

Arildo Antônio Sônego

**A INTERNET DAS COISAS APLICADA AO CONCEITO DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação - PPGTIC da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Tecnologias da Informação e Comunicação.

Orientador: Prof. Dr. Roderval Marcelino

Coorientador: Prof. Dr. Vilson Gruber

Araranguá -SC
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da
UFSC.

Sônego, Arildo Antônio

A Internet das Coisas aplicada ao conceito de
Eficiência Energética / Arildo Antônio Sônego ; orientador,
Roderval Marcelino ; coorientador, Vilson Gruber. -
Araranguá, SC, 2017.
133 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Campus Araranguá. Programa de Pós-Graduação em
Tecnologias da Informação e Comunicação.

Inclui referências

1. Tecnologias da Informação e Comunicação. 2. Internet
das Coisas. 3. Eficiência Energética. 4. Redes de Sensores
sem Fio. I. Marcelino, Roderval. II. Gruber, Vilson. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação. IV.
Titulo.

Arildo Antônio Sônego

**A INTERNET DAS COISAS APLICADA AO CONCEITO DE
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação - PPGTIC da Universidade Federal de Santa Catarina.

Araranguá, 10 de maio de 2017.

Prof.^a Andréa Cristina Trierweiller, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Roderval Marcelino, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Anderson Luiz Fernandes Perez, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. João Mota Neto, Dr.
Faculdade SATC

Dedico este trabalho ao meu pai, *in memoriam*, eterno exemplo de bondade, simplicidade e sabedoria e à minha mãe, indiscutivelmente ao meu lado, em todos os momentos de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por conceder o discernimento necessário para enfrentar os desafios, compreender que os mesmos existem para serem vencidos e jamais esmorecer perante os percalços.

À família, pelo apoio, paciência e compreensão nos momentos de ausência, dedicados à elaboração deste trabalho.

Aos professores que estiveram conosco durante esta caminhada, em especial ao prof. Dr. Roderval Marcelino e ao prof. Dr. Vilson Gruber, orientador e coorientador respectivamente.

Aos colegas de classe, pela amizade, aprendizado, carinho e companheirismo compartilhados.

Aos muitos amigos, pelos conselhos, palavras de incentivo e pelo auxílio, em pontuais estágios e situações.

E a todos que de algum modo colaboraram com o desenvolvimento deste trabalho, o meu imenso muito obrigado...

"Uma experiência nunca é um fracasso, pois sempre vem demonstrar algo."

(Thomas Edison)

RESUMO

A Internet das Coisas, em sua essência, remete-se à capacidade conferida aos objetos, que interligados em rede, passam a reportar informações acerca de seu funcionamento. Diante de diversos cenários possíveis para sua aplicação, este trabalho objetiva investigar o comportamento desta tecnologia quando associada ao contexto da Eficiência Energética. Para tal, foi concebida uma aplicação estruturada na plataforma de desenvolvimento Intel Galileo, juntamente com sensores sem fio e o padrão *ZigBee*, com a colaboração de uma luminária da marca Philips, possibilitando o controle de intensidade da luminosidade de um ambiente. Os dados resultantes do monitoramento deste sistema indicam uma redução do consumo de energia elétrica na ordem de até 65,45 %, fortalecendo o vínculo entre estas tecnologias. Conjuntamente, esta dissertação contempla uma revisão sistemática da literatura abrangendo o estado da arte das pesquisas a nível mundial inerentes ao tema Internet das Coisas e sua associação ao conceito de Eficiência Energética.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Eficiência Energética, Sensores sem Fio, ZigBee;

ABSTRACT

The Internet of Things, in its essence, refers to the capacity conferred on the objects, which interconnected in a network, begins reporting information about its operation. Considering several possible scenarios for its application, this work aims to investigate the behavior of this technology when associated to the context of Energy Efficiency. For this, a structured application was designed in the Intel Galileo board, together with wireless sensor and ZigBee standard, with the collaboration of a Philips brand of luminary, allowing the control of the intensity of the luminosity of an environment. The data resulting from the monitoring of this system indicate a reduction of the electric energy consumption in the order of up to 65.45%, strengthening the link between these technologies. Thus, this dissertation contemplates a systematic review of the literature covering the state of the art of worldwide research inherent to the theme Internet of Things and its association with the concept of Energy Efficiency.

Keywords: Internet of Things, Energy Efficiency, Wireless Sensor, ZigBee;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Áreas de concentração para a Internet das Coisas.	29
Figura 2 - Etapas da Dissertação.	37
Figura 3 - Estimativa de crescimento da Internet das Coisas.	41
Figura 4 - Diferentes visões da Internet das Coisas.	42
Figura 5 - Arquitetura da Internet das Coisas.	45
Figura 6 - Dimensões da Eficiência Energética.	54
Figura 7 - Matriz energética mundial.	58
Figura 8 - Matriz elétrica brasileira.	60
Figura 9 - Esquema de funcionamento do protótipo desenvolvido.	79
Figura 10 - Placa Intel <i>Galileo Gen 1</i>	80
Figura 11 - Módulo <i>XBee S2</i>	81
Figura 12 - Reator Philips HF-R 214-35 TL5 EII.	82
Figura 13 - Controlador GaliLux.	83
Figura 14 - Módulos sensores.	84
Figura 15 - Luminária Philips.	85
Figura 16 - Fluxograma do software de monitoramento.	86
Figura 17 - Planta baixa do local de monitoramento.	88
Figura 18 - Medição da quantidade de lux do ambiente de monitoramento.	93
Figura 19 - Medição da corrente elétrica consumida pela luminária.	94
Figura 20 - Sistema em malha fechada com realimentação.	95
Figura 21 - Controle Proporcional adotado no experimento.	96

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução das pesquisas relacionadas à Internet das Coisas.....	72
Gráfico 2 - Evolução das pesquisas relativas à Eficiência Energética.	72
Gráfico 3 - Publicações relacionadas à Internet das Coisas associada à Eficiência Energética.	73
Gráfico 4 - Publicações conforme o país de origem.	74
Gráfico 5 - Publicações de acordo com o tipo do documento.	75
Gráfico 6 - Publicações segundo a área de conhecimento.	75
Gráfico 7 - Evolução da corrente da luminária com os sensores na posição correta.	89
Gráfico 8 - Evolução da corrente da luminária com os sensores em posição incorreta.	90
Gráfico 9 - Comparativo da evolução da corrente consumida pela luminária de acordo com a posição dos sensores.	90
Gráfico 10 - Exemplo de evolução do comportamento de um sensor.....	97
Gráfico 11 - Evolução da corrente consumida pela luminária em um dia chuvoso.	100
Gráfico 12 - Distribuição dos valores de corrente consumida pela luminária em um dia chuvoso.	101
Gráfico 13 - Evolução da corrente consumida pela luminária em um dia nublado.	103
Gráfico 14 - Distribuição dos valores de corrente consumida pela luminária em um dia nublado.	104
Gráfico 15 - Evolução da corrente consumida pela luminária em um dia ensolarado.	105
Gráfico 16 - Distribuição dos valores de corrente consumida pela luminária em um dia ensolarado.	106
Gráfico 17 - Síntese das sessões de monitoramento.	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aplicações para a Internet das Coisas.....	40
Quadro 2 - Linha do tempo da Internet das Coisas.....	43
Quadro 3 - Monitoramento em um dia chuvoso.	100
Quadro 4 - Monitoramento em um dia nublado.....	102
Quadro 5 - Monitoramento em um dia ensolarado.	105
Quadro 6 - Resumo das sessões de monitoramento.	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intensidade de luminosidade indicada de acordo com o ambiente. ..91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

6LoWPAN	<i>IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks</i>
ARPANET	<i>Advanced Research Project Agency Network</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina S/A
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CSMA-CA	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i>
DALI	<i>Digital Addressable Lighting Interface</i>
ELETRORÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
GHz	Giga Hertz
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IoT	<i>Internet of Things</i>
IPv4	<i>Internet Protocol version 4</i>
IPv6	<i>Internet Protocol version 6</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
ITU	<i>International Telecommunications Union</i>
Kbps	Kilo bits por segundo
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
LLNs	<i>Low-Power and Lossy Networks</i>
Mbps	Mega bits por segundo
MHz	Mega Hertz
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
mW	MiliWatt
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
PID	Proporcional, Integral e Derivativo
PPGTIC	Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RNA	Rede Neural Artificial
RSSF	Redes de Sensores Sem Fio
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol / Internet Protocol</i>
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação

UFSC
WPA2

Universidade Federal de Santa Catarina
Wi-Fi Protect Access 2

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	27
1.1	APRESENTAÇÃO DO TEMA	27
1.2	PROBLEMÁTICA	30
1.3	OBJETIVOS	32
1.3.1	Objetivo Geral.....	32
1.3.2	Objetivos Específicos	32
1.4	JUSTIFICATIVA	33
1.5	ESCOPO	34
1.6	ADERÊNCIA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO	35
1.7	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	35
1.8	METODOLOGIA	36
1.9	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	37
2	INTERNET DAS COISAS.....	39
2.1	DEFINIÇÃO	39
2.2	HISTÓRICO	41
2.3	ARQUITETURA	44
2.4	TECNOLOGIAS	45
2.4.1	Identificação por rádio frequência	46
2.4.2	Redes de sensores sem fio	47
2.4.3	Protocolo IPv6.....	47
2.4.4	Bluetooth.....	48
2.4.5	ZigBee	49
2.5	SÍNTESE DO CAPÍTULO	51
3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	53
3.1	CONCEPÇÃO	53
3.2	BARREIRAS À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	55
3.3	FORMAS DE ENERGIA	57
3.4	A ENERGIA ELÉTRICA	59
3.4.1	Eólica.....	60
3.4.2	Nuclear.....	61
3.4.3	Petróleo e derivados.....	62
3.4.4	Gás Natural	64
3.4.5	Hidroelétrica	65
3.4.6	Carvão Mineral.....	66
3.4.7	Biomassa	67
3.4.8	Solar	68
3.5	SÍNTESE DO CAPÍTULO	69
4	ESTADO DA ARTE	71
4.1	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	71
4.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA	71
4.3	ANÁLISE DESCRITIVA.....	76
4.4	SÍNTESE DO CAPÍTULO	78

5	EXPERIMENTO	79
5.1	VISÃO GERAL.....	79
5.1.1	Placa Intel <i>Galileo</i>	80
5.1.2	Módulo <i>XBee</i>	81
5.1.3	Reator HF-R 214-35 TL5 EII	82
5.2	DISPOSITIVOS DESENVOLVIDOS	83
5.2.1	Controlador GaliLux.....	83
5.2.2	Sensores	84
5.2.3	Luminária.....	85
5.2.4	Software.....	86
5.3	PROCEDIMENTOS ADOTADOS	87
5.3.1	Ambiente de monitoramento e posição dos sensores	87
5.3.2	Valores de referência.....	91
5.3.3	Cálculo da luminosidade do ambiente	92
5.3.4	Tabela de referência e conversão.....	93
5.3.5	Algoritmo de regulagem utilizado	94
5.4	SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	97
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	99
6.1	RESULTADOS OBTIDOS	99
6.1.1	Monitoramento em um dia chuvoso.....	99
6.1.2	Monitoramento em um dia nublado.....	102
6.1.3	Monitoramento em um dia ensolarado	104
6.1.4	Resumo dos experimentos	107
6.2	SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	109
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
APÊNDICE A –Diagrama de conexão dos componentes do protótipo		127
APÊNDICE B – Diagrama de conexão dos componentes dos sensores.....		129
APÊNDICE C – Tabela de conversão do GaliLux.....		131
ANEXO A – Circuito Eletrônico Conversor/Amplificador		133

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

Ao analisar-se a adoção das tecnologias da informação e comunicação (TIC), constata-se um crescimento considerável em recente período da sociedade moderna. Dispositivos como telefones celulares, *tablets*, *smartphones* e *notebooks* são frequentemente empregados em atividades cotidianas de profissionais de diferentes áreas, servindo também como fonte de diversão em momentos de relaxamento e lazer.

Santos (2015) argumenta que desde os tempos remotos a comunicação é uma necessidade que se faz presente no dia a dia do ser humano. A manifestação de ideias e emoções contribuíram para a evolução das maneiras de se expressar e, com o passar do tempo, o homem aperfeiçoou sua capacidade de relacionamento. O avanço das TIC permitiu novas formas de comunicação, que podem facilitar a interação entre os indivíduos de uma sociedade, tanto em nível presencial quanto virtual.

Torna-se relevante e fundamental o papel das TIC, assim como da informação e conhecimento, como principais insumos de desenvolvimento do setor produtivo, científico e acadêmico, constituindo-se como um dos fatores críticos de sucesso desses segmentos econômicos. As TIC revolucionaram a forma como o homem lida com a informação e o conhecimento (MOLINA, 2010). A autora sustenta que as TIC devem ser vistas como um recurso importante para coleta, tratamento e disseminação de dados e informação, assim como para a criação de conhecimento, por parte dos integrantes de uma determinada comunidade de especialidade.

Conforme Barros (2011), vivencia-se como em nenhuma outra oportunidade o impacto da inclusão da tecnologia na vida das pessoas, atingindo a todos e de todas as maneiras.

Segundo Nascimento (2011), a cada dia mais e mais pessoas, empresas, governos e outras organizações sociais tornam-se dependentes do uso contínuo de novas tecnologias, principalmente das tecnologias de informação e comunicação. Entende-se, que as TIC tornaram-se elementos onipresentes ao ser humano.

As TIC representam um importante fator de desenvolvimento social e econômico, oferecendo oportunidades de inclusão em vários segmentos. Estima-se para 2020 um mercado global de cerca de US\$ 3

trilhões, sendo o Brasil um candidato competitivo a produzi-las (MOREIRA, 2012).

Para Cunha (2014), as TIC desempenham um papel central nas transformações ocorridas na sociedade, representando para alguns teóricos, a terceira revolução industrial. A autora complementa destacando que as TIC se configuram como a mola propulsora de mudanças políticas, sociais, econômicas, entre outras.

A popularização do uso da Internet é considerada um dos motivadores deste processo. Na ótica de Pinho (2011, p. 98), "Parece que a Internet pode ser colocada como um marco civilizatório: a vida antes e depois da Internet, pois ela tem criado expectativas elevadas de mudanças, algumas até revolucionárias."

A Internet é provavelmente o maior sistema de engenharia criado pela humanidade, com centenas de milhões de computadores interligados, enlaces de comunicação e comutadores, bilhões de usuários que se conectam por meio de *laptops* e *tablets*; e com uma série de dispositivos como sensores, *webcams*, consoles para jogos, quadros de imagens e até mesmo máquinas de lavar sendo conectadas (KUROSE; ROSS, 2013). Tanenbaum e Wetherall (2011) argumentam que a Internet é um sistema incomum no sentido de não ter sido planejado nem controlado por ninguém.

De acordo com Sato (2015), a rápida popularização da Internet e seu acesso a partir de dispositivos móveis pode ser apontada como a parte mais visível das transformações pelas quais passa o cenário dos meios de comunicação, principalmente nas últimas décadas.

Este cenário promissor, apresenta-se favorável à manifestação de ideias, ao surgimento de conceitos e teorias, bem como à proliferação de novas tecnologias, entre elas, a Internet das Coisas.

Em uma definição genérica, a Internet das Coisas relaciona-se à capacidade dos objetos, conectados em rede, disponibilizarem informações a respeito de seu funcionamento. Tal tecnologia, descreve Ferreira (2014), objetiva proporcionar inteligência para objetos, de forma a permitir seu controle e a notificação de alterações em seu estado. Lacerda e Lima-Marques (2015) sustentam que interligados em rede, os objetos são capazes de realizar ações de forma independente e gerar dados em quantidade e variedade exponenciais, como produto das interações.

Neste contexto, Antunes (2014) entende que a Internet das Coisas é um novo conceito, que caracteriza a visão de uma rede global concebida por objetos inteligentes interconectados e endereçáveis, a partir do uso e adaptação de protocolos e padrões de comunicação

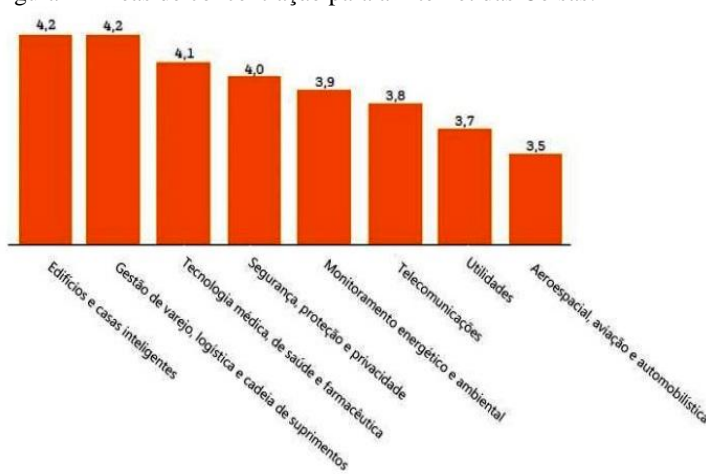
estabelecidos na Internet. Como resultado deste processo, a informação estará acessível em qualquer lugar, a qualquer momento, de forma integrada às atividades do cotidiano.

A respeito deste tema, Cardoso (2013, p. 27) considera que, "A Internet das Coisas estabelece uma nova fronteira para a sociedade da informação como conhecemos hoje, onde a ubiquidade e pervasividade da rede abrirá possibilidades para aplicações diversas."

As inovações que surgem no âmbito da Internet das Coisas ampliam o potencial humano em diversas áreas, como meio ambiente, indústria, comércio, turismo, educação, saúde, segurança e programas sociais, com soluções orientadas ao desenvolvimento econômico, sustentabilidade e qualidade de vida (LACERDA; LIMA-MARQUES, 2015).

Nesta conjuntura, observa-se que a dimensão, contexto e escopo de adoção de tais aplicações, apresentam-se como um dos desafios desta tecnologia. Segundo Wu et al. (2011), não é possível representar de maneira exaustiva todas as possibilidades de soluções atribuídas à Internet das Coisas, uma vez que o processo de compreensão do seu potencial encontra-se em fase inicial, visto a variedade de aplicações que podem ser endereçadas em diversos segmentos do mercado. A Figura 1 contém um exemplo de concentração proporcional por área (1= Insignificante, 5= Muito importante) de aplicações para a Internet das Coisas:

Figura 1- Áreas de concentração para a Internet das Coisas.



Fonte: Lacerda (2015, p.72).

Uma das áreas elencadas anteriormente, relaciona-se à aplicação da Internet das Coisas no monitoramento energético e ambiental, sugerindo um uso adequado e consciente dos recursos naturais, contemplando a Eficiência Energética.

Exemplos da junção destes conceitos podem ser observados em Delicato et. al (2014), que preconizam a adoção da Internet das Coisas em aplicações destinadas ao monitoramento ambiental e em Kamiński et al. (2015), que sugerem o uso da Internet das Coisas, combinada à Eficiência Energética, em prédios e edificações públicas.

Na concepção de Hinrichs, Kleinbach e Reis (2015), o desenvolvimento econômico e os altos padrões de vida são processos complexos que necessitam de um abastecimento adequado e confiável de energia.

Para Yu et al. (2011), a necessidade de minimizar ou mesmo equilibrar o impacto ao meio ambiente criado pelas atividades que fazem parte do estilo de vida do século 21, além de promover o uso consciente dos recursos naturais, apresentam-se como um dos desafios da humanidade.

A utilização eficiente de energia constitui um fator fundamental de preservação do ambiente, salienta Fernandes (2013), através da racionalização de recursos naturais energéticos não renováveis, redução das emissões de gases com efeito de estufa e poluentes locais, de maneira a proporcionar o bem-estar às gerações futuras.

De acordo com Wu et al. (2011), o processo de Eficiência Energética está condicionado à integração de novas tecnologias, como por exemplo as TIC, sendo a Internet das Coisas considerada ideal para este ambiente.

1.2 PROBLEMÁTICA

A energia, em especial a elétrica, denota-se como elemento essencial à sociedade, sendo fundamental para sua existência e colaborando com o seu desenvolvimento.

A qualidade de vida, de trabalho e de serviços estão condicionadas à eficácia de um sistema energético. Logo, o crescimento econômico de um país está relacionado diretamente ao consumo de energia (OLIVEIRA, 2015).

Visto que esta energia provém de fontes muitas vezes escassas ou mesmo não renováveis, é natural que procedimentos que visem a sua adoção de maneira eficiente sejam concebidos.

O conceito de Eficiência Energética, portanto, associa-se à capacidade de atender aos requisitos de consumo do ser humano de maneira racional, evitando desperdícios, contribuindo para a sustentabilidade e o uso equilibrado dos recursos naturais. Consumir energia de maneira responsável demonstra-se fundamental, além de caracterizar-se como um desafio constante.

Na busca por Eficiência Energética, Lamberts et al. (2010), entendem que promover a mudança de hábitos de consumo através de programas e políticas de conservação e uso racional de energia é um dos caminhos a serem seguidos.

Para Hinrichs, Kleinbach e Reis (2015) o consumo de eletricidade tem a maior taxa de crescimento entre todos os setores do uso da energia, uma vez que sua conveniência e disponibilidade a tornam muito popular.

Neste sentido, corrobora Oliveira (2015), com o aumento contínuo do consumo mundial de energia elétrica, governos e sociedade estão cada vez mais concentrando esforços em medidas que visem o seu uso racional.

Seja em ambientes industriais, residenciais, públicos, comerciais, hospitais ou mesmo instituições de ensino, o potencial elétrico pode ser aplicado em vários locais e/ou setores, como motores, ferramentas em geral, eletrodomésticos, equipamentos médicos, chuveiros, aquecedores, refrigeradores, condicionadores de ar e em especial, na iluminação.

Em relação ao consumo de energia elétrica destinado à iluminação, Marques, Haddad e Guardia (2007, p.55) mencionam que:

A iluminação é responsável por, aproximadamente, 23 % do consumo de energia elétrica no setor residencial, 44 % no setor comercial e serviços públicos [...]. Vários trabalhos desenvolvidos mostram que a iluminação ineficiente é comum no Brasil. Uma combinação de lâmpadas, reatores, sensores, luminárias e refletores eficientes, associados a hábitos saudáveis na sua utilização, podem ser aplicados para reduzir o consumo de energia elétrica.

As mudanças de hábito dos usuários são fundamentais para reduzir o desperdício e o consumo. Um exemplo é o desligamento ou a redução de intensidade em sistemas de iluminação em horários de não funcionamento ou mesmo a adoção de sensores em áreas comuns com

pouca utilização (SALOMÃO, 2010). O comportamento dos ocupantes, complementa Didoné (2009), interfere significadamente no consumo energético de um ambiente, visto que uma edificação projetada para ser energeticamente eficiente virá a falhar em seus objetivos caso os usuários apresentem uma conduta de desperdício energético.

Além do exposto, novas tecnologias, destacam Lamberts et al. (2010) e Oliveira (2015), contribuem para a Eficiência Energética, como por exemplo, a Internet das Coisas.

Na ótica de Oliveira (2015), ações desta natureza são importantes para a otimização do consumo dos recursos energéticos, a conservação de energia, o combate ao desperdício, a racionalização e as contribuições para o meio ambiente.

Desta maneira, norteando-se por essas premissas, estrutura-se a indagação central deste trabalho: **Quais são os resultados obtidos com a associação da Internet das Coisas ao conceito de Eficiência Energética através de uma aplicação direcionada ao controle de luminosidade de ambientes?**

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O principal propósito deste trabalho é demonstrar como a Internet das Coisas pode colaborar para o uso consciente e racional de recursos energéticos, minimizando desperdícios, através de uma aplicação destinada ao controle de intensidade da luminosidade em ambientes fechados.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, elencam-se os seguintes objetivos específicos:

- Compreender o cenário da Internet das Coisas, os conceitos e características a ele associados;
- Intensificar, sob a perspectiva da Eficiência Energética, os conhecimentos acerca dos meios de produção de energia em suas diversas formas, com ênfase na energia elétrica e suas aplicações;
- Investigar o estado atual das pesquisas envolvendo a Internet das Coisas incorporada ao contexto da Eficiência Energética;

- Desenvolver uma aplicação, utilizando a placa Intel *Galileo* e sensores sem fio, que permita monitorar e controlar a intensidade de luminosidade de um ambiente fechado;
- Cotejar os dados resultantes do uso desta aplicação, com o propósito de traduzir em números os benefícios de sua adoção.

1.4 JUSTIFICATIVA

Os ambientes de uma maneira geral, necessitam de uma iluminação adequada para que todas as atividades sejam realizadas com rapidez, eficiência e o melhor rendimento possível (OLIVEIRA, 2015).

