

Localizador de Falhas com Comunicação Sem Fio

Eduardo F. Jakubowski, Josemir C. Santos, Fábio J. de Andrade

Resumo – O Projeto Localizador de Falhas com Comunicação Sem Fio teve por objetivo desenvolver um sistema de comunicação, baseado em rádio-frequência e operando em banda livre, para ser utilizado em conjunto com o sinalizador luminoso de falhas, de modo a comunicar remotamente às equipes de manutenção da linha de distribuição o provável local da ocorrência do defeito, agilizando ainda mais o tempo de restabelecimento do serviço para as áreas afetadas. Também foi desenvolvido um banco de dados e um software de gerência das informações recebidas dos rastreadores, que mostra em um mapa georreferenciado todos os equipamentos que estão operando e quais estão atuados a cada momento, permitindo a identificação do local do defeito antes mesmo do despacho da equipe de manutenção, otimizando esse processo de despacho. Um alimentador da CPFL na cidade de Campinas recebeu um piloto dessa rede com duzentos equipamentos rastreadores espalhados ao longo de toda a sua extensão.

Palavras-chave – Comunicação Sem Fio; Despacho de Equipes; Localização de Falhas.

I. INTRODUÇÃO

O tempo de restabelecimento do fornecimento da energia após a ocorrência de um defeito na rede (curto-circuito) é medido pelo TMAE (Tempo Médio de Atendimento a Ocorrências Emergenciais), definido pelo PRODIST de 2008 [1], [2]. Todas as concessionárias de distribuição de energia elétrica buscam melhorar seus indicadores da qualidade do serviço prestado, seja por necessidade de cumprimento das normas do órgão regulador (ANEEL) ou mesmo por interesse em melhorar sua imagem junto aos clientes e perante as outras concessionárias.

Como ilustra a figura 01, a seguir, parte significativa do TMAE é o TMD (Tempo Médio de Deslocamento). O tempo de deslocamento começa a contar a partir do TP (Tempo de Preparação da equipe) e se encerra no momento em que o defeito é localizado, onde começa a contar o TE (Tempo de Execução do serviço de atendimento à ocorrência). Portanto, buscando reduzir o TMAE pode-se atuar no sentido de reduzir o TMD, que é composto basicamente pelos tempos gas-

tos pela equipe para localizar o ponto do defeito e para se deslocar até ele.



Figura 1 – Composição do TMAE (Tempo Médio de Atendimento a Ocorrências Emergenciais), onde: TMP é o Tempo Médio de Preparação da equipe, TMD é o Tempo Médio de Deslocamento e TME é o Tempo Médio de Execução do serviço.

Equipamentos de detecção e sinalização luminosa de falhas têm sido utilizados até o presente para indicar para a equipe de manutenção, em pontos estratégicos da rede, que caminho seguir para chegar mais rapidamente ao defeito. Esse tipo de equipamento já ajuda de forma significativa na redução do TMAE, através da redução do TMD. Entretanto, a metodologia e o processo de despacho de equipes para atendimento às ocorrências emergenciais em nada poderiam ser melhorados ou aprimorados e a máxima redução do TMD dificilmente poderia ser alcançada através da simples utilização desses dispositivos de sinalização luminosa.

Para que a informação da localização do defeito chegue ao Centro de Operações e, conseqüentemente, a quem decide sobre o despacho das equipes de manutenção, os estados (atuados ou não) dos detectores de falhas espalhados em pontos estratégicos da rede de distribuição de energia devem estar disponíveis para consulta pelos engenheiros e técnicos da concessionária poucos minutos, ou segundos, após a ocorrência de um defeito na rede. A disponibilidade desta informação pode auxiliar na tomada de decisão e racionalizar o despacho de equipes de manutenção, além de agilizar ainda mais o tempo de deslocamento até o local do defeito.

Para que essa informação chegasse à concessionária a tempo de ajudar no processo de tomada de decisão de despacho das equipes, um sistema de comunicação remota deveria ser desenvolvido e integrado aos detectores de falhas a serem espalhados nos alimentadores de média tensão.

Este projeto teve por objetivo refinar o equipamento detector e sinalizador luminoso de falhas, desenvolvido anteriormente pela própria CPFL dentro do programa de P&D ANEEL [3], e integrar um sistema de comunicação remota a esse detector de falhas, de modo que o seu estado pudesse ser monitorado a todo instante a partir de uma central nas dependências da concessionária.

A metodologia adotada para a execução do projeto foi a do desenvolvimento conjunto entre EBT (Empresa de Base

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

E. F. Jakubowski trabalha na CPFL (e-mail: eduardofj@cpfl.com.br).

J. C. Santos é Prof. Dr. do PEA-EPUSP (e-mail: josemir@pea.usp.br).

F. J. Andrade trabalha na EXPERTEC (e-mail: fabio@expertec.com.br).

Tecnológica) e Universidade, sob a gerência físico-financeira da concessionária. A terceirização foi recurso bastante utilizado durante o projeto para o cumprimento de atividades complexas, mas de pouca ou nenhuma inovação tecnológica, ou atividades que possuíssem complexidade que extrapolava os recursos e ferramentas da equipe de projeto (ex. busca manual de patentes para checagem de anterioridade tecnológica; desenho, prototipagem, moldagem e confecção de gabinete plástico; integração da eletrônica do detector de faltas em chip proprietário; montagem de equipamentos para testes de campo; entre outros) [4]. O foco da EBT se fixou no gabinete plástico do dispositivo e no desenvolvimento do sistema de comunicação remota dos dispositivos com a concessionária, enquanto que a Universidade investiu seu tempo no desenvolvimento do chip proprietário e em testes funcionais da eletrônica do equipamento.

Os principais resultados do projeto foram os equipamentos detectores de faltas [9] totalmente refinados, com as deficiências detectadas em testes de campo completamente resolvidas, e prontos para receberem os módulos de comunicação remota. Os módulos que compõem o sistema de comunicação sem-fio operam em frequência livre de 433 MHz, são microprocessados e operam com um protocolo de comunicação proprietário, implementado com técnicas de economia de energia visando maior vida útil das baterias do equipamento. Obteve-se também como resultado um banco de dados e software georreferenciado de visualização via Internet dos estados dos equipamentos rastreadores de faltas espalhados nos alimentadores da concessionária.

Com esses resultados, a concessionária tem à disposição um sistema completo de rastreamento de faltas, que irá melhorar significativamente o indicador de TMAE e dará subsídios para uma otimização do processo de despacho das equipes de manutenção para atendimentos emergenciais.

Este projeto foi desenvolvido com o título “Localizador de Faltas com Comunicação Sem Fio”, sob o código ANEEL PD-155. A empresa proponente, que deu apoio financeiro ao projeto, é a Companhia Paulista de Força e Luz, cooperada com a Companhia Piratininga de Força e Luz. As entidades executoras são a Expertise Engenharia Ltda., Expertec Serviços e Desenvolvimento Tecnológico Ltda., e a Fundação de Apoio a Universidade de São Paulo (FUSP), que representa o Departamento de Energia e Automação Elétricas (PEA-USP) da Escola Politécnica da USP.

II. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Além dos objetivos do projeto explicitados anteriormente, seriam realizadas, em paralelo, pesquisas e desenvolvimentos de uma solução de comunicação sem-fio de baixo custo operando em frequência livre. Esta solução compreenderia o hardware (placa eletrônica com transceptor de RF e microcontrolador de baixo consumo de energia) e o protocolo de comunicação proprietário, implementado para maximizar a economia de energia e garantir o rápido e confiável transporte das informações dos equipamentos detectores de faltas para a central de monitoramento na concessionária.

O equipamento sinalizador luminoso de faltas da CPFL

seria a base para o desenvolvimento desse novo equipamento. Ele continuaria fazendo a detecção de faltas nas linhas de média tensão da empresa e, além da sinalização luminosa local da ocorrência do defeito, seria gerado também um sinal que acionaria um módulo de comunicação sem-fio, que por sua vez iria informar a uma central de monitoramento sobre a atuação daquele equipamento.

Para que pudesse ser utilizado neste projeto, o equipamento sinalizador luminoso de faltas teria que passar por refinamentos, solucionando alguns pequenos problemas encontrados durante os testes de campo realizados ao final do projeto anterior. Entre estes problemas estavam a vedação do gabinete plástico do dispositivo, o sistema de fixação que não tinha proteção contra torque excessivo, a confiabilidade do projeto do chip microeletrônico proprietário (responsável pela lógica de detecção de faltas e que apresentou alto índice de “quebra” durante a fabricação do lote cabeça-de-série), a visualização da sinalização luminosa, que era limitada e aquém do ideal, e a capacidade limitada de abrigar fontes de energia (baterias de alimentação), uma vez que nesse novo projeto seria necessário muito mais energia para suprir o funcionamento autônomo do dispositivo, agora com poder de se comunicar sem fios. Só então, com estas questões sanadas ou contornadas, é que o sistema de comunicação poderia ser integrado no sinalizador luminoso, transformando-o num equipamento rastreador de faltas, que compõe o sistema de localização remota de faltas.

III. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

Todos os produtos, intermediários e finais do projeto foram representados em um tipo de fluxograma chamado WBS (*Work Breakdown Structure*) [4], o qual permite à equipe do projeto a identificação imediata, por um lado, de todas as frentes de atuação necessárias a serem consideradas e, por outro, de como as tarefas poderiam ser divididas entre as entidades executoras e os integrantes de suas equipes. O WBS do projeto pode ser visto na figura 02 abaixo.

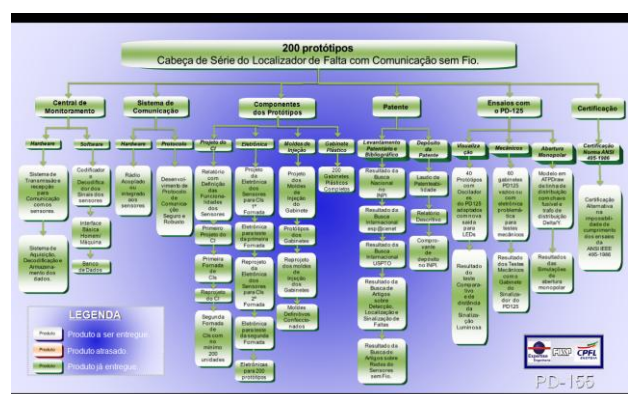


Figura 2 - Fluxograma WBS para desenvolvimento do projeto PD-155.

Da análise da figura 02, podem-se detectar algumas frentes de trabalho principais do projeto, que dividiram responsabilidades entre os integrantes do projeto da seguinte maneira:

- Ensaios com o antigo sinalizador luminoso: Vários tipos de testes mecânicos e de visualização da

- sinalização luminosa deveriam ser realizados para caracterizar muito bem os problemas ocorridos em campo com esses equipamentos antigos do projeto anterior e propor uma solução adequada para os problemas.
- **Patente:** O projeto já deveria se iniciar com a busca de anterioridades para a solução almejada e análise da viabilidade de patenteamento dos produtos do projeto. Nesta fase também foi feito um amplo levantamento bibliográfico por toda a equipe do projeto, buscando identificar com clareza o estado da arte das diversas tecnologias que compõe o equipamento rastreador de faltas. Ao final do projeto, todos os produtos desenvolvidos julgados como inovadores foram encaminhados para os responsáveis da concessionária por fazer a proteção industrial dos frutos dos projetos de P&D.
 - **Componentes dos Protótipos:** Tendo sido caracterizado o estado da arte das tecnologias envolvidas e bem definidos os problemas a serem resolvidos no equipamento antigo, passou-se para o desenvolvimento em si das partes que iriam compor os protótipos dos equipamentos rastreadores, composto de gabinete plástico, eletrônica, chip proprietário, entre outros.
 - **Sistema de Comunicação:** Teria de ser desenvolvido a partir do zero um sistema de comunicação sem fio, para aplicação nos equipamentos rastreadores de faltas, baseada em transceptores comerciais de baixo consumo, operando em frequência livre, atendendo os requisitos de tempo de transmissão de mensagens desde o rastreador mais remoto até os mais próximos da subestação, da onde partem os alimentadores e onde ficaria o concentrador de informações coletadas desses equipamentos. Um protocolo de comunicação totalmente novo, com técnicas avançadas de economia de energia, teve de ser implementado para aplicação em conjunto com o transceptor escolhido para fazer parte do sistema de comunicação.
 - **Central de Monitoramento:** Para permitir a imediata aplicação da solução de rastreamento de faltas na concessionária foram implementados um banco de dados e um software gráfico, georreferenciado, que se integram e se comunicam via Internet para gestão das informações sobre os rastreadores instalados na rede de distribuição de energia elétrica.
 - **Certificação:** Algumas unidades protótipos do equipamento completo desenvolvido, composto de um detector de faltas associado a um módulo de comunicação sem-fio, abrigado no novo gabinete plástico, deveriam ser submetidas aos testes de certificação dos dispositivos sinalizadores de faltas para que pudessem ser aplicados na rede de distribuição da concessionária, permitindo

a realização de testes de campo.

- **200 protótipos:** Tendo sido aprovados na certificação, 200 protótipos dos equipamentos rastreadores de faltas deveriam ser montados para aplicação em testes de campo e aferição do resultado final do projeto.

A empresa de base tecnológica se ateuve mais às tarefas de pesquisa de patentes, realização dos ensaios com o equipamento antigo e os ensaios de certificação do novo equipamento, desenvolvimento do novo gabinete e desenvolvimento do sistema de comunicação sem fio. A Universidade atacou prioritariamente as fases de levantamento bibliográfico do estado da arte, desenvolvimento do novo chip proprietário, desenvolvimento da nova eletrônica e testes desses dispositivos. Obviamente, apesar da divisão de tarefas, a todo o momento as entidades executoras se reuniam e cooperavam no cumprimento de todas as atividades do projeto, alinhando os objetivos e melhorando o resultado final a ser obtido.

Com esta metodologia de trabalho implementada sobre o problema a ser resolvido, o projeto foi executado.

IV. RESULTADOS OBTIDOS

A. Sistema de Comunicação Sem Fio

Foram estudados sistemas de rede de sensores com comunicação de várias tecnologias e topologias distintas. O primeiro aspecto levado em consideração, e que necessitava de rápida decisão para andamento dos trabalhos, foi a quantidade de níveis hierárquicos que estariam presentes entre os elementos da rede de comunicação sem fio. Consultada a concessionária patrocinadora do projeto, chegou-se à conclusão que, para baratear o custo final da solução devido ao ganho de escala e a intercambialidade plena, se utilizaria um equipamento único e idêntico aos demais em todos os pontos de instalação, inclusive com o mesmo *firmware*. Ou seja, a rede como um todo deveria operar num degrau hierárquico único, onde todos os nós de rede são iguais aos demais e nenhum tem prioridade ou privilégios sobre os outros. Outra vantagem de uma solução desse tipo é a simplicidade da instalação da rede em campo, que se torna igualmente simples à instalação de sinalizadores luminosos de faltas. Obviamente, deve-se apenas tomar o cuidado para respeitar a distância máxima de comunicação entre os equipamentos, para que ramos da rede não fiquem isolados da central de monitoramento.

