

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS - PPGEPS

LAÍS CECCON MACHADO

CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS DE
BAIXO CUSTO

CURITIBA
2017

LAÍS CECCON MACHADO

**CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS DE
BAIXO CUSTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, da Escola Politécnica, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito à realização da Defesa para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Prof. Osiris Canciglieri Jr., PhD.

CURITIBA

2017

Dados da Catalogação na Publicação
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR
Biblioteca Central

M149c 2017	Machado, Laís Ceccon Concepção e desenvolvimento de células fotovoltaicas de baixo custo / Laís Ceccon Machado ; orientador, Osiris Caciclieri Jr. -- 2017 121 f. : il. ; 30 cm Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2017. Bibliografia: f. 98-114 1. Engenharia de produção. 2. Produtos novos. 3. Energia solar. 4. Células solares. I. Caciclieri Junior, Osiris.. II. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. III. Título. CDD 20. ed. – 670
---------------	---

LAÍS CECCON MACHADO

**CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS DE
BAIXO CUSTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, da Escola Politécnica, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

COMISSÃO EXAMINADORA

Osiris Canciglieri Junior, PhD. (PPGEPS/PUCPR - orientador)
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Marcelo Rudek, Dr. (PPGEPS/PUCPR – membro interno)
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Emerson Martin, Dr. (PUCPR – membro externo)
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Teófilo Miguel de Souza, Dr. (UNESP – membro externo)
Universidade Estadual de São Paulo “Júlio de Mesquita Filho”

Curitiba, 28 de agosto de 2017.

Dedico este trabalho a Deus, a minha
família e aos meus amigos, todos tantos
amados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo o que Ele tem me oferecido, por Ser a essência que me conduz para uma vida de amor, única e fraterna. Proporcionando-me a capacidade de aprendizado de suas obras e determinando tudo o que sou, quem tenho e o que tenho em minha vida.

Agradeço aos meus familiares por todo apoio, educação, carinho e ensinamentos. Sendo um guia de luz para mim. Especialmente por minha mãe Terezinha Elidia Ceccon Machado, meu pai Luiz Carlos Santos Machado (que já não está mais conosco) e minha irmã Luiza Ceccon Machado que me forneceram todo apoio e condição para a realização desta pós-graduação.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PPGEPS/PUCPR) pela bolsa de estudo para a realização do mestrado.

Agradeço aos meus amigos e colegas por todo suporte, compreensão e paciência em todos os momentos, especialmente meu namorado e melhor amigo Alexandre Ferreira da Cruz.

Agradeço ao meu Orientador: Prof. Dr. Osiris Canciglieri Jr., por toda oportunidade, dedicação e conhecimento fornecidos.

“Gosto de imaginar que o mundo é uma grande máquina. Você sabe, máquinas nunca tem partes extras. Elas têm o número e tipo exato das partes que precisam. Então imagino que se o mundo é uma grande máquina, eu também estou nele por algum motivo. E isso significa que você também está aqui por alguma razão”

(Filme A invenção de Hugo Cabret, 2011)

RESUMO

Nas últimas décadas, uma das maiores preocupações ambientais é o consumo de energia proveniente de métodos poluentes e agressivos à natureza e à saúde humana. Dessa maneira, vem se sobressaindo a utilização de energias renováveis, tais como a solar e a eólica. A solar é uma excelente opção dentre as energias limpas, porém os seus altos custos podem dificultar a sua implantação. Com isso aqui será apresentada uma revisão e avaliação do que está sendo estudado nos últimos anos. O foco de tal validação é verificar o que está sendo pesquisado e verificar o que vem se sobressaindo na inovação das células fotovoltaicas, considerando a diminuição de seu custo e melhoria de seu desempenho. A partir do resultado da revisão será possível verificar determinadas lacunas de pesquisa, que poderão ser aprofundadas. Será também apresentada uma proposta inovadora de célula solar (a base de tinta), testando e medindo o seu funcionamento e desempenho, além de indicar os seus benefícios e resultados, por meio de um piloto de amostras, utilizando como base o método DOE. Na sequência, por fim, será indicada uma agenda de pesquisa futura.

Palavras-chave: Desenvolvimento de Produto. Energia Solar. Delineamento de Experimentos.

ABSTRACT

In the last decades, one of the major environmental concerns is the consumption of energy from polluting and aggressive methods for nature and human health. In this way, the use of renewable energies, such as solar and wind, was emphasized. Solar is an excellent choice of clean energy, but its high costs can make implementation difficult. Thus, the review and evaluation of what is being studied in recent years will be presented. The focus of this validation is to verify what is researched and to verify what stood out in the innovation of the photovoltaic cells, considering the reduction of its cost and the improvement of its performance. From the result of the review, it will be possible to verify certain research gaps, which can be deepened. An innovative (ink-based) solar cell proposal will also be presented, testing and measuring its operation and performance, and indicating its benefits and results by means of a sample pilot using the DOE method. Finally, the future research agenda will be indicated.

Key-words: Product development, Solar energy, Design of Experiments.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Procedimentos Metodológicos.	21
Quadro 1 – Base Artigos científicos de acordo com os termos de pesquisa.	55
Quadro 2 – Escala de importância adotada	55
Quadro 3 – Número de artigos classificados pelo grau de importância.....	56
Gráfico 1 – Principais Vertentes	56
Gráfico 2 – Vertentes Secundárias (vertentes menos exploradas).	57
Quadro 4 – Temáticas por ano.....	57
Gráfico 3 – Publicações por Países	58
Figura 2 – Estrutura de uma célula fotovoltaica	59
Figura 3 – Estrutura célula solar fotovoltaica a base de tinta	60
Figura 4 – Estrutura célula solar fotovoltaica a base de tinta – vista tridimensional	60
Figura 5 – Estrutura célula solar fotovoltaica a base de tinta – Vista de cima.....	61
Figura 6 – Estrutura célula solar à base de tinta – Projeto conceitual 1.....	61
Figura 7 – Célula solar à base de tinta – Projeto conceitual 2.....	62
Quadro 5 – Amostras de cada Mistura.....	66
Figura 8 – Célula Solar à Base de Tinta – Camada 1	68
Figura 9 – Célula Solar à Base de Tinta – Camada 2	69
Figura 10 – Célula Solar à Base de Tinta – Construção	70
Figura 11 – Medição Célula Convencional de Silício	71
Figura 12 – Medição Célula Proposta à base de Tinta.....	72
Quadro 6 – Grupo de Misturas	73
Gráfico 4 – Comportamento Voltagem – Misturas de 1 a 9.....	74
Gráfico 5 – Comportamento Voltagem – Misturas de 1, 2 e 3.....	75
Gráfico 6 – Comportamento Voltagem – Misturas de 4, 5 e 6.....	75
Gráfico 7 – Comportamento Voltagem – Misturas de 7, 8 e 9.....	76
Gráfico 8 – Comportamento Voltagem – Misturas de 1, 4 e 7.....	77
Gráfico 9 – Comportamento Voltagem – Misturas de 2, 5 e 8.....	77
Gráfico 10 – Comportamento Voltagem – Misturas de 3, 6 e 9.....	78
Quadro 7 – Fatores Relacionados ao Horário - Minitab	79
Quadro 8 – Análise de Variância para Voltagem - Minitab.....	79
Gráfico 11 – Interação para Voltagem – Minitab.....	80
Gráfico 12 – Efeitos Principais para Voltagem - Minitab	81

Gráfico 13 – Gráfico de Intervalos de Voltagem - Minitab	82
Quadro 11 – Fatores Relacionados ao Clima - Minitab	82
Quadro 12 – Análise de Variância para o Clima - Minitab	83
Gráfico 14 – Gráfico de Interação Clima - Minitab.....	84
Gráfico 15 – Efeitos Principais Clima - Minitab.....	84
Quadro 13 – Fatores relacionado à Umidade - Minitab	85
Quadro 14 – Análise de Variância para a Umidade - Minitab.....	85
Gráfico 16 – Gráfico de Interação Umidade - Minitab	86
Gráfico 17 – Efeitos Principais Umidade - Minitab	87
Quadro 15 – Fatores relacionado à Temperatura - Minitab.....	87
Quadro 16 – Análise de Variância para a Temperatura - Minitab.....	88
Gráfico 18 – Gráfico de Interação Temperatura - Minitab	89
Gráfico 19 – Efeitos Principais Temperatura - Minitab	89
Quadro 17 – Fatores relacionado ao Percentual de Chuva – Minitab	90
Quadro 18 – Análise de Variância para ao Percentual de Chuva - Minitab.....	90
Gráfico 20 – Gráfico de Interação Percentual de Chuva - Minitab	91
Gráfico 21 – Efeitos Principais Percentual de Chuva - Minitab	91
Quadro 20 – Projeção Produção Larga Escala e Mão de Obra	93
Quadro 21 – Projeção Produção Larga Escala e Mão de Obra	93
Quadro 22 – Medições Células Convencionais.....	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	- Alumínio
ALTC	- <i>All-laser-transferred contacts</i>
APC	- <i>Active power curtailment</i>
a-SiOx:H	- <i>Dióxido de silício amorfo</i>
AuNPs	- <i>Nano partículas de ouro</i>
BIPV	- <i>Building integrated photovoltaics (Construção integrada fotovoltaica)</i>
CIGs	- <i>Cu(In,Ga)Se₂ (Cobre-Índio-Gálio-Selênio)</i>
CO ₂	- <i>Dióxido de carbono</i>
CPV	- <i>Concentration Photovoltaic (Fotovoltaico Concentrado)</i>
CPVT	- <i>Concentrated photovoltaic thermal</i>
c-Si	- <i>Silício Cristalino</i>
CSP	- <i>Concentrated Solar Power (Energia solar concentrada)</i>
Cu(In,Ga)Se ₂	- <i>Cobre-Índio-Gálio-Selênio</i>
Cu/ Zn/ Sn	- <i>Cobre, Zinco e Estanho</i>
CuS	- <i>Sulfeto de Cobre</i>
DBR	- <i>Distributed bragg reflector (Distribuídos reflector Bragg)</i>
DFB	- <i>Difluorobenzene (Difluorobenzeno)</i>
DPP	- <i>Diketopyrrolo[3,4c]pyrrole (Diceto-pirrólo [3,4-c] pirrole)</i>
DOE	- <i>Design of Experiments</i>
FTO	- <i>Óxido de estanho de gases fluorados</i>
GaAsP	- <i>Fosfeto de arseneto de gálio</i>
GaAsPN	- <i>Fosfeto de arsenieto de gálio dopado com Nitrogênio</i>
IMO	- <i>Indium molybdenum oxide (Óxido de índio molibdênio)</i>
ITO	- <i>Óxido de Índio-Estanho (ITO)</i>
LHAs	- <i>Harvesting assemblies</i>
LPC	- <i>Liquid-phase crystallisation (Cristalização em fase líquida)</i>
LSCs	- <i>Luminescent solar concentrators (Luminescência em concentradores solares)</i>
MILAMB	- <i>Monolithically-Integrated Laterally-Arrayed Multi-Band gap</i>
MIMs	- <i>Monolithically integrated modules</i>

MOB	- <i>Metoxibenzeno</i>
mono-Si	- <i>Bolacha de silício monocristalino</i>
MoO ₃	- <i>Trióxido de molibdênio</i>
Na	- <i>Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS)</i>
NHs	- <i>Nano holes</i>
NIR	- <i>Near-Infrared (Infravermelho Próximo)</i>
OMHPs	- <i>Organometal halide perovskites</i>
OPCs	- <i>Organic photovoltaic cells (Células fotovoltaicas orgânicas)</i>
PTB ₇	- <i>Polythieno[3,4-b]-thiophene-co-benzodithiophene</i>
PV	- <i>Photovoltaic (Fotovoltaica)</i>
PVB	- <i>Polyvinylbutyral (Polivinil butiral)</i>
QD	- <i>Quantum dots (Pontos quânticos)</i>
Si	- <i>Silício</i>
SiO ₂	- <i>Dióxido de silício</i>
SLG	- <i>Soda-lime glass</i>
SPC	- <i>Solid-phase crystallisation (Cristalização de fase sólida)</i>
STPV	- <i>Semi-Transparent Photovoltaic (Fotovoltaico semi-transparente)</i>
TiO	- <i>Óxido de titânio</i>
TiO ₂	- <i>Dióxido de titânio</i>
TPV	- <i>Thermo-photovoltaic</i>
ZnO	- <i>Óxido de Zinco</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	MOTIVAÇÃO	17
1.2	PROBLEMATIZAÇÃO	18
1.3	OBJETIVOS.....	19
1.4	JUSTIFICATIVA.....	19
1.5	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	20
1.6	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	CONCEPÇÃO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	23
2.1.1	Visão Geral.....	23
2.1.2	Células Orgânicas	35
2.1.3	Utilização de Corante	37
2.2	DESEMPENHO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	38
2.2.1	Visão Geral.....	39
2.2.2	Células Orgânicas	46
2.2.3	Utilização de Corante	47
2.2.4	Avaliação de Custos.....	48
2.2.5	Aplicação Híbrido (Fotovoltaico – Térmico).....	48
2.2.6	Desempenho por arrefecimento.....	48
2.3	REVISÃO DE CONHECIMENTO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	49
2.3.1	Células Orgânicas versus Desempenho.....	49
2.3.2	Células sensibilizadas por corantes	49
2.3.3	Aplicação com Silício	49
2.3.4	Células Solares e seus componentes.....	50
2.3.5	Estratégias, materiais e técnicas de montagem de Células Solares	50
2.4	CÉLULAS FOTOVOLTAICAS – ASSUNTOS DIVERSOS	50
2.4.1	Algoritmos.....	50
2.4.2	Análise de Custo.....	51
2.4.3	Sistemas Híbridos Fotovoltaico – Térmico	51
2.4.4	Tomada de Decisão	51
2.4.5	Energia Solar no Brasil, quais os interessados?.....	51
2.4.6	Estudo de Viabilidade com utilização de Corantes	51

2.4.7	Modelagem e Simulação	51
2.4.8	Plano de Negócio.....	53
2.4.9	Política Energética.....	53
3	ESTADO DA ARTE.....	54
4	PROJETO CONCEITUAL E CONSTRUÇÃO DA CÉLULA SOLAR	
	PROPOSTA	59
4.1	ESCOLHA DOS MATERIAIS.....	62
4.2	PILOTO	63
4.2.1	Primeira etapa: Pintura da 1º Camada - Polo Positivo	63
4.2.2	Segunda etapa: Pintura da 2º Camada – Polo Negativo.....	64
4.2.3	Inserindo o Condutor - Cobre.....	64
4.2.4	Medição do Piloto	64
4.3	ESCOLHA DAS AMOSTRAS	64
4.4	FABRICAÇÃO EFETIVA.....	67
4.4.1	Primeira etapa: Pintura da 1º Camada Polo Positivo.....	67
4.4.2	Segunda etapa: Pintura da 2º Camada – Polo Negativo.....	68
4.4.3	Inserindo o Condutor - Estanho	69
4.5	MEDIÇÃO EFETIVA.....	70
5	RESULTADOS DO EXPERIMENTO.....	73
5.1	ELABORAÇÃO DOE	73
5.2	RESULTADOS DOE.....	73
5.3	RELAÇÃO GERAÇÃO DE TENSÃO VERSUS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.....	82
5.3.1	Geração de Tensão versus Clima	82
5.3.2	Geração de Tensão versus Umidade	85
5.3.3	Geração de Tensão versus Temperatura.....	87
5.3.4	Geração de Tensão versus Percentual de Chuva.....	90
5.4	COMPARATIVO ECONÔMICO CÉLULA FOTOVOLTAICA À BASE DE TINTA VERSUS CÉLULA FOTOVOLTAICA DE SILÍCIO (CONVENCIONAL)	92
5.5	TESTE EM BRANCO E TESTE APENAS COM ALUMINA	94
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
6.1	DIFICULDADES	95
6.2	REFLEXÃO	96
6.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	96
	REFERÊNCIAS.....	98

APÊNDICE A – TABELA COLETA DE DADOS EXPERIMENTO	115
--	------------

1 INTRODUÇÃO

Desde que se observou que os tipos de captação e armazenamento de energia utilizados estavam agredindo o nosso meio ambiente, se iniciou a busca por alternativas verdes, menos agressivas ao meio ambiente. Segundo Zhang, Ying et. al (2014) o armazenamento de outro tipo de energia elétrica como um importante meio de melhorar a eficiência de utilização da mesma tem atraído grande atenção devido ao rápido crescimento do consumo de recursos energéticos fósseis, além da sua eminente escassez e agressão excessiva ao meio ambiente. O *Triple Bottom Line* (aspectos sociais, ambientais e econômicos) vem orientando esta busca, não bastando apenas ser uma alternativa ambientalmente viável como também precisa se apresentar econômica e socialmente acessível.

A energia solar se apresenta como uma ótima alternativa, visto que é abundante e apresenta praticamente zero agressão ao meio-ambiente (não é zero, considerando que para sua geração determinados materiais são extraídos da natureza). Porém, por determinadas condições ambientais (local ensolarado com forte radiação solar e temperatura amena) e de custo (utilização de matéria-prima rara) a sua implantação se torna dificultosa, ainda mais para as classes mais baixas.

Com isto, se torna necessária a verificação do que vem sendo estudado no campo de energia solar, afim de se verificar o que está sendo inovado ou otimizado. Nessas condições a proposta de uma placa fotovoltaica inovadora (forma de fabricação, captação de energia e materiais diferenciados), pode se tornar uma alternativa mais acessível. Não somente facilitando a sua implantação, mas também a sua manutenção (em termos de custos e utilização).

Acredita-se também que atingindo tal objetivo fará com que as pessoas das classes mais baixas tenham a oportunidade de reduzir o seu gasto padrão de energia elétrica.

1.1 MOTIVAÇÃO

Com o decorrer dos anos é possível observar que os recursos que nos fornecem energia, até mesmo os menos poluentes, tem se apresentado de maneira muito agressiva para com a natureza, quando não ocorre intensa poluição atmosférica, o gerador de energia necessita de uma extensa área aberta, o que

acarreta em enorme impacto para o ambiente local (flora e fauna). Fazendo com que a fauna e flora tenham sofrido diversos impactos, desregulando de maneira desenfreada o ciclo natural do planeta.

Desta maneira, a energia limpa vem sendo buscada para tentar eliminar, ou ao menos conter tal agressividade. Porém, tais alternativas têm apresentado alto custo, seja de implantação ou até mesmo de manutenção.

Com isto, a maior motivação para esta pesquisa, em primeira instância é de cunho pessoal, uma vez que ocorreu vasto interesse para com o assunto, se observando intensa oportunidade de melhoria sustentável.

Já a segunda razão, sendo esta de cunho tecnológico, se indica pela iniciativa de se aplicar temáticas gerais da Engenharia de Produção, como Desenvolvimento de Produto, Delineamento de Experimentos e Sustentabilidade em um tema que vem se tornando muito recorrente, Energias Renováveis. Visto isto, no decorrer da pesquisa foi identificada a legítima necessidade de se aplicar conceitos de otimização, para se obter um resultado balanceado e compensatório para o tripé da Sustentabilidade, contemplando assim a sociedade, podendo esta obter uma energia renovável com mais acessibilidade, a economia, que poderá girar a partir desta nova proposta (célula fotovoltaica a base de tinta) e fornecer um bom produto por um baixo custo e principalmente o meio ambiente, que não sofrerá tanto com as nossas indevidas interferências.

Outro ponto destacado é a influência fornecida pela engenharia de produção, uma vez que a principal atribuição da mesma é otimização de processos e produtos com o intuito de evitar a agressão ao nosso planeta e ao mesmo tempo fornecer o acesso à toda a população para esta nova tecnologia.

1.2 PROBLEMATIZAÇÃO

A preocupação com o consumo excessivo das energias fósseis, faz com que haja uma assídua procura por alternativas limpas que não emitam tanta poluição atmosférica. Uma delas é a energia solar, por meio de células fotovoltaicas. Apesar de se apresentar uma excelente opção, pois não emite gases de nenhum tipo e é totalmente renovável, os seus custos e acesso à sua implantação podem dificultar a sua expansão.

Para isto é necessário conceber novos meios de sua fabricação, seja por um método inovador, por meio da otimização dos seus parâmetros ou até mesmo a substituição dos seus componentes (tais como os mais raros, ou mais caros, como o silício, por exemplo) por outros mais acessíveis e de menor custo. Desta forma tal pesquisa se apresenta com o seguinte questionamento: “É possível desenvolver uma célula fotovoltaica de baixo custo?”.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é a concepção e desenvolvimento de uma nova proposta célula solar fotovoltaica. Para tanto foi necessária uma análise da evolução e otimização das placas fotovoltaicas já existentes, tal ação forneceu subsídios para a elaboração da proposta em questão (considerando o seu custo *versus* benefício, a otimização da sua produtividade e sua acessibilidade à população). Para que este objetivo fosse atingido a pesquisa foi dividida nos seguintes objetivos específicos:

- Buscar na Literatura conhecimento referente à evolução da construção de placas fotovoltaicas, à otimização das placas fotovoltaicas já existentes e aos materiais que vem sendo utilizados na construção e otimização de novas e já existentes placas fotovoltaicas;
- Projetar, desenvolver e construir um novo conceito de placa fotovoltaica considerando custo reduzido, otimização e principalmente acessibilidade;
- Avaliar a placa fotovoltaica desenvolvida por meio de um estudo de caso.

1.4 JUSTIFICATIVA

Como se observou no tópico de Motivação para esta pesquisa, a Justificativa se apresenta com a mesma postura, apresentando as seguintes fases, efetuando a revisão de literatura se obtendo as lacunas de pesquisa e inovação em Células Fotovoltaicas:

- Com as lacunas definidas foi possível desenvolver uma proposta.
- Considerando que o protótipo servirá para:
 - Diminuir a agressão para com a natureza;
 - Reduzir custos de fabricação (Empresa);
 - Reduzir custos de investimento; (Cliente final);
 - Acessibilidade de materiais para produção;

- Acessibilidade de procedimento e tecnologia;
- Geração de energia limpa, com uma capacidade rentável e completamente comparável às células convencionais.

Desta forma, se apresenta a importância da temática desta dissertação.

1.5 METODOLOGIA DE PESQUISA

Para a elaboração deste trabalho foi considerada uma Revisão de Literatura combinada com um Desenvolvimento Experimental.

De modo geral, a Natureza da pesquisa é aplicada, considerando o fato de que houve um acompanhamento efetivo da proposta apresentada. A abordagem é qualitativa, uma vez que a partir da Revisão de Literatura indicada, por meio do seu compilador, foi possível propor o desenvolvimento de uma nova célula fotovoltaica.

O objetivo da pesquisa é científico exploratório, na categoria de pesquisa experimental, uma vez que está sendo desenvolvido e testado um protótipo. Sendo assim foi possível uma aplicação da proposta apresentada, de forma qualitativa (apresentando uma situação única, desenvolvimento de um novo produto, atividade de objetivo único), descrevendo todas as etapas (fases) necessárias para a finalização de tal atividade.

Na Figura 1 está indicado o procedimento técnico das etapas de pesquisa, assim como a ordem de execução das mesmas.

Figura 1 – Procedimentos Metodológicos.



A etapa 1 indica a elaboração da base teórica de pesquisa. Nela foram apresentadas as formas de concepção, desempenho, revisão de literatura e assuntos diversos que tangem ao tema Células Fotovoltaicas. As etapas 2 e 3 se apresentaram no mesmo nível de desenvolvimento uma vez que a concepção da nova célula solar e o delineamento de experimentos foram executados em paralelo. Ao passo que o experimento foi desenhado, as células foram sendo projetadas e construídas. A medição das amostras ocorreu para teste dos protótipos e para alimentar os dados que seriam avaliados estatisticamente. Os resultados foram considerados para comprovação de funcionamento e definição do ponto ótimo de construção. Por fim, na etapa 4 foram indicados os testes e comparativos (entre célula solar proposta e convencional), além da avaliação dos resultados gerais e considerações finais da pesquisa.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Neste tópico é apresentado como o documento se divide. De maneira geral, o mesmo é composto por seis capítulos, indicando as seguintes informações:

- Capítulo 1 - Introdução:

São indicadas a contextualização, motivação, problematização, objetivos, justificativa, metodologia de pesquisa e estrutura do documento. Para alinhar o leitor de acordo com a temática que será apresentada.

- Capítulo 2 - Fundamentação Teórica:

São apresentados e explorados de maneira resumida todos os artigos que foram utilizados como base para esta dissertação, os separando em blocos por temas. Dentre eles se destacam a concepção, desempenho e revisão de literatura para as Células Fotovoltaicas, além de um tópico extra que indica assuntos diversos, que apareceram com menor recorrência como produto do filtro utilizado nesta pesquisa.

- Capítulo 3 - Estado da Arte:

É apresentada a metodologia utilizada para pesquisa, filtro e escolha dos artigos utilizados. O resultado deste tópico é apresentado em números, indicando a recorrência e importância dos temas base para esta dissertação.

- Capítulo 4 - Projeto Conceitual e Construção da Célula Solar Proposta:

Neste tópico é apresentado o projeto conceitual da Célula Fotovoltaica proposta, além de indicar quais os materiais foram escolhidos e como se deu a fabricação e teste da célula piloto e a fabricação e medição das células efetivas, que foram utilizadas e consideradas no Delineamento de Experimentos.

- Capítulo 5 - Resultados do Experimento:

São indicadas as etapas de elaboração do Delineamento de Experimentos, apresentando os produtos das medições (dados estes que alimentaram a avaliação a ser executada). Indica-se os resultados finais estatísticos além de dados comparativos entre a célula proposta versus a convencional.

- Capítulo 6 - Considerações Finais:

No último tópico são apresentadas as dificuldades, reflexões e sugestões para trabalhos futuros. Respondendo ao questionamento inserido no primeiro capítulo, concluindo assim esta dissertação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste item serão apresentadas as revisões de literatura de acordo com as vertentes resultantes da pesquisa efetuada e da avaliação dos artigos escolhidos. Cada sub tópico representa a revisão específica de tal vertente. Sendo estas subdivididas em concepção, desempenho e revisão de conhecimento no tema Células Fotovoltaicas. