

FACULDADE SÃO FRANCISCO DE ASSIS
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Andersen de Paula Silva

Trabalho de Conclusão de Curso

Porto Alegre
2018

Andersen de Paula Silva

Smart Grid
Uma Breve Análise Sobre os Sistemas de Comunicação

Artigo apresentado à Faculdade São Francisco de Assis, como parte integrante dos requisitos do Trabalho de Conclusão de Curso.

Orientador: Prof. Jeanine dos Santos Barreto

Porto Alegre

2018

RESUMO

As Smart Grids são redes inteligentes de transmissão e distribuição de energia, baseadas na comunicação interativa entre todas as partes da cadeia de conversão de energia. Elas são formadas por um conjunto de equipamentos e possibilidades, na área da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, que conectam grandes e pequenas unidades descentralizadas de geração com os consumidores, para formar uma estrutura ampla, controlar a geração de energia e evitar sobrecarga da rede, uma vez que a quantidade de energia gerada serve para suprir a demanda. Nesse artigo são trazidos os componentes que implementam as redes inteligentes e é realizado um debate sobre a migração das redes atuais para as *Smart Grids*. Para avaliar as novas tecnologias, foi estabelecido um paralelo entre as tecnologias de comunicação Zigbee, Z-Wave e PLC, com o intuito de exemplificar e fazer o comparativo de desempenho das mesmas. Espera-se que este artigo traga esclarecimentos sobre o atual sistema elétrico nacional e conhecimento dos conceitos de *Smart Grid*, facilitando a compreensão da natureza das tecnologias abordadas e de suas aplicações.

Palavras-Chave: Smart Grid. ZigBee. PLC. Z-Wave.

ABSTRACT

Smart Grids are intelligent transmission and distribution networks based on interactive communication between all parts of the energy conversion chain. They are formed by a set of equipment and possibilities in the area of generation, transmission and distribution of electric power, which connect large and small decentralized generation units with consumers, to form a broad structure, control power generation and avoid overload of the network, since the amount of energy generated serves to supply the demand. This article brings the necessary components that implement the smart grids and a debate about the migration of the current networks to the Smart Grids is carried out. In order to evaluate the new technologies, a parallel was established between Zigbee, Z-Wave and PLC communication technologies, with the purpose of exemplifying and comparing their performance. It is hoped that this article will provide clarification on the current national electricity system and knowledge of

Smart Grid concepts, facilitating an understanding of the nature of the technologies and their applications.

Keywords: Smart Grid. ZigBee. PLC. Z-Wave.

1 INTRODUÇÃO

Uma Smart Grid, ou rede elétrica inteligente, tem a ideia inovadora de mudar a forma pela qual a distribuição da energia é feita, desde a geração até os consumidores finais. Uma das principais mudanças seria a geração de energia de forma distribuída, o amplo uso de fontes renováveis, o uso de carros elétricos, um intenso monitoramento da rede elétrica, o uso de medidores inteligentes, entre outros.

Com as Smart Grids, o cliente passa a ser importante e fundamental no funcionamento e no controle da rede elétrica. Os consumidores, que no sistema tradicional apenas consomem energia, podem ter nesse novo modelo a experiência de produzir a energia elétrica. Com tudo isso, os medidores inteligentes localizados nas residências passam a gerar uma quantidade enorme de informação que poderá ser usada para o gerenciamento e controle do sistema.

A Geração Distribuída (GD), além de ser uma área chave para a sustentabilidade e geração de energia limpa, causa um grande impacto em todo o sistema de transmissão e distribuição de energia, uma vez que altera toda a concepção do sistema atual. De fato, com o advento das novas tecnologias de geração de energia de forma distribuída, as redes elétricas e de comunicação passarão a interligar milhões de fontes de energia renovável estocástica (KESHAV; ROSENBERG, 2011).

No Brasil, a demanda por energia elétrica tem crescido ano após ano, acompanhando o crescimento da população e o crescimento econômico. Estimativas do Banco Central preveem um crescimento de 2,80% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro em 2018, e de 3,0% para 2019, ao passo que a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estima um crescimento de consumo de energia elétrica de 1,9% ao ano entre 2016 e 2026, assim chegando à elasticidade-renda de 0,76. O consumo de energia per capita crescerá 13% no decorrer do período em estudo.

Aliada ao crescimento da demanda, tem-se ainda uma relevante porcentagem da energia elétrica que é perdida nos sistemas de transmissão e distribuição, sendo que na distribuição existe a maior quantidade de perdas.

Devido aos problemas ambientais e à dificuldade de recursos naturais que o planeta Terra vem enfrentando, e também devido à necessidade crescente por mais energia para suprir as necessidades humanas, é necessário que os sistemas elétricos sejam energeticamente eficientes.

“Por definição, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. A promoção da eficiência energética abrange a otimização das transformações, do transporte e do uso dos recursos energéticos, desde suas fontes primárias até seu aproveitamento. Adotam-se, como pressupostos básicos, a manutenção das condições de conforto, de segurança e de produtividade dos usuários, contribuindo, adicionalmente, para a melhoria da qualidade dos serviços de energia e para a mitigação dos impactos ambientais.” (MIKOS; SCHIOCHET; COSTA, 2018).