Partindo desse pressuposto, estudaram-se então os protocolos de redes de comunicação sem fio. Primeiramente aventou-se a possibilidade da utilização de protocolo de rede implementado com a pilha TCP/IP. Entretanto esse protocolo é pouco eficiente em termos de economia de energia, mesmo se implementado apenas com as camadas mais baixas. Para se obter a máxima eficiência energética dos equipamentos rastreadores, maximizando sua vida útil, teve de ser desenvolvido um protocolo proprietário para a rede em questão, que tem as qualidades de ser simples e robusto.

Para definição da topologia da rede de comunicação, considerou-se que a rede seria plana (sem níveis hierárquicos –

conforme definido anteriormente), com comunicação ponto-a-ponto e ponto-multiponto, resultando-se numa rede do tipo *mesh*, onde os elementos de rede não possuem mobilidade (pois estarão fixos nos seus respectivos pontos de instalação da rede elétrica). Caso houvesse mobilidade, deveria ser utilizada uma topologia de rede *ad-hoc*. Desta maneira, todo e qualquer elemento de rede poderia conversar com todos os outros e todos possuiriam o mesmo *hardware* e mesmo *firmware*.

As frequências de comunicação estudadas para utilização no dispositivo rastreador foram as da faixa de 433MHz, 915MHz e 2,4GHz. Todas elas são da banda ISM (*industrial, scientific and medical*), reservadas internacionalmente para uso de equipamentos industriais, médicos e científicos, sendo, portanto, frequências livres de necessidade de homologação pelo órgão regulador das telecomunicações (ANATEL) quando se opera dentro de certos limites de potência e em caráter secundário. Por essa utilização, essa faixa do espectro é muito poluída e a comunicação realizada nessas frequências deve ser mais robusta.

Estudos teóricos sobre a frequência de operação do sistema, levando-se em consideração o meio ambiente típico em que o sistema iria operar, mostraram ampla vantagem da frequência de 915 MHz sobre a de 2,4 GHz. Para subsidiar a decisão final, decidiu-se realizar testes práticos com as frequências de 433 MHz e 915 MHz. Para tanto, foram pesquisados módulos de comunicação sem fio de baixo consumo e custo acessível. Foi escolhido o módulo da empresa italiana *Telecontrolli*, modelo RXQ2, que pode ser fornecido nas frequências de 433 MHz e 915 MHz. Esta escolha foi a ideal para comparação entre as frequências de operação, uma vez que o hardware é idêntico nos dois casos. Para controle do módulo RXQ2 e execução do protocolo de testes, foi utilizado o microcontrolador PIC16F628A, com baixo consumo de corrente e memória interna suficiente para suprir as necessidades do dispositivo que estava sendo construído.

A figura 03 abaixo ilustra o diagrama de blocos das placas de comunicação sem fio que foram montadas no projeto.

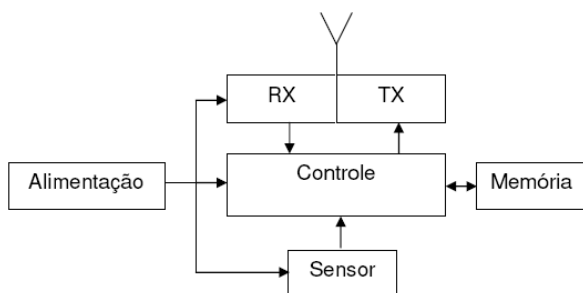


Figura 3 - Diagrama de blocos da placa de testes dos módulos transceivers RXQ2, da Telecontrolli, operando em 433 MHz e 915 MHz.

Esses módulos de telecomunicação deveriam então ser testados em campo controlado. Foi implementado um site de testes para essa finalidade no Centro de Treinamento da CPFL em Americana/SP. Nesse local, foi possível espalhar os nós da rede em algumas centenas de metros e comparar distâncias máximas de comunicação e perdas de pacotes de comunicação entre nós da rede, com diversos tipos de enla-

ces (enlaces com visada, com obstrução parcial ou total por árvores, construções, relevo, etc.). Na figura 4 abaixo é mostrada uma foto aérea do CT/CPFL com os pontos escolhidos para instalação dos nós da rede, tanto de 433 MHz, quanto de 915 MHz.



Figura 4 – Foto do CT-CPFL com a distribuição dos nós de rede de teste em Americana/SP.

Em cada ponto assinalado na foto acima, foi instalado um par de equipamentos rastreadores de faltas, um com protótipo do sistema de comunicação operando em 433 MHz e outro em 915 MHz, posicionados a 3 metros de altura do solo, conforme mostra a figura 5 abaixo:



Figura 5 - Sistema de comunicação operando em 433 MHz e 915 MHz.

Foi desenvolvido para os testes um software de medição de perda de pacotes na comunicação entre os nós de rede remotos e um nó central, localizado no ponto P4 da foto. Através de medição da taxa de erros de pacotes, abreviada por PER (*Packet Error Rate*), foi possível averiguar a conectividade entre pontos da rede, em cada uma das frequências que estavam sendo analisadas. Os resultados indicaram que, os módulos operando em 433 MHz conseguem “fechar *link*” de comunicação entre a maioria dos nós de teste, ao contrário dos módulos operando em 915 MHz, que só “fecham” em nós muito próximos. Foi observado também que, onde se consegue conectividade, observou-se que a taxa de perdas de pacotes é menor quando se opera em 915MHz. Como a prioridade do projeto é maximizar a distância de comunicação, uma técnica de checagem de erro no protocolo desenvolvido já compensou essa pequena desvantagem da frequência de 433 MHz. Com esses resultados, decidiu-se pela utilização frequência de 433 MHz para operar a rede dos rastreadores de faltas.

Para início do desenvolvimento do protocolo de comunicação de baixo consumo e realização de maiores refinamen-

tos no hardware dos módulos de comunicação sem fio, foi desenvolvida e fabricada uma versão das placas de circuito impresso (mostradas na figura 6), que permitiriam mais possibilidades de testes e, portanto, obtenções de novas conclusões sobre o sistema que estava sendo desenvolvido.

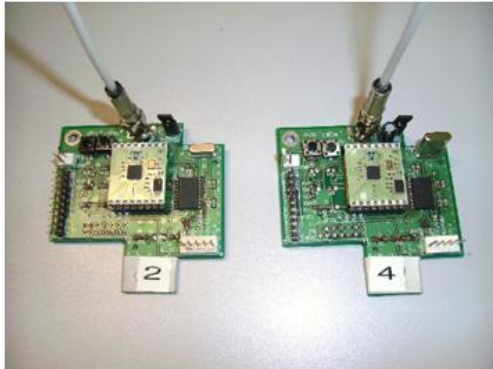


Figura 6 - Segunda versão dos módulos de testes de comunicação.

Com essa nova versão de placa pôde-se testar a variação do relógio (*clock*) do microcontrolador e verificar seus impactos no consumo de energia, velocidade de transmissão e desempenho do protocolo. Além disso, foi possível também concluir o desenvolvimento do protocolo de comunicação de baixo consumo.

O desenvolvimento do protocolo de comunicação definitivo para a rede de sensores de detecção e localização de faltas passou por algumas versões preliminares antes da obtenção de uma solução que atendesse de forma plena os objetivos iniciais propostos pela concessionária (vida útil prolongada, três equipamentos por ponto de instalação, rede plana, rede radial com bifurcações, tempo de chegada da mensagem de faltas na central). O fluxo de comunicação gerado pelo protocolo desenvolvido pode ser visto na figura 7, a seguir.

