

Desenvolvimento de Sensores Inteligentes para Detecção de Falhas em Linhas Aéreas com Comunicação via PLC (Power Line Communications)

F. J. R. Santana – COELBA

L. A. L. Almeida – UFBA

V. C. Zambenedetti, G. P. de Resende, V. R. Mognon, R. Wagner – LACTEC

Resumo – Este trabalho apresenta o desenvolvimento de dispositivos eletrônicos sensores de corrente, níveis de 13,8kV fase-fase. Os sensores são instalados um em cada fase, medição trifásica. A instalação é efetuada com linhas energizadas. Realizam processamento em tempo real dos ciclos da rede necessários para a detecção de transitórios na mesma. A comunicação de curta distância é realizada via rádio, e a comunicação com o COD por um concentrador de dados, remota operando no modo IED (*Intelligent Electronic Device*), protocolo de comunicação DNP3.0, meio de comunicação aérea celular GPRS. Um diferencial do sistema é o cálculo da corrente de neutro, mediante sincronização precisa das medições trifásicas. Comunicação de média distância (1 km) foi implementada como acessório às regiões geograficamente remotas, com parque instalado em Salvador-BA, alimentadores da COELBA. O desenvolvimento de cabeça de série é contemplado, agregando melhorias em todos os circuitos eletrônicos, visando redução de custos e maior economia de energia.

Palavras-chave - Detecção de Falhas; Equipamento de sensoriamento de corrente; Melhoria dos índices de qualidade; Qualidade de serviço; Redes de distribuição de energia elétrica.

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.

V. Zambenedetti trabalha no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - Lactec (e-mail: voldi@lactec.org.br).

G. P. de Resende trabalha no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - Lactec (e-mail: guilherme.resende@lactec.org.br).

V. R. Mognon trabalha no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - Lactec (e-mail: wilson@lactec.org.br).

R. Wagner trabalha no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - Lactec (e-mail: rafaelw@lactec.org.br).

F. J. R. Santana trabalha na Coelba - Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (e-mail: fsantana@coelba.com.br).

L. A. L. Almeida trabalha na UFBA - Universidade Federal da Bahia (email: lalberto2008@gmail.com).

I. INTRODUÇÃO

Os sensores inteligentes da rede de distribuição podem ser instalados de forma otimizada, com as linhas energizadas, sendo que o tempo médio de instalação de um grupo, incluindo o IED, é de trinta minutos. Os sensores utilizam comunicação de curta distância com a remota, que realiza o processamento dos alarmes e demais dados enviados pelos sensores, reduzindo o fluxo de dados com o COD para somente fornecer aqueles dados considerados estritamente relevantes para a detecção de falhas. A parceria LACTEC-Coelba-UFBA, de mais de quatro anos, contribui para o desenvolvimento desses sensores. Vide projeto SISLOG [1]. A localização de falhas é conseguida a partir da instalação geograficamente estratégica de grupos de sensores, ao longo do mesmo alimentador. As falhas detectáveis por este sistema, em linhas de distribuição, são as do tipo permanente e temporária, presença de tensão na linha, valor *true-RMS* de corrente e sinalização de sobrecorrente de fase e desequilíbrio, sentido de carga e desequilíbrios que podem ser originários de falhas de alta impedância. Uma inovação deste projeto é a medição da corrente de desequilíbrio (neutro), feita a partir do sincronismo via rádio entre os sensores. Outra inovação é a colocação de conjuntos de sensores distantes (1 km ou mais) do IED, que utilizam comunicação aérea de média distância.

O desenvolvimento de cabeça de série é projeto em fase de execução, agregando melhorias em todos os circuitos eletrônicos, troca do microcontrolador e otimização de software embarcado, visando redução de custos e maior economia de energia.

Este desenvolvimento tem como título de projeto ANEEL “Desenvolvimento de Sensores Inteligentes para Detecção de Falhas em Linhas Aéreas com Comunicação via PLC (Power Line Communications)”, 3o. ciclo, código ANEEL P&D 0047-006/2006, concluído. Entidade executora Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, empresa de energia elétrica Coelba - Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia. Para a continuação do projeto, desenvolvimento e produção de cabeça de série, empresa parceira Grupo Sygma, sediada em São José dos

Campos – SP.

II. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

A figura 1 apresenta a visão geral do sistema. O sistema desenvolvido consiste de um IED (*Intelligent Electronic Device*) e um grupo de três sensores de corrente, um para cada fase de 7,9kV. O IED possui fonte de alimentação que aceita entradas 110VAC, 220VAC e bateria de *backup*, recarregável, com autonomia de sete dias. O sensor retira sua energia da corrente do cabo da rede, através de um núcleo de Fe-Si, grão orientado mil linhas. Os sensores possuem baterias para continuar funcionando durante uma falta de energia. Remotas virtuais são implementadas pela comunicação com mais de um grupo de sensores.

