

Desenvolvimento da Tecnologia PLC no Telecomando de Religadores Automatizáveis da Rede de Distribuição de 13,8 kV da COSERN

Rogério B. Romano, Célio F. Barbosa, Rogério L. Leite, Eduardo F. Costa, Flávio E. Nallin e Iverton C. Lima

Resumo - Este artigo apresenta os principais resultados alcançados no projeto de pesquisa aplicada, com a mesma denominação, realizado sob o âmbito do programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL nos ciclos 2005/2006 e 2006/2007, com a participação e execução da Fundação CPqD e da COSERN - Companhia Energética do Rio Grande do Norte - como proponente do projeto. O principal objetivo previsto neste projeto de P&D, e descrito neste artigo, foi o desenvolvimento e teste dos protótipos dos componentes (modem, repetidor e acoplador) de um sistema PLC (*Power Line Communications*), que transmite em baixas taxas (faixa estreita - FE) os comandos necessários para atuação de religadores automatizáveis, além dos seus estados e alarmes, instalados na rede de média tensão (alimentadores em 13,8 kV) da distribuição de energia elétrica da COSERN.

Palavras-chave - PLC; Power Line Communications; Telecomando de Religadores.

I. INTRODUÇÃO

Na busca de uma alternativa tecnológica para transmitir os dados necessários para a automação de equipamentos na sua rede de distribuição de energia elétrica, a COSERN (Companhia Energética do Rio Grande do Norte) e o CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações) optaram por estudar e desenvolver um sistema (equipamentos e acessórios) com a tecnologia PLC, para o telecomando de religadores, em um projeto de P&D ANEEL.

A comunicação PLC é uma alternativa de comunicação bastante interessante para as concessionárias de energia elétrica, pois estas, sendo detentoras de uma grande quantidade de cabos elétricos instalados nas suas redes de distribuição, não necessitam instalar o meio de transmissão. Adicionalmente, a comunicação PLC pode apresentar algumas vanta-

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 V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (V CITENEL), realizado em Belém/PA, no período de 22 a 24 de junho de 2009.

Iverton Cocentino de Lima (iverton.lima@cosern.com.br) trabalha na COSERN. No CPqD - Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações trabalham os seguintes autores: Rogério Botteon Romano (e-mail: botteon@cpqd.com.br); Célio Fonseca Barbosa (e-mail: grcelio@cpqd.com.br), Rogério Lara Leite (e-mail: roger@cpqd.com.br), Eduardo Ferreira da Costa (e-mail: eduardoc@cpqd.com.br), Flávio Eduardo Nallin (e-mail: nallin@cpqd.com.br).

gens em relação aos sistemas tipo rádio, particularmente em áreas onde a geografia prejudica a cobertura do sinal de radiofrequência. Desta forma, a utilização da comunicação PLC se torna uma opção bastante atrativa para controle e telecomando de equipamentos instalados na rede elétrica. Traçar informações de controle na rede de média tensão é interessante, principalmente porque essa rede possui um comportamento mais bem definido em termos de perturbações e interferências elétricas.

O desenvolvimento de protótipos de um sistema PLC de banda estreita, composto de Modem, Repetidor e Acoplador de média tensão, foi o objeto principal do projeto de P&D aprovado pela ANEEL, denominado "Desenvolvimento da Tecnologia PLC (*Power Line Communications*) no Telecomando de Religadores Automatizáveis da Rede de Distribuição de 13,8 kV da COSERN". Este projeto, cujo código ANEEL é 0040-001/2006, foi desenvolvido nos ciclos 2005/2006 e 2006/2007 com a participação e execução da Fundação CPqD e da COSERN, como proponente.

II. OBJETIVOS

Os principais objetivos deste projeto de P&D foram os seguintes:

- Desenvolver e adaptar um protótipo de um sistema PLC de banda estreita para telecomando de religadores utilizados pela COSERN;
- Evoluir para uma segunda versão o protótipo de acoplador de média tensão já desenvolvido pelo CPqD;
- Desenvolver as interfaces necessárias:
 - a) entre os religadores e o sistema PLC;
 - b) entre o sistema PLC e a concentradora (UTR) na Subestação.
- Implantar um Teste Demonstrativo (Piloto) na área de concessão da COSERN.

