

ANÁLISE DA QUALIDADE DE REDES PLC POR MEIO DA APLICAÇÃO DO SERVIÇO VOIP

Joabe Araújo de Andrade¹, Robson Hebraico Cipriano Maniçoba¹, Marcelo Alves Guimarães¹, Alex Ferreira dos Santos, Lucas Santos de Oliveira¹, Murilo Silva Santana¹

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia¹

joabe_andrade@yahoo.com.br, robson@ieee.org, maguimaraes@uesb.edu.br, afsantos@uesb.edu.br, agnaldovl@yahoo.com.br, lucasant@gmail.com, murilossantana@ymail.com

Resumo

Atualmente, experiências realizadas em todo o mundo, inclusive no Brasil, já provam a robustez da *PowerLine Communication* (PLC), apontando que esta tecnologia pode oferecer um largo espectro de aplicações, desde acesso à Internet em banda larga, telefonia, tele-controle, automação residencial, serviços audiovisuais, segurança predial, entre outros, promovendo a integração de diferentes serviços em um único meio físico, sendo um destes a aplicação VoIP. O presente trabalho visou apresentar uma análise sobre a tecnologia que possibilita transmitir dados e eletricidade em um mesmo meio físico, o PLC. Portanto, com o intuito de comprovar a qualidade deste método foram apresentados alguns estudos no tocante ao fornecimento de telefonia, através de *Voice over IP* (VoIP), ratificando a posição da *PowerLine Communication* como uma alternativa de rede de acesso de telecomunicações.

Palavras-chave: Rede elétrica. Internet. Banda larga. Telefonia.

Abstract

Currently, experiments conducted around the world, including Brazil, have already proven the robustness of PowerLine Communication (PLC), indicating that this technology can offer a broad spectrum of applications, from access to broadband Internet, telephony, tele-control, home automation, audiovisual services, building security, among others, promoting the integration of different services on a single physical medium, being one of the VoIP application. This study aims to present an analysis on the technology that enables data and transmit electricity in the same physical environment, the PLC. Therefore, in order to prove the quality of this method was presented some studies for the provision of telephony through Voice over IP (VoIP), confirming the position of the PowerLine Communication as an alternative access network telecommunications.

Keywords: Electrical network. Internet. Broadband. Telephony.

1. Introdução

Atualmente, são inúmeras as aplicações possíveis em função da evolução da rede de computadores. Como um exemplo de sucesso, é válido citar o *Voice over Internet Protocol* (VoIP), uma tecnologia que faz o encaminhamento da voz por meio de pacotes IP, possibilitando a realização de chamadas (com qualidade) através da rede de dados (SANKAKO, 2007).

Na década de 1990, em seus anos iniciais, começaram as elucidações quanto às aplicações para a utilização de computadores pessoais, que trocavam mensagens de voz, baseadas em um canal *half-duplex*. Nos últimos anos, diversos sistemas VoIP se tornaram acessíveis para uso como o telefone convencional.

A diferença é que, por ser a Internet um meio que permite o tráfego de voz, o VoIP pode ser gratuito ou ter um custo muito menor do que os telefonemas convencionais, principalmente em chamadas de longa distância, e sobretudo para aqueles que sempre dispõem de acesso a Internet, seja a cabo, ADSL e outros. O que se configura como benefício a favor dessa tecnologia (COLCHER et al, 2005).

Apesar dos benefícios, estes ainda não são desfrutados por uma grande parte da população, pois, os altos valores cobrados e a dificuldade para realizar a instalação resultam na não inserção destes possíveis usuários na rede. Com a finalidade de reverter este quadro, é de suma importância tornar viável a conexão final entre a casa do utilizador e a rede central.

Para Lemos (2011), o que ainda dificulta a vasta disseminação do acesso a Internet, para a grande massa da população é, sem dúvida, a falta de um meio de transmissão de dados de custo acessível, o que é caracterizado como um empecilho a ser superado. O modelo *PowerLine Communication* (PLC), neste cenário, pode trazer contribuições, uma vez que se torna uma alternativa para a população em geral, podendo baratear o custo operacional e simplificar a instalação, já que aproveita a infraestrutura existente.

Neste artigo avaliou-se o desempenho das redes PLC em um ambiente interno, testando-a por meio de uma aplicação que exige um desempenho adequado, o de telefonia VoIP, realizando um recorte dos fatores que permeiam esse processo.

As sessões desse artigo serão estruturadas da seguinte forma: Na Seção 2 serão tratadas questões inerentes à regulamentação e padronização, técnicas de modulação e aplicações da tecnologia PLC. Na Seção 3 serão tratadas questões referentes a Qualidade do Serviço (QoS) na aplicação VoIP, aos fatores que influenciam a qualidade do sinal de voz e aos protocolos adotados nessa técnica. Na Seção 4 serão contextualizados os cenários da pesquisa, bem como as ferramentas utilizadas, retratando, na Seção 5, os resultados obtidos através dos testes aplicados. Por fim, na Seção 6, serão apresentadas as principais conclusões obtidas.

