

# Arranjo de medição para caracterização de canais híbridos PLC-sem fio

Gustavo S. Albuquerque, Antônio A. M. Picorone, Thiago R. Oliveira, Luis Guilherme da S. Costa e Moisés V. Ribeiro

**Resumo**— O presente trabalho discute um arranjo de medição que pode ser utilizada para caracterizar canais de comunicação híbridos PLC-sem fio através da estimação da atenuação média do canal. São apresentados alguns resultados da aplicação do arranjo proposto em um ambiente real, considerando a faixa de frequências de 1,7 MHz a 50 MHz.

**Palavras-Chave**— power line communication, wireless

**Abstract**— This work discusses a measurement setup applied to characterize Hybrid PLC-wireless channels, through estimates of average channel attenuation. Some results, related to a real environment, are presented, considering the frequency band of 1,7 MHz to 50 MHz.

**Keywords**— power line communication, wireless

## I. INTRODUÇÃO

A conectividade de uma grande quantidade e de diferentes tipos de dispositivos para atender às demandas das cidades inteligentes e da Indústria 4.0 conduz à Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) [2]. Devido a grande complexidade e diversidade de dispositivos, “coisas”, e ambientes a serem interconectados, não existe uma tecnologia única que atenda a todos os requisitos necessários a essa tarefa. Mais recentemente, a comunicação pela rede de energia elétrica (PLC – *power line communication*) combinada com a comunicação sem fio (*wireless*), denominada comunicação híbrida PLC-sem fio [3], referida neste trabalho como simplesmente por comunicação híbrida, é vista como uma estratégia com grande potencial para atender aplicações baseadas em IoT. Nesse caso, sensores (“coisas”) próximos à rede de energia elétrica fariam uso do canal PLC híbrido para se conectarem à internet.

Porém, pouco se sabe sobre a característica de propagação de sinais de alta frequência no meio de comunicação híbrido. Em [3], o canal de comunicação híbrido foi caracterizado através de medições realizadas em sete residências, na qual a variação da antena foi feita de forma radial em relação ao ponto da rede de energia em que o sinal era injetado. Diferentemente de [3], no presente trabalho a intensidade do sinal recebido, relacionada à atenuação média do canal híbrido, é avaliada considerando uma ampla área definida pelo deslocamento longitudinal e latitudinal do receptor no ambiente de interesse. Além do arranjo de medição (*setup*) proposto para a avaliação da atenuação média de canais híbrido

G. S. Albuquerque, A. A. M. Picorone, M. V. Ribeiro, Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), E-mails:(gustavo.albuquerque, antonio.picorone, mribeiro)@engenharia.ufjf.br. T. R. Oliveira, Inst. Federal de Educ., Ciênc. e Tecnol. do Sudeste de Minas Gerais (IF Sudeste MG), E-mail: thiago.oliveira@ifsudestemg.edu.br. L. G. S. Costa, Centro de Ensino Superior de Minas Gerais (CES-JF), E-mail: luisgsc@oi.com.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo programa BIC/UFJF.

PLC-sem fio, são apresentados alguns resultados da aplicação do arranjo proposto em laboratório.

## II. ARRANJO DE MEDIÇÃO

A metodologia proposta neste trabalho coleta estimativas sucessivas da atenuação média do canal em pontos pré-definidos pertencentes a área em estudo. Assim, o  $p$ -ésimo ponto considerado é dado por  $P_p = (x_p, y_p)$ , para  $p = 0, 1, \dots, M - 1$ . Em seguida, as estimativas da atenuação do canal nos demais pontos da área em estudo são obtidas por interpolação. O arranjo proposto faz uso dos seguintes equipamentos, conforme ilustrado na Fig. 1:

- **Transmissor:** basicamente é um gerador de sinais modelo NI PXIe-1071, no qual um sinal *orthogonal frequency division multiplexing* (OFDM) é gerado e injetado na rede de energia elétrica que compõe o canal híbrido [4];
- **Acoplador PLC:** circuito de interface entre o transmissor e a rede de energia elétrica. Ele é projetado para permitir a passagem, com o mínimo de atenuação possível, de sinais que ocupem a faixa de frequências de 1,7 MHz a 50 MHz, enquanto bloqueia o sinal de 60 Hz da rede de energia elétrica [1];
- **Antena:** dispositivo utilizado para medir a parcela do sinal injetado na rede de energia elétrica (PLC) e que é irradiado no ar;
- **Receptor:** composto por uma placa de aquisição de dados, atuando como um conversor-analógico-digital.

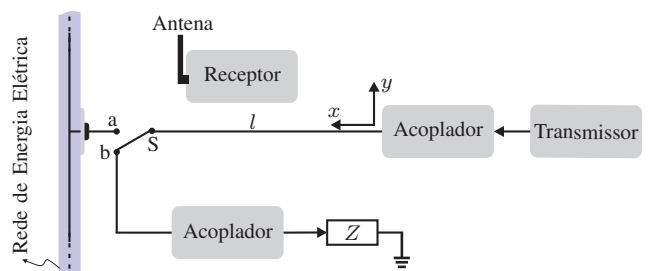


Fig. 1

ARRANJO DE MEDIÇÃO PARA CARACTERIZAÇÃO DE CANAIS HÍBRIDOS.

Diversas etapas de processamento são realizadas no sinal recebido, o qual sofreu os efeitos de distorção e ruído do canal analisado. Dentre as etapas destacam-se sincronização temporal, estimação da resposta em frequência do canal híbrido, tratamento do ruído, dentre outras [3]. Assim, são obtidas  $N$  respostas em frequência do canal híbrido em cada medição

(posição da antena). A atenuação média, referente à média das  $N$  atenuações estimadas das respostas em frequências medidas no  $p$ -ésimo ponto, é dada por

$$\bar{A}_p = \frac{1}{N} \sum_N \left\{ -10 \log_{10} \left( \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} |H_n[k]|^2 \right) \right\} [\text{em dB}], \quad (1)$$

em que  $H_n[k]$  é o  $k$ -ésimo coeficiente da  $n$ -ésima resposta em frequência no tempo discreto do canal híbrido e  $K$  é o número de subportadoras do símbolo OFDM utilizado.

### III. RESULTADOS

A *setup* proposta foi utilizada para estimar a atenuação média do canal híbrido considerando dois cenários:

- Cenário #1 - (chave S na posição 'a' - Fig.1): interligação do transmissor, seguido pelo acoplador, a rede de energia elétrica comercial do Laboratório de Comunicações (LCOM) da Universidade Federal de Juiz de Fora através de um par de fio de cobre unifilar (1 x 0.5 mm) com  $l = 5,5$  m de comprimento;
- Cenário #2 - (chave S na posição 'b' - Fig.1): utiliza o mesmo par de fio de cobre unifilar com  $l = 5,5$  m de comprimento, porém, neste cenário, ao invés de conexão a rede de energia elétrica, o par de fios é conectado a uma carga  $Z = 50 \Omega$  através de um segundo acoplador.

Foram realizadas medições em  $M = 40$  pontos distintos em diferentes instantes de tempo para cada cenário com  $x$  variando de 10 cm em 10 cm e  $y$  tomados a cada 10 cm, 50 cm e 100 cm (Fig. 1). Foi adotado como ponto inicial de medição,  $P_0(x_0, y_0) = (0, 0)$ , a saída do acoplador diretamente interligado ao transmissor. A antena foi posicionada perpendicularmente ao par de fios de cobre instalado. A potência injetada no acoplador pelo transmissor foi constante em todos os testes e igual a  $P_{TX} = 28,5$  dBm.

