

INTEGRAÇÃO DE INTERNET DAS COISAS E ZIGBEE NO CONTEXTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E AUTOMAÇÃO PREDIAL

ISRAEL V. FERREIRA, EDUARDO P. GODOY

UNESP – Univ. Estadual Paulista, Sorocaba - SP

E-mails: israelvf@gmail.com, epgodoy@sorocaba.unesp.br

Abstract— A widespread problem in buildings is the waste of electricity with lighting and air conditioning systems maintained in operation unnecessarily. A solution to this problem would be an automatic system to manage the state of the environments and control these equipment operations. This topic has been researched due to advances in the area of energy smart grids and communication standards for smart grid integration, such as the ZigBee Smart Energy. This paper seeks the integration of Internet of Things and ZigBee in the context of energy efficiency and building automation. A solution for measuring the electricity usage and energy efficiency in buildings using ZigBee wireless networks was developed. Through the ZigBee communications between devices allocated in environments, it is possible to measure and optimize the use of lighting and air conditioning and consequently reduce the energy expenditure of these systems in buildings. The developed system is integrated to the Internet of Things through storage and cloud analysis of the information captured by the ZigBee network. This integration enables the application of Internet of Things by providing online the electrical measurement information for any type of platform, such as smartphones, tablets or computers, making the data accessible in real time to any point connected to the Internet.

Keywords— ZigBee, ScadaBR, Web Service, Energy saving.

Resumo— Um problema generalizado em ambientes prediais é o desperdício de energia elétrica com sistemas iluminação e de ar condicionado ligados e/ou mantidos em operação desnecessariamente. Uma solução para este problema seria a utilização de um sistema automático que gerenciasse o estado dos ambientes e controlasse a operação desses sistemas. Este tema tem sido pesquisado devido aos avanços na área de redes inteligentes de energia e padrões de comunicação para integração de redes inteligentes, como o ZigBee Smart Energy. Este trabalho busca a integração da Internet das Coisas e ZigBee no contexto de eficiência energética e automação predial. Uma solução para medição do uso de energia elétrica e eficiência energética em ambientes prediais através do uso de redes sem fio ZigBee foi desenvolvida. Através da comunicação via rede ZigBee entre dispositivos alocados nos ambientes, é possível medir e otimizar o uso dos sistemas de iluminação e de ar condicionado e consequentemente reduzir o gasto energético desses sistemas em ambientes prediais. O sistema desenvolvido é integrado à tecnologia de Internet das Coisas, através do armazenamento e análise na nuvem das informações captadas pela rede ZigBee. Essa integração proposta habilita a aplicação da Internet das Coisas ao disponibilizar as informações online para qualquer tipo de plataforma, como smartphones, tablets ou computadores, tornando os dados acessíveis em tempo real, para qualquer ponto conectado à Internet.

Palavras-chave— ZigBee, ScadaBR, Serviço Web, Economia de energia.

1 Introdução

Um dado conhecido e importante é que em ambientes prediais como residências, prédios e edificações comerciais, a maioria do gasto energético deve-se à utilização de aparelhos de ar condicionado (FERREIRA JR, 2009). Estima-se que o consumo de energia de aparelhos de ar condicionado para manutenção do conforto térmico represente de 40% a 70% do consumo total de um ambiente predial, não importando o seu tipo (INEE, 2001). Nesse sentido a automação predial possui potencial para contribuir com eficiência energética (SOUZA, 2010). A incorporação da tecnologia de automação predial apresenta grandes vantagens nas áreas de manutenção, segurança, vigilância e infraestrutura, cujas principais características são o controle e o gerenciamento por meio de uma rede de comunicação, com fio ou recentemente sem fios, visando a integração de todos os equipamentos e serviços disponíveis no ambiente (VARGAS, 2009). Nessa linha de automação predial, o desenvolvimento de ambientes inteligentes proporcionaria, além de uma economia energética, uma mínima degradação ambiental, conciliando o desenvolvi-

