



**XXII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GTL/30  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - XV**

**GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL**

**ACOPLAMENTO INDUTIVO DE SINAIS DE COMUNICAÇÃO EM REDES ELÉTRICAS: UMA TECNOLOGIA PARA SMART GRID**

**Célio Fonseca Barbosa (\*)  
FUNDAÇÃO CPQD**

**RESUMO**

Este artigo apresenta as potencialidades do acoplamento indutivo de sinais no projeto de um sistema de comunicação que sirva de base para o desenvolvimento de uma rede inteligente (smart grid). São descritas as principais vantagens do acoplamento indutivo e as técnicas utilizadas para suplantá-las suas deficiências. É apresentado um protótipo conceitual que combina o acoplamento indutivo com um enlace radioelétrico de curto alcance utilizando tecnologia ZigBee. Finalmente, são apresentados diversos cenários de aplicação desta técnica, dentro do contexto de smart grid.

**PALAVRAS-CHAVE**

Power Line Carrier, Acoplador Indutivo, Smart Grid, Transceptor PLC, Casamento de Impedância.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

As concessionárias de energia elétrica estão investindo na melhoria da confiabilidade, segurança e eficiência das suas redes, em um movimento conhecido como rede-inteligente (smart grid). Como destacado por Kowalenko (1), "a chave para implementar uma rede inteligente é a comunicação de dados bidirecional entre todos os elementos da rede, de forma que as informações sobre a condição da rede possam ser compartilhadas e utilizadas como base para decisões". Esta característica requer a disseminação de transceptores ao longo da rede elétrica, visando coletar dados de equipamentos e disponibilizá-los nos centros de controle operacional da concessionária.

Uma alternativa tecnológica para esta comunicação é a utilização de ondas portadoras sobre os condutores da rede (power line carrier - PLC), a qual traz a vantagem de utilizar um meio de transmissão já disponível e que passa pelos pontos de coleta de dados. Embora seja uma técnica antiga (2), a utilização de ondas portadoras apresenta uma série de dificuldades para a sua disseminação como suporte da rede-inteligente. Muitas dessas dificuldades estão associadas com a utilização de um capacitor para acoplar os sinais na rede elétrica, o que implica em um custo elevado, pois o capacitor tem de suportar a tensão da linha.

Portanto, a disseminação da tecnologia PLC nas redes elétricas requer a utilização de técnicas inovadoras que propiciem um sistema de comunicação confiável e de baixo custo. Para tal, surge como alternativa o uso de acoplamento indutivo em lugar do capacitivo. Esta técnica é viabilizada pelos recentes desenvolvimentos de dispositivos eletrônicos confiáveis e de baixo custo, em especial radio-transceptores que podem ser utilizados em ambientes agressivos (3). Este trabalho analisa as possibilidades do uso do acoplamento indutivo como uma alternativa para fornecer o meio de comunicação necessário para o desenvolvimento da rede-inteligente.

Este trabalho foi financiado em parte pela Companhia Energética do Rio Grande do Norte (COSERN), dentro de um programa de pesquisa e desenvolvimento estruturado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

(\*) Rua Dr Ricardo Benetton Martins, s/n - Prédio 13 – CEP 13.086-902, Campinas, SP, – Brasil  
Tel: (+55 19) 3705-6258 – Fax: (+55 19) 3705-6120 – Email: grcelio@cpqd.com.br

## 2.0 - ACOPLAMENTO INDUTIVO

O acoplamento indutivo consiste em estabelecer um fluxo magnético comum entre o condutor da linha elétrica e o transceptor PLC. Isto é feito através da inserção de um núcleo ferromagnético na linha, constituindo um transformador, conforme mostrado na Figura 1. Neste transformador, o enrolamento primário é formado pelo condutor da linha e apresenta apenas uma espira. Esta característica imutável impõe uma série de restrições ao acoplamento indutivo, muitas das quais serão discutidas neste trabalho. No núcleo toroidal da Figura 1 foram acrescentados dois outros enrolamentos, associados com os circuitos de transmissão (TX) e recepção (RX), respectivamente. Em muitas aplicações é comum utilizar apenas um enrolamento para a transmissão e para a recepção, embora isto imponha algumas penalidades ao desempenho do acoplador.

