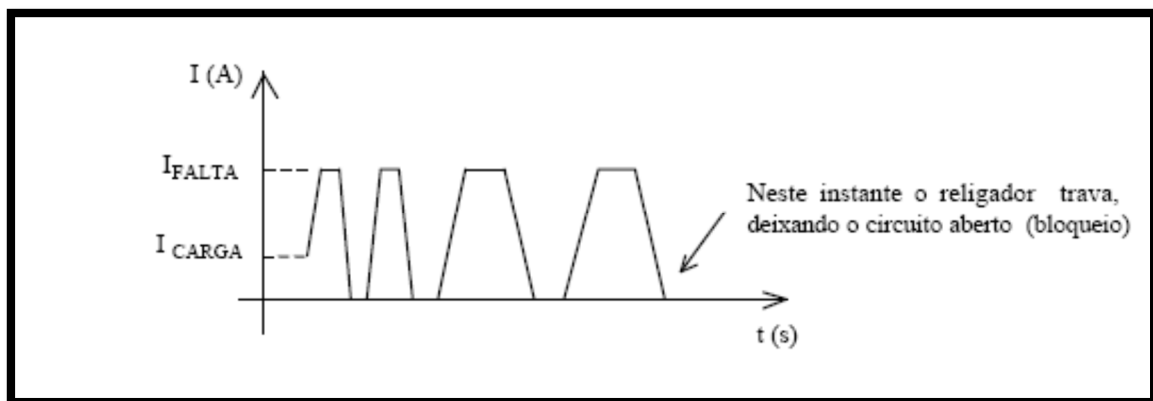


Figura 10 – Sequência de operação do religador
Fonte: ALMEIDA (2000)

Caso a falta no sistema seja permanente, o religador desenvolverá a sequência completa, realizará três religamentos e quatro disparos. Após o quarto disparo, permanecerá aberto até receber o comando de fechamento, local ou remotamente. Se a falta desaparecer antes do último desligamento, o religador não bloqueará o circuito, e dentro de um determinado intervalo de tempo (tempo de rearme ou de reset ou de restabelecimento), da ordem de segundos, rearmará ou restabelecerá, ficando preparado para realizar novamente a

sequência que está ajustado. Na maioria dos religadores microprocessados este tempo é ajustado previamente.

Os religadores são aplicados na proteção de alimentadores primários de distribuição, e são instalados geralmente na saída de alimentadores da subestação, em pontos do tronco de circuitos de distribuição, onde em alguns casos se faz necessário diminuir a zona de proteção do equipamento a montante, em derivações longas e carregadas. Estes estão em circuitos que passam por áreas muito arborizadas e sujeitas a grande intensidade de descargas atmosféricas, e tem a função de auxiliar a minimizar os desligamentos permanentes (ALMEIDA, 2000).

4.2 CHAVE SECCIONALIZADORA

As chaves seccionadoras são dispositivos projetados para operarem em conjunto com religadores, ou com disjuntores comandados por relés de sobrecorrente dotados da função de religamento (função ANSI 79). Um exemplo é mostrado na Figura 11.

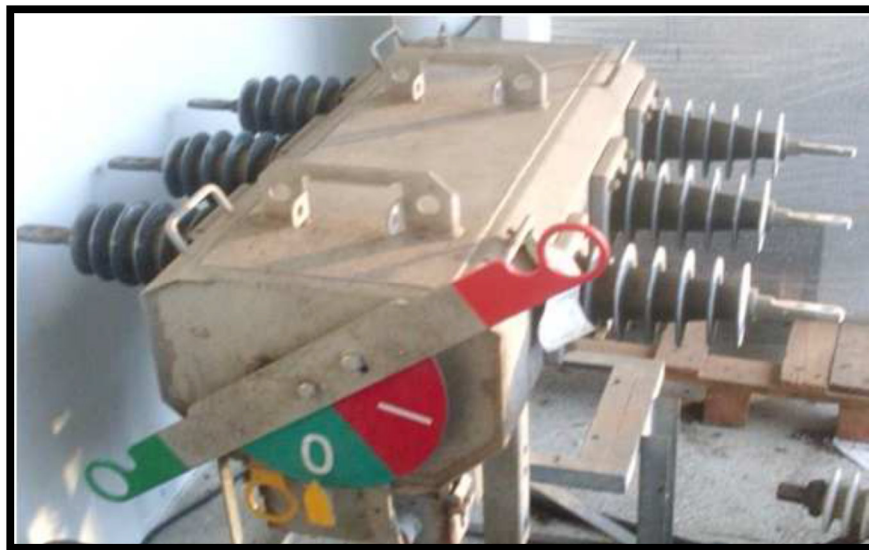


Figura 11 – Chave Seccionalizadora
Fonte: SOBRINHO et al. (2011)