A iluminação artificial, enfatizam Lamberts, Dutra e Pereira (2014), quando bem projetada, possibilita ao ser humano, usufruir de ambientes para dar continuidade às suas atividades, ou mesmo se divertir, indo a bares, *shopping centers* ou executar o exercício da leitura. Desta maneira, complementam os autores, um bom projeto de iluminação deve propiciar às pessoas a execução de atividades visuais, com o máximo de precisão e segurança e com o menor esforço.

Contudo, muitas vezes a iluminação apresenta-se inadequada, devido a vários fatores, conforme apresentam Barros, Borelli e Gedra (2015):

- Adoção de equipamentos com reduzida eficiência luminosa e mal dimensionados para a atividade proposta;
- Incorreto aproveitamento da iluminação natural;
- Comportamento dos usuários;
- Ausência de manutenção preventiva;
- Falta de comandos para acionar grupos de luminárias.

O sistema de iluminação pode ser controlado para prover um ambiente agradável, flexível, adequado à necessidade visual dos usuários e energeticamente eficiente. Uma possibilidade encontra-se no aproveitamento da luz natural, sempre que possível, utilizando a artificial somente para complementar a luminosidade solar (BRAGA, 2007). Neste sentido, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) corroboram ao afirmar que para aumentar a Eficiência Energética e a qualidade dos ambientes em uma edificação, deve-se pensar na complementaridade que existe entre a luz artificial e a luz natural.

O aproveitamento total da luz natural, salienta Braga (2007), é viabilizado com a adoção de reatores eletrônicos reguláveis, que

permitem variar o fluxo luminoso das luminárias, fazendo com que quanto maior a parcela de luz natural incidente no ambiente, menor seja o uso da iluminação artificial.

A atenção dispensada à iluminação em um projeto deve ser especial. Neste sentido, a iluminação natural deve ser integrada à artificial em um único sistema. Assim, sempre que a luz natural for adequada às necessidades de iluminação do ambiente, a iluminação artificial deve ser desativada ou reduzida, através da adoção de sistemas de controle (DIDONÉ, 2009).

Conforme Salomão (2010), o conceito de iluminação é abordado sob diversos aspectos, como o estético, o automotivo, o entretenimento e a agricultura. Em contrapartida, a quantidade de pesquisas voltadas à iluminação sob a ótica da gestão de energia demonstra-se pouco expressiva.

Portanto, entende-se que a pesquisa e a aplicação de novas tecnologias que sejam capazes de controlar a iluminação de ambientes, de maneira eficaz, almejando a Eficiência Energética e a sustentabilidade, apresentam-se como relevantes. Neste contexto, justifica-se o emprego da Internet das Coisas.

1.5 ESCOPO

O intuito principal deste trabalho é demonstrar como a Internet das Coisas pode contribuir para a Eficiência Energética, através de um sistema que controle a luminosidade de um ambiente, mantendo-a em níveis adequados para a execução das tarefas as quais o ambiente é indicado, evitando desperdícios, economizando energia elétrica e recursos financeiros.

Para tal, além da revisão bibliográfica necessária à compreensão e delimitação do tema, concebeu-se um protótipo que utiliza sensores sem fio, que medem a intensidade de luz do ambiente, enviam estas informações a um controlador, que ajusta de acordo com a necessidade, o nível de luminosidade fornecido por uma luminária. Desta maneira, estima-se o quanto de energia elétrica foi economizada, ao se fazer uso deste recurso, durante um determinado período.

O aplicativo desenvolvido monitora a luz em um ambiente pequeno (uma sala de 12 m²), composta por uma luminária e dois sensores, não fazendo parte de seu escopo, a utilização de recursos computacionais avançados como verificação de integridade dos dados, criptografia de transmissão, compressão, roteamento, redes neurais e inteligência artificial, bem como integração a banco de dados ou mesmo

sistemas geradores de gráficos complexos, não sendo também concebido para ser adotado em ambientes amplos, com uma quantidade superior de sensores e luminárias.

Neste sentido, contudo, este trabalho trata-se de um passo inicial de um projeto robusto, que futuramente almeja conduzir uma pesquisa que empregue as técnicas computacionais elencadas anteriormente, podendo ser aplicado em ambientes diversificados.

Desta maneira, esta dissertação é considerada como ponto de partida, bem como de referência, a pesquisadores iniciantes, com pouca ou alguma percepção nos temas aqui apresentados e que demonstrem interesse em ampliar seus conhecimentos, assim como desenvolver estudos aprofundados acerca dos assuntos aqui explorados.

1.6 ADERÊNCIA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO

A presente dissertação está vinculada à linha de Tecnologia Computacional, uma vez que contextualiza seu foco nas áreas de conectividade, redes de sensores sem fio, plataformas de desenvolvimento, eficiência energética, sustentabilidade e meio ambiente. Para Didoné (2009), a avaliação do desempenho energético de uma edificação ou mesmo de um ambiente envolve grande quantidade de variáveis interdependentes, bem como conceitos interdisciplinares. Reforça-se esta afirmativa mediante a concepção do controlador GaliLux, descrito no Capítulo 5 deste trabalho, explicitando desta maneira sua aderência ao programa, bem como sua natureza interdisciplinar, ao propor a associação da Internet das Coisas ao campo da Eficiência Energética. Além do exposto no Capítulo 5, os Capítulos 2,3,4 e 6, fortalecem estes conceitos ao discorrer a respeito das idiosincrasias, particularidades e especificidades dos temas pesquisados e sua correlação.

1.7 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O desenvolvimento de um projeto de pesquisa deve estar baseado em um planejamento cuidadoso, reflexões conceituais sólidas e alicerçado em conhecimentos existentes. O sucesso de uma pesquisa relaciona-se ao procedimento seguido, ao envolvimento do pesquisador e de sua habilidade em escolher o caminho para atingir os objetivos (SILVA; MENEZES, 2005).

Conforme Gil (2010), uma pesquisa é conduzida mediante o concurso dos conhecimentos disponíveis e a aplicação metódica de métodos, técnicas e demais procedimentos científicos, ao longo de um processo que envolve diversas fases, desde a adequada formulação do problema até a satisfatória apresentação dos resultados.

Neste contexto, Kauark, Manhães e Medeiros (2010, p. 25), acrescentam que, "A importância de conhecer os tipos de pesquisas existentes está na necessidade de definição dos instrumentos e procedimentos que um pesquisador precisa utilizar no planejamento da sua investigação."

Desta maneira, considerando sua natureza, esta dissertação é do tipo aplicada. Uma pesquisa aplicada, salientam Prodanov e Freitas (2013), tem como finalidade gerar conhecimentos para aplicações práticas, voltados à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais.

Em relação à sua abordagem, esta dissertação classifica-se como qualitativa. Para Silva e Menezes (2005), este tipo de pesquisa considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, não fazendo-se necessária a utilização de métodos e técnicas estatísticas, sendo que o ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave, uma vez que o processo e seu significado são os focos principais.

Considerando seus objetivos, esta pesquisa é qualificada como explicativa. Na concepção de Prodanov e Freitas (2013), pesquisas explicativas têm o intuito principal de fornecer maiores informações sobre o assunto a ser investigado, permitindo sua delimitação e seu delineamento, descobrindo um novo tipo de enfoque para o assunto.

No quesito procedimentos técnicos, a presente dissertação está classificada como experimental. Para Gil (2010), com a determinação do objeto de estudo, selecionam-se as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definem-se as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

1.8 METODOLOGIA

As etapas desenvolvidas para a realização deste trabalho, almejando alcançar os objetivos propostos são apresentadas na Figura 2.

Uma vez definido o tema e o escopo do trabalho relacionado à Internet das Coisas e sua associação ao conceito de Eficiência Energética, procedeu-se a pesquisa bibliográfica no intuito de compreender os conceitos inerentes às tecnologias escolhidas.

Conjuntamente, os componentes de *hardware* necessários à elaboração do protótipo foram adquiridos.

Figura 2 - Etapas da Dissertação.



Fonte: elaborada pelo autor.

Findadas estas etapas, iniciou-se o desenvolvimento do protótipo, fase considerada mais delicada, visto os componentes envolvidos e sua relevância no projeto. Vários testes foram realizados até sua aprovação. Problemas relacionados ao posicionamento dos sensores, bem como à incompatibilidades entre os dispositivos foram obstáculos a serem superados.

Após finalizado este estágio, executou-se o monitoramento do sistema, concluindo-se com a tabulação e análise dos resultados.

Em relação ao protótipo desenvolvido, os detalhes de sua estrutura, bem como a sistemática empregada no monitoramento e coleta das informações, são apresentados nos Capítulos 5 e 6 deste trabalho.

1.9 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é composto por 7 capítulos, estruturados da seguinte maneira:

- **Capítulo 1:** capítulo introdutório, composto pela problemática, objetivos, justificativa, escopo do trabalho, aderência ao programa PPGTIC e a metodologia adotada.
- **Capítulo 2:** neste capítulo apresentam-se conceitos inerentes à Internet das Coisas.

- **Capítulo 3:** descrevem-se aspectos relacionados à Eficiência Energética.
- **Capítulo 4:** contempla o estado da arte das pesquisas envolvendo a Internet das Coisas aplicada à Eficiência Energética.
- **Capítulo 5:** discorre acerca dos detalhes do protótipo desenvolvido.
- **Capítulo 6:** neste capítulo são apresentados os resultados e discussões associadas às sessões de monitoramento.
- **Capítulo 7:** contém as conclusões e recomendações para futuras pesquisas. Ao final, apresentam-se as referências bibliográficas utilizadas, bem como os apêndices e anexos.

2 INTERNET DAS COISAS

Neste capítulo são descritos conceitos relacionados à Internet das Coisas, tecnologia que promove a integração e iteração de objetos com seres humanos utilizando a rede mundial de computadores, considerada por muitos como um novo paradigma neste contexto. Sua concepção, evolução, arquitetura, bem como tecnologias à ela associadas são aqui apresentadas.

2.1 DEFINIÇÃO

O advento e a popularização da Internet contribuíram para o surgimento de novos conceitos, aumentando o leque de aplicações e estendendo as possibilidades de seu uso em diferentes áreas de conhecimento, quebrando antigos e criando novos paradigmas. Conforme Lacerda (2015), o contexto da sociedade atual aponta para uma realidade de convergência em que os limites entre o concreto e o digital se tornam cada vez mais tênues.

De acordo com Santucci (2013) :

Quando os objetos podem sentir o ambiente e se comunicar, eles se tornam ferramentas poderosas para entender coisas complexas e responder a elas com eficiência. Embora tais objetos inteligentes possam interagir com humanos, é mais provável que interajam ainda mais entre si automaticamente, sem intervenção humana atualizando-se com as tarefas do dia.

O conceito primordial associado à Internet das Coisas, remete-se à capacidade que os objetos possuem de se comunicar, reportando informações acerca de seu estado e funcionamento. Conforme Serafim (2014), a IoT (*Internet of Things*) consiste em interligar os objetos de uso cotidiano do ambiente real com a Internet, tornando-os então objetos inteligentes.

Na concepção de Cervantes (2014), uma rede IoT é composta por objetos dotados de capacidade de processamento, oferecendo a possibilidade de enviar e receber informações através da rede. O autor sustenta que a Internet das Coisas é fruto de uma revolução tecnológica que representa o futuro da computação e da comunicação, candidata à melhorar a vida das pessoas.

A Internet das Coisas está alicerçada na presença de um conjunto de objetos, tais como sensores, atuadores e telefones celulares, que por meio de mecanismos de endereçamento único como a Internet são capazes de interagir e cooperar uns com os outros. A comunicação e a troca de informações entre estes diferentes objetos constituem um cenário de uso clássico deste paradigma (TOMAS, 2014).

Neste contexto, segundo Antunes (2014, p.13):

Espera-se que os objetos no escopo da IoT não sejam apenas dispositivos com comunicação sem fio, memória e capacidade de processamento, mas que tenham também autonomia, comportamento pró-ativo, conhecimento sobre o contexto e sejam capazes de cooperar entre si para alcançar metas comuns.

A Internet das Coisas, enfatiza Lacerda (2015), provê vários benefícios para a sociedade, observando-se efeitos significativos nas áreas de meio ambiente, saúde, comunicação, segurança, comodidade e urbanismo, uma vez que as aplicações são tantas quantas forem possíveis de se imaginar ao associar objetos com informações. O Quadro 1 demonstra algumas destas aplicações.

Quadro 1 - Aplicações para a Internet das Coisas.

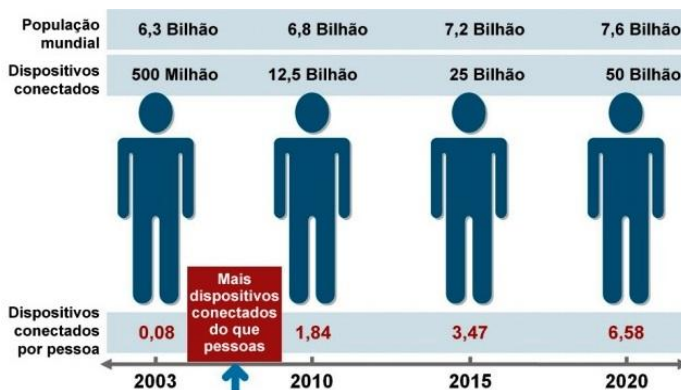
Rede	Aplicação	Exemplos
Sensoriamento	Monitoramento do mundo físico	Temperatura, umidade, fauna
Industrial	Melhoras na qualidade do produto	Telecomunicações, médica, transporte
Civil	Monitoramento cidadão	Comercial, doméstica, veicular
Resgate	Comunicação no ambiente de resgate e coleta de dados	Desastres naturais
Militar	Comunicação no campo de guerra	Aviso de ataques

Fonte: elaborada pelo autor, a partir de Cervantes (2014).

Para se ter uma noção do potencial disponível, Ferreira (2014) menciona que em 2013 existiam mais de dez bilhões de objetos com a

possibilidade de se comunicar através da Internet, sendo que até o ano de 2022 esse número poderá atingir o patamar de um trilhão de dispositivos. Para Evans (2011), estes índices demonstram-se diferentes, porém significativos, conforme apresenta a Figura 3.

Figura 3 - Estimativa de crescimento da Internet das Coisas.



Fonte: Evans (2011, p.3).

Considerando estes dados, entende-se que o número de equipamentos conectados surge como desafio para a infraestrutura da rede, uma vez que existe a necessidade de administração do tráfego e do armazenamento das informações por eles gerados.

2.2 HISTÓRICO

O termo Internet das Coisas, destaca Gogliano Sobrinho (2013), relaciona-se a um novo paradigma, que tem por premissa a integração entre objetos de uso cotidiano e a Internet. Contudo, para muitos esse conceito demonstra-se abstrato e muitas vezes de difícil compreensão, no que tange à maneira de como se procede essa integração.

Na visão de Lacerda (2015), a base da IoT é a computação ubíqua, idealizada por Mark Weiser em 1991. Ferreira (2014), caracteriza a computação ubíqua pelo alto grau de mobilidade, transparência de uso ao usuário e reação ao contexto, alcançando desta maneira os princípios da diversidade, conectividade e descentralização.

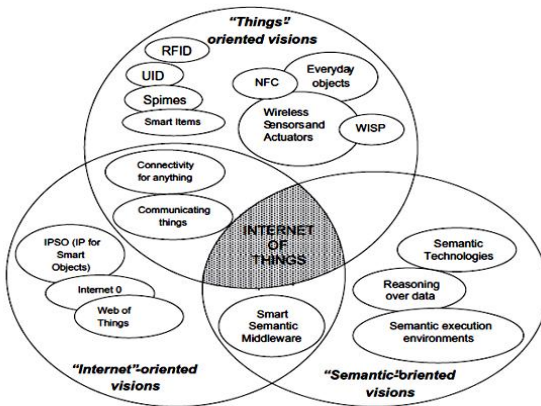
A partir do surgimento da Internet em 1989, o conceito de interligar objetos ("coisas") tem sido utilizado em larga escala. Em 1990

John Romkey desenvolveu um dispositivo baseado neste conceito, uma torradeira que podia ser ligada/desligada à distância, através da Internet (SURESH et al., 2014).

Em 1999, o pesquisador do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) Kevin Ashton fez uso do termo Internet das Coisas pela primeira vez, em uma apresentação direcionada a empresa Procter & Gamble (SERAFIM, 2014).

O significado do termo, explana Ferreira (2014), ampliou-se e passou a abranger a área de sensores e atuadores sem fio, de objetos conectáveis a redes que utilizam o protocolo TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*), assim como as tecnologias de semântica de dados, concebendo desta maneira uma visão orientada às coisas, uma visão orientada à internet e uma visão orientada à semântica, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Diferentes visões da Internet das Coisas.



Fonte: Atzori, Iera e Morabito (2010, p.2789).

Ao referir-se às diferentes visões, Atzori, Iera e Morabito (2010), detalham que a visão orientada às coisas objetiva demonstrar propostas que assegurem o melhor aproveitamento dos recursos dos dispositivos e sua comunicação; a visão orientada à semântica foca na representação, armazenamento, pesquisa e organização da informação gerada, procurando soluções para a modelagem das descrições que permitam um tratamento adequado para os dados produzidos pelos objetos; enquanto

que a visão orientada à internet tem o intuito de conceber modelos e técnicas destinadas a interoperabilidade dos dispositivos em rede.

O Quadro 2 demonstra a linha do tempo, em aspectos gerais, com fatos que direta ou indiretamente influenciaram o desenvolvimento da Internet das Coisas.

Quadro 2 - Linha do tempo da Internet das Coisas.

Ano	Fato
1832	Baron Schilling inventa o telégrafo eletromagnético.
1884	Samuel Morse desenvolve o código Morse, para envio de mensagens telegráficas.
1949	Norman Joseph Woodland cria o código de barras linear.
1965	Gordon Moore profetiza a Lei de Moore, que afirma que o poder de processamento dos computadores dobrará a cada 18 meses.
1969	Envio da primeira mensagem através da Arpanet (<i>Advanced Research Project Agency Network</i>).
1974	Primeira especificação do protocolo TCP/IP .
1990	John Romkey desenvolve uma torradeira que pode ser ligada/desligada através da Internet.
1991	Artigo de Mark Weiser na revista <i>Scientific American</i> , sobre computação ubíqua.
1993	Quentin Stafford Fraser e Paul Jardetzky, criam uma cafeteira capaz de monitorar os níveis de café, pelo envio de imagens atualizadas três vezes a cada minuto.
1999	Kevin Ashton cunha o termo " <i>Internet of Things</i> " como o título de uma apresentação na empresa Procter & Gamble.
2005	A ITU (<i>International Telecommunications Union</i>) publica seu primeiro relatório sobre a Internet das Coisas.
2005	Criação do Arduino, placa microcontroladora de baixo custo e fácil manuseio.
2009	Surge a Internet das Coisas, no momento em que o número de dispositivos conectados ultrapassa a população mundial.
2012	Protótipo do <i>Google Glass</i> , óculos que exibe informações coletadas sem fio de acordo com especificações do usuário.
2014	O site de tecnologia <i>Venture Beat</i> elege 2014 como o ano da Internet das Coisas.

Fonte: elaborada pelo autor, a partir de Atzori, Iera e Morabito (2010), Lacerda (2015) e Suresh et al. (2014).

Muitas são as definições, conceitos, visões e invenções associadas ao paradigma de Internet das Coisas, conforme atestam Atzori, Iera e Morabito (2010), ao destacarem que a razão desta imprecisão é uma consequência do nome em si, que sintaticamente é composto de dois termos. O primeiro direciona-se a uma visão orientada à rede da Internet, enquanto o segundo move o foco em "objetos genéricos" para serem integrados em uma estrutura comum. Desta maneira, é comum a divergência de autores, quanto a datas e relevância dos fatos.

2.3 ARQUITETURA

Faz-se necessário padronizar a maneira pela qual os objetos devem funcionar, argumenta Ferreira (2014), para que estes possam prestar serviços à outras entidades. Segundo o autor, é preciso definir qual será a forma de abstração lógica de dispositivos, comunicação com o mundo exterior, como o acesso aos serviços deverá acontecer e todos os protocolos necessários para tornar um objeto simples em um objeto inteligente completo.

Neste sentido, Lacerda (2015), destaca que considerando o desafio de compreensão e materialização da IoT, vários países estão combinando esforços em busca de arquiteturas, modelos de referência e soluções integradas para as necessidades que se apresentam.

Diversos pesquisadores discutem modelos de arquitetura para a Internet das Coisas, sendo que grande parte das arquiteturas propostas se aproxima em camadas com basicamente as mesmas funções ou muito próximas, que disponibilizam serviços a determinadas partes da rede (SERAFIM, 2014).

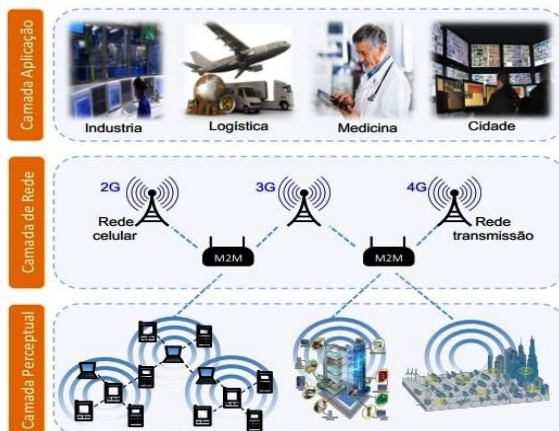
Na concepção de Cervantes (2014), através desta arquitetura os usuários trocam informações entre o mundo físico e o virtual, fazendo uso de serviços inteligentes. Tal arquitetura, apresentada na Figura 5, corrobora Serafim (2014), serve como ponto de partida para as demais, sendo resumida em três camadas: perceptual, rede e aplicação.

Descrita como a base da IoT, a camada sensitiva ou perceptual (*perception layer*) tem como funções o reconhecimento e a coleta de informações, fazendo com que cada objeto possua um identificador único e possibilite à coleta de informação identificar os dados enviados pelos objetos através da rede (CERVANTES, 2014).

A camada de rede (*network layer*), certifica Serafim (2014), é responsável por transmitir e processar as informações, sendo considerada o centro de processamento inteligente da arquitetura. Suas

funcionalidades podem ser estendidas para a convergência de redes de comunicação e a Internet, o centro de gerenciamento de rede e centro de informação.

Figura 5 - Arquitetura da Internet das Coisas.



Fonte: Cervantes (2014, p.8).

De acordo com Cervantes (2014), a camada de aplicação (*application layer*) objetiva integrar todas as funções das camadas inferiores e fornecer vários serviços específicos e inteligentes para os usuários finais, sendo o alvo final no desenvolvimento da IoT. Serafim (2014) complementa, afirmando que nesta camada a Internet das Coisas encontra suas finalidades, servindo para melhorar a qualidade de vida das pessoas.

Para Atzori, Iera e Morabito (2010), existem três questões relacionadas à arquitetura da Internet das Coisas: a interoperabilidade, a escalabilidade e a segurança. Conforme Ferreira (2014), uma arquitetura de sucesso deve tratá-las utilizando o máximo de tecnologias e padrões existentes para que possa ser evoluída por partes e por grupos diferentes.

2.4 TECNOLOGIAS

Esta seção descreve algumas das tecnologias associadas ao funcionamento da Internet das Coisas, enfatizando as redes de sensores sem fio e a tecnologia *ZigBee*, adotadas no desenvolvimento do protótipo de gerenciamento de intensidade de luminosidade no

ambiente. Ressalta-se a existência de um amplo universo de conceitos relacionados ao tema que poderiam ser explorados, contudo optou-se por discorrer acerca daqueles que apresentam maior aderência ao escopo desta pesquisa.

2.4.1 Identificação por rádio frequência

A tecnologia de identificação por rádio frequência, RFID (*Radio Frequency Identification*), esclarece Paes (2014), realiza a transmissão por meio de ondas de rádio, permitindo o rastreamento, identificação e troca de informações com outros dispositivos que também possuam a mesma interface.

O sistema RFID objetiva identificar objetos pelo uso de etiquetas (*tags*) que podem transmitir o sinal para um ou mais leitores (SERAFIM, 2014). Na concepção de Cardoso (2013), as etiquetas trazem consigo as informações sobre o item a ser rastreado e os leitores são dispositivos capazes de reconhecer o conteúdo registrado nas etiquetas.