Para uma tensão  $V$  aplicada no enrolamento TX corresponde uma tensão  $V_L = V / n$  na linha, onde  $n$  é o número de espiras do enrolamento de transmissão. Para um transformador ideal, uma corrente  $I$  em TX corresponde a uma corrente  $I_L = n I$  na linha. Portanto, a impedância vista pelo circuito de transmissão é:

$$Z = n^2 Z_L \quad (1)$$

A Equação (1) implica em diversas relações de compromisso que devem ser observadas no projeto de um acoplador indutivo. Por exemplo, a máxima transferência de potência do transceptor PLC para a linha ocorre quando a impedância do transceptor é igual à impedância da linha. Como as impedâncias de transceptores PLC são bem menores do que a impedância de linhas, o número de espiras do enrolamento TX deve ser o menor possível. No entanto, ao se reduzir  $n$  é também reduzida a impedância de magnetização do núcleo, o que prejudica a transferência de potência. Uma forma de aumentar a impedância de magnetização é aumentar a frequência, o que esbarra em aspectos regulatórios e nas perdas devido à propagação do sinal. Estas e outras características serão analisadas neste trabalho, sendo apresentadas as soluções propostas.

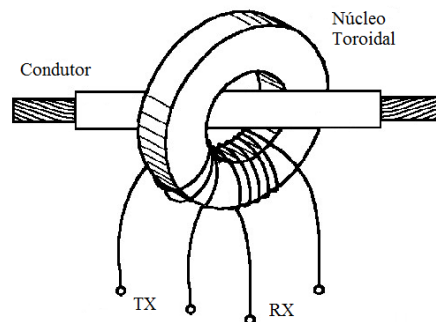


FIGURA 1 - Esquema básico do acoplamento indutivo.

### 2.1 Impedância de magnetização

Considerando apenas o enrolamento TX, o acoplador indutivo pode ser representado pelo diagrama da Figura 2, onde a impedância de magnetização foi representada do lado do transmissor. O núcleo de ferrite bipartido Thornton NC-100/57/25 (4) é largo o suficiente para acomodar um condutor de 50 mm de diâmetro e apresenta uma seção reta de  $645 \text{ mm}^2$ . Este núcleo apresenta uma indutância de  $1,33 \mu\text{H}$  para um entreferro de 0,40 mm. O entreferro é necessário para evitar a saturação do núcleo, como será descrito na Seção 2.4. Para uma portadora na frequência de 10 MHz, a impedância de magnetização do enrolamento de uma espira é  $83 \Omega$ . No entanto, frequências elevadas apresentam alta atenuação por propagação, limitando significativamente o alcance do sistema. Dessa forma, frequências na faixa de dezenas de MHz se limitam a serviços de curto alcance, como a transmissão de dados em redes de baixa tensão (broadband power line - BPL). Para aplicações de comunicação em linhas mais longas (vários quilômetros), é necessário utilizar frequências mais baixas, o que reduz proporcionalmente a impedância de magnetização. Por exemplo, para a frequência de 132,5 kHz, uma espira apresenta impedância de apenas  $1,10 \Omega$ , a qual representa quase um curto-circuito para o transmissor.

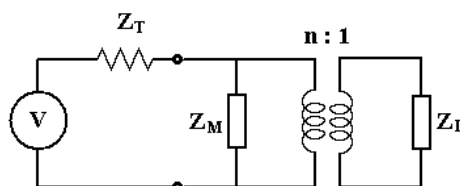


FIGURA 2 - Diagrama simplificado do acoplador.

Uma alternativa para elevar a impedância de magnetização é aumentar o número de espiras do enrolamento TX. No entanto, isto aumenta o descasamento entre o transmissor e a linha. Após a realização de diversos experimentos com o núcleo descrito, foi encontrada uma solução de compromisso para o valor  $n = 3$  e o entreferro de 0,40 mm. Com isto, a impedância de magnetização sobe para 10,0  $\Omega$ , que ainda é um valor muito baixo.

Para transceptores PLC operando com modulação de única portadora (e.g., frequency shift keying - FSK), pode-se utilizar o artifício de instalar um capacitor em paralelo com o enrolamento TX, constituindo um circuito ressonante na frequência da portadora. A Figura 3 mostra o resultado obtido para a sintonia do enrolamento de 3 espiras descrito acima, onde se observa que a impedância de magnetização atinge 280  $\Omega$ . Este valor já é suficientemente elevado para permitir um razoável acoplamento com a linha. Naturalmente, o chaveamento de frequências da portadora deve ficar restrito na faixa de alta impedância do acoplador. Por exemplo, para o transceptor PLC ST7540 (5) as frequências de modulação selecionadas foram 131,836 kHz e 133,138 kHz, utilizadas para representar os dígitos 1 e 0, respectivamente. Cabe observar que a impedância de magnetização assume um valor real na condição de ressonância, o qual é determinado pelas perdas nos seus componentes.

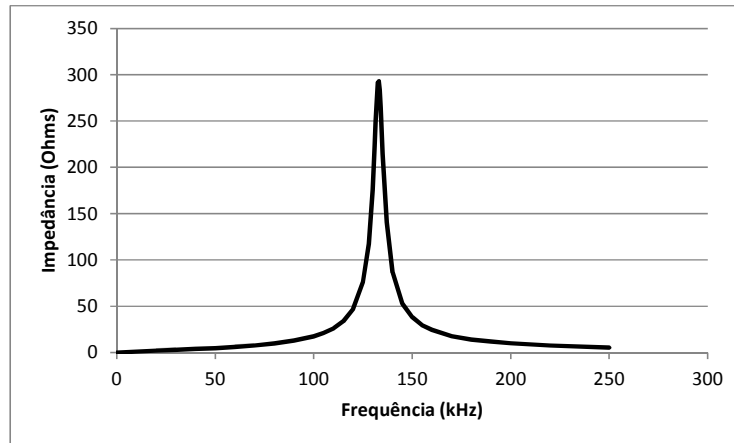


FIGURA 3 - Impedância de magnetização para circuito ressonante em 132,5 kHz.

## 2.2 Circuito de transmissão

Conforme comentado anteriormente, a transferência de potência para a linha aumenta na medida em que a impedância interna do circuito de transmissão se aproxima da impedância da linha, em situação conhecida como casamento de impedâncias. Esta condição é obtida através da inserção de um transformador entre o transmissor e o acoplador, conforme mostrado na Figura 4. Este transformador tem uma relação de espiras  $m$  dada pela razão entre o número de espiras do secundário (lado acoplador) dividido pelo número de espiras do primário (lado transmissor). Com isto, a impedância de magnetização do acoplador é vista pelo transmissor como  $Z_M / m^2$ . Este aspecto impõe um limitante em  $m$  visando manter a impedância de magnetização suficientemente elevada. O aspecto positivo é que a impedância da linha também fica vista como  $Z_L (n / m)^2$ , o que permite ajustar  $m$  para um valor que maximize a transferência de potência para a linha. O circuito da Figura 4 permite calcular a potência transferida para linha. Pode-se demonstrar que esta potência é máxima para a condição:

$$m = \sqrt{\frac{Z_M Z_L n^2}{Z_T (Z_M + Z_L n^2)}} \quad (2)$$

onde  $Z_T$  é a impedância do transceptor. A Equação (2) permite dimensionar o transformador para maximizar a transferência de potência para a linha. Por exemplo, para  $Z_M = 280 \Omega$ ,  $Z_L = 300 \Omega$ ,  $Z_T = 8 \Omega$  e  $n = 3$ , obtém-se  $m = 5,63$ . Cabe observar que esta condição faz com que boa parte da energia emitida pelo transmissor seja dissipada na sua impedância interna e na impedância de magnetização do acoplador. No entanto, mesmo sendo relativamente pequena a parcela efetivamente aplicada na linha, ela já representa um forte sinal de comunicação. Por exemplo, para uma tensão de circuito aberto do transmissor de 10 V, obtém-se 293 mW aplicados na linha, o que corresponde a cerca de 25 dBm.

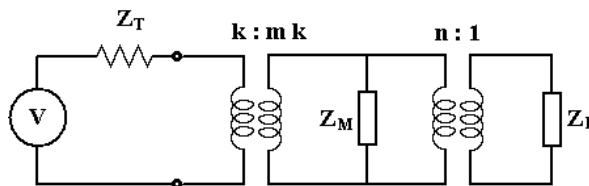


FIGURA 4 - Circuito equivalente do casamento de impedâncias na transmissão.

### 2.3 Circuito de recepção

Para o circuito de recepção não é interessante utilizar o artifício da ressonância, pois um circuito ressonante é excitado por transitórios presentes na linha e passa a gerar ruído dentro da banda passante do receptor. Neste caso, a impedância de magnetização vista pelo lado da linha corresponde a apenas uma espira, i.e.,  $Z_M = 1,10 \Omega$ . Como a tensão que chega no receptor é proporcional ao número de espiras  $p$  do enrolamento de recepção, quanto maior o valor de  $p$ , maior será a sensibilidade do receptor. O fator limitante para um valor de  $p$  muito alto é a tensão que aparece nos terminais de recepção durante uma transmissão.

Por exemplo, um sinal de comunicação de 0 dBm na linha está associado a uma corrente de 1,83 mA, a qual dá origem a uma tensão de 2,00 mV ao passar pelo acoplador. Considerando-se que o enrolamento de recepção tem  $p = 30$  espiras, uma tensão de 60 mV é aplicada ao circuito de recepção. Como o ST7540 tem uma sensibilidade na recepção de 0,25 mV (5), verifica-se que o sinal recebido tem uma margem de cerca de 48 dB.

É importante observar que esta otimização dos circuitos de transmissão e de recepção só é possível pela utilização de dois enrolamentos no acoplador. Esta característica, associada ao circuito ressonante na transmissão, deu origem a um pedido de patente depositado no Instituto Nacional de Propriedade Industrial - INPI (6). A Figura 5 mostra o circuito do acoplador, onde o indutor  $L$  visa prover um dreno para a corrente de 60 Hz, enquanto o capacitor  $C2$  filtra os sinais de alta frequência. A operação deste acoplador se dá em modo half-duplex, onde a transmissão e a recepção se fazem pelo mesmo meio de comunicação, mas em tempos diferentes. Esta característica permite isolar facilmente o circuito de recepção do circuito de transmissão, através das chaves  $S1$  e  $S2$ . Cabe observar que a transmissão e recepção simultâneas (full-duplex) também é possível, mas requer um circuito híbrido para isolar a recepção da transmissão. Os diodos zener ( $D1$  e  $D2$ ) e os dispositivos de proteção surtos (DPS1 e DPS2) visam proteger o transceptor contra surtos elétricos presentes na linha.

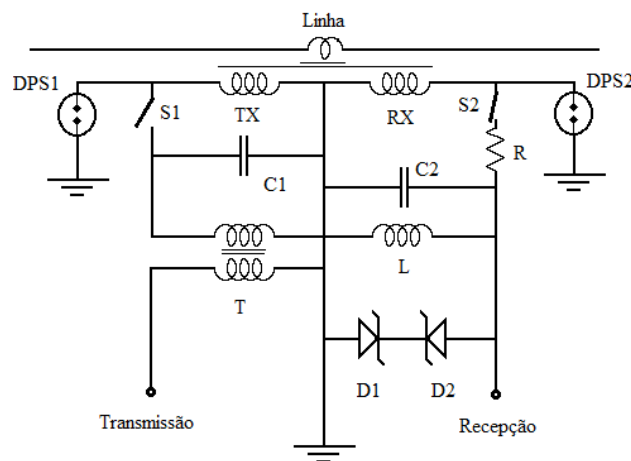


FIGURA 5 - Acoplador indutivo ressonante com duplo enrolamento.

### 2.4 Evitando a saturação do núcleo

O núcleo do acoplador indutivo é percorrido pela corrente da linha e, dessa forma, submetido ao campo magnético gerado. Embora a tensão induzida em 60 Hz possa ser facilmente filtrada pelo circuito do acoplador, é importante que o campo magnético de 60 Hz não cause a saturação do núcleo. A forma mais simples de evitar a saturação do núcleo consiste na utilização de um entreferro de material não-magnético. A verificação da eficácia desta solução foi feita utilizando-se um circuito auxiliar que impõe uma corrente contínua através do núcleo, enquanto a impedância de magnetização é medida. Este circuito auxiliar foi dotado de um indutor com núcleo de ar com capacidade de conduzir a corrente contínua do ensaio e, ao mesmo tempo, apresentar uma reatância elevada o bastante para evitar que o circuito de corrente contínua afetasse a medição de impedância.

Os resultados experimentais são mostrados na Figura 6, onde a impedância de magnetização normalizada é mostrada em função da corrente contínua que passa pelo núcleo. Observa-se que para um núcleo sem entreferro (curva azul) a impedância cai abruptamente com a corrente contínua, onde a saturação já é nítida para uma corrente tão baixa quanto 10 A. A introdução de um entreferro de 0,4 mm (curva vermelha) já melhora significativamente o perfil da curva de impedância, tornando-a razoavelmente estável até cerca de 100 A. O desempenho melhora para entreferros maiores, como 0,8 mm (curva verde) e 1,2 mm (curva preta). Esta última mantém-se estável para uma corrente contínua da ordem de 250 A. A contrapartida do uso de entreferros é a redução do valor absoluto da impedância de magnetização.

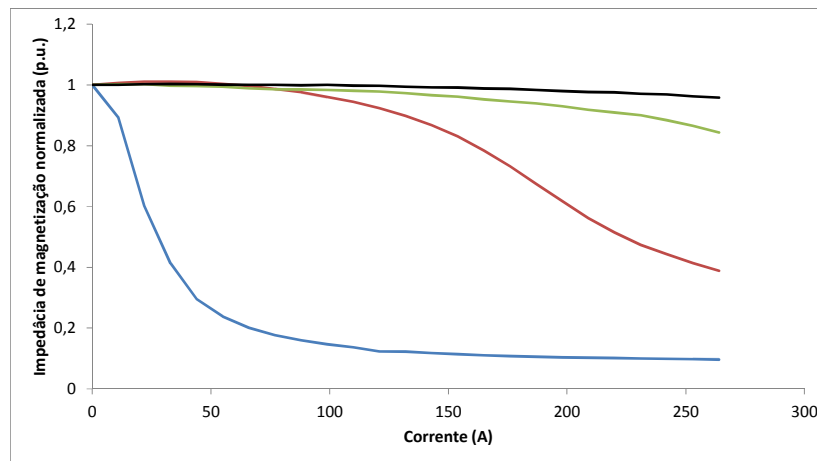


FIGURA 6 - Impedância de magnetização do núcleo normalizada. Azul: sem entreferro; Vermelho: entreferro de 0,4 mm; Verde: entreferro de 0,8 mm; Preto: entreferro de 1,2 mm.

### 3.0 - IMPLEMENTAÇÃO DE PROTÓTIPO CONCEITUAL

Visando validar os conceitos desenvolvidos, foram construídos transceptores PLC com acoplamento indutivo. Estes transceptores são equipados com o circuito integrado ST7540 (5) ajustado para operar em 132,5 kHz, os quais são instalados no condutor da linha de transmissão. A comunicação entre o transceptor e a unidade de solo é feita através de um enlace rádio de curto alcance com tecnologia ZigBee (3), fornecendo uma interface de comunicação serial (padrão RS-232) transparente para a aplicação do usuário. A velocidade de comunicação de dados foi fixada em 9600 bps para as interfaces de usuário, pois este é o padrão geralmente utilizado pelas concessionárias. Ao nível da interface PLC a velocidade real pode ser um pouco menor, em função das características de transmissão da linha, mas isto é percebido pelo usuário.

A Figura 7 mostra o sistema de comunicação resultante, o qual foi objeto de pedido de patente depositado no INPI (7). Nesta configuração, os transceptores retiram energia para a sua alimentação a partir da linha e são também dotados de bateria interna que permite uma autonomia de 24 horas. Uma característica importante desta solução é que ela independe do nível de tensão da linha, uma vez que o isolamento é dado pela interface rádio. Outro aspecto interessante é a capacidade dos transceptores ZigBee formarem redes ad-hoc, propiciando que sensores dotados de transceptores ZigBee se integrem ao sistema PLC.

A Figura 8.a mostra um transceptor durante ensaios laboratoriais, enquanto a Figura 8.b mostra um transceptor instalado em uma linha de distribuição. Estes protótipos foram submetidos a exaustivos ensaios laboratoriais, como imunidade a interferência eletromagnética, suportabilidade a surtos, intemperismo e emissão de sinais espúrios (8). Foram também realizados testes de comunicação utilizando linhas artificiais e linhas reais. De uma forma geral, os resultados destes ensaios foram bastante satisfatórios, o que credencia o acoplamento indutivo como uma alternativa técnica para prover a comunicação necessária para as redes elétricas. Durante os testes de comunicação em campo houve uma dificuldade inicial com os transceptores ZigBee, a qual foi solucionada através de uma atualização do firmware utilizado no transceptor. Já a interface PLC se mostrou robusta e estável durante todos os testes realizados.

Ensaio realizado no Laboratório de Alta Tensão da UFMG (9) permitiram aplicar simultaneamente altas correntes e altas tensões na linha onde se encontravam os transceptores, de forma a simular as condições de linha viva. O funcionamento do sistema foi verificado para o condutor submetido a 80 kV (tensão fase-terra de uma linha de 138 kV) e 150 A (corrente representativa de uma linha de transmissão). Já aplicando-se apenas tensão, verificou-se o funcionamento do equipamento em 200 kV, que corresponde à tensão fase-terra de uma linha de 345 kV.

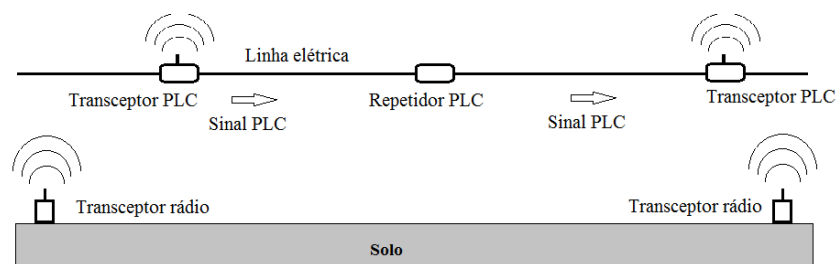


FIGURA 7 - Sistema de comunicação baseado em acoplamento indutivo.

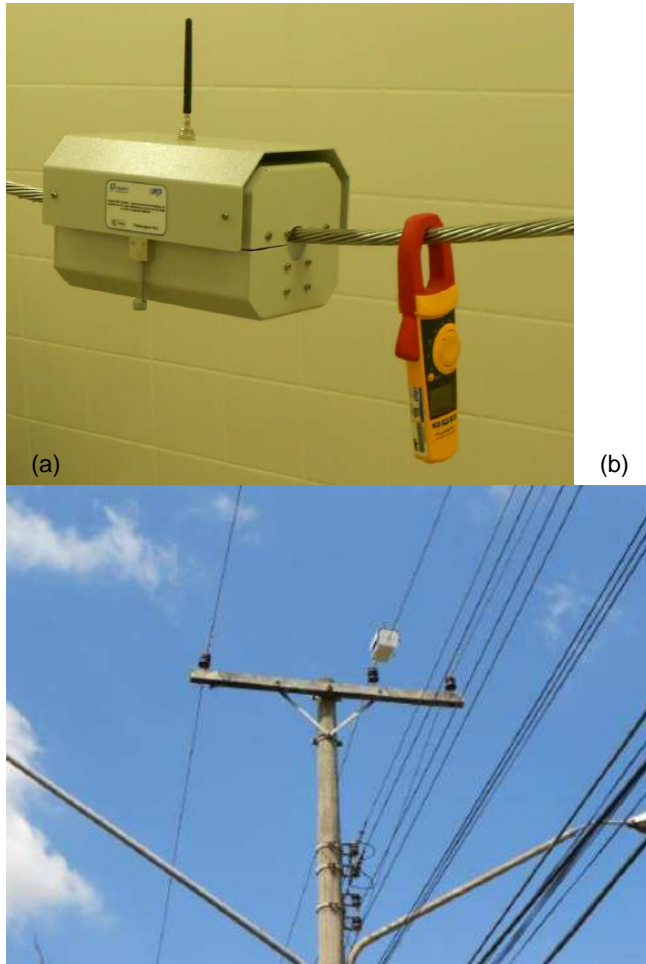


FIGURA 8 - (a) Transceptor durante ensaios laboratoriais; (b) Transceptor instalado em linha de distribuição.

#### 4.0 - CENÁRIOS DE APLICAÇÃO

Transceptores equipados com acoplamento indutivo possuem algumas características que os capacitam a diversas aplicações de rede inteligente, algumas das quais são descritas nesta seção.

##### 5.1 Telecomando e tele supervisão

A aplicação clássica de um sistema de comunicação sobre redes elétricas é o telecomando e a tele supervisão de equipamentos instalados na rede. Estes equipamentos normalmente são dotados de uma interface de comunicação serial que pode ser conectada ao sistema de comunicação. Para tal, foi desenvolvido o transceptor rádio mostrado na Figura 9, o qual é dotado de uma interface serial para ser conectada ao equipamento e uma interface ZigBee que se comunica com o transceptor PLC. Esta unidade é alimentada em corrente contínua ( $12 V_{CC}$ ), o que é normalmente disponível nos equipamentos. O alcance desta unidade é cerca de 100 m, o que proporciona uma flexibilidade na instalação dos transceptores.



FIGURA 9 - Transceptor rádio para comunicar com o transceptor PLC.

## 5.2 Coleta de dados de sensores ou medidores de energia

Uma rede inteligente deve contar com diversos sensores instalados ao longo da rede, visando monitorar as variáveis fundamentais do sistema elétrico (e.g., tensão, corrente e frequência), assim como parâmetros ambientais e relacionados à condição de equipamentos (e.g., temperatura de transformador, altura de condutor, degradação de isolador, etc). A configuração do sistema mostrado na Figura 7 é especialmente útil para esta aplicação, pois uma rede de sensores utilizando a tecnologia ZigBee pode ser configurada para utilizar o sistema de comunicação PLC como seu gateway. Dessa forma, as informações coletadas podem ser enviadas até o Centro de Operações Integradas (COI), onde elas serão processadas. Eventuais decisões decorrentes deste processamento poderão ser implementadas utilizando-se a rede PLC.

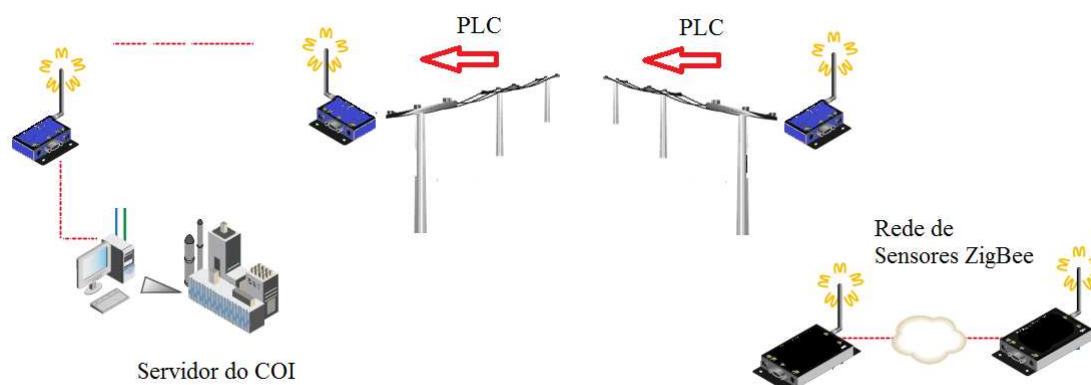


FIGURA 10 - Rede de sensores ZigBee conectada com enlace PLC.

Um sistema semelhante ao mostrado na Figura 10 pode ser utilizado para coletar dados de medidores de energia elétrica. Para tal, cada medidor deve ser dotado de uma interface ZigBee capaz de se integrar à rede. Um cenário alternativo é a utilização de uma rede PLC operando na baixa tensão com acoplamento capacitivo, através da qual as leituras dos medidores de uma região são concentrados em uma unidade mestre. Esta unidade é dotada de um transceptor ZigBee que possibilita a comunicação com o Centro de Operações através da rede PLC.

## 5.3 Medição de parâmetros da linha

Como os transceptores PLC estão instalados nos condutores da rede elétrica, é tarefa trivial dotá-los de um dispositivo que possibilite realizar a leitura da corrente do condutor. Esta leitura pode ser adicionada na sentença de comunicação do transceptor, de forma a fornecer para o COI um perfil de corrente na rede em tempo real. Esta informação é útil para otimizar o uso dos recursos da rede, como balanceamento de carga entre as fases, dimensionamento de condutores e recapacitação de circuitos.

Outro parâmetro da linha que pode eventualmente ser obtido por um transceptor que esteja instalado no condutor é a sua temperatura. Esta informação pode ser utilizada na estimativa da altura do condutor, o que é relevante para



alguns vãos da linha. A temperatura pode ser obtida através de um termômetro elétrico conectado ao circuito do transceptor.

Outros sensores de parâmetros da linha também podem ser inseridos no transceptor, embora isto não seja tão trivial quanto as medições de corrente e temperatura. Por exemplo, um sensor de correntes de deslocamento poderia ser utilizado para estimar a tensão do condutor, visando determinar se o mesmo está energizado.

## 5.0 - CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma técnica que viabiliza o uso de acoplamento indutivo em sistemas PLC de faixa estreita. Esta técnica foi implementada em protótipos de transceptores que foram submetidos a rigorosos testes de laboratório e de campo, demonstrando a viabilidade desta solução, assim como as suas limitações. O sistema de comunicação resultante propicia um canal de comunicação serial (RS232) totalmente transparente para a aplicação do cliente e operando em velocidade de comunicação padrão (e.g., 9600 bps). O sistema desenvolvido também independe do nível de tensão da linha, pois nenhum dos seus componentes fica submetido à tensão de serviço. Dessa forma, entende-se que a tecnologia de acoplamento indutivo utilizada neste projeto, associada com um enlace sem-fio de curto alcance, abrem novas possibilidades para o monitoramento e o controle das redes elétricas, propiciando que informações possam ser coletadas e entregues em qualquer ponto da rede.

## 6.0 - AGRADECIMENTOS

O autor agrade à Companhia Energética do Rio Grande do Norte (COSERN) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio prestado ao desenvolvimento deste trabalho.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) KOWALENKO, K. **The smart-grid: A primer**. IEEE The Institute, vol.34 no.4, Dec. 2010. Estados Unidos.
- (2) CHEEK, R. C. **Transmission and Distribution Reference Book, Chapter 12 - Power-Line Carrier Application**. Westinghouse Electric Corporation, East Pittsburgh, 1950. Estados Unidos.
- (3) IEEE SA. **IEEE Standard for Information Technology - Local and Metropolitan Area Networks - Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)**, IEEE Standard 802.15.4-2011. Estados Unidos.
- (4) THORNTON ELETRÔNICA LTDA. **Catálogo de ferrite**. Disponível em [www.thornton.com.br](http://www.thornton.com.br), acessado em 23/04/2013. Brasil.
- (5) ST MICROELECTRONICS. **ST7540 FSK Power Line Transceiver**, 2006. Disponível em [www.st.com](http://www.st.com), acessado em 23/04/2013. França.
- (6) BARBOSA, C. F.; NOGUEIRA, J. P. S. **Acoplador indutivo ressonante com duplo enrolamento**, Pedido de privilégio de invenção depositado no INPI em 31/07/2012 sob n. BR10 2012 0190621. Brasil.
- (7) BARBOSA, C. F.; LEITE, R. L.; NALLIN, F. E.; COSTA, E. F.; NOGUEIRA, J. P. S. Nogueira. **Sistema de comunicação híbrido baseado em enlace rádio de curto alcance e sistema de ondas portadoras sobre rede de energia elétrica**. Pedido de privilégio de invenção depositado no INPI em 20/09/2012 sob n. BR10 2012 0237369. Brasil.
- (8) FARIA, P. E. S.; PIVATTO, L. A.; VELLANO NETO, V. **Ensaio de emissão de perturbação eletromagnética de transceptor PLC faixa estreita**. Rel. de Ensaio PD.33.GS.E1A.3689ª/RE-02-AA, Fundação CPqD, Set. 2012. Brasil.
- (9) BOAVENTURA, W. C.; LIMA, J. L. C. **Testes de injeção de corrente em condutor de alumínio suspenso, com aplicação simultânea de alta tensão alternada**. Rel. 01/2013 DEE.LEAT FCO.CPqD, Jan. 2013. Brasil.

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Célio Fonseca Barbosa nasceu em de Nova Lima - M.G. em 1961. Possui os títulos de Engenheiro (1983), Mestre (1988) e Doutor (2009) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Trabalhou de 1984 a 1998 na Telecomunicações Brasileiras SA (Telebrás), onde exerceu diversas funções gerenciais. Trabalha



desde 1998 como pesquisador da Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD), onde desenvolve projetos de pesquisa para os setores elétrico e de telecomunicações. Atua também desde 2000 como relator para proteção contra descargas atmosféricas da União Internacional de Telecomunicações (UIT), sendo atualmente Chairman do Grupo de Trabalho 5.1 (Prevenção de Danos e Segurança). Seus interesses de pesquisa atuais incluem a proteção contra descargas atmosféricas, o monitoramento de linhas de energia elétrica e a propagação de sinais de comunicação nestas linhas. Maiores detalhes podem ser obtidos em <http://lattes.cnpq.br/0432330534636280>.