Para que estas chaves funcionem como seccionadoras as mesmas devem ser instaladas a jusante destes equipamentos, conforme ilustrado na Figura 12.

Os sistemas de controle das chaves seccionadoras atualmente são digitais ou microprocessados, e realizam as funções de proteção, de medição (correntes, potências, fator de potência.), de registros de eventos (número de interrupções, tempo de duração de interrupções, natureza da interrupção).

O mecanismo da chave é projetado para manobras de aberturas ou fechamentos, com carga, no local ou remotamente. Não possuem capacidade de interrupção de correntes de curtos-circuitos, sendo as interrupções destas correntes ficando a cargo dos religadores ou disjuntores de retaguarda comandados por relés com as funções ANSI 50, 51 e 79, conforme já explicado na seção anterior.

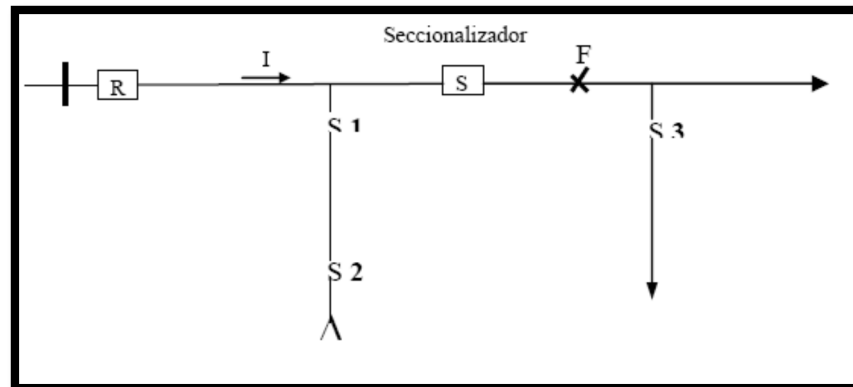


Figura 12 – Seccionalizador Ligado a Jusante do Religador
Fonte: ALMEIDA (2000)

4.2.1 Função de Proteção na Chave Seccionalizadora

A função de proteção nas chaves seccionalizadoras acontece a cada vez que o religador de retaguarda efetua um disparo ou abertura (desligamento do circuito), interrompendo a corrente de falta. O dispositivo de proteção identifica a presença de sobrecorrente e conta esta interrupção. Após atingir o número de contagens previamente ajustado (uma, duas ou, três no máximo), a chave seccionalizadora abre os seus contatos, sempre com o circuito desenergizado pelo religador de retaguarda, isolando o trecho defeituoso que está sob sua proteção do restante do sistema, como ilustrado na Figura 13 (ALMEIDA, 2000).

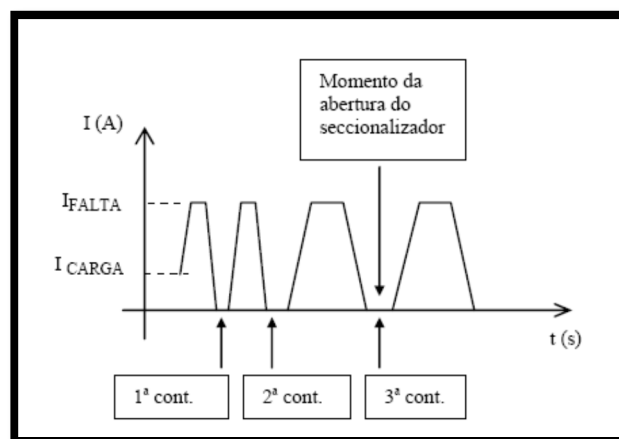


Figura 13 – Princípio de Coordenação Religador X Seccionalizador
Fonte: ALMEIDA (2000)

Os valores de ajustes das correntes de fase e terra são definidos de acordo com as correntes de curtos-circuitos mínimas de fase e terra, na zona de proteção das chaves seccionadoras, com a corrente mínima de atuação do religador e com a corrente de operação do sistema (ALMEIDA, 2000).