mento econômico com a preservação ambiental (BOLZANI, 2010). Além disso, o uso consciente e otimizado da energia elétrica poderia reduzir consideravelmente os gastos de uma instalação predial ou de uma instituição de ensino como a UNESP. Este tema de pesquisa de eficiência energética através de ambientes inteligentes tem sido atrelado à pesquisa e desenvolvimento na área de redes inteligentes (*smart grids*) de energia (GUNGOR et. al., 2010; GUNGOR et al., 2013). Nessa linha, o padrão ZigBee pode ser aplicado no desenvolvimento de um sistema de comunicação integrado ao medidor de energia elétrica, para a supervisão e medições necessárias de consumo de energia de modo automático. O benefício desta aplicação está na eliminação da necessidade de que pessoas façam as leituras dos medidores, evitando possíveis problemas ou impossibilidades de leitura. Além disso, através dessa comunicação pode-se criar um link de comunicação entre a operadora de energia e a residência ou ambiente predial, visando futuras implementações de redes inteligentes de energia. Não menos importante nestes sistemas inteligentes é a necessidade de padrões de comunicação para integração dos dispositivos às de redes inteligentes, como o uso de redes sem fio através do *ZigBee Smart Energy* (PATIL & RANE, 2014).

A possibilidade de se utilizar rede ZigBee para controle de ambientes prediais, aumentando sua eficiência energética mostra-se vantajosa, pois a rede ZigBee é conhecida pela sua robustez, flexibilidade e baixo consumo energético. Trabalhos nessa linha têm focado no controle do conforto térmico dos usuários, além da otimização do uso de energia. Ferreira Júnior (2009) implementou um sistema de automação predial inteligente, visando a economia de energia com a atuação sobre sistemas de ar-condicionado. Neste trabalho foi estudado e implementado um sistema de controle Fuzzy para um aparelho de ar condicionado e comparado seu desempenho com o controle on-off de termostato do aparelho. Os resultados mostram que com a utilização do controle Fuzzy foi possível uma economia de energia, apesar de em ambos os casos os padrões de conforto térmico serem atingidos.

A próxima revolução da computação está focada no contexto da "Internet das Coisas" (*Internet of Things, IoT*), os objetos e "coisas" que cercam as pessoas estarão conectados de alguma forma e trocarão informações entre si (ATZORI et al., 2010). Haverá geração de uma quantidade enorme de dados, que devem ser armazenados, processados e apresentados de uma forma eficiente e simples de serem interpretadas. Projetos e soluções para atender os requisitos da IoT devem levar em conta desde a aquisição de dados até a interação ou apresentação dessas informações (ASTHON, 2009).

O termo Internet das Coisas foi inventado por Kevin Asthon em 1999 no contexto de *Supply Chain* da indústria. Na década passada, a definição se expandiu para outras aplicações, como na área de saúde, transporte, comunicação, dentre outras (STANKOVIC, 2014). A IoT é a definição de uma rede, bem como a Internet, porém que conecta ao invés de pessoas, coisas. Coisas essas que conectadas podem trocar informações entre si, todas essas informações são armazenadas em nuvem e podem ser processadas, utilizadas e acessadas por qualquer coisa ou pessoa que tenha acesso a rede, independentemente de sua localização geográfica. Há três elementos essenciais para a IoT. O hardware (sensores, atuadores e hardware de comunicação), a interface de apresentação dos dados e o middleware, que faz a mediação entre os outros dois elementos. O middleware na IoT consiste em uma interface de armazenagem por demanda e ferramentas computacionais, para a análise dos dados (GUBBI et al., 2013).

Cloud Computing se refere, essencialmente, à noção de utilizarmos, em qualquer lugar e independente de plataforma, as mais variadas aplicações por meio da Internet com a mesma facilidade de tê-las instaladas em computadores locais (DIVYA & JEYALATHA, 2012).

Este trabalho buscou o desenvolvimento de uma solução para medição do uso de energia elétrica e eficiência energética em ambientes prediais através do uso de redes sem fio ZigBee, integrada com a

tecnologia de Internet das Coisas. O sistema desenvolvido é o responsável por gerenciar o estado dos ambientes, como a presença de pessoas e o estado (on/off) dos sistemas de iluminação e ar condicionado, e controlar a operação (on/off) dos mesmos, armazenando estas informações na nuvem e disponibilizando online, para qualquer tipo de plataforma conectada à Internet.

2 Arquitetura do sistema

2.1 Padrão ZigBee

O ZigBee é uma tecnologia de transmissão de dados sem fio de baixo custo e baixo consumo. Trata-se de um protocolo com abrangência global, para comunicações sem fio de baixa potência e curta distância. Este padrão de comunicação apresenta todas as vantagens e características físicas do padrão IEEE 802.15.4, além de conter funcionalidade de rede. O protocolo ZigBee utiliza as camadas Física (*PHY*) e Enlace (*MAC*) definidas pelo padrão IEEE 802.15.4, adicionando as camadas de rede (*NWK*) e Aplicação (*APL*), definidas pelo padrão ZigBee (BARONTI et al., 2007).

A camada Física define as características de hardware e sinais elétricos transmitindo e recebendo dados do meio externo e adequando-os para enviar para a camada de controle de acesso ao meio. Podem-se citar as principais funções da camada Física: recepção e transmissão de dados digitais; ativação/desativação do transceptor de rádio; técnicas de múltiplos acessos ao canal e; enviar dados para a camada de controle de acesso ao meio. A frequência de 2,4GHz ISM é utilizada geralmente com uma taxa de transmissão de 250Kbps.

A camada de Enlace trata do gerenciamento da comunicação em rede. Ela é responsável pelas tarefas de controle de acesso ao meio físico e mecanismo de detecção de erros de comunicação, além da definição dos tipos de nós: FFD (*Full Function Device*) e RFD (*Reduced Function Device*)

A camada de Rede (NWR) do padrão é responsável por prover conectividade, selecionando caminhos para o tráfego de pacotes de dados através de roteamento baseado em topologias específicas (estrela, árvore e/ou malha). Esta camada também é capaz de descobrir e realizar a manutenção das rotas entre os dispositivos, atribuição de endereços (de 16 bits), descobrir vizinhos e armazenamento de informações de vizinhos.

2.2 Visão geral

Neste artigo desenvolveu-se uma solução para medição do uso de energia elétrica e eficiência energética em ambientes prediais através do uso de redes ZigBee, integrada com a tecnologia de Internet das Coisas. O sistema, cuja arquitetura é mostrada na Figura 1, tem o objetivo de gerenciar o estado dos ambientes (presença de pessoas) e o

estado (on/off) dos sistemas de iluminação e ar condicionado, realizando a medição do consumo energético, e controlar a operação (on/off) dos mesmos quando necessário, visando uma eficiência energética. O sistema consiste em uma unidade central de processamento (LabVIEW da *National Instruments*) que se conecta através de rede sem fio ZigBee usando um módulo USB-ZigBee (*XStick*), funcionando como coordenador da rede ZigBee. Módulos XBee, funcionando como nós terminais (*End Devices*) e roteadores, estão distribuídos pelo ambiente predial e conectados aos sensores e atuadores necessários para monitoramento dos ambientes, medição do gasto energético e controle dos sistemas de iluminação e ar condicionado.

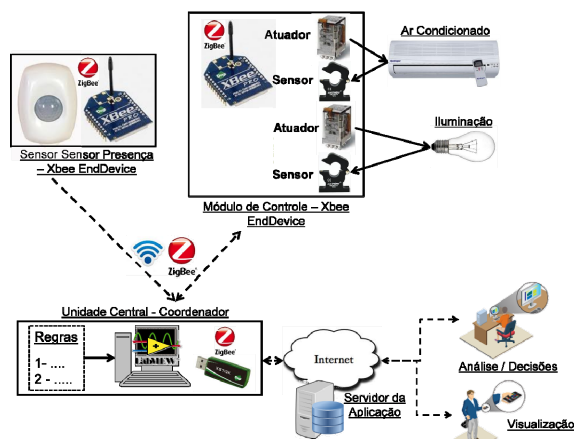


Figura 1- Arquitetura do Sistema

O sensoramento do ambiente é feito pelos módulos XBee End Devices. Existem módulos de sensor de presença (HC-SR501) para monitorar a presença de pessoas nos ambientes e módulos de medição (sensor corrente por efeito Hall ACS71) do gasto energético sistemas de iluminação e ar condicionado. A informação de gerenciamento do estado dos ambientes é enviada à unidade de controle (Coordenador ZigBee). A atuação ocorre através dos módulos de controle, que recebem informações de comando da unidade central, de forma a ligar (on) ou desligar (off) o equipamento. Além disso, a medição do gasto energético de cada equipamento é realizada e essa informação é transmitida ao módulo coordenador na unidade central.

É importante esclarecer que o circuito de atuação opera paralelamente ao circuito de acionamento padrão (interruptor) dos equipamentos. Isso é necessário para que os usuários tenham controle sobre o estado dos equipamentos quando estiverem no ambiente (ex: se a luz tiver sido desligada pelo sistema e uma pessoa voltar ao ambiente, ela deve conseguir ligar a luz novamente via interruptor do ambiente). Para isso foram utilizados relés de impulso (Finder E24) ao invés dos relés comuns, devido à vantagem de os relés de impulso necessitarem de apenas um pulso para serem ativados, economizando energia elétrica.

O LabVIEW foi utilizado para definir as regras de operação para o sistema e aquisição dos dados da rede ZigBee. As regras de operação definem como será o funcionamento do mesmo, oferecendo flexibilidade para uso do sistema de acordo com regras definidas pelo usuário do ambiente ou pelo responsável pelo ambiente gerenciado. Esse é um dos pontos fortes desse sistema proposto.

O armazenamento na nuvem das informações captadas pela rede ZigBee e disponibilização dessas informações online para qualquer tipo de plataforma conectada à Internet foi realizado utilizando o software ScadaBR. A implementação da IoT ao sistema é composta por três principais partes: hardware, middleware e interface de apresentação. A descrição do hardware usado foi apresentada nesta subseção.

2.3 Middleware e Interface de Apresentação

O middleware faz a mediação entre o hardware e interface de apresentação da IoT, consistindo na armazenagem e disponibilização dos dados para qualquer forma de uso ou análise. Resumidamente o middleware é como um Web Service para acesso ao Servidor Web de dados (servidor da aplicação). O middleware é importante, pois define ou padroniza uma forma de acesso às informações do hardware, possibilitando que diferentes interfaces de apresentação possam acessar (visualização) e utilizar (análise e tomada de decisões) tais dados. A interface de apresentação requer o uso de tecnologias que permitam que os dados sejam acessíveis de qualquer plataforma (PC, tablet e smartphone) e de todos os sistemas operacionais (Windows, MAC, iOS, Android, Linux).

Para facilitar o trabalho relacionado à IoT, de forma a não ter que ser desenvolvido o middleware e/ou interface de apresentação, neste trabalho utilizou-se o software open-source ScadaBR para prover essa infraestrutura. Foi desenvolvida uma interface de apresentação dos dados obtidos através da rede ZigBee, além do armazenamento dos dados em banco de dados.

O ScadaBR é um software do tipo SCADA desenvolvido em plataforma Web, usado para automatizar processos de medição e automação (SCADABR, 2015). Através do ScadaBR, é possível acessar e controlar dispositivos de automação, armazenar dados em uma base de dados, visualizar históricos e alarmes. O equipamento onde o ScadaBR é instalado é conhecido como o "servidor da aplicação". Tanto as telas "IHM" quanto as configurações do ScadaBR são acessadas através de um navegador de Internet. O aplicativo do ScadaBR roda sobre um servidor Java, geralmente o Apache Tomcat. Rodando o servidor de aplicação, o aplicativo do ScadaBR pode ser acessado via navegador de Internet (endereço IP ou de Internet). A Figura 2 apresenta a arquitetura interna do ScadaBR.

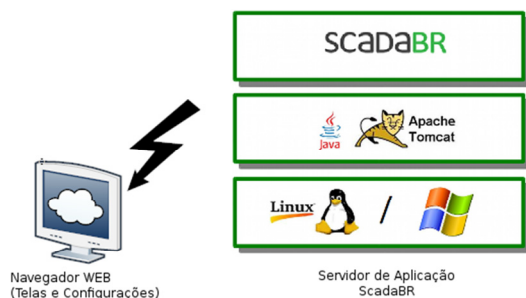


Figura 2 - Arquitetura do ScadaBR.

2.4 Integração de Sistemas

A integração entre a parte de hardware e a parte do middleware/interface de apresentação da IoT foi a última tarefa realizada no trabalho. O hardware do sistema desenvolvido, que se comunica via ZigBee com um aplicativo em LabVIEW responsável pelo monitoramento e controle sobre o sistema, foi integrado ao ScadaBR através de uma comunicação via Web Service utilizando a tecnologia SOAP. O serviço web do ScadaBR é padronizado via WSDL (*Web Services Description Language*), que é uma linguagem baseada em XML utilizada para descrever serviços web. Isto permite estender o ScadaBR através da arquitetura cliente-servidor, onde o ScadaBR age como um servidor, e o aplicativo LabVIEW como um cliente, permitindo a integração e troca de dados. Dessa forma os dados obtidos através do hardware e transmitidos pela rede ZigBee, são processados e disponibilizados na nuvem através da interface do ScadaBR.

3 Resultados

3.1 Interface de apresentação

O sistema para medição do uso de energia elétrica e eficiência energética em automação predial usando rede ZigBee e Internet das Coisas da Figura 1 foi implementado, testado e validado experimentalmente. O aplicativo principal de controle e comunicação com a rede ZigBee foi implementado no software LabVIEW. Através da comunicação via Web Service SOAP descrita, criou-se uma conexão entre o ScadaBR e o LabVIEW. De forma transparente, o aplicativo principal troca dados (envia e recebe as variáveis medidas e de comando) com ScadaBR, onde foi criada uma interface de apresentação gráfica dos dados, mostrada na Figura 3. Dessa forma, as informações do sistema são armazenadas na nuvem e disponibilizadas online, para acesso e controle por qualquer tipo de plataforma/tecnologia conectada à Internet.

De acordo com a Figura 3, o usuário pode indicar os horários de funcionamento do sistema desenvolvido diretamente na representação gráfica criada no ScadaBR, configurando as regras de operação (1). Os estados dos ambientes (2) e o consumo de energia dos sistemas (ar condicionado e iluminação) (4, 5 e 6) são exibidos nas telas. Uma representação visual do ambiente monitorado (3), com leds indicando se os sistemas estão ou não ativos, pode ser observada pelo usuário. A ativação do sistema (operação do aplicativo LabVIEW) pode ser realizada pela interface (8).

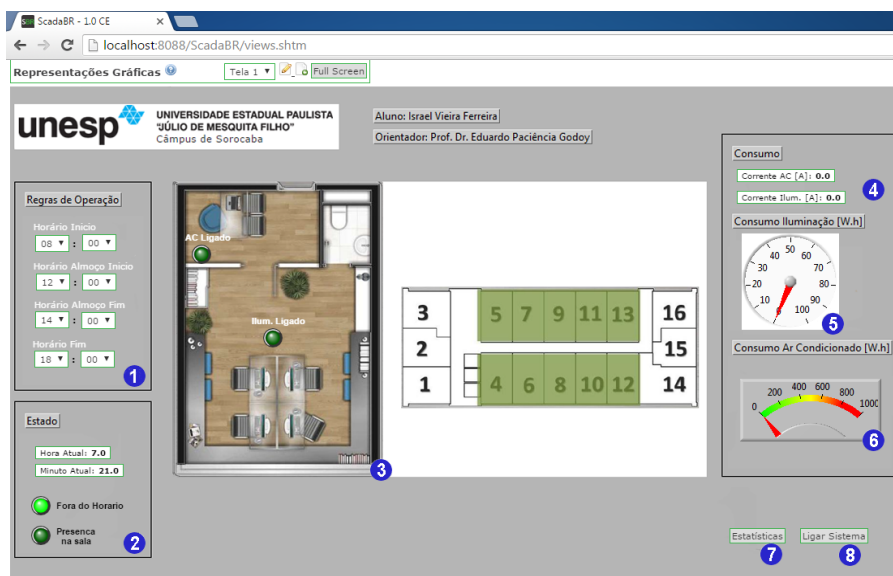


Figura 3 - Representação gráfica do ambiente e seu estado no ScadaBR.

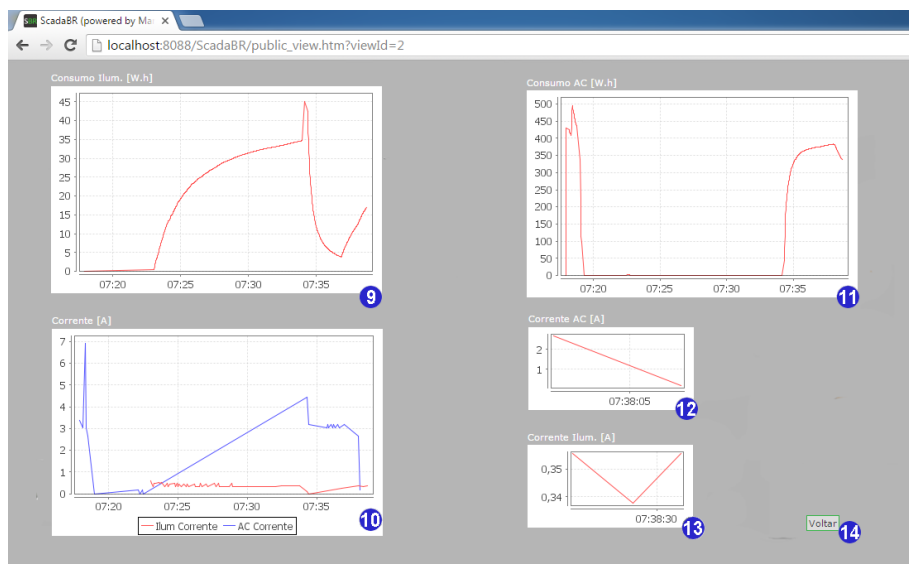


Figura 4 - Representação gráfica do consumo e corrente no ScadaBR.

Uma funcionalidade interessante do ScadaBR é a possibilidade de se inserir gráficos nas representações visuais. Para acessar a representação gráfica da Figura 4, onde são apresentados alguns gráficos, o usuário deve clicar no botão Estatísticas (7), na tela da Figura 3.

Na Figura 7 são apresentados gráficos representando o histórico de consumo em W.h dos sistemas de iluminação (9) e ar-condicionado (11), além da medição instantânea de energia elétrica (corrente) consumidas por estes sistemas (10, 12 e 13). Existe um botão para retornar à tela anterior (14).

3.2 Testes de operação do sistema

Para a realização de testes de operação e validação experimental do sistema desenvolvido, uma bancada de testes com equipamentos reais representando um caso de estudo de um ambiente foi utilizado. Essa banca de testes, mostrada na Figura 5, permite o teste real do sistema em diferentes cenários possíveis, quanto à presença e estado dos sistemas no ambiente, regras de operação do sistema e medição e controle dos sistemas de iluminação e ar condicionado.

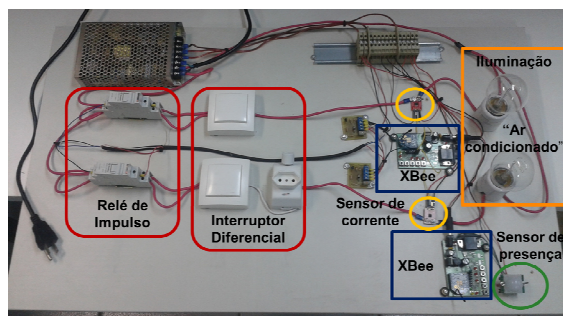


Figura 5 - Bancada de testes.

Para o cenário testado, definiu-se um horário de funcionamento (regra de operação do sistema) das 8:00 até 12:00 e das 14:00 até as 18:00. Foram tes-

tadas as seguintes situações: Sem presença na sala e fora do horário de funcionamento estipulado, presença na sala fora do horário de funcionamento, sem presença na sala dentro do horário de funcionamento e presença na sala no horário de funcionamento.

Para os casos estudados, o sistema desenvolvido se comportou de maneira adequada, os sistemas de iluminação e ar-condicionado foram desligados quando não havia presença na sala e o horário estava fora da faixa estipulada nas regras de operação e foram mantidos ligados quando havia presença na sala ou quando o horário condizia com o horário de funcionamento estipulado.

4 Conclusão e Trabalhos Futuros

O sistema proposto para medição do uso de energia elétrica e eficiência energética em ambientes prediais através do uso de redes sem fio ZigBee e Internet das Coisas foi implementado e validado experimentalmente com o auxílio de uma bancada de testes. Um fator importante é a confiabilidade, obtida no sistema desenvolvido através da baixa taxa de erros de comunicação e do tempo de resposta adequado, mesmo com a comunicação de dados passando por diversos sistemas.

O módulo XBee para redes ZigBee representa uma tecnologia sem fio flexível e escalável, sendo possível adicionar sensores e atuadores e configurá-los rapidamente, proporcionando agilidade para a solução. A utilização dos I/Os incorporados ao módulo permite a redução de hardware necessário e simplificação da solução.

A utilização da ferramenta open-source ScadaBR como solução relacionada à IoT, provendo as atividades de middleware e interface de apresentação facilitou o desenvolvimento da solução. Essa utilização proporcionou interoperabilidade e interconectividade à rede ZigBee, ao conectá-la na Inter-

net e deixando-a totalmente acessível através de um Web Service. A padronização da comunicação sob a Internet utilizando o protocolo HTTP no padrão SOAP, traz a possibilidade de a aplicação conversar com diversos outros recursos e aplicativos compatíveis com Web Service SOAP, trazendo interconectividade ao sistema desenvolvido.

Futuramente almeja-se uma integração da solução desse artigo com o sistema de geração de energia solar do grupo de pesquisa dos autores (GASI), buscando viabilizar o acesso às informações online sobre geração de energia (momentânea, diária) de forma a balancear (capacidade de geração x uso demandado) o uso de energia de um ambiente (laboratório) de forma sustentável. Além disso, será estudado a integração do sistema com o profile de comunicação *ZigBee Smart Energy* usado em sistemas de medição e medidores inteligentes de energia.

Referências Bibliográficas

- ASTHON, K. That "Internet of Things" thing. *RFID Journal*, 2009.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, ed. 54, pp 2787–2805, 2010.
- BARONTI, P.; PILLAI, P.; CHOOK, V.W.C.; CHESSA, V.; GOTTA, A.; HU, Y.F. Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. *Computer Communications*, vol. 30, no. 7, pp. 1655-1695, 2007.
- BOLZANI, C.A.M. Análise de Arquiteturas e Desenvolvimento de uma Plataforma para Residências Inteligentes, Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.
- DIVYA, K.; JEYALATHA, S. Key technologies in cloud computing, in *Cloud Computing Technologies, Applications and Management (ICCCTAM)*, 2012 International Conference on , pp. 196-199, 8-10 Dec. 2012.
- FERREIRA JR, P.A. Eficiência Energética em Ambientes Prediais Utilizando Rede Sem Fio ZigBee e Controle Fuzzy, Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, 2009.
- GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S.; PALANIWAMI, M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems* vol. 29, pp.1645-1660, 2013.
- GUNGOR, V.C.; LU, B.; HANCKE, G.P., Opportunities and Challenges of Wireless Sensor Networks in Smart Grid, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 10, pp. 3557,3564, Oct. 2010.
- GUNGOR, V.C.; SAHIN, D.; KOCAC, T.; ERGUT, S.; BUCCELLA, C.; CECATI, C.; HANCKE, G.P. A Survey on Smart Grid Potential Applications and Communication Requirements, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 9, no. 1, pp. 28,42, Feb. 2013.
- INEE. A Eficiência Energética e o Novo Modelo do Setor Energético, Relatório Técnico do Instituto Nacional de Eficiência Energética, 2001.
- PATIL, A.V.; RANE, U.A. "Review on ZIGBEE Smart Energy Implementation for Energy Efficient Building", *Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 4, no. 3, pp.735-740, 2014.
- SCADABR (2015). Sistema supervisorio Web em licença Open Source. Disponível em: < <http://www.scadabr.com.br/>>. Acesso em: Novembro, 2015.
- SOUZA, M.A. Sistema de Automação Residencial para Iluminação. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Computação, Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, 2010.
- STANKOVIC, J.A. Research Directions for the Internet of Things, *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 3-9, Feb. 2014.
- VARGAS, E.G. Sistema de Automação Residencial Utilizando a Tecnologia ZigBee, Trabalho de Conclusão de Curso em Ciência da Computação, Universidade Luterana do Brasil, 2009.