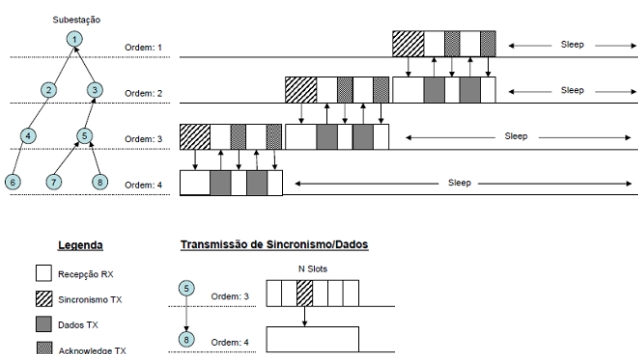


Figura 7 - Fluxo da Comunicação de dados na rede de rastreadores.

No protocolo de comunicação desenvolvido, os nós de rede são dispostos no alimentador radial a partir da subestação, por exemplo, cobrindo toda a extensão desse alimentador, inclusive seus ramais. Os nós de rede vão assumindo automaticamente “ordens”, que determinam o instante em que vão sair do modo de dormência (baixo consumo de energia) para o modo operacional. Ordens consecutivas acordam em instantes iguais para transmissão e recepção e, assim, a informação flui dos nós de ordens maiores (mais distantes) para os nós de ordens menores (mais próximos da

subestação). Sempre que se comunicam os equipamentos se resincronizam, para acordarem no mesmo instante na janela seguinte de comunicação.

Com esse protocolo implementado, os módulos de comunicação dos dispositivos de rede conseguem manter sincronismo entre si (sincronismo esse gerado pelo módulo que fica na central) e operar em modo de baixo consumo em 99% do tempo, realizando todas as tarefas de comunicação e de sincronização em apenas 1% do tempo, quando ficam ativos. Como esse ciclo se repete em intervalos de alguns segundos e a informação trafega dos nós mais distantes para a central de monitoramento, a informação de faltas dos sinalizadores chega rapidamente à concessionária.

Por fim, o módulo de comunicação em sua versão definitiva foi integrado à placa do módulo de detecção de faltas. Portanto, os equipamentos rastreadores de faltas contam com uma única placa eletrônica, onde estão presentes o módulo de detecção de faltas e o módulo de comunicação sem fio.

B. Central de Monitoramento

Para gerenciar essas informações que estão sendo recebidas a todo o momento da rede de comunicação e apresentá-las de forma amigável e ágil para a tomada de decisão de despacho das equipes de manutenção que irão fazer o atendimento ao alimentador problemático, foi desenvolvido um banco de dados e uma central de monitoramento georreferenciada dos rastreadores instalados nos alimentadores da área de atuação da concessionária.

Essa central de monitoramento tem por objetivos principais: manter o cadastro de todos os equipamentos instalados em campo, com o número de identificação de cada um e sua posição georreferenciada; exibir para o usuário o mapa georreferenciado do alimentador que está sendo monitorado pela rede de rastreadores de faltas; monitorar as informações recebidas da rede de comunicação e armazená-las num banco de dados; exibir para o usuário a qualquer momento o estado atual da rede e alertar sobre os sinalizadores atuados, ou seja, que detectaram a passagem de uma corrente de curto-circuito, indicando o local provável do defeito para a equipe de manutenção num curtíssimo espaço de tempo (por vezes, antes mesmo de a concessionária ser notificada por um consumidor que ficou sem energia elétrica).

O software de gestão da rede de comunicação sem fio dos rastreadores de faltas é dividido em duas partes principais. A primeira delas é um módulo de aquisição de dados, que fica instalado diretamente na subestação da concessionária, e tem por objetivo ouvir e registrar todas as mensagens recebidas da rede de comunicação sem fio.

Essas mensagens recebem uma estampa de tempo e são armazenadas de forma que é possível saber qual a mensagem enviada por cada equipamento da rede, seu conteúdo e em que momento ela foi recebida no ponto central da rede.

Esses dados podem ser enviados imediatamente para um servidor na sede da concessionária, por exemplo, no CO (Centro de Operações), onde podem ser consultadas a qualquer tempo pelos operadores da rede de distribuição, pelas equipes de manutenção e pela engenharia.

O outro módulo principal do software é o de consulta, que

pode ser executado de qualquer lugar em que se tenha acesso ao banco de dados central das mensagens recebidas da rede de comunicação sem fio. Alternativamente, se o acesso ao banco for disponibilizado na Internet, o módulo de consulta poderá ser executado de qualquer computador devidamente cadastrado com acesso à rede mundial de computadores. Numa tela de saída desse módulo, como a apresentada na figura 8 abaixo, é possível visualizar o mapa dos alimentadores que estão sendo monitorados, com indicações gráficas georreferenciadas dos pontos de instalação dos equipamentos rastreadores de faltas e que mudam de cor conforme o estado de operação do dispositivo (basicamente, verde para operação normal, sem atuação, e vermelho para equipamento atuado, ou seja, que detectou uma falta).

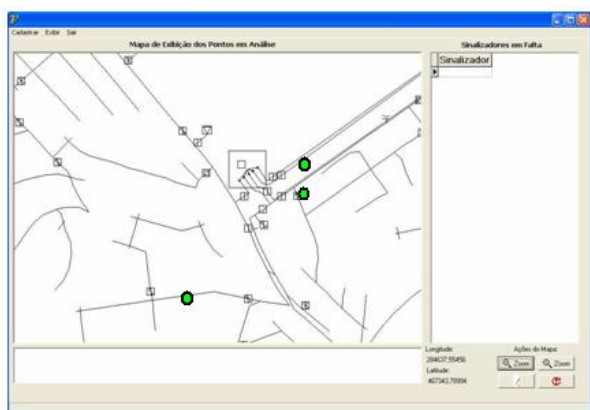


Figura 8 - Mapa georreferenciado dos pontos onde estão instalados rastreadores de faltas.

É possível também cadastrar os pontos de instalação dos dispositivos e acessar o histórico dos dados recebidos da rede de sinalizadores. Percebe-se que o sistema é bastante flexível e escalável, permitindo que seja executado isolado numa subestação ou ainda centralizado num servidor potente na sede da concessionária, recebendo dados de diversos alimentadores de várias subestações e permitindo o acesso remoto, via rede interna da empresa ou internet, às informações de localização de faltas do sistema.

C. Projeto da Eletrônica do Rastreador de Faltas

O detector de faltas antigo, utilizado no projeto anterior, já contava com um chip microeletrônico proprietário misto (analógico-digital), que realizava todas as funções de sensoriamento dos sinais de tensão e corrente, a lógica de detecção de faltas e acionamento da sinalização luminosa.

Este chip havia sido fabricado na Bélgica, numa *foundry* que trabalhava com a tecnologia AMIS de 0,7 μ m. O chip havia sido encomendado sem encapsulamento, para ser fixado diretamente na placa eletrônica aqui no Brasil, através da tecnologia *Chip-on-board*. Esse tipo de utilização se mostrou mais cara e trabalhosa que o esperado e o índice de quebra das placas foi da ordem de 60%. Portanto a tecnologia *chip-on-board* foi descartada neste novo projeto.

Além disso, a *foundry* que estava sendo utilizada até então atualizou sua tecnologia de fabricação (o que acontece de tempos em tempos quando surgem novas tecnologias mais avançadas de microfabricação e se atualiza o maquinário da

fábrica).