Para tudo isso, os sensores foram desenhados com rádios de comunicação de média a longa distância (mais de 1 km), maior que a usada entre o conjunto de sensores locais e o IED. Para a comunicação local usam-se rádios de tecnologia CC1000, com alcance máximo teórico de 100 metros. Para as distâncias maiores, duas alternativas foram consideradas: PLC e rádios. O rádio é de tecnologia comercial, com potência de 100mW. Neste trabalho foi implementada a solução via rádio. A solução PLC é digna de registro de patente, fortemente baseada em tudo o que foi desenvolvido em [2].

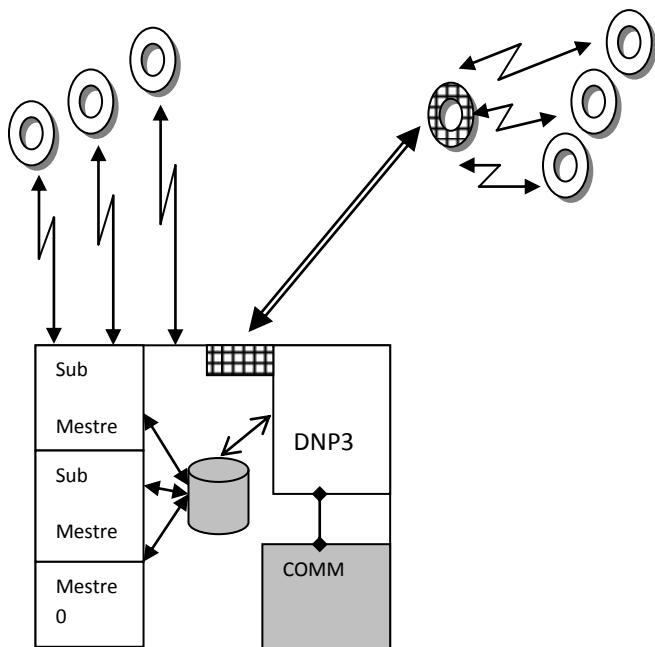


Figura 1. Visão geral do sistema

O uso desta comunicação de média distância se fez com a criação de um Mestre Remoto, dispositivo eletrônico específico para comunicar-se com o IED. Este se comporta como um mestre para seus sensores locais, fazendo varreduras e enviando mensagens de sincronismo. Reporta-se ao IED, enviando os dados do seu grupo de sensores. Desta forma, o IED reconhece grupo de sensores, sendo um

grupo local, chamado de grupo 0, e até outros quatro grupos remotos. Os sensores, por sua vez, não distinguem o IED dos sensores mestre, podendo ser instalados em qualquer grupo, e terão o mesmo comportamento. Para classificar os diferentes grupos, o endereçamento dos sensores é feito com letras e números, ficando, por exemplo, o grupo controlado diretamente pelo IED identificado como 0, e os sensores 0.A, 0.B e 0.C. Assim como cada grupo possui um endereço DNP3 distinto, sua posição deve ser conhecida. Nesta implementação, o protocolo entre o IED e o Centro de Operação da COELBA é o DNP3.0, e cada grupo de sensores recebe um endereço DNP3 próprio. O IED é capaz, portanto, de implementar internamente até cinco remotas virtuais.

III. O DESENVOLVIMENTO DO SENSOR

A. Núcleos de Sensoriamento e Alimentação

Há dois núcleos de material Fe-Si (ferro-silício), grão orientado, mil linhas. Estes núcleos envolvem o cabo sendo monitorado. Um núcleo tem a função de sensoriamento de corrente, e o outro a de alimentação do circuito a partir da corrente circulando pelo cabo.

B. Circuitos Eletrônicos

Duas versões básicas de circuito foram construídas: uma que exigia auto-alimentação com fonte única, e outra sem auto-alimentação, provendo apenas uma bateria de longa duração (120 dias, conforme testes práticos). Esta última dispensa o segundo núcleo, tornando os sensores mais leves. Na versão com auto-alimentação há também uma bateria, que tem energia suficiente para alimentar o sensor por pelo menos seis horas.

Há dois circuitos de condicionamento de sinal, um para a corrente, com o sinal amostrado no núcleo próprio, e outro de tensão, que retira seu sinal de um sensor de tipo capacitivo. O sensor de corrente apresentou uma precisão melhor que 3%, depois de calibrado. Já o sensor de tensão se mostrou muito mais impreciso, com cerca de 20%, depois de calibrado. A causa da imprecisão é o material com que as placas do sensor capacitivo foram feitas, ferrite, cujas características físicas variam muito com temperatura e umidade. O sensoriamento de tensão foi parcialmente baseado no trabalho de [3]. Devido à baixa precisão do sensor de tensão, este é usado somente para indicar presença ou ausência de tensão, e para verificar o ângulo entre corrente e tensão. Embora esta medição de ângulo seja inerentemente imprecisa, uma alteração brusca deste valor indica manobra na rede, inversão do fluxo de potência ou alguns tipos de falta. Todas as situações são analisadas pelos algoritmos de falta.

C. Rádio

O rádio é de curto alcance, na faixa de 915MHz e de radiação restrita, conforme ANATEL [4]. Tem alcance teórico de 100m, dependendo da velocidade de transmissão de dados (entre 32kbps e 128kbps). Como é multicanal, vários conjuntos de sensores podem funcionar próximos,

sendo um canal designado para cada conjunto. Pode ser colocado em estado “de espera” para economia de energia.