Essas etiquetas são classificadas em ativas e passivas, conforme argumenta Cervantes (2014). As etiquetas ativas possuem bateria própria que fornece energia, geralmente têm maior poder de processamento e alcance de transmissão. Em contrapartida, as etiquetas passivas não possuem bateria, sendo alimentadas pelo leitor e por conseguinte, o poder de computação é menor, contudo operam em qualquer banda de frequência.

Originalmente desenvolvida para substituir o código de barras, a tecnologia RFID apresenta-se sob diversas formas, sendo associada a produtos de supermercados, passaportes, livros, implantada em animais, entre outras aplicações possíveis (TANENBAUM; WETHERALL, 2011). Ao referir-se a este tema, Suresh et al. (2014), afirmam que a tecnologia RFID apresenta-se como um componente chave para a Internet das Coisas.

De acordo com Barbin (2015), com os avanços na tecnologia de circuitos integrados de silício, as etiquetas tornaram-se confiáveis e baratas, sendo assim, a primeira década do século 21 viu o mundo se movendo em direção à tecnologia de RFID com a sua adoção generalizada e em grande escala. Este movimento, complementa o autor, tem sido contínuo e se traduz em grandes perspectivas para a crescente comercialização em todo o mundo.

2.4.2 Redes de sensores sem fio

Entende-se por Redes de Sensores sem Fio (RSSF), conforme sustenta Aquino (2015), como sendo um conjunto de dispositivos de sensoriamento dotados de capacidade de processamento e comunicação limitados, visto que são alimentados por baterias e que permitem monitorar uma variedade de fenômenos descritos por grandezas físicas, como temperatura, pressão e umidade. Tanenbaum e Wetherall (2011) elencam este tipo de tecnologia como um passo adiante na capacidade do RFID, descrito anteriormente.

Para Antunes (2014), as RSSF são exemplos típicos de Redes de Baixo Consumo e Baixa Potência (LLNs - *Low-Power and Lossy Networks*), consideradas como uma área importante dentro da Internet das Coisas. O autor acrescenta que as redes LLN operam com severas restrições em termos de capacidade de processamento, armazenamento e fonte de energia, sendo caracterizadas por elevadas taxas de perdas de pacotes, baixas taxas de transmissão e alta instabilidade.

Quanto às possibilidades de sua aplicação, Aquino (2015) indica sua adoção no fortalecimento de sistemas urbanos, citando soluções para a integração de veículos capazes de interagir entre si para compartilhar informações de acidentes ou congestionamentos, no contexto ambiental visando o monitoramento da qualidade do ar, praias ou rios e à previsão de catástrofes, bem como na automação de prédios permitindo assim, a concepção de ambientes inteligentes.

Ainda em relação às suas aplicações, Yick, Mukherjee e Ghosal (2008), classificam as RSSF em duas categorias: rastreamento e monitoramento. O rastreamento está associado à tarefa de identificar objetos, pessoas ou animais em determinadas localidades. Quanto ao monitoramento, sustentam os autores, aplica-se ao acompanhamento de fenômenos ou eventos.

Redes de sensores sem fio são estruturadas em nós que recolhem e repassam as informações por eles detectadas sobre o estado do mundo físico. Esta tecnologia está revolucionando a ciência, oferecendo dados comportamentais que não poderiam ser antes observados (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

2.4.3 Protocolo IPv6

Na ótica de Antunes (2014), um dos grandes desafios para o funcionamento pleno da Internet das Coisas relaciona-se à necessidade

da existência de mecanismos de endereçamento que permitam identificar unicamente cada dispositivo conectado à rede.

Considerando que a base de funcionamento da Internet é o protocolo TCP/IP, é natural que esta identificação esteja associada aos endereços IP. Contudo, um entrave à esta solução diz respeito à escassez dos endereços IPv4. Segundo Tanenbaum e Wetherall (2011), o crescimento exponencial da Internet é a prova da eficiência do protocolo, porém ele acabou sendo vítima de sua popularidade. De acordo com Atzori, Iera e Morabito (2010), devido a esta limitação o IPv4 está descartado para uso com a Internet das Coisas.

Objetivando resolver este problema, a IETF (*Internet Engineering Task Force*), em 1998, concebeu o protocolo IPv6¹. Esta versão, destaca Lacerda (2015), possibilita a geração de cerca de 340 undecilhões de endereços IP, o suficiente para identificar diversas vezes cada grão de areia do planeta, tornando-se conseqüentemente o padrão para dispositivos na IoT.

Apesar da disponibilidade de endereços para os dispositivos conectados à IoT aparentemente não ser um obstáculo, sua adoção esbarra em questões de compatibilidade. A tecnologia RFID, relatam Atzori, Iera e Morabito (2010), faz uso de identificadores com tamanho de 96 bits, incompatíveis com o IPv6. Como solução, a IETF desenvolveu a tecnologia 6LoWPAN (*IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks*).

A tecnologia 6LoWPAN permite que dispositivos com baixo consumo de energia e limitações de processamento, possam através de uma camada de adaptação, transportar pacotes IPv6 através de técnicas de compressão (YICK; MUKHERJEE; GHOSAL, 2008).

2.4.4 Bluetooth

Trata-se de uma tecnologia, menciona Franceschinelli (2003), que permite conexões sem fios entre quaisquer dispositivos de computação, comunicação e eletrônicos além do reconhecimento e sincronização de dispositivos inteligentes.

Winter (2013) complementa, destacando que este padrão foi desenvolvido inicialmente para ser utilizado em curtas distâncias, em

¹ Enquanto o protocolo IP em sua versão 4 é formado por endereços de 32 bits (2^{32} endereços possíveis), a versão 6 é composta por endereços de 128 bits, totalizando 2^{128} endereços possíveis (KUROSE; ROSS, 2013).

substituição a cabos de conexão de dispositivos pessoais, como telefones, computadores e outros dispositivos portáteis.

O *Bluetooth* oferece uma técnica específica que possibilita que vários dispositivos possam se comunicar entre si, operando na faixa ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) de 2,4 GHz (RAPPAPORT, 2009). Esta faixa, salienta Winter (2013), está dividida em 79 canais com largura de 1 MHz, sendo que a interface com o meio físico é baseada em uma saída com potência variando de 1 mW a 100 mW.

A taxa de transferência de dados alcançada com o *Bluetooth* 1.0, afirma Paes (2014), é de 1 Mbps e sua área de cobertura é limitada em dez metros na maioria dos casos. Já o *Bluetooth* 2.0 permite a transferência de informações a 12 Mbps, em áreas de até vinte metros de raio, com a possibilidade de gerenciar dez conexões simultâneas. Em sua terceira versão, afirma Torres (2014), o *Bluetooth* permite taxas de até 24 Mbps, desde que uma rede sem fio 802.11 esteja presente no ambiente. O autor complementa, enfatizando que o *Bluetooth* 4.0 adiciona uma nova pilha de protocolos, mais leve e com menor consumo de energia, possibilitando maior duração das baterias, contudo as taxas de transferência permanecem as mesmas.

As redes *Bluetooth*, destacam Kurose e Ross (2013), de acordo com sua topologia são classificadas como *ad hoc*, uma vez que não precisam de um ponto de acesso para interconectar seus dispositivos, já que um destes dispositivos é designado como mestre e os outros agem como escravos, criando a chamada *piconet*. Observa-se que toda a comunicação é realizada entre o mestre e os escravos, não sendo possível a comunicação direta entre escravos. De acordo com Torres (2014) um dispositivo pode ser escravo em mais de uma rede, podendo contudo ser mestre em apenas uma rede.

O padrão *Bluetooth* facilita as conexões sem fio e de curto alcance, bem como as comunicações entre vários dispositivos eletrônicos; possui alcance limitado, baixo custo, baixo poder de processamento, além de tecnologia de baixo perfil que provê um mecanismo para criação de pequenas redes sem fio numa base *ad hoc* (FRANCESCHINELLI, 2003).

2.4.5 ZigBee

O padrão *ZigBee* foi concebido para aplicações que demandam menor potência, taxa de dados e ciclo de trabalho. Sensores domésticos de temperatura e iluminação, dispositivos de segurança e interruptores de parede são exemplos de seu uso (KUROSE; ROSS, 2013).

Ademais, Farahani (2008) acrescenta que em muitas aplicações *ZigBee*, os dispositivos envolvidos ficam pouco tempo em atividade, permanecendo em estado suspenso (*sleep mode*). Como resultado deste processo, complementa o autor, os equipamentos *ZigBee* podem funcionar durante anos sem a necessidade de substituição de suas baterias.

Segundo Ferreira (2014), os protocolos *ZigBee* tem a responsabilidade de levar a informação de um nó até outro, provendo segurança, garantindo a entrega e procurando sempre o melhor caminho, a melhor eficiência e economizando energia. O autor complementa informando que a rede *ZigBee* é autogerenciada, uma vez que o próprio protocolo se encarrega da manutenção da comunicação entre os equipamentos, permitindo que novos dispositivos encontrem automaticamente uma rede e se conectem a ela.

A tecnologia transmite informações através de ondas de radio por uma frequência de 2,4 GHz com imunidade e sem interferências, enviando dados a taxas entre os 20 e 250 Kbps. As faixas de frequência utilizadas são as frequências livres de 2.4 GHz (global), 915 MHz (Américas) e 868 MHz (Europa) (SURESH et al., 2014).

Em se tratando de comunicação, é importante ressaltar que o padrão *ZigBee* define apenas os níveis de aplicação, rede e segurança do protocolo, sendo que para os níveis PHY e MAC ele utiliza as especificações contidas no IEEE 802.15.4² (FARAHANI, 2008).

Para Ferreira (2014), devido a seu custo, padronização, flexibilidade, adaptabilidade e difusão, o *ZigBee* tem sido muito utilizado para aplicações de IoT, apresentando-se cada vez mais como um padrão que vai perdurar em aplicações de baixa taxa de transmissão e baixo consumo de energia.

Contudo, Suresh et al. (2014), alertam que um dispositivo de terceiros pode se passar por um nó *ZigBee*, interceptando suas informações, o que representa uma séria falha de segurança.

² Este padrão foi desenvolvido para sistemas de comunicação de curta distância e baixo consumo de energia, especificando as camadas PHY e MAC, sendo utilizado como base para outros padrões como o *Zigbee* e *WirelessHART*. Utiliza como método de acesso ao meio o CSMA-CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) e suporta diferentes topologias como estrela e ponto a ponto (WINTER, 2013).

2.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados conceitos inerentes ao paradigma da Internet das Coisas, evolução, características e tecnologias associadas. Um ponto observado concerne à definição e abrangência do termo. Registram-se incertezas quanto à maneira e o contexto de sua concepção. Os autores pesquisados divergem em aspectos técnicos, e habitualmente justificam sua aplicação em situações pontuais, voltadas à cenário próprios e particulares. Alguns por exemplo, defendem o uso do padrão *Bluetooth*, outros mostram-se inclinados ao padrão *ZigBee*.

Ficou claro, porém que o integral funcionamento da IoT encontra-se condicionado a plena disseminação do protocolo IPv6, justamente pelas idiosincrasias a ele associadas, especialmente quanto à sua vasta faixa de endereçamento disponível.

3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Este capítulo discorre a respeito de conceitos pertinentes à Eficiência Energética, apresentando exemplos de fontes de geração de energia, com ênfase à energia elétrica, tema deste trabalho. Buscou-se compreender as diferentes maneiras de produzir a energia elétrica, suas vantagens e desvantagens, bem como os impactos ambientais e sociais resultantes deste processo.

3.1 CONCEPÇÃO

A energia está presente em todas as atividades humanas e como não encontra-se disponível de maneira direta na natureza, sendo obtida por meio de transformações de recursos naturais, seu consumo de forma adequada manifesta-se como um dos requisitos essenciais para a construção de um modelo de desenvolvimento sustentável (ROMÉRO; REIS, 2012).

Para Pereira (2010), a utilização de energia tem sido intensiva e crescente desde a Revolução Industrial, uma vez que sua adoção é essencial para o funcionamento dos mais diversos setores e atividades da sociedade. Como exemplo, a autora cita a energia elétrica, responsável pelo funcionamento da maior parte dos equipamentos de edificações residenciais, comerciais e públicas.

Na atualidade, emprega-se a energia elétrica para aquecer, refrescar, iluminar, preparar e conservar alimentos, gerenciar informações, entre outros (OLIVEIRA, 2015).

Neste cenário, salienta Braga (2007), faz-se necessário caracterizar, monitorar e tornar eficiente o consumo energético. A autora sustenta que utilizar energia de maneira racional, implica em maximizar o desempenho de uma instalação, com o mínimo consumo de energia, através do desenvolvimento de políticas orientadas à Eficiência Energética.

Na ótica Goldemberg e Lucon (2012), muitas são as vantagens da aplicação de políticas de Eficiência Energética:

- O custo da economia de energia é inferior ao da geração;
- Aumenta-se a segurança no fornecimento, poupando-se recursos que são finitos;
- Há ganhos micro e macroeconômicos associados a um aumento de produtividade e de competitividade industrial;

- Aumenta-se a disponibilidade de acesso a serviços de energia;
- Reduzem-se os impactos ambientais, em especial a emissão de gases poluentes e do efeito estufa.

O tema Eficiência Energética compreende quatro dimensões: legal, ambiental, tecnológica e socioeconômica, afirmam Sola, Xavier e Kovaleski (2006). A dimensão legal preconiza a importância do Estado na regulamentação do setor energético. Os aspectos de uso eficiente de energia convergem à dimensão ambiental, evidenciada pela preocupação da comunidade nacional e internacional quanto à sustentabilidade e os impactos ambientais. A dimensão tecnológica destaca a relevância da tecnologia para a obtenção da Eficiência Energética, enquanto que a dimensão socioeconômica ressalta a necessidade da otimização dos recursos econômicos e financeiros na produção de bens e serviços e geração de emprego e renda. Estes conceitos estão representados na Figura 6.

Figura 6 - Dimensões da Eficiência Energética.



Fonte: Adaptado de Sola, Xavier e Kovaleski (2006, p.5).

O uso racional da energia entrou na agenda mundial a partir dos choques no preço do petróleo dos anos 1970³, quando constatou-se que a

³ Em 17 de outubro de 1973, os produtores majoritários da Opep (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) reduziram a extração, elevando o preço do barril de US\$ 2,90 para US\$ 11,65 em apenas 90 dias. Uma consequência importante dessa crise foi a criação da IEA (*International Energy Agency*), cujo objetivo inicial era tratar de questões

utilização das reservas de recursos fósseis teria custos crescentes, seja do ponto de vista econômico, seja do ponto de vista ambiental. Desde então, equipamentos e hábitos de consumo passaram a ser verificados em termos da conservação da energia, comprovando que muitas iniciativas que resultam em maior Eficiência Energética são economicamente viáveis (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2010).

Desta maneira, Roméro e Reis (2012), consideram que o conceito de Eficiência Energética foi concebido sob um contexto de crise e vem permanecendo ao longo das últimas quatro décadas, devido ao sucesso da aplicação das ferramentas legais e do avanço tecnológico proporcionado pelo ambiente de crise e de elevações tarifárias.

No Brasil, de acordo com Empresa de Pesquisa Energética (2010), diversas iniciativas existem há mais de 20 anos, entre elas:

- O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO);
- O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), a cargo das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás);
- O Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), sob responsabilidade da Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras).

No contexto do desenvolvimento sustentável, argumentam Roméro e Reis (2012), o ideal é que esses programas aconteçam de forma integrada e organizada, de maneira que as políticas e o planejamento se relacionem harmonicamente, formando um todo coeso e bem administrado.

3.2 BARREIRAS À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Na percepção de Burattini (2008), a busca pela Eficiência Energética deve fazer parte consciente de todas as ações do ser humano moderno.

Conquanto, apesar do vasto conhecimento existente sobre estratégias, políticas, formas gerenciais e alternativas tecnológicas para

relacionadas ao petróleo, as quais posteriormente se expandiram para outras fontes de energia (ROMÉRO; REIS, 2012).

um uso mais racional da energia, muitas são as barreiras que impedem um rápido avanço nos níveis de Eficiência Energética possíveis de serem alcançados (ROMÉRO; REIS, 2012).

Neste cenário, Pessoa e Oliveira (2002) entendem que os custos crescentes da geração de energia, as oscilações dos mercados mundiais de produção de petróleo e a necessidade de atender a demandas cada vez maiores, compõem uma equação de difícil solução. De um lado, complementam os autores, observa-se o acesso limitado a financiamentos e de outro, verificam-se crescentes impactos sócio ambientais originados pela construção e operação de novos empreendimentos energéticos, gerando fortes pressões para a mudança de ótica no planejamento energético.

Dentre as principais barreiras à conservação de energia, Goldemberg e Lucon (2012), destacam:

- O preço baixo da energia para determinados setores, que não reflete os custos da geração;
- A falta de prioridade para a energia, considerada custo fixo em empresas voltadas a outras atividades;
- As decisões dos consumidores pelos custos iniciais dos sistemas energéticos, não pelos custos em todo o ciclo de vida;
- A pouca informação fornecida pelos fabricantes e vendedores de produtos que consomem energia;
- A baixa disponibilidade de equipamentos eficientes no mercado.

Além disso, Roméro e Reis (2012), acrescentam:

- Custos e incertezas relacionados às novas tecnologias;
- Dificuldades de investimentos iniciais nas camadas mais baixas da população;
- Ineficiência causada pelo desinteresse de terceiros;
- Falta de compatibilidade das estratégias e políticas energéticas com problemas globais.

De acordo com Fernandes (2013), as barreiras podem ser de origens distintas, alternando entre a disponibilidade de informação, a capacidade das organizações em gerenciar riscos e a disponibilidade de recursos financeiros.

A Eficiência Energética é um componente da eficiência econômica, mas nem sempre o dominante. A questão da energia muitas vezes exige conhecimentos específicos, o que está distante da atividade final das empresas. A situação se torna ainda mais complexa quando a receita de uma empresa e até mesmo de um país é oriunda da venda de energéticos. Nestes casos, existe oposição à conservação de energia, pois medidas de Eficiência Energética implicam em diminuição de lucros (GOLDEMBERG; LUCON, 2012).

3.3 FORMAS DE ENERGIA

A energia, em diferentes concepções, apresentam-se como fundamental à sobrevivência da espécie humana. O homem sempre procurou evoluir, descobrindo fontes alternativas de adaptação ao ambiente em que vive objetivando suprir suas necessidades. Assim, a exaustão, escassez ou inconveniência de um dado recurso tendem a ser compensadas pelo surgimento de outros (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002).

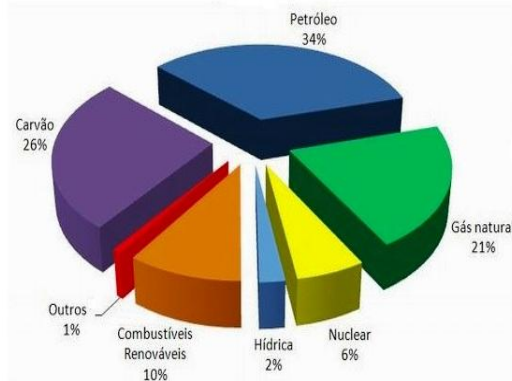
Tendo em vista a conjuntura enfrentada pela humanidade, destacam Roméro e Reis (2012), considera-se a energia como um bem básico à integração do ser humano ao desenvolvimento, uma vez que propicia oportunidades e maior variedade de alternativas, tanto para a comunidade como para o indivíduo. Para os autores, o suprimento de energia em suas diversas formas, com custo aceitável e confiabilidade garantida, é requisito essencial para o desenvolvimento de uma comunidade ou região.

De acordo com os efeitos que a energia produz ou segundo os fenômenos a que está associada, Guedes (2014) a classifica como:

- Solar - é a energia oriunda da radiação solar;
- Luminosa - energia associada à radiação solar, à luz de uma lâmpada ou de uma vela;
- Hídrica - obtida através da água armazenada em uma barragem;
- Geotérmica - proveniente do calor existente no interior da Terra;
- Eólica - energia associada ao vento;
- Química - é a energia que está associada ao carvão, petróleo, alimentos e medicamentos;
- Elétrica - é a energia vinculada à corrente elétrica.

Em termos de fontes geradoras de energia, a Figura 7 contém um exemplo da matriz energética mundial.

Figura 7 - Matriz energética mundial.



Fonte: Adaptado de Lopes e Silva (2010).

Na concepção de Oliveira (2015), em todo processo de conversão de energia ocorrem perdas, contudo, grande parte é desperdiçada em equipamentos obsoletos e mal dimensionados, em métodos de transporte ineficientes, ausência de logística adequada, falta de gerenciamento e inexistência de ações voltadas à Eficiência Energética.

É importante ressaltar que as fontes energéticas impactam com maior ou menor intensidade o meio ambiente, intensificando a necessidade de adoção de tecnologias menos poluentes sob qualquer aspecto. Observa-se que os grandes avanços tecnológicos nas técnicas de uso de energia, incidiram com um custo elevado sobre o meio ambiente e a sociedade, ocasionando uma desarmonia na relação entre homem e tecnologia, principalmente devido a excessiva valorização dos aspectos econômicos (ROMÉRO; REIS, 2012).

Neste contexto, Trsic e Fresqui (2012) ponderam que o planeta Terra é um organismo vivo, sendo difícil introduzir novos corpos (tecnologias e afins) sem provocar algum tipo de reação. Os autores exemplificam que as pás dos moinhos eólicos podem matar várias espécies de morcegos durante a noite. Os morcegos são predadores de insetos, que por sua vez atacam plantações, o que implica em prejuízos para a agricultura. Pinto (2014), contudo, afirma que o impacto da energia eólica em pássaros, morcegos e outros animais, ainda assim é

muito pequeno, quando comparado ao de outras atividades geradoras de energia.

Do ponto de vista ambiental, está claro que os hábitos da humanidade em relação à energia devem mudar para reduzir os riscos à saúde pública, evitar pressões significativas sobre sistemas naturais fundamentais e, em especial, gerenciar os riscos substanciais causados pelas mudanças climáticas globais. Em suma, a energia está no centro do desafio da sustentabilidade em todas as suas dimensões: social, econômica e ambiental (FAPESP, 2010).

3.4 A ENERGIA ELÉTRICA

Em termos de suprimento energético, a eletricidade é o alicerce sobre o qual encontra-se edificada a indústria eletrônica, a indústria dos aparelhos elétricos, uma grande parte dos transportes públicos, a informática, bem como a indústria automobilística (PALZ, 2002).

Para Empresa de Pesquisa Energética (2009), a energia elétrica apresenta-se como um dos bens de consumo fundamentais para as sociedades modernas. Ela é utilizada para gerar iluminação, movimentar máquinas e equipamentos, controlar a temperatura de ambientes, agilizar comunicações etc. Da eletricidade depende a produção, locomoção, eficiência, segurança, conforto e vários outros fatores associados à qualidade de vida.

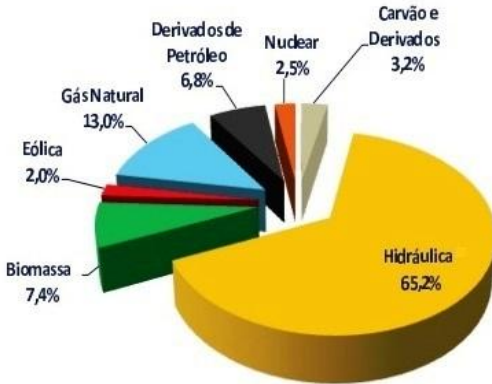
Neste contexto, Burattini (2008, p. 47), reforça que, "O crescente desenvolvimento tecnológico envolvendo dispositivos que utilizam a eletricidade para seu funcionamento fez aumentar a demanda de energia elétrica."

Diversos são os meios de produzir energia elétrica, conforme exemplificado na Figura 8, baseada na matriz elétrica brasileira, cada qual com suas vantagens e desvantagens econômicas e ambientais. Gera-se eletricidade a partir de fontes renováveis ou não renováveis (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2009). Segundo Palz (2002), qualquer forma de energia pode ser transformada em eletricidade.

Uma fonte de energia é denominada renovável, sustentam Goldemberg e Lucon (2012), quando as condições naturais possibilitam sua reposição em um curto espaço de tempo, como por exemplo: a energia solar, a energia eólica, a energia hidráulica e a biomassa (lenha, carvão vegetal, resíduos orgânicos). Em contrapartida, complementam os autores, as fontes não renováveis de energia são aquelas que a natureza não tem condições de repor em um horizonte de tempo

compatível com seu consumo pelos seres humanos, como o carvão mineral, petróleo, gás natural e urânio.

Figura 8 - Matriz elétrica brasileira.



Fonte: Adaptado de Empresa de Pesquisa Energética (2015, p.35).

Historicamente, ressaltam Hinrichs, Kleinbach e Reis (2015), a eletricidade tem sido gerada em usinas elétricas que usam a energia potencial química, nuclear ou gravitacional de fontes como carvão, gás natural, óleo combustível, urânio e água, e a convertem em energia elétrica.

Considerando estas premissas, bem como o fato de ser o objeto de estudo deste trabalho, dar-se-á maior ênfase à energia elétrica, destacando a seguir algumas maneiras de produzi-la.

3.4.1 Eólica

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento. Seu aproveitamento ocorre através da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, por intermédio de turbinas eólicas, para a geração de energia elétrica (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002).

A energia eólica, salientam Trsic e Fresqui (2012), é conhecida pela humanidade há aproximadamente 200 anos A.C., quando os agricultores da antiga Pérsia perceberam que podiam utilizar a força dos ventos para auxiliar na moagem de grãos e no bombeamento de água.

Contudo, esclarece Tolmasquim (2016), o uso do vento para fins elétricos, se tornou relevante nos anos 1990 através de avanços

tecnológicos, do aparecimento expressivo de fabricantes e de um grande incentivo proveniente das preocupações ambientais, com foco nas emissões de gases de efeito estufa e a independência energética.

Aparentemente simples, a tecnologia de produção de eletricidade eólica é extremamente sofisticada, com grandes desenvolvimentos nas áreas de controle, aerodinâmica e de materiais (GOLDEMBERG; LUCON, 2012).

A intermitência é uma questão importante para a energia eólica, uma vez que as velocidades do vento são variáveis, sendo que desta maneira, a produção de energia diminui rapidamente à medida que reduz a velocidade do vento. Em consequência, as turbinas produzem, em média, muito menos eletricidade do que sua capacidade nominal máxima (FAPESP, 2010).

Ao referir-se a este tema, Tolmasquim (2016), entende que a disponibilidade do vento está condicionada a fenômenos físicos e atmosféricos, que variam de acordo com o local e a época do ano, portanto o vento pode não estar disponível em um momento em que se precisa de energia elétrica. Contudo, excluindo a necessidade imediata de geração e demanda, o recurso está sempre disponível dentro do seu histórico.

Em relação ao impacto ambiental, Hinrichs, Kleinbach e Reis (2015), classificam-no como insignificante, sendo os principais problemas, a poluição visual, o barulho resultante do movimento das pás dos moinhos, a interferência em aparelhos de televisão e acidentes com aves de rapina e morcegos.

Na tentativa de minimizar a poluição visual, costuma-se pintar as turbinas eólicas com a mesma cor da paisagem local. Em relação ao barulho, apesar de ser considerado pequeno, o ruído das turbinas eólicas pode ter um impacto negativo em seres humanos e animais na vizinhança de um parque eólico. No que tange a interferência em televisores, a mesma ocorre devido a reflexão dos sinais pelas turbinas eólicas (PINTO, 2014).

3.4.2 Nuclear

A fonte da energia nuclear é a desintegração do núcleo do átomo de urânio, que libera uma quantidade considerável na forma de energia cinética. Este processo denomina-se fissão nuclear. É possível queimar o urânio lentamente, controlando o aquecimento a centenas de graus das barras de elementos radioativos. Nos reatores de água fervente, a água circula em torno destas barras retirando seu calor e se convertendo em

vapor, que pode acionar uma turbina, gerando eletricidade (GOLDEMBERG; LUCON, 2012).

A energia nuclear é responsável por atender aproximadamente 16% da demanda global de eletricidade e juntamente com a energia hidroelétrica, representa a maior fatia de geração de eletricidade a partir de fontes de energia sem emissão de carbono (FAPESP, 2010).

Contudo, apontam Trsic e Fresqui (2012), se há um tipo de energia que conseguiu quase unanimidade em rejeição por grupos ambientalistas é a energia nuclear, devido à não existência de um destino apropriado para os resíduos. Por vários anos estes resíduos continuam perigosos quando em contato com seres vivos, água, solo e ar.

A este respeito, Guedes (2014) considera a energia nuclear como poluente e extremamente perigosa. Segundo a autora, em caso de um acidente, a radioatividade liberada é prejudicial a qualquer organismo, permanecendo no meio ambiente por um longo período de tempo. Já para Palz (2002), um reator nuclear funcionando sob condições normais não emite poluição visível.

Sob condições normais de operação, a radiação liberada por reatores nucleares é muito baixa, porém o potencial de vazamentos acidentais é uma séria preocupação. Além disso, mesmo com o desenvolvimento de reatores mais seguros, a energia nuclear continua sendo potencialmente perniciosa, uma vez que produz o lixo radioativo (SPIRO; STIGLIANI, 2009).

Assim, o futuro da energia nuclear não é muito promissor, devido aos problemas de segurança e dos elevados custos de disposição dos rejeitos nucleares (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002). Em relação aos custos, Barbosa (2016) acrescenta que as instalações nucleares requerem operações diárias complexas, que aumentam as despesas com equipamentos, material e trabalho.

3.4.3 Petróleo e derivados

O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos que tem origem na decomposição de matéria orgânica, em especial o plâncton, ocasionada pela ação de bactérias em meios com baixo teor de oxigênio. Ao longo de milhões de anos, essa decomposição foi-se acumulando no fundo dos oceanos, mares e lagos e pressionada pelos movimentos da crosta terrestre, transformou-se na substância oleosa denominada petróleo (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002).

Nas refinarias, atesta Barbosa (2016), coloca-se o petróleo em ebulição, permitindo o fracionamento de seus componentes e a obtenção de seus derivados, como: gás liquefeito, gasolina, nafta, óleo diesel⁴, querosene, asfalto, lubrificantes, solventes, parafinas, entre outros.

Embora conhecido desde os primórdios da civilização humana, o petróleo ganhou projeção no cenário internacional, principalmente após a invenção dos motores a gasolina e a óleo diesel (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002).

Para a geração de energia elétrica, utilizam-se principalmente o óleo diesel e o óleo combustível (BARBOSA, 2016).

De acordo com Goldemberg e Lucon (2012), as refinarias de petróleo, estocagem de seus produtos e estações de transferência de combustível emitem metano e outros hidrocarbonetos que contribuem para o aumento do efeito estufa. Já para Spiro e Stigliani (2009), os combustíveis produzidos a partir do petróleo são relativamente limpos, uma vez que a refinaria produz apenas frações de hidrocarboneto, deixando a maior parte dos compostos com enxofre e metal nos resíduos.

Neste contexto, Burattini (2008, p. 60) entende que:

O uso de combustíveis fósseis, notadamente o petróleo, tem causado sérios impactos socioambientais. O principal, sem dúvida é a emissão de poluentes na atmosfera, como resultado de sua queima. Essa queima é feita nos automóveis, meios de transporte em geral, indústrias, como também em usinas termoeletricas.

No entanto, defende Palz (2002), o petróleo possui vantagens inerentes: é mais barato de transportar que o gás, carvão ou eletricidade, e a sua comodidade de utilização é evidente.

Durante muito tempo, o petróleo foi o grande propulsor da economia internacional, chegando a representar 50% do consumo mundial de energia primária. Mesmo com redução gradativa ao longo do tempo, sua participação na matriz energética mundial contempla cerca

⁴ Segundo Trsic e Fresqui (2012), a queima de óleo diesel libera na atmosfera uma grande quantidade de gases poluentes, que contribuem para o efeito estufa.

de 33%, devendo manter-se expressiva por várias décadas (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002).

O petróleo é crucial para a economia mundial, salientam Hinrichs, Kleinbach e Reis (2015), especialmente em aplicações nas quais a sua substituição é difícil, tais como transporte, agricultura e produtos petroquímicos.

3.4.4 Gás Natural

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos, que em condições normais de temperatura e pressão, permanece no estado gasoso, sendo encontrado na natureza em acumulações de rochas porosas no subsolo terrestre ou marinho, frequentemente acompanhado de petróleo (SANTOS, 2002).

É o mais limpo, afirmam Trsic e Fresqui (2012), dos combustíveis fósseis, apresentando baixa emissão de dióxido de enxofre e de resíduos presentes na fumaça do processo de sua combustão, o que reduz os impactos ambientais. Santos (2002) compartilha desta opinião, uma vez que sob o ponto de vista ambiental, o gás natural leva uma grande vantagem em relação aos demais combustíveis fósseis em quesitos como qualidade do ar, chuva ácida, efeito estufa e ataque à camada de ozônio. Para o autor, o gás natural é o menos poluente. É o combustível, reforçam Vaz, Maia e Santos (2008), de maior crescimento na matriz energética mundial, apresentando grandes vantagens na sua adoção, como combustão limpa, eficiente, manutenção econômica e não poluidor do meio ambiente.

Em contrapartida, na visão de Burattini (2008), ao ser utilizado em termoeletricas, o gás natural gera gases poluentes em sua queima. A autora sustenta que os subprodutos desta queima são semelhantes aos da queima do petróleo, causadores da intensificação do efeito estufa e da chuva ácida.

O gás natural é de baixo custo, apresenta queima limpa e alta disponibilidade. Elenca-se como um provável substituto do petróleo, sendo responsável por mais de 50% dos combustíveis fósseis empregados nos setores residencial, industrial e comercial (HINRICHES; KLEINBACH; REIS, 2015). Segundo Burattini (2008, p. 48), "O gás natural tornou-se uma boa alternativa para substituir o carvão mineral."

As aplicações do gás natural são diversas e vão desde a utilização doméstica até a utilização em automóveis, usinas termoeletricas e diversas indústrias (TRSIC; FRESQUI, 2012).

Os setores industriais e de geração de energia elétrica, destacam Vaz, Maia e Santos (2008), são consideradas as principais áreas de utilização do gás natural no mundo. As aplicações, conforme os autores, dizem respeito à queima do gás em motores e turbinas para o acionamento de geradores elétricos.

A geração de eletricidade a partir do gás natural, afirmam Hinrichs, Kleinbach e Reis (2015), aumentou em 22 % nos anos 90, devendo continuar a crescer no futuro, uma vez que este processo é mais barato e menos danoso ao meio ambiente, além de apresentar um tempo de construção mais curto.

3.4.5 Hidroelétrica

A adoção da energia hidráulica representa um dos primeiros meios de substituição do trabalho animal pelo mecânico, pontualmente para bombeamento de água e moagem de grãos (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002). Conforme Hinrichs, Kleinbach e Reis (2015), a energia hidráulica converte energia potencial em energia cinética, devido às mudanças de elevação.

Produz-se eletricidade a partir de uma fonte contínua, o movimento da água. Nas usinas hidroelétricas, a força da queda de um grande volume de água represada é utilizada para movimentar turbinas que acionam um gerador elétrico (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2009). Traduzindo em números, aproximadamente 19% da eletricidade mundial, apontam Hinrichs, Kleinbach e Reis (2015), é produzida por energia hidráulica.

Trsic e Fresqui (2012), consideram que o grau de dependência de diferentes países da energia hidroelétrica varia segundo a disponibilidade de água e também da geologia do terreno. De acordo com Palz (2002), o potencial hidroelétrico de um país condiciona-se à taxa de precipitação pluviométrica, ao número de rios e locais para represas e da densidade populacional, uma vez que locais planos e com elevada densidade demográfica não podem tolerar a inundação de grandes áreas.

Com eficiência que pode chegar a 90%, as turbinas hidráulicas são as formas mais eficientes de conversão de energia primária em energia secundária (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002)

Contudo, Lamberts et al. (2010), advertem que sistemas de geração como as hidroelétricas necessitam de enormes volumes de água armazenados para funcionamento das turbinas, promovendo impactos

socioambientais como inundações de áreas habitáveis e submersão de áreas verdes. As barragens hidroelétricas, corroborando Guedes (2014), provocam inundações alterando o equilíbrio dos ecossistemas

A construção de usinas hidroelétricas exige a formação de grandes reservatórios de água, uma vez que é necessário inundar uma vasta área de terra, o que provoca profundas alterações no ecossistema, já que a fauna e a flora locais são totalmente destruídas. Dependendo do tipo de relevo e da região onde se localiza o empreendimento, as hidroelétricas podem também ocasionar o alagamento de terras e o deslocamento de populações ribeirinhas (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2009).

Mesmo assim, Trsic e Fresqui (2012) entendem que geralmente as usinas hidroelétricas são menos prejudiciais do que as termoelétricas, que emitem gases tóxicos nocivos à saúde. Para os autores, a energia hidroelétrica certamente é renovável, ainda que perdendo em aplicação para os combustíveis fósseis.

3.4.6 Carvão Mineral

O carvão advém de uma associação de componentes orgânicos sólidos, fossilizados ao longo de milhões de anos, tal qual ocorre com os demais combustíveis fósseis. Sua qualidade, determinada pelo conteúdo de carbono, classifica-se de acordo com o tipo e o estágio dos componentes orgânicos (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002).

Hodiernamente, cerca de 80% da eletricidade concebida tendo como fonte os combustíveis fósseis origina-se do carvão (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2015). Neste contexto, Trsic e Fresqui (2012, p. 4) afirmam que, "A aplicação principal do carvão é como combustível, em particular, para gerar calor em plantas termoelétricas."

Nas usinas termoelétricas, salienta Burattini (2008), o vapor resultante do aquecimento da água, movimenta as turbinas que irão acionar o gerador. Tal qual nas antigas máquinas a vapor, complementa a autora, as modernas termoelétricas fazem uso do carvão mineral para produzir a energia térmica.

As reservas mundiais de carvão mineral apresentam-se aptas a prover vários séculos de consumo continuado nos níveis atuais e podem fornecer uma fonte alternativa ao petróleo no futuro (FAPESP, 2010).

Contudo, enfatizam Hinrichs, Kleinbach e Reis (2015), grandes restrições têm sido impostas ao aumento na sua utilização, devido aos padrões de qualidade do ar, especialmente os de emissão de dióxido de

enxofre. Conforme Burattini (2008), o maior impacto negativo do uso do carvão para o meio ambiente decorre de sua mineração.

Segundo Spiro e Stigliani (2009, p. 28), "A extração do carvão também aumenta significadamente os custos ao meio ambiente e à saúde humana.". Hinrichs, Kleinbach e Reis (2015), complementam, ressaltando que a mineração de carvão no subsolo é uma profissão de alto risco, sendo difícil atrair novos trabalhadores à esta modalidade.

Apesar do exposto, ressalta-se que continuamente são desenvolvidas pesquisas que buscam conceber técnicas e métodos que diminuam os impactos ambientais causados pela extração do carvão mineral.

3.4.7 Biomassa

A biomassa consiste de matéria de origem orgânica, podendo ser usada como combustível em usinas termoelétricas, com a vantagem de ser uma fonte renovável, como por exemplo a lenha. A produção de biomassa também pode acontecer pelo aproveitamento de lixo residencial e comercial, ou de resíduos de processos industriais, como serragem, bagaço de cana e cascas de árvores ou de arroz (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2009). De acordo com Burattini (2008), considerando o ponto de vista energético, a biomassa é toda a matéria orgânica que pode ser utilizada na produção de energia.

Spiro e Stigliani (2009) entendem que a densidade energética da biomassa pode ser considerada variável e substancialmente menor do que os combustíveis fósseis, devido à abundância relativamente alta de elementos que não o carbono e o hidrogênio. Por este motivo e pela dificuldade de coletar e processar a biomassa, complementam os autores, esta perde competitividade em relação aos combustíveis fósseis.

Na ótica de Hinrichs, Kleinbach e Reis (2015) a biomassa pode ser convertida em combustíveis líquidos e gasosos em diversas etapas, sendo que a combustão direta para produção de vapor ou eletricidade é bastante popular.

Conforme Goldemberg e Lucon (2012), diversificadas são as tecnologias para a produção de energia a partir da biomassa sólida, aumentando em complexidade quanto ao sistema de alimentação, tipo de combustível, configuração das câmaras de combustão, recirculação de gases, trocadores de calor, sistemas de controle de emissão e outras características.

Embora ainda muito restrito, o uso de biomassa para a geração de eletricidade tem sido objeto de vários estudos e aplicações, tanto em

países desenvolvidos como em países em desenvolvimento. Entre outras razões estão a busca de fontes mais competitivas de geração e a necessidade de redução das emissões de dióxido de carbono (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002).

Todavia, o uso moderno de biomassa, permite um amplo leque de possibilidades para reduzir a dependência de combustíveis fósseis, diminuir emissões de gases do efeito estufa e promover desenvolvimento econômico sustentável (FAPESP, 2010). Uma das principais vantagens da adoção da biomassa, defende Burattini (2008), é que seu aproveitamento pode ser realizado diretamente através da combustão em fornos ou caldeiras.

Trata-se de uma fonte renovável de produção de energia em escala suficiente para desempenhar um papel expressivo no desenvolvimento de programas vitais de energias renováveis e na concepção de uma sociedade ecologicamente mais eficiente (ROSILLO-CALLE; BAJAY; ROTHMAN, 2005).

3.4.8 Solar

O aproveitamento da energia proveniente do sol, considerada infinita na escala de tempo terrestre, candidata-se como uma das mais promissoras alternativas energéticas para prover a energia necessária para o desenvolvimento humano (PINHO; GALDINO, 2014).

A energia solar, salientam Hinrichs, Kleinbach e Reis (2015), é utilizada para o aquecimento de edificações, de água para consumo residencial e para a produção de eletricidade, através de células solares e geradores de calor.

A conversão da energia solar em energia elétrica acontece através de efeitos da radiação sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores, destacando-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma força eletromotriz, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, através do uso de células solares (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002).

Em relação à geração fotovoltaica, Hinrichs, Kleinbach e Reis (2015), entendem ser uma das mais fascinantes tecnologias no campo da energia. Spiro e Stigliani (2009), consideram como grande vantagem da energia fotovoltaica, sua simplicidade e versatilidade, uma vez que as células solares são portáteis e podem ser montadas em um número necessário para uso local.

Na concepção de Pinho e Galdino (2014), um grande desafio para a indústria diz respeito ao desenvolvimento de acessórios e equipamentos complementares para os sistemas fotovoltaicos, que possuam qualidade e tempo de vida útil maior. Para os autores, os sistemas de armazenamento de energia receberam grandes avanços em relação ao aperfeiçoamento técnico e redução de custos, contudo ainda não apresentam um grau de desenvolvimento ideal. Na visão de Palz (2002), seria ingênuo acreditar que a energia solar poderia satisfazer a toda a demanda energética mundial. A tendência contudo é que sua adoção aumente gradativamente.

Uma das restrições técnicas à difusão de projetos de aproveitamento de energia solar é a baixa eficiência dos sistemas de conversão de energia, o que torna necessário o uso de grandes áreas para a captação de energia em quantidade suficiente para que o empreendimento se torne economicamente viável (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002).

A utilização da energia solar, profetiza Palz (2002), é talvez o maior desafio com que se defronta a humanidade. Uma vez alcançado, o sucesso marcará um progresso histórico, porque, segundo o autor, a energia solar é não poluente e inexaurível.

3.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Discutiu-se neste capítulo, aspectos relacionados à Eficiência Energética, demonstrando formas e tipos de energia, entre elas, a eletricidade, enfatizando maneiras de sua geração. Observa-se que para cada autor pesquisado, as opiniões em relação à eficiência e danos ao meio ambiente demonstram-se divergentes. Contudo, apresenta-se evidente a dependência do ser humano pela eletricidade, sendo fundamental para o desenvolvimento econômico, social e para o bem estar. Um ponto, de concordância, diz respeito à necessidade de buscar-se fontes de geração limpas e menos poluentes e agressivas ao meio ambiente, baseadas em fontes renováveis. Tal qual estas medidas, a modificação dos hábitos de consumo da população, se mostra relevante para alcançar resultados sustentáveis na utilização da energia.

4 ESTADO DA ARTE

O presente capítulo tem o intuito de investigar o estágio das pesquisas relacionadas à Internet das Coisas e sua associação com a Eficiência Energética, por intermédio de uma Revisão Sistemática da Literatura. Optou-se por aplicar este tipo de análise com a finalidade de apresentar os resultados com maior precisão e riqueza de detalhes.

4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

De acordo com Freire (2013), trata-se de um processo de levantamento de dados que exige revisões rigorosas de publicações acadêmicas em busca de indícios que possam levar à identificação de evidências a respeito de um tema de pesquisa ou mesmo um tópico em uma área desejada.

Uma Revisão Sistemática da Literatura, ratificam Morandi e Camargo (2015), proporciona uma visão robusta e abrangente, permitindo que os pesquisadores se mantenham a par do que tem sido estudado em suas áreas de interesse.

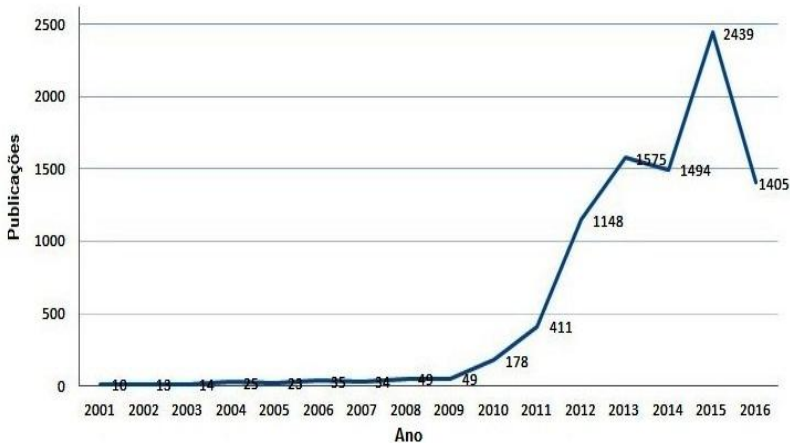
Para a elaboração desta pesquisa, adotou-se a plataforma Scopus (www.scopus.com), base internacional responsável por publicações científicas de caráter multidisciplinar. Os procedimentos de consulta foram realizados em julho de 2016 e como ponto de corte, definiu-se o período compreendido a partir de primeiro de janeiro de 2001 até 30 de junho de 2016, uma vez que corresponde ao início do século XXI, englobando um universo de pesquisa de 15 anos, considerado como satisfatório para análises desta natureza e tomando por base o escopo deste trabalho.

4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Como procedimento inicial, optou-se pela inserção, na janela de pesquisa da ferramenta Scopus do termo IOT, abreviatura para *Internet of Things*. Como resultado, a pesquisa reportou a ocorrência de 8.902 publicações, distribuídas segundo o Gráfico 1.

Observa-se, apesar do termo ter sido utilizado pela primeira vez no ano de 1999, que apenas em 2010 iniciou-se o efetivo interesse pelo assunto, ocorrendo uma ligeira queda em 2014, sendo que o ápice ocorre em 2015. Por 2016 ser o ano em curso, ainda não existiam dados conclusivos sobre a pesquisa, porém pela evolução do gráfico, acredita-se que esse número deva ter superado os índices de 2015.

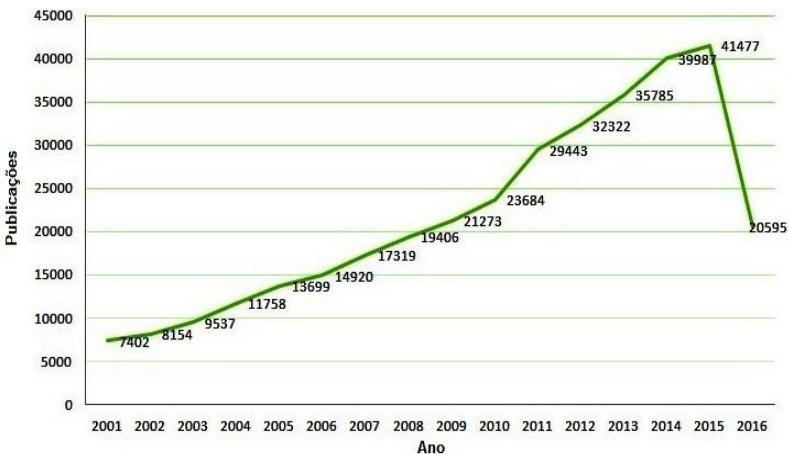
Gráfico 1 - Evolução das pesquisas relacionadas à Internet das Coisas.



Fonte: elaborada pelo autor.

A próxima pesquisa na base de dados Scopus diz respeito à inserção dos termos *energy efficiency*, *light efficiency* e *house efficiency*, todos relacionados à Eficiência Energética. Ressalta-se que essa busca ainda não está associada à Internet das Coisas e sim aos assuntos e aplicações de uma maneira genérica. Como resultado, obteve-se a quantia de 346.761 documentos, conforme apresenta o Gráfico 2.

Gráfico 2 - Evolução das pesquisas relativas à Eficiência Energética.

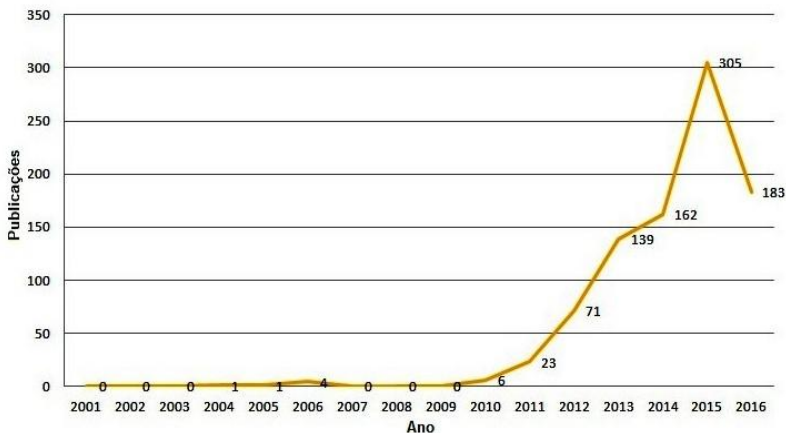


Fonte: elaborada pelo autor.

Estes dados exibem valores mais expressivos quando comparados aos anteriores, relacionados à Internet das Coisas, indicando que a Eficiência Energética desperta considerável interesse por parte dos pesquisadores, pelo menos quantitativamente, devido provavelmente a ser um tema mais antigo. Todavia, cotejando-se o Gráfico 1 e o Gráfico 2, constata-se que em termos percentuais, as pesquisas voltadas diretamente à Internet das Coisas apresentam um crescimento maior. Percebe-se um aumento na quantidade de documentos publicados a cada ano, sendo que o ano de 2015 abrange a maior parcela. Da mesma forma, como a pesquisa foi realizada em julho de 2016, o número de documentos manifesta-se reduzido, decorrente da não totalidade dos dados.

Posteriormente, visando filtrar as publicações associadas ao tema proposto, efetivou-se a pesquisa associando-se o termo *Internet of Things* às expressões *energy efficiency*, *light efficiency* e *house efficiency*. A pesquisa culminou com a exibição de 895 documentos, distribuídos de acordo com o Gráfico 3.

Gráfico 3 - Publicações relacionadas à Internet das Coisas associada à Eficiência Energética.



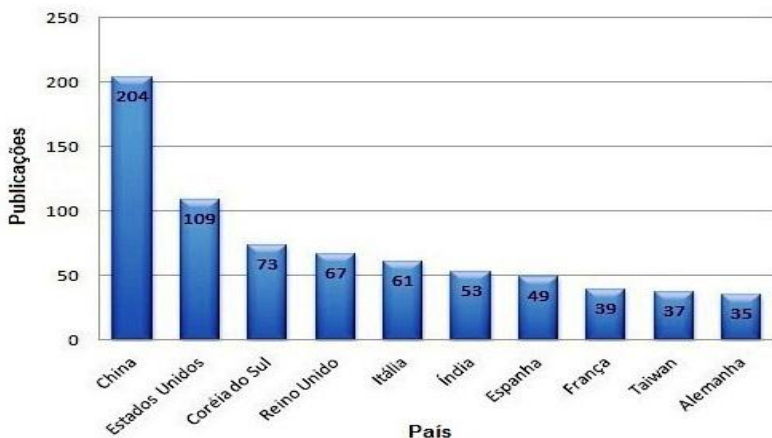
Fonte: elaborada pelo autor.

Tal qual o Gráfico 1, relacionado aos estudos a respeito da Internet das Coisas, identifica-se o incremento nas pesquisas a partir do ano de 2010, sendo que em 2015 manifestaram-se as maiores quantidades. Este comportamento reforça a tendência de evolução dos estudos inerentes aos temas no período especificado.

Com base nos números obtidos no Gráfico 3, que indicaram a existência de 895 documentos, foram concebidas as próximas análises estatísticas.

Quanto à origem dos documentos, o Gráfico 4 contempla a distribuição de publicações por países, considerando os dez que mais contribuíram, em ordem decrescente.

Gráfico 4 - Publicações conforme o país de origem.

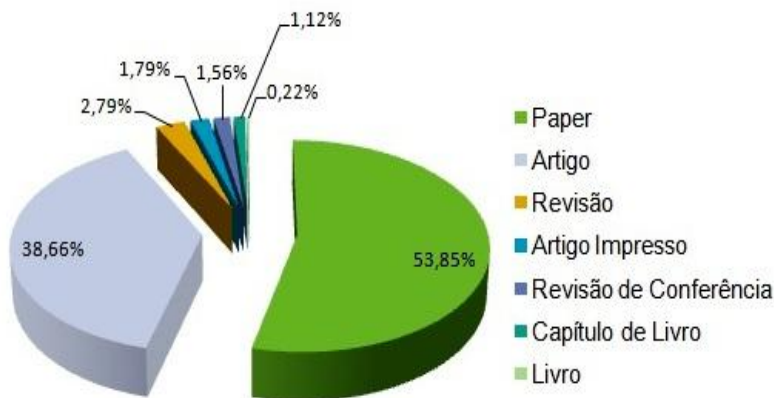


Fonte: elaborada pelo autor.

Percebe-se uma predominância da China, com quase o dobro em relação aos Estados Unidos, segundo colocado. Destaca-se pontualmente, que os dois juntos são responsáveis por quase metade, cerca de 43 %, de todas as publicações reportadas. Em relação ao Brasil, foram imputadas ao total, onze publicações, fazendo com que o país ocupe a vigésima posição. Os detalhes sobre estes documentos são tratados na seção 4.3.

O Gráfico 5 contém os indicadores estatísticos das publicações de acordo com seu tipo. Os *papers*, classificados como documentos publicados em conferências e seminários internacionais, são responsáveis pelo maior percentual, com 53,85 % das publicações, seguidos pelos artigos, documentos publicados em revistas e sites especializados, com 38,66 %. A soma dos dois tipos de documento totaliza 92,51 %, sendo o restante distribuído entre as demais formas.

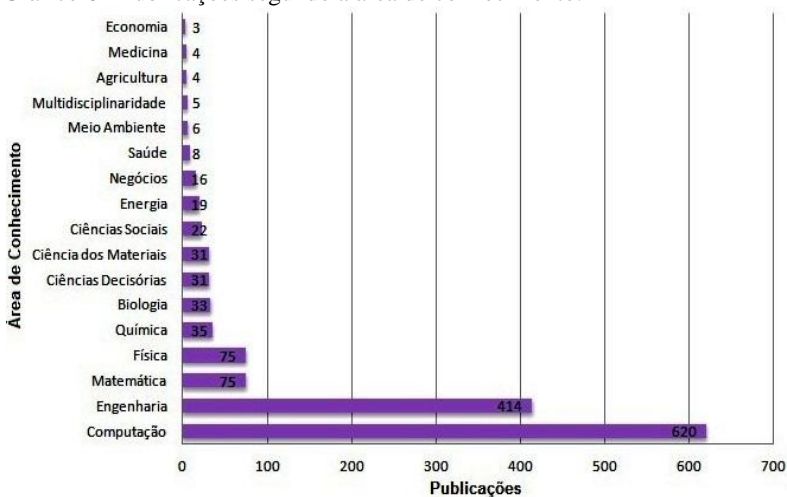
Gráfico 5 - Publicações de acordo com o tipo do documento.



Fonte: elaborada pelo autor.

Através da ferramenta Scopus, é possível obter-se um panorama das publicações reportadas, classificadas de acordo com sua área de conhecimento tal qual exibido no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Publicações segundo a área de conhecimento.



Fonte: elaborada pelo autor.

Neste quesito, é perceptível o predomínio das pesquisas nas áreas de Computação, Engenharia e Matemática, sendo que apenas uma

pequena parcela demonstra-se atrelada especificamente à área de Energia. Atenta-se ao fato, que cada documento pode estar associado à mais de uma área específica.

4.3 ANÁLISE DESCRITIVA

Para a execução deste procedimento, tomou-se como base os resultados obtidos no Gráfico 3, relacionado às pesquisas envolvendo a Internet das Coisas associada à Eficiência Energética.

Optou-se pela seleção de 50 publicações, adotando como critério o número de citações em ordem decrescente que cada uma recebeu. Por conseguinte, através da leitura do resumo de cada obra, elencaram-se os documentos que demonstraram maior aderência ao assunto, excluindo-se aqueles que continham informações voltadas a universos diferentes do objeto de pesquisa proposto.

O primeiro documento publicado intitula-se "*An improved concept for a Higher-Order Mode IOT*" e foi escrito por Bohlen e Wright em 2004. No artigo, que não recebeu nenhuma citação, os autores comentam sobre o desenvolvimento de fontes conversoras de voltagem, com eficiência energética na ordem de 62%, a serem utilizadas em dispositivos eletrônicos.

O artigo "*Recommender systems survey*", de Bobadilla et al. (2013), recebeu 259 citações, ficando em primeiro lugar neste quesito. O foco do documento concentra-se em sistemas de recomendação e sua afinidade com a Internet das Coisas, não fazendo menção à Eficiência Energética.

O trabalho de Sheng et al. (2013), denominado "*A survey on the IETF protocol suite for the internet of things: standards, challenges, and opportunities*", apresenta aspectos relacionados à Internet das Coisas, enfatizando sua estrutura, principalmente os protocolos e tecnologias a ela associadas, como o IPv6, 6LoWPAN, 802.15.4 e ZigBee. Pontua-se concomitantemente, a respeito da necessidade da adoção de dispositivos que contemplem um reduzido consumo energético. O artigo apresenta uma quantidade de 101 citações a ele associadas. Nesta mesma linha de raciocínio, com considerações consonantes, está o artigo de Zeng, Guo e Cheng (2011), intitulado "*The Web of Things: a survey*", com 84 citações.

Aziz et al. (2013), no artigo "*A survey on distributed topology control techniques for extending the lifetime of battery powered wireless sensor networks*", explanam sobre a utilização de energia em dispositivos associados à Internet das Coisas, principalmente em Redes

de Sensores Sem Fio. Segundo os autores, o uso eficiente deste recurso é fundamental para a sua operação e está condicionado à topologia da rede. Desta maneira, o artigo relata características, vantagens e desvantagens, demonstrando algoritmos que visam obter o máximo de eficiência da rede, subtraindo a menor quantidade possível de energia das baterias dos sensores. O documento foi citado 87 vezes.

O artigo "*How low energy is Bluetooth low energy? Comparative measurements with ZigBee/802.15.4*", de Siekkinen et al. (2012) e citado 47 vezes, faz um comparativo entre as tecnologias *Bluetooth* e *ZigBee* em relação ao consumo de bateria, enfatizando uma tecnologia denominada BLE (*Bluetooth Low Energy*), considerada pelos autores, extremamente eficiente neste quesito. Como ponto negativo, existem restrições quanto à pilha de protocolos adotada pela BLE.

O trabalho de Hancke, Silva e Hancke Junior (2012), citado 46 vezes e denominado "*The role of advanced sensing in smart cities*", apresenta aspectos de como a Internet das Coisas, juntamente com as Redes de Sensores Sem Fio podem contribuir para a sustentabilidade e o uso eficiente de recursos energéticos nas cidades, em áreas como: saúde, transportes, distribuição de água e energia, monitoramento ambiental e serviços públicos. Conforme os autores, a infraestrutura necessária para a concepção de um projeto deste porte, caracteriza-se por custos financeiros elevados e extrema complexidade, indicando a existência de consideráveis desafios a serem superados.

No artigo intitulado "*Internet of Things and BOM-Based Life Cycle Assessment of Energy-Saving and Emission-Reduction of Products*", escrito por Tao et al. (2014), os autores especificam procedimentos para reduzir o consumo de energia e minimizar a emissão de poluentes em processos industriais, utilizando a Internet das Coisas, propondo uma arquitetura de quatro níveis: acesso à percepção, dados, serviços e aplicação. Contudo, na visão dos autores a pesquisa para produtos desta natureza está apenas começando, sendo que ainda existe um longo caminho a ser percorrido. Este artigo foi citado 15 vezes.

Huang et al. (2014), sugerem através do artigo "*A novel deployment scheme for green Internet of Things*", um ambiente voltado para a chamada Internet das Coisas Verde (*Green IoT*). Este artigo recebeu 14 citações e na ótica dos autores, o modelo proposto demonstra-se mais eficaz no consumo de energia quando comparado às tradicionais Redes de Sensores Sem Fio.

Em se tratando de documentos oriundos do Brasil, a publicação "*Towards an IoT Ecosystem*", citada 5 vezes e sob responsabilidade de Delicato et al. (2014), comenta a respeito do uso da Internet das Coisas

sob uma perspectiva ecológica, voltada a observar o meio ambiente e suas características, descrevendo uma plataforma denominada EcoDif.

Ainda em relação ao Brasil, o artigo de Kamienski et al. (2015), denominado "*Context-aware energy efficiency management for smart buildings*", discorre sobre a necessidade de aplicar conceitos relacionados à Eficiência Energética em prédios públicos, devido à estas edificações frequentemente serem desprovidas de mecanismos desta natureza. Para tal, os autores preconizam o uso da Internet das Coisas. O texto apresenta detalhes de como implementar esta filosofia e demonstra resultados obtidos através do desenvolvimento de um protótipo, baseado na placa *Arduino*, concebido para esta finalidade e contextualizado na sala de aula de uma universidade.

4.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo, analisou-se o estado da arte das pesquisas a nível mundial aplicadas à Internet das Coisas e à Eficiência Energética, com o apoio da plataforma Scopus. Os assuntos investigados abrangem um significativo volume de publicações, indicando a relevância do tema.

Em contrapartida, quando a perquisição congrega ambos os termos, constata-se que os documentos discorrem acerca do uso eficiente de energia nos dispositivos, particularmente nos sensores, relacionados à Internet das Coisas, apresentando pouca ênfase, em comparação à quantidade total de publicações existentes, na associação efetiva da tecnologia ao conceito de Eficiência Energética, indicando um vasto campo de pesquisa a ser explorado.

5 EXPERIMENTO

Este capítulo descreve os pormenores do protótipo estruturado a partir da placa Intel *Galileo* e dos módulos *XBee*, com o apoio de uma luminária da marca Philips. Comenta-se sobre o ambiente de monitoramento escolhido, o algoritmo de regulagem adotado, os componentes utilizados, o uso de valores de referência, além de enfatizar a importância do correto posicionamento dos sensores responsáveis pela coleta de dados.

5.1 VISÃO GERAL

Para a comprovação da hipótese de pesquisa, foi elaborado um protótipo, estruturado na placa Intel *Galileo*, em uma rede de sensores sem fio baseada em módulos *XBee* e em uma luminária com reator da marca Philips, que permite o controle de intensidade de luminosidade, além do desenvolvimento de uma aplicação, na linguagem de programação C, que é executada no controlador, responsável pelo gerenciamento das informações coletadas pelos sensores. A Figura 9 demonstra, em termos gerais, o esquema do trabalho.

Figura 9 - Esquema de funcionamento do protótipo desenvolvido.



Fonte: elaborada pelo autor.

Na concepção de Didoné (2009), a utilização de um sistema de controle de iluminação adequado, demonstra-se essencial para a real contribuição da luz natural no uso eficiente da energia, minimizando despesas com a luz artificial. Para a autora, a importância dos controles de iluminação não deve ser subestimada.

Nas seções seguintes são descritos os componentes mencionados, bem como o diagrama de conexão e interação entre eles. Enfatiza-se que informações, especificações e características mais detalhadas acerca dos produtos citados podem ser obtidas junto aos respectivos fabricantes.

5.1.1 Placa Intel *Galileo*

A placa *Galileo* é um dispositivo desenvolvido pela empresa Intel Corporation para a elaboração de aplicações com propósitos diversificados, tendo como foco principal educadores e estudantes, sendo indicada para usuários avançados e experientes, para concepção de soluções com elevado grau de complexidade.

Existem duas versões, a primeira denominada *Gen 1*, lançada em 2013 e a segunda conhecida como *Gen 2* disponibilizada no ano de 2014, contando com atualizações e aperfeiçoamentos em relação a versão anterior.

A Figura 10 demonstra a versão *Gen 1* do *Galileo*, adotada no projeto.

Figura 10 - Placa Intel *Galileo Gen 1*.



Fonte: INTEL (2013).

De acordo com Intel (2013), possui como características:

- Processador Intel Quark SoC X1000, de 32 bits e velocidade de 400 MHz;
- Interface de rede Ethernet de 10/100 Mbps;
- Arquitetura compatível com a plataforma *Arduino*;
- Memória RAM de 256 Mbytes;
- Possibilidade de uso de cartões SD com até 32 Gbytes de capacidade.

A opção pelo dispositivo para o presente trabalho relaciona-se às características e flexibilidade de seu *hardware*, sendo indicado para aplicações desta natureza.

5.1.2 Módulo *XBee*

O módulo *XBee* é um dispositivo desenvolvido pela empresa Digi, idealizado para a comunicação sem fio. É projetado para atuar com o protocolo de rede *ZigBee*, sendo considerado uma solução de baixo custo financeiro e que requer pequeno consumo de energia (DIGI, 2016). A Figura 11 apresenta o módulo *XBee S2*, utilizado no protótipo.

Figura 11 - Módulo *XBee S2*.



Fonte: DIGI (2016).

Algumas de suas características são citadas a seguir:

- Alcance em ambientes fechados de até 90 metros;
- Taxa de transmissão de 250 Kbps;
- Opera na frequência de 2.4 GHz;

- Implementa criptografia através do protocolo WPA2⁵ (*Wi-Fi Protected Access 2*).

O critério para a escolha do módulo *XBee* concerne à sua compatibilidade com o *Galileo*, sua disponibilidade e facilidade de aquisição junto ao mercado nacional e sua convergência na concepção de redes de sensores sem fio através do protocolo *ZigBee*.

5.1.3 Reator HF-R 214-35 TL5 EII

O reator HF-R 214-35 TL5 EII é fabricado pela empresa Philips e permite a regulação da intensidade de luminosidade através de um protocolo analógico com entrada variável de 1 a 10 volts (PHILIPS, 2015). A Figura 12 apresenta o reator descrito.

Figura 12 - Reator Philips HF-R 214-35 TL5 EII.



Fonte: PHILIPS (2015).

Como características do dispositivo destacam-se:

- Indicado para 2 lâmpadas fluorescentes do tipo TL5, com potência entre 14 e 35 watts;
- Alimentação de 220-240 volts;
- Frequência de operação de 46 KHz-100 KHz;
- Intensidade de luz regulável através de entrada analógica.

⁵ De acordo com Torres (2014), este protocolo foi criado em 2004, objetivando suprir deficiências de produtos anteriores, sendo tratado como uma implementação do padrão de redes sem fio IEEE 802.11i, utilizando chaves de criptografia com tamanho variando de 128 a 256 bits.

A opção pelo reator justifica-se pela sua disponibilidade junto ao Laboratório de Pesquisa Aplicada da Universidade Federal de Santa Catarina e sua aplicação no projeto de Revestimento Cerâmico Fotovoltaico⁶.

5.2 DISPOSITIVOS DESENVOLVIDOS

A partir dos componentes descritos anteriormente, concebeu-se um ambiente para monitoramento da intensidade de luminosidade disponibilizada pela luminária, com o intuito de observar seu comportamento a partir de instruções enviadas pelo controlador fundamentadas nas informações coletadas pelos sensores.

5.2.1 Controlador GaliLux

O GaliLux, apresentado na Figura 13, é o componente central do sistema, responsável por receber as informações dos sensores, processá-las e enviar à luminária a ordem para regular a intensidade de luminosidade no ambiente.

Figura 13 - Controlador GaliLux.



Fonte: elaborada pelo autor.

⁶ Projeto conduzido pela Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Araranguá, em parceria com a empresa Eliane Revestimentos e o Colégio Maximiliano Gaidzinski, coordenado pelo professor Dr. Roderval Marcelino, que objetiva desenvolver revestimentos cerâmicos capazes de gerar energia elétrica de baixa potência a partir da luz solar (STEILEN, 2016).

O dispositivo é estruturado a partir da placa *Galileo*, em conjunto com um módulo *XBee* (configurado como coordenador da rede *ZigBee*). O módulo *XBee* conecta-se ao *Galileo* através de uma interface Rx/Tx para troca de informações e à fonte de alimentação que fornece a energia necessária para seu funcionamento.

Considerando que luminária requer uma tensão entre 1 e 10 volts para proceder com a variação da intensidade de luz e o *Galileo* consegue disponibilizar uma tensão máxima de 5 volts, foi desenvolvido um circuito eletrônico conversor/amplificador, esquematizado no Anexo A, para adequar a tensão de saída, uma vez que além desta tensão ser inferior à exigida, o sinal enviado pelo *Galileo* é do tipo PWM⁷ (*Pulse Width Modulation*), necessitando deste modo ser convertido em um sinal analógico. O diagrama de conexão dos componentes é apresentado no Apêndice A.

5.2.2 Sensores

Os sensores são os dispositivos responsáveis pela coleta das informações referentes à intensidade de luz no ambiente que está sendo monitorado. Para o projeto, foram desenvolvidos dois módulos sensores, constituídos a partir de módulos *XBee*, conforme exibido na Figura 14.

Figura 14 - Módulos sensores.



Fonte: elaborada pelo autor.

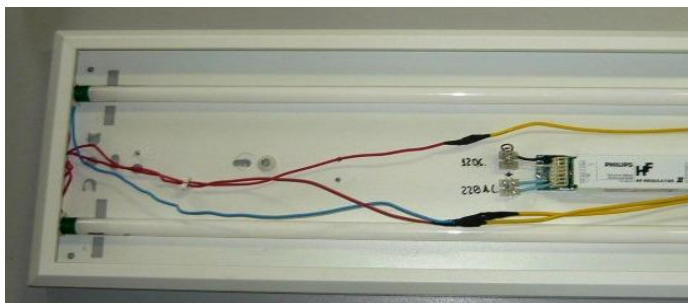
⁷ Segundo a definição de Tanenbaum e Wetherall (2011), trata-se de uma técnica de modulação de sinal que mantém constante a amplitude dos pulsos, variando-se sua largura de acordo com a frequência do sinal modulador.

Cada dispositivo de sensoriamento é composto por um sensor de luminosidade do tipo LDR (*Light Dependent Resistor*) que mede a intensidade de luz do ambiente e envia as informações ao módulo *XBee*, no qual encontra-se acoplado. Esse por sua vez, repassa as informações ao controlador GaliLux. O esquema de ligação dos componentes dos sensores pode ser consultado no Apêndice B.

5.2.3 Luminária

A luminária utilizada no protótipo corresponde a um conjunto fabricado pela empresa Philips, constituído pelo reator HF-R 214-35 (descrito no item 5.1.3) que alimenta duas lâmpadas fluorescentes do tipo TL5⁸ com potência de 28 watts cada, totalizando 56 watts, tal qual demonstrado na Figura 15.

Figura 15 - Luminária Philips.



Fonte: elaborada pelo autor.

Quando não detecta tensão de ajuste na entrada analógica, a luminária opera na potência máxima. Em contrapartida, a partir do momento que um valor entre 1 e 10 volts é associado, o reator automaticamente regula a intensidade da luminária. Desta forma, entende-se que ao receber a leitura dos dados dos sensores e processá-

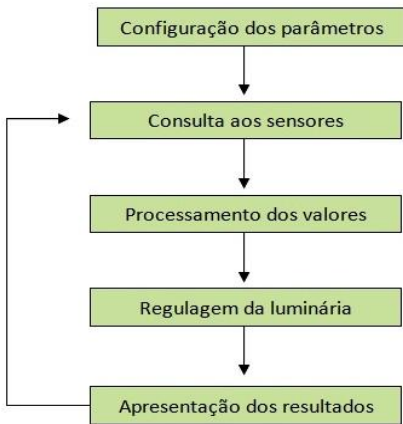
⁸ A necessidade de economizar energia, aliada ao desenvolvimento tecnológico, resultou na criação de diferentes tipos de lâmpadas que servem para diversas aplicações. As lâmpadas do tipo T5 (ou TL5) são mais econômicas, mais eficientes e fazem uso de poucos recursos naturais, como vidro, metal e fósforo. Contudo, necessitam de luminárias próprias, além de operarem com reatores eletrônicos especialmente projetados para a tecnologia (ASHRAE, 2016).

los, o GaliLux irá enviar ao reator uma tensão correspondente para que este proceda a regulagem da intensidade de luz do ambiente.

5.2.4 Software

Para que seja efetuada a leitura e o processamento das informações dos sensores, bem como o envio das instruções à luminária, foi desenvolvido um aplicativo, na linguagem de programação C, que é executado na placa *Galileo* durante o monitoramento, conforme demonstra o fluxograma na Figura 16.

Figura 16 - Fluxograma do software de monitoramento.



Fonte: elaborada pelo autor.

O processo constitui-se na consulta, em determinados intervalos de tempo, aos sensores sobre as condições de luminosidade do ambiente. Os sensores então enviam suas informações, que são interpretadas pelo GaliLux. Em seguida, a intensidade de luminosidade é obtida, com base em um valor em lux indicado para o ambiente, convertida em tensão de saída e enviada à luminária, que realiza automaticamente a regulagem da lâmpada.

Em síntese, a luminária atua de maneira compensatória em relação à luz natural, aumentando ou diminuindo a luz artificial segundo a necessidade, objetivando manter constante o nível de luminosidade do ambiente. Esse processo vem de encontro ao pensamento de Didoné (2009), o qual pontua que a utilização da luz natural em edificações

tende a reduzir o consumo de energia quando explorada de maneira integrada com sistemas de iluminação artificial. A autora sustenta que a iluminação natural não resulta diretamente em economia de energia, uma vez que esta economia acontece quando a carga de iluminação artificial pode ser reduzida.

5.3 PROCEDIMENTOS ADOTADOS

Esta seção discorre acerca dos métodos empregados para a realização do monitoramento do sistema de controle de intensidade de luminosidade GaliLux.

Na concepção de Alves (2012), o monitoramento tem o propósito de acompanhar a situação e/ou estado em que um determinado sistema se encontra ao longo do tempo. Este processo envolve observação, reflexão, detecção de um estado indesejado e a conseqüente decisão de proceder a transição para um estado desejado.

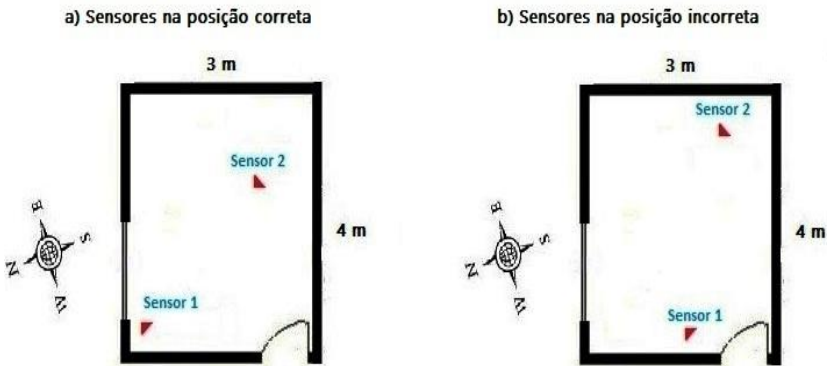
No contexto do sistema GaliLux, esta atividade equivale ao monitoramento do ambiente através dos sensores e conseqüente ajuste da intensidade de luminosidade fornecida pela luminária, embasada nas informações coletadas.

Ressalta-se novamente Alves (2012, p. 147), afirmando que, "Mudanças estruturais no ambiente podem desencadear mudanças estruturais no sistema de sorte a permitir sua adaptação ambiental.". Partindo-se desta premissa, a abordagem adotada para o monitoramento diz respeito a submeter o sistema à situações distintas, baseadas na alteração da variável intensidade de luz do dia, proporcional às características climáticas (ensolarado, chuvoso, nublado), efetivando-se a coleta de dados e a interpretação dos resultados referentes ao comportamento sugerido à luminária, bem como os valores de corrente elétrica e potência por ela disponibilizados.

5.3.1 Ambiente de monitoramento e posição dos sensores

O ambiente selecionado para o monitoramento trata-se de uma sala medindo 3 x 4 metros, com altura de 3 metros, atendida por uma janela de 2,15 x 1,65 metros voltada para o Norte, sendo que a incidência da luz solar ocorre com maior intensidade no horário matutino. A Figura 17 (a) apresenta uma planta baixa da sala, indicando as dimensões, assim como o correto posicionamento dos sensores. A Figura 17 (b) demonstra o mesmo ambiente, contudo com os sensores posicionados de maneira errônea.

Figura 17 - Planta baixa do local de monitoramento.



Fonte: elaborada pelo autor.

O sensor 1 foi posicionado junto a janela, conforme a Figura 17 (a), visto que trata-se do local com maior incidência solar. Este sensor atua como o primeiro agente do monitoramento, pois mede diretamente a intensidade da luz natural, indicando ao GaliLux um valor compensatório inicial a ser enviado à luminária. Conseqüentemente, a primeira regulagem da luminária ocorre neste momento. Optou-se por este posicionamento com o objetivo de acelerar o processo de reconhecimento da alteração da intensidade luminosa do ambiente, uma vez que apenas com um sensor posicionado sob a luminária, este processo em determinadas ocasiões demonstrava-se lento, bem como impreciso.

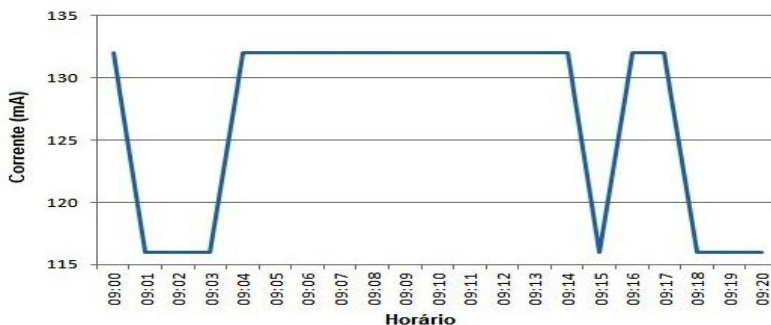
Em relação ao sensor 2, o mesmo encontra-se posicionado sob à luminária justamente para medir a intensidade de luz por ela dispensada, aliada à luz natural. Desta maneira, tem-se o total em lux no ambiente. Como a luminária já recebeu uma regulagem inicial fornecida pelos dados do sensor 1, neste instante as informações do sensor 2 permitem uma espécie de sintonia fina, fazendo com que a luminária alcance ou se aproxime ao máximo do valor de referência, aumentando a acurácia do experimento.

Conforme Didoné (2009), espaços próximos às aberturas normalmente obtêm luz natural adequada, enquanto que espaços internos requerem luz artificial com maior frequência. Desta maneira, complementa a autora, um projeto de iluminação deve contemplar o ambiente por zonas, com o intuito de diminuir ou mesmo apagar, de

maneira manual ou automática, as luminárias nos setores onde a iluminação natural é suficiente.

Ressalta-se neste ponto a importância do correto posicionamento dos sensores, para que os resultados do experimento possuam um grau de confiabilidade adequado. Este comportamento pode ser observado no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Evolução da corrente da luminária com os sensores na posição correta.



Fonte: elaborada pelo autor .

Neste experimento realizou-se um monitoramento em um dia ensolarado, ao longo de 20 minutos, com medições em intervalos de um minuto e com os sensores posicionados conforme descrito anteriormente. Os valores da corrente solicitada pela luminária encontram-se dentro do previsto, diante das características do ambiente e do horário. O valor médio da corrente ficou em 127 mA, o que implica em uma quantidade disponibilizada ao ambiente, segundo a tabela no Apêndice C (descrita no item 5.3.4), de 180 lux e uma potência de 27,94 watts, correspondente à 49,89% da capacidade total da luminária (na seção 6.1.1 aborda-se a forma de cálculo para obtenção destes valores). Isto significa que no momento a luz natural no ambiente apresentava um valor de 120 lux (a seção 5.3.2 comenta sobre o valor base de 300 lux adotado para o ambiente). Estes valores convergem com o raciocínio de Didoné (2009), que preconiza que a iluminação natural corresponda a pelo menos 33,33 % da iluminação da tarefa, permitindo a comodidade e adaptação do usuário, evitando possíveis desconfortos.

Todavia, um posicionamento errôneo dos sensores, pode acarretar na obtenção de valores não confiáveis em relação à quantidade de luminosidade disponibilizada pela luminária, conforme atesta o Gráfico

8. Este experimento foi realizado no mesmo dia, 10 minutos após o término do monitoramento anterior. Apesar desta diferença de horário, as características do ambiente sofreram pequenas alterações em relação à luminosidade natural. Desta maneira, a variação da corrente deveria ser muito pequena ou até inexistente ao compará-la com o Gráfico 7. Contudo, para validar a hipótese do posicionamento correto dos sensores, os mesmos foram colocados em posições diferentes, afastando-os cerca de 80 cm dos pontos de medida, conforme indica a Figura 17 (b).

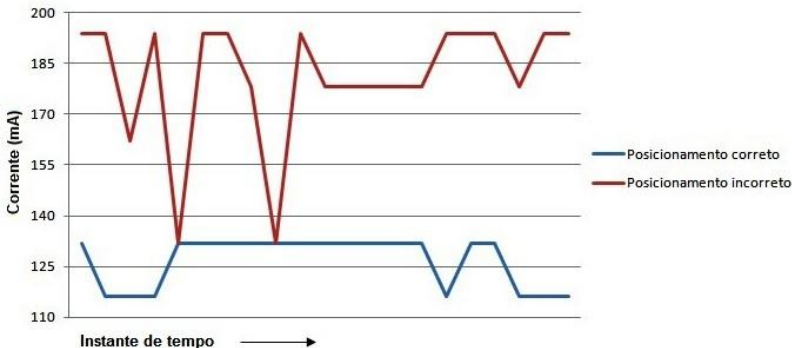
Gráfico 8 - Evolução da corrente da luminária com os sensores em posição incorreta.



Fonte: elaborada pelo autor.

O Gráfico 9 exibe a evolução do comportamento da corrente da luminária de forma conjunta considerando ambas as situações.

Gráfico 9 - Comparativo da evolução da corrente consumida pela luminária de acordo com a posição dos sensores.



Fonte: elaborada pelo autor.

Em relação às informações disponíveis no Gráfico 8, observa-se uma evolução dos valores diferente do monitoramento anterior, apresentado no Gráfico 7. A média de corrente consumida pela luminária ficou em 181 mA, disponibilizando ao ambiente valores próximos a 300 lux, fazendo com que a luminária trabalhe com uma potência de 39,82 watts, correspondente a 71,10 % de sua capacidade total. Estes valores correspondem a um aumento na ordem de 42,51 % em relação ao experimento anterior, acarretando em consumo desnecessário de recursos. Com esta análise comparativa, comprova-se e reitera-se a importância do correto posicionamento dos sensores.

5.3.2 Valores de referência

Um item fundamental a ser considerado neste processo, relaciona-se aos valores de referência adotados. A norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 indica a quantidade de luminosidade que deve estar presente em um determinado ambiente de acordo com a sua finalidade. Uma boa iluminação fornece ao ambiente condições para que as pessoas realizem suas tarefas com precisão, qualidade e segurança (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Um exemplo desta aplicação é demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Intensidade de luminosidade indicada de acordo com o ambiente.

Ambiente	Lux
Banheiro	200
Corredor	100
Cozinhas de restaurantes	500
Desenhos de projetos	750
Enfermaria	500
Expedição	300
Laboratórios	500
Recepção escritório	300
Reunião	200
Saguão de entrada	100
Sala de aula	300
Sala de espera	200
Sala de conferência	500
Teatro	200

Fonte: elaborada pelo autor a partir da ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

Aplica-se o conceito de iluminação de tarefa quando faz-se necessária a iluminação suplementar próxima às tarefas visuais para a realização de trabalhos específicos. Este procedimento possibilita a previsão de níveis de iluminação mais altos para as tarefas visuais, enquanto se mantém a iluminação geral a níveis mais baixos. Desta maneira, parte da área interna de um ambiente pode ter seu nível de iluminação diminuído, reduzindo também o consumo de energia (DIDONÉ, 2009). Logo, sugere-se que conforme a natureza da atividade a ser desempenhada no ambiente, a intensidade de luminosidade fornecida seja maior ou menor.

Para a realização do experimento, optou-se por um valor (denominado de *set point*) para o ambiente de 300 lux, considerando que o mesmo poderia, segundo a norma, ser utilizado como sala de recepção por exemplo. Outro motivo para esta escolha diz respeito à quantidade de lux dispensada pela luminária, conforme discutido no próximo item deste trabalho. Salienta-se também, que caso o ambiente almejado não esteja contemplado pela norma, deve-se escolher uma das opções com maior similaridade possível.

5.3.3 Cálculo da luminosidade do ambiente

A fórmula, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013), para cálculo da quantidade de lux fornecida por uma luminária é:

$$\text{Lux} = \text{Quantidade de Lumens} / \text{Tamanho em m}^2 \text{ do ambiente} \quad (1)$$

Segundo Philips (2015), uma lâmpada de 28 w disponibiliza um fluxo luminoso da ordem de 2.600 lumens. Desta maneira, a quantidade de lux oferecida pela luminária, composta por duas lâmpadas e ajustada na potência máxima, ao ambiente de monitoramento seria de:

$$\text{Lux} = (2 * 2.600) / 12 = 433,33 \quad (2)$$

Porém ao se efetuar a medição, conforme indica a Figura 18, desta intensidade com o apoio de um luxímetro (marca Icel Manaus - modelo LD-590), o valor obtido ficou na casa de 404 lux. Destaca-se que este procedimento foi realizado no período noturno, objetivando eliminar qualquer tipo de influência da luz natural.

Figura 18 - Medição da quantidade de lux do ambiente de monitoramento.



Fonte: elaborada pelo autor.

A razão desta dissonância pode estar associada às singularidades do ambiente, como a altura da sala ou as cores das paredes, ou mesmo à divergências proporcionadas pelos equipamentos utilizados para a medição. Contudo, uma vez que o valor de referência adotado para o ambiente é de 300 lux, essa diferença não tende a interferir nos resultados obtidos nas sessões de monitoramento.

5.3.4 Tabela de referência e conversão

Com base no experimento descrito no item anterior, produziu-se uma tabela, demonstrada no Apêndice C, que serve de apoio ao software de monitoramento executado no GaliLux. Esse procedimento tem o objetivo de associar os valores lidos pelos sensores à quantidade de lux correspondente, além da corrente (em amperes) consumida pela luminária no momento (a partir do valor da corrente, obtêm-se a potência em watts despendida pela luminária). Para a medição da corrente utilizou-se um multímetro (marca Fluke - modelo 106), conforme indica a Figura 19.

Desta maneira, sabe-se por exemplo, que o valor de 300 lux (considerado como ideal para o ambiente) corresponde à medida de 70 pelos sensores⁹, indicando um valor de 164 a ser enviado pelo software à saída do GaliLux conectada à luminária, fazendo com que a mesma

⁹ Os sensores desenvolvidos neste projeto reportam valores inteiros que variam de 0 a 255, sendo que 0 indica a presença máxima de luz e 255 ausência completa de luminosidade.

receba uma tensão da ordem de 6,5 volts, consumindo com esta configuração cerca de 194 mA, que resultam em uma potência de 42,68 watts, correspondente à 76,21 % de sua potência total.

Figura 19 - Medição da corrente elétrica consumida pela luminária.



Fonte: elaborada pelo autor.

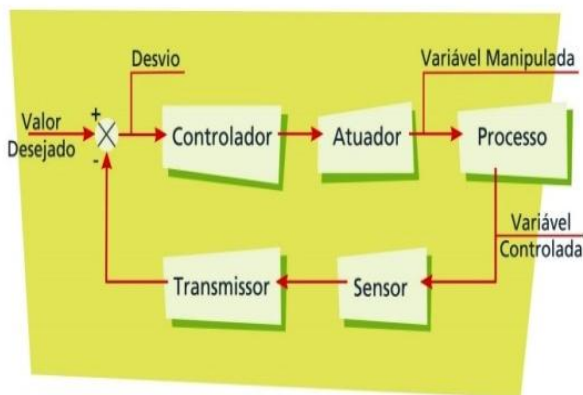
Ilustrando este cenário, na condição em que os sensores reportarem um valor de 118, correspondentes a 214 lux, o software irá procurar na tabela o valor correspondente à quantidade necessária para que seja atingido (ou aproximado) o *set point* desejado de 300 lux e enviar este valor, em forma de tensão, à luminária. Detalhes sobre este processo, bem como do algoritmo utilizado são descritos no item a seguir.

5.3.5 Algoritmo de regulação utilizado

O processo de regulação de intensidade da luminária estrutura-se no conceito de um sistema de malha fechada com realimentação, ajustado através do algoritmo de controle de processos proporcional-integral-derivativo, ou simplesmente PID, acrônimo pelo qual comumente é referenciado.

De acordo com Valdman, Folly e Salgado (2008), o princípio de atuação da realimentação consiste na tomada de decisão de correção a partir do surgimento de um erro ou desvio na variável do processo que se deseja controlar. O esquema sugerido pelos autores pode ser constatado na Figura 20.

Figura 20 - Sistema em malha fechada com realimentação.



Fonte: Bayer e Araújo (2010, p.22).

Neste contexto, Alves (2010, p.5) argumenta que :

A maneira tradicional de se controlar um processo é medir a variável a ser controlada, comparar seu valor com o **valor de referência**, ou **set point** do controlador, e alimentar a diferença, o **erro**, em um controlador que mudará a variável manipulada de modo a levar a variável medida (controlada) ao valor desejado.

Neste método, o sinal de saída é realimentado realizando-se uma comparação com o sinal de entrada e gerando um sinal corrigido que é submetido novamente ao sistema visando a obtenção do nível de resposta desejado. Apresentam-se como vantagens a compensação de erros, a saída constante e a robustez com menor sensibilidade a distúrbios (BAYER; ARAÚJO, 2010).

Em relação ao controlador PID, Alves (2010, p.100) salienta que, "O controlador PID é de longe o mais popular algoritmo usado na indústria. A maioria das malhas de realimentação utiliza o PID com pequenas variações.". Os controladores PID, ratificam Bayer e Araújo (2010), são largamente utilizados, visto que solucionam a grande maioria dos problemas que surgem em processos industriais. Segundo os autores, este fator remete-se à sua versatilidade em estabilizar o comportamento transitório e de regime permanente dos processos sob controle.

O algoritmo PID, define Alves (2010), foi concebido empiricamente na indústria, sendo descrito em sua versão teórica como:

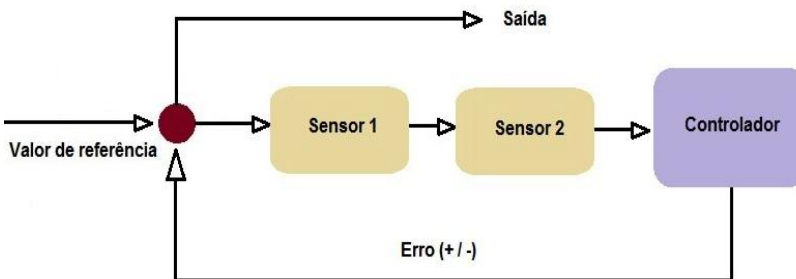
$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3)$$

onde u é a variável de controle e e é o erro de controle ($e = y_{sp} - y$). A variável de controle é, então, a soma de um termo proporcional ao erro (P), um termo proporcional à integral do erro (I) e um termo proporcional à derivada do erro (D). Os parâmetros do controlador são o ganho proporcional K , o tempo integral T_i e o tempo derivativo T_d .

Conquanto, o autor ressalva que o algoritmo teórico apresentado anteriormente nem sempre é empregado na prática, sendo usadas versões modificadas que apresentam melhores resultados.

Desta maneira, o funcionamento do programa de ajuste da intensidade da luminária adota a filosofia PID, porém com adequações em sua rotina de tratamento. O GaliLux realiza a medição do nível de intensidade de luminosidade do ambiente (neste caso, a variável de controle) através dos dois sensores, comparando-o ao *set point* desejado. Conforme a necessidade (o valor do erro), o valor da intensidade de luz na luminária é aumentado ou diminuído e uma nova medição é realizada. Este processo repete-se até que o valor fique o mais próximo possível para mais ou para menos, minimizando o erro em relação ao ponto desejado. Ressalta-se que em relação ao algoritmo PID, optou-se pela implementação apenas do controle proporcional, conforme demonstra a Figura 21.

Figura 21 - Controle Proporcional adotado no experimento.

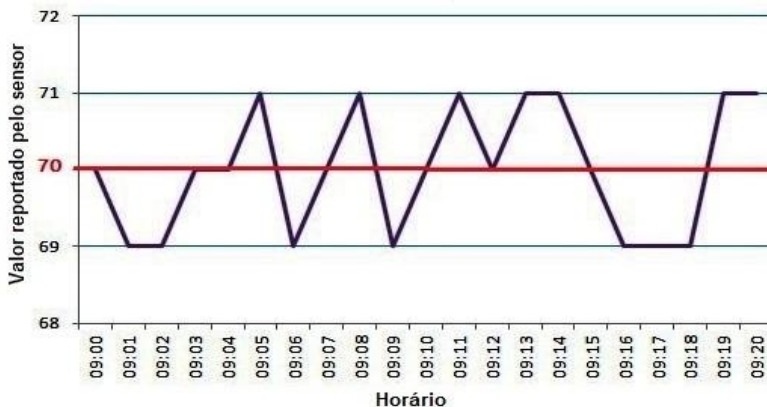


Fonte: elaborada pelo autor.

Na concepção de Valdman, Folly e Salgado (2008), o controle proporcional é o mais simples dos modos de controle, contendo apenas

um parâmetro para ser ajustado, porém apresenta uma desvantagem relativa, pois não anula inteiramente o erro. Este tipo de comportamento pode ser comprovado no Gráfico 10, que mostra a evolução do sensor 2 no experimento descrito no item 5.3.1.

Gráfico 10 - Exemplo de evolução do comportamento de um sensor.



Fonte: elaborada pelo autor.

Como já citado, considera-se como referência ou *set point*, o valor de 70 (destacado no gráfico), que corresponde a 300 lux. Logo, busca-se através de leituras e ajustes sucessivos a obtenção deste índice, ou próximo dele, por parte dos sensores.

O Gráfico 10 demonstra uma variação em torno deste valor, permanecendo entre 69 e 71, sendo que em algumas oportunidades atinge-se a marca pretendida. Nota-se que existe um erro no valor de um, para mais ou para menos na grande maioria das vezes, fato que corrobora a afirmativa de Valdman, Folly e Salgado (2008), que o erro não é inteiramente anulado.

Apesar desta característica, os valores obtidos são considerados como satisfatórios para a natureza do experimento e não representam expressiva influência no resultado final.

5.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Este capítulo demonstrou detalhes acerca do protótipo desenvolvido, baseado na plataforma de desenvolvimento Intel *Galileo* e nos módulos *XBee*, com a apoio de uma luminária da marca Philips. Ressaltou-se a importância do correto posicionamento dos sensores

possibilitando maior confiabilidade aos dados obtidos. Abordou-se também o algoritmo PID, bem como o controle proporcional utilizado para a regulação da intensidade de luz do ambiente, além dos procedimentos adotados para a realização das sessões de monitoramento. O próximo capítulo discute os resultados destas sessões.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com as sessões de monitoramento. Os indicadores finais destas sessões, sinalizam para uma redução relevante no consumo de energia destinada à iluminação de ambientes específicos e conseqüente economia de recursos naturais, além do decréscimo de custos financeiros, intensificando a associação proposta nesta dissertação, da Internet das Coisas ao conceito de Eficiência Energética.

6.1 RESULTADOS OBTIDOS

No intuito de verificar o comportamento do sistema desenvolvido, procedeu-se a realização de sessões de monitoramento baseadas em condições climáticas distintas e que afetavam a quantidade de luz natural no ambiente. Desta maneira, conduziu-se o experimento em três oportunidades: em um dia chuvoso, em um dia nublado e em um dia ensolarado.

6.1.1 Monitoramento em um dia chuvoso

Este experimento foi executado em 04/12/2016, entre 8:00 e 18:00, com intervalos de consulta aos sensores de 10 minutos, sendo que o clima apresentava-se chuvoso, conseqüentemente fazendo com que a quantidade de luminosidade natural disponibilizada ao ambiente fosse reduzida. O Quadro 3 contém os dados obtidos nesta sessão de monitoramento.

No tocante ao período selecionado, a razão de sua escolha concerne ao horário comercial frequentemente adotado no Brasil. Quanto ao intervalo de consulta aos sensores, optou-se por 10 minutos por considerá-lo adequado para a natureza dos experimentos, baseado no tempo decorrido entre as mudanças de intensidade luminosa promovidas pelo sol.

O Gráfico 11 demonstra os resultados obtidos, na cor azul, relativos à corrente em amperes consumida. A linha de cor preta simboliza a potência nominal da luminária equivalente a 274 mA. Observa-se a predominância do valor de 162 mA que corresponde a 240 lux, indicando que a luminosidade ambiente apresentava um valor de 60 lux, o que já era esperado devido às características do dia, ocasionando um consumo maior. É possível identificar a presença de picos no valor

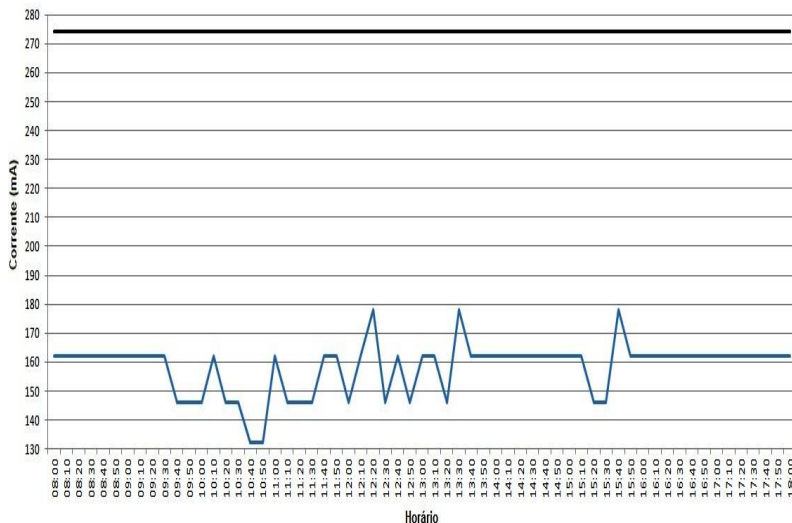
de 178 mA no período da tarde, bem como uma ligeira diminuição no período da manhã, reportando o valor de 132 mA.

Quadro 3 - Monitoramento em um dia chuvoso.

Intensidade média de corrente consumida	158 mA
Maior valor de corrente registrado	178 mA
Menor valor de corrente registrado	132 mA
Intensidade média de lux disponibilizada	233,64 lux
Maior valor de lux registrado	272 lux
Menor valor de lux registrado	180 lux
Intensidade média da iluminação natural	66,36 lux
Intensidade média de potência consumida	34,76 watts
Maior valor de potência registrado	39,16 watts
Menor valor de potência registrado	29,04 watts
Total de potência consumida (1 dia)	347,60 watts
Projeção de consumo semanal (7 dias)	2,43 kW
Projeção de consumo mensal (30 dias)	10,43 kW
Projeção de consumo anual (365 dias)	126,87 kW
Percentual de redução	37,93 %

Fonte: elaborada pelo autor.

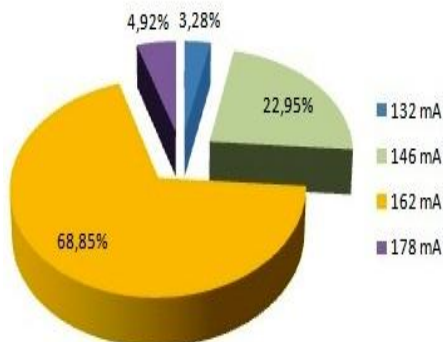
Gráfico 11 - Evolução da corrente consumida pela luminária em um dia chuvoso.



Fonte: elaborada pelo autor.

O Gráfico 12 demonstra a participação, em termos percentuais, de cada valor de corrente registrado durante o experimento.

Gráfico 12 - Distribuição dos valores de corrente consumida pela luminária em um dia chuvoso.



Fonte: elaborada pelo autor.

Como valor médio da corrente disponibilizada no período, tem-se o valor de 158 mA. Este índice é obtido dividindo-se a soma de todos os valores de corrente reportados pelo número de monitoramentos (ao total 61). De posse deste valor, calcula-se o valor médio da potência, em watts, consumida pela luminária, multiplicando-se a corrente pela tensão (considerando 220 volts):

$$\text{Potência Média} = 220 \text{ volts} \times 158 \text{ mA} = 34,76 \text{ watts} \quad (4)$$

Reputando que a luminária oferece uma potência total de 56 watts, ao se dividir a potência média obtida (no caso 34,76 watts) pela sua potência total (56 watts), entende-se que a luminária operou durante o experimento, em média, com 62,07 % de sua capacidade. Assim, em comparação à uma luminária com as mesmas características de potência ou a própria sem utilizar o recurso de regulagem analógica, consegue-se uma economia de 37,93 % em um dia chuvoso. Além da economia, ressalta-se a importância de manter constantes os níveis de luminosidade no ambiente.

Considerando o valor médio de 34,76 watts e sabendo que o experimento durou 10 horas, multiplicando-se estes números, obtêm-se um total de 347,60 watts por dia. Realizando-se uma projeção baseada nestes indicadores durante um período maior de um ano, tem-se:

$$\text{Total Anual} = 365 \text{ dias} \times 347,60 = 126,87 \text{ kW} \quad (5)$$

Em relação ao monitoramento, salienta-se que o valor médio em termos de lux disponibilizados pela luminária foi de 233,64 lux. Este número é obtido dividindo-se a soma de todos os valores de lux registrados, pela quantidade de consultas realizadas aos sensores (61 ao todo). Desta forma, deduz-se que a média da intensidade de luz natural em um dia chuvoso presente no ambiente foi de 66,36 lux.

6.1.2 Monitoramento em um dia nublado

Este monitoramento adota os mesmos parâmetros do experimento anterior, ou seja, foi executado entre 8:00 e 18:00, com intervalos de consulta aos sensores de 10 minutos. Contudo nesta data, o experimento foi realizado em 29/12/2016, o comportamento do clima classificava-se como nublado, de tal forma que a quantidade de luminosidade natural presente no ambiente era mais intensa em comparação a um dia chuvoso. O Quadro 4 apresenta os valores registrados nesta sessão de monitoramento.

Quadro 4 - Monitoramento em um dia nublado.

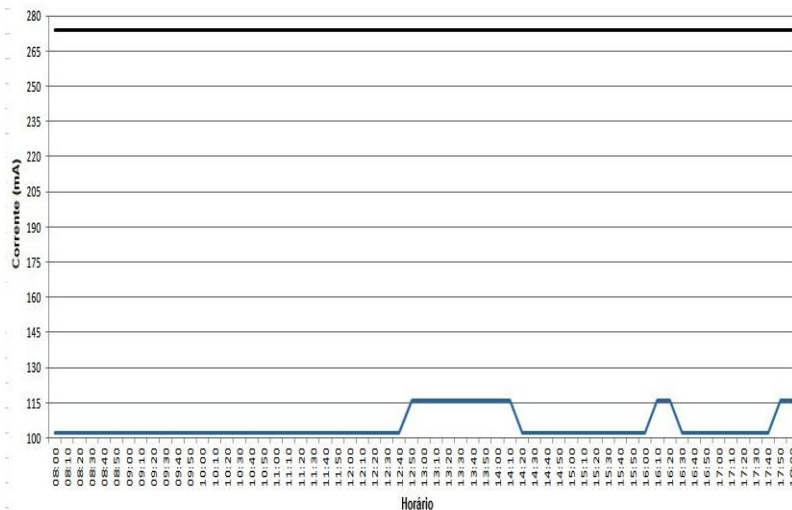
Intensidade média de corrente consumida	105 mA
Maior valor de corrente registrado	116 mA
Menor valor de corrente registrado	102 mA
Intensidade média de lux disponibilizada	111,38 lux
Maior valor de lux registrado	146 lux
Menor valor de lux registrado	102 lux
Intensidade média da iluminação natural	188,62 lux
Intensidade média de potência consumida	23,10 watts
Maior valor de potência registrado	25,52 watts
Menor valor de potência registrado	22,44 watts
Total de potência consumida (1 dia)	231,00 watts
Projeção de consumo semanal (7 dias)	1,61 kW
Projeção de consumo mensal (30 dias)	6,93 kW
Projeção de consumo anual (365 dias)	84,31 kW
Percentual de redução	58,75 %

Fonte: elaborada pelo autor.

Em relação à corrente absorvida pela luminária, a evolução deste parâmetro é apresentada no Gráfico 13. Percebe-se neste ensaio, um

consumo de energia elétrica relativamente menor quando comparado ao experimento anterior.

Gráfico 13 - Evolução da corrente consumida pela luminária em um dia nublado.



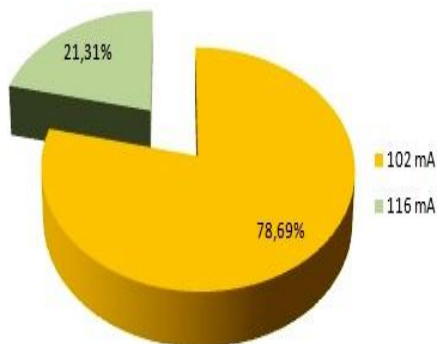
Fonte: elaborada pelo autor.

Quanto à corrente consumida, conforme demonstra o Gráfico 14, o valor presente durante quase que a totalidade foi de 102 mA, com picos de 116 mA. A intensidade média de corrente registrada neste experimento foi de 105 mA, proporcionando um consumo médio de potência da luminária na ordem de 23,10 watts, com um valor máximo de 25,52 watts e 22,44 watts como valor mínimo. Com base nesta média, computa-se um valor diário de 231 watts (equivalente a 10 horas de consumo), projetando um consumo anual de 84,31 kW. Em termos percentuais, estes números concernem à uma economia de 58,75 % em relação à luminária operando em sua potência total. Ainda em termos de redução de consumo de energia elétrica, o experimento relatou uma diminuição de 20,82 % (diferença entre a média de potência obtida nos ensaios, dividida pela potência total da luminária) quando cotejado aos dados obtidos no monitoramento realizado em uma dia chuvoso.

No tocante ao parâmetro lux, a intensidade média reportada durante o ensaio foi de 111,38 lux, com 146 lux como valor máximo e 102 lux como valor mínimo. Desta maneira, estabelece-se que a

intensidade de luz natural no ambiente durante um dia nublado no ambiente de monitoramento foi de 188,62 lux.

Gráfico 14 - Distribuição dos valores de corrente consumida pela luminária em um dia nublado.



Fonte: elaborada pelo autor.

Reiterando que a maneira pela qual os valores anteriores foram obtidos acompanha o mesmo formato descrito no item 6.1.1.

6.1.3 Monitoramento em um dia ensolarado

Tal qual os dois experimentos anteriores, este ensaio foi conduzido com base nos mesmos critérios, no período compreendido entre 8:00 e 18:00, com intervalos de 10 minutos para a consulta aos sensores, com o clima na oportunidade (este experimento foi realizado em 13/01/2017) apresentando-se ensolarado. Este fator motivou um comportamento deveras diversificado no tocante aos índices de corrente consumidos pela luminária, assim como na quantidade de valores distintos reportados. As informações resultantes deste monitoramento são demonstradas no Quadro 5.

Um primeiro aspecto constatado, refere-se à ocorrência de valores nulos repassados à luminária. Este evento ocorreu entre 9:10 e 9:40, ratificando o período matutino como o de maior incidência solar no ambiente de monitoramento. Interpreta-se que na oportunidade, a quantidade de lux oferecida ao ambiente pela luz natural alcançava ou superava os 300 lux definidos como ponto de referência. Logo, não existia a necessidade de apoio da iluminação artificial, fazendo com que o GaliLux optasse por desligar a luminária, resultando em uma

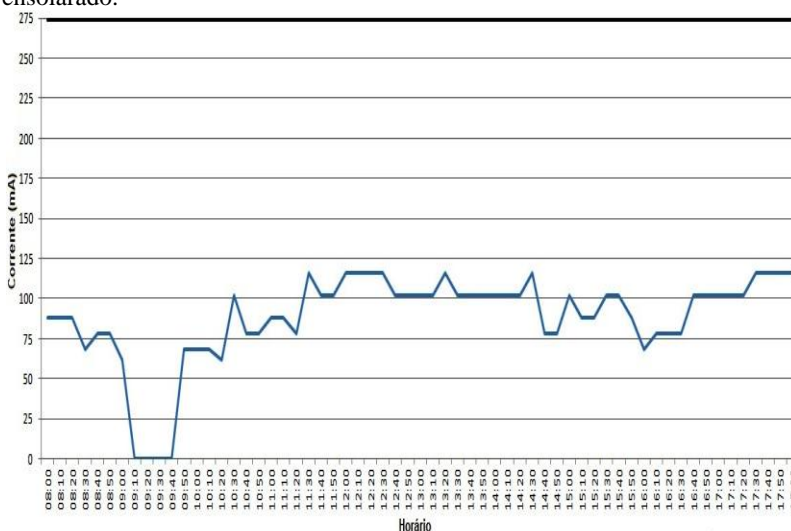
economia na ordem de 100%. A variação da corrente consumida pela luminária durante o experimento pode ser observada no Gráfico 15.

Quadro 5 - Monitoramento em um dia ensolarado.

Intensidade média de corrente consumida	88 mA
Maior valor de corrente registrado	116 mA
Menor valor de corrente registrado	0 mA
Intensidade média de lux disponibilizada	83,11 lux
Maior valor de lux registrado	146 lux
Menor valor de lux registrado	0 lux
Intensidade média da iluminação natural	216,89 lux
Intensidade média de potência consumida	19,35 watts
Maior valor de potência registrado	25,52 watts
Menor valor de potência registrado	0 watts
Total de potência consumida (1 dia)	193,50 watts
Projeção de consumo semanal (7 dias)	1,35 kW
Projeção de consumo mensal (30 dias)	5,80 kW
Projeção de consumo anual (365 dias)	70,63 kW
Percentual de redução	65,45 %

Fonte: elaborada pelo autor.

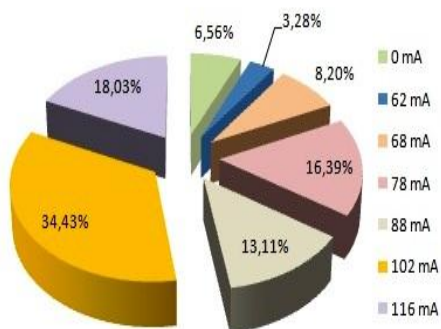
Gráfico 15 - Evolução da corrente consumida pela luminária em um dia ensolarado.



Fonte: elaborada pelo autor.

Neste experimento a quantidade média de corrente disponibilizada à luminária foi de 88 mA, com um valor mínimo registrado de 0 mA e um valor máximo de 116 mA, contemplando que na maioria das oportunidades prevaleceu o valor de 102 mA. A distribuição dos valores reportados nesta sessão de monitoramento é apresentada no Gráfico 16.

Gráfico 16 - Distribuição dos valores de corrente consumida pela luminária em um dia ensolarado.



Fonte: elaborada pelo autor.

Com base nestes valores, determina-se que a média de potência fornecida à luminária foi de 19,35 watts, fazendo com a mesma operasse com 34,55 % de sua capacidade total, resultando em uma economia de 65,45 % em comparação à sua utilização na potência máxima. Ainda no quesito potência, o valor máximo reportado foi de 25,52 watts, com um valor mínimo de 0 watts que corresponde ao período em que a luminária permaneceu desligada.

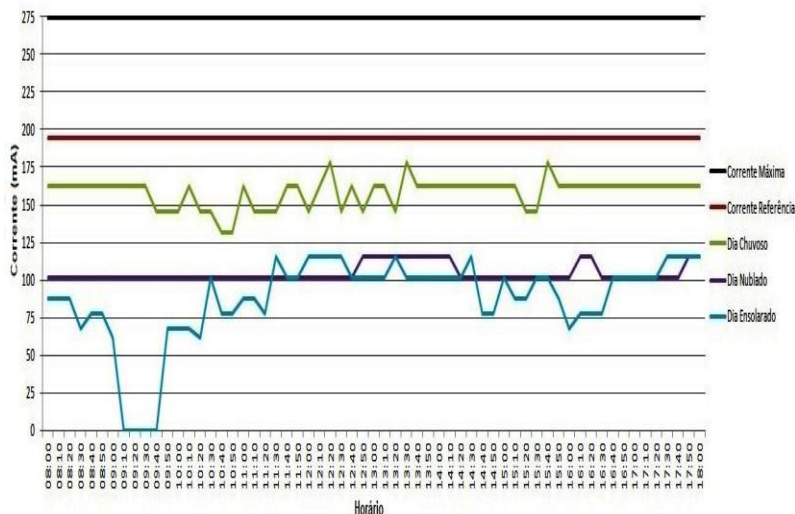
Estes dados concernem à uma quantidade média de luminosidade fornecida de maneira artificial ao ambiente de 83,11 lux. Assim, deduz-se que a luminosidade natural presente foi de 216,89 lux, correspondendo à 72,29 % do valor de referência. Em termos percentuais, chegou-se a uma redução de 6,7 % em relação a um dia nublado e de 27,52 % quando comparado a um dia chuvoso (diferença entre a média de potência obtida nos ensaios, dividida pela potência total da luminária).

Novamente, ressalta-se que a forma de obtenção dos valores discutidos anteriormente, baseia-se nos parâmetros apresentados no item 6.1.1.

6.1.4 Resumo dos experimentos

Os índices obtidos durante os ensaios realizados apontam para um uso mais racional dos recursos energéticos, neste caso singular a iluminação artificial, quando associados a algum tipo de gerenciamento. A adoção da Internet das Coisas, através da implementação de uma pequena rede de sensores sem fio reforça esta afirmativa, como pode ser constatado no Gráfico 17, que sintetiza os resultados alcançados.

Gráfico 17 - Síntese das sessões de monitoramento.



Fonte: elaborada pelo autor.

Reportando-se ao gráfico anterior, a linha de cor preta indica o valor máximo de corrente possível fornecido pela luminária. Nesta condição, o dispositivo não apresenta nenhum tipo de gerenciamento, permanecendo ligado durante todo o período, independente da incidência da iluminação natural.

À linha de cor vermelha associa-se o valor de corrente necessário para manter a intensidade de luminosidade constante de acordo com o *set point* definido para o ambiente, neste caso 300 lux. Possivelmente, a ocorrência deste comportamento seria identificada em um monitoramento no período noturno, dada a ausência da luz natural.

As linhas nas cores verde, roxa e azul representam a evolução do consumo de corrente nos respectivos experimentos, em dias com o clima chuvoso, nublado e ensolarado.

O dia chuvoso apresentou, dentro do pressuposto, o maior consumo de corrente e conseqüentemente de potência, uma vez que na oportunidade a incidência de luz natural era escassa devido as condições climáticas. Contudo, ressalta-se que em nenhuma das oportunidades em que os sensores foram consultados fez-se necessário o fornecimento máximo de potência para atingir o *set point*, permitindo que mesmo em um dia com pouca luminosidade, existisse a economia de energia.

Quanto ao dia nublado, constatou-se um comportamento imprevisível e relativamente surpreendente, visto a linearidade da evolução do fornecimento de corrente à luminária. O valor manteve-se constante em quase a totalidade do experimento, com raras variações. Um fator contudo era esperado: a redução no consumo ser mais relevante quando comparada a um dia chuvoso.

Em relação ao dia ensolarado, a evolução do consumo de corrente demonstrou-se previsível, estimulada pela vigorosa presença de luz natural no ambiente. Acredita-se que um fator que contribuiu para este cenário diz respeito à estação do ano (verão) em que o monitoramento foi realizado. O experimento registrou o menor consumo de energia, com a luminária permanecendo desligada em determinados momentos. Observa-se também uma conduta diversificada em termos de valores de corrente quando cotejado aos demais ensaios, atingindo em alguns horários índices equivalentes aos obtidos em um dia nublado.

Ratifica-se que dependendo das condições climáticas, os valores devem sofrer alterações, contudo presume-se que os mesmos acompanhem as tendências aqui apresentadas.

Não efetivou-se nenhuma medição em horário noturno, por entender que o comportamento apresentado seria constante, dada a inexistência da luz natural. Mesmo assim, julga-se que a expectativa de consumo iria de encontro à necessidade de manutenção do *set point* definido, resultando também em economia de energia quando comparada a uma luminária sem sistema de gerenciamento e que atuasse sempre na potência máxima.

É importante mencionar, que em nenhum momento dos monitoramentos efetuados ocorreu o uso da luminária em seu estado máximo, além de manter-se em todas as oportunidades a constância da intensidade do ambiente com a combinação entre a luz natural e a artificial.

Em termos de percentuais de consumo e redução, bem como estimativas financeiras, o Quadro 6 apresenta um resumo dos valores obtidos em cada sessão de monitoramento.

Quadro 6 - Resumo das sessões de monitoramento.

	Chuvoso	Nublado	Ensolarado
Consumo médio registrado por hora	34,76 watts	23,10 watts	19,35 watts
Maior consumo registrado	39,16 watts	25,52 watts	25,52 watts
Menor consumo registrado	29,12 watts	22,44 watts	0 watts
Percentual de uso da luz natural	22,12 %	62,87 %	72,29 %
Economia mensal ¹⁰	R\$ 3,25	R\$ 5,03	R\$ 5,60
Economia anual ¹⁰	R\$ 39,55	R\$ 61,25	R\$ 68,23

Fonte: elaborada pelo autor.

Quanto aos valores financeiros apresentados no Quadro 6, os mesmos foram estimados considerando que o dispositivo permaneceria ativo durante o horário comercial, entre 8:00 e 18:00. Em relação aos percentuais de redução, estes foram obtidos comparando-se ao consumo de uma luminária de mesma potência ligada sem nenhum tipo de gerenciamento. Como exemplo deste cenário, uma edificação (shopping, supermercado, hospital) localizada em uma região com clima predominantemente ensolarado e atendida por 200 luminárias, a economia anual com a iluminação no empreendimento pode atingir valores de aproximam de R\$ 13.000,00.

6.2 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou os resultados alcançados nas sessões de monitoramento. Constatou-se uma variação dos valores registrados diretamente proporcional às características climáticas presentes, implicando em aumento ou diminuição dos índices de potência consumidos pela luminária. Contudo, em todos os ensaios efetuados,

¹⁰ Cálculo estimado para uma luminária de 56 watts, composta de duas lâmpadas de 28 watts, com o recurso de gerenciamento ativado, atuando no horário entre 8:00 e 18:00 e com base no valor residencial de R\$ 0,51 do kWh praticado no mês de janeiro de 2017 pela empresa Celesc - Centrais Elétricas de Santa Catarina S/A.

ocorreram reduções no consumo de energia elétrica, com percentuais variando de 37,93 % a 65,45 %, intensificando os benefícios proporcionados pela associação da Internet das Coisas ao conceito de Eficiência Energética.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho objetivou compreender as peculiaridades relacionadas ao universo da Internet das Coisas, sua concepção, evolução, definições e características. Por ser um conceito classificado como recente, o campo de aplicações a ele imputado manifesta-se amplo e diversificado, motivo pelo qual optou-se por aprofundar os estudos com o intuito de averiguar sua aderência ao cenário da Eficiência Energética.

A respeito da Internet das Coisas, um ponto importante atenta-se justamente à definição e abrangência do termo. Contemplam-se incertezas quanto à maneira, intensidade e o contexto de sua concepção. Os autores consultados discordam em aspectos técnicos, e frequentemente defendem sua aplicação em circunstâncias pontuais, voltadas a cenários específicos, demonstrando divergências em relação à essência do conceito.

Quanto aos aspectos inerentes à Eficiência Energética, evidencia-se a dependência do ser humano pela eletricidade, sendo esta, fundamental para o desenvolvimento econômico, social e para o bem estar. Demonstra-se premente, a adoção de métodos de geração limpos, menos poluentes e agressivos ao meio ambiente, baseados em fontes renováveis. Tal qual estas medidas, a modificação dos hábitos de consumo da população e o incremento de novas tecnologias, se mostra relevante para alcançar resultados sustentáveis na utilização da energia. A crescente participação das TIC em diversificados setores, entre eles o energético, por meio da adoção de sistemas de distribuição e transmissão automatizados, como as *smart grids* (redes inteligentes), manifestam-se como exemplos deste processo.

Os dados obtidos pela Revisão Sistemática da Literatura através da junção dos dois conceitos, sinalizam um extenso volume de publicações, indicando a relevância e interdisciplinaridade do tema. Em contrapartida, constata-se que os documentos discorrem acerca do uso eficiente de energia nos dispositivos, principalmente os sensores, associados à Internet das Coisas, apresentando pouca ênfase, em comparação à quantidade total de publicações existentes, na aplicação efetiva da tecnologia ao conceito de Eficiência Energética, vislumbrando-se desta maneira, um considerável universo investigativo a ser perscrutado.