As chaves seccionadoras são instaladas em postes do circuito principal do alimentador ou de derivações longas e carregadas que justifiquem o investimento. Devido à flexibilidade, é normal que aconteça a substituição de chaves-fusíveis instaladas em um alimentador pelas chaves seccionadoras, devido ao problema de coordenação com os religadores, e de chaves de manobra.

Algumas vantagens apontadas por Almeida (2000) na substituição:

- Realiza a função de proteção;
- Efetua medições;
- Faz registro de eventos;
- Permite a operação automática do sistema;

Com as vantagens citadas acima o equipamento disponibiliza informações para planejamento, operação, continuidade e qualidade do serviço, melhorando os índices de DEC e FEC, e diminuindo as perdas econômicas da empresa e do consumidor.

5 SISTEMAS SCADA

Os sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) são usados em uma ampla gama de aplicações, como no controle automatizado de subestações de transmissão e distribuição de energia elétrica e em sistemas supervisórios, usados para a automação industrial (GAUSHELL, BLOCK, 1993; JARDINI, 1996).

Para os sistemas de potência, distribuídos em áreas geograficamente dispersas, o SCADA é uma tecnologia que integra os seguintes componentes principais: a Estação mestre, as Unidades Terminais Remotas (UTR), o Sistema de Comunicação (SC) e a Interface Homem-Máquina (IHM).

A arquitetura aberta de um sistema SCADA típico é funcionalmente constituído de módulos interligados por uma rede de dados redundante de elevado desempenho, conforme ilustrado na Figura 14.

Nestas arquiteturas, as informações coletadas pelas UTRs são colocadas na rede de comunicação, a disposição dos demais membros da rede, onde o servidor de banco de dados (SBD) armazena e dissemina seletivamente as informações.

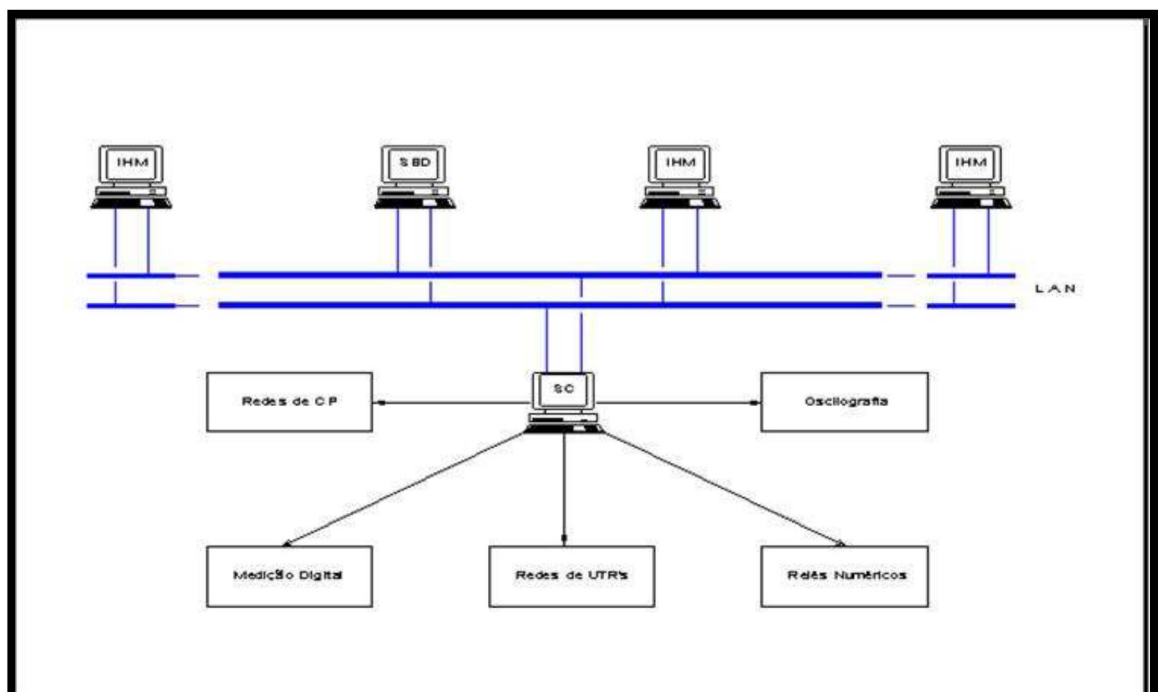


Figura 14 – Arquitetura Típica de um Sistema SCADA
 Fonte: LIMA (1998)