A figura 2 apresenta a placa de circuito impresso com o circuito eletrônico do sensor.

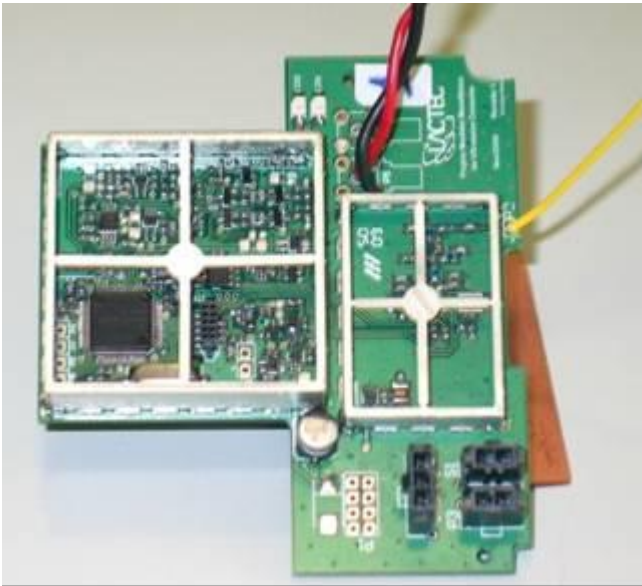


Figura 2. Circuito eletrônico do sensor

D. Fontes de Energia

Para a alimentação dos circuitos utiliza-se, ou uma pilha de grande capacidade, ou a energia da corrente da linha via um dos núcleos de Fe-Si que envolvem o cabo. O sensor com pilha tem autonomia estimada de um ano, e é usado onde a instalação é de curta duração, apenas para a análise de um problema específico, e não de monitoração contínua.

Já o sensor auto-alimentado possui uma bateria recarregável, mas funciona quase na totalidade do tempo com a energia retirada da corrente da linha. A corrente mínima no cabo para que a fonte possa alimentar todo o circuito do sensor é estimada em 10A. Correntes acima deste valor mínimo podem provocar aquecimento interno no invólucro do sensor. Devido a isso, foi desenvolvido um circuito para diminuir este problema. A auto-alimentação desenvolvida para este sensor é um dos pontos diferenciais de outros sistemas comerciais, como [5].

E. Topologia de Comunicação

O sensor trabalha como passivo na comunicação, e não gera espontaneamente mensagens. Apenas responde às varreduras do IED. Já o IED pode gerar mensagens espontâneas quando do acontecimento de um evento. Foi implementado no sensor um algoritmo para economia de energia. Neste sistema, o IED, ao fazer a varredura, anuncia aos sensores o tempo em que vai enviar a próxima mensagem. Assim, o sensor coloca o rádio em estado adormecido, e instantes antes do tempo indicado pelo IED, ativa a recepção. Se ocorrer erro em uma comunicação, há a repetição da mensagem. Após entrar em estado de recepção, o sensor permanece aguardando pacotes até a próxima mensagem do IED.

F. Invólucro

A figura 3 apresenta o invólucro desenvolvido especialmente para este sensor.



Figura 3. Invólucro do sensor

G. Processamento de Dados

O sensor calcula, armazena e transmite dados analógicos, e indicações em forma binária. As grandezas analógicas são a corrente RMS na linha, a tensão RMS na linha e o ângulo entre tensão e corrente. Mede também o valor da tensão da bateria, como forma de controle do funcionamento do sensor, e transmite os parâmetros configurados para referência de aumento de corrente (di/dt), tempo de religador e limites mínimo e máximo de tensão. Estes dois últimos são usados para indicação de presença ou ausência de tensão na linha.

Os dados binários são indicações de: bateria fraca, sobrecorrente (por nível ou aumento súbito – di/dt), linha com tensão normal ou desenergizada, falta, falta temporária e falta permanente.

As indicações de aumento súbito de corrente e de variação de tensão dependem do cálculo do valor eficaz destas grandezas. Como este cálculo é feito a cada ciclo de 60Hz, os dados binários são atualizados internamente ao sensor nesta mesma frequência.

As indicações de falta são resultados de algoritmos que analisam os níveis de corrente e tensão amostrados, confrontando-os com os níveis mínimos e máximos pré-programados, e com o tempo de atuação da proteção.

Uma indicação de nível permanece enquanto o estado que a originou estiver válido, o que ocorre com os eventos de nível de corrente e tensão. Já para os eventos de transição, como di/dt e falhas, a indicação é limpa após o IED fazer uma leitura daquele estado.

H. Blindagens

Durante o desenvolvimento e testes de protótipos do sensor, verificou-se a necessidade de instalação de blindagens eletromagnéticas para os circuitos eletrônicos, devido ao forte campo eletromagnético das linhas de distribuição de energia.

