



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE
BACHARELADO EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

Ana Quézia Ribeiro de Oliveira

**SISTEMA FOTOVOLTAICO X SISTEMA CONVENCIONAL DE ALIMENTAÇÃO:
UMA ANÁLISE DE CUSTO**

Feira de Santana- BA

2018

ANA QUÉZIA RIBEIRO DE OLIVEIRA

**SISTEMA FOTOVOLTAICO X SISTEMA CONVENCIONAL DE ALIMENTAÇÃO:
UMA ANÁLISE DE CUSTO**

Monografia de conclusão de curso apresentada ao Curso do Bacharelado Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade do Centro de Ciências e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade da Universidade do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial à conclusão do curso.

Orientador: Profa . Dra. Carine Tondo Alves
Co-orientador: Prof . Algeir Prazeres Sampaio

Feira de Santana - BA

2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

Ana Quézia Ribeiro de Oliveira

SISTEMA FOTOVOLTAICO X SISTEMA CONVENCIONAL DE ALIMENTAÇÃO: UMA ANÁLISE DE CUSTO

Monografia de conclusão de curso apresentada ao Curso do Bacharelado Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade do Centro de Ciências e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade da Universidade do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial à conclusão do curso.

Aprovada em 04 de Abril de 2018

Banca Examinadora:

1. Profa. Dra. Carine Tondo Alves (orientadora) – CETENS/UFRB
2. Prof. Dr. Algeir Prazeres Sampaio (membro interno) – CETENS/UFRB
3. Prof. MSc. Jadiel dos Santos Pereira (membro interno) – CETENS/UFRB
4. Prof. Dr. José Valentim dos Santos Filho (membro externo) – CETEC/UFRB

Feira de Santana- BA

2018

1 UFRB - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
2 CAMPUS FEIRA DE SANTANA
3 CETENS - CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE
4 Área do Conhecimento: Ciências Humanas e Letras
5
6
7
8
9

10 ATA DE AVALIAÇÃO de TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC) DO(A)
11 DISCENTE ANA BUEZIA RIBEIRO DE OLIVEIRA
12 do BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE. No
13 Quarta dia, do mês de abril, do ano de 2018, foi
14 avaliado o trabalho
15 intitulado Sistema Fotovoltaico e Sistema convencional de
16 Alimentação: uma análise de custos
17 orientado pelo(a) professor
18 (a) Caroline Tonda Alves, e avaliado pela banca
19 examinadora composta pelos
20 professores Dra Caroline Tonda Alves, Dr. Sérgio Prazeres Sampaio,
21 Msc Jádil dos Santos Pereira e Dr. José Valentim dos Santos
22 Filho
23 Após exposição do discente e apreciação da banca o trabalho foi APROVADO
24 com nota 9,0. Encerrada a atividade, foi lavrada e assinada esta
25 Ata, por mim, professor(a) orientadora do discente e pelos presentes.

Caroline Tonda Alves

Alger P. Araújo

José Valentim dos S. Filho

Jádil dos Santos Pereira

Dr. José Valentim dos Santos

Isabelly V. Neres

Luiz Carlos de S. Lins

Bárbara Gomes Bruno

Roberto Corrêa de Jesus

Valdeomar Carlos Figueiredo

Mathias Vinícius Fialho de Freitas

Luiz Carlos de Oliveira Santana

DEDICATÓRIA

Essa dedicatória é para duas pessoas que me deixaram ao longo dessa jornada, ao meu avô Joaquim que partiu no meio do curso e meu vô Zau que partiu agora no final, ambos me ensinaram valores e ensinamentos que só doutores no amor podem passar. Meu vô Joaquim me ensinou o valor do sorriso, já vovô Zau me ensinou o valor da família, parte desse trabalho foi escrito junto a ele no hospital e não poderia terminá-lo sem ele, sua generosidade e seu amor me marcaram para sempre. Aprendi com vocês o que Universidade nenhuma no mundo poderia me ensinar e é por isso que dedico esse trabalho a vocês.

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo.

A minha família, em especialmente a mainha, a minha tia Si, a painho, as minhas avós Lourdes e Elielza, minha irmã Yasmin, meus primos Carla e Willém.

Aos meus amigos, em especial a Barbinha, Fabi, Ikaro, Bela, Jel, Jeff, Joyce C. e Loly.

A minha orientadora prof Carine, pela orientação e imensa paciência, pelas suas correções, pelo suporte e incentivo.

Ao professor Algeir pela orientação, conhecimento compartilhado e pelas suas correções.

Ao professor Jadiel pela disposição em sempre tirar duvidas e me ajudar diante das dificuldades encontradas durante o curso e esse trabalho.

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso objetivou analisar o custo da utilização de um sistema fotovoltaico na alimentação de um robô diferencial de duas rodas, bem como avaliar seu desempenho energético ao compará-lo com fontes convencionais de alimentação desse tipo de equipamento; analisar o custo a curto e longo prazo de cada fonte e correlacionar com os impactos sociais e ambientais gerados. Este trabalho utilizou como método para coleta de dados a realização de experimentos que submeteram o robô à exaustão da sua fonte de alimentação. A partir deste resultado, foi possível avaliar o custo de cada sistema. No decorrer deste estudo, foi possível perceber que as placas solares foram capazes que aumentar 26% o tempo de vida útil da bateria e, seu custo, apesar de ser inicialmente alto, estabilizou após 262 minutos. As pilhas primárias mantiveram o custo de forma linear ao longo do tempo. O presente estudo verificou que o sistema fotovoltaico apresenta maior custo até os 262 minutos, sendo de 7 a 10 vezes mais caro que as pilhas primárias e quase três vezes mais que as pilhas secundárias e foi considerado economicamente inviável em ambientes que não exijam altas demanda energética. Contudo, em longo prazo (4 h 36 min.) se tornou viável quando comparado com o sistema que utilizou pilhas primarias. O sistema fotovoltaico foi considerado mais adequado no presente trabalho de conclusão de curso haja vista que apresenta vantagem considerável por ser renovável, possuir vida útil superior a 10 anos e ser fonte de energia limpa.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica; Robótica; Análise de Custo.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the cost of using a photovoltaic system in a differential loading robot with two wheels, as well as to evaluate its energy performance comparing with conventional sources; to analyze the short and long-term cost of each source and to correlate with the social and environmental impacts generated. This study used as a collection data method, experiments that were delighted into the robot until the exhaustion of its power supply. From this result, it was possible to evaluate the cost of each system. In the main course of this study, it was possible to evaluate that the solar panels increased the battery life in almost 26%, and its cost, although initially high, they was stabilized in a long-term experiment. The primary batteries have kept the costs exponentially higher over experimental time. The study confirmed that the photovoltaic system presents a higher cost until the 262 minutes, being 7 to 10 times more expensive than the primary batteries and almost three times more than the secondary batteries and was considered economically unviable in environments that do not demand high energy demand. However, in long time (4 hours 32 minutes) it became viable when compared with the system that used primary cells. The photovoltaic system was considered the most suitable in this study since it presents considerable advantage to be renewable, to have a life cycle up to 10 years and to be a source of clean energy.

Keywords: Solar Photovoltaic Energy, Robotic, Cost Analyze.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 18 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 20 |
| 2.1 ENERGIA SOLAR..... | 20 |
| 2.2.1 Energia solar fotovoltaica | 21 |
| 2.1.1.1 <i>Efeito fotovoltaico</i> | 24 |
| 2.1.1.2 <i>Painéis fotovoltaicos</i> | 25 |
| 2.1.1.2.1 Monocristalino | 27 |
| 2.1.1.2.2 Policristalino | 28 |
| 2.1.1.2.3. Amorfo | 30 |
| 2.1.1.2.4 Telureto de Cádmiio | 31 |
| 2.1.1.3 <i>Fatores que influenciam a potência e a eficiência de painéis solares fotovoltaicos</i> | 33 |
| 2.1.1.3.1 Efeito da radiação..... | 33 |
| 2.1.1.3.2 Influência da Temperatura | 34 |
| 2.1.1.3.3 Influência da localização geográfica | 36 |
| 2.1.1.4 <i>A variação da potência correlacionada à conexão das células</i> | 37 |
| 2.2 PILHAS E BATERIAS QUÍMICAS..... | 38 |
| 2.2.1 Tipos de pilhas e baterias | 41 |
| 2.2.1.2. Pilha de zinco/dióxido de manganês (alcalina)..... | 42 |
| 2.2.1.2. Bateria chumbo/óxido de chumbo (chumbo/ácido) | 43 |
| 2.2.1.2. Bateria de íons lítio | 44 |
| 2.3 ROBÓTICA..... | 45 |
| 2.3.1 Robô | 46 |
| 2.3.1.1 <i>Robótica móvel</i> | 47 |
| 2.3.1.1.1 Componentes | 49 |
| 2.3.1.1.2 Alimentação..... | 50 |
| 2.3.1.2 <i>Robótica de baixo custo</i> | 52 |
| 3. METODOLOGIA | 54 |
| 3.1 CONSTRUÇÃO DO ROBÔ | 55 |
| 3.1.1 Materiais: | 55 |
| 3.1.2 Estrutura e Circuito | 56 |
| 3.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS | 59 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 60 |
| 5. CONCLUSÃO | 65 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: | 67 |

1. INTRODUÇÃO

A energia solar é utilizada pelo homem desde os primórdios da humanidade para secagem e aquecimento (KEMERICH, 2016). No entanto, sua importância foi observada, posteriormente, na agricultura e no ciclo da vida, contudo, ainda hoje é possível verificar seu potencial físico desperdiçado. Mesmo a energia solar sendo uma importante fonte para a geração de energia elétrica, seu potencial instalado para produção direta de energia ainda é pequeno (SAUER, 2006). Além disso, não se pode ignorar que muitas variáveis influenciam negativamente para a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos, incluído o fator econômico e ausência de baterias altamente eficientes para armazená-la. Sistemas solares fotovoltaicos produzem energia elétrica de forma renovável, limpa, sustentável e ambientalmente benéfica para a sociedade em especial num país tropical com insolação abundante (UCZAI, 2012).

A energia solar fotovoltaica não gera nenhum tipo de emissão, efluente ou resíduo durante sua operação. O incentivo ao uso da energia solar fotovoltaica é uma forma de aumentar a segurança no fornecimento de energia, vulnerável ao regime de chuvas e ventos e gerador de emissões de gases de efeito estufa pela fração termoelétrica de nossa matriz. A geração local também reduz significativamente as perdas decorrentes da transmissão da energia elétrica, muito elevadas em um país de dimensões continentais (ANELL, 2013). Além disso, pode ser um interessante avaliar o custo de usá-las como substitutas a fontes de energias comuns no dia-a-dia, como por exemplo, pilhas e baterias químicas, já que estas podem ser um perigoso resíduo se não descartadas corretamente.

Diante da possibilidade do uso sustentável da energia solar fotovoltaica, diversos projetos podem ser adaptados visando garantir autonomia energética e maior apelo ambiental. Sob essa ótica, adaptar robôs exploradores ou didáticos a sistemas de alimentação fotovoltaicos poderia garantir maior autonomia e diminuir o impacto ambiental da utilização de pilhas sem torná-lo inviável economicamente?

Considerando que o investimento nesta tecnologia é elevado, este trabalho de conclusão de curso, objetiva construir e analisar economicamente um robô alimentado por energia solar fotovoltaica.

Visando alcançar o objetivo geral foi visualizada a necessidade de dividir em etapas denominadas objetivos específicos que se enquadrarão como degraus para alcançar o objetivo geral. Sendo estes os destacados abaixo:

- Pesquisar e compreender a produção de um robô, relacionando as etapas para a construção do mesmo;
- Estudar a energia solar fotovoltaica;
- Desenvolver um sistema robótico integrado a um misto e independente de sistema de alimentação, composto por sistema fotovoltaico e pilhas descartáveis;
- Analisar o desempenho energético do sistema robótico integrado as diferentes fontes de alimentação;
- Comparar economicamente o desempenho dos dois sistemas.

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizadas pesquisas bibliográficas e coleta de dados experimentalmente. A pesquisa bibliográfica baseou-se em publicações científicas da área de energia solar fotovoltaica, robótica e baterias, destacando que para esse trabalho os principais autores foram Linhares (2016), Mataric (2014) e Bocchi, Ferracin, Biaggio (2000) para os respectivos temas citados. A coleta de dados foi realizada em sua totalidade, experimentalmente, através da avaliação do tempo de funcionamento das fontes de alimentação e o custo de cada uma.

O presente trabalho de conclusão de curso estrutura-se em cinco capítulos, apresentando-se no primeiro a história e evolução da energia solar e as primeiras discussões que nortearam essa pesquisa. No segundo capítulo existem três sessões nas quais são apresentadas definições e diferentes visões acerca de energia solar fotovoltaica, a robótica e as baterias baseado em múltiplos autores. O terceiro capítulo apresenta a metodologia baseada na revisão de literatura e pesquisa experimental para coleta de dados. O quarto capítulo é apresentado a análise e discussões dos resultados, onde se inclui o custo de cada fonte e seu respectivo desempenho energético. No último capítulo apresenta-se o desfecho do estudo desenvolvido.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo serão discutidos importantes conceitos e visões fundamentais para a construção deste Trabalho de Conclusão de Curso, inserido na área de Energia Solar e Robótica.

2.1 ENERGIA SOLAR

A energia solar é a energia emitida em forma de radiação eletromagnética, flui do Sol. Devido à absorção de parte dessa energia, o planeta se tornou habitável. A existência dessa forma de energia só é possível devido à fusão nuclear do Hidrogênio em Hélio, elementos esses que compõem 99,7% da massa dessa estrela (KALOGIROU, 2016).

Segundo Kalogirou (2016), a energia solar é o que permite a vida na Terra, pois ela essencialmente é responsável direta ou indiretamente por toda a energia existente no planeta. A energia oriunda do Sol é a mais antiga e a mais utilizada no mundo, trata-se de uma fonte infinita e abundante. Assim, reveste-se de importância por promover condições necessárias para a sobrevivência humana.

Cometta (1978) *apud* Matalli (2013) deixa claro que essa fonte de energia primária pode ser aproveitada para a produção de energia de três diferentes formas: a primeira consiste em decorrência da diferença de temperatura, a posterior ocorre em consequência de reações químicas e a terceira consiste da conversão direta em energia elétrica.

Com base no Plano Nacional de Energia (2007), desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a radiação solar que atinge a superfície do planeta anualmente seria mais do que suficiente para suprir as necessidades energéticas mundiais por incontáveis vezes. Contudo, a dispersão nos continentes não é dada uniformemente em decorrência de diversos fatores geográficos.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2013, p. 33) "mesmo as regiões com menores índices de radiação apresentam grande potencial de aproveitamento energético. [...] existe uma infinidade de pequenos aproveitamentos da energia solar", o que permite até separá-las em sistema direto

de geração, quando há produção direta de energia para algum fim, por exemplo, no caso da geração de energia elétrica utilizando painéis fotovoltaicos, porém, se trata de uma produção indireta, ou seja, o processo de geração de energia precisa de mais do que uma transformação, como por exemplo, os sistemas termossolares.