Em relação às sessões de monitoramento alicerçadas a partir do protótipo GaliLux com o apoio de sensores sem fio, observou-se a constante e progressiva diminuição do consumo de energia elétrica

destinada a iluminação artificial, implicando em um uso mais racional deste recurso, com a obtenção de índices de redução que chegam a 65%, demonstrando a eficácia da adoção da Internet das Coisas como apoio ao conceito de Eficiência Energética. Salienta-se que o local escolhido para o monitoramento não foi concebido sob o conceito de arquitetura sustentável, visando a Eficiência Energética. Presume-se que em um ambiente especialmente projetado para este fim, os resultados inerentes à economia de energia possam ser ainda substanciais.

No intuito de ampliar a pesquisa, apontam-se como sugestões para implementações futuras sofisticar o protótipo desenvolvido, incluindo um número maior de luminárias e sensores, além de adotar o padrão DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*), passando a atuar em ambientes maiores, como por exemplo residências, escritórios, supermercados, centro de convenções, depósitos, hospitais etc. Sugere-se para atender a este cenário a reavaliação do uso da placa Intel *Galileo*. Outra proposta diz respeito a substituição do algoritmo utilizado pelo aplicativo de gerenciamento por uma RNA (Rede Neural Artificial), suscitando maior precisão no gerenciamento dos dispositivos, bem como permitir o acesso externo, através da Internet, das informações em tempo real. Concomitantemente, sugere-se intensificar os estudos voltados a novos protocolos de comunicação de redes sem fio, diferentes topologias de redes de sensores, métodos destinados à segurança das informações e controle de falhas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: Aneel, 2002. 153 p. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2016.

ALVES, João Bosco da Mota. **Teoria geral de sistemas**: em busca da interdisciplinaridade. Florianópolis: Instituto Stela, 2012. 179 p.

ALVES, José Luiz Loureiro. **Instrumentação, controle e automação de processos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2010. 201 p.

ANTUNES, Vinicius Barcellos. **Roteamento Sensível ao Contexto em Redes de Sensores sem Fio**: uma abordagem baseada em regras de aplicação para o protocolo RPL. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Informática, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.ufes.br/handle/10/1480>>. Acesso em: 24 maio 2016.

AQUINO, André. Sensores Conectados em Rede. **Computação Brasil: Revista da Sociedade Brasileira de Computação**, Porto Alegre, p.9-13, abr. 2015.

ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. ASHRAE Standard 90.1 – 2016. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/CIE 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1:interior. Rio de Janeiro: Abnt, 2013. 46 p.

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. The Internet of Things: a survey. **Computer Networks**, [s.l.], v. 54, n. 15, p.2787-2805, out. 2010. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>.

AZIZ, Azrina Abd; SEKERCIOGLU, Y. Ahmet; FITZPATRICK, Paul; IVANOVICH, Milosh . A survey on distributed topology control

techniques for extending the lifetime of battery powered wireless sensor networks. **Ieee Communications Surveys & Tutorials**, [s.l.], v. 15, n. 1, p.121-144, 2013. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/surv.2012.031612.00124>.

BARBIN, Manoel Vitorio. **Etiqueta de RFID em UHF para objetos metálicos**. 2015. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000946450>>. Acesso em: 25 maio 2016.

BARBOSA, Solange Maria Kileber. **A competitividade das fontes energéticas em uma abordagem de Learning Curves: uma proposição de regulação que incentive as tecnologias renováveis**. 2016. 300 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em Ciência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-14042016-094140/pt-br.php>>. Acesso em: 04 jul. 2016.

BARROS, Benjamin Ferreira de; BORELLI, Reinaldo; GEDRA, Ricardo Luis. **Gerenciamento de energia: ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015. 176 p.

BARROS, Thais Helena de Camargo. **Tecnologias da informação e comunicação (TICs) na educação: professores - mediadores - mentores**. 2011. 228 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Comunicação e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/27/27161/tde-12032013-161611/pt-br.php>>. Acesso em: 19 jun 2016.

BAYER, Fernando Mariano; ARAÚJO, Olinto César Bassi de. **Curso técnico em automação industrial: controle automático de processos**. 3. ed. Santa Maria: Ctism, 2010. 92 p. Disponível em: <http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_autom_ind/ctrl_auto_proc/161012_contr_aut_proc.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2016.

BOBADILLA, Jesús; ORTEGA, Fernando; HERNANDO, Antonio; GUTIÉRREZ, Abraham. Recommender systems survey. **Knowledge-**

based Systems, [s.l.], v. 46, p.109-132, jul. 2013. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.knosys.2013.03.012>.

BOHLEN, Heinz P.; WRIGHT, Edward L. An improved concept for a higher-order mode IOT. **Fifth Ieee International Vacuum Electronics Conference (ieec Cat. No.04ex786)**, [s.l.], p.311-311, abr. 2004.

Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE).

<http://dx.doi.org/10.1109/ivelec.2004.1316335>.

BRAGA, Laura Caixeta. **Estudo de aspectos de eficiência energética de edificações com uma abordagem de automação predial**. 2007. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <<http://www.ppgee.ufmg.br/defesas/260M.PDF>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

BURATTINI, Maria Paula T. de Castro. **Energia: uma abordagem multidisciplinar**. São Paulo: Livraria da Física, 2008. 112 p.

CARDOSO, Raul Mariano. **Internet das Coisas aplicada a sistemas de transportes inteligentes: estudo de caso em controle de acesso**. 2013. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em:

<<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000927917>>. Acesso em: 10 maio 2016.

CERVANTES, Christian Alonso Vega. **Um sistema de detecção de ataques sinkhole sobre 6LoWPAN para Internet das Coisas**. 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Informática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/38133>>. Acesso em: 18 maio 2016.

CUNHA, Viviane Lima da. **Tecnologias da informação e comunicação na socialização do conhecimento: um estudo de caso na Biblioteca Central da Universidade Federal da Paraíba**. 2014. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado Profissional em Gestão de Organizações Aprendentes, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

DELICATO, Flávia Coimbra; PIRES, Paulo de Figueiredo; BATISTA, Thais; CAVALCANTE, Everton; COSTA, Bruno; BARROS, Thomaz. *Towards an IoT ecosystem.201 3. 1st ACM SIGSOFT/SIGPLAN International Workshop on Software Engineering for Systems of Systems, SESoS 2013 Proceedings*, p. 25-28.

DIDONÉ, Evelise Leite. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC**. 2009. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/93199>>. Acesso em: 24 nov. 2016.

DIGI. **ZigBee RF Modules: XBEE2, XBEEPRO2, PRO S2B. User Guide**. 2016. Disponível em: <<http://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/PDFs/90000976.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2015 – Ano base 2014: Relatório Síntese**. Rio de Janeiro: EPE, 2015. 62 p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Síntese do Relatório Final_2015_Web.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Eficiência energética na indústria e nas residências: no horizonte decenal (2010-2019)**. Rio de Janeiro: EPE, 2010. 46 p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série Estudos de Energia/20100809_4.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Energia: a ordem é economizar**. Rio de Janeiro:EPE, 2009. 16 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_proecotur/_publicacao/140_publicacao09062009030954.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2016.

EVANS, Dave. **A Internet das Coisas: como a próxima evolução da Internet está mudando tudo**. 2011. White Paper Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). Disponível em: <http://www.cisco.com/web/BR/assets/executives/pdf/internet_of_things_iiot_ibsg_0411final.pdf>. Acesso em: 19 maio 2016.

FAPESP. **Um futuro com energia sustentável:** iluminando o caminho. São Paulo: Fapesp, 2010. 300 p. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Tradução de Maria Cristina Vidal Borba e Neide Ferreira Gaspar. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2016.

FARAHANI, Shahin. **ZigBee Wireless Networks and Transceivers.** [s.i]: Elsevier, 2008. 339 p. Disponível em: <<http://www.chiaraburatti.org/uploads/teaching/ZigBee-Libro.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2016

FERNANDES, Ivo Diogo de Andrade. **Barreiras à adoção da eficiência energética.** 2013. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Gestão e Estratégia Industrial, Lisboa School Of Economics & Management, Lisboa, 2013. Disponível em: <<http://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/6747/1/DM-IDAF-2013.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2016.

FERREIRA, Hiro Gabriel Cerqueira. **Arquitetura de Middleware para Internet das Coisas.** 2014. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/17251>>. Acesso em: 19 maio 2016.

FRANCESCHINELLI, Daniella Arruda. **Estudo comparativo dos aspectos de segurança em redes WWAN, WLAN e WPAN.** 2003. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado Profissional em Ciência da Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FREIRE, Patrícia de Sá. **Aumente a qualidade e a quantidade de suas publicações científicas:** manual para elaboração de projetos e artigos científicos. Curitiba: Crv, 2013. 90 p.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 200 p.

GOGLIANO SOBRINHO, Osvaldo. **Serviço de resolução e descoberta de informações sobre objetos em sistemas baseados em RFID.** 2013. 123 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em Engenharia de Computação, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas

Digitais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em:
<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3141/tde-16102013-162918/pt-br.php>>. Acesso em: 11 maio 2016.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012. 400 p.

GUEDES, Carmen Luisa Barbosa. **Energia: Fontes e formas de energia. Impactos ambientais**. 2014. Universidade Estadual de Londrina - Mestrado em Bioenergia. Disponível em:
<http://www.unicentro.br/posgraduacao/mestrado/bioenergia/material_documento/2014/Carmen_Fontes_e_Formas_de_Energia_53710b1796170.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2016.

HANCKE, Gerhard; SILVA, Bruno; HANCKE JUNIOR, Gerhard. The Role of Advanced Sensing in Smart Cities. **Sensors**, [s.l.], v. 13, n. 1, p.393-425, 27 dez. 2012. MDPI AG.
<http://dx.doi.org/10.3390/s130100393>.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin; REIS, Lineu Belico dos. **Energia e Meio Ambiente**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015. 543 p.

HUANG, Jun; MENG, Yu; GONG, Xuehong; LIU, Yanbing; DUAN, Qiang. A novel deployment scheme for green Internet of Things. **Ieee Internet Of Things Journal**, [s.l.], v. 1, n. 2, p.196-205, abr. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE).
<http://dx.doi.org/10.1109/jiot.2014.2301819>.

INTEL. **Intel Galileo Development Board: Datasheet**. 2013.

Disponível em:
<<http://www.intel.com/content/www/us/en/embedded/products/galileo/galileo-g1-datasheet.html>>. Acesso em: 08 set. 2016.

KAUARK, Fabiana da Silva; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da Pesquisa**: Itabuna: Via Litterarum, 2010. 88 p.

KAMIENSKI, Carlos; BORELLI, Fabrízio; BIONDI, Gabriela; ROSA, William; PINHEIRO, Isaac; ZYRIANOFF, Ivan; SADOK, Djamel; PRAMUDIANTO, Ferry. Context-aware energy efficiency management for smart buildings. **2015 Ieee 2nd World Forum On Internet Of Things (wf-iot)**, [s.l.], p.699-704, dez. 2015. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/wf-iot.2015.7389139>.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W.. **Redes de computadores e a internet: uma abordagem top-down**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2013. 634 p.

LACERDA, Flávia. **Arquitetura da Informação Pervasiva: projetos de ecossistemas de informação na Internet das Coisas**. 2015. 226 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciência da Informação, Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/19646>>. Acesso em: 09 maio 2016.

LACERDA, Flavia; LIMA-MARQUES, Mamede. Da necessidade de princípios de Arquitetura da Informação para a Internet das Coisas. **Perspectivas em Ciência da Informação**, [s.l.], v. 20, n. 2, p.158-171, jun. 2015. Trimestral. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1981-5344/2356>.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, EneDir; PEREIRA, Cláudia Donald; BATISTA, Juliana Oliveira. **Casa eficiente: consumo e geração de energia**. Florianópolis: UFSC LabEEE, 2010. 76 p.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras - Procel, 2014. 382 p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro - Eficiência Energética na Arquitetura.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2016.

LOPES, Leandro Faber; SILVA, Oswaldo José Bueno Alves da. **Matriz energética mundial: que caminhos seguir ?**. 2010. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=25671>>. Acesso em: 27 out. 2016.

MARQUES, Milton César Silva; HADDAD, Jamil; GUARDIA, Eduardo Crestana (Coord.). **Eficiência energética: teoria & prática**. Itajubá: Fupai, 2007. 224 p. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/Eficiencia_energetica_Teoria_e_pratica.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2016.

MOLINA, Letícia Gorri. Tecnologias de informação e comunicação para gestão da informação e do conhecimento: proposta de uma estrutura tecnológica aplicada aos portais corporativos. In: VALENTIM, Marta (Org.). **Gestão, mediação e uso da informação**. São Paulo: Unesp, 2010. Cap. 7. p. 143-167. Disponível em: <<http://books.scielo.org/id/j4gkh/pdf/valentim-9788579831171-08.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

MORANDI, Maria Isabel Wolf Motta; CAMARGO, Luis Felipe Riehs. Revisão sistemática da literatura. In: DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES JÚNIOR, José Antônio Valle. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015. Cap. 6. p. 141-172.

MOREIRA, Rafael Henrique Rodrigues (org). **TI Maior: programa estratégico de software e serviços de tecnologia da informação**, 2012. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0223/223111.pdf>. Acesso em: 21 out. 2015.

NASCIMENTO, Manoel Henrique Reis. **As tecnologias da informação e comunicação - TIC'S influenciam o desempenho acadêmico?** 2011. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Economia, Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2011.

OLIVEIRA, Igor Petri de. **Eficiência energética em sistemas de energia elétrica: um estudo de caso em uma indústria de lubrificantes**. 2015. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2015. Disponível em: <http://repositorio.cbc.ufms.br:8080/jspui/bitstream/123456789/2602/1/IGOR_PETRI_DE_OLIVEIRA.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2016.

PAES, Wander de Moraes. Interoperabilidade móvel: a Internet das Coisas. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 12, p.794-810, 30 jul. 2014. <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v12i1.1406>.

PALZ, Wolfgang. **Energia solar e fontes alternativas**. Curitiba: Hemus, 2002. 358 p.

PEREIRA, Cláudia Donald. Introdução. In: LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; PEREIRA, Cláudia Donald; BATISTA, Juliana Oliveira. **Casa eficiente**: consumo e geração de energia. Florianópolis: UFSC LabEEE, 2010. Cap. 1. p. 17-21.

PESSOA, Valdemberg Magno do Nascimento; OLIVEIRA, Ronald Fred Alves de. Uma discussão sob a ótica da inovação tecnológica - barreiras e desafios na busca da eficiência energética. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 2, n. 1, p.1-11, 27 mar. 2002. Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v2i1.599>.

PHILIPS. **HF-REGULATOR II para lâmpadas TL5 (0-10V)**. 2015. Disponível em: <http://download.p4c.philips.com/lfb/f/fp-913700619566/fp-913700619566_pss_pt_br_001.pdf>. Acesso em: 16 set. 2016.

PINHO, Jose Antonio Gomes de. Sociedade da informação, capitalismo e sociedade civil: reflexões sobre política, internet e democracia na realidade brasileira. **Rae: Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 51, p.98-106, jan. 2011.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio (Org.). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel - Cresesb, 2014. 530 p. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2016.

PINTO, Milton de Oliveira. **Fundamentos da energia eólica**. Rio de Janeiro: Ltc, 2014. 368 p.

PPGTIC. **Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação**. 2016. Disponível em: <<http://ppgtic.ufsc.br>>. Acesso em: 13 jun. 2016.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]:** métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 276 p.

RAPPAPORT, Theodore Scott. **Comunicações sem fio:** princípios e práticas. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 409 p.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade; REIS, Lineu Belico dos. **Eficiência energética em edifícios.** Barueri: Manole, 2012. 195 p.

ROSILLO-CALLE, Frank; BAJAY, Sérgio Valdir; ROTHMAN, Harry (Org.). **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira.** Campinas: Unicamp, 2005. 447 p.

SALOMÃO, Thais Mazziotti. **Eficiência energética:** projetos luminotécnicos em plantas industriais. 2010. 197 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-30112010-150117/pt-br.php>>. Acesso em: 28 jun. 2016.

SAMPIERI, Roberto Hernández; COLLADO, Carlos Fernández; LUCIO, María del Pilar Baptista. **Metodologia de pesquisa.** 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013. 624 p.

SANTOS, Airtton José. **Tecnologias da informação e comunicação na vida profissional do cego congênito.** 2015. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SANTOS, Edmilson Moutinho dos. **Gás natural:** estratégias para uma nova energia nova no Brasil. São Paulo: Annablume, 2002. 352 p.

SANTUCCI, Gérald. Prefácio. In: PRESSER, Mirko. **Inspirando a Internet das Coisas.** São Paulo: Agns, 2013. p. 2-3. Disponível em: <https://iotcomicbook.files.wordpress.com/2013/10/iot_comic_book_especial_br.pdf>. Acesso em: 12 maio 2016.

SATO, Silvio Koiti. **Mobilidade, comunicação e consumo**: expressões da telefonia celular em Angola, Brasil e Portugal. 2015. 366 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Comunicação – Escola de Comunicação e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/27/27153/tde-01062015-163806/pt-br.php>>. Acesso em: 21 maio 2016.

SERAFIM, Edivaldo. **Uma estrutura de rede baseada em tecnologia IoT para atendimento médico a pacientes remotos**. 2014. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Mestrado em Ciência da Computação, Faculdade Campo Limpo Paulista, Campo Limpo Paulista, 2014. Disponível em: <http://www.cc.faccamp.br/Dissertacoes/Edivaldo_2014.pdf>. Acesso em: 10 maio 2016.

SHENG, Zhengguo; YANG, Shusen; YU, Yifan; VASILAKOS, Athanasios V.; MCCANN, Julie A.; LEUNG, Kin K. A survey on the IETF protocol suite for the internet of things: standards, challenges, and opportunities. **Ieee Wireless Commun.**, [s.l.], v. 20, n. 6, p.91-98, dez. 2013. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE).
<http://dx.doi.org/10.1109/mwc.2013.6704479>.

SIEKKINEN, Matti; HIIENKARI, Markus; NURMINEN, Jukka K.; NIEMINEN, Johanna. How low energy is bluetooth low energy? Comparative measurements with ZigBee/802.15.4. **2012 Ieee Wireless Communications And Networking Conference Workshops (wcnw)**, [s.l.], p.232-237, abr. 2012. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE).
<http://dx.doi.org/10.1109/wcnw.2012.6215496>.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muskat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: Ufsc, 2005. 138 p.

SOLA, Antonio Vanderley Herrero; XAVIER, Antonio Augusto de Paula; KOVALESKI, João Luiz. Energy efficiency in production engineering courses. In: Third International Conference on Production Research - Americas' Region 2006 (ICPR-AM06). Proceedings. Curitiba, PR: PUC, Jul/Aug, 2006.

SPIRO, Thomas G.; STIGLIANI, William M.. **Química Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 334 p.

STEILEN, Alissa. **Cerâmica permitirá geração de energia**. 2016. Disponível em: <<https://www.canalicara.com/economia/ceramica-permitira-geracao-de-energia-34460.html>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

SURESH, P.; DANIEL, Vijay J.; ASWATHY, R.H.; PARTHASARATHY, V.. A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment. **2014 International Conference On Science Engineering And Management Research (icsemr)**, [s.l.], p.1-8, nov. 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE).
<http://dx.doi.org/10.1109/icsemr.2014.7043637>.

TANENBAUM, Andrew S.; WETHERALL, David. **Redes de Computadores**. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2011. 582 p.

TAO, Fei; ZUO, Ying; XU, Li da; LV, Lin; ZHANG, Lin. Internet of Things and BOM-based life cycle assessment of energy-saving and emission-reduction of products. **Ieee Transactions On Industrial Informatics**, [s.l.], v. 10, n. 2, p.1252-1261, maio 2014. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE).
<http://dx.doi.org/10.1109/tii.2014.2306771>.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (Coord.). **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. Rio de Janeiro: Epe, 2016. 452 p. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/Documents/Energia Renovável - Online 16maio2016.pdf](http://www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renovavel%20Online%2016maio2016.pdf)>. Acesso em: 22 jun. 2016.

TOMAS, Gustavo Henrique Rodrigues Pinto. **Uma arquitetura para cidades inteligentes baseada na internet das coisas**. 2014. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Ciência da Computação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.ufpe.br:8080/xmlui/handle/123456789/11501>>. Acesso em: 11 maio 2016.

TORRES, Gabriel. **Redes de computadores**. 2. ed. Rio de Janeiro: Novaterra, 2014. 1005 p.

TRSIC, Milan; FRESQUI, Maíra Carvalho. **Curso de química para engenharia**. Barueri: Manole, 2012. 83 p.

VALDMAN, Belkis; FOLLY, Rossana; SALGADO, Andréa. **Dinâmica, controle e instrumentação de processos**. Rio de Janeiro: Ufrj, 2008. 400 p.

VAZ, Célio Eduardo Martins; MAIA, João Luiz Ponce; SANTOS, Walmir Gomes dos. **Tecnologia da indústria do gás natural**. São Paulo: Blucher, 2008. 416 p.

WINTER, Jean Michel. **Análise de coexistência em redes wirelesshart**. 2013. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

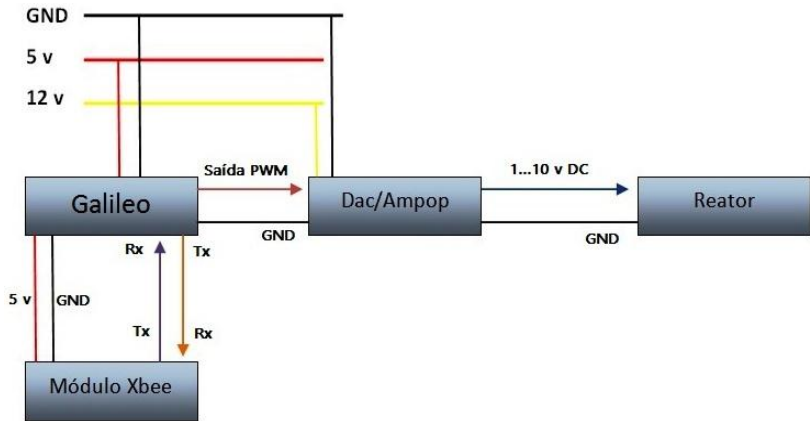
WU, Geng; TALWAR, Shilpa; JOHNSON, Kerstin; HIMAYAT, Nageen; JOHNSON, Kevin. M2M: From mobile to embedded internet. **Ieee Commun. Mag.**, [s.l.], v. 49, n. 4, p.36-43, abr. 2011. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE).
<http://dx.doi.org/10.1109/mcom.2011.5741144>.

YICK, Jennifer; MUKHERJEE, Biswanath; GHOSAL, Dipak. Wireless sensor network survey. **Computer Networks**, [s.l.], v. 52, n. 12, p.2292-2330, ago. 2008. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2008.04.002>.

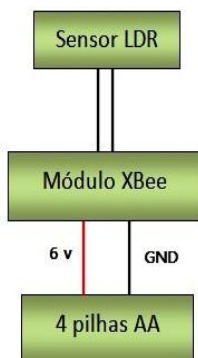
YU, Xinghuo; CECATI, Carlo; DILLON, Tharam; SIMÕES, Marcelo Godoy. The new frontier of smart grids. **Ieee Ind. Electron. Mag.**, [s.l.], v. 5, n. 3, p.49-63, set. 2011. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/mie.2011.942176>.

ZENG, Deze; GUO, Song; CHENG, Zixue. The Web of Things: a survey. **Journal of Communications**, [s.i.], v. 6, p.424-438, set. 2011.
<http://dx.doi.org/10.4304/jcm.6.6.424-438>.

APÊNDICE A –Diagrama de conexão dos componentes do protótipo



APÊNDICE B – Diagrama de conexão dos componentes dos sensores



APÊNDICE C – Tabela de conversão do GaliLux

Tensão DC	Saída Galileo	Lux	Corrente	Sensor
0,0	2	0	0,000	252
0,5	14	4	0,050	248
1,0	26	8	0,058	240
1,5	38	14	0,062	220
2,0	52	30	0,068	188
2,5	64	52	0,078	162
3,0	76	78	0,088	154
3,5	90	102	0,102	148
4,0	102	146	0,116	138
4,5	114	180	0,132	126
5,0	126	214	0,146	118
5,5	140	240	0,162	94
6,0	152	272	0,178	82
6,5	164	300	0,194	70
7,0	178	320	0,210	66
7,5	190	342	0,224	58
8,0	202	358	0,238	52
8,5	214	370	0,250	46
9,0	228	382	0,260	40
9,5	240	396	0,268	36
10,0	252	404	0,274	28

ANEXO A – Circuito Eletrônico Conversor/Amplificador