III. RESULTADOS ALCANÇADOS

Nas fases iniciais deste projeto, o levantamento e avaliação dos *chipsets* (ou *reference designs*) PLC FE existentes no mercado externo foram importantes para a elaboração de especificações técnicas preliminares, após o conhecimento sistêmico e o de detalhes operacionais / supervisão da rede de média tensão da COSERN. Estas especificações permitiram a viabilização do desenvolvimento de protótipos dos

componentes do sistema PLC de faixa estreita, adequados para a média tensão da rede de distribuição de energia elétrica da COSERN (13,8kV), além da evolução de um protótipo de acoplador (inicialmente já desenvolvido pelo CPqD). Esse sistema PLC foi projetado para transmitir os comandos necessários para atuação de religadores automatizáveis, além dos seus estados e alarmes.

Diante da possibilidade dessa solução PLC ser aplicada posteriormente em inúmeros pontos da rede, houve sempre uma determinação da equipe deste projeto em desenvolver os componentes desse sistema com boa performance técnica e com os menores custos possíveis, na tentativa de se obter uma relação extremamente vantajosa de custo-benefício para a COSERN.

Antes que os protótipos e as interfaces desenvolvidas fossem implantados em campo, foi realizada uma avaliação de desempenho dos mesmos nos laboratórios (de compatibilidade / interferência eletromagnética e proteção elétrica) e na rede experimental de média tensão do CPqD (com uma con-

troladora de religador e uma concentradora (UTR) instaladas), objetivando corrigir falhas e atingir um patamar aceitável de qualidade técnica nos componentes desenvolvidos neste projeto. É importante salientar que essa rede experimental de 1,1 km é uma das poucas existentes no Brasil onde é possível a realização de inúmeros testes de transmissão, sem causar qualquer tipo de prejuízo ou incômodo a usuários reais.

No último semestre do projeto, foi realizado um Teste Piloto da solução desenvolvida em uma área da cidade de Natal-RN. Esse teste em campo foi imprescindível para os ajustes necessários nas partes componentes do sistema proposto.

A. Sistema PLC

O sistema PLC FE desenvolvido interliga uma Unidade de Teste Remota (UTR) - na Subestação (SE) - com um Religador - em um poste de rua, lembrando que o meio de comunicação entre esses dois equipamentos deve ser uma rede elétrica de média tensão em 13,8 kV (vide figura 1).