A colocação de blindagens de alumínio, soldadas com

ligação elétrica ao plano de referência da placa de circuito impresso do sensor, tanto para o circuito do microcontrolador como para o circuito de rádio, provou grande eficácia.

A figura 4 apresenta foto das blindagens utilizadas.

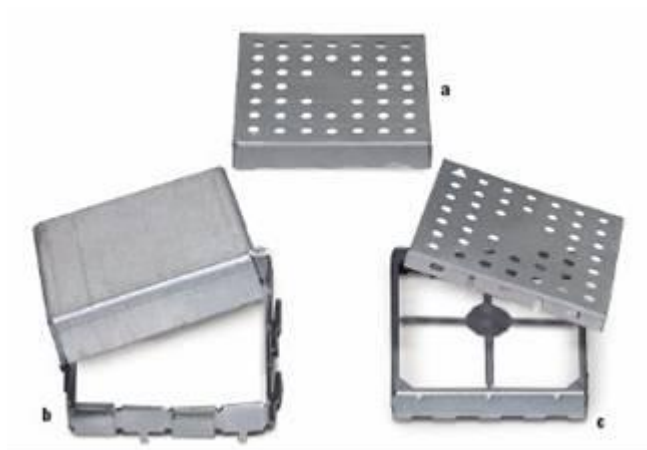


Figura 4. Blindagens

IV. O SINCRONISMO ENTRE SENSORES

Os sensores do grupo são sincronizados no tempo para que seja possível calcular a corrente de desequilíbrio entre fases. Um dos métodos de obtenção da corrente de desequilíbrio é a medida a partir da soma fasorial das três correntes de fase, ou calculada através da soma das amostragens simultâneas do conversor analógico-digital (ADC). Outro método é o cálculo fasorial, qual seja: após o cálculo do módulo dos três fasores de corrente e dos ângulos entre eles, é possível calcular a corrente de desequilíbrio.

O valor eficaz (*true-RMS*) de cada uma das três correntes é fornecido pelos sensores. Os ângulos entre estas correntes, no entanto, depende de um sincronismo de amostragem entre os sensores. Como não há nenhuma ligação física entre eles, apenas comunicação via rádio, o sincronismo é realizado pelo IED, usando mensagens a todos os sensores (*broadcast*).

Cada sensor amostra o sinal de corrente 128 vezes por ciclo de 60Hz. Um contador é incrementado a cada amostragem. Estes contadores são zerados periodicamente por um comando enviado pelo IED. Este envia a mensagem de preparação de sincronismo, e logo em seguida é enviado o comando de sincronismo (zeramento dos contadores de amostras). Quando do envio do segundo comando, por *broadcast*, todos os sensores zeram seus contadores de amostragem. Como a comunicação é por rádio, atrasos de recepção ou diferenças de processamento irão alterar o instante de zeramento do contador. Com a otimização de firmware, no entanto, foi conseguida uma diferença máxima de duas contagens, ou aproximadamente seis graus. Como é feita a leitura dos sinais de corrente e tensão, também é medido o ângulo entre estes dois sinais, gerando um valor analógico. O cálculo da corrente de desequilíbrio, possível com o sincronismo via rádio, é mais uma inovação deste desenvolvimento.

O IED faz a varredura de dados, recebe de cada sensor o

valor eficaz da corrente e o instante em que o sinal passou por zero, de acordo com os contadores. É feita, então, a conversão de números de contagem para ângulo, e o cálculo fasorial. Em laboratório, o erro alcançado na medição de desequilíbrio ficou em $\pm 5\%$, erro este que se manteve com instalações em campo.

Embora o cálculo da corrente de desequilíbrio não ocorra em tempo real, é possível, aumentando a memória dos sensores, armazenar a amostragem de alguns ciclos de corrente, em uma memória circular, de tal forma que, por ocasião de uma falta, as amostras dos ciclos de corrente sejam repassadas ao IED, para que este realize o cálculo com as amostras e a análise sobre a corrente de desequilíbrio.

As medições de corrente, aumento súbito de corrente (di/dt) e corrente de desequilíbrio concordam com as conclusões de [6], no que se refere às principais causas de acionamento dos equipamentos de proteção em linhas de distribuição.

V. METODOLOGIA DE COMUNICAÇÃO

Para efetuar os primeiros testes em campo, foi utilizado o rádio Aerocomm AC4790, operando na faixa de 900MHz. Os mestres remotos, desenvolvidos com este rádio, se utilizam fisicamente do mesmo invólucro dos sensores, mas não realizam amostragens de tensão ou corrente.

A figura 5 apresenta uma foto deste equipamento, com a placa do mestre à direita e o rádio à esquerda, com a antena de longo alcance.