2. Power line communication (PLC)

A implementação da tecnologia PLC teve início no ano de 1910 com os sistemas de *Power Line Carrier*, originados em consequência da necessidade das empresas distribuidoras de energia em controlar e monitorar as suas linhas, principalmente as linhas de alta tensão, uma vez que estas atravessam, tipicamente, zonas pouco povoadas e de difícil acesso. Por esse motivo, foram bastante utilizados pelas empresas que atuam nessa área (PASCALICCHIO, 2011).

Anos depois, em 1950, surgiu o que se pode considerar como o primeiro sistema PLC, designado de *Ripple Control*, implementado em redes de média e baixa tensão. A onda portadora destes sistemas funcionava entre frequências de 100 Hz a 1 kHz, e era necessário definir o sentido da comunicação através de sinais de controle. Dez anos depois, apareceu na França, o primeiro sistema PLC industrial, apelidado de *Pulsadis* (LEMOS, 2011).

De acordo com Vidal (2005), os sistemas de transmissão e de distribuição de energia elétrica formam, atualmente, a maior estrutura em forma de rede instalada no planeta e está presente em praticamente todas as localidades. Contudo, sempre foi visto como um meio pouco adequado para transmissão de dados em alta velocidade, principalmente devido às questões relativas a ruídos, interferências e perdas do sinal em função da distância.

Os avanços tecnológicos relativos à modulação de sinais, detecção e correção de erro, no entanto, têm gerado soluções eficientes para essa questão, tornando possível acreditar que as redes *PowerLine* suportarão taxas de transmissão de dados comparáveis às das redes de cabeamento estruturado (COSTA, 2009).

Para Vargas (2004), as questões inerentes aos ruídos e a radiações eletromagnéticas vêm sendo discutidas em congressos e seminários sobre PLC.

Através dos estudos realizados, um exemplo de problema identificado foi o sistema desenvolvido pela Nor.Web, no Reino Unido, ainda no início do desenvolvimento da tecnologia.

Esse sistema emitia um ruído nas ondas de rádio na faixa de 1-30MHz, que resultou em interferências nos sinais da agência de rádio do governo britânico. Consequentemente, o Departamento de Indústria e Comércio do Reino Unido proibiu o uso de PLC, o que contribuiu para a que a Nor.Web se retirasse do mercado.

Corrigir esse problema de interferência foi um dos focos da segunda geração PLC, e isso só foi possível a partir do momento que se adotou a tecnologia da Intellon, conhecida como *PowerPacket*. Essa tecnologia se vale da técnica *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (OFDM) de modulação de sinal (VARGAS, 2004).

O OFDM, também conhecida como *Discrete Multitone Modulation* (DMT), tem a função de reduzir a interferência gerada pelas ondas de rádio. Trata-se de uma técnica de modulação baseada na ideia de multiplexação por divisão de frequência (FDM), na qual múltiplos sinais são enviados em diferentes frequências, semelhante à tecnologia presente nos modems DSL (COSTA, 2009).

A técnica FDM geralmente é utilizada nos aparelhos de rádio e televisão. De maneira que, cada estação é associada a um canal (ou frequência) específico e, dessa forma, realiza suas transmissões. Já a OFDM é semelhante, porém mais complexa, pois divide uma única transmissão em múltiplos sinais com menor ocupação espectral (dezenas ou milhares). Esse processo, adicionado ao uso de técnicas avançadas de modulação, em cada componente, permite gerar um sinal com grande resistência à interferência, tornando o PLC uma tecnologia estável (COSTA, 2009).

Países como EUA, Espanha e Alemanha já dispõem do PLC como forma de acesso a Internet. No Brasil, a tecnologia ainda dá os seus primeiros passos. O formato *indoor*, onde apenas a rede local (dentro do mesmo prédio) é empregada como meio de envio de dados, avança lentamente, já sendo possível encontrar no mercado adaptadores *Powerline Homeplug AV*, Figura 1, que aproveita os fios da instalação elétrica existentes para transferir dados, ao passo que, transfere a energia tradicional. Isso significa que nenhuma fiação adicional é necessária e que os usuários podem simplesmente conectar o equipamento na tomada elétrica, para estabelecer imediatamente uma infraestrutura de rede. Com altas taxas de transferência de velocidade até 200 MBps, os usuários podem desfrutar do *streaming* de vídeo em HD (*High Definition*), jogos online, VoIP ou qualquer outra tarefa intensiva de largura de banda (CUNHA, 2012).



Figura 1 – Adaptador PowerLine Homeplug AV da marca TP-Link®

Conforme complementa Cunha (2012), o formato *outdoor* ainda encontra-se no estágio inicial. Empresas de geração e distribuição de energia elétrica (CEMIG, em Minas Gerais; ELETROPAULO, em São Paulo; Copel, no Paraná; LIGHT, no Rio de Janeiro e CEEE, no Rio Grande do Sul) estão em fase de teste, com a intenção de tornar possível que essa nova tecnologia venha a ser consolidada, proporcionando serviços de telemetria e acesso a banda larga.

Lemos (2011) afirma que um dos problemas que, de certo modo, inibe o desenvolvimento e a difusão da tecnologia PLC, no Brasil, é a falta de padronização dos dispositivos. No entanto a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) tem trabalhado na regulamentação sobre as condições de uso de radiofrequência por sistemas de banda larga por meio de redes de energia elétrica. Companhias de distribuição de energia elétrica como Light, Eletropaulo, COPEL, já realizaram testes com intuito de disponibilizar a tecnologia PLC como infraestrutura de acesso.

Desse modo, um provedor de rede PLC se torna dependente de um produto em específico, ficando sempre a mercê da evolução tecnológica e ao preço da tecnologia escolhida. Assim, este fato inibe o surgimento de concorrência, ponto fundamental para a evolução da tecnologia, que pode refletir no custo dos equipamentos.

Alguns grupos de discussão (*Institute of Electrical and Electronics Engineers, Open PLC European Research, Alliance Homeplug Alliance*) contribuem com ideias para alguns órgãos de padronização localizados primordialmente nos EUA, Europa e Japão.

3. Voice over internet protocol (VoIP)

Em meados da década de 1990 a empresa Vocal Tec Communication apresentou o primeiro software comercial de VoIP, o *Internet Phone*. Este software permitia a realização da troca de pacotes IP, que continham amostras de voz entre computadores pessoais. Anos depois, surgiram os primeiros sistemas que integravam softwares de voz sobre IP em aparelhos telefônicos comuns, iniciando a disseminação do VoIP nas empresas (COLCHER et al, 2005).

Sant'Anna (2010) relata que nos primeiros passos da implementação do VoIP muito se reclamava da qualidade da comunicação, uma vez que era comum a ocorrência de interrupções e *delay* na conversação, bem como desconexões e incompatibilidade. Conforme assegura Colcher (COLCHER et al, 2005), o primeiro avanço considerável se deu por volta de 1998 com o desenvolvimento de *gateways*, equipamentos que permitiram a conexão PC-para-telefone e mais tarde telefone-para-telefone.

Colcher (COLCHER et al, 2005) ainda garante que o grande divisor na história ocorreu quando fabricantes de grande porte começaram a produzir equipamentos específicos para VoIP, capazes de realizar *switching* (chaveamento, direcionamento).

Sendo assim, outro dispositivo passou a tratar das funções que antes eram realizadas pela CPU da máquina, tendo como exemplo a conversão de um pacote de dados de voz, a fim de que pudesse ser lido pela rede de telefonia convencional (e vice-versa).

Assim, o sistema VoIP ficou menos dependente da máquina do usuário, uma vez que o hardware tornou-se mais acessível, e por esse motivo, as grandes empresas passaram a implementar VoIP em suas redes internas.

A tecnologia VoIP possibilita implementações em cenários diferentes, ou seja, várias configurações entre os terminais. Esses terminais podem ser computadores ou mesmo telefones tradicionais. Neste caso, um conversor é necessário para converter os sinais de voz no formato que a rede de telefonia tradicional utiliza (ALVES, 2004). Os três cenários que podem acontecer usando VoIP são: PC a PC; PC a telefone ou vice-versa e telefone a telefone. No PC a PC a comunicação entre os usuários envolvidos ocorre através da rede IP e a codificação de voz é realizada pelas placas multimídia dos computadores. Já nos cenários PC a telefone ou vice-versa e telefone a telefone, existe a necessidade de pelo menos um *gateway* que conecte a rede da internet com a rede de telefonia convencional. Dessa forma a vantagem ou desvantagem de cada um dos cenários irá depender da necessidade de aplicação de um deles em ambientes corporativos ou residenciais (MARCONDES, 2002).

Segundo Oliveira (OLIVEIRA et al, 2001), existem vários softwares para este tipo de aplicação (*Softphones*), por exemplo, *3CX Phone System, Skype, Cisco IP SoftPhone, Zoiper*, que podem utilizar um protocolo proprietário ou padrão, permitindo, neste caso, a interação de softwares de diferentes fabricantes.

De acordo a Ribeiro (RIBEIRO, 2013), há basicamente dois processos simultâneos que ocorrem numa comunicação em VoIP, sendo uma, sinalização e controle de chamadas telefônicas (estabelecimento, acompanhamento e finalização) e a outra, processamento da informação a ser enviada e recebida (controle e transporte da mídia).

Para que a tecnologia VoIP funcione corretamente, possibilitando a comunicação entre os diversos terminais, essas etapas precisam ser realizadas.

Para tanto, os protocolos de VoIP são implementados cada um com sua função específica. Dentre as recomendações utilizadas, os protocolos H.323 e *Session Initiation Protocol (SIP)* são os mais utilizados.

O primeiro tem como objetivo especificar um sistema de comunicação multimídia em redes baseadas em pacotes e também estabelece padrões para codificar e decodificar os fluxos de dados de áudio e vídeo. O H.323 depende de diversos padrões e recomendações, constituindo, assim, uma pilha organizada de protocolos (COLCHER et al, 2005).

O protocolo SIP foi desenvolvido na década de 90 pela IETF (*Internet Engineering Task Force*), a primeira versão do protocolo foi lançada no ano de 1996, sendo que esta versão apenas estabelecia a sessão não apresentando outras funcionalidades como controles para conferencia, por exemplo. Pode-se defini-lo como um protocolo utilizado para estabelecer conferências e chamadas através de redes via IP, atuando na camada de aplicação do modelo OSI.

Oferece grande estabilidade e flexibilidade, pois foi projetado para interagir com outros protocolos da internet como UDP, TCP, IP e DNS, por exemplo. O SIP vem ganhado destaque e apresentando um papel importante na telefonia IP devido a sua simplicidade, segurança, facilidade de mobilidade e, principalmente, à capacidade de integrar serviços da internet Web, E-mail, Correio de voz, Mensagens instantâneas e outros.

O H.323 possui uma complexidade muito superior ao SIP, uma vez que, utiliza diferentes protocolos e não é baseado em texto, é baseado em codificação binária ASN.1 PER, a maior complexidade do H.323 pode ser observada na realização de uma chamada, o SIP envia apenas 4 pacotes, enquanto o H.323 necessita enviar 12 pacotes. O H.323 possui baixa integração com outros componentes da Internet e não oferece suporte a Firewall nem Mensagens instantâneas, pois, não foi inicialmente desenvolvido tendo como foco a Internet (JOHNSTON, 2009).

4. Fatores que influenciam na qualidade do sinal de voz

A *International Telecommunication Union* (ITU), agência que regula as ondas de rádio e telecomunicações internacionais, tem desenvolvido medidas e padrões para tentar quantificar a qualidade de reprodução de voz na rede telefônica (ALVES, 2004). Para a transmissão de voz (sobre redes de pacotes) existem fatores que influenciam diretamente na qualidade do serviço. De acordo a Sant`Anna (SANT`ANNA, 2010), os principais são: tempo de resposta, largura de banda, perda de pacotes e *jitter*.

O tempo de resposta, ou latência, medido em milissegundos (ms), trata-se de um parâmetro importante na garantia da QoS, uma vez que determina a velocidade da troca de informações entre as iterações e, quando este apresenta um valor elevado, a transmissão de pacotes se torna instável.

A largura de banda (*Bandwidth*) é a medida da capacidade de transmissão de um determinado meio, conexão ou rede, definindo, assim, a velocidade de tráfego específica para atender a vazão de cada aplicação. O fator vazão refere-se à quantidade de dados transferidos de um lugar a outro, sendo o parâmetro mais básico de QoS, e indispensável para operação adequada de qualquer aplicação. A Tabela 1 ilustra algumas variações de vazão típica.

Aplicação	Vazão (típica)
Voz	10 KBps a 120 KBps
Web (www)	10 KBps a 500 KBps
Transferência de Arquivos (Grandes)	10 KBps a 1 MBps
Vídeo (<i>Streaming</i>)	100 KBps a 1 MBps

Tabela 1 – Vazão típica para algumas aplicações

A perda de pacotes está diretamente relacionada com a quantidade de informações que chegam ao destino mantendo-se as características originais de quando saiu do emissor. Portanto,

em uma chamada telefônica, quando há um elevado número de perda de pacotes, a iteração apresentará falhas (picotes).

O jitter é a variação no intervalo entre a chegada de pacotes, ocasionado pelo comportamento aleatório do atraso na rede. Quando esse valor, obtido em milissegundos (ms), está elevado, a qualidade do serviço será comprometida.

5. Ferramentas e cenários

Nos testes foram empregadas as seguintes ferramentas: computadores, adaptadores PLC, eletroeletrônicos e softwares.

Dois Notebooks foram utilizados sendo um, o servidor de telefonia VoIP e o outro, cliente, ambos com Placa de Rede 10/100/1000 MBps. O servidor possui 4 Gb. de memória RAM e processador dual core de 2.2 GHz, e o cliente possui 2 Gb. de memória RAM e processador dual core de 1.2 GHz.

Utilizou-se dois Adaptadores PLC de modelo TL-PA211, padrão *Homeplug AV*, com 200 MBps de taxa de transferência e alcance de 300 metros, anunciados pelo fabricante.

Os equipamentos eletroeletrônicos utilizados foram: máquina de lavar roupa, com potência de 330 w; liquidificador, com potência de 350 w e microondas, com potência de 850 w, todos com tensão de funcionamento de 220 v, pois as cargas geradas por eletrodomésticos afetam significativamente as redes PLC, esses equipamentos geram interferências que prejudicam o bom desempenho do sistema (CUNHA, 2012), porém, outros equipamentos como lâmpadas e TVs, por exemplo, podem ser levados em consideração.

Três softwares (*3CX Phone System*, *Iperf* e *JPerf*) foram utilizados para a realização dos testes, sendo todos gratuitos. O *3CX Phone System* possibilita configurar um servidor VoIP e gerar chamadas na rede, utilizando o protocolo SIP para sinalização. O *Iperf* é um gerador e analisador de pacotes, do tipo cliente/servidor, que possibilita testar e medir alguns parâmetros na rede (largura de banda, *jitter*, entre outros). O *JPerf* apresenta a mesma finalidade do anterior, porém este possui uma interface gráfica, que possibilita gerar gráficos em tempo real.

Para a realização dos testes, dois cenários, no ambiente domiciliar, serviram como referência. No primeiro utilizou-se uma rede elétrica interna (*indoor*) ativa, ou seja, uma linha de tomadas de baixa tensão para testes PLC. Também foram utilizados dois notebooks, sendo um servidor e o outro, o cliente VoIP, ambos com o aplicativo *3CX Phone System*, configurados para a realização da chamada telefônica. Neste cenário usou-se dois adaptadores PLC, dispostos a uma distância de aproximadamente 7 metros entre si, de forma a contribuir na análise da qualidade da comunicação VoIP, conforme pode ser observado na Figura 2.



Figura 2 – Cenário 1

No cenário 2 foram adicionados três aparelhos eletroeletrônicos (liquidificador, máquina de lavar roupas e forno microondas), com as características apresentadas na Tabela 2.

<i>Equipamentos</i>	<i>Potência (W)</i>	<i>Tensão (V)</i>
Liquidificador	350	220
Máquina de lavar roupas	330	220
Forno microondas	850	220

Tabela 2 – Potência dos equipamentos utilizados

O cenário acima referido foi montado a partir da tentativa de aumentar o nível de ruído na rede elétrica realizando, assim, uma análise mais profunda de uma comunicação VoIP em redes PLC (Figura 3).



Figura 3 – Cenário 2

6. Testes

Nos cenários 1 e 2, do servidor para o cliente, foram feitas oito chamadas, divididas em quatro chamadas no cenário 1 e quatro chamadas no cenário 2. O tempo de duração de cada ligação foi cerca de um minuto. Em todas as chamadas foram realizados alguns testes para obter o tempo de resposta, a largura de banda, a perda de pacotes e o *jitter*.

Utilizou-se o comando *ping* no terminal do sistema operacional Windows, endereçado ao cliente VoIP, para obter o tempo de resposta em milissegundos (ms), como pode ser verificado na Figura 4.

```

Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe

Pinging 169.254.84.95 with 32 bytes of data:
Reply from 169.254.84.95: bytes=32 time=3ms TTL=128
Reply from 169.254.84.95: bytes=32 time=3ms TTL=128
Reply from 169.254.84.95: bytes=32 time=3ms TTL=128
Reply from 169.254.84.95: bytes=32 time=5ms TTL=128

Ping statistics for 169.254.84.95:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 3ms, Maximum = 5ms, Average = 3ms
    
```

Figura 4 – Tempo de resposta no terminal do Windows

Para aferir a largura de banda, medida em MBps, empregou-se o analisador de tráfegos *Iperf* (Figura 5).

O software foi configurado em modo servidor no transmissor VoIP, e cliente no receptor VoIP, para que houvesse uma troca de informações entre si e, conseqüentemente, possibilitasse a análise inerente ao parâmetro em foco.

```

Administrator: C:\Windows\system32\cmd.exe - iperf -s

Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 64.0 KByte (default)
-----
[ 4] local 169.254.182.109 port 5001 connected with 169.254.84.95 port 50128
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[ 4]  0.0-10.1 sec  28.8 MBytes  23.8 Mbits/sec
    
```

Figura 5 – Largura de banda utilizando o *Iperf* (modo servidor)

Com o *JPerf*, através de uma varredura na transmissão, obtiveram-se outras características referentes ao status da rede, como a porcentagem de pacotes perdidos e o *jitter*, conforme Figura 6. Para este software a configuração foi similar ao anterior, sendo o cliente e o servidor aplicados no transmissor e no receptor VoIP, respectivamente.

As ferramentas referidas foram adotadas com a finalidade de mensurar a viabilidade de implantação do serviço VoIP em redes PLC, oferecendo suporte para a obtenção dos resultados.

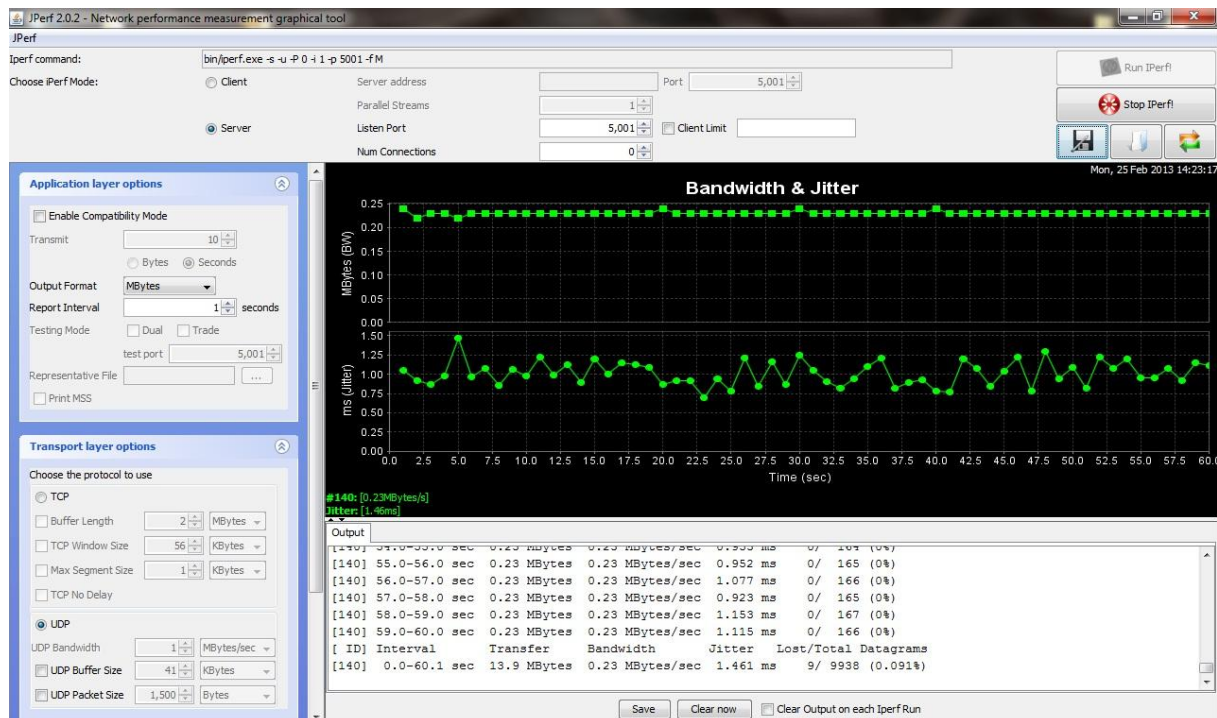


Figura 6 – Porcentagem dos pacotes perdidos e o jitter através do JPerf

7. Resultados

Com base nos testes realizados no cenário 1 e cenário 2 foi possível obter resultados referentes ao tempo de resposta, largura de banda, perda de pacotes e jitter, considerando as quatro chamadas efetuadas em cada cenário.

Fazendo menção aos testes que verificaram o tempo de resposta, em todas as ligações, os valores obtidos em ambos os cenários não apresentaram disparidade significativa.

Isso mostra que mesmo com a inserção de equipamentos eletroeletrônicos, causadores de ruídos (cenário 2), o transporte de voz na rede não foi comprometido. A Figura 7 apresenta o tempo de resposta encontrado em milissegundos (ms).

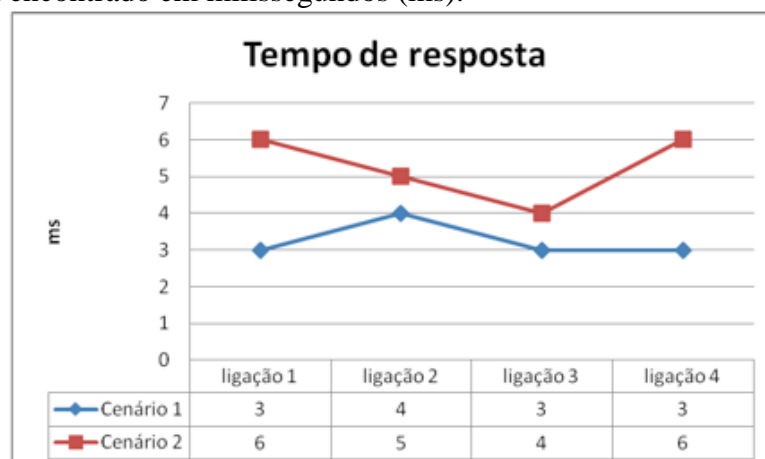


Figura 7 – Resultados do tempo de resposta

Em acordo à norma G.114 da *International Telecommunication Union* (ITU), o tempo de resposta ideal para a realização de ligações de voz (com qualidade) na rede de dados, deve ser abaixo de 150 ms. Desta forma, existindo atrasos acima desse patamar, haverá sobreposição das falas nas chamadas, ou seja, a perda de sincronização (SANT`ANNA, 2010).

Portanto, o resultado encontrado na pesquisa foi bem abaixo do recomendado pela norma, o que viabiliza a realização dessas chamadas.

De acordo com os testes realizados para obtenção da largura de banda, considerando as quatro ligações efetuadas em ambos os cenários, percebeu-se que as velocidades de tráfego foram alcançadas na faixa de Megabytes por segundo (MBps). Deste modo, pode-se inferir que em redes *indoor*, a uma distância aproximada de sete metros, se torna viável empregar a técnica PLC para diversas aplicações, inclusive VoIP. A Figura 8 apresenta a largura de banda obtida em MBps.

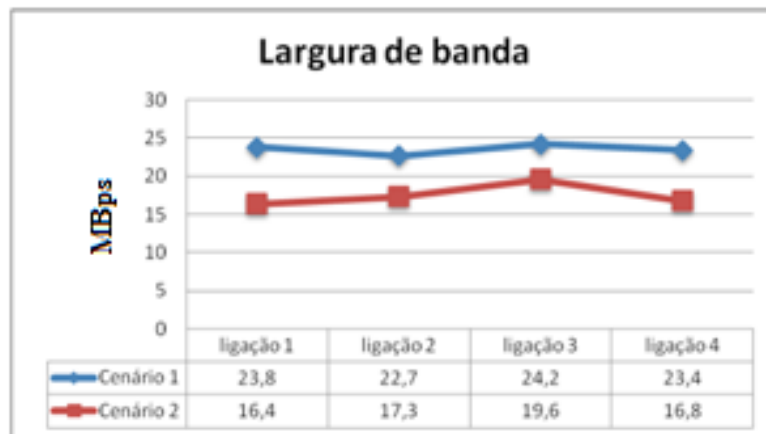


Figura 8 – Resultados da largura de banda

Conforme especifica a ITU, a rede deve dispor de uma largura de banda maior que 30 KBps, para atender uma vazão de dados de voz com qualidade. Assim, foi possível perceber que os requisitos mínimos foram atendidos nos testes realizados.