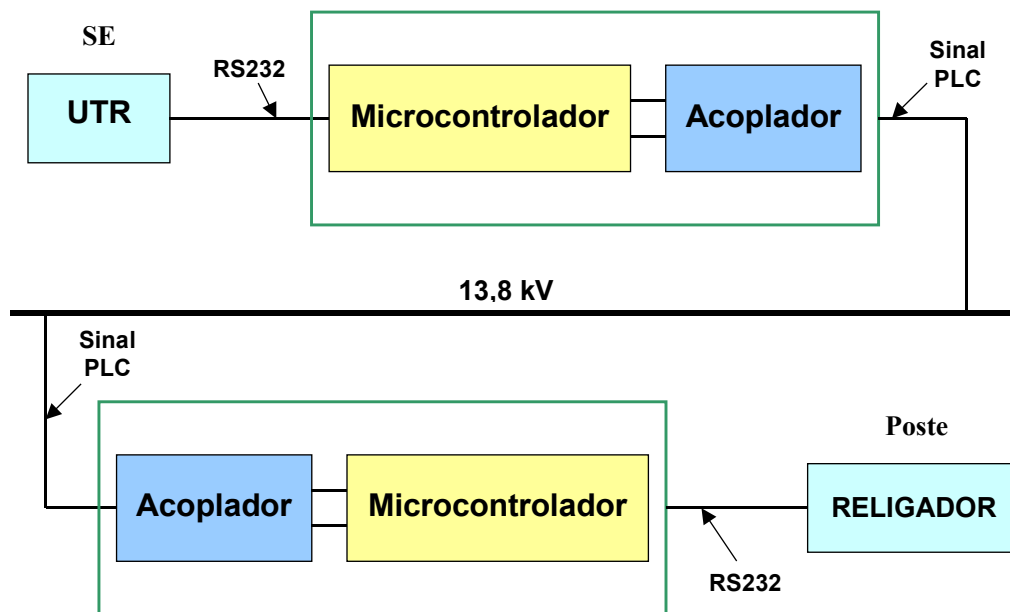


Figura 1. Esquema do Sistema PLC (sem o Repetidor)

B. Modem PLC

A figura 2 mostra o diagrama simplificado do modem PLC.

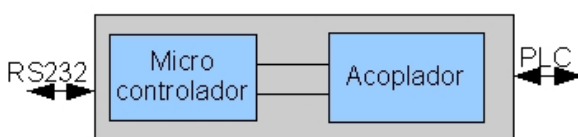


Figura 2. Diagrama simplificado do modem PLC

Nas figuras 1 e 2, pode-se observar que o modem PLC desenvolvido é constituído de dois componentes: um é composto de um microcontrolador e seus componentes periféricos e o outro é o circuito secundário do acoplador PLC. Ambos foram desenvolvidos pela equipe do CPqD.

O desenvolvimento do modem teve como base um microcontrolador para tratamento e conversão de protocolos PLC e DNP 3.0. Saliente-se que o *chipset* PLC de banda estreita utilizado no modem é encontrado no mercado externo ao Brasil [1], enquanto o *firmware* para controle do modem foi desenvolvido utilizando a linguagem C.

O circuito microcontrolador possui dupla função no modem PLC [2]:

- Receber, via interface serial RS 232, os comandos no protocolo DNP 3.0 e encapsular estes comandos no protocolo PLC;
- Receber um sinal no protocolo PLC com um comando DNP 3.0, retirar o protocolo PLC e enviar o comando DNP 3.0 pela interface RS 232 para o equipamento.

Este componente é responsável pela modulação e demodulação do sinal PLC. O módulo necessita de uma memória *eprom* para armazenar dados de configuração. Para alimentar esses circuitos, tem-se um bloco denominado fonte de alimentação, constituído de reguladores lineares comerciais, cuja função é adequar o nível de tensão DC necessário para cada circuito. A energia AC para a alimentação do modem é fornecida pelo acoplador PLC.



Figura 3. Modem PLC (vista frontal)



Figura 4. Modem PLC (vista traseira)

C. Repetidor PLC [2]

O repetidor recebe um sinal PLC ruidoso, retira o ruído, regenerando o sinal e o introduz novamente na rede elétrica para que possa trafegar por mais algumas dezenas de quilômetros.

A figura 5 mostra o diagrama de blocos do repetidor desenvolvido. Basicamente, o repetidor PLC é composto por dois (2) modem's PLC. Cada um dos modem's possui um endereço PLC.

Cada um dos microcontroladores recebe a informação PLC endereçada para ele, retira o ruído e o protocolo PLC, e transmite a informação para o outro processador. O segundo processador coloca novamente o protocolo PLC na informação recebida, insere também os endereços do dispositivo de

destino e do dispositivo fonte, e transmite as informações via rede elétrica de média tensão. A energia elétrica para o funcionamento do repetidor também é fornecida pelo acoplador.

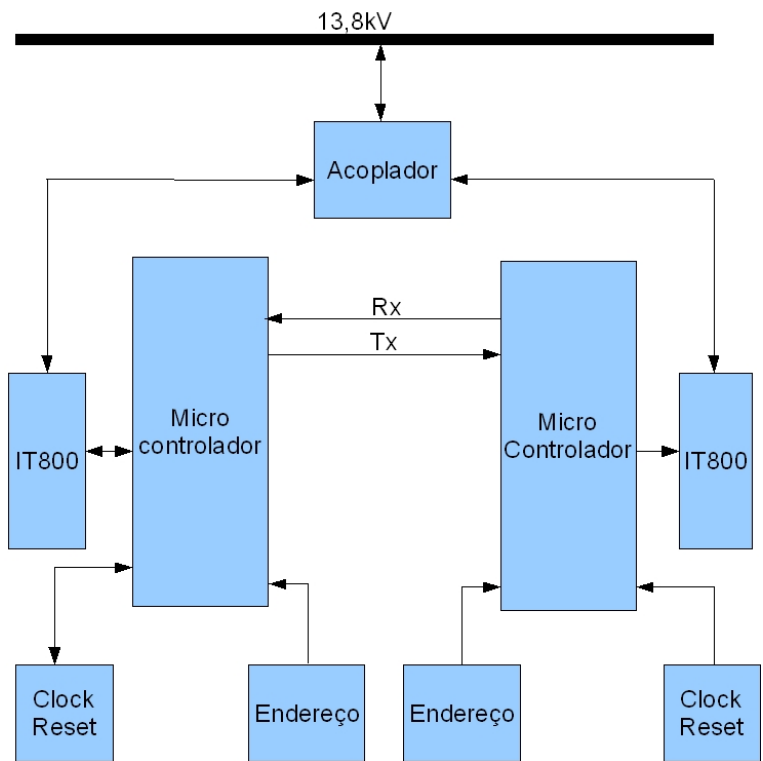


Figura 5. Diagrama de blocos do Repetidor PLC



Figura 6. Repetidor PLC
D. Acoplador PLC [3]

O projeto desse acoplador PLC conjuga as características de transmissão de sinais e de alimentação do modem PLC. Ele promove a inserção e a retirada do sinal de comunicação na linha, com um mínimo de perda, como também fornece energia elétrica para a alimentação do modem PLC.

Isso permite que o sistema seja independente da existência de rede elétrica de baixa tensão (BT) no local de instalação, tornando o sistema PLC autônomo e expandindo seu potencial de aplicação.

As premissas adotadas para seu desenvolvimento foram as seguintes:

- Os modems devem trabalhar na Faixa A estabelecida pelo CENELEC, onde a largura de banda do sinal é limitada em 90 kHz.
- O conjunto formado pelo modem e seus acessórios, que é alimentado pelo acoplador PLC, apresenta uma potência limitada em 10 VA.

- Dependendo da distribuição das cargas e da topologia da rede, a impedância vista pelo acoplador no barramento de alta tensão varia na faixa $0 \leq Z \leq Z_0$, onde Z_0 é a impedância característica em modo comum da linha de distribuição.
- Quando a impedância do modem estiver casada com a impedância da linha, a perda de inserção apresentada pelo acoplador deverá estar limitada em 0,1 dB na faixa de operação do sistema.

A figura 7 mostra o acoplador PLC na bancada do laboratório, onde pode ser visto o corpo de um capacitor desenvolvido especificamente para esta aplicação e, acoplado ao capacitor, uma caixa contendo o circuito de sintonia e de tratamento da energia elétrica a ser fornecida ao modem / repetidor.



Figura 7. Acoplador PLC conectado ao Modem PLC (em laboratório)

IV. TESTES SISTÊMICOS [4]

Antes que os protótipos e as interfaces desenvolvidas neste projeto fossem implantados em campo, foi planejada e realizada uma avaliação de desempenho dos mesmos em duas etapas:

- a) no laboratório de Compatibilidade Eletromagnética (EMC) do CPqD;
- b) na Rede Experimental de Média Tensão do CPqD de 1,1km, em conjunto com a unidade controladora do religador e uma unidade concentradora (UTR).