Figura 5. Invólucro do Mestre Remoto

Foi desenvolvido um protocolo entre mestres para a transferência de blocos de dados. Assim, um mestre envia para um sensor comandos do tipo `DATA_REQUEST` e recebe resposta `DATA_ANSWER`. Entre mestres, ou do IED para um Mestre Remoto, há troca de mensagens do tipo `GROUP_DATA_REQUEST` e `GROUP_DATA_ANSWER`, que contêm os dados de todos os sensores do grupo. No sistema implementado, o IED envia mensagens solicitando dados para os Grupos 1, 2 e 3. O Grupo 0 é local. O Mestre Remoto mais próximo do IED é o do Grupo 1, e o do Grupo 3 é o mais distante. Se o IED requer dados do Grupo 3, por exemplo, esta mensagem é repetida pelos mestres dos grupos intermediários, até que a mensagem chegue ao seu

destino. Da mesma forma, as mensagens de resposta são repetidas até chegarem ao IED.

VI. TESTES DE SUPORTABILIDADE

Foram realizados testes de suportabilidade para a verificação de funcionamento dos sensores quanto à presença de campo elétrico em linhas de 69kV. Foram utilizados três sensores e aplicados 16kV, 40kV, 80kV e 100kV, 60Hz, por mais de um minuto. Os testes de suportabilidade foram feitos segundo recomendação da NBR 6936 [7], embora o sensor não seja um isolador.

Para linha de 69kV fase-fase, a tensão fase-terra é de 39,8kV. Aplicou-se então o dobro deste valor por mais de um minuto. O mesmo foi feito em relação às tensões de operação de 13,8kV e 34,5kV.

Para as tensões de 16kV e 40kV, todos os sensores funcionaram normalmente. Para as tensões de 80kV e 100kV apenas um sensor funcionou corretamente, transmitindo dados de forma consistente e realizando medições de níveis de tensão.

A figura 6 apresenta o *Hall* de Alta Tensão do LACTEC, onde foram feitos os testes.

Estes testes não foram conclusivos. Ensaio posteriores no laboratório de eletrônica mostraram que, para melhorar o desempenho dos sensores, serão efetuadas algumas modificações nas montagens, como por exemplo, usar cabos blindados para toda a cabeção interna, desde o cabo entre a bateria e a placa de circuito impresso, até os cabos de sinais de corrente, para evitar, ou diminuir, o ruído induzido. Da mesma forma, a colocação de capacitores na alimentação do rádio melhorou o desempenho do circuito, principalmente no momento da transmissão.



Figura 6. *Hall* para testes de suportabilidade

VII. NOVA REVISÃO

A. Revisão do Invólucro

O LACTEC está fazendo uma revisão do invólucro do sensor. A proposta para o novo invólucro está mostrada na figura 6. A abertura tem cerca de 25 mm, a altura 22 cm (sem o engate), e a largura 19 cm. Ficará mais fácil de instalar, e possui praticamente a mesma resolução de medição de corrente, devido às correções introduzidas no núcleo de sensoriamento. Este desenho está com Depósito

de Pedido de Registro de Desenho Industrial junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) [22].

A figura 7 apresenta o desenho computadorizado do novo molde para o invólucro.

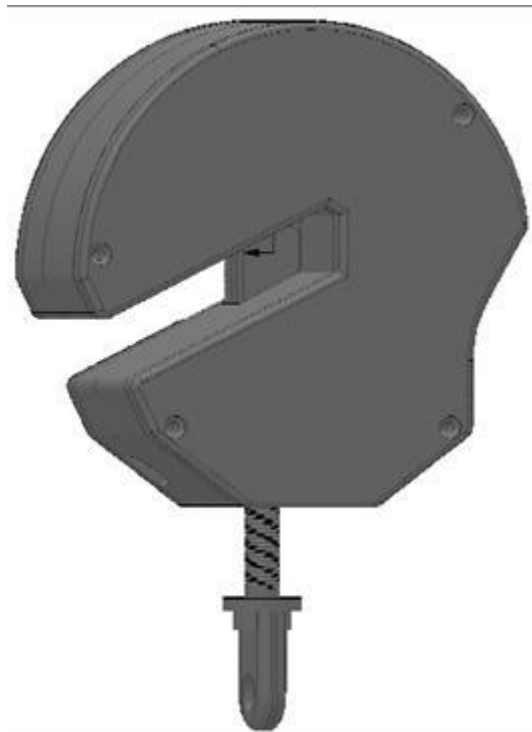


Figura 7. Proposta de novo invólucro do sensor

A figura 8 apresenta um detalhamento interno do novo molde para o invólucro, com localização das partes.

