

Medium Voltage Overhead Power-line as a Smart Distribution Grid for Onshore Oil & Gas Industries Automation and Broadband Data Transport

Leonardo Ribas Martins Castor
Tecnologia da Informação e Telecomunicações
Petróleo Brasileiro S.A - PETROBRAS
Vitória, Espírito Santo - Brasil
Email: leonardo.castor@petrobras.com.br

Jair Adriano da Silva
and Marcelo E. V. Segatto
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal do Espírito Santo
Vitória, Espírito Santo - Brasil
Emails: jair.silva@ufes.br, segatto@eles.ufes.br

Resumo—Power line communication (PLC) is a key component in the communication infrastructure of the future smart grid with applications in both medium voltage (MV) and low voltage networks. In Oil & Gas industries the PLC technology appears as a promising solution for last mile access network and advanced analysis of their performance is needed. Throughput, time response, signal-to-noise ratio and physical channel adaptivity are the investigated parameters that indicates the viability of BPL communication over 1630 m of overhead MV, for transport of automation and video stream in a smart grid concept for onshore Oil & Gas industries.

Index Terms—Power line communications, medium voltage levels, smart grid, automation and broadband data.

I. INTRODUÇÃO

Um dos objetivos essenciais da indústria de Óleo & Gás é a redução de seus custos operacionais que estão ligados diretamente ao custo de produção do barril de petróleo. Aumentar a produção com menor custo operacional é o principal objetivo das companhias petrolíferas. Diante desse desafio a Automação Industrial ganha espaço como ferramenta redutora de custo, maximizadora da segurança operacional e facilitadora para o aumento da eficiência na produção. Um dos principais fatores que levam ao incremento do custo operacional na indústria petrolífera é a utilização de recursos humanos na operação, monitoramento e controle dos diversos sistemas de produção. A obtenção de dados em campo e acionamento manual de sistemas de controle, força a presença humana nas áreas operacionais *onshore/offshore* elevando assim os riscos e custos associados à produção de hidrocarbonetos [1]. Neste contexto a utilização de sistemas de automação industrial torna-se inevitável nos processos de produção de petróleo e com ele surge a necessidade de prover sistemas de comunicação ainda mais eficientes, mais confiáveis e com baixo custo de implementação para o transporte dos dados.

O uso da tecnologia BPL (*Broadband Power Line*) nos processos produtivos da indústria de Óleo & Gás vem

ganhando espaço no âmbito da pesquisa e engenharia. Os meios de acesso comumente utilizados na coleta de dados dos processos de produção são tecnologias já bastante difundidas, tais como a fibra ótica e sistemas de comunicação sem fio de baixa capacidade (*spread spectrum*). Porém, isto é feito a custos e prazos elevados. A aplicação da tecnologia BPL como rede de acesso de última milha para os processos de produção de petróleo em ambientes *onshore*, surge então como uma alternativa vantajosa. Essa vantagem está associada ao baixo custo de investimento em infraestrutura e a alta capacidade de penetração na rede [2], [3]. Os poços de petróleo são providos de infraestrutura elétrica que está conectada a uma rede aérea de média tensão (13,8KV), fato esse que reduz o tempo de implantação e torna os custos de investimentos do projeto mais atraentes. Ainda, como as aplicações de automação exigem pouca largura de banda e são menos sensíveis à latência da rede é possível alcançar distâncias mais longas sem o uso de repetição. A tecnologia BPL utiliza esquema de modulação OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*) e mapeamento adaptativo da taxa de transmissão, além de técnicas de correção de erro e blindagem de ruído, dando-lhe confiabilidade para transmissão de dados, voz e vídeo sobre redes elétricas de baixa ou média tensão [4]. Os modems BPL são capazes de oferecer altas taxas de transmissão em bit por segundo, chegando a valores nominais de *downstream* e *upstream* de 205 Mbps cada [5], ocupando largura de banda de até 30 MHz no modo assíncrono, *full duplex*. Além dos recursos que garantem o bom desempenho na rede, a tecnologia BPL conta ainda com a vantagem da segurança da informação, onde os dados podem ser transmitidos com criptografia tipo DES 128-bit [5]. Outro aspecto relevante e que é motivo de várias pesquisas nas comunidades acadêmicas é a propagação do sinal no meio físico. A resposta do canal de comunicação pode variar com o tempo, seja devido a variação de cargas (impedância) ou interferências na rede e isto reflete diretamente no desempenho do sistema BPL. Por isso, a estimação do canal se torna necessária, mas ao mesmo tempo complexa. Diante desse contexto, o pre-

sente artigo tem como objetivo aprofundar as investigações acerca da transmissão de dados sobre redes elétricas de média tensão (MV), empregando a tecnologia BPL. Um cenário real com sistemas de automação industrial para controle de produção de dois poços produtores de petróleo foi utilizado.

II. TESTES EXPERIMENTAIS COM O SISTEMA BPL SOBRE A REDE AÉREA DE MÉDIA TENSÃO

A partir de resultados obtidos em trabalhos anteriores [6] [7], foi possível confirmar o desempenho satisfatório do sistema BPL aplicado na transmissão de dados. Uma rede MV com extensão de 320 m, derivação a 100 m e sem repetição ativa, foi aplicada nos testes [7]. A proposta atual consiste em intensificar a investigação desta tecnologia operando sobre uma rede elétrica MV com características multipercurso e derivações ao longo de seus 1,63 km de extensão. Esta rede representa o meio de comunicação de dados entre dois poços produtores de petróleo e uma estação de Processamento. Nos poços produtores existem sistemas de automação (interligados aos processos de produção) e dispositivos eletrônicos (câmera) que fazem a segurança patrimonial. Do lado da estação de Processamento estão as aplicações de monitoramento e controle desses sistemas. A demanda de tráfego da rede é composta pelos dados de automação e pelo *video streaming* gerado pela câmera patrimonial.

Os testes têm como foco a análise da taxa de transmissão de dados, a latência da rede, a resposta em frequência do canal, medida através da relação sinal-ruído SNR (*Signal-to-Noise Ratio*), e a variação da velocidade física da interface PLC (em bit por segundo). A partir das medidas pretende-se desenvolver uma metodologia de dimensionamento de rede BPL que leve em consideração a capilaridade da rede elétrica. A Figura 1 mostra a topologia física adotada para os testes da tecnologia.

A. Descrição do Cenário de Testes na Configuração Modo 1 - 10 MHz

A estação coletora SM8, presente na Figura 1, representa o ponto de concentração das informações (dados e vídeo) enviadas pelos poços produtores de petróleo. Nesta estação são recebidos e tratados os volumes de hidrocarbonetos produzidos em campo e onde se encontra a sala de supervisão responsável pelo monitoramento e controle dos processos de produção da região. Afim de simular um ambiente de testes próximo da realidade, o Servidor de aplicações foi instalado nesta localidade juntamente com o modem Mestre HE (*Head End*). A função deste último é designar os recursos para todos os nós da célula BPL através do uso de *token* e de acordo com o *QoS* marcado nos fluxos de dados da rede [4].

Para cada poço produtor disponibilizamos um modem Escravo CPE (*Customer Premises Equipment*) e ao longo do percurso instalamos os modems *Time Division Repeater*