Assim, como o projeto do chip teria de ser refeito, optou-se por uma nova implementação do mesmo pelo LSI-TEC, *design house* ligada ao LSI (Laboratório de Sistemas Integráveis) da USP, com a tecnologia XFAB CMOS de 0,6 μ m (melhor e mais recente que a anterior) da *foundry* alemã XFAB. Novos dispositivos de proteção foram agregados ao chip, principalmente no que se refere a descargas eletrostáticas em seus pinos de conexão. Com isso sua robustez e confiabilidade aumentaram muito. Alguns blocos internos, tanto analógicos como digitais foram atualizados em relação ao projeto anterior, como por exemplo, a função de auto-teste que foi completamente incorporada ao chip (ao contrário do que acontecia anteriormente) e a troca do oscilador a cristal por outro baseado em um circuito oscilador CMOS 555, já que no projeto anterior detectou-se que alguns sinalizadores não funcionavam corretamente porque alguns osciladores a cristal simplesmente não partiam.

A primeira versão deste novo projeto do chip, apresentada na figura 9, foi fabricada em escala protótipo e seguiu para testes no laboratório LSO, da USP:

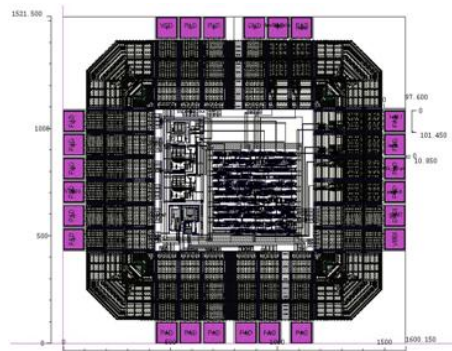


Figura 9 - Projeto atualizado do chip do detector de faltas.

O protótipo do novo chip foi aprovado de maneira geral, mas apresentou alguns problemas de detecção de tensão, no auto-teste e no consumo quiescente, acima do esperado. Todos os pontos fora de conformidade foram relatados para a *design house* fazer as alterações e os ajustes necessários para sanar os problemas na versão definitiva do chip, já que seriam fabricadas 5.000 unidades de uma só vez (quantidade mínima produzida pela *foundry*).

As correções necessárias ao chip foram realizadas e a eletrônica periférica ao chip também foi ajustada, de maneira que alguns problemas relatados acima se resolveram apenas com esses ajustes.

Ficou decidido que o chip deveria chegar ao Brasil já encapsulado. Uma encapsuladora da Malásia foi utilizada pela *design house* para o serviço. Porém, algumas unidades da versão final do chip foram enviadas diretamente ao Brasil (sem o encapsulamento SMD) para realização de testes, como mostrado na figura 10, antes da realização do encapsulamento de todas as peças. Esses protótipos de chip estavam num encapsulamento cerâmico provisório, tipo DIP, de 24 pinos.

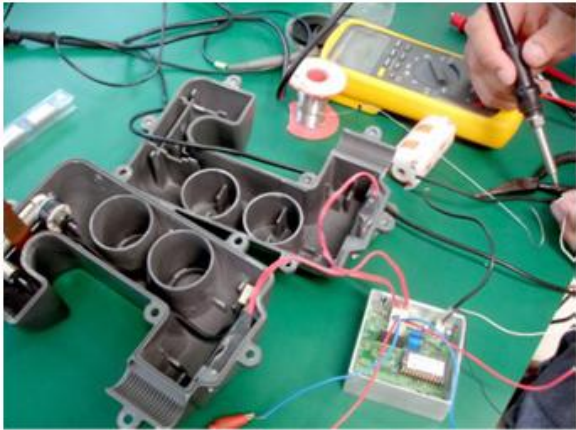


Figura 10 - Nova bateria de testes com os chips definitivos.

Desta vez não foram detectados problemas e foi liberado o encapsulamento do lote completo em padrão SMD. As 5.000 unidades do chip chegaram ao Brasil prontas para realização dos mesmos testes de recebimento feitos anteriormente com os chips protótipos. Novamente foram aprovados.

Por fim, foi desenvolvida a placa eletrônica definitiva, pronta para receber os circuitos integrados encapsulados em SMD e já integrada com o módulo de comunicação sem-fio.

D. Projeto do Gabinete Plástico

A partir dos resultados dos testes mecânicos com o gabinete antigo do equipamento sinalizador luminoso, foram elaboradas as diretrizes para o projetista do novo molde de injeção do novo gabinete para o equipamento rastreador de faltas:

- O sinalizador antigo contava com espaço interno para uma bateria de tamanho C (média). Existem diversas soluções de baterias de tamanho C no mercado que conseguem suprir energia para os 10 anos de vida útil do sinalizador luminoso de faltas. Entretanto, neste novo projeto, além do detector de faltas, a bateria terá que suportar o funcionamento de um transceptor, que irá formar a rede de comunicação sem fio. Os estudos iniciais apontaram que a energia disponibilizada para o sistema de comunicação seria o gargalo para se atingir o ponto ótimo de alcance da comunicação. Portanto, desejava-se maximizar a oferta de energia para a eletrônica do equipamento rastreador de faltas. Para que a equipe pudesse ter uma boa margem de manobra, propôs-se a criação de duas cavidades para baterias de tamanho D (grande).
- No gabinete do sinalizador antigo, havia um problema de fixação do mordente do cabo na haste rosqueável, pois, no caso de abertura da haste até o seu fim de curso, o mordente era facilmente desprendido da haste. Estudou-se a solução de melhoria do encaixe entre as peças (haste e mordente) para evitar a soltura indesejada.
- No sinalizador luminoso de faltas antigo, o sensor

de tensão estava previsto inicialmente para ser de uma dimensão menor do que é utilizada atualmente. Portanto, a canaleta para encaixe do sensor de tensão deveria ser remodelada para as novas dimensões desse sensor. As cavidades próprias para o sensor de corrente deveriam ser adaptadas para receber uma proteção contra impactos mecânicos no elemento de ferrite.

- Durante a fase de refinamentos do sinalizador antigo, o *reed-switch* de acionamento do auto-teste e do reset do equipamento foram tirados da lateral do gabinete plástico e deslocados para o interior da caixa de blindagem eletromagnética que protege a placa de circuito eletrônico. Desta forma, o alojamento interno previsto para estes componentes poderia ser retirado.
- Uma vez que o novo sistema de vedação previsto não utilizaria cola para fechamento do gabinete, as travas nas extremidades das metades do gabinete perderam o sentido, pois serviam apenas para manter o equipamento fechado enquanto a cola secava. As travas externas deveriam ser retiradas e o uso de parafusos teve de ser previsto.

Partindo do gabinete antigo, conhecendo a aplicação e as funcionalidades do dispositivo e considerando todos os pontos destacados acima, foi projetada uma versão inicial para o novo gabinete, mostrada na figura 11 abaixo.



Figura 11 - Visão geral da primeira versão do novo gabinete.

De maneira geral, o novo gabinete sofreu uma alteração drástica no método de fixação do equipamento através da haste rosqueável, que agora não transpassa mais o eixo central do dispositivo, pois foi deslocada para a parede externa do corpo cilíndrico do gabinete. Esta mudança permitiu que a vedação fosse simplificada, com a utilização de parafusos no entorno do equipamento. Também foi incorporada a peça “suporte de LEDs” ao corpo do gabinete, pelo mesmo motivo. Por fim, o mordente foi adaptado para prender o cabo da mesma maneira que era feita antigamente, mesmo com a haste rosqueável deslocada do eixo central. Outra mudança notável foi a cavidade da bateria. Neste modelo passaram a haver duas cavidades que foram deslocadas para cima.

Pequenos ajustes foram sugeridos de imediato pela equipe do projeto. Essas alterações foram implementadas no desenho do gabinete antes da fabricação dos protótipos rápidos, que seriam utilizados nos testes preliminares.

Algumas técnicas de prototipagem rápida foram pesquisadas para gerar as peças do novo gabinete do rastreador de faltas antes dos testes mecânicos iniciais e antes da confecção dos moldes de injeção definitivos.

Neste projeto, uma vez que era necessária a fabricação de vários conjuntos de protótipos (dez, ao todo) e era necessária grande precisão dimensional das peças (para testes mecânicos e de interferência na montagem dos componentes internos), optou-se pela injeção através de molde de silicone, cujo custo final seria similar ao da fabricação de diversos conjuntos com a tecnologia SLA (sinterização a Laser), com resultado final melhor. O resultado final obtido foi pode ser visto na figura 12 abaixo.



Figura 12 - Protótipos de todas as peças do gabinete plástico fabricadas pelo processo de prototipagem através de injeção em molde de silicone.

Os gabinetes protótipos foram analisados sob diversos aspectos: avaliação estética, análise dimensional, montagem dos componentes internos, vedação, colocação dos LEDs, entre outros.

Alguns pontos de fragilidade do protótipo foram detectados e reforçados no projeto das peças antes da fabricação do molde de injeção definitivo. Outras recomendações de alteração também foram feitas antes da confecção dos moldes:

- Recomendou-se que fosse feito um reforço nos pontos fracos detectados no novo gabinete, sendo eles: a junção inferior da haste interna com a haste rosqueada externa; a haste interna como um todo; o encaixe superior da haste interna na haste externa.
- O sulco onde se encaixa o anel de borracha nas extremidades da lateral de uma das metades do gabinete deveria ser aprofundado. De maneira complementar, a aleta nas extremidades da lateral da outra metade do gabinete deveria ser aumentada na mesma proporção.
- O alojamento para o anel de borracha da tampa da bateria deveria ser reformulado para que este anel não saia do lugar quando sofrer pressão pelo fechamento da tampa.
- A cavidade de encaixe de ferramenta para abertura e fechamento da tampa da bateria deveria ser aprofundada.

- A cavidade para encaixe do sensor de tensão deveria ser modificada de modo que a chapa de cobre ficasse diretamente em contato com o gabinete.
- A caixa de blindagem do circuito eletrônico deveria ser injetada em alumínio. Portanto, deveria ser feito o projeto 3D dessa caixa e sua respectiva tampa.
- Uma cavidade para acomodação da antena de comunicação do rastreador deveria ser adicionada na parte superior do equipamento.

O projeto final obtido contemplou todas as alterações citadas acima e pode ser visto na figura 13 abaixo [8].

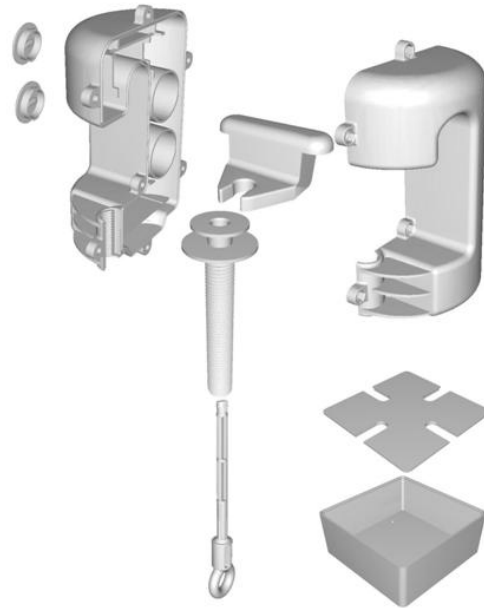


Figura 13 - Vista explodida 3D de todas as peças do gabinete definitivo.

A partir de então, todos os seis moldes de injeção necessários começaram a ser confeccionados pela ferramentaria contratada para tal finalidade. Parte do molde de injeção do corpo do gabinete pode ser visto usinado na figura 14 abaixo.

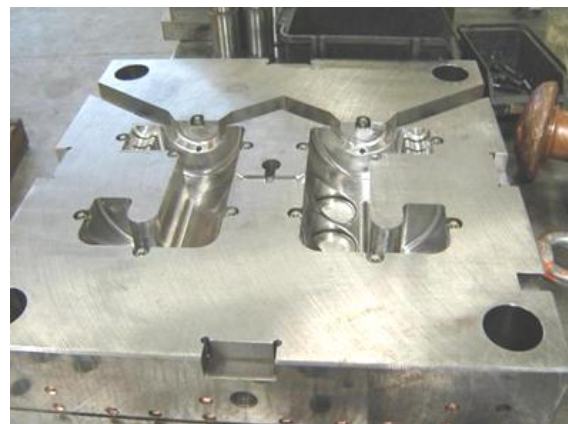


Figura 14 - Metade fêmea do molde de injeção das metades principais do corpo do gabinete em processo de usinagem.

Quando todos os moldes foram concluídos, passou-se para a Etapa de *try-out* das peças. O resultado obtido pode ser visto na figura 15 abaixo.



Figura 15 - Try-out completo do gabinete do rastreador de faltas.

Aprovado o *try-out*, os moldes seguiram para a empresa especializada contratada para fazer a injeção do lote de 200 conjuntos de peças, necessárias para a montagem dos equipamentos que seriam utilizados nos testes de campo.

E. Testes e Ensaios de Certificação

Os ensaios de certificação do equipamento rastreador de faltas foram baseados nas normas IEEE Std-495/1996 (Guia de testes de equipamentos sinalizadores de faltas) e na sua revisão, publicada em 2007 [5], além das normas da ANATEL para operação de equipamentos de radiação restrita (Resolução 506, de 1º de julho de 2008) [6].

O guia de testes de equipamentos sinalizadores de faltas da IEEE recomenda basicamente que sejam feitos os seguintes tipos de testes com os equipamentos a serem instalados em campo:

- Testes de Projeto: Aplicados a algumas amostras dos equipamentos a serem produzidos para atestar que suportam as condições de operação especificadas em projeto. Testes como ciclagem térmica, resistência mecânica, submersão em água, entre outros, podem ser aplicados nesta fase.
- Testes de Produção: Aplicados a todos os equipamentos produzidos, sem exceção. Devem comprovar que cada equipamento está operacional e realizando suas operações básicas de funcionamento. Nesta fase de testes são realizados primordialmente testes elétricos, como teste de detecção de corrente de falta e teste de *reset* (tanto automático, como manual e temporizado).

O Brasil não possui uma regulamentação específica para equipamentos sinalizadores de faltas e não possui um laboratório pronto para realizar todos os ensaios propostos pelo guia de testes da IEEE. Por isso, a equipe do projeto adaptou os testes de projeto para as condições brasileiras e realizou uma série de ensaios em laboratórios certificados pelo INMETRO.

Algumas amostras dos dispositivos prontos e em pleno funcionamento foram submetidas a um ensaio de ciclagem térmica, conforme mostrado na figura 16, entre -40 e +85 °C. Ao final do período de testes, constatou-se que todas estavam operando normalmente.



Figura 16 - Equipamentos posicionados na estufa para aplicação dos ensaios de ciclagem térmica.

Com o intuito de verificar se os equipamentos iriam suportar a vibração natural dos cabos das redes de distribuição de energia de média tensão onde seriam instalados, foi idealizado um ensaio de suportabilidade à vibração mecânica, realizado numa mesa vibratória especialmente adaptada para o teste do equipamento rastreador de faltas. Foram testadas mais do que uma amostra, nos três eixos (x , y e z), conforme ilustra a figura 17. Verificou-se que o dispositivo apresenta um pico de ressonância por volta dos 55Hz, quando testada no eixo x . Nenhuma amostra parou de funcionar após os testes e não foi verificado afrouxamento do sistema de fixação por haste rosqueável do dispositivo.



Figura 17 - Mesa Vibratória para testes com o rastreador de faltas.

O teste de tração visa determinar quanta força de tração o equipamento pode suportar no seu eixo vertical, aplicada à haste de fixação com olhal, sem danificar o equipamento, como mostrado na figura 18. Com o resultado destes testes, verificou-se que o equipamento suporta até 30 quilos antes da haste com olhal se desprender. Mesmo depois do desprendimento, não ocorreu a quebra do dispositivo, bastando a haste ser encaixada novamente. Essa força é mais do que suficiente para suportar a ação do bastão “pega-tudo” durante o processo de instalação do rastreador de faltas na linha.



Figura 18 - Teste de tração com o equipamento rastreador de faltas.

Para a realização do ensaio de submersão em água, foi utilizada a norma brasileira ABNT – IEC 60529 - Graus de proteção para invólucros de equipamentos elétricos (códigos IP) [7]. Essa norma foi aplicada pelos laboratórios do IPT/SP para determinar se o equipamento atendia aos graus de proteção IP-X5 e IP-X7, que são respectivamente, proteção contra jatos de água e proteção contra imersão temporária. O equipamento foi aprovado nos dois graus de proteção e se enquadrou, segundo a norma, como versátil para aplicação IP-X5 e IP-X7. O teste de imersão consistiu basicamente em submergir o dispositivo a 1 metro de profundidade durante 30 minutos e inspecionar pela penetração de água e umidade no seu interior.

Foi realizado também o teste de emissão eletromagnética (radiação restrita) segundo resolução da ANATEL. Para realização deste teste a equipe recorreu aos laboratórios de integração e teste de satélites do INPE/SP, onde existem diversas câmaras anecóicas capazes de realizar os ensaios e os laboratórios são acreditados e reconhecidos pela ANATEL para realização desses testes e emissão dos respectivos laudos. Foram realizados todos os ensaios pertinentes recomendados pela Resolução 506. O resultado obtido foi favorável e no limite para operação do sistema na frequência da portadora em 433 MHz, radiação restrita em caráter secundário, dispositivo de operação periódica. As figuras 19, 20 e 21 abaixo mostram o equipamento rastreador de faltas sendo ensaiado nos laboratórios do INPE, em São José dos Campos/SP.

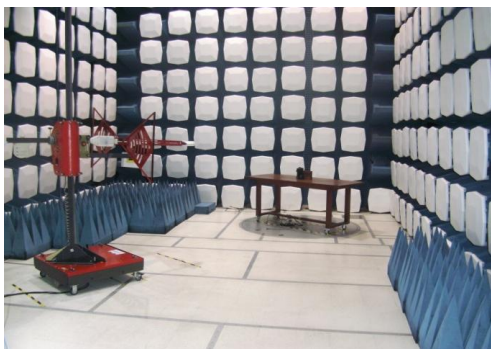


Figura 19 - Teste de radiação em 433 MHz do equipamento rastreador de faltas na câmara anecóica do INPE.



Figura 20 - Engenheiros do INPE e da equipe do projeto aplicando o teste no equipamento rastreador.



Figura 21 - detalhe do rastreador posicionado na câmara anecóica do INPE para o ensaio segundo a resolução 506 da ANATEL.

Com os testes de projeto executados com sucesso, passou-se para a execução dos testes de produção com todos os equipamentos montados para serem submetidos a teste de campo.

O teste de detecção de faltas e reset do dispositivo foram realizados no LSO da USP, sob a supervisão do Prof. Dr. Josemir Coelho Santos, coordenador técnico do projeto e do referido laboratório. O arranjo experimental montado permitia a aplicação de tensão de até 15kV nos dispositivos, bem como corrente de regime de 14A e a possibilidade de chaveá-la para a corrente de falta de 100A. Todos os dispositivos foram submetidos aos testes de detecção de faltas, reset automático por tensão e reset manual, no arranjo experimental mostrado na figura 22, que é composto de transformador de alta tensão, transformador de alta corrente, osciloscópio com ponta de prova de alta tensão e variacs para ajuste dos níveis de tensão e corrente de teste. Os equipamentos que foram reprovados em qualquer das etapas do procedimento experimental foram retrabalhados para solução dos problemas encontrados. Ao mesmo tempo em que era realizado o teste de detecção de faltas nos dispositivos, remotamente verificava-se a recepção de uma mensagem de “falta” do aparelho em teste, através da rede de comunicação sem fio operando dentro do laboratório.

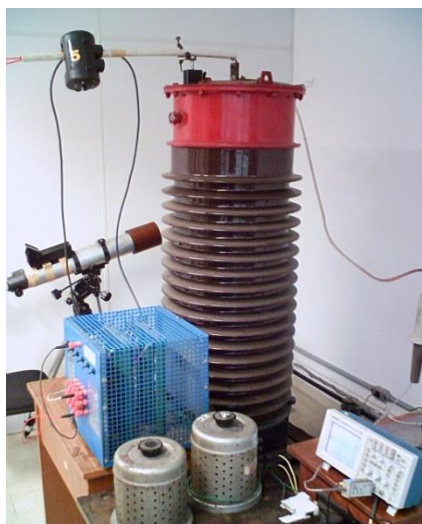


Figura 22 - Arranjo experimental do LSO para realização dos testes de produção com cada um dos rastreadores de faltas montados.

Com todos os testes realizados e os rastreadores de faltas tendo sido aprovados em todos eles, os equipamentos estavam prontos para testes de campo. Os resultados dos ensaios realizados no INPE, relativos a resolução 506, foram enviados para a ANATEL, juntamente com um pedido de uso temporário da frequência de 433 MHz, visando operação em caráter secundário e com fins científicos e experimentais, sem fins lucrativos nem de prestação de serviços, de modo que o sistema de localização de faltas possa ser colocado em operação num alimentador da CPFL durante 6 meses, período previsto para o teste de longa duração da rede completa.

V. BENEFÍCIOS AUFERIDOS

Tendo a liberação da ANATEL para realizações de testes experimentais com os equipamentos rastreadores de faltas operando em caráter secundário, com radiação restrita e periódica na frequência de 433 MHz, e tendo os protótipos para testes de campo prontos e testados, passou-se para a fase de instalação dos equipamentos em campo e monitoramento da rede de comunicação sem fio, esperando pelo recebimento das mensagens enviadas por cada equipamento espalhado na rede da CPFL.

Para a realização dos testes iniciais, foi escolhido um alimentador da CPFL com perfil misto rural/urbano (longo e pouco ramificado em alguns trechos e compacto e muito ramificado em outros trechos), localizado na cidade de Campinas/SP, em local próximo da sede da empresa Expertise Engenharia, onde está alocada a central de monitoramento neste primeiro momento.

Como a instalação da rede no alimentador CPD-06, ilustrado na figura 23, é muito recente, ainda não há dados que determinem numericamente quanto o indicador TMAE foi beneficiado com essa nova tecnologia.

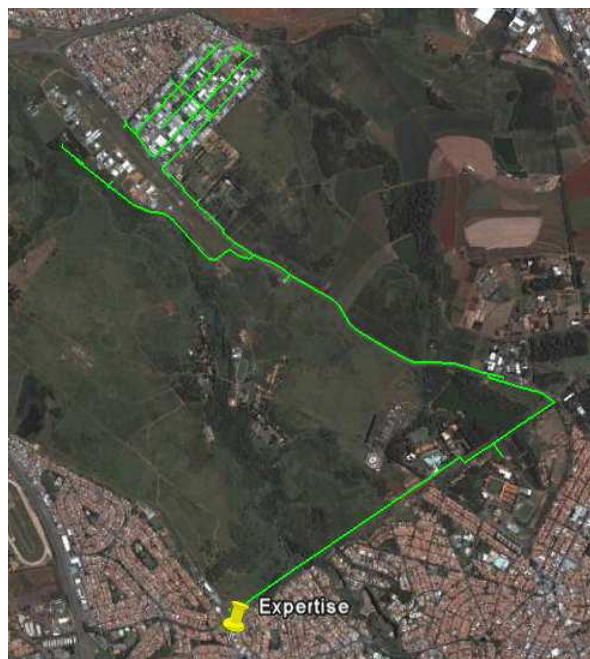


Figura 23 - Alimentador CPD-06, partindo da SE Chapadão em Campinas/SP, utilizado para instalação e teste do lote de 200 protótipos do equipamento rastreador de faltas.