2.2.1 Energia solar fotovoltaica

Na geração fotovoltaica, as células fotovoltaicas que compõem os painéis solares, funcionam a partir do princípio que ao serem agitados por fótons incidentes, os elétrons do átomo de silício se deslocam, conseqüentemente, são capturados antes de voltarem para seus respectivos orbitais atômicos, formando uma corrente elétrica. (COMETTA, 1978 *apud* MATAVELLI, 2013).

Esses sistemas possuem eficiência em torno de 15% dependendo da tecnologia empregada. O uso desses modelos para a geração de energia elétrica garante menores impactos ambientais quando comparados a fontes não renováveis.

De acordo com ABINEE (2012, p. 36):

Os impactos ambientais para a energia gerada por módulos fotovoltaicos são mínimos. Não há qualquer emissão na produção de energia com estes sistemas (100% livre de emissões). [...] Estratégias de reuso de materiais dos módulos têm sido perseguidas em alguns países, entre as quais o aproveitamento do silício, vidro, película de EVA e alumínio dos módulos [...]. A emissão de poluentes no processo de fabricação de células fotovoltaicas também é reduzida e bastante controlada.

O autor evidencia que a emissão de gases agravantes do efeito estufa é nula, fato este que quando comparado a fontes não renováveis tornam-nas ainda mais interessantes. Com o preocupante agravamento do efeito estufa e as terríveis tragédias ambientais ocasionadas por esse fenômeno, torna-se de fundamental importância o estudo das tecnologias limpas. Além disso, é visível o interesse com o reaproveitamento e com o descarte sustentável, que indica a necessidade de minimizar os impactos na fabricação de peças, visto que a energia solar fotovoltaica seria uma fonte poluidora se, nessa etapa, o processo tivesse altos índices de emissões.

A energia solar fotovoltaica é a transformação da energia solar diretamente em energia elétrica. Denominada assim em decorrência do efeito fotovoltaico descoberto pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel em 1839, no entanto,

essa tecnologia só teve seu uso industrial explorado após 117 anos de sua descoberta (ALVES FILHO, 2003).

Conforme afirmado por Braga (2008) o sistema fotovoltaico traz diversas vantagens por se tratar de uma fonte renovável e limpa. A vida útil dos módulos fotovoltaicos está em torno de 25 anos, sem custo demasiado em manutenção, limpeza e gerenciamento. Sob essa ótica, ganha particular relevância na garantia de energia em locais mais remotos e sem acesso a rede elétrica, podendo assim atender comunidades isoladas ou sistemas móveis, garantindo autonomia em diversos propósitos.

Um estudo desenvolvido por Shavani, Oliveira & Camargo (2006), mostra a comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e outras fontes convencionais. Ao destacarem os aspectos que devem ser avaliados pelo planejador energético, indicaram a necessidade do uso de fontes renováveis para o desenvolvimento sustentável, incluindo como parâmetro as vantagens sociais e econômicas em consequência de uma geração distribuída e também integrada à rede. Uma análise superficial das fontes renováveis tem elevado custo em comparação aos sistemas convencionais centralizados, porém, ao analisar os programas de painéis distribuídos e interligados a rede implantados pela Alemanha e pelos Estados Unidos os autores verificaram diversas vantagens, que vão desde minimizar perdas por transmissão até reduzir picos de demandas em prédios comerciais.

Contudo, seria um erro ignorar os valores típicos de implantação em dados divulgados pela Agência Nacional de Energia Elétrica, pelo Instituto Mauá de Tecnologia e a Companhia Energética de São Paulo, os quais indicam um custo de implantação que chega a ser cinquenta vezes maiores com a geração fotovoltaica em comparação a pequenas hidrelétricas. Entretanto, de acordo com o trabalho desenvolvido por Shavani, Oliveira & Camargo (2006), essa disparidade pode ser minimizada ao adicionar a essa conta os elevados preços com os combustíveis fósseis, operação, manutenção e a vida útil dos equipamentos. Além disso, em sua pesquisa, os autores indicam que reduziria para 3% ao levar em conta os fatores citados anteriormente e, ao mesmo tempo, integrando o sistema fotovoltaico a rede.

Cabral (2009), também conduziu um trabalho a cerca das vantagens da aplicação da energia solar, porém, sob a ótica econômica e ambiental para atender a demanda residencial brasileira. O autor verificou um desempenho adequado para corresponder às necessidades do consumidor, principalmente em áreas isoladas. Contudo, constatou que não há reais vantagens econômicas em decorrência do seu elevado custo de implantação em áreas que já são atendidas pela rede elétrica.

Os resultados mostraram que a energia solar pode ser uma valorosa estratégia para atender áreas isoladas, mesmo com seu alto custo, sua grande vantagem é possível fornecer energia limpa em locais onde a rede elétrica não chega possuindo grande apelo socioambiental. A energia solar no ano de 2012 teve um potencial de vinte vezes mais do que a demanda nacional considerando a tecnologia já existente naquele ano (CABRAL, 2009).

Outro aspecto importante nesta reflexão é aplicabilidade da energia solar, sobre este tema, Baracho (2016) analisou o ciclo energético diário de um veículo elétrico buscando avaliar na unidade quanto a sua geração e consumo de energia conectada a um eletroposto fotovoltaico. A partir da avaliação do consumo de energia solar a potência de um veículo a combustão foi selecionando um veículo elétrico semelhante para o dimensionamento do eletroposto solar fotovoltaico. O veículo teve um consumo de energia total de 4,26 kWh em seu ciclo energético, ademais, a sua autonomia não foi limitada em uso em ambientes urbanos. O autor observou ainda que o alto investimento no sistema do eletroposto se pagaria em sete anos, gerando uma economia de R\$ 234.763,00 ao longo da vida útil da placa solar.

Há uma economia energética e financeira com o uso do eletroposto solar para carregar um veículo elétrico. O mais preocupante é constatar que a utilização de eletroposto solar fotovoltaico gera, em consequência, um lento processo de recarregamento da bateria do veículo. Entretanto, é importante considerar que o sistema fotovoltaico garante uma energia limpa sem trazer grandes prejuízos à autonomia do veículo. Ao calcular o custo com o deslocamento do veículo com a energia solar, o autor teve um gasto de R\$ 5,96, enquanto que a gasolina teve custo de R\$ 14,96 para garantir que o veículo fizesse os mesmos 62 km (BARACHO, 2016).

Shavani, Oliveira & Camargo (2006) observaram vantagens ambientais já presumidamente esperadas quando se trata de energia solar fotovoltaica. O grande impasse econômico encontrado pôde ser observado seis anos depois no trabalho de Cabral (2012), contudo, com o crescente investimento nessa fonte de energia, a pesquisa de Baracho (2016), observou um custo duas vezes menor para alimentar o veículo por um eletroposto solar fotovoltaico em comparação a um mesmo veículo alimentado por gasolina.

O desenvolvimento de pesquisas que englobam a temática da energia solar fotovoltaica é um interessante parâmetro para observar, em tese, como essa fonte de energia está crescendo e se tornando um importante meio para substituir fontes poluidoras e não renováveis no futuro. É preciso, porém, ir mais além, com mais investimento, subsídios, isenções fiscais e programas de incentivo como os já presentes em outros países.

2.1.1.1 Efeito fotovoltaico

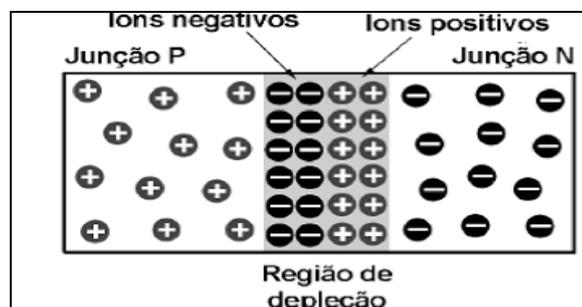
O efeito fotovoltaico é resultado da incidência de fótons em um material semicondutor. Tal efeito só é possível quando elétrons adquirem fótons presentes na radiação solar e, em consequência, migram da banda de valência para a banda de condução permitindo a produção de uma corrente elétrica (BLUESOL, 2011 *apud* LINHARES, 2016), podendo ser definido também como efeito quântico, típico de materiais semicondutores (BURATTINI, 2008).

Quando se trata de um material semicondutor tem-se como característica o crescimento da condutividade quando submetido a um aumento de temperatura (CEPEL & CRESESB, 2014). Para potencializar o aproveitamento da corrente de um semicondutor puro é necessária a realização do processo de dopagem nesse material. A partir do momento que a técnica de dopagem é realizada para inserção de outro elemento, objetivando torna-lo negativamente carregado, esse material é denominado semicondutor do tipo N, de outro modo, quando a intenção é torna-lo positivamente carregado esse é denominado semicondutor tipo P (BLUESOL, 2011 *apud* LINHARES, 2016).

Tais definições citadas acima são fundamentais para compreender o comportamento e a importância das diferentes polaridades no funcionamento e no

conceito da célula fotovoltaica. Existem dois tipos de semicondutores e, no caso da fotovoltaica, os mais comumente utilizados são os silícios dopados e quando ambos são unidos há a formação de uma célula fotovoltaica. A região de conexão entre ambos é denominada Junção- PN, e é apresentada na Figura 1. Essa região é caracterizada como a região em que os elétrons da camada N seguem para ocupar as lacunas da camada P. Posteriormente, origina-se um campo elétrico e prontamente este campo faz cessar o processo de migração de mais elétrons da camada N para P (BLUESOL, 2011 *apud* LINHARES, 2016).

Figura 1 Junção PN



- Fonte: SENAI/ SP, FUNDAMENTOS DE ELETRÔNICA *apud* LINHARES, p. 17

De acordo com CEPEL & CRESESB (2014, p. 114):

Esta separação dos portadores de carga pela junção *pn* dá origem ao efeito fotovoltaico, que é a conversão de energia luminosa em energia elétrica associada a uma corrente e uma diferença de potencial.

Para completar a célula fotovoltaica, são ainda necessários os um contato elétrico frontal (malha metálica) na região *n*, assim como um contato traseiro na região *p*. Se esses contatos forem conectados externamente por meio de um condutor, haverá circulação de elétrons.

Os materiais semicondutores têm sua condutividade elevada conforme o crescimento da temperatura, que nesse caso, é possível em decorrência da agitação dos elétrons ao absorverem os fótons. A junção das camadas *PN* e o campo originado delas é o que permite a circulação de elétrons ao serem conectadas externamente a condutor. Por fim, o efeito fotovoltaico é o princípio de funcionamento da célula solar.

2.1.1.2 Painéis fotovoltaicos

Os painéis solares fotovoltaicos são as estruturas físicas que permitem a geração de energia elétrica diretamente da luz solar. São constituídos por células

fotovoltaicas que, sob a luz solar, produzem uma tensão, ao passo que após ser posto sobre uma carga, gera um fluxo de corrente contínua (Reis & Santos, 2015). As células que compõem os painéis são produzidas em sua maioria de silício, pois além de ser um semicondutor, é o material em estado sólido mais abundante da terra e, neste contexto, se torna o material mais econômico para a produção dos painéis (CARVALHO; MESQUITA & ROCIO, 2016).

De acordo com Linhares (2016), os módulos ao serem alinhados promovem a tensão e a corrente desejada. Sendo assim, podem ter diferentes resultados de acordo com o arranjo proposto e a quantidade de módulos conectados em série ou em paralelo. Trata-se de um importante meio de geração de energia limpa sem implicar em redução de autonomia e capacidade.

É interessante destacar a versatilidade dos módulos fotovoltaicos na alimentação de sistemas com diferentes propósitos. O preocupante é observar que atrelada à potência está a eficiência e, conseqüentemente, o custo da tecnologia do painel.

Conforme afirma CEPEL & CRESESB (2014, p. 114):

Os fatores que limitam a eficiência de conversão de uma célula fotovoltaica são: 1) reflexão na superfície frontal; 2) sombra proporcionada pela área de malha metálica na face frontal; 3) absorção nula de fótons de energia menor que do que a *gap* ($E_f < E_g$); 4) Baixa probabilidade de coleta, pela junção *pn*, dos portadores de carga gerados fora da zona de carga espacial; 5) recombinação dos portadores de carga, isto é, o "reencontro" dos elétrons e lacunas em impurezas e defeitos do material e 6) resistência elétrica no dispositivo e nos contatos metal - semicondutor, bem como possíveis caminhos de fuga da corrente elétrica (resistência em paralelo).

Um projeto de energia solar fotovoltaico pode atender diferentes mercados, desde uma residência até uma usina solar. Quando se trata da fotovoltaica o usuário tem uma maior flexibilidade para ajustar a potência, a tensão e a corrente conforme o desejado no projeto, pois os módulos dos painéis solares oferecem praticidade operacional. Apesar disso, as diferentes tecnologias empregadas nos painéis podem oferecer vantagens e desvantagens para diferentes propostas e é necessário estudar cada uma para optar pela que melhor atende o consumidor em eficiência, custo e até mesmo em design. Nesse contexto, nos tópicos a seguir serão apresentadas as tecnologias que se destacam em eficiência e baixo custo, em nível comercial, além das tecnologias que apresentam características específicas em nível comercial.

2.1.1.2.1 Monocristalino

A célula de silício monocristalino, Figura 2, é uma das tecnologias fotovoltaicas mais antigas para a produção de energia elétrica. Sua predominância no percentual de módulos comerciais produzidos é resultado de uma confiabilidade evidenciada há muitos anos, aliada a bom domínio da tecnologia e, além disso, ao seu elevado rendimento (CHIVELET, 2010). Somado a isso, a sua vida útil consegue ser superior em 20% às demais tecnologias (LINHARES, 2016).

Figura 2 Célula de silício monocristalino



Fonte: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321

É interessante aumentar a potência produzida de um projeto sem necessariamente aumentar a área para a instalação de mais módulos fotovoltaicos, contudo, isto implica no custo final do projeto. As elevações nos preços são em vista do valor agregado em resultado do alto investimento na produção das células de silício monocristalino (CRESESB/CEPEL, 2008 *apud* NIEDZIALKOSKI, 2013). O processo de produção desta célula se inicia com o cristal de dióxido de silício que precisa ser desoxidado, purificado e solidificado, entretanto, para funcionar como célula solar fotovoltaica é necessário um grau de pureza acima de 99,99% (JUCÁ & CARVALHO, 2013).

De acordo com Jucá & Carvalho (2013, p. 29):

Dentre as células fotovoltaicas que utilizam o silício como material base, as monocristalinas são, em geral, as que apresentam as maiores

eficiências. As fotocélulas comerciais obtidas com o processo descrito atingem uma eficiência de até 12% podendo chegar em 16% em células feitas em laboratórios.

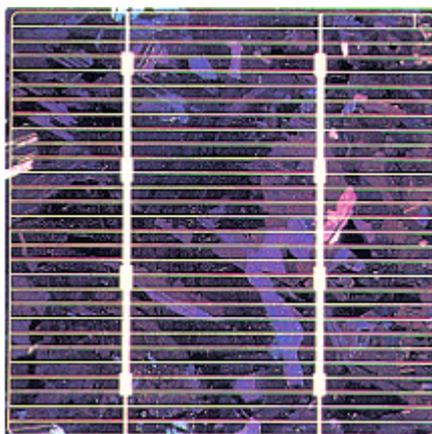
Cepel & Cresesb (2014) afirmam que, se tratando da monocristalina, a sua produtividade está acima da média das demais tecnologias comerciais, os resultados são frutos dos investimentos principalmente na qualidade na fabricação da matéria prima. Entretanto, a eficiência não deve ser o único parâmetro de avaliação da qualidade de um painel, tendo maior relevância quando a área para instalação dos módulos é um fator limitativo (CEPEL & CRESESB, 2014).

Esta é uma tecnologia oportuna já que se adéqua a projetos que necessitam de maiores índices de eficiência por m², além de possuir alto capital de investimento. Nesse sentido, além da produção limpa e renovável, é garantia também de maior produtividade a nível comercial.

2.1.1.2.2 Policristalino

A célula produzida com silício policristalino, Figura 3, é uma das mais fáceis de serem produzidas em consequência de um processo de produção menos rigoroso. Capaz & Nogueira (2014) evidenciam que esta célula se caracteriza como mais acessível economicamente em comparação a anterior, em vista que, inegavelmente um processo mais simplificado implica valorosamente no custo e na eficiência do produto.

Figura 3 Célula de silício policristalino



Fonte: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321

De acordo com Jucá & Carvalho (2013), a tecnologia das células de silício policristalino tem menor valor agregado em virtude do uso de um processo mais maleável e simples. Sendo originados nessa etapa diversos cristais de tamanhos reduzidos e irregulares em contraponto ao único cristal presente no monocristalino, contudo, tendo como efeito resultante a redução da eficiência na produção de eletricidade.

Segundo os autores, é interessante avaliar a eficiência atrelada ao impacto econômico, pois, ao se avaliar cada projeto com as tecnologias disponíveis, foi possível observar as melhores tecnologias de acordo com as necessidades e, conseqüentemente, adaptar a melhor tecnologia às limitantes presentes. Contudo, existem fatores que colocam a policristalino em destaque, como índice de eficiência de aproximadamente 12,5%, aliada a vantagem de preços atrativos em avaliação aos demais. O mais preocupante é constatar que para projetos que exijam o máximo de eficiência por área, ele não se torna atrativo, porém são utilizadas em ambientes sem limitação de espaço geográfico (JUCÁ & CARVALHO, 2013).

Segundo afirma Linhares (2016, p. 22):

Em comparação com as células solares de silício monocristalino, a quantidade de silício residual gerado durante o processo de corte das células fotovoltaicas é menor; são mais baratas que as células de silício monocristalino e possuem longa vida útil, em torno de 30 anos e elas vêm com garantia de 25 anos.

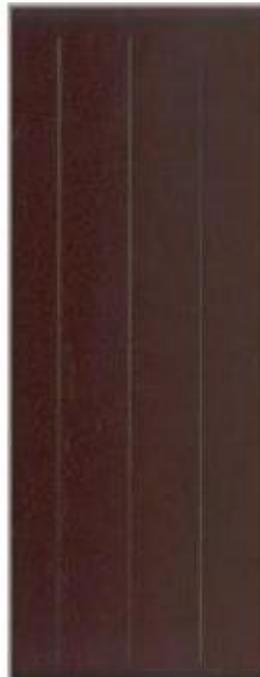
O silício policristalino tem presença e destaque entre as tecnologias disponíveis no mercado, entretanto devem-se garantir alternativas cada vez mais

maleáveis à necessidade do usuário. Espera-se, portanto, diminuir as variáveis limitantes que impedem o crescimento e o avanço da fotovoltaica diante de diferentes demandas.

2.1.1.2.3. Amorfo

Denomina-se amorfo o material com propriedades de semicondutor com ausência de estrutura cristalina. Tecnologias como o amorfo hidrogenado em células fotovoltaicas possuem a vantagem de conseguir manter sua característica de condutor mesmo diante de um baixo índice de irradiação. De acordo com CEPEL & CRESESB (2014), essa célula apresenta menores índices de perdas de eficiência em ambientes com baixa irradiação, além de possuir menores coeficientes de temperatura comparando-a ao Silício cristalino.

Figura 4 Célula de silício amorfo



Fonte: JUNIOR, 2015 apud LINHARES, 2016

É possível verificar a presença desta tecnologia em calculadoras de escritório e em modelos mais antigos de relógios de pulso, sobretudo em decorrência de sua baixa eficiência, em comparação às demais tecnologias seu uso para produção de eletricidade em placas de energia solar se manteve por muito tempo em pequena escala (LINHARES, 2016).

De acordo com CEPEL & CRESESB (2014, p. 134):

As primeiras células de a-Si:H apresentavam problemas de estabilidade devido ao efeito Staebler-Wronski, que resultava em uma degradação rápida (6 a 12 meses) de seu rendimento, quando expostas à radiação solar. Atualmente, este efeito tem sido minimizado pela adoção de células com múltiplas camadas, e alguns fabricantes fornecem garantias similares às aquelas de módulos de silício cristalino.

Gomes (2009) evidencia que com mais investimento nestas tecnologias, novas propostas surgiram para contornar os problemas restritivos já conhecidos. Acrescido a isso, um processo de produção simples e com custo mais reduzido, além de ser produzido com baixo consumo de energia, possui a vantagem de poder ser fabricado utilizando-se de diversos substratos como cerâmicas e polímeros (GOMES, 2009). Além disso, uma das alternativas para contornar o baixo rendimento desta célula é a técnica de produção denominada empilhamento, porém esta tem como desvantagem o encarecimento do produto final (LINHARES, 2016).

Diante da discussão realizada, é possível compreender as limitações da tecnologia apresentada mesmo diante das articulações existentes para contornar suas desvantagens, tais procedimentos resultam no encarecimento do produto final. Deste modo, este produto ainda é uma opção com pouca presença no mercado de módulos fotovoltaicos comerciais em comparação às tecnologias de células fotovoltaicas já citadas anteriormente.

2.1.1.2.4 Telureto de Cádmio

O telureto de cádmio é um composto químico utilizado para a produção de painéis fotovoltaicos por possuir baixo custo na produção das células, Figura 5. Esta tecnologia vem se destacando como interesse comercial e, segundo Falcão (2005) o mais preocupante é constatar que esta matéria prima não possui presença abundante na natureza, assim como o silício. O fato de que um largo e exagerado crescimento no uso desta matéria prima na produção de módulos pode ser uma desvantagem e uma carência desta matéria prima elevaria o custo da tecnologia, somado a isso, a toxicidade do material é um ponto crítico que deve ser considerado.

Figura 5 Célula de telureto de cádmio



Fonte: JUNIOR, 2015 apud LINHARES, 2016

O telureto de cádmio tem sido visto como uma importante e promissora opção para a produção de painéis. Neste contexto, para Falcão (2005) este potencial existe em decorrência do reduzido custo de produção da célula combinado a uma alta eficiência. Por estas razões pode ser considerada uma opção interessante para produção de energia solar.

O telureto surgiu como uma concorrente direta no quesito custo-benefício de tecnologias antigas e dominantes no mercado, ganhando particular relevância porque promove maior flexibilidade e variabilidade para adequar um projeto fotovoltaico a diferentes necessidades.

Segundo afirma Linhares (2016, p. 24):

A única tecnologia de células solares de película fina que ultrapassou a relação de custo/eficiência das células solares de silício cristalino, em uma parcela significativa do mercado de células solares, foi a de telureto de cádmio. Sua eficiência é na faixa de 9% a 11%.

Conforme citado por Linhares (2016), as vantagens são presentes principalmente em nível comercial, portanto, é uma tecnologia capaz de substituir considerando apenas o fator custo-benefício em comparação as tecnologias predominantes no mercado atual. É importante avaliar as consequências socioambientais que o uso em grande escala desse material ocasiona, para evitar que tal tecnologia torne um projeto solar menos sustentável.

2.1.1.3 Fatores que influenciam a potência e a eficiência de painéis solares fotovoltaicos

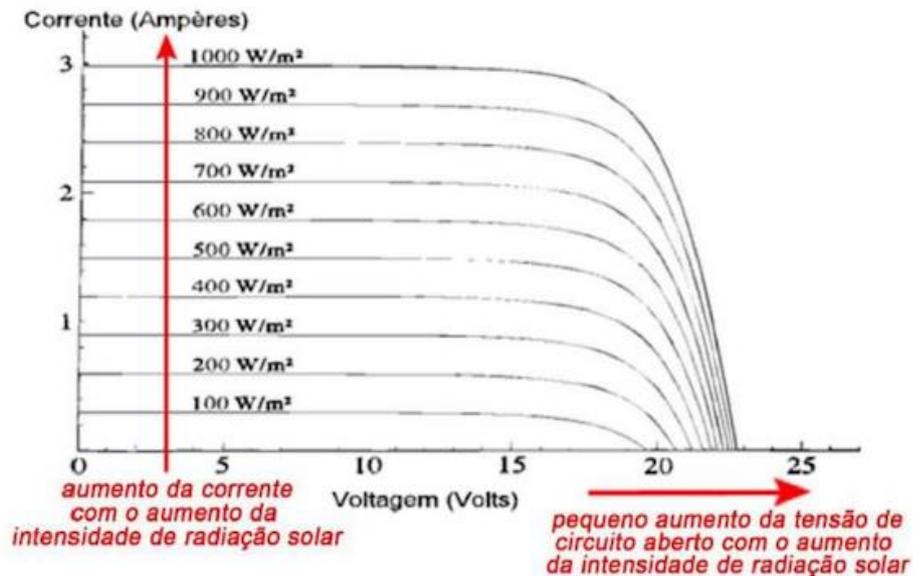
Em consequência da falta de uniformidade da superfície da Terra, da sua geometria e da sua dinâmica, a incidência da radiação solar ocorre de forma desigual dependendo da região (RIBEIRO, 2012). Fatores como a localização influenciam o resultado final de um projeto fotovoltaico a ser implantando. Segundo Ribeiro (2012) a inclinação do eixo da Terra e órbita elíptica influenciam diretamente na radiação nos diferentes meses do ano, deste modo, além da localização, deve ser considerado também o efeito da radiação e da temperatura, além disto, o autor destacou a influência do período do ano selecionado para análise da eficiência.

2.1.1.3.1 Efeito da radiação

A radiação solar é uma fonte exclusiva que alimenta a placa solar fotovoltaica. Neste contexto, é imprescindível o estudo da interferência da variação da sua intensidade nos índices de rendimentos em um projeto fotovoltaico (RIBEIRO, 2012).

De acordo com Jucá & Carvalho (2013), a corrente elétrica depende diretamente da intensidade da radiação solar obtida por cada célula fotovoltaica. Neste contexto, a corrente resultante é proporcional a irradiação captada, conforme demonstrado na Figura 6. O mais preocupante, contudo, é constatar que um declínio no índice de radiação implica na queda equivalente da potência. Assim, preocupa o fato de que qualquer interferência na captação da irradiação diminui substancialmente o rendimento do projeto.

Figura 6 Efeito da incidência solar na curva I-V de um módulo fotovoltaico



Fonte: GTES *apud* LINHARES, 2016

Os diferentes resultados nos índices de radiação devido à órbita elíptica da Terra e à inclinação de seu eixo implica em diferentes índices de acordo com sua localização em relação ao Sol. Além disso, ao longo do dia a radiação tem um comportamento próximo a uma parábola, tendo o máximo ao meio dia. De acordo com a posição no globo, um determinado sistema fotovoltaico será submetido a diversas variáveis na radiação, desde o clima, estações do ano e principalmente devido ao ciclo diário da Terra em torno do Sol (RIBEIRO, 2012).

De acordo com Caires (2014, p. 41):

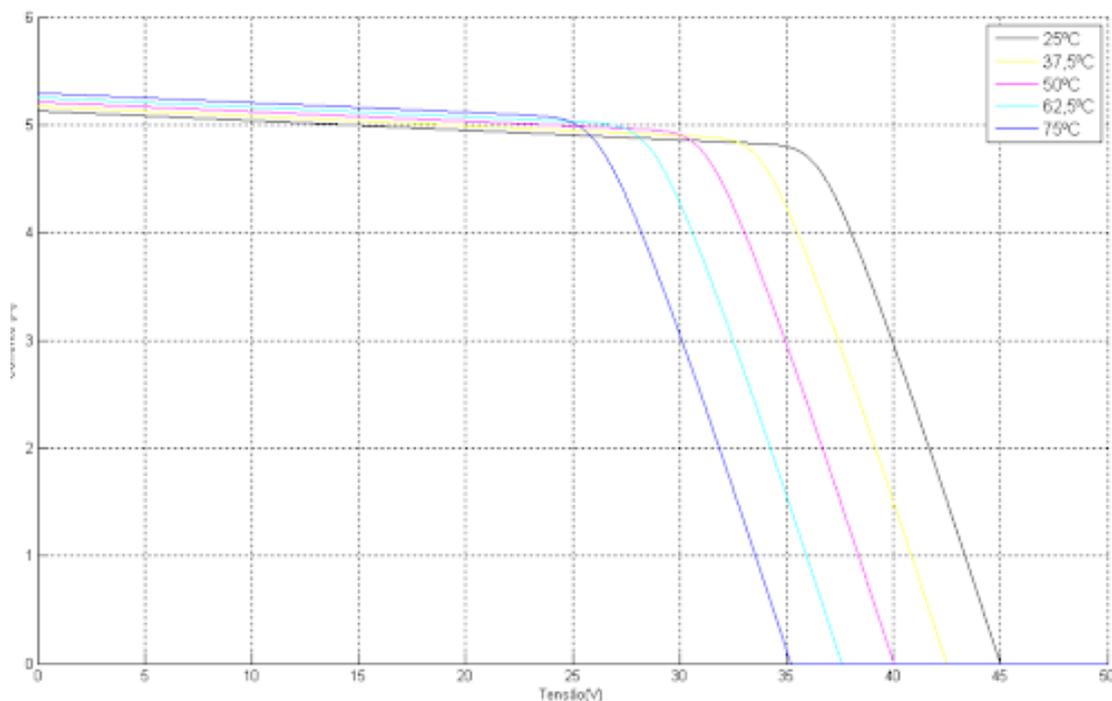
A corrente varia na saída para qualquer valor de tensão quando ocorre uma mudança na intensidade de radiação. Essa variação da corrente é diretamente proporcional à radiação, e mesmo com essas mudanças, a tensão mantém-se praticamente constante.

A radiação tem implicação direta na corrente, porém tem variação quase nula quando se trata da tensão do sistema. Deste modo, um ambiente com a radiação tendo poucas variações implica em uma corrente mais estável. Contudo, esse ambiente não é possível de ser obtido, em consequência da rotação da Terra, sendo assim, a busca por alternativas que contornem este desvio é necessária para que se possa estabilizar a corrente no sistema fotovoltaico.

2.1.1.3.2 Influência da Temperatura

O aumento da temperatura tem implicação direta no funcionamento da célula fotovoltaica, revestindo-se de particular importância, pois o aumento da temperatura ambiente somado a irradiância resultam no aumento da temperatura da célula e, conseqüentemente, na redução do rendimento (RIBEIRO, 2012). Conforme CEPEL & CRESESB (2014), em decorrência do aumento da temperatura da célula fotovoltaica, Figura 7, há um declínio da tensão e um ligeiro aumento da corrente do sistema. Contudo, é necessário salientar que o pequeno aumento observado na corrente é mínimo e desvantajoso quando comparado ao largo decaimento da tensão.

Figura 7 Efeito da temperatura na curva I-V



Fonte: http://paginas.fe.up.pt/~ee03059/Resultados/Matlab_model.htm.

De acordo com Ribeiro (2012, p. 23):

O aumento da temperatura da célula resulta em uma perda significativa de rendimento de geração de energia e como parte da energia da radiação absorvida é dissipada na forma de calor, a temperatura da célula tende a ser ainda maior que a temperatura ambiente.

Deve ser levado em consideração em um projeto fotovoltaico o efeito da temperatura no rendimento final, já que, em virtude da do aumento da temperatura ambiente há uma diminuição da eficiência da célula, deste modo, reduzindo também o rendimento energético do sistema.

2.1.1.3.3 Influência da localização geográfica

Para a realização de um projeto de energia solar fotovoltaica é imprescindível o conhecimento do local, já que fatores como o índice de radiação e a temperatura são variáveis importantes para obtenção de resultados e estão diretamente ligados a localização geográfica.

Nesse sentido, a cidade de Feira de Santana-Ba cede do Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade da UFRB se localiza a 12° 16' Sul e 38° 57' Oeste. Situa-se em uma zona intermediária entre o litoral e o semi-árido apresentando temperatura média anual de 24° C, podendo, no inverno, alcançar médias de 21° C e no verão atingir 27°C (DINIZ, SANTOS & SANTO, 2008). Segundo Köppen (1948, *apud* DINIZ, SANTOS & SANTO, 2008), é um território classificado como quente e úmido.

Conhecer e analisar fatores diretamente ligados à captação e distribuição da radiação solar sobre a superfície da Terra é primordial para progredir nos resultados quando se trata de energia solar. Conforme o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), fatores climáticos e condições do tempo de cada região oscilarão a disponibilidade do recurso solar para geração de energia. E importante destacar que esse processo ocorre devido aos sistemas meteorológicos provocarem interferências na nebulosidade, nas concentrações dos gases e nos aerossóis, afetando os processos radioativos que minimizam a radiação solar na atmosfera.

É interessante lembrar que atrelado ao clima estão as estações do ano. Seria um erro não observar que esta se trata de um fator indicativo de maior ou menor incidência solar, ao passo que as estações do ano são determinantes na duração do dia (PEREIRA *et al.*, 2017), e também possuem climas distintivos.

Segundo Pereira *et al.*, (2017), é durante os meses de dezembro a fevereiro no hemisfério Sul que os dias são mais longos, portanto, possuem um foto período maior. Além disso, os autores deixam claro que, no verão do hemisfério sul, os dias se tornam mais longo à medida que a localidade está mais próxima ao pólo sul, ademais, a variação do foto período é menor ao longo do ano para localidades próximas a linha do Equador. Nesse sentido, compreende-se que é no verão que os maiores índices de exposição à radiação solar na superfície da Terra.

Diante dessas informações afirma-se que a cidade de Feira Santana se enquadra como umas localidades com níveis de irradiação menos oscilantes comparadas às cidades do extremo sul do Brasil. Segundo Pereira *et al.* (2017), é no Nordeste que se encontra o maior potencial solar ao apresentar um valor médio do total diário de 5,49 kWh/m² de irradiação global horizontal e da componente direta normal de 5,05 kWh/m².

De acordo com Pereira *et al.* (2017, p. 19):

As nuvens são o principal fator modulador da radiação solar que incide na superfície em razão de suas propriedades óticas que produzem um espalhamento eficiente da radiação solar. O espalhamento da radiação solar por nuvens depende de sua espessura ótica, da distribuição de tamanhos das gotículas, do conteúdo e do estado físico da água (Paltridge e Platt, 1976), características estas que variam de acordo com o tipo de nuvem.

O autor deixa claro que as nuvens realizam um espalhamento eficiente, logo, são componentes importantes na variação do índice de radiação. Todavia, não deve se esquecer da desvantagem de um possível sombreamento ocasionado por nuvens, implicando assim, na diminuição da captação da radiação.

O local a ser implantando é um fator muito importante para ser avaliado diante em um projeto fotovoltaico porque os diversos fatores climáticos e as condições tempo entram como variáveis a serem analisadas. Por fim, a localização geográfica fornece informações base para elaboração de um projeto fotovoltaico

2.1.1.4 A variação da potência correlacionada à conexão das células

A tensão e a corrente são influenciadas diretamente pela temperatura e pela radiação respectivamente, porém, utilizando-se do método da associação em série ou a associação em paralelo das células fotovoltaicas é possível aumentar a potência do sistema, minimizando os impactos negativos que as variáveis citadas acima podem ocasionar.

- Associação em Série

A associação em série de células ou painéis fotovoltaicos é um método que visa aumentar a tensão do sistema. Deste modo, torna-se útil por permitir uma manipulação da tensão proposta no projeto fotovoltaico sem alterar a corrente (RIBEIRO, 2012).

Quando painéis com características técnicas semelhantes são submetidos às mesmas condições externas e, além disso, são associados em série, há a soma de todas as tensões, porém mantendo-se a corrente (CEPEL & CRESESB, 2014). Para concretizar a associação em série é realizada a interligação dos terminais, positivo com negativo e negativo com positivo (CAIRES, 2014).

É importante se atentar que células associadas em série com diferentes especificações de corrente de curto circuito têm como consequência limitar o sistema para a menor corrente associada. Por fim, é importante destacar a necessidade de associar em série células com as mesmas especificações de corrente, evitando o superaquecimento (CEPEL & CRESESB, 2014).

- Associação em Paralelo

A associação em paralelo permite o aumento da corrente elétrica do circuito. Ganha particular importância, pois diferentemente da associação em série, ela permite a manipulação da corrente sem alterar a tensão do sistema (RIBEIRO, 2012).

Para realizar a associação em paralelo deve-se realizar a interligação de todos os terminais positivos entre si de mesmo modo a interligar todos os terminais negativos, havendo assim a soma de todas as correntes mantendo a tensão inalterada (CAIRES, 2014).

2.2 PILHAS E BATERIAS QUÍMICAS

Baterias e pilhas são formadas por diversas substâncias químicas que ao reagirem compõem um sistema portátil que permite a conversão de energia química em elétrica. São utilizadas principalmente em equipamentos eletrônicos portáteis, deste modo, são caracterizadas como elementos perigosos em lixos eletrônicos (CARVALHO, 2016). O mais preocupante, contudo, é constatar que em sua composição existem materiais danosos ao ser humano e ao meio ambiente. Fica evidente que uma manipulação e um descarte inadequado têm diversos prejuízos à saúde humana e ao ecossistema.

Segundo Fowler (2013), pilhas e baterias são fontes geradoras de tensão CC, e são a principal fonte de energia para equipamentos que precisam de corrente contínua, ou seja, equipamentos e dispositivos eletrônicos portáteis. Constata-se

que com o crescimento exponencial do uso desses equipamentos nas últimas décadas, alavancou-se a produção e o descarte de pilhas e baterias, já que esse material possui vida útil curta comparada a vida humana. Não é exagero afirmar que são extremamente perigosos ao meio ambiente quando descartados de forma inadequada (NOVELLI, 2010).

Após onze anos das Resoluções CONAMA: nº 257 e nº 263 de 1999, que regulamentam e normatizam a coleta e o descarte de pilhas e baterias no país, os índices de 2010 indicaram que apenas cerca de 1% das baterias e pilhas eram recicladas no Brasil (MOMBACH, 2010). Dados divulgados pelo Ministério do Meio ambiente indicaram que em 2011 já existiam 1.800 pontos de coletas para reciclagem desse material, porém, segundo Zilda Veloso, gerente de Resíduos Perigosos no período, faltava ainda a participação da comunidade ao se comprometer em realizar o descarte nos pontos instalados. Esse quadro mostra a necessidade de uma reeducação da comunidade e um trabalho em conjunto e harmonioso entre Governo e população.

Dentre todas as outras substâncias que compõem pilhas e baterias, ganham destaque o zinco, manganês e o lítio (SILVA, 2011) presentes tanto em células primárias quanto nas secundárias. As células primárias e secundárias se diferenciam apenas na quantidade de resíduos gerados, já que a primeira deve ser descartada após a descarga completa e a segunda pode ser submetida a ciclos de recargas (FOWLER, 2013).

De acordo com Bocchir, Ferracin & Biaggio (2000, p. 4):

Baterias primárias: Distintas das demais por serem essencialmente não recarregáveis. Baterias secundárias: Baterias recarregáveis que podem ser reutilizadas muitas vezes pelos usuários (centenas e até milhares de vezes para o caso de baterias especialmente projetadas).

As baterias são dispositivos indispensáveis para a vida moderna, são mecanismos complexos que permitem a geração de energia elétrica, indispensável no mundo atual, porém seu descarte incorreto é verdadeiramente um problema ambiental e de saúde pública. Diversos estudos indicam a necessidade do descarte correto desse material. Talvez o uso de acumuladores elétricos seja uma alternativa para reduzir a quantidade de resíduos gerados por indivíduo, porém, é preciso, ir mais além, investindo em conscientização e ações práticas que aumentem a sua

vida útil, minimizem os riscos ambientais e sociais, além de que conscientizem a população sobre a necessidade da sua participação para contornar esse problema.

Diante de diversos problemas ambientais e sociais ocasionados por baterias e pilhas criaram-se alternativas para aliviar o impacto ocasionado por elas, pode-se citar a conscientização do consumidor quanto aos riscos e os cuidados que devem ser tomados, pois ações como logística reversa diminuem os índices de material tóxico descartado inadequadamente.

Kemerich *et al.*, (2012) em seu estudo, aplicaram cem (100) questionários com quatorze questões dissertativas referentes ao uso e descarte de pilhas. O questionário atingiu cerca de 0,34% da população da cidade Frederico Westphalen. Após análise dos dados, os autores verificaram que a maioria dos participantes descartam de forma inadequada as baterias e pilhas, mesmo tendo consciência da existência de pontos de coletas na cidade e dos perigos para a saúde humana.

Os resultados da pesquisa indicaram falta de conscientização da população em contribuir para diminuir os impactos para a saúde pública e para o meio ambiente. Conforme mencionado pelo autor, 90% da amostra tem consciência de que as baterias possuem componentes tóxicos, mas não expressam interesse em participar de campanhas de conscientização, evidenciando assim o descaso da própria comunidade em agir em prol do bem comum.

Reidler (2002) também conduziu um estudo a cerca dos impactos ambientais ocasionados por pilhas e baterias buscando a identificação das principais pilhas comercializadas. Para tanto, o autor realizou um levantamento das variedades existentes no mercado da cidade São Paulo com o objetivo de identificar o gerenciamento realizado para cada tipo. Foram selecionados dez metais potencialmente perigosos para que fosse possível realizar a análise dos impactos ocasionados ao serem descartados incorretamente. Após a análise o autor observou que as pilhas e as baterias possuíam grau de periculosidade distinta, porém ao serem descartadas incorretamente todos se tornavam tóxicos e extremamente perigosos.

A repercussão na saúde e no meio ambiente é drástica quando se trata de metais pesados dispostos inadequadamente, porém muitos danos só são observados após muito tempo, e esse é um fator que inibe um alarme na

comunidade. Conforme mencionado pelo autor, os efeitos em longo prazo têm consequências irreversíveis, sendo sempre necessárias ações preventivas.

O trabalho de Vieira, Soares & Soares (2009) mostra um estudo de caso ao avaliarem a logística reversa aplicada pela Braskem. Como resultado da entrevista os autores mostraram que a empresa teve êxito na aplicação da política de logística reversa, porque conseguiu devolver todas as baterias ao fabricante, além disso, houve adesão dos colaboradores ao utilizarem a empresa como ponto de coleta de baterias.

Cada vez mais empresas estão realizando ações visando reduzir impactos ambientais, tendo como retorno a publicidade de ser uma empresa sustentável. Conforme mencionado pelo autor, apesar do alto custo de implantação de um projeto de coleta de lixo eletrônico a Braskem demonstrou ser uma empresa preocupada em apresentar uma imagem sustentável, preocupando-se não somente em realizar a coleta, mas também, com o destino que terá (VIREIRA, SOARES & SOARES, 2009).

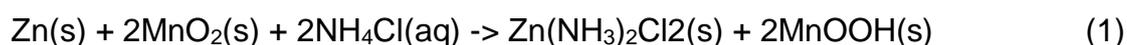
Os resultados indicados na pesquisa desenvolvida por Reidler (2002), dez anos antes da pesquisa realizada por Kemerich *et al.* (2012), indicaram que os diferentes impactos acarretados por distintas pilhas, no entanto, é possível observar uma incoerência no comportamento da sociedade, visto que, na pesquisa desenvolvida por Kemerich *et al.* (2012) foi possível observar o descaso da população em realizar ações individuais visando impedir a contaminação do meio ambiente, porém, ao mesmo tempo, a pesquisa desenvolvida por Vieira, Soares & Soares (2009) apresenta os esforços de uma empresa privada em ser sustentável visto que a publicidade é extremamente bem vista e valorizada pela sociedade.

2.2.1 Tipos de pilhas e baterias

Existem diferentes tipos de pilhas e baterias, partir da substancia química utilizada na produção da pilha acarretará uma variabilidade da durabilidade da bateria. A composição química da bateria é o fator determinante em sua durabilidade e funcionalidade, diferenciando-a até na aplicabilidade (Kemerich *et al.*, 2012).

2.3.1.1 Pilha de zinco/dióxido de manganês (Leclanché)

A pilha de Zinco/Dióxido de Manganês (Leclanché) é uma das mais comumente utilizadas no Brasil pela disponibilidade, desempenho e baixo custo (MOMBACH, 2010). Desenvolvida pelo químico Leclanché em 1980, sofreu poucas alterações em sua versão ao longo do tempo. Segundo Bocchir, Ferracin & Biaggio (2000), a estrutura da pilha é composta pelo ânodo, por um cilindro de zinco que envolve a mistura em pó, por dióxido de manganês e por grafite, que possui no centro um cátodo constituído pelo bastão de grafite.



De acordo com Bocchir, Ferracin & Biaggio (2000), a pilha tem a capacidade de fornecer em circuito aberto um valor que varia entre 1,55 a 1,74 V, se submetida à temperatura ambiente. Ademais, apresenta custo benefício para equipamentos que precisam de valores pequenos e médios de corrente elétrica. Trata-se de uma fonte de energia ideal para aparelhos menos exigentes e que necessitam de baixa tensão.

A pilha Zinco/Dióxido de Manganês (Leclanché) possui uma liga de zinco em sua composição que recebe pequenas porções de metais como chumbo e cádmio (BOCCHIR, FERRACIN & BIAGGIO, 2000), elementos nocivos à natureza. Todavia seu baixo custo é um atrativo para os consumidores que por vezes trocam bom desempenho por menor preço (MOMBACH, 2010).

De acordo com Bocchir, Ferracin & Biaggio (2000, p. 5):

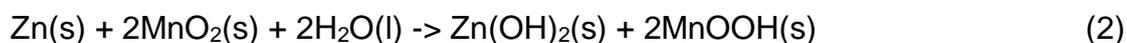
O principal problema observado neste tipo de pilha são as reações paralelas, também chamadas de reações de prateleira. Essas reações ocorrem durante o armazenamento das pilhas (antes de serem usadas) e durante o período em que permanecem em repouso entre distintas descargas, podendo provocar vazamentos.

A pilha de zinco/dióxido de manganês é uma das mais utilizadas no Brasil, o preço mais acessível dessa pilha possivelmente atrai consumidores desinformados ou que não visualizam impacto ambiental e desempenho como critérios tão relevantes quanto o custo. No entanto, é notório que seu uso requer cuidados para que evite problemas tanto durante a utilização, quanto no descarte. Observando suas desvantagens é necessário o incentivo a população para substituí-la por outras opções existentes menos nocivas a natureza e com maior durabilidade

2.2.1.2. Pilha de zinco/dióxido de manganês (alcalina)

A pilha de zinco/dióxido de manganês é denominada alcalina quando o eletrólito é composto de uma solução aquosa de hidróxido de potássio com óxido de zinco, diferentemente da pilha Leclanché. De acordo com Bocchir, Ferracin & Biaggio (2000), é necessário o uso de chapa de aço na confecção do recipiente para prevenir vazamentos.

Conforme verificado por Mombach (2010), o desempenho da pilha de zinco/dióxido de manganês alcalina é dez vezes maior ao compará-la com a Leclanché. Além disso, conforme Bocchir, Ferracin & Biaggio (2000) essa pilha possui capacidade de fornecer em circuito aberto os mesmos 1,55 V que em temperaturas ambiente.



A pilha alcalina possui desenvoltura superior à Leclanché. Essa qualidade pode ser um dos principais quesitos para que ela domine o mercado dos Estados Unidos há mais uma década (ABINEE, 1999 apud AGOURAKIS et al., 2006).

De acordo com Bocchir, Ferracin & Biaggio (2000, p. 6):

[...] as pilhas alcalinas não apresentam as reações paralelas ou de prateleira e os vazamentos observados nas pilhas de Leclanché. Por isso, podem ser armazenadas por longos períodos de tempo (cerca de 4 anos), mantendo mais do que 80% da sua capacidade inicial. Entretanto, o custo mais elevado das pilhas alcalinas tem reprimido o seu consumo no Brasil. Atualmente, o seu consumo gira em torno de 30%, enquanto que o das pilhas de Leclanché está em aproximadamente 70%. Do ponto de vista ambiental, as pilhas alcalinas representam menor risco, já que não contêm metais tóxicos, como mercúrio, chumbo e cádmio. [...] há uma tendência mundial em se mudar para elas, já detectada em outros países como Estados Unidos, Alemanha e Argentina.

Mesmo diante das vantagens das pilhas alcalinas, tem-se uma resistência do mercado brasileiro no que diz respeito à substituição das pilhas mais comuns e baratas. Constata-se que, mesmo diante da disponibilidade de uma tecnologia mais durável e segura, há adesão de apenas um terço dos consumidores brasileiros, diferentemente do que ocorre em outros países.

2.2.1.2. Bateria chumbo/óxido de chumbo (chumbo/ácido)

A bateria de chumbo/óxido foi projetada e construída pelo físico francês Raymond Gaston Planté em aproximadamente 1860. De acordo com Bocchir, Ferracin & Biaggio (2000), esse sistema enquadra-se como uma bateria secundária,

pois a reação química que nela ocorre para produzir energia é reversível e, até os dias de hoje, é tecnologia base para baterias recarregáveis.



Seu principal uso é observado em automóveis e na indústria. O principal componente é o chumbo, caracterizado por se tratar de metal pesado, tóxico e perigoso. Para Bocchir, Ferracin & Biaggio (2000), estas pilhas que representam um sério risco para a natureza, mesmo que boa parte dos equipamentos descartados sejam recolhidos pela indústria, já que o chumbo presente nessa bateria possui alto valor agregado no comércio internacional, contudo, o método de recuperação desse material é quase sempre inadequado.

De acordo com Bocchir, Ferracin & Biaggio (2000, p. 6):

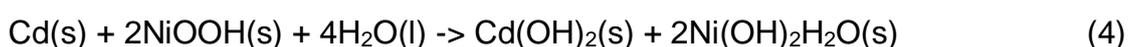
[...] O método mais usado ainda é o pirometalúrgico, em vez do eletrodrometalúrgico, o que termina contaminando a atmosfera com óxidos de enxofre (SO_x) e com chumbo particulado.

Fica evidente o quanto é importante dar atenção ao uso, ao descarte e ao sistema de recuperação de materiais que contém substâncias tão perigosas.

2.2.1.2. Bateria de íons lítio

A bateria de íons de lítio é popular e amplamente utilizada em celulares e em notebooks. Segundo Mombach (2010), essa tecnologia apresenta desempenho acima da média e possui maior segurança, tratando-se de uma bateria secundária com interessantes vantagens.

De acordo com Bocchir, Ferracin & Biaggio (2000), a bateria de íons de lítio utiliza apenas os íons presentes no eletrólito em sua estrutura e tem no ânodo grafite e no cátodo geralmente o óxido de cobalto litiado. No processo de descarga, os íons de lítio migram do interior do grafite até o interior do material do cátodo e, ao mesmo tempo, no circuito externo ocorre à movimentação dos elétrons. Além disso, os autores alegam que essas baterias são mais vantajosas quando afirmam que as baterias de íons lítio apresentam bom desempenho e principalmente maior segurança aos usuários.



Destaca-se, ainda, a segurança desta tecnologia ao se tratar de um sistema de armazenamento energético destinado ao uso em equipamentos eletrônicos. Por possuir elementos menos densos em sua composição, esse material, ganha particular relevância em uma época que os eletrônicos tendem a ser ainda mais portáteis e leves.

De acordo com Bocchir, Ferracin & Biaggio (2000, p. 9):

[...] Além disso, o fato de empregarem materiais de baixa densidade permite que sejam projetadas para terem menor massa, tamanho e custo. Tanto as baterias hidreto metálico/óxido de níquel como as de íons lítio representam riscos ambientais muito menores do que as de níquel/cádmio.

Conforme verificado, as baterias de lítio demonstram vantagens principalmente para equipamentos eletrônicos ao considerar os fatores como segurança, bom desempenho, baixa densidade e custo. É preciso ressaltar também suas vantagens ambientais ao possuírem menores índices de contaminação comparada às demais baterias.

Tendo sido realizada esta apresentação e discussão teórica sobre as temáticas energia solar fotovoltaica, robótica e baterias químicas, este presente trabalho prossegue com o delineamento do percurso metodológico, coleta e análise dos dados da pesquisa.

2.3 ROBÓTICA

Popularmente o gênero ficção científica é o tipo de filme que engloba principalmente conceitos ficcionais, quase sempre, ligados ao futuro, que destacam os avanços da ciência e da tecnologia. Dentro desse gênero a robótica obteve destaque, com a origem do termo designado a um escritor de ficção científica Isaac Asimov no século XX (MATARIĆ, 2014). Cabe apontar que até os dias de hoje a temática é fonte de inspiração para muitos autores e, aos poucos, os avanços da ciência tornam-se reais, o que antes era considerado apenas fantasia de mentes criativas.

De acordo com Matarić (2014), robótica é um ramo científico que objetiva o estudo dos robôs. É considerada uma área de estudo da ciência e da tecnologia amplamente crescente e complexa.

A robótica é uma temática vasta, cuja presença pode ser identificada em diversos ramos científicos, desde a medicina, como no caso do robô *The da Vinci Surgical System* que possui a habilidade de realizar cirurgias bem precisas, até na indústria bélica com o Modular Advanced Armed Robotic System que detém autonomia para atacar com o uso de metralhadoras e granadas quando ameaçado.

De acordo com Matarić (2014, p. 21):

A robótica é o estudo dos robôs, o que significa que é o estudo da sua capacidade de sentir e agir no mundo físico de forma autônoma e intencional.

A autonomia de um robô é necessária para qualificá-lo e para estudar sua capacidade de analisar e, agir no mundo físico é o principal foco da robótica. Essa ciência tem avançado em níveis extraordinários, principalmente na última década, permitindo ao homem, realizar atividades que eram de alto risco ou até mesmo impossíveis.

2.3.1 Robô

Robô é um sistema físico e inteligente capaz de tomar decisões com base em programação, que por sua vez, lhe permite interagir com o meio físico. Neste contexto, Matarić (2014) afirma que o robô pode identificar e realizar ações em um ambiente de acordo com sua programação, capacidade sensorial, efetadores e atuadores.

Matarić (2014), afirma que os sensores funcionam para um robô como, por exemplo, como os órgãos que permitem a visão, audição e tato para o homem. Os robôs conseguem a partir da sua programação, interpretar de forma autônoma as informações captadas e prontamente seguir de acordo com as orientações.

Conforme explicado acima para ser considerado verdadeiramente um robô, a máquina precisa estar presente no meio físico e não apenas ter uma programação que lhe garanta autonomia para realização de alguma atividade. Pode-se destacar, por exemplo, os "robôs" virtuais que apesar de realizarem funções designadas em sua programação, não podem ser considerados robôs porque não possuem uma estrutura física que lhe permita sentir e atuar no ambiente físico.

De acordo com Matarić (2014, p.19):

Um robô é um sistema autônomo que existe no mundo físico, pode sentir o seu ambiente e pode agir sobre ele para alcançar alguns objetivos.

Diante das discussões acima, afirma-se que é imprescindível ter um robô um corpo físico e, deste modo, ele pode ser projetado para realizar suas funções em uma base física fixa ou móvel, ganhando relevância porque garante a versatilidade necessária para realizar diversas atividades de acordo com o ambiente de atuação.

2.3.1.1 Robótica móvel

Robô móvel é uma máquina programável capaz de se deslocar e explorar o ambiente. É necessário que a máquina seja um dispositivo capaz de interagir com o meio em decorrência de ser projetado em uma base móvel com atuadores e efetadores que lhe garantam tal habilidade (MARCHI, 2001 *apud* KLIPP, 2013).

Segundo Klipp (2013), um robô móvel possui um nível de complexidade exponencialmente maior que um robô fixo e, tal complexidade é reflexo do grau de dificuldade das atividades as quais eles são projetados para realizarem.

Um robô móvel precisa possuir informações sobre si, sobre o ambiente ao qual é exposto e, ter habilidade específica, sendo um conjunto diretamente relacionado com as variáveis que elevam a complexidade do projeto.

Os robôs móveis são classificados quanto à sua mobilidade, ou seja, podem ser classificados como aquáticos, aéreos ou terrestres (DE PIERI, 2002 *apud* KLIPP, 2013). Os veículos terrestres podem ser subdivididos em veículos com rodas, com esteira ou com pernas, no entanto, e robôs com rodas podem ter a produção mais simples em decorrência de questões como custo e engenharia (KLIPP, 2013).

De acordo com Matarić (2014, p. 47):

Robôs móveis usam mecanismos de locomoção, como rodas, esteiras ou pernas, e movem-se geralmente no chão. Robôs nadadores e voadores também são móveis, mas geralmente se movem em mais dimensões (e não apenas no chão), sendo, portanto, ainda mais difíceis de controlar.

Robôs móveis que se deslocam apenas no chão possuem menor grau de complexidade e são mais fáceis de serem produzidos, reduzindo o custo e a dificuldade de produção.

Em consequência de sua mobilidade, os robôs móveis podem ter aplicabilidade bastante variada, já que, possuem capacidade para serem empregados na execução de atividades de alto risco e em locais com alto grau de periculosidade. Além disso, é importante considerar que a aplicação de robôs

móveis no ensino e aprendizagem de diversas áreas da ciência e da tecnologia tem sido uma alternativa para estimular estudantes de diferentes níveis acadêmicos a se interessarem pela engenharia e pela ciência.

Holtman (2012) conduziu uma pesquisa com o intuito de desenvolver a mecânica, o hardware e o software de um robô móvel portátil com custo reduzido para ser empregado em situações de riscos. O autor desenvolveu um robô com custo de aproximadamente R\$ 2.600 reais que possibilitou a aplicação de diversos conceitos do curso de engenharia mecânica e elétrica.

De acordo com Holtman (2012), os resultados mostraram que é possível o uso de um robô para minimizar riscos para atividades perigosas ao homem com baixo custo, porém, a produção é bastante complexa. O autor afirma que o caráter interdisciplinar do projeto incentiva a adquirir e a aplicar o conhecimento de diversas áreas, contribuindo com a resolução dos problemas enfrentados ao longo do trabalho.

O estudo de Guimarães (2007) consistiu no desenvolvimento de um robô móvel para a exploração de ambientes hostis de forma eficiente e com baixo custo. Diante das análises conduzidas, o robô cumpriu de forma satisfatória a sua proposta, mas foi observada a possibilidade de torná-lo mais eficiente ao substituir peças mais baratas por componentes mais tecnológicos, além de produzir uma estrutura mais adequada para ambientes hostis. Mesmo com as alterações o robô apresentou bons resultados ao longo dos testes nos quais foram aplicados o protocolo de comunicação e o sistema de codificação, fundamentais para a proposta do trabalho.

Os resultados mostraram que o robô móvel pode, a partir de uma programação e um sistema de comunicação eficiente, realizar atividades de forma independente, garantindo ao manipulador alternativo a exploração de ambientes hostis. Porém, conforme mencionado pelo autor, é necessário criar uma estrutura física de acordo com o ambiente ao qual o robô é submetido, para proteger o sistema eletrônico impedindo que uma estrutura física comprometida seja um limitante na realização da função designada.

Pio, Castro & Castro Jr (2006) analisaram a utilização da robótica móvel como meio de aprendizagem de fundamentos, métodos e aplicações da ciência da computação. Tal análise foi realizada tendo como cenário os alunos que cursam a

disciplina de robótica presente em diversos cursos de graduação no Instituto Federal do Espírito Santo (IFES). Os discentes apresentaram resultados positivos diante da proposta do estudo.

Os alunos de computação tiveram a oportunidade de desenvolver ao longo da experiência a habilidade visualizar, analisar e resolver questões e problemáticas através de esquemas formais precisos. Conforme mencionado pelo autor, os mesmos tiveram a capacidade de transformar os esquemas em ações diretas em um ambiente externo, tal situação é possível graças às possibilidades da robótica móvel.

Os três estudos citados acima indicam a interdisciplinaridade e a variabilidade que a robótica móvel se enquadra, podendo ser utilizada para realizar atividades complexas ou simplesmente para instigar os estudantes a utilizarem diferentes conhecimentos adquiridos para solucionar problemas visualizados na robótica móvel. Deste modo, compreende-se essa tecnologia como uma ferramenta bastante versátil, cada vez mais importante e presente na vida moderna como instrumento para facilitar e ajudar o homem.

2.3.1.1.1 Componentes

Uma das maneiras de facilitar a compreensão desse conceito é imaginar que semelhantemente ao corpo humano ou a um animal, o robô possui componentes que lhe permitem sentir e agir sobre o ambiente de forma a alcançar seu objetivo. Esses elementos, ganham relevância pelo fato de serem como membros e órgãos para um animal, permitindo-o atuar com base em suas próprias decisões, obtidas com base na sua percepção. Neste contexto, afirmam-se que os principais componentes de um sistema robótico são o corpo físico, os sensores, os efetadores, os atuadores e o controlador (MATARIĆ, 2014).

- Corporalidade

Ter um corpo físico é uma das condições para se atender a definição de um robô, no entanto, implica ao sistema obedecer todas as leis da física. É necessário o uso de efetadores para locomoção e de uma fonte de alimentação para supri-lo. É importante salientar que o robô, possui limitações resultantes da sua estrutura e devem ser respeitadas, ademais, precisa ter a consciência que sua existência interfere no meio a sua volta e, portanto, precisa evitar colisões ou qualquer outra

interferência indesejada, sobremaneira minimizando o tempo de leitura e resposta (MATARIĆ, 2014).

- Sensoriamento

Em busca de informações sobre o ambiente a sua volta ou sobre si, o robô necessita da presença de sensores que lhe permitam essa percepção. Sendo assim, o sensoriamento tem alto grau de relevância, já que é através dele que o sistema capta as informações necessárias. Deve-se salientar que atrelada à percepção está à inteligência do robô, já que o grau de inteligência desta máquina possui ligação direta ao quão rápido é o processamento sobre si ou sobre o espaço (MATARIĆ, 2014).

- Ação

Segundo Matarić (2014), semelhantemente as asas, as nadadeiras ou as pernas que permitem aos animais se deslocarem, existem, para o robô, os efetadores que, em conjunto com os atuadores, permitem a locomoção e a manipulação de objetos. Para facilitar a compreensão pode-se comparar os efetadores como pernas e braços e os atuadores como as articulações ou músculos, deste modo, são os atuadores que garantem que os efetadores realizem um movimento ou ação.

- Cérebros e músculos e autonomia

Matarić (2014) afirma que nos animais, grande parte da energia é consumida pelo cérebro biológico, porém, diferentemente deles, os robôs têm os atuadores como maiores consumidores de energia. Todavia, tanto os animais quanto os robôs são dependentes de um cérebro para realizem suas funções de forma mais adequada e eficiente. Neste contexto, os controladores presentes no robô, representam o cérebro do sistema e, portanto, são capazes de gerir e tomar decisões próprias com base nas informações adquiridas pelos sensores e, a partir daí, comandar os efetadores.

2.3.1.1.2 Alimentação

Diferentemente das máquinas fixas que podem ter o sistema conectado diretamente à rede elétrica, os robôs móveis precisam de um sistema de carga contínuo e móvel que lhe permita autonomia, mobilidade e eficiência energética. Enquanto que nos seres vivos o cérebro é o principal consumidor de energia, nos

robôs, os atuadores consomem muito mais energia do que seu o processador e , essa diferença, implica substancialmente na alimentação já que boa parte da energia é utilizada para mobilidade e manipulação (MATARIĆ, 2014). Matarić (2014) afirma que a questão energética pode ser considerada um problema de grande destaque dentro da robótica.

Do ponto de vista de Matarić (2014), os problemas variam desde a idealização de uma recarga autônoma realizada pelo próprio robô até tentativa de garantir maior potencial energético com o mínimo de baterias. Além disso, as dificuldades podem ser visualizadas especialmente quando ocorrem perdas de desempenho com o decréscimo de carga energética.

Afirma-se que, sem uma fonte de energia eficiente, contínua, independente e leve, tem-se como problema a perda de qualidade do projeto, porque um sistema ineficiente de alimentação compromete o funcionamento dos atuadores e dos sensores. Outro fator são as quedas na transmissão que, inegavelmente, afetam o funcionamento do sistema. Um sistema dependente da interferência humana para realizar a recarga implica em menor autonomia e, portanto, menor praticidade. E por fim, uma fonte de alimentação com elevada massa, como por exemplo, o uso volumoso de pilhas cria um ciclo ineficiente, pois notoriamente quando se aumenta a carga mássica de um robô, aumenta-se proporcionalmente a exigência de potencia por parte dos atuadores, porém para garantir maior potencia, o sistema necessita de mais energia, deste modo, cria-se um ciclo. Diante disso, fica evidente que é necessário garantir mais carga energética minimizando a área ocupada e a carga mássica (KLIPP, 2013).

As baterias são a forma mais prática de garantir energia para dispositivos móveis (KLIPP, 2013). As especificações das baterias implicam diretamente na qualidade e na eficiência do funcionamento do robô, pois serão as responsáveis por garantir tensão e corrente adequada e suficiente. No entanto, o autor deixa claro que o uso de painéis de fotovoltaicos pode ser de grade importância para garantir o abastecimento energético, todavia, Foresti (2006) afirma que mesmo nessa situação uma bateria é necessária.

O sistema fotovoltaico conectado a um sistema de armazenamento em condições adequadas pode garantir a recarga e, conseqüentemente, prolongar o tempo de funcionamento do robô. Para tanto, o robô precisa estar em um ambiente

que lhe permita a captação de radiação solar, como um sistema fotovoltaico implantado lhe garanta a potência necessária por área disponível. É importante considerar que um sistema portátil de recarga poderia garantir ao robô maior autonomia, minimizando riscos de perda de desempenho por falta de carga.

De acordo com Matarić (2014, p. 48):

[...] As questões energéticas incluem:

- fornecer energia suficiente para um robô sem sobrecarrega-lo com baterias pesadas;
- manter a eletrônica dos controladores efetivamente isolada dos sensores e dos efetadores;
- evitar a perda de desempenho quando os níveis de energia caem em razão da descarga das baterias ou de um repentino aumento do consumo de energia [...].
- recarregar as baterias de forma autônoma, pelo próprio robô, sem a ajuda de pessoas.

O autor afirma que existem questões importantes a serem solucionadas como manter a eletrônica do sistema assegurada e impedir perdas de desempenho quando ocorrer crescimento de consumo. Esses são alguns dos principais motivos pelo qual é importante frisar esse ponto, uma vez que, alcançar as questões citadas acima levaria o robô a alcançar maiores níveis de autonomia.

A alimentação deve ser considerada um item fundamental na montagem de um robô móvel em consequência da sua importância para garantir a mobilidade e a execução dos atuadores e sensores. Atentar-se para a fonte de alimentação ideal minimiza os riscos de problemas no funcionamento do robô implicando na qualidade da execução dos seus objetivos.

2.3.1.2 Robótica de baixo custo

Existem no mercado kits didáticos para iniciar jovens estudantes no mundo da robótica, porém, a maioria possui custo elevado. Diante disso, alternativas já foram desenvolvidas e estão cada vez sendo utilizadas e implementadas. Tais alternativas se tornam possível com a reciclagem de lixo eletrônico e com o uso de micro controladores com preços mais acessíveis (CRUZ &FREIRE, 2015).

Cruz & Freire (2015) afirmam que kits como os da marca LEGO tem custo médio de R\$ 2.000, segundo dados do IBGE (CAMPOS, 2017) esse valor corresponderia a mais que o dobro da renda de metade da população brasileira, fato esse, que impossibilitaria o acesso da robótica e da programação para uma grande parcela da população. Neste contexto, existe a necessidade de investimento em alternativas mais acessíveis como, por exemplo, a placa GoGo e a Arduíno (CRUZ & FREIRE, 2015). Além disso, a produção de robôs de baixo custo incentiva a reciclagem de lixos eletrônicos e pode ter fins educativos através da Robótica Pedagógica (LIMA, 2010).

É possível afirmar que placa Arduino é acessível e inclusiva, pois seus idealizadores exigiram garantir o acesso a essa tecnologia tão caro quanto fosse comprar um pedaço de pizza (EVANS, 2013 *apud* CRUZ e FREIRE, 2015). Esta tecnologia foi desenvolvida e é manipulada sobre uma biblioteca que simplifica a escrita da programação em C/C++. Além disso, possui código aberto, permitindo a contribuição de interessados (BARROS, 2012), tornando-se uma ferramenta de fácil acesso e aprendizado.

De acordo com Oliveira (2017, p. 97):

A IDE Arduino é bastante conhecida dos entusiastas por micro controladores e microeletrônica. Seu lançamento como hardware aberto e o impulso à indústria eletrônica na China tornaram essa plataforma bastante acessível tanto para amadores e estudantes quanto para empresas que lançaram vários produtos de automação e eletrônica em geral usando essa plataforma.

A robótica de baixo custo possui uma preocupação social e ambiental. Com alternativas mais acessíveis o conhecimento é abrangente, permitindo que pessoas, independentemente de classe social, possam conhecer o mundo da robótica.

3. METODOLOGIA

De acordo com Gil (2007), pesquisa é ferramenta racional e sistemática que objetiva solucionar problemas observados. Possui particular importância, pois é um processo constituído por vários degraus, que se inicia na formulação do problema podendo chegar até apresentação dos resultados encontrados.

A pesquisa aplicada objetiva inspirar a geração do conhecimento para aplicação prática, resolvendo problemas específicos (Gerhardt & Silveira, 2009).

Segundo Doxsey & Riz (2002), pesquisas descritivas tem por característica principal buscar descrever a natureza de um fenômeno, diferentemente das pesquisas exploratórias, que têm por intuito, a busca por informações a cerca de um fenômeno que permitirá o pesquisador compreendê-lo. As pesquisas explicativas permitem ao pesquisador compreender e explicar a causa e consequência de um fenômeno. Sendo assim, para melhor atender a proposta desse trabalho optou-se pela realização de uma pesquisa descritiva.

De acordo com Gil (2008, p. 194):

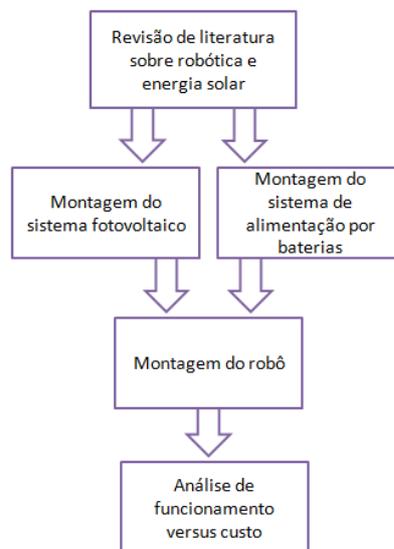
A análise dos dados nas pesquisas experimentais e nos levantamentos é essencialmente quantitativa. O mesmo não ocorre, no entanto, com as pesquisas definidas como estudos de campo, estudos de caso, pesquisa-ação ou pesquisa participante. Nestas, os procedimentos analíticos são principalmente de natureza qualitativa.

Devido à proposta dessa pesquisa que objetiva analisar economicamente diferentes fontes de alimentação para um robô, essa pesquisa possui uma abordagem quantitativa no tratamento dos dados experimentais. Neste contexto, devido à base da pesquisa ser um problema, inevitavelmente o raciocínio hipotético-dedutivo apresenta-se como o mais adequado para que a partir de uma hipótese possa chegar a uma base de solução viável para o problema.

Para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso foram utilizadas fontes primárias através dos resultados e discussão obtidos através dos experimentos realizados com base metodológica e, evidenciados no Capítulo 4, e secundárias, onde são apresentados o embasamento teórico e o uso de informações bibliográficas pautadas no tema de estudo desse trabalho. A Figura 8 apresenta o diagrama de blocos do procedimento metodológico realizado na execução deste trabalho.

Esta pesquisa teve por intuito o desenvolvimento do robô diferencial de duas rodas para ser utilizado como instrumento de análise do desempenho de painéis fotovoltaicos. A presente pesquisa objetivou avaliar economicamente a viabilidade da substituição de baterias químicas primárias por um sistema composto por painéis fotovoltaicos e pilhas secundárias. Para tanto, foram avaliados os seguintes critérios: autonomia energética, custo e desempenho.

Figura 8 Metodologia seguida



Fonte: elaboração própria

3.1 CONSTRUÇÃO DO ROBÔ

3.1.1 Materiais:

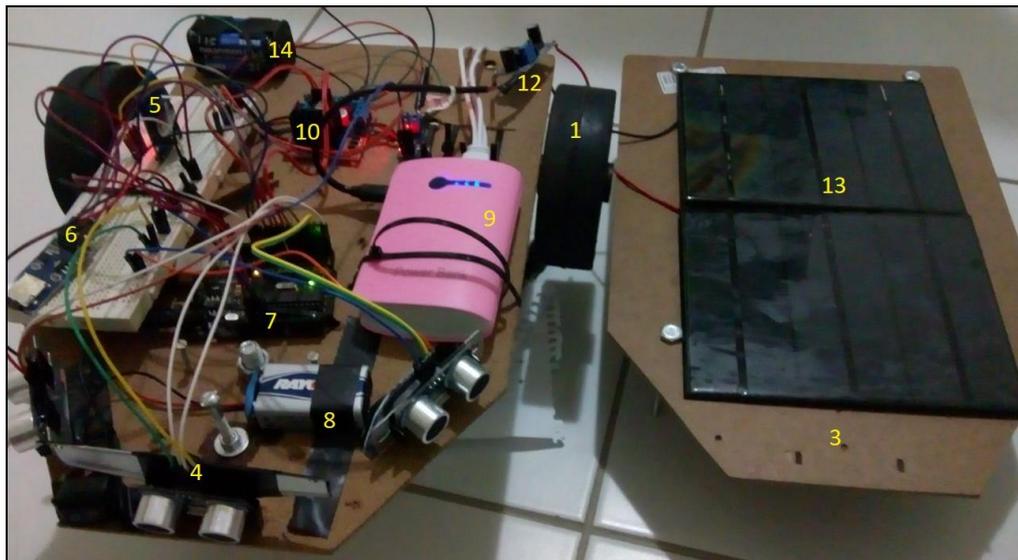
Os materiais utilizados para a construção do Robô estão apresentados na Tabela 1 e a estruturação da construção está indicada na Figura 9.

Tabela 1 Materiais utilizados na construção do robô

| | MATERIAL | QUANTIDADE (UNIDADE) | INFORMAÇÕES TÉCNICAS |
|---|------------------------|----------------------|---|
| 1 | Pneu traseiro | 02 | Diâmetro: 100 mm |
| 2 | Rodízio Giratório | 01 | Diâmetro: 50 mm |
| 3 | Base | 02 | Material: MDF Espessura: 3 mm Comprimento: 33 x 23 mm |
| 4 | Sensor ultrassônico | 03 | HC- Sr 04 |
| 5 | Módulo Real Time Clock | 01 | RTC Ds3231 |

| | | | |
|----|------------------------------|----|--|
| 6 | Módulo Leitor SD Card | 01 | Micro SD Card |
| 7 | Arduino | 01 | Mega 2560 R3 |
| 8 | Pilha | 01 | 09 V |
| 9 | Bateria portátil/ Power Bank | 01 | 1000 mA 5V |
| 10 | Drive ponte H | 01 | L298 N |
| 11 | Motor | 02 | Tensão: 12 V Velocidade: 100 rpm Torque:3,5 kgf.cm |
| 12 | Regulador de Tensão | 01 | LM2596 DC Step Down 1,5V a 35V |
| 13 | Placa fotovoltaica | 02 | Policristalina Tensão: 6V Corrente: 600 mA Potência 3.5 W |
| 14 | Pilha Comum | 12 | 1,5 V |
| 15 | Pilha Alcalina | 12 | 1,5 V |
| 16 | Sensor ACS712 | 01 | AC / DC 5A Efeito Hall |

Figura 9 Estruturação do robô



3.1.2 Estrutura e Circuito

O robô (Figura 10) proposto neste trabalho é do tipo reativo, e baseia-se nos dados de três sensores ultrassônicos localizados na área frontal e lateral da estrutura. O funcionamento é programado sob a plataforma Arduino, o Atmel ATmega2560 é o cérebro do robô e, conseqüentemente, responsável por todo gerenciamento e processamento de dados do sistema, sendo o responsável pela

coleta de dados dos sensores ultrassônicos, como por exemplo, o controle da ponte H.

Figura 10 Robô

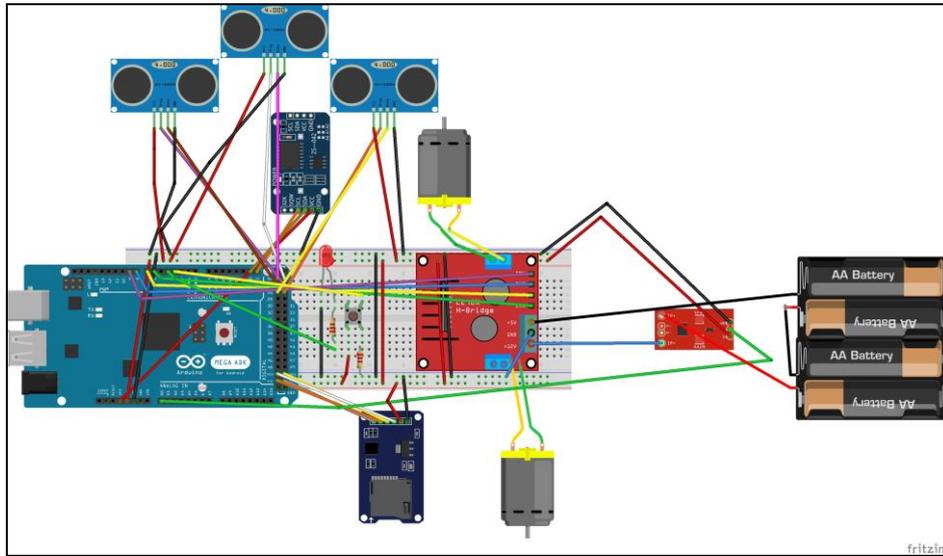


Com base em sua programação, o robô tem por objetivo desviar de obstáculos evitando possíveis colisões. Em decorrência do objetivo do presente trabalho ser apenas a avaliação econômica das fontes de alimentação implementadas ao robô, ele não possui uma função secundária. Por questões de custos e praticidade sua estrutura de locomoção é composta por três rodas, onde duas estão conectadas aos atuadores e a terceira é designada para manter o equilíbrio do sistema.

O robô foi programado para coletar os dados de consumo de carga dos sistemas de energéticos implementados e, por isso, possui um módulo Real Time Clock que tem por objetivo indicar exatamente o início dos experimentos e o momento da exaustão do sistema de alimentação. Para avaliar o comportamento do consumo por parte dos autores foi necessário adicionar o sensor ACS712 para avaliar continuamente o consumo da ponte H. Diante disso, para que esses dados fossem precisamente gravados para posterior análise, adicionou-se ao circuito um leitor micro SD para salvar os dados de forma contínua.

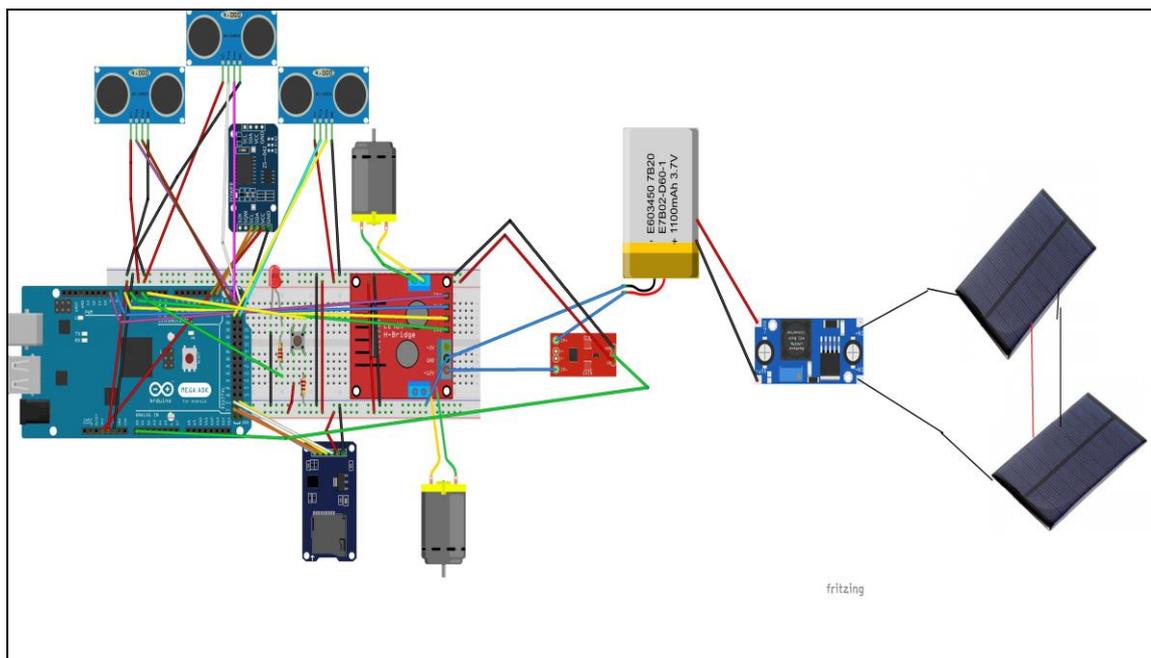
Agregado ao robô, o sistema misto e independente de alimentação, é constituído por quatro pilhas de 1,5 V em série (Figura 11). As baterias conectadas ao sensor ACS720, que por sua vez, está conectado à ponte H são responsáveis por fornecer toda energia para garantir o deslocamento do robô.

Figura 11 Esquema do sistema alimentado por pilhas



Um segundo sistema foi programado com duas placas fotovoltaicas em paralelo de 6 v e 600 mA cada, conectadas a um regulador de tensão LM2596 configurado para manter 5V e assim recarregar a Power Bank (Figura 12). Além de carregar a bateria, o circuito foi projetado para ser fixo na base do robô, deste modo, é possível manter um processo de recarga contínua sob condições propicias de radiação.

Figura 12 Esquema do sistema alimentado pelo mini-painel solar



Ambos os sistemas foram programados para alimentarem separadamente o robô, permitindo assim a identificação do tempo de autonomia de ambos e, diante disso, garantir a avaliação do custo benefício dos mesmos.

3.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

Os experimentos objetivaram avaliar o tempo de duração das fontes de alimentações. Para tanto, foram realizados os testes em triplicatas até a exaustão das baterias. Os resultados de desempenho energético das pilhas e do painel fotovoltaico com a bateria considerando o tempo de autonomia estão apresentados no capítulo seguinte.

Os experimentos foram realizados em triplicata, conforme indica a tabela 2, onde:

- Os experimentos 1 a 4 representam o robô com as 4 pilhas de 1,5v;
- O experimento 5 representa o robô com apenas a bateria recarregável
- O experimento 6 representa o robô com o sistema placa solar fotovoltaica e bateria recarregável.

Os experimentos foram realizados dentro de uma arena com uma área de aproximadamente 6,25 m². Foi observado o tempo de duração da bateria até a exaustão da mesma (min) e o consumo médio de corrente (A). Estas variáveis permitirão indicar os resultados estatísticos com maior precisão e exatidão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para análise dos resultados obtidos buscou-se coletar primeiramente informações a cerca do consumo de corrente por parte dos atuadores, bem como o desempenho máximo de funcionamento de cada fonte de alimentação.

Para coletar os dados acerca do tempo máximo de duração de cada fonte, o robô foi submetido a movimentos através de caminhos aleatórios em uma arena até a exaustão da sua fonte de energia. Os resultados foram analisados em relação ao consumo de corrente durante os experimentos e foram realizados ainda experimentos de observação do processo de carregamento das baterias com células fotovoltaicas.

Para obter maior precisão foram realizados experimentos em triplicatas com duas diferentes marcas de pilhas alcalinas não recarregáveis, duas diferentes marcas de pilhas comuns, um modelo de bateria portátil para celular e um sistema fotovoltaicos compostos por duas células fotovoltaicas conectadas em paralelo e ligados a uma bateria portátil. As médias dos resultados e o custo total podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 Média dos resultados dos experimentos realizados

| | Fonte de alimentação | Tempo p/ exaustão (min) | Consumo médio (A) | Custo Total |
|---|----------------------|-------------------------|-------------------|-------------|
| 1 | Alcalina A | 237,3 | 0,45 | 53,52 |
| 2 | Alcalina B | 218,7 | 0,42 | 29,40 |
| 3 | Comum A | 134,3 | 0,43 | 24,36 |
| 4 | Comum B | 122,7 | 0,45 | 23,28 |
| 5 | Bateria portátil | 211,3 | 0,42 | 35,00 |
| 6 | Sistema fotovoltaico | 266,0 | 0,41 | 119,00 |

É possível observar que o sistema fotovoltaico foi o que apresentou o maior tempo de funcionamento até a exaustão, seguido pelas pilhas alcalinas não recarregáveis e pela bateria portátil respectivamente. Entretanto, também é possível observar que as pilhas comuns tiveram o menor rendimento. Com esses resultados

perceberam-se índices de desempenho próximos entre a bateria e pilhas alcalina não recarregáveis, contudo, há um relevante aumento do tempo de carga da bateria recarregável quando a mesma foi conectada ao sistema fotovoltaico.

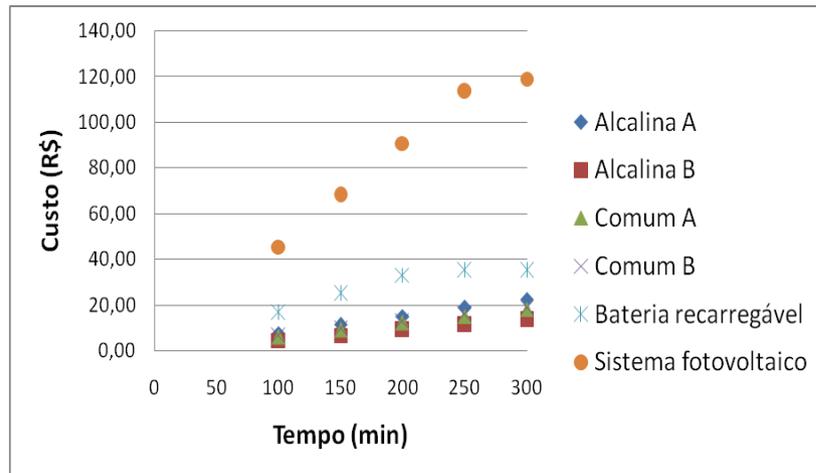
Compreendendo que a o sistema fotovoltaico deste trabalho foi composto também pela bateria portátil, a combinação da bateria com os painéis foi capaz de garantir um aumento aproximadamente 26% no tempo de funcionamento do robô sob condições de radiação de aproximadamente 8 horas.

As duas marcas de pilhas comuns tiveram rendimentos muito inferior às demais fontes de energia utilizadas, resultado esperando considerando que estes resultados foram reportados também por Bocchir, Ferracin & Biaggio (2000). Os autores afirmaram que estas pilhas são ideais para equipamentos menos exigentes. Experimentos que necessitam de repetição e que exigem bastante dos atuadores acarretam em uma descarga rápida e mais pilhas seriam consumidas gerando considerável quantidade de resíduos de descarte.

Apesar do significativo rendimento da pilha alcalina em comparação às pilhas comuns, no que diz respeito a geração de resíduo e desempenho pra um mesmo período de funcionamento, possuem a desvantagem de ter um alto custo. Para a execução dos experimentos neste estudo foram utilizadas 12 pilhas alcalinas totalizando um custo de R\$ 53,52, já o sistema fotovoltaico implicou em um custo de R\$ 119,00. Verificou-se que para a realização de três experimentos, foi gasto aproximadamente metade do que se investiu no sistema fotovoltaico.

A partir dos resultados de desempenho do tempo de funcionamento e do custo de cada tecnologia, foi possível plotar um gráfico no Microsoft **Excel**® (Figura 13) simulando e evidenciando o investimento necessário para garantir diferentes períodos de funcionamento do robô.

Figura 13 Custo versus Tempo de funcionamento



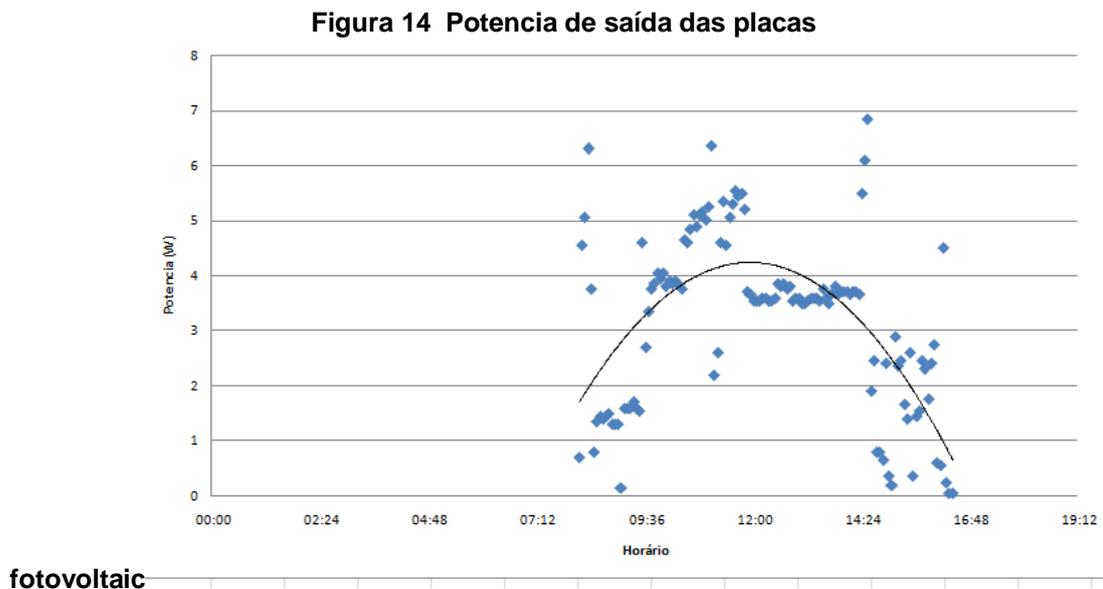
Diante do gráfico da Figura 13 foi possível observar que o custo da energia fotovoltaica diferente das demais tecnologias é significativamente mais oneroso quando utilizada em um curto período de tempo, de até dez vezes quando comparada ao custo unitário da pilha comum B. O custo para implantar o sistema se torna viável em comparação às pilhas primárias quando o robô foi submetido a aproximadamente 262 minutos de funcionamento. Após este período, o seu custo estabiliza, enquanto que, as pilhas alcalinas não recarregáveis e as pilhas comuns continuam crescendo linearmente.

Diante desta discussão, é importante ressaltar que além de manter o custo fixo após 262 minutos, as placas solares são uma fonte de energia renovável e limpa (BRAGA, 2008). O fabricante da placa solar utilizada garante uma vida útil superior a 10 anos, sendo possível a reutilização do sistema fotovoltaico diversas vezes até o seu descarte. Considerando tais fatos, seu uso torna-se mais sustentável que as pilhas comuns e alcalinas, principalmente a longo prazo.

Diferentemente da energia solar fotovoltaica, a bateria recarregável tem um custo de investimento menor, conforme observado na Figura 13. Após 215 minutos o sistema se tornou estável, porém, foram desconsiderados os custos com energia elétrica que estivera atrelada à recarga da bateria. Deste modo, o custo da bateria tem um custo real que varia de acordo com o valor da energia fornecida pelo distribuidor. O fabricante garante uma vida útil com carga de 500 vezes, fato interessante comparando-o com as pilhas primárias.

É importante ressaltar que, apesar do custo inicial do sistema fotovoltaico ser alto, este custo se paga em longo prazo. O uso do sistema fotovoltaico acarretou em um custo inicial três vezes maior do que o necessário para adquirir uma bateria recarregável, todavia, é capaz de garantir um aumento de aproximadamente $\frac{1}{4}$ da carga total da bateria, implicando diretamente no aumento da autonomia energética do robô.

Foi observado que apenas o sistema solar fotovoltaico implementado ao robô foi insuficiente para garantir recarga completa da bateria em um único dia, no entanto, com a bateria carregada o mesmo se mostrou capaz de diminuir o ritmo de descarga em determinados horários. A Figura 14 apresenta a potência de saída das placas fotovoltaica utilizadas.



O experimento foi iniciado às 8h, não sendo possível captar os índices de radiação anteriores a este horário, tão pouco após às 16h e 50min, que chegaram a valores insignificantes, tornando-se insuficiente para carregar a bateria. Os horários próximos ao meio dia apresentaram os maiores índices, com picos entre 11h e 20min e 12 h. O modelo obtido é uma resposta ao período de irradiação, deste modo, espera-se que se comporte aproximadamente como uma parábola (LINHARES, 2016).

Segundo Jardim (2006) espera-se que os pontos sejam como reflexos da geração de energia solar fotovoltaica e formem uma simétrica parábola cônica para baixo em um dia limpo. No entanto, podem-se observar na Figura 14 que a

curva gerada apresenta diversos pontos fora da curva, porém, com o ajuste polinomial foi possível visualizar a linha de tendência da potência gerada pela placa solar para diferentes horários do dia.

O sistema fotovoltaico adicionado ao robô mostrou-se funcional em sua proposta, cabendo sua utilização a ambientes que permitem a coleta de radiação solar sem grandes interferências. Entretanto, seu elevado custo inicial não o tornou atraente para equipamentos menos exigentes, fato que pode ser contornado se considerada a importância do uso de recursos energéticos menos poluentes e menos nocivos ao meio ambiente.

Por fim, foi possível perceber que o sistema fotovoltaico adaptado teve como principais vantagens o fato de ser uma fonte de energia renovável, de ser uma fonte de energia sustentável capaz de garantir o aumento de aproximadamente 26% da bateria até a exaustão da carga energética do robô.

5. CONCLUSÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso possibilitou uma avaliação do custo do uso de um sistema fotovoltaico para alimentação de um robô e, permitiu comparar o custo do investimento com outras fontes de alimentação comumente utilizadas em um sistema móvel e inteligente.

Os resultados indicaram que o custo inicial para implementar e utilizar o sistema fotovoltaico foi mais alto que os demais avaliados, todavia, a partir de procedimentos com exigentes gastos energéticos, o sistema tem seu custo estabilizado após 262 minutos. O presente estudo verificou que o sistema fotovoltaico apresenta maior custo até os 262 minutos, sendo sete vezes mais caro que as pilhas comuns, seis vezes mais caro que a Alcalina A, 10 vezes mais caro que alcalina B e quase três vezes mais caro que a pilha secundária, sendo assim, foi considerada economicamente inviável em ambientes que não exijam altas demanda energética.

A partir da análise do gráfico verifica-se que as pilhas primárias mantiveram seu custo crescendo linearmente ao longo do tempo de funcionamento. A bateria recarregável apresentou-se como uma alternativa às pilhas alcalinas e comuns, apesar de ter custo inicial ser mais elevado. A pilha recarregável teve seu custo estabilizado após 215 minutos. Quando as placas solares a bateria recarregável foram combinadas, o tempo de funcionamento do sistema aumentou em 26% até a exaustão da fonte de energia. Foi desconsiderado o custo com energia elétrica no processo de recarga da bateria pelo método convencional.

Ao longo do desenvolvimento deste estudo, foi observado que o uso do sistema de energia solar fotovoltaica implementado nesse trabalho, reduziu o consumo de pilhas alcalinas e, principalmente, o grande consumo de pilhas comuns. As pilhas comuns, além ter a menor eficiência, possuem em sua composição química materiais tóxicos, poluentes e que oferecem riscos à natureza e à saúde humana.

Considerando a relevância do tema atualmente, é importante o desenvolvimento de projetos que tenham o objetivo de avaliar de forma mais profunda a eficiência das placas fotovoltaicas, além de considerar a sua utilização

em um robô que realize atividades de exploração em áreas a céu aberto, permitindo a avaliação da sua funcionalidade.

A utilização do sistema fotovoltaico se mostrou eficiente já que buscaram observar os custos da utilização de uma fonte de energia renovável e limpa em curto e longo prazo e as vantagens da sua utilização, contribuindo para o uso de recursos energéticos menos nocivos ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AGOURAKIS, D. C. et al. Comportamento de zinco e manganês de pilhas alcalinas em uma coluna de solo. *Química Nova*, São Paulo, v. 29, n. 5, set. 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422006000500014>>. Acesso em: 26 jan. 2018

ALVES FILHO, J. *Matriz energética brasileira: da crise a grande esperança*. Rio de Janeiro: Mauad, 2003. 188 p

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>. Acesso em: 12 nov. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. *Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira*. São Paulo: ABINEE, 2012. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

BARACHO, G. M. M. O. *Veículos elétricos: estudo preliminar das estratégias de suprimento de energia por eletroposto solar fotovoltaico*. 2016. 53 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Energia)—Universidade de Brasília, Gama-DF, 2016.

BARROS, W. R. *Sistema de Automação Veicular com Arduino e Android*. 2012. 59 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Sistemas para Internet) - Centro Universitário Adventista de São Paulo, ENGENHEIRO COELHO, 2012. Disponível em: <<http://www.unasp-ec.com/sistemas/admin/upload/1411505628tcc.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2018.

BRAGA, R. P. *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: fundamentos e aplicações*. 2008. 80 p. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001103.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2017

BURATTINI, M. P. T. C. *Energia: Uma abordagem multidisciplinar*. São Paulo: Livraria da Física, 2008. 110 p.

CABRAL, I.; VIEIRA, R.; *Viabilidade econômica x viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso brasileiro: uma abordagem no período recente*. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. III, 2012, Goiânia. *Anais eletrônicos...* Recife: PUC/Góias, 2012. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/X-003.pdf>. Acesso em: 20 de Nov 2017.

CAIRES, S. M. P. *Estudo sobre Posicionamento de Placas Fotovoltaicas*. 2014. 67 f. Estudo sobre posicionamento das placas fotovoltaicas (Engenheira

Eletricista)- Faculdade Independente do Nordeste, Vitória da Conquista, 2014. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/tcc_suzane_caires.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2017.

CAMPOS, Ana Cristina. IBGE: 1% da população ganha 36 vezes a renda média da metade mais pobre. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-11/ibge-1-da-populacao-ganha-36-vezes-renda-media-da-metade-mais-pobre>>. Acesso em: 27 jan. 2018.

CAMPOS, E. TPM- Tensão pré-monografia - Monografia sem stress: Manual prático de desenvolvimento de monografias. 1. ed. Francisco Beltrão: [s.n.], 2008. 168 p.

CAPAZ, R; NOGUEIRA, L. Ciências Ambientais para Engenharia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 352 p.

CARVALHO, A. S. Refletindo e empregando a sabedoria dos ditos populares. 1ª. ed. Timburi: Cia do EBook, 2016. 202 p.

CARVALHO, P. S. L.; MESQUITA, P. P. D.; ROCIO, M. A. R. BNDES Setorial. A rota metalúrgica de produção de silício grau solar: uma oportunidade para a indústria brasileira, Rio de Janeiro, n. 44, p. 2005-2034, set. 2016. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9934>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014. 530 p.

CHIVELET, N. M.; SOLLA, I.F. Técnicas de Vedação Fotovoltaica na Arquitetura. 1ª. ed. São Paulo: Artmed, 2010. 194 p.

Cruz, D. S.; Freire A. L. S. Sistemas de Automação e Robótica com Arduino: Utilizando Dispositivos Móveis Inteligentes. In: Mostra Nacional de Robótica, 3., 2015. Uberlândia. Anais da 5ª Mostra Nacional de Robótica. Uberlândia. Disponível em: <<http://sistemaolimpo.org/midias/uploads/73f81e60c3e4aeb5c4b8716168aa3123.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2018.

DINIZ, A. F.; SANTOS, R. L.; SANTO, S. M.. Avaliação dos Riscos de Seca para o Município de Feira de Santana-Ba Associado à Influência do El Niño no Semi-Árido do Nordeste Brasileiro. + Geografias, Feira de Santana, n. 1, p.18-24, maio 2008. Disponível em: <http://www2.uefs.br/maisgeografias/pag_0501.htm>. Acesso em: 26 Jan. 2017.

E.B. Pereira, F.R. Martins, S.L. Abreu and R. Ruther, Atlas Brasileiro de Energia Solar (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006), 70 pp. Disponível em: http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf. Acesso em: 27 jan. 2018.

FALCÃO, V. D. Fabricação de células solares de CdS/CdTe. 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.ime.eb.br/arquivos/teses/se4/cm/dissertacaofinal_viviennedenise.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2017.

FOWLER, R. Fundamentos de Eletricidade: Corrente Contínua e Magnetismo. 7. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2013. 236 p. v. 1.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (Org.). Métodos de pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 120 p.

GIL, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. - 6. ed. - São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, L. I. P. Células Solares Semitransparentes de Silício Amorfo Micro/Nanocristalino. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Departamento de Ciência dos Materiais. Lisboa. 2009. Disponível em: <<https://run.unl.pt/handle/10362/2048?mode=full>>. Acesso em: 02 dez. 2017.

JARDIM, C.; SALAMONI, I.; RÜTHER, R.; KNOB, P.; DINIZ, A. S. C. O Potencial dos Sistemas Fotovoltaicos Interligados à Rede Elétrica em Áreas Urbanas: Dois Estudos de Caso. In: X Congresso Brasileiro de Energia, 2004. Anais. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2004.v.III. p. 1217-1230.

JUCÁ, S.C. S.; CARVALHO, P. C. M. Métodos de dimensionamento de sistema fotovoltaicos: aplicações em dessalinização. 1ª. ed. Duque de Caxias: Monique Dias Rangel Dutra, 2013. 84 p.

KALOGIROU, S. Engenharia de energia solar: processos e sistemas. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 864 p.

KEMERICH, P. D. C. et al. Descarte Indevido de Pilhas e Baterias: A Percepção do Problema no Município de Frederico Westphalen - RS. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, [S.l.], v. 8, n. 8, p. 1680-1688, dez. 2012.

KLIPP, T. S. Proposta de uma Arquitetura para Alocação de Tarefas em Grupos de Robôs Móveis Baseada em Acordo Bizantino. 2013. 73 p. Monografia (Bacharel em Tecnologias de Informação e Comunicação) - Universidade Federal de Santa Catarina,, Araranguá, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/99671>>. Acesso em: 02 jan. 2018.

LIMA, E. F. A. et AL. Construindo robôs de baixo custo a partir de lixo tecnológico. In Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. VI. 2010, Campina Grande. Disponível: <http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-2186.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2018.

LINHARES, A. R. Energia Solar. Joinville: Clube dos Autores, 2016. 101 p. Disponível em: <<https://play.google.com/store/books/details?id=wiVIDAAAQBAJ>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

MATARIC, M.J. Introdução à robótica. Tradução de Humberto Ferasoli Filho, José Reinaldo Silva, Silas Franco dos Reis Alves. 1º ed. São Paulo: Editora Unesp/Blucher, 2014.

MATAVELLI, A. C. Energia solar: geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas. 2013. 34 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Química) - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2013. Disponível em: <<https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2013/MEQ13015.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030. Brasília: MME: EPE, 2007.

MOMBACH, A. Determinação de metais e metalóides em pilhas por ICP OES. 2010. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Química)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28592/000770963.pdf?sequ>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

N. Bocchi, L. C. Ferracin, S. R. Biaggio, Química e Sociedade 11 (2000) 3.

NIEDZIALKOSKI, R. K. Desempenho de Painéis Solares Mono e Policristalinos em um Sistema de Bombeamento de Água. 2013. 57 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura)- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013. Disponível em: <http://portalpos.unioeste.br/media/Dissertacao_Rosana_K_Niedzialkoski.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2017

PEREIRA, E. B. et al. Atlas brasileiro de energia solar. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 88 p. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2018.

REIDLER, N. M. V. L.; GÜNTHER, W. M. R. Impactos ambientais e sanitários causados por descarte inadequado de pilhas e baterias usadas. *Revista Limpeza Pública*, São Paulo, v. 60, p. 20-26, 2003.

REIS, L. B.; SANTOS, E. C. Energia elétrica e sustentabilidade: Aspectos tecnológicos, socioambientais e legais. 2. ed. Barueri: Manole, 2014. 280 p.

RIBEIRO, C. H. M. Implantação de um Sistema de Geração Fotovoltaica. 2012. 74 p. Monografia (Curso de Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012. Disponível em: <<http://www.em.ufop.br/cecau/monografias/.../Cesar%20Henrique%20Maciel%20Ribeiro.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

SHAYANI, R. A; OLIVEIRA, M. A. G; CAMARGO, I.M T. Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. In: Congresso Brasileiro do planejamento energético, V, 2006, Brasília. Sessões Técnicas do V Congresso Brasileiro do planejamento energético. Universidade de São e Disciplinas. Disponível em:<

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3427159/mod_resource/content/1/solar.pdf> . Acesso em 28 de Nov. 2017.

SILVA, A.P. M; ROHLFS, D.B. Impactos à saúde humana e ao meio ambiente causados pelo descarte inadequado de pilhas e baterias usadas. Disponível em: <
<http://www.cpgls.pucgoias.edu.br/6mostra/artigos/SAUDE/ANA%20PAULA%20MENDES%20DA%20SILVA.pdf>>. Acesso em: 25 Jan. 2018

VIEIRA, K. N.; SOARES, T. O. R.; SOARES, L. R. A Logística Reversa do lixo Tecnológico: Um Estudo Sobre o Projeto de Coleta de Lâmpadas, Pilhas e Baterias da Braskem. Revista de Gestão Social e Ambiental, [S.l.], v. 3, n. 3, p. 120-136, set. 2009.

Kemerich PDC, et al. Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. Rev Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v.20, n.1, p.241-247, 2016.

SAUER, I.L. et al. Energias renováveis: ações e perspectivas na Petrobras. Bahia análise e dados, v.16, n.1, p.9-22, 2006.

UCZAI, P. Energias Renováveis riqueza sustentável ao alcance da sociedade. CÂMARA DOS DEPUTADOS, Brasília-DF, n.10, 2012.