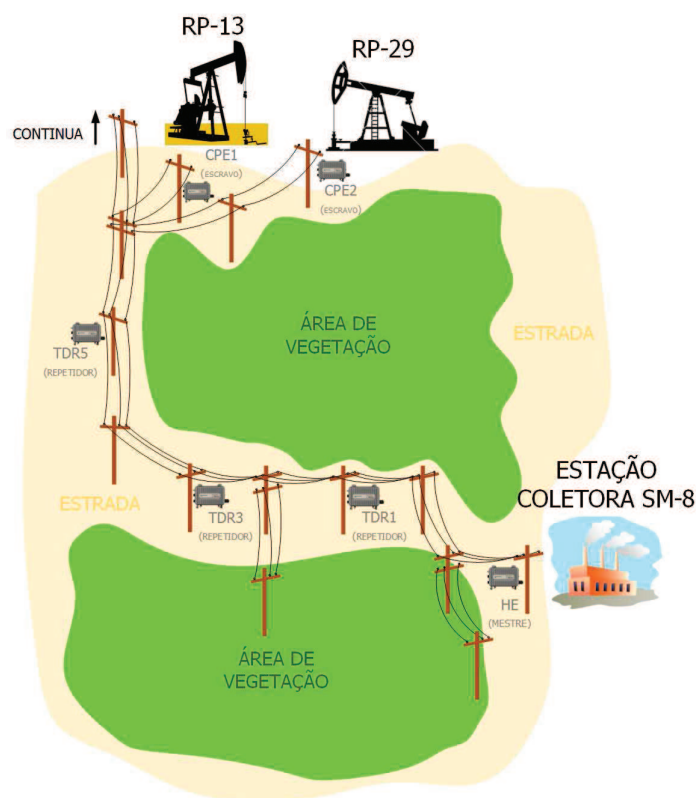


Figura 1: Topologia física da Rede MV utilizada na investigação da tecnologia BPL

- *TDR* (Repetidor) seguindo as especificações do fabricante [5]. Com base na topologia da rede MV, nos parâmetros de transmissão do modem (potência e frequência) e nos resultados obtidos em trabalhos anteriores [6] [7], definimos a metodologia que quantificou e posicionou os modems TDR ao longo da rede MV. A análise da topologia física da rede considera o tipo de infraestrutura disponível para a fixação do modem BPL nas estruturas elétricas, nas derivações ao longo da rede e nas distâncias percorridas pelo sinal PLC. Referente aos parâmetros de transmissão, optou-se por iniciar os testes operando numa largura de banda de 10 MHz, na frequência central de 7,69 MHz, com densidade espectral de potência constante. Considerando resultados de trabalhos anteriores, estabeleceu-se uma distância média de 500 m entre os elementos da rede [6], [7].

A topologia da rede projetada para os testes é mostrada na Figura 2. Nota-se que a conexão entre o elemento Mestre da rede e o Servidor de aplicações é feita através de uma rede de comunicação sem fio conforme padrão IEEE 802.11n em complemento à falta de infraestrutura física entre eles. A câmera IP (*Internet Protocol*) utilizada no poço RP-13 é de alta resolução e atende aos requisitos de vídeo MPEG4-Part10. No poço RP-29 apenas foi conectado o modem Escravo.

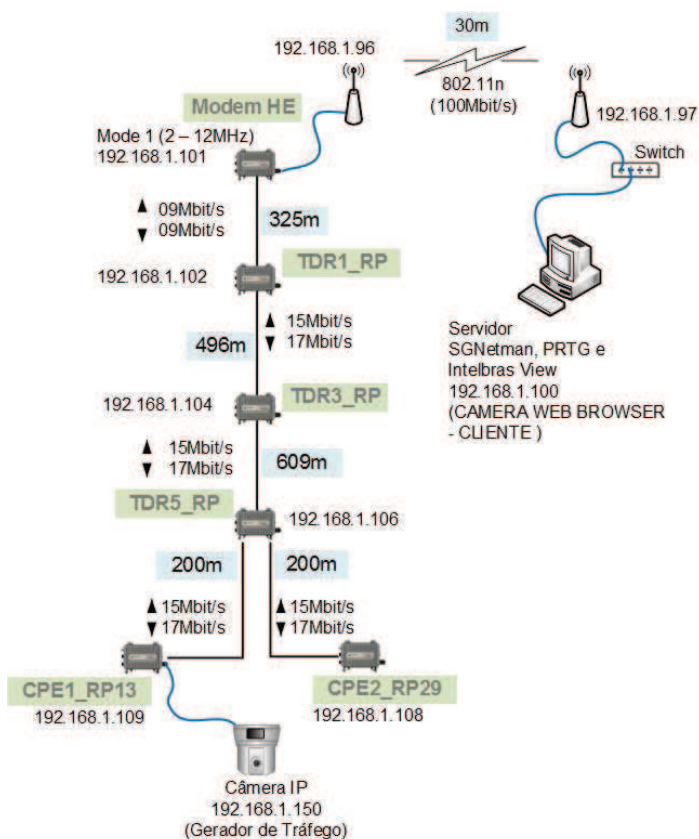


Figura 2: Topologia da rede *Broadband PowerLine* aplicada nos testes de campo.