A interação do operador com o sistema se faz por meio dos servidores de IHM e a comunicação, tanto com os equipamentos de campo, quanto com os níveis hierárquicos superiores, é efetuada pelo servidor de comunicação (JARDINI, 1996; LIMA, 1998).

Os componentes do sistema SCADA são descritos como:

Estação Mestre: É o conjunto de computadores, periféricos e sistemas apropriados de Entradas e Saídas (E/S – Entradas e Saídas) que possibilitam aos operadores monitorarem o sistema e controlá-lo.

Unidade Terminal Remota (UTR): recebe todos os dados do campo, provenientes de diferentes dispositivos, processa as informações e transmite os dados para a estação mestre. Ao mesmo tempo, distribui os sinais de controle recebidos da estação mestre para os dispositivos no campo (GAUSHELL, BLOCK, 1993). São microcomputadores industriais, encarregados de efetuar a interface com o processo e a coleta de dados com periodicidade preestabelecida, bem como acionar remotamente algum dispositivo. Apresentam ainda a capacidade de processamento local. Para tanto, esses microcomputadores devem ser capazes de operar em ambientes hostis, com baixa taxa de falhas.

Sistema de Comunicação: Refere-se aos canais de comunicação empregados entre a UTR e a estação mestre, gerenciados pelo servidor de comunicação. Os servidores de comunicação podem ser equipados com vários canais de comunicação e cada um deles é tratado independentemente dos demais. Cada um desses canais pode operar com um protocolo de comunicação diferente, de acordo com as necessidades dos níveis hierárquicos superiores e inferiores. Em sistemas de pequeno porte, o servidor de IHM pode acumular também a função de servidor de comunicação (JARDINI, 1996). Eles concentram a comunicação com os equipamentos de campo, tais como: relés digitais, equipamentos de medição digital, controladores programáveis (CP), UTRs e equipamentos de oscilografia. O servidor responde, ainda, pelas necessidades de comunicações com os níveis hierárquicos superiores, tais como COS (Centro de Operações do Sistema), COR (Centro de Operações Regionais) e COD (Centro de Operações da Distribuição) (LIMA, 1998).

Conforme visto anteriormente, sistemas SCADA consistem geralmente de uma estação mestre e um número de UTRs geograficamente dispersas conectadas através de uma variedade de canais de comunicação, incluindo rádio, linhas discadas e fibra-óptica.

A configuração do sistema de comunicação é ditada pelo:

- Número de UTR's;
- Número de pontos na UTR e taxas de atualização necessárias;
- Localização das UTR's;

- Equipamentos e técnicas disponíveis.

Interface Homem-Máquina (IHM): Refere-se a interface requerida para a interação entre a estação mestre e os operadores e usuários do sistema. Os servidores de IHM são máquinas equipadas com um ou mais monitores de vídeo colorido de alta resolução, impressora gráfica, teclado alfanumérico e *mouse*, atuando como console de operação. O console de operação proporciona ao operador todas as facilidades necessárias ao comando e supervisão da subestação, possibilitando a execução das seguintes atividades (LIMA, 1998):

- Supervisão do sistema elétrico da subestação;
- Execução do controle remoto de disjuntores e relés de bloqueio;
- Comando remoto dos *tapes* de transformadores equipados com comutadores;
- Controle remoto do nível de reativos e de tensão nos barramentos da subestação;
- Inibição das ações de controle em determinados equipamentos;
- Alteração das curvas de atuação dos relés digitais;
- Reconhecimento, silenciamento e inibição de mensagens de alarmes;