Os resultados referentes a aplicação do arranjo de medição proposto nos dois cenários distintos podem ser observados na Fig. 2 considerando a banda de frequência de 1,7 MHz até 50 MHz e  $K = 2048$  subportadoras. Nessas figuras, os pontos vermelhos nos gráficos representam os 40 pontos medidos, enquanto a superfície restante dos gráficos foi obtida por interpolação linear. Em ambos os cenários, a energia irradiada pelo sinal ao longo do cabo não se distribui de maneira homogênea, justificando a importância da análise através das distâncias ao longo do par de fios de cobre instalados e não apenas no sentido radial. Pode-se observar que o circuito formado pelo transmissor-acoplador-cabo conectado a rede de energia elétrica (Fig. 2a) apresenta uma atenuação média menor, em média 10 dB, em relação ao cenário #2 - Fig. 2b. Este resultado é devido ao desacoplamento entre a impedância de acesso a rede de energia elétrica e a impedância do conjunto de equipamentos de medição. Além disso, pode também ser observado que a atenuação média do canal híbrido se distribui de forma diferente nos cenários analisados.

### IV. CONCLUSÕES

Foi apresentado um arranjo de medição para a caracterização dos canais híbridos PLC-sem fio que pode ser

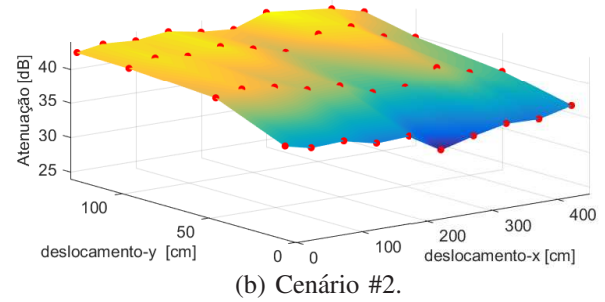
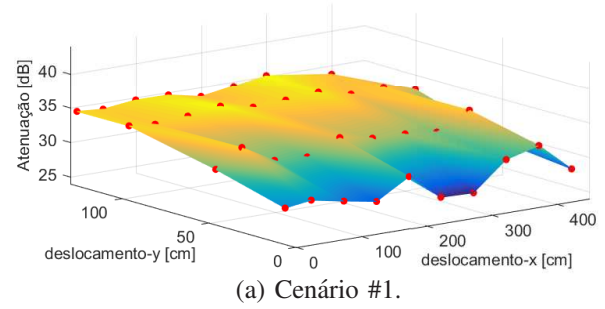


Fig. 2

PERFIL DA ATENUAÇÃO MÉDIA DO CANAL HÍBRIDO - (A) CONECTADO À REDE DE ENERGIA ELÉTRICA (B) CONECTADO À CARGA

utilizada para se estimar a atenuação média desses canais em uma determinada área. Os resultados iniciais do uso do arranjo proposto sugerem que a energia do sinal irradiado pelo cabo de energia elétrica não se distribui homogênea ao longo do cabo. Consequentemente, também não se distribui de forma homogênea no ambiente considerado. Finalmente, novos estudos devem ser realizados acerca da caracterização dos canais híbridos, visando a sua aplicação no contexto de redes inteligentes e IoT.

### REFERÊNCIAS

- [1] L. G. S. Costa, A. A. M. Picorone, A. C. M. de Queiroz, V. L. R. Costa, and M. V. Ribeiro. Projeto e caracterização de acopladores para power line communications. In *SBRT 2015*, Sep. 2015.
- [2] I. Lee and K. Lee. The internet of things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, (4):431–440, 2015.
- [3] T. R. Oliveira, F. J. Andrade, A. A. M. Picorone, H. A. Latchman, S. L. Netto, and M. V. Ribeiro. Characterization of hybrid communication channel in indoor scenario. *Journal of Communication and Information Systems*, 31(1), Set. 2016.
- [4] T. R. Oliveira, C. A. G. Marques, W. A. Finamore, S. L. Netto, and M. V. Ribeiro. A methodology for estimating frequency responses of electric power grids. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 25(6):720–730, Dez. 2014.