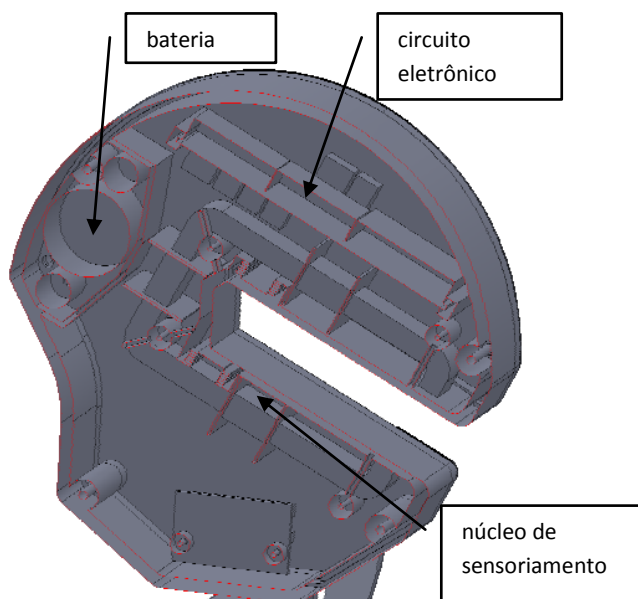


Figura 8. Novo invólucro do sensor, interior

B. Revisão da Placa de Circuito Impresso

Todos os circuitos eletrônicos foram revisados, para fins de melhoria de precisão de medidas, redução de custos, economia de energia, melhoria da resistência à EMI (*Electromagnetic interference*) e EMC (*Electromagnetic compatibility*) e, principalmente, ajustes à nova mecânica do invólucro revisado.

A figura 9 apresenta o diagrama da placa de circuito impresso revisada. O LACTEC possui seis destas novas placas já produzidas, e está realizando os testes iniciais em seus circuitos.

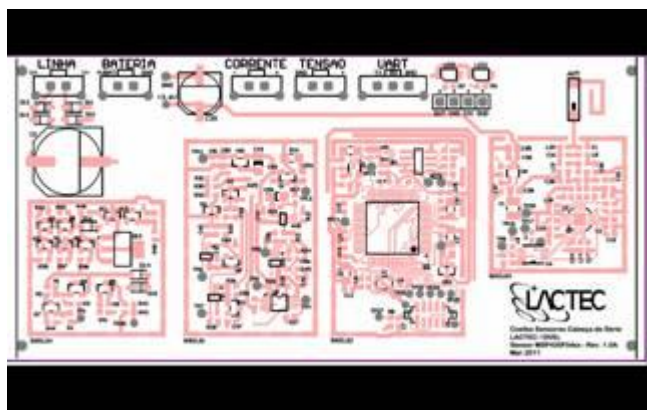


Figura 9. Placa de circuito impresso do sensor, nova revisão

VIII. PARCERIA INDUSTRIAL

A. Metodologia de Escolha do Parceiro Industrial

Foi realizada uma visita presencial às três indústrias que responderam a um convite para participar do projeto. Os critérios de avaliação para definição do parceiro industrial

dos sensores seguiram de acordo com a proposta do gerente do projeto. Para cada critério, a indústria recebeu pontuação, podendo ser de zero a dez.

A tabela I apresenta os critérios levados em consideração.

Tabela I. Critérios e pontuações para a escolha do Parceiro Industrial.

Descrição	Critério de avaliação
Aporte tecnológico	Se o avaliado possui equipe disponível para efetuar a absorção e contribuir para as melhorias do produto
Prospecção de mercado	Se o avaliado possui capacidade para prospectar o mercado
Abertura de postos de trabalho na Bahia	Se o avaliado possui em seu projeto a abertura de postos de trabalho na Bahia
Capacidade de fabricação	Se o avaliado possui capacidade para fabricação dos equipamentos
Incorporação do produto	Se o avaliado terá prioridade de comercialização dos equipamentos produzidos neste projeto

B. O Parceiro Escolhido

A empresa Sygma <http://www.sygma.com.br/>, sediada em São José dos Campos – SP, demonstrou grande experiência no desenvolvimento de sistemas de rádio, estando desenvolvendo aplicações com ZigBee <http://www.zigbee.org/>, o que deve auxiliar no desenvolvimento dos sensores mestre e sua comunicação com o IED. A Sygma apresentou ótima capacidade fabril de circuitos eletrônicos, com muito pouca dependência de terceiros para este fim.

Outro fator a se destacar é a possibilidade da abertura de postos de trabalho na Bahia. A empresa parceira demonstrou interesse em realizar a montagem do lote pioneiro em Salvador - BA.

A Sygma não possui produto similar a este desenvolvimento.

IX. RESULTADOS, DIFICULDADES E BENEFÍCIOS

A. Instalação em Campo

Cinco conjuntos foram instalados por um período aproximado de um ano em Feira de Santana – BA, (FSA), subestação D. João.

A figura 10 apresenta uma foto da instalação dos sensores nas linhas de distribuição.



Figura 10. Instalação de sensores nas linhas

Neste intervalo de tempo, alguns dispositivos foram retirados para manutenção, e reinstalados. Foram instalados conjuntos próximos às chaves H03232, H02970 e H03782.

B. Resultados

Durante os testes de campo, os sensores registraram corretamente distúrbios nas linhas, que provocaram a atuação dos equipamentos de proteção. Os sensores foram então retirados, sofreram uma atualização de circuitos e firmware, e estão em fase de reinstalação.

Um Mestre Remoto foi instalado em um alimentador da cidade de Feira de Santana - BA. Teve funcionamento satisfatório, recebendo e respondendo aos comandos do IED pelo período de um mês.

C. Dificuldades

Devido aos níveis programados e à característica de reportar todos os eventos, nas primeiras instalações os sensores provocavam uma avalanche de eventos, tanto na ocorrência de falta quanto no retorno à normalidade. Uma alteração do firmware passou então a filtrar estas ocorrências no IED.

D. Benefícios

Um site de observação foi montado, para a visualização dos dados concentrados no COD, com funcionalidades de filtragem por data/hora, grupos, eventos e zoom de gráficos.

A figura 11 apresenta uma tela do site de visualização.

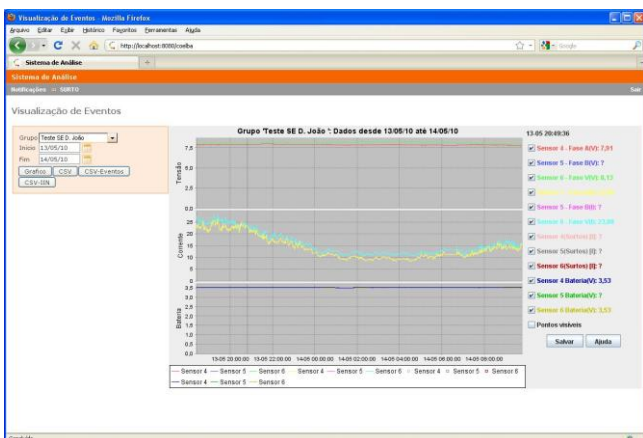


Figura 11. Tela do site de visualização de dados

A figura 12 apresenta uma captura da tela de visualização de eventos, já no site restrito da Coelba.

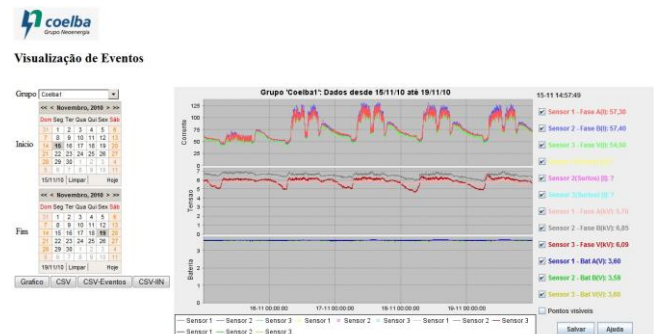


Figura 12. Tela de visualização de eventos

A integração com o SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) da COELBA deu-se mediante comunicação aérea celular GPRS, protocolo DNP3.0. Assim, o SCADA é alimentado em tempo real com dados fornecidos pelos sensores instalados em campo.

A figura 13 apresenta uma tela do SCADA da COELBA, mostrando a situação momentânea de chaves de um alimentador.

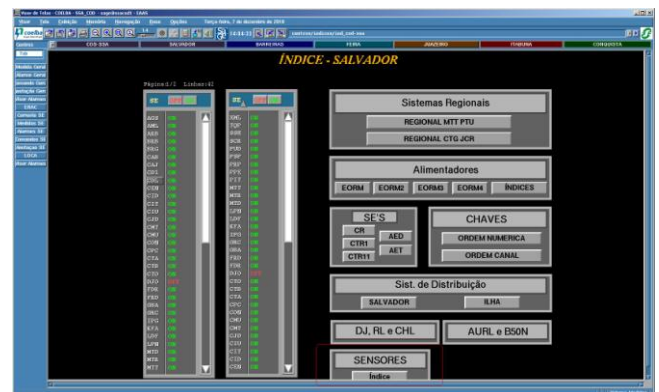


Figura 13. Tela do SCADA da COELBA

X. CONCLUSÕES

Os sensores instalados apresentaram desempenho satisfatório quanto à detecção de sobrecorrentes, corroborando com as indicações de atuação dos equipamentos de proteção da SE de Feira de Santana.

O elevado consumo do circuito eletrônico, no entanto, levou ao desenvolvimento de uma versão de baixo consumo para aumentar o tempo de uso da carga da bateria. Esta versão foi desenvolvida e está instalada. Nesta nova versão, o IED possui duas portas de comunicação, sendo uma com o Centro de Operação, via protocolo DNP3.0, e outra com um Servidor Web localizado no LACTEC, via protocolo proprietário. Neste último caso, mais informações podem ser passadas ao servidor, e visualizadas.

Foi verificado, também, que o rádio de curto alcance sofre interferência do forte campo elétrico proveniente da linha de distribuição. A colocação de proteções de EMI melhorou grandemente a comunicação entre o sensor e o IED, além de

proteger também o circuito analógico. Utilizando um contador de mensagens perdidas, antes da colocação da proteção há o registro de uma perda de 30% das mensagens. Após a colocação da proteção, este registro caiu a menos de 2%.

A maior capacidade de processamento, alcançada com a atualização dos circuitos, pode ainda fazer com que o sensor seja menos um equipamento de observação, e possa melhor auxiliar os equipamentos de inteligência, aproximando-se das recomendações de [14], ou mesmo de soluções como em [17], fornecendo informações pré-processadas, e não uma avalanche de dados a serem pós-processados.

XI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SANTANA F. J. R.; ALMEIDA L. A. L DE; FONTANA M; "SISLOG - Sistemas de Localização de Falhas Georeferenciada" in *IV Citenel*, Araxa (MG), 2007
- [2] LIMA, A. C. DE C. ; ALMEIDA, L A L ; MARTINS, MARCELO DO N . Entrelaçador Bidimensional Tempo-Frequência Para Codificação de Canal PLC. In: XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações - SBT 2004, 2004, Belém. XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações - SBT 2004. Belém : SBT, 2004
- [3] SWINKA FILHO. S; ROBERT, R, "Desenvolvimento de um sensor de campo elétrico alternado com transmissão por fibra-óptica"; *Revista de Física Aplicada e Instrumentação*, vol. 13, no. 3, Setembro, 1998
- [4] ANATEL, Anexo à Resolução No 305, de 26 de Julho de 2002; Resolução 305 ANATEL, julho 2002
- [5] Flite 116-SA. "Radio fault passage indicator for overhead networks";. Schneider Electric 2004. [Online]. Disponível: <http://www.easergy.com/en/index.html>
- [6] CHUEIRI, I. J.; "Invólucro para alojamento de sensores e sinalizadores de grandezas elétricas e de temperatura", PI 0501687-8; 10 maio, 2005
- [7] Técnicas de ensaios elétricos de alta-tensão, ABNT NBR 6936:1992, 30/04/1992.
- [8] BEZERRA U. H.; TUPIASSÚ A. A. A; et alli; "Sistema de Monitoramento de Variações Transitórias de Tensão em Redes de Distribuição de Energia"; in *II Citenel*, QEE pp 926-931; Salvador (BA), 2003
- [9] BURKE, J J; LAWRENCE D J, "Characteristics of fault currents on distribution systems", *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, vol PAS-103, Jan 1984
- [10] CHUNG J; POWERS, E.J.; GRADY, W.M.; BHATT, S.C.; "Power disturbance classifier using a rule-based method and wavelet packet-based hidden Markov model"; *IEEE Trans. On Power Delivery*; Vol 17, Issue 1, Jan. 2002 Page(s):233 – 241
- [11] DIAS R. A.; MENDONÇA I. T. M.; STEINBACH R.; ROLIM R. B. AND TEIXEIRA L. F.; "Tele Supervisão Remota do Sistema de Distribuição de Energia Empregando Web Services e Tecnologia GPRS"; in *IV Citenel*, Araxa (MG), 2007
- [12] IEEE-1159 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, *IEEE Std 1159™-2009*, Jun 2009
- [13] IEEE-C37 Guide for Determining Fault Location on AC Transmission and Distribution Lines, *IEEE Standard C37.114-2004*, Jun. 2005
- [14] JUN ZHU; LUBKEMAN, D.L.; GIRGIS, A.A; "Automated fault location and diagnosis on electric power distribution feeders"; *IEEE Transactions on Power Delivery* v. 12, Issue 2, April 1997 Page(s):801 – 809
- [15] KLINGUELFUS M C., ZAMBENEDETTI V C; "Dispositivo sensor de corrente e tensão aplicável para localização de faltas em redes aéreas de distribuição de energia elétrica", PI 9802938-0; 28 agosto, 1998
- [16] LI L.; REDFERN M.A; "A review of techniques to detect downed conductors in overhead distribution systems", *Developments in Power System Protection*, 2001, Seventh International Conference on (IEE) 9-12 April 2001 Page(s):169 – 172
- [17] PRADHAN A. K.; ROUSTRAY A.; MADHAN GUDIPALLI S.; "Fault direction estimation in radial distribution system using phase change in sequence current", *IEEE Trans. On Power Delivery*, vol 22, n. 4, pp 2065-2071, oct. 2007
- [18] SANTANA F. J. R.; ALMEIDA L AND COSTA F, "Optimal positioning of geo-referenced sensors for fast fault finding using genetic algorithm" in *Proc. 2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics – ISIE '08.*, CD 007099.
- [19] URIARTE F.M; CENTENO V; "High-impedance fault detection and localization in distribution feeders with microprocessor based devices"; *Proceedings of the 37th Annual North American Power Symposium*, 2005; 23-25 Oct. 2005 Page(s):219 – 224
- [20] VALADAO R L, PEREIRA C ET ALLI; "SISLOC – Nova versão de sistema localizador de faltas para linhas e redes de distribuição e sua aplicação a casos reais e simulados"; in *XVIII SNPTEE*, GPC-23, Curitiba, 2005
- [21] ZAMBENEDETTI, V. C., KLIMKOWSKI, M., FRISCH, A. C., "Sistema de Localização de Faltas em Redes de Distribuição Utilizando um Sensor de Baixo Custo", *Anais do III CONLADIS Congresso Latino Americano de Distribuição de Energia Elétrica*, USP - São Paulo, Brasil, setembro de 1998;
- [22] C. A. Purim, R. D. Scremim, G. B. Wolaniuk, G. P. de Resende, V. C. Zambenedetti e V. R. Mognon, "Configuração Aplicada em Sensor de Engate para Média Tensão", *INPI Depósito de Pedido de Registro de Desenho Industrial 0000211007822420*, 1º. de dezembro, 2010.