A. Ensaios de EMC

Foram realizados os seguintes ensaios (tabela I):

- Imunidade a Perturbações de Radiofrequência Irradiadas;
- Imunidade a Transitórios Elétricos Rápidos em Terminais de Energia Elétrica;
- Imunidade a Surtos em Terminais de Energia Elétrica.

Tabela I

Ensaio	Norma de Referência	Especificação	Referência Resolução 442 ANATEL
Imunidade a Perturbações de Radiofrequência Irrradiadas	IEC 61000-4-3 (2002)	3 V/m, de 80 MHz a 1 GHz e de 1,4 GHz a 2 GHz	Artigo 9º, Parágrafo 3º
Imunidade a Transitórios Elétricos Rápidos em Terminais de Energia Elétrica	IEC 61000-4-4 (2004)	Energia Elétrica: 1 kV	Artigo 9º, Parágrafo 1º
Imunidade a Surtos em Terminais de Energia Elétrica	IEC 61000-4-5 (2001)	Energia Elétrica C.A.: 1 kV de linha para linha e 2 kV de linha para o terra	Artigo 9º, Parágrafo 5º

Baseado nos critérios de desempenho prescritos no Anexo à Resolução 442 (ANATEL), o desempenho do sistema PLC monitorado foi considerado adequado e o seu funcionamento normal.

B. Testes na Rede Experimental do CPqD

Foram instalados os seguintes componentes:

- 2 (dois) Modem's PLC;
- 3 (três) Acopladores PLC;
- 1 (um) Repetidor (Regenerador) PLC;
- Sistema Rádio - na frequência de 2,4 GHz.

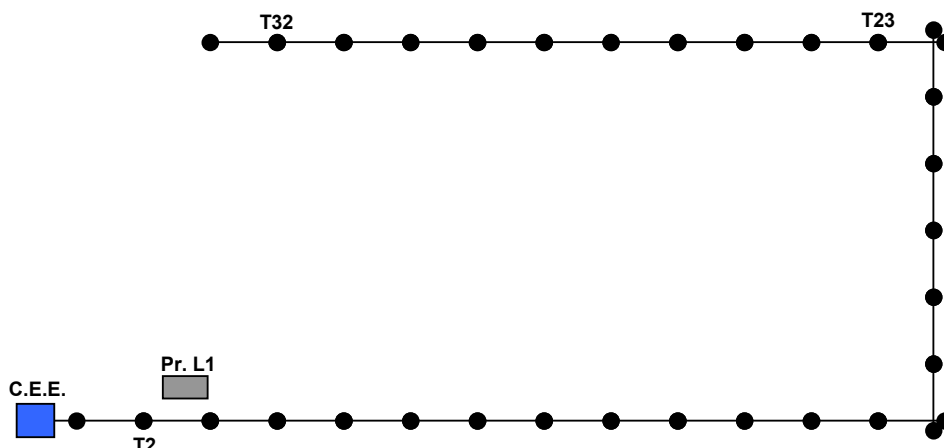
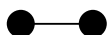


Figura 8. Esquema simplificado dessa Rede Experimental

Legenda:



- Trecho da rede em média tensão entre dois postes

C.E.E. - Cabine de Entrada de Energia Elétrica em média tensão (11,9 kV)

Pr. L1 - Prédio L1 - onde foram instalados: a Unidade Concentradora (UTR) e um Rádio Wi-Fi

T2 - Poste onde foram instalados: o outro Rádio Wi-Fi, o Modem PLC 1 e o Acoplador 1

T23 - Poste onde foram instalados: o Acoplador 2 e o Repetidor PLC

T32 - Poste onde foram instalados: o Acoplador 3, o Modem PLC 2 e Unidade Controladora (do Religador)

A figura 9 apresenta o gabinete (aberto) instalado junto ao poste T02. No interior desse gabinete, encontra-se o rádio Wi-Fi, que está instalado na parte superior central e interligado ao Modem PLC.



Figura 9

No poste T23 da Rede Experimental do CPqD, foi instalado um armário específico, contendo um Repetidor PLC e uma bateria (alimentação reserva), e um Acoplador PLC (figura 10).



Figura 10. Repetidor PLC instalado no Poste T23

A figura 11 mostra um acoplador instalado junto à rede de média tensão, onde se observa também uma chave fusível que foi instalada para permitir a manipulação do protótipo

sem a necessidade de desligar a rede, assim como para prover uma proteção adicional ao sistema.



Figura 11. Acoplador PLC instalado junto à rede de média tensão

A figura 12 (a seguir) apresenta a disposição física do Modem PLC na Unidade Controladora do Religador. Esse Modem PLC é similar ao primeiro modem e pode ser alimentado de duas maneiras: preferencialmente pelo Acoplador PLC (instalado na parte superior desse poste) e, na falta da energia comercial AC, via bateria selada tipo chumbo ácido (instalada no interior da Unidade Controladora).



Figura 12. Modem PLC instalado no interior da Unidade Controladora do Religador

Os testes realizados nesta etapa do projeto validaram positivamente os protótipos do sistema PLC desenvolvido.

É importante salientar que, para atingir o bom estágio atual na performance da comunicação de dados via PLC, foram necessários inúmeros trabalhos de ajustes nos equipamentos desenvolvidos e utilizados nesse sistema. Isso confirma a importância de uma etapa como essa em um projeto de P&D.

V. CUSTOS ENVOLVIDOS

Neste projeto de Pesquisa Aplicada, um protótipo de um sistema PLC de banda estreita, composto de:

- 2 (dois) Modem's;
- 1 (um) Repetidor;
- 3 (três) Acopladores;

teve um custo aproximado de R\$ 5.200,00 (cinco mil e duzentos reais). Deste valor, a maior parcela (R\$ 3.000,00) pertence aos capacitores dos protótipos do Acoplador PLC, devido ao fato deste componente ser um produto "fora da linha de produção" do fabricante.

O custo comercial deste sistema PLC será melhor estimado em um projeto tipo "cabeça-de-série" que a COSERN e o CPqD estão planejando realizar, com início previsto para este ano.

VI. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento desse projeto, foi possível obter importantes progressos e benefícios, inicialmente, para a COSERN e CPqD e, futuramente, para outras concessionárias de energia elétrica interessadas na aplicação dessa tecnologia PLC em suas redes:

- Um sistema PLC foi adaptado às características da rede elétrica da COSERN, similares à maioria das redes de distribuição existentes no nosso país.
- É prevista uma redução de custo com a nacionalização de componentes do sistema PLC, como o Acoplador de Média Tensão, que tem a previsão de um pedido de patente junto ao INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial).
- Foi possível uma capacitação tecnológica e domínio nacional da tecnologia PLC, que pode ser repassada para parceiros industriais interessados na produção em série dos componentes desenvolvidos nesse projeto de P&D.
- Há uma consolidação de uma alternativa de rede de comunicação para telecomando, telecontrole e telemedição na rede de distribuição de energia elétrica.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Itran Com. Ltd. IT800 line driver performance - Application note. IT800-AN-014-R1.1, April, 2003.
- [2] R. L. Leite, E. F. da Costa, R. B. Romano, "Desenvolvimento dos Protótipos de Componentes do Sistema PLC", Fundação CPqD, Campinas, SP, Relatório Técnico PD.33.ER.PAT.011A/RT-02-AA, Maio 2007.
- [3] C. F. Barbosa, F. E. Nallin, R. B. Romano, "Adaptação do protótipo de Acoplador de Média Tensão", Fundação CPqD, Campinas, SP, Relatório Técnico PD.33.ER.PAT.011A/RT-03-AA, Maio 2007.
- [4] R. L. Leite, E. F. da Costa, C. F. Barbosa, F. E. Nallin, R. B. Romano, "Testes Sistêmicos na Rede Experimental do CPqD", Fundação CPqD, Campinas, SP, Relatório Técnico PD.33.ER.PAT.011A/RT-05-AA, Julho 2008.