REFERÊNCIAS

- ABB - Asea Brown Boveri. **Redes inteligentes – energia eficiente para um mundo sustentável.** Portal de Redes Inteligentes (*Smart Grid*). Disponível em <http://www.abb.com.br/cawp/db0003db002698/130e74ee6bef18c1c12576e40047cd4b.aspx>. Acessado em Agosto de 2013.
- ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Smart Grid – Uma solução inteligente.** *Revista ABINEE*. Ano XII, no. 57, Julho de 2010, p. 14-17. Disponível em <http://www.abinee.org.br/informac/revista/rev57.pdf>. Acessado em Outubro de 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N° 414: condições gerais de fornecimento de energia elétrica.** Brasília, 2010.
- ALMEIDA, Marcos A. Dias. **Apostila de Proteção de Sistemas Elétricos.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.
- BURDET, Georges; ALBERTO, Bernardo. **Sistema de Automação de Redes de Energia.** Disponível em: www.efacec.pt. Acessado em Outubro de 2013.
- COOPER POWER SYSTEMS: **Yukon Feeder Automation. Sistema de Reconfiguração de Redes Automáticas.** Proposta Técnica. Cooper Power Systems. São Paulo: 2010
- COPEL - Companhia Paranaense de Energia. **Relatório de conclusão da primeira etapa de trabalho constituído pela Circular 047/2009.** Curitiba, 2010.
- CPQD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações. **Smart Grid: a caminho da rede inteligente.** Disponível em <http://www.cpqd.com.br/highlights/4368-smart-grid-a-caminho-da-redenteligente.html>. Acessado em Agosto de 2013.
- GAUSHELL, D.; BLOCK, W. **SCADA Communication Techniques and Standards. In: IEEE Computer Applications in Power.** V. 6, Issue 3, p. 45-50, July, 1993.
- GARRIDO, João. **Sistemas Energéticos para o Sector Edifícios em Portugal: Sustentabilidade e Potencial de Inovação.** Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente. Universidade Nova de Lisboa, 2008.
- GELLINGS, Clark W. **The Power Delivery System of the Future.** IN: *Northeast-Midwest Congressional Coalition's*. EUA, 2006.
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2002.
- IECSA: **Development of an Integrated Energy and Communications Systems Architecture: a White Paper.** Relatório Técnico RFP054576E – Attachment 3. EPRI – Electric Power Research Institute. EUA, 2010. Disponível em www.epriintelligrid.com/.../IECSA_White_Paper_Attachment_3.pdf. Acessado em Outubro de 2013.

INTELLIGRID - **Architecture Power System Functions**. Relatório Técnico. Intelligrid.Info. Disponível em http://intelligrid.info/IntelliGrid_Architecture/Use_Cases/IECSA_use_cases_overview. Acessado em Agosto de 2013.

JARDINI, J.A. **Sistemas Digitais para automação da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica**. São Paulo: USP, 1996.

IEC - International Electrotechnical Commission - **IEC Global Standards for smart grids**. Disponível em <http://www.iec.ch/zone/smartgrid/> - acessado em Outubro de 2013

LEÃO, R. P. S.; **GTD – Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica**. Universidade Federal do Ceará, 2011.

LIMA, W. U. **Sistema integrado de operação e diagnóstico de falhas para sistemas de energia elétrica**. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

LIMA, C. A. F.; **Revolução Tecnológica na Indústria de Energia Elétrica com Smart Grid, Suas Consequências, e Possibilidades para o Mercado Consumidor Residencial Brasileiro**. Tese de Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos. Universidade Estadual de Campinas, 2012.

OHARA, Alexandre Taijun. **Sistema de Recomposição Automática de Redes de Distribuição – A aplicação do conceito de Self-Healing**. IN: Anais do VI CIERTEC 2009 - Seminário Internacional sobre *Smart Grid* em Sistemas de Distribuição e Transmissão de Energia Elétrica. Belo Horizonte, Minas Gerais: 2009.

RIBEIRO, C. L. **Aspectos institucionais para o Smart Grid no Brasil: Riscos, oportunidades e desafios regulatórios**. Núcleo de direito setorial e regulatório. Brasília: UnB, 2011.

SOBRINHO, Antônio; ANDRADE, Camila M.; ANDRADE, Eduardo; SANTOS, Leandro Lima, **Automação de Redes de Distribuição 2011**. Trabalho de conclusão de curso (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica). Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

S&C. **Automatic Restoration System**. Disponível em www.sandc.com/products/intelliteam/default.asp. Acessado em outubro de 2013.

SEL - Schweitzer Engineering Laboratories. **Tabela Ansi**. Disponível em www.selinc.com.br/tab_ansi.aspx. Acessado em novembro de 2013.

TOLEDO, F.; *et al.* **Desvendando as redes elétricas inteligentes** / coordenação geral Fabio Toledo. Rio de Janeiro: Brasport, 2012.

ANEXO 1 - TABELA ANSI

1 Elemento Principal
2 Função de partida/ fechamento temporizado
3 Função de verificação ou interbloqueio
4 Contator principal
5 Dispositivo de interrupção
6 Disjuntor de partida
7 Disjuntor de anodo
8 Dispositivo de desconexão da energia de controle
9 Dispositivo de reversão
10 Chave de sequência das unidades
11 Reservada para futura aplicação
12 Dispositivo de sobrevelocidade
13 Dispositivo de rotação síncrona
14 Dispositivo de subvelocidade
15 Dispositivo de ajuste ou comparação de velocidade ou frequência
16 Reservado para futura aplicação
17 Chave de derivação ou descarga
18 Dispositivo de aceleração ou desaceleração
19 Contator de transição partida-marcha
20 Válvula operada eletricamente
21 Relé de distância
22 Disjuntor equalizador
23 Dispositivo de controle de temperatura
24 Relé de sobreexcitação ou Volts por Hertz
25 Relé de verificação de Sincronismo ou Sincronização
26 Dispositivo térmico do equipamento
27 Relé de subtensão
28 Reservado para futura aplicação
29 Contator de isolamento
30 Relé anunciador
31 Dispositivo de excitação
32 Relé direcional de potência
33 Chave de posicionamento
34 Chave de sequência operada por motor
35 Dispositivo para operação das escovas ou curto-circuitar anéis coletores
36 Dispositivo de polaridade
37 Relé de subcorrente ou subpotência
38 Dispositivo de proteção de mancal
39 Reservado para futura aplicação
40 Relé de perda de excitação
41 Disjuntor ou chave de campo
42 Disjuntor/ chave de operação normal
43 Dispositivo de transferência manual
44 Relé de sequência de partida
45 Reservado para futura aplicação
46 Relé de desbalanceamento de corrente de fase
47 Relé de sequência de fase de tensão

48 Relé de sequência incompleta/ partida longa
49 Relé térmico
50 Relé de sobrecorrente instantâneo
51 Relé de sobrecorrente temporizado
52 Disjuntor de corrente alternada
53 Relé para excitatriz ou gerador CC
54 Disjuntor para corrente contínua, alta velocidade
55 Relé de fator de potência
56 Relé de aplicação de campo
57 Dispositivo de aterramento ou curto-circuito
58 Relé de falha de retificação
59 Relé de sobretensão
60 Relé de balanço de tensão/ queima de fusíveis
61 Relé de balanço de corrente
62 Relé temporizador
63 Relé de pressão de gás (Buchholz)
64 Relé de proteção de terra
65 Regulador
66 Relé de supervisão do número de partidas
67 Relé direcional de sobrecorrente
68 Relé de bloqueio por oscilação de potência
69 Dispositivo de controle permissivo
70 Reostato eletricamente operado
71 Dispositivo de detecção de nível
72 Disjuntor de corrente contínua
73 Contator de resistência de carga
74 Função de alarme
75 Mecanismo de mudança de posição
76 Relé de sobrecorrente CC
77 Transmissor de impulsos
78 Relé de medição de ângulo de fase/ proteção contra falta de sincronismo
79 Relé de religamento
80 Reservado para futura aplicação
81 Relé de sub/ sobrefrequência
82 Relé de religamento CC
83 Relé de seleção/ transferência automática
84 Mecanismo de operação
85 Relé receptor de sinal de telecomunicação
86 Relé auxiliar de bloqueio
87 Relé de proteção diferencial
88 Motor auxiliar ou motor gerador
89 Chave seccionadora
90 Dispositivo de regulação
91 Relé direcional de tensão
92 Relé direcional de tensão e potência
93 Contator de variação de campo
94 Relé de desligamento
95 à 99 Usado para aplicações específicas

Fonte: SEL, 2013.