É corrente o entendimento de que a implantação de uma Smart Grid promove melhorias na utilização final da energia, através de medidas de eficiência energética, da redução da necessidade de novos projetos de geração e transmissão, bem como da integração de projetos de energia renovável na rede.

O presente artigo está estruturado em cinco seções. Na primeira seção é apresentada a introdução, contendo a contextualização do tema, e os objetivos do trabalho. Na segunda seção, o referencial teórico trata sobre o conceito de rede de energia elétrica tradicional e o conceito de Smart Grid, mostrando a situação dessa tecnologia no mundo e no Brasil, e também sua forma de comunicação. Na terceira seção apresenta-se o método utilizado na pesquisa. Na quarta seção as principais informações obtidas na pesquisa são apresentadas e analisadas. A quinta seção contém um comparativo das formas de comunicação que podem ser consideradas as mais utilizadas. Na sexta seção encontra-se a conclusão do estudo e as limitações e possíveis estudos futuros, seguida das referências.

1.1 Objetivos

O objetivo geral do presente artigo é discutir a experiência e aprofundar o conhecimento sobre redes de energia inteligentes, apresentando o cenário energético.

Os objetivos específicos desse estudo são:

1. Realizar revisão bibliográfica sobre a rede inteligente.
2. Levantar tecnologias existentes de Smart Grids, que estão sendo implementadas em consumidores residenciais e comerciais.
3. Analisar, discutir e comparar as principais redes de comunicações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O sistema atual de energia elétrica nacional é baseado em grandes usinas de geração que transmitem energia através de sistemas de transmissão de alta tensão,

que, entretanto, atingem os sistemas de distribuição de média e baixa tensão. O fluxo de energia é unidirecional e a energia é transmitida e tem seu controle feito por centros de operações (MIKOS; SCHIOCHET; COSTA, 2018).

Mikos, Schiochet e Costa (2018) comentam que o formato usual de medição do consumo nem sempre é justo com o consumidor final, já que, com medidores defasados e com uma diversidade muito grande de funcionários passando de casa em casa para a coleta de dados, a probabilidade de erros é grande.

Por isso existe a proposta mundial da criação da Smart Grid, que significa rede inteligente. A Smart Grid consiste em uma aplicação de tecnologia de informação para o sistema elétrico, integrada ao sistema de comunicação e à infraestrutura de rede automatizada (MIKOS; SCHIOCHET; COSTA, 2018).

Esse conjunto tecnológico seria o responsável por significativos ganhos de eficiência energética, por permitir automação e operação remota do sistema, por melhorar a fiscalização e monitoramento das condições de rede e qualidade de energia, por incrementar a capacidade de tomada de decisões nas diferentes fases do setor, por viabilizar tecnicamente ao consumo programado, inteligente, de energia, dentre outros. (RIBEIRO, 2011, p.3).

2.1 Rede convencional de energia elétrica

Camargo (2018) afirma que a forma como a distribuição é feita na rede atual é arcaica, pois depende de uma única fonte geradora e, caso ela falhe, toda rede fica sem abastecimento.

Além disso, a rede foi projetada para uma geração centralizada, longe dos grandes centros consumidores, com um fluxo unidirecional de comunicação e de energia. Outro grande problema a ser resolvido no sistema atual é que não há interação entre os serviços e os consumidores (PEPERMANS et al., 2005). Ademais, devido ao aumento da população e ao crescimento do número de equipamentos em uso nas residências, a demanda por energia tem crescido cada vez mais nos últimos anos.

Os consumidores residenciais são obrigados a pagar pelo serviço da concessionária, que é a sua única fornecedora de energia, e só informa o quanto de energia foi usado e qual o valor a ser pago por esse gasto no final do ciclo de faturamento, já que não acompanha o uso de energia em tempo real (LO; ANSARI, 2012).

A importância da migração do sistema atual para um sistema que utilize a tecnologia Smart Grid vem da idealização de um cenário em que o consumidor final tenha maior interação e atuação com a rede de energia e com seu próprio consumo (MIKOS; SCHIOCHET; COSTA, 2018).

2.2 Rede Inteligente de Energia Elétrica – Smart Grid

O termo Smart Grid foi usado pela primeira vez em 2005, em um artigo escrito por S. Massoud Amin e Bruce F. Wollenberg, publicado na revista IEEE P&B, com o título de “Toward A Smart Grid”. Uma Smart Grid é caracterizada pelo uso de tecnologias digitais, de telecomunicações, de tecnologias de informação (TI), e de sensoriamento e operação remota de instalação (MIKOS; SCHIOCHET; COSTA, 2018).

Na Smart Grid as redes de distribuição de energia são automatizadas com medidores de qualidade e de consumo de energia em tempo real. Mikos, Schiochet e Costa (2018) explicam que as residências ficam conectadas logicamente às concessionárias de energia, interagindo em tempo real e até fornecendo energia para a rede. Essa inteligência também é aplicada no combate à ineficiência energética, isto é, à perda de energia ao longo da transmissão.

2.2.1 Smart Grid no Mundo

A inserção de Smart Grid é uma missão difícil e ainda se apresenta em estágio experimental em diversos países do mundo. Mikos, Schiochet e Costa (2018) compreendem que o desenvolvimento das redes inteligentes só é possível com a centralização de diversos tipos diferentes de tecnologias de diferentes segmentos, desde as tradicionais do segmento, elétrico, da informação e de telecomunicações, de sensoriamento e monitoramento de equipamentos, até tecnologias relacionadas à segurança dos dados que poderão trafegar pela rede, estabelecendo então desenvolvimento de práticas operacionais que permitam a conexão de tais tecnologias, tornando possível a operação em conjunto de todas elas.

Os mesmos autores comentam que, como vários dos obstáculos inerentes à inserção de Smart Grids são habituais a todos os países, foi elaborado em julho de 2010 em Washington, um grupo de trabalho internacional, o Internacional Smart Grid

Action Network (ISGAN). Todos os países que integram do ISGAN apresentam projetos pilotos de implantação de redes inteligentes de energia elétrica.

2.2.2 Smart Grid no Brasil

No Brasil, foi criado um grupo de trabalho no Ministério de Minas e Energia, com a finalidade de estudar o tema da Smart Grid no país. Esse grupo definiu que cinco funcionalidades devem estar presentes para que uma rede elétrica possa ser caracterizada como inteligente: mensurar grandezas; transmitir os dados medidos (telecomunicações); processar as informações recebidas (informática); tomar decisões de forma automática, ou ajudar o operador na tomada de decisões (informática); e atuar de forma remota na rede (telecomunicações) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2012).

Existem, no Brasil, iniciativas governamentais e privadas, que buscam o desenvolvimento de tecnologias e alterações na regulação do segmento elétrico nacional, com vistas à implantação de redes inteligentes de energia elétrica. Diversas distribuidoras de energia elétrica nacionais também estão conduzindo projetos pilotos na área (MIKOS; SCHIOCHET; COSTA, 2018).

No Brasil, assim como em outros países em desenvolvimento, um dos mais relevantes motivadores para a implantação de Smart Grids é a diminuição de perdas comerciais advindas do furto de energia e de fraudes em medidores, explica Bandeira (2018).

2.3 Comunicações em Smart Grid

A primeira aplicação que permitiu a utilização da rede de distribuição elétrica para transmissão de determinados sinais de controle foi desenvolvida em 1930. Conhecido como Ripple Control (RPC), caracterizava-se pela utilização de baixas frequências, proporcionando comunicação a taxas bem baixas e potência elevada para a transmissão. O sistema possibilitava comunicação unidirecional, sendo aplicadas tarefas simples como acionamento da iluminação pública e o controle de cargas. Até a década de 1980, novos sistemas com taxas ainda modestas foram desenvolvidos (FERREIRA, 2018).

No entendimento de Mikos, Schiochet e Costa (2018), a transmissão de dados através das redes de energia elétrica gera muito interesse, sobretudo por ser possível aproveitar a infraestrutura das redes elétricas existentes, que cobrem grandes áreas, diminuindo as despesas de implementação dessa tecnologia de transmissão de dados.

Um ponto importante é que esse novo sistema elétrico depende de uma sofisticada infraestrutura de redes de comunicação, para dar suporte à comunicação entre os dispositivos inteligentes que monitoram e atuam na rede. Além disso, é necessário dar suporte às empresas de distribuição de energia e aos usuários, que podem consumir ou gerar energia (LOPES; FERNANDES; MUCHALUAT-SAADE, 2018).

Muitas são as possibilidades de tecnologias para comunicação, e são inúmeros os protocolos de comunicação para Smart Grid.

2.3.1 ZigBee – Comunicação Wireless

Lopes, Fernandes e Muchaluat-Saade (2018) conceituam o ZigBee como um conjunto de protocolos de comunicação, para redes sem fio, de curto alcance e baixa taxa de tráfego de dados. As redes do tipo ZigBee deram início a projetos em meados de 1998, quando diversas aplicações, que outrora eram desenvolvidas sob a ótica WiFi e Bluetooth, passaram a se tornar inviáveis por questões como gerenciamento de energia, ineficácia de banda alocada, complexidade de protocolos, dentre outras.

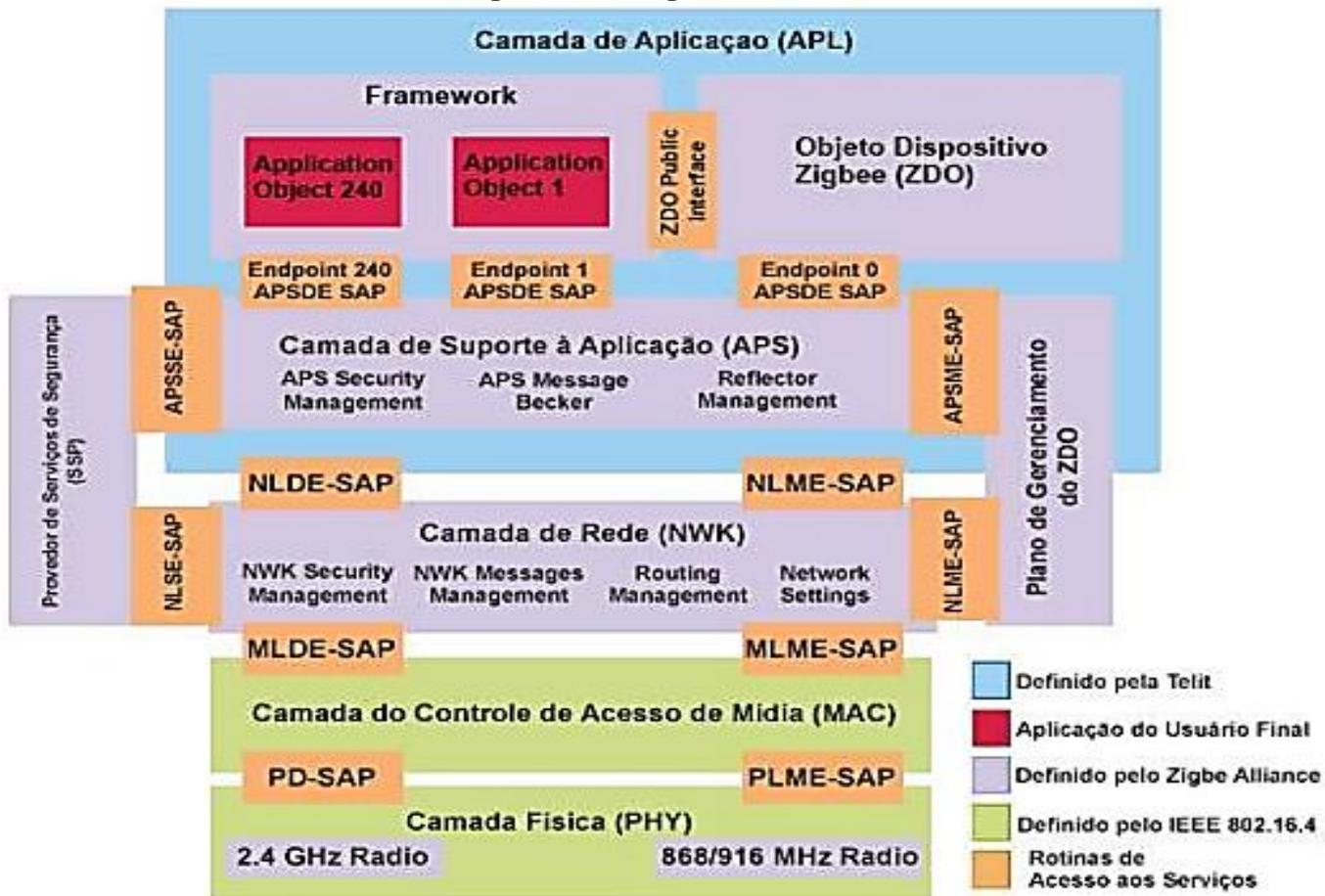
O padrão ZigBee envolve um conjunto de especificações para uma rede Wireless Personal Area Network (WPAN), que foi formulado pela IEEE na área de WPAN (802.15.4), também conhecida como WPAN/low-rate. Esse padrão fornece especificações para dispositivos que têm baixa taxa de transmissão, consumo de energia muito baixo e, portanto, são caracterizados por possuírem bateria de longa duração (RIBEIRO, 2018).

A arquitetura de pilha do protocolo ZigBee é dividida em camadas, conforme apresentado na Figura 1, cada uma delas fornece um conjunto específico de serviços para a camada. Uma entidade de dados provê um serviço de transmissão de dados e uma entidade de gerenciamento provê todos os outros serviços. Cada entidade de serviço expõe uma interface para a camada superior através de um Service Access

Point (SAP), e cada SAP dá suporte a um conjunto de primitivas de serviço para alcançar a funcionalidade requerida (RIBEIRO, 2018).

A operação da rede funciona com três tipos de aparelhos: o coordenador, o roteador e o dispositivo final. De acordo com Prestes, Andreotti e Sanchez (2018), o coordenador é o ponto inicial, que define um número identificador de rede e o canal a ser utilizado para transmissão. Além disso, o coordenador envia e também recebe informações dos roteadores que estão conectados a ele. Os roteadores, por sua vez, servem como caminho para tráfego das informações, repetindo o sinal até que chegue aos aparelhos finais. Esses dispositivos finais estão conectados a somente um roteador e, portanto, não podem retransmitir o sinal. Sua função é apenas receber a informação e acionar a carga desejada.

Figura 1: Pilha ZigBee



Fonte: Mikos, Schiochet e Costa (2014)

2.3.2 Z-Wave

Segundo Mikos, Schiochet e Costa (2018) a Z-Wave Alliance criou o Z-Wave para ser um protocolo de comunicação wireless, desenvolvido para automação residencial, mais especificamente para o controle remoto de aplicações de iluminação em ambiente residencial e comercial.

Segundo Mizusaki (2018), o Z-Wave trabalha unicamente sobre rádio um meio físico mais flexível que o Power Line Communication (PLC). Sua arquitetura básica é uma rede mesh, que possui dois tipos diferentes de transmissores conectados, que são os masters (controladores) e os slaves (aplicações), representados na Figura 2, com a facilidade de não ser necessário um grande planejamento da sua rede, pois todos os nodos podem agir como roteadores, o que expande o alcance.

Figura 2: Topologia Z-Wave



Fonte: Mikos, Schiochet e Costa (2014)

A potência de transmissão da Z-Wave gira em torno de dezenas de miliWatts, o que significa um custo nulo em comparação com os eletrodomésticos, além de permitir seu uso com pilhas. A confiabilidade do sistema é bem alta, com suporte a controle de fluxo de dados e evitando colisões (MIZUSAKI, 2018).

Mizusaki (2018) informa que a instalação e a configuração são facilitadas com a identificação automática de dispositivo, bastando apertar um botão para que o novo

dispositivo seja reconhecido e conectado à rede. Com uma taxa de comunicação de 9.600 Kbps a 40 Kbps, o Z-Wave é uma ótima solução para sistemas de automação residencial, servindo para controle de aplicações, sensoriamento e para conexões de controles remotos, que podem se beneficiar da arquitetura mesh e serem usados em qualquer cômodo da casa.

2.3.3 Power Line Communication (PLC)

Alonso (2018) tem demonstrado nos últimos anos, com uma aplicação do estudo sobre redes inteligentes de energia, que um número significativo de trabalhos tem colocado a tecnologia Power Line Communication como o principal candidato para estabelecer infraestruturas de comunicação em Smart Grids. A PLC é uma proposta de tecnologia de comunicação que se baseia em transmitir dados através da rede de transmissão de energia.

A topologia da rede, nesse caso, segue a mesma da rede elétrica. Mikos, Schiochet e Costa (2018) informam que, onde houver uma tomada, pode-se ter um ponto de acesso, sendo necessária apenas a instalação de um modem PLC, para que seja feita a separação entre o sinal de dados e o sinal de energia elétrica.

O sinal é transmitido por uma etapa de modulação antes de chegar à rede de energia, e normalmente o PLC trabalha na faixa de 9 kHz a 500 MHz dependendo da finalidade. Portanto, o sinal a ser transmitido é modulado sobre a onda senoidal de energia elétrica, que no Brasil tem frequência de 60 Hz (MIKOS; SCHIOCHET; COSTA, 2018).

Airoldi (2018) explica que a modulação é um processo de modificação do sinal da portadora pelo sinal da informação que se deseja transmitir. A portadora possui uma frequência mais alta que o sinal da informação e propicia a transmissão no meio a ser utilizado.

3 MÉTODO

De acordo com Silva e Menezes (2001) as pesquisas podem ser classificadas quanto à natureza, à forma de abordagem do problema, ao objetivo e ao procedimento técnico. O presente artigo foi desenvolvido nos preceitos do estudo exploratório, por meio de uma pesquisa bibliográfica.

Para a pesquisa bibliográfica, foram consultadas diversas referências relativas ao assunto em estudo, principalmente publicações feitas por grandes autores da área na Internet, com acesso público e que, portanto, possibilitaram que o presente trabalho pudesse ser fundamentado.

Segundo Marconi e Lakatos (1992); a pesquisa bibliográfica é o levantamento da bibliografia já publicada, em forma de livros, revistas, publicações avulsas e imprensa escrita. A sua finalidade é fazer com que o pesquisador entre em contato direto com todo o material escrito sobre um determinado assunto, auxiliando o cientista na análise de suas pesquisas ou na manipulação de suas informações. Ela pode ser considerada como o primeiro passo de toda a pesquisa científica.

Com o intuito de mostrar a relevância do presente trabalho, foi dada ênfase na situação atual da utilização da tecnologia Smart Grid, e foi apresentada uma análise crítica sobre sua utilização no Brasil. Os estudos relacionados especificamente às estruturas de comunicação propostas para utilização em redes de energia inteligentes são levados em consideração na elaboração das seções. As principais tecnologias de comunicação escolhidas, Power Line Communication (PLC), Z-Wave e ZigBee, são relacionadas, descritas e discutidas de acordo com as aplicações possíveis, seguindo o tema do trabalho. Finalizada a exploração bibliográfica acerca do assunto, torna-se possível apresentar um comparativo entre as três comunicações escolhidas, mostrando seus benefícios e as desvantagens em utilizá-las.

4 TRABALHOS RELACIONADOS

A presente seção visa apresentar alguns trabalhos relacionados à Smart Grid com os tópicos abordados anteriormente: Smart Grid no mundo, Smart Grid no Brasil, Comunicação Smart Grid.

Ferreira (2018) apresenta as ferramentas e métodos de monitoramento e controle do consumo que subsidiaram o desenvolvimento uma aplicação para uso em dispositivos móveis da plataforma Android.

Através dessa aplicação, o consumidor pode visualizar informações de seu consumo e, desta maneira, ter subsídios para tomar decisões relativas ao gerenciamento, controle ou adequação de seus hábitos de consumo. No referido artigo, o autor comenta sobre algumas das principais comunicações, mas não faz um comparativo para o uso da mesma.

Silva (2018) apresenta um estudo teórico da Qualidade de Energia em sistemas com Smart Grid. O principal embasamento concentra-se na preocupação da junção da Qualidade de Energia Elétrica (QEE) e Smart Grid. Uma análise da tendência crescente da geração distribuída foi discutida, visto que a ideia da rede inteligente é suprir o crescimento da demanda. A QEE foi destacada no referido artigo, na forma da presença de distúrbios elétricos, variações de tensão, ruídos e entre outros. Também foi dado destaque para o crescimento da demanda, a ponto de demonstrar a necessidade de ser feita a migração do sistema atual para um novo método para gerar confiabilidade e segurança juntamente com a QEE.

Silva (2018) cita a utilização de medidores inteligentes, que surgem com o intuito de possibilitar uma melhor gestão do consumo e maior integração com as concessionárias, aspecto também abordado no presente artigo.

Alonso (2018) apresenta a Smart Grid, com uma proposta de otimização das redes de energia, integrando-se meios de comunicação eficientes, fontes energéticas diversificadas e sistemas de gerenciamento através da automação e monitoramento de todo o sistema. Entretanto, o referido artigo mostra que se faz necessário o aprofundamento das tecnologias empregadas na infraestrutura de uma Smart Grid, principalmente as relacionadas aos meios de comunicação.

Alonso (2018) analisa os tópicos mais estudados na literatura como potenciais soluções para resolver algumas limitações das redes inteligentes no que se diz respeito, principalmente, à estruturação de meios de comunicação e à atual situação da implantação das Smart Grids no Brasil e no Mundo.

Lopes et al. (2018) explicam que, com o aumento de dispositivos controlados e monitorados, será necessária uma rede de comunicação altamente segura, confiável e com baixos retardos. No entanto, o mesmo sistema interconectado, que torna a rede elétrica mais inteligente, também traz novos desafios para este cenário, como segurança e confiabilidade. Os autores ainda apresentam, no referido artigo, as formas de comunicação e os possíveis riscos de ataque que as redes podem sofrer.

Mizusaki (2018) apresenta em seu artigo o fato de o mercado de automação residencial ainda ser considerado pouco desenvolvido, com uma grande diversidade de produtos, que são incompatíveis entre si. Essa falta de padronização acaba restringindo o consumidor, e tornando difícil a escolha e a aquisição de produtos. No

referido artigo, foi exemplificada a forma de comunicação que pode ser obtida nas residências.

Mizusaki (2018) ainda estabelece uma definição de casa inteligente, apresentando os padrões de comunicação para automação residencial mais comuns utilizados no mercado. O referido artigo faz uma análise pelo aspecto físico, determinando as aplicações mais adequadas para cada tecnologia.

5 COMPARATIVO DAS TECNOLOGIAS SMART GRIDS

Como as aplicações das tecnologias de comunicação em Smart Grid são bem diversificadas, e possuem diferentes padrões e características específicas, é necessário fazer uma análise e verificar qual tecnologia se aplica melhor à cada necessidade.

A ZigBee, que é baseada em um padrão global aberto, provê compatibilidade com o padrão IEEE 802.15.4. As Redes ZigBee, que são redes sem fio usadas em aplicações comerciais e de pesquisa, têm-se tornado bastante atrativas pelo fato de usarem um padrão aberto, pelo baixo custo e pelas características de consumo de seus componentes (DISSANAYAKE et al., 2018).

A ZigBee além de ser vantajosa pelo custo, e ter uma vida útil de bateria de até 2 anos, ainda tem um alcance de até 50m. Em compensação, seu ponto fraco é que, para usar seus protocolos, o desenvolvedor tem que fazer parte da ZigBee Alliance.

As redes ZigBee podem ser aplicadas em automação residencial e predial, em controles industriais, sistemas de gerenciamento de edificações, monitoramento ambiental, e também podem-se inserir neste contexto as redes de medição inteligente para as residências (DISSANAYAKE et al., 2018).

Já os sistemas que utilizam tecnologia Power Line Communication (PLC), fazem uso da própria rede elétrica para a transmissão de dados. A tecnologia PLC permite que as empresas de energia possibilitem criar uma rede de comunicações sobre a infraestrutura da rede de energia existente, transmitindo sinal de dados através dos mesmos cabos que transmitem energia. O PLC pode ser aplicado para uma infinidade de serviços de rede, como acesso à Internet, telefonia e medição remota (smart metering) (LEE et al., 2006).

De uma forma simplificada, esse sistema é formado por um equipamento denominado de Master PLC, que é instalado em um ponto próximo ao transformador

de energia elétrica, onde o sinal é injetado nos cabos de energia. Todos os clientes que estiverem conectados no circuito elétrico deste transformador estarão recebendo o sinal em todas as tomadas da rede local ou da residência

Uma Smart Grid, ou rede elétrica inteligente, tem a ideia inovadora de transformar a forma pela qual a distribuição da energia é feita, desde a geração até os clientes finais. Uma das mais relevantes transformações, passaria a ser a geração de energia de forma distribuída, o amplo uso de fontes renováveis, o uso de carros elétricos, um intenso monitoramento da rede elétrica, o uso de medidores inteligentes, entre outros.

Outro equipamento, chamado de Modem ou Adaptador PLC, é instalado em qualquer tomada elétrica na residência do usuário, para receber o sinal transmitido pelo Master PLC e disponibilizá-lo para ligar na placa de rede do computador com cabo de par trançado sem blindagem, o que se chama Unshielded Twisted Pair (UTP) (ZATTAR et al., 2012).

Uma das diferenças entre a ZigBee e a PLC está nos padrões usados, uma vez que a PLC utiliza IEEE P1901, enquanto a ZigBee utiliza IEEE 802.15.1. A PLC tem seus equipamentos especializados como ponto fraco, pois isso aumenta os custos. Além disso, ela recebe muita interferência eletromagnética devido à falta de blindagem nas linhas de transmissão, o alcance da PLC chega até 15Km em média tensão, e por isso ela se torna mais eficaz que a ZigBee em relação a esse aspecto. Entretanto, pelo baixo custo a ZigBee ainda se torna mais atrativa que a PLC.

Galeev (2018) ressalta que a Z-Wave tem padrão proprietário, regulamentado pela Z-Wave Alliance, que foi desenvolvido em 1999 para a automação residencial com comunicação wireless. O Z-Wave é muito similar ao ZigBee, e tem alcançado relativo sucesso pela sua abordagem.

A tecnologia Z-Wave utiliza rádio de baixo consumo operando na faixa Industrial Scientific and Medical (ISM) de comunicação, a cerca de 908MHz, com modulação Gaussian frequency-shift key (GFSK) e codificação Manchester, alcançando uma taxa de transmissão de até 40Kbps e tem um alcance médio de 30 metros. Apesar de ter um alcance relativamente curto, Mizusaki (2018) explica que a Z-Wave utiliza uma rede de malha, com todos os componentes sendo capazes de retransmitir os sinais até chegarem ao destino.

Prestes, Andreotti e Sanchez (2018) explicam que a escolha do ZigBee, em detrimento do Z-Wave, se deve ao fato de que ZigBee suporta um número maior de nós, permitindo a ampliação do sistema para diversas salas de modo integrado. Além disso, o ZigBee é um protocolo aberto, e por isso possui um grande número de fabricantes, o que torna a aquisição dos equipamentos mais viável financeiramente.

A rede Z-Wave pode ter até 232 dispositivos colocados a uma distância máxima de 30 metros. Durante o uso do equipamento com a tecnologia Z-Wave, os dispositivos “aprendem” os melhores caminhos para a troca de informação. Desse modo, um comando como desligar todas as luzes pode, em um primeiro momento, demorar um minuto e, uma semana depois, demorar apenas dez segundos, pois as rotas para informações foram otimizadas.

Apesar da tecnologia Z-Wave ser uma solução interessante principalmente para residências já construídas, a velocidade na transmissão dos dados é baixa, o que ainda inviabiliza a transmissão de imagem, som e outros dados. Ademais, para soluções que necessitem de mais de 30 dispositivos, a solução Z-Wave tende a ficar mais cara do que um sistema que utiliza comunicação por cabos.

Em função das especificações de cada protocolo apresentado, e das características das aplicações de monitoramento e controle, levando em consideração aspectos como consumo, custo, latência, tamanho de pacotes e razão de dados, depreende-se que a melhor solução seria a implementação de um padrão misto entre PLC e ZigBee, o que provavelmente traria melhores benefícios, com relação à usabilidade e custo.

6 CONCLUSÃO

O conceito de Smart Grid, representa a evolução natural e necessária da rede elétrica. A utilização dessa tecnologia promove várias melhorias, facilitando o monitoramento do consumo de energia nas residências, deixando o consumidor mais informado e promovendo o uso mais consciente da energia elétrica.

A Smart Grid vem como uma solução para vários problemas, pois ela busca englobar o que há de mais avançado na tecnologia de automação, comunicação e computação para a melhoria do sistema elétrico.

Todas as tecnologias estudadas para a elaboração do presente artigo mostraram-se eficientes e atendem com êxito ao que se propõem. Pode-se observar também que

as tecnologias aqui mencionadas devem ser usadas, preferencialmente, de forma mista, visto que nem todas possuem viabilidade de implementação, considerando a grande densidade demográfica e as diferenças típicas de cada local. Entende-se que algumas tecnologias, como no caso a PLC, que possivelmente poderia ser considerada a ideal em termos de utilização, não pode ser muito aproveitada no cenário nacional brasileiro, porque ainda existe muito ruído na rede, o que obrigaria o uso de outros componentes elétricos, o que torna o custo da implantação muito alto.

6.1 Limitações e trabalhos futuros

O presente artigo, pelo fato de estudar apenas algumas das formas de comunicações existentes, deixa a possibilidade de agregar uma nova perspectiva ao tema, ou ainda, complementar o assunto com outras formas existentes de comunicação.

Existe ainda a possibilidade de realizar testes com as tecnologias aqui mencionadas, avaliando o seu desempenho como tecnologia Smart Grid no âmbito residencial.

REFERÊNCIAS

AIROLDI, D. **Sistema de comunicação de dados pela rede elétrica, de baixo custo, aplicado a uma rede de medidores individuais de energia elétrica residencial: concepção do circuito, protótipo e testes.** Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/259334>>. Acesso em: 22 mai. 2018.

ALONSO, A. M. S. **Smart Grids: Tecnologias de comunicação e sua realidade no Brasil. 2014.** Disponível em: <<http://www.em.ufop.br/images/MonografiasControleAutomacao/2014/AugustoMatheusDosSantosAlonso.pdf>>. Acesso em: 7 mai. 2018.

BANDEIRA, Fausto de P. M. **Redes de energia elétricas inteligentes (Smart Grids).** Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/tema16/2012_7872.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2018.

CAMARGO, C. **Smart Grid: a rede elétrica inteligente. 2009.** Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/3008-smart-grid-a-rede-eletrica-inteligente.htm>>. Acesso em: 21 mai. 2018.

DISSANAYAKE, S. D.; KARUNASEKARA, P. P. C. R.; LAKMANAARACHCHI, D. D.; RATHNAYAKA, A. J. D.; SAMARASINGHE, A. T. L. **ZigBee Wireless Vehicular Identification and Authentication System. IEEE.** Disponível em:

<<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4783998>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

FERREIRA, M. **Aplicativo de Gestão Energética visando Redes Elétricas Inteligentes para Dispositivo Móvel**. Disponível em: <<http://sistemas.institutoslactec.org.br/mestrado/dissertacoes/arquivos/MauricioFerreira.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2018.

FERREIRA, M. V. A. F. **PLC: Power Line Communication**. Disponível em: <<http://www.radiocb.com/main/images/pdf/plc.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2018.

GALEEV, Mikhail T. **Catching the Z-Wave**. Disponível em: <<https://www.embedded.com/design/connectivity/4025721/Catching-the-Z-Wave>>. Acesso em: 16 mai. 2018

KESHAV, S.; ROSENBERG C. How internet concepts and technologies can help green and smarten the electrical grid. **ACM Sigcomm Computer Communication Review**, 2011.

LEE, J.-J.; HONG, G. S.; KANG, J.-M; HONG, J. W.-K. Power line communication network trial and management in Korea. **International Journal of Network Management**, v. 16, n. 6, 2006.

LO, C.-H.; ANSARI, N. The Progressive Smart Grid System from Both Power and Communications Aspects. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, 2012.

LOPES, Y.; BORNIA, T.; FARIAS, V.; FERNANDES, N. C.; MUCHALUAT-SAADE, D. C. **Desafios de Segurança e Confiabilidade na Comunicação para Smart Grids**. Disponível em: <<http://wiki.inf.ufpr.br/maziero/lib/exe/fetch.php?media=ceseg:2016-sbseg-mc4.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2018.

LOPES, Y.; FERNANDES, N. C.; MUCHALUAT-SAADE, D. C. **Geração distribuída de energia: Desafios e perspectivas em rede de comunicação**. Disponível em: <<http://sbrc2015.ufes.br/wp-content/uploads/Ch2.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2018.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Editora Atlas, 1992.

MIKOS, A. P.; SCHIOCHET, B.; COSTA, G. A. **Estudo de viabilidade técnica da implementação de tecnologias de smart grid em consumidores finais. 2014**. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3061/1/CT_COELE_2014_1_05.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2018.

MIZUSAKI, L. E. P. **Comparação de Mecanismos de Comunicação para a Casa Inteligente. 2009**. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/25607/000754640.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 28 mai. 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatório Smart Grid**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256641/Relatxrio_GT_Smart_Grid_Portaria_440-2010.pdf/3661c46c-5f86-4274-b8d7-72d72e7e1157>. Acesso em 15 mai. 2018.

PEPERMANS, G., DRIESEN, J., HAESELDONCKX, D., BELMANS, R., AND D HAESELEER, W. **Distributed generation: definition, benefits and issues**. Energy Policy, Elsevier, 2005.

RIBEIRO, C. L. **Aspectos institucionais para o Smart Grid no Brasil: Riscos, oportunidades e desafios regulatórios**. Núcleo de direito setorial e regulatório. Brasília: UnB, 2011. Disponível em: <<http://www.smartgrid.com.br/eventos/smartgrid2011/pdf/032.pdf>>. Acesso em: 24 de mai. 2018.

SILVA, J. E. A. **A Qualidade de Energia no Contexto de Redes Inteligentes**. Disponível em: <https://www3.dti.ufv.br/sig_del/consultar/download/260>. Acesso em 28 mai. 2018.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. Florianópolis: UFSC, 2005. 4º ed. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Edna_Da_Silva2/publication/312125489_Metodologia_da_Pesquisa_e_Elaboracao_de_Dissertacao/links/5870791608ae6eb871bf85be/Metodologia-da-Pesquisa-e-Elaboracao-de-Dissertacao.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2018.

ZATTAR, H; CORRÊA, P.; CARRIJO, G. Analysis, Measurement and Evaluation of Power Line Communication Network Applied for Popular Houses. **IEEE Latin America Transactions**, v.10, n. 1, 2012.

PRESTES, C. S.; ANDREOTTI, G. E.; SANCHEZ L. **Implementação de um Sistema de Automação Sem Fio em uma Sala de Aula. 2016**. Disponível em: <https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2015_1_25/2015_1_25_final.pdf>. Acesso em: 14 de junho de 2018.