Apesar disso é possível afirmar que com essa nova ferramenta a concessionária, além de agilizar a localização dos defeitos e o restabelecimento do fornecimento da energia elétrica, terá um histórico de informações de faltas da rede, inclusive com faltas transitórias, e utilizar esses dados para realização de manutenções preventivas nos pontos mais críticos, racionalizando os investimentos e melhorando os indicadores de qualidade de prestação do serviço de distribuição de energia elétrica, principalmente o TMAE.

Poderá também otimizar seu processo de despacho das equipes de manutenção para atendimento a ocorrências emergenciais, pois saberá de antemão a localização do defeito, e poderá cruzar essas informações com o posicionamento de suas equipes de campo disponíveis, despachando as equipes mais próximas para o atendimento da emergência.

VI. CONCLUSÕES

Frente ao exposto, pode-se dizer que todos os objetivos iniciais do projeto “Localizador de Faltas com Comunicação Sem Fio” foram alcançados com êxito. Provou-se que o conceito de uma rede de sensores sem-fio, operando na média tensão, é factível e viável. Basta o aprimoramento da tecnologia para torná-la mais atrativa para as concessionárias no que se refere a distância máxima entre os nós da rede de comunicação, vida útil e informações trafegadas. Essas melhorias irão inclusive ampliar o leque de aplicações do sistema.

Apesar de provar com sucesso o conceito da rede de localização de faltas com o uso de equipamentos rastreadores, que derivaram do equipamento sinalizador luminoso de faltas desenvolvido no projeto anterior, há muitos pontos que podem ser melhorados numa possível continuação do projeto, visando transformar o equipamento em um produto co-

mercializável.

Entre esses pontos estão o alcance da comunicação. Já se está trabalhando no limite da distância de comunicação com o módulo RXQ2, da *Telecontrolli* (que segundo o próprio fabricante é de 200m). Se, por um lado, quanto mais próximos os equipamentos maior a resolução na determinação do ponto de defeito da rede, por outro, quanto mais próximos os equipamentos mais cara é a implementação da solução, pois mais equipamentos precisarão ser instalados ao longo do alimentador para cobrir toda a sua extensão. Para que a solução fique bastante atrativa para as concessionárias, essa distância de comunicação deveria ser da ordem de quilômetros. Entretanto, para que se alcance esse objetivo, não se pode simplesmente lançar mais potência ao ar, já que a ANATEL limita a potência que pode ser irradiada. Há também o limitante de energia disponível para consumo do equipamento durante sua vida útil (no caso, duas baterias de lítio não recarregáveis de 19.000 mAh cada). Em face disso, conclui-se que deverão de ser encontrados novos módulos de comunicação comerciais com técnicas melhores de modulação e correção de erro, além de receptores mais sensíveis para solucionar essa questão. Levantamentos realizados recentemente pela equipe do projeto mostram que existem módulos transceptores que podem suprir essa demanda. A tecnologia de rede de sensores sem fio deu um salto nos últimos anos, durante a execução do projeto dos rastreadores de faltas. Outra opção para resolver o problema do longo alcance aliado a baixo consumo seria o desenvolvimento de uma tecnologia proprietária de RF, com o projeto de um *chip* de RF, microprocessado, que poderia abranger inclusive as funções do detector de faltas, e que seria desenvolvido especialmente para atender a esses requisitos críticos do projeto.

Outro ponto importante a ser trabalhado é a vida útil dos equipamentos. Na configuração atual, ela situa-se em torno de 3 anos. Como os testes tem duração prevista de 6 meses, foi adotada uma postura conservadora na conexão das baterias de alimentação à placa eletrônica, onde as baterias não foram ligadas em paralelo, para evitar danos causados num eventual consumo desigual de corrente (quando uma bateria tentaria recarregar a outra). Com poucas alterações na eletrônica, as baterias poderiam ser ligadas em paralelo com segurança, de modo que a vida útil desses mesmos dispositivos saltaria para mais de 6 anos sem necessidade de troca do modelo da bateria que está sendo utilizada. Novos módulos de comunicação, diferentes do RX-Q2, também podem apresentar como vantagem um menor consumo em modo de espera (ou dormência, ou latência), o que elevaria de forma imediata a vida útil do dispositivo em alguns anos, podendo chegar até aos 10 anos de vida útil (limite previsto para o plástico do gabinete do rastreador de faltas), apenas com essas alterações.

Por fim, para aumentar o valor agregado da solução desenvolvida aos olhos das concessionárias distribuidoras de energia, a rede de comunicação sem fio implementada com os rastreadores de faltas poderia ser utilizada para transporte de outras informações, distintas das inerentes ao processo de rastreamento de faltas e do funcionamento da própria rede.

Essas informações poderiam ser relacionadas a automatismos e monitoramentos da rede de distribuição, informações de consumidores, entre outras. Para tanto, questões como energia consumida, vida útil e adaptação do protocolo de comunicação devem ser consideradas. Isso transformaria o sistema de Localização de Faltas numa espécie de *backbone* de comunicação sem fio na rede de média tensão, sendo útil inclusive para o novo conceito de *Smart Grid* que se difunde mundo a fora.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Resolução nº520*, de 17/09/2002, publicada no Diário Oficial, em 19/09/2002, Seção 1, p. 76, v. 139, n. 182. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2002520.pdf>> Acesso em 04 mar. 2009.
- [2] *Resolução normativa nº345*, de 16/12/2008, publicada no Diário Oficial, em 31/12/2008, Seção 1, p. 182, v. 145, n. 254. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2008345.pdf>> Acesso em 04 mar. 2009
- [3] Andrade F. J., Santos J. C., Monaco D. R., Ferreira A. A., Camargo J., “Redução no Tempo Médio de Atendimento a Ocorrências Emergenciais Aplicando o Sinalizador de Faltas”. In: VIII CBQEE - Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica, 2009, Blumenau/SC. Anais da Conferência – VIII CBQEE., 2009.
- [4] Santos J. C., Jakubowski E. F., Andrade F. J., Camargo J., Silveira M. M.; “Arranjo Interinstitucional para Desenvolvimento de um Lote Pioneiro de Equipamento Sinalizador de Faltas em Redes Aéreas de Distribuição de Energia”. In: XVIII SENDI - Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica, 2008, Olinda/PE. ANAIS - Trabalhos Técnicos XVIII SENDI, 2008.
- [5] *IEEE Guide for Testing Faulted Circuit Indicators* IEEE Std 495™-2007(Revision of IEEE Std 495-1986) de dezembro de 2007
- [6] *Resolução nº506*, Agência Nacional de Telecomunicações. Republica o Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita. De 1º de julho de 2008
- [7] *Graus de Proteção para Invólucros de Equipamentos Elétricos* ABNT NBR-IEC-60529 de 30 de Março de 2005.
- [8] Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL, “Gabinete para equipamentos aplicáveis em fiações e cabos condutores de eletricidade suspensos no ar”, INPI, Invenção PI0903605-9 de setembro de 2009.
- [9] Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL, “Dispositivo sinalizador de falhas monofásico aplicável em redes aéreas de distribuição de energia elétrica”, INPI, Modelo de Utilidade MU8600792-0 de abril de 2006.