Baseando-se nos testes que analisaram a porcentagem de perdas de pacotes nos dois cenários, durante as ligações, não ocorreram perdas significativas de informações a ponto de inviabilizar a comunicação em voz via rede elétrica, conforme pode ser verificado na Figura 9, que apresenta os dados em porcentagem.

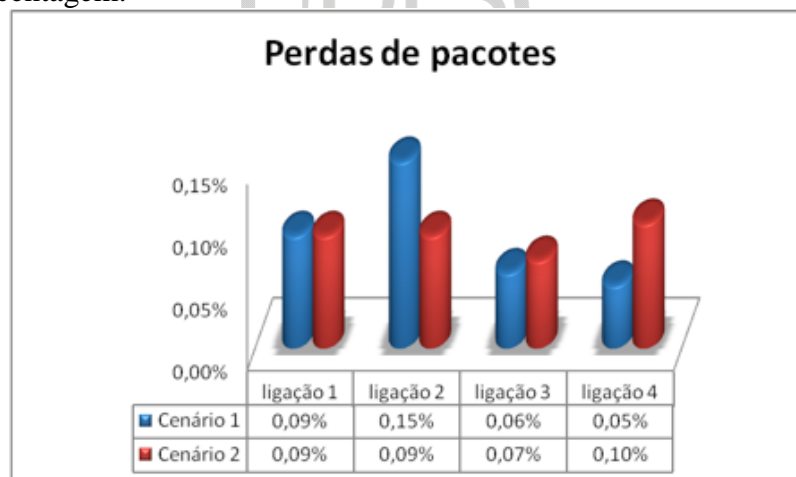


Figura 9 – Resultados das perdas de pacotes

Segundo Alves (2004), a perda de pacotes tolerável para não comprometer uma chamada VoIP deve ser menor que 10%, o que demonstra que os resultados encontrados estão em conformidade com o parâmetro estabelecido.

O *jitter*, que se trata da variação do tempo de resposta, mensurado a partir dos testes efetuados nos cenários 1 e 2, não apresentou taxas elevadas para nenhuma situação.

As avaliações expuseram uma mínima diferença, permitindo deduzir o bom desempenho da técnica em estudo, para uma rede elétrica interna. A Figura 10 apresenta o parâmetro jitter obtido em milissegundos (ms) nas quatro ligações.

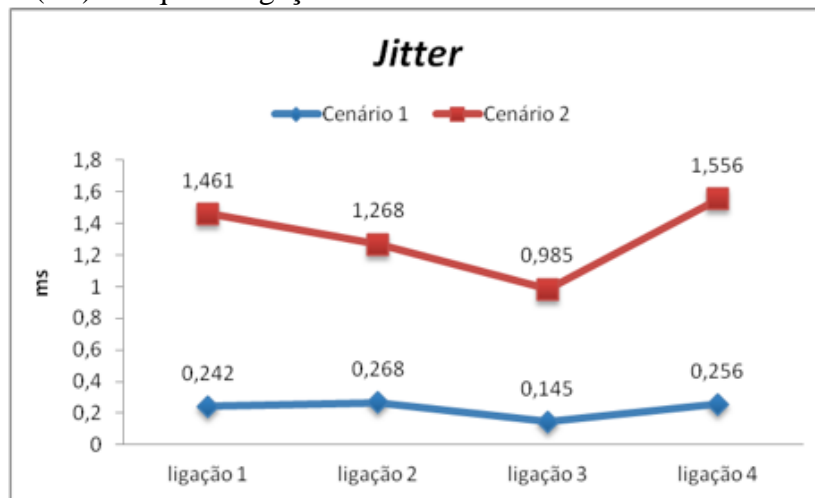


Figura 10 – Resultados do jitter

Em comunicações telefônicas, os fluxos de pacotes de voz devem chegar ao destino numa harmonia constante conservando, preferencialmente, o mesmo ritmo com que foram gerados. Se o jitter for elevado, mesmo mantendo-se o atraso dentro dos limites aceitáveis, a qualidade da comunicação vai decrescer até se tornar impraticável. Em conformidade com Ribeiro (2013), o jitter não pode ultrapassar 20 ms. Logo, o resultado apresentado é menor que o especificado.

Em virtude do exposto, infere-se que para todos os resultados mantiveram-se os níveis satisfatórios, mesmo no ambiente representado pelo Cenário 2, que caracterizou-se pela presença de agentes causadores de ruídos (equipamentos eletroeletrônicos). Dessa maneira, foi possível compreender que a utilização das redes PLC, por meio da aplicação do serviço VoIP, se torna viável.

Tendo como base os resultados obtidos, mesmo sendo a rede elétrica um meio susceptível às interferências eletromagnéticas, ainda assim, estas são insignificantes quanto ao uso dessa tecnologia em nos cenários propostos.

8. Considerações Finais

A ideia de poder utilizar as redes de transmissão e distribuição de energia elétrica, para propagar dados em um único meio, tem revelado o grande potencial que a tecnologia PLC possui. Por conta disso, há um enorme interesse por parte das operadoras de telecomunicações, concessionárias de energia elétrica e empresas em adotar essa forma de acesso. Mesmo sendo uma tecnologia antiga, ainda existem fatores que a tornam alvo de questionamentos, já que a rede elétrica não foi projetada para este fim, cabendo sempre pesquisas que contribuam para o seu desenvolvimento.