B. Resultados Obtidos

O método para obtenção dos resultados foi baseado no uso de ferramentas capazes de coletar e armazenar variáveis, utilizando o protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*), que representam os objetos gerenciáveis dos elementos de rede. Foram utilizadas as ferramentas PRTG (padrão aberto) e SGNetman (customizada para os modems *BPL*, conforme o fabricante), ambas representadas pelo Servidor de aplicações. Para a captura de imagens e consequente geração de tráfego foi utilizada a ferramenta baseada em solução VMS (*Video Management Software*) e customizada para a câmera instalada no RP-13. A Figura 3 apresenta a curva de *throughput* da interface Ethernet dos elementos HE e CPE1. Nota-se que as curvas apresentam uma simetria entre o fluxo de saída do modem HE com o fluxo de entrada do modem CPE1, indicando funcionamento satisfatório e esperado para o sistema. Os primeiros 10.000 minutos do teste indicam um fluxo de vídeo constante o que de fato corresponde ao perfil CBR (*Constant Bit Rate*) configurado no *codec* da câmera. O trecho de taxa nula representa uma interrupção na operação da rede *BPL* devido a uma falha no VMS e portanto, deve ser desconsiderado da análise. No trecho seguinte a câmera foi reconfigurada para operar com fluxo de vídeo variável VBR (*Variable Bit Rate*) obtendo-se

assim variação na taxa de bit observada na curva.

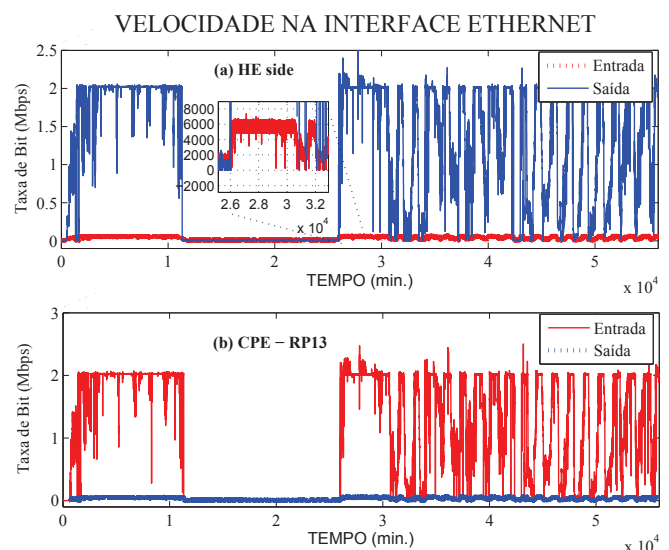


Figura 3: Taxa de transmissão medida na interface Ethernet no modo largura de banda de 10 MHz. (a) Tráfego de entrada e saída no modem HE e (b) no modem CPE em RP13.

As curvas da Figura 4 representam a taxa de bit medida na interface PLC dos modems CPE1 e CPE2. Nota-se que os trechos destas curvas acompanham o perfil do fluxo de vídeo da câmera (constante ou variável), evidenciando assim o controle de recursos na célula *BPL* coordenada pelo HE. O modem CPE2 só foi instalado e incorporado pela célula após 25.000 minutos decorridos do início dos testes, o que pode ser identificado no trecho de taxa nula da curva do modem CPE2. Os valores alcançados pelos modems na interface PLC são satisfatórios considerando-se que a rede foi configurada para operar com largura de banda de 10 MHz.

A Figura 5 mostra a seletividade em frequência do canal OFDM medida nos equipamentos HE e TDR1. Para ambas larguras de banda é possível notar que as frequências baixas sofrem mais atenuação no canal em relação as altas frequências. Para a largura de canal de 10 MHz, nota-se que os nulos apresentam maior amplitude e por isso maior facilidade de serem identificados na curva. Já na largura de 30 MHz nota-se um padrão de nulos com menor amplitude, mas ainda assim possíveis de serem notados. Este fenômeno pode estar associado as derivações do meio presentes no trecho HE - TDR1, conforme mostrado na Figura 1. Os efeitos de *fading* provocados pelos sinais multipercursos e pelas reflexões sofridas pelo sinal principal devido ao descasamento de impedância, levam ao aparecimento de nulos na resposta em frequência [8] [9] [10].

A escala no eixo X representa a subportadora do sinal OFDM. Os modems *BPL* utilizados transmitem um sinal OFDM composto por 1536 subportadoras carregando cada

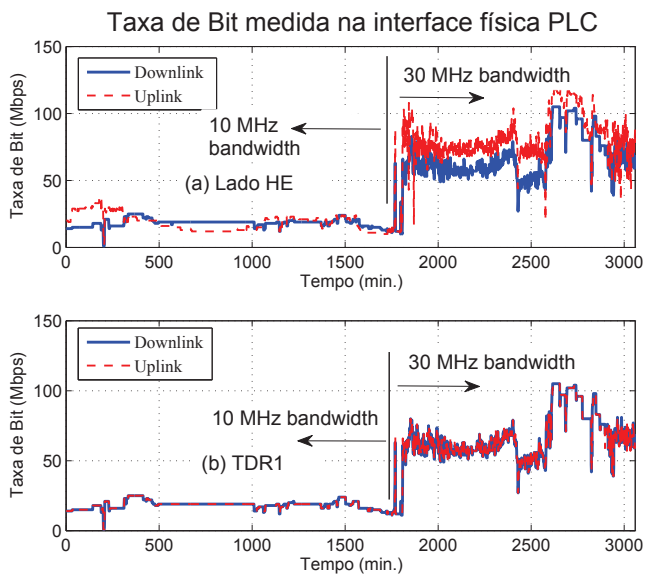


Figura 4: Desempenho do sistema em termos de Taxa de Bit (em bps) na camada física, nos modos de largura de banda de 10 e 30 MHz. A medida foi feita na interface PLC. (a) Lado HE e (b) Repetidor TDR1.

um delas uma parte da informação útil do canal. A modulação adaptativa, presente nos modems BPL, define a quantidade de bit que uma subportadora pode transportar e um dos parâmetros de referência utilizado para isto é o valor do SNR de cada subportadora. Quanto maior o SNR, mais bit serão transportados por esta subportadora e vice-versa. Esta afirmativa pode ser verificada na Figura 2, onde a taxa de transmissão atingida por cada trecho depende dos valores de SNR presentes no sinal OFDM. Nota-se que no primeiro trecho (HE - TDR1) a taxa de bit por segundo é menor se comparada com o restante da rede BPL o que pode ser explicado pelas derivações existentes no meio físico da rede elétrica, provocando atenuações no sinal OFDM. Os valores de SNR deste trecho são mostrados na Figura 5.

Os resultados discutidos neste tópico revelam parte das análises obtidas nos trabalhos de campo. Outros pontos relevantes foram analisados e fazem parte de outras publicações dos autores.

III. CONCLUSÃO

Testes de comunicação de dados utilizando uma rede elétrica de média tensão de 1,63 km foram realizados. Uma metodologia foi adotada para o dimensionamento da rede experimentada e pôde ser validada na prática. Os resultados mostraram a viabilidade do uso da tecnologia Broadband Power Line na transmissão de dados para aplicações de automação e vídeo para controle e videomonitoramento de poços de extração de petróleo *onshore*, dentro do conceito de redes inteligentes *smart grid*. A máscara inteligente de espectro e o esquema de

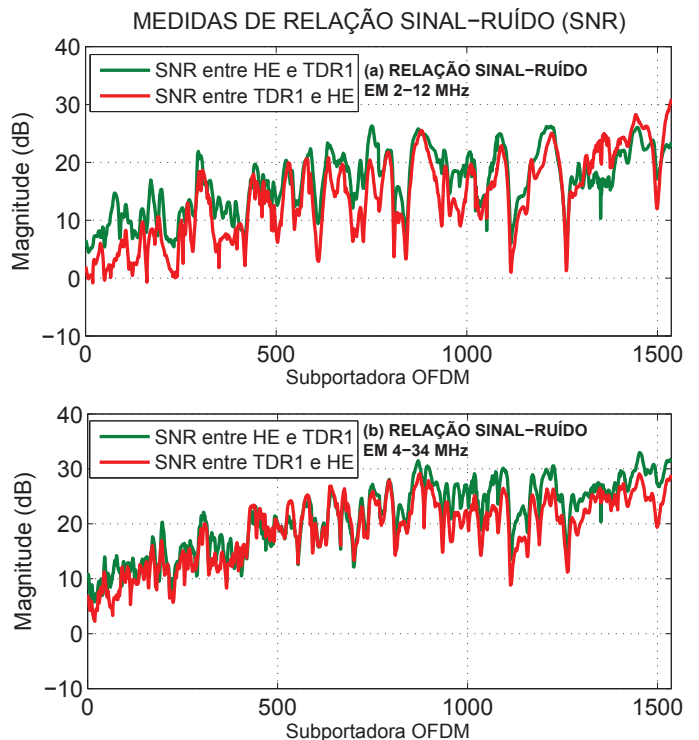


Figura 5: Medidas de SNR obtidas na interface PLC dos modems HE TDR1 para os sinais com largura de banda de (a) 10 MHz e (b) 30 MHz.

bit adaptativo, ambos suportados pela técnica de modulação de subportadoras, são características essenciais para maximizar a capacidade do canal e portanto, garantir um *throughput* mínimo para o monitoramento e controle dos processos de produção de óleo. Todavia, outras investigações serão feitas considerando novos aspectos na rede tais como qualidade de serviço (*QoS*) e priorização de acesso ao meio de modo a permitir comparações com os resultados atuais.

REFERÊNCIAS

- [1] Pedro Pereira de Paula Neto, "Monitoração de Poços e Automação na indústria de Petróleo", V Seminário de Produção de Petróleo, *PETROBRAS*, 1991.
- [2] J. Anatory, N. Theethayi, *Broadband Power-Line Communication Systems: Theory and Applications*, ISBN: 978-1-84564-416-1, Boston: *WIT Press*, 2010.
- [3] Halid Hrasnica, Abdelfatteh Haidine, Ralf Lehnert, *Broadband Powerline Communications Networks: Network Design*, ISBN 0-470-85741-2, Chichester, England: *John Wiley and Sons, Ltd*, 2004.
- [4] EDEV CPL/EDF Group, "First Draft of the OPERA Specification Version 2," *EC/IST FP6 Project No 026920*, 2007.
- [5] Corinex Communications Corp., *CXP-HDA LVA User Guide 2013 edit DF 2*, Manual do Equipamento, Vancouver, Canada, Maio 2013.

- [6] Leonardo R. M. Castor, Ricardo Natale, Jair A. L. Silva, Marcelo. E. V. Segatto, "Experimental Investigation of Broadband Power Line Communication Modems for Onshore Oil And Gas Industry: A Preliminary Analysis," *IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications*, 2014.
- [7] Leonardo R. M. Castor, Jair A. L. Silva, "Aplicação da Tecnologia de Comunicação de Dados via Rede Elétrica para Automação de Poços de Petróleo Onshore usando a Rede de Média Tensão", *16º SBMO - Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica e 11º CBMag - Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo*, 2014.
- [8] R. P. Clayton, *Analysis of Multiconductor Transmission Lines*, 2ª edição, Hoboken, New York: *Wiley*, 2007.
- [9] Xavier Carcelle, *Power Line Communications In Practice*, ISBN 13: 978-1-59693-335-4, Paris, France: *Artech House*, 2006.
- [10] Manfred Zimmermann, Klaus Dostert, "A Multipath Model for the Powerline Channel," *IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS*, VOL. 50, NO. 4, APRIL 2002.