Foram analisados quatro parâmetros para a qualidade das redes PLC utilizando o serviço VoIP: tempo de resposta, largura de banda, perdas de pacotes e jitter. No primeiro caso, para as quatro ligações efetuadas, em ambos os cenários, o tempo de resposta variou entre 3 ms e 6 ms, resultados bem abaixo do limite de 150 ms. Para o caso do parâmetro largura de banda, os resultados obtidos experimentalmente para as quatro ligações efetuadas, nos cenários apresentados, variaram entre 16,4 MBps e 24,2 MBps, estes valores estão acima do limite mínimo de 30KBps.

Com resultados variando entre 0,05% e 0,15% para as perdas de pacotes, em ambos os cenários, para as quatro ligações efetuadas, pode-se concluir que não há comprometimento das

chamadas, pois tais valores estão bem abaixo de 10%. Para o último parâmetro analisado, o *jitter*, assim como os parâmetros anteriores, apresentou para todos os casos realizados valores entre 0,145 ms e 1,556 ms, não ultrapassando o valor de 20 ms de tolerância.

Desta forma, através deste estudo que analisou a qualidade das redes PLC por meio da aplicação do serviço VoIP, buscou-se desenvolver um documento que reúne informações possíveis de colaborar com o surgimento de trabalhos futuros. Foram tratadas diversas características intrínsecas a respeito de considerar a rede elétrica como um canal de comunicação, tendo como norteadores os testes e ferramentas utilizadas.

Ainda foi possível verificar que a tecnologia PLC atingiu altos níveis de qualidade, uma vez que, apesar de a rede elétrica ser tida como um meio instável, as soluções como a utilização de protocolos robustos e técnicas de modulação eficazes.

Dessa forma permitiram contornar falhas e possibilitar o emprego dessa técnica, tornando-a viável até para uma aplicação VoIP, que por ser sensível à erros requer uma boa qualidade de tráfego.

Sendo assim, essa tecnologia se apresenta como uma importante proposta na prestação de alguns serviços, não a considerando como uma forma de substituir as outras existentes, mas sim complementá-las, a fim de contemplar regiões que não dispõem de acesso a uma infraestrutura de comunicação, servindo de aliado para a inclusão digital. Visto que permite a transmissão de dados através da corrente elétrica, o que atualmente existe em quase todas as localidades.

Referências

ALVES, D. D., **Estudo de implantação do serviço Voz sobre IP na rede de dados da UNIMONTES**, Monografia (Graduação em Sistemas de Informação) – Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2004.

COLCHER, S., et al. **VoIP: Voz sobre IP**. 3ª Tiragem. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

COSTA, J. S. S., **Internet Via Rede Elétrica**. Monografia (Graduação em Sistemas de Informação) – Faculdades Unificadas Doctom de Cataguases, Cataguases, 2009.

CUNHA, A. F., **PLC: Power Line Communication**. Disponível em <<http://www.osestoreletrico.com.br/web/a-revista/edicoes/141-plc-power-line-communication.html>> Acesso em: 09 de nov. 2012.

JOHNSTON, A. B., **SIP: Understanding the Session Initiation Protocol**. 3ª Edição. Norwood: Artech House, 2009.

LEMOS, J. P. G., **Avaliação da rede Homeplug para suporte de aplicações industriais**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) Universidade do Porto, Porto, 2011.

MARCONDES, C., **Tutorial de Voz sobre IP**. Disponível em <http://www.rnp.br/_arquivo/sci/2002/voip.pdf> Acesso em: 10 de dez. 2013.

OLIVEIRA, S. et al, **Telefonia IP para ambientes móveis usáveis**. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, Florianópolis: 2001. p. 542-558.

PARENTE, D. A., **Estudo de Sistemas PLC (Power Line Communications)**. Monografia (Graduação em Teleinformática) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

PASCALICCHIO, A. C., **Perspectiva econômica e modelo de negócio da tecnologia de telecomunicação nas redes de distribuição de energia elétrica no Brasil**. Tese (Pós-Graduação em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo 2011.

PINTO, E. L. e ALBUQUERQUE, C. P., **A técnica de transmissão OFDM**. Revista Científica Periódica, Rio de Janeiro, Volume 5, Número 01, p. 1-10, Junho de 2012.

RIBEIRO, G. S., **Voz sobre IP II: A Convergência de Dados e Voz**. Disponível em <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialvoipconv2/default.asp>> Acesso em: 19 de mar. 2013.

SANKAKO, E. H.; **Diferença entre soluções voip com H.323 e SIP**, 46f. Monografia (Especialização em Redes de Computadores e Comunicação de Dados) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

SANT`ANNA, I. P., **Implantação de telefonia VoIP no centro de tecnologia da UFTJ**. Monografia (Graduação em Eletrônica e Computação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

VARGAS, A. A., **Estudo sobre comunicação de dados via rede elétrica para aplicações de automação residencial/predial**. Monografia (Graduação em Engenharia da Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

VIDAL, A. M., **Estudo do estado da arte e análise de desempenho de sistemas de comunicação PLC de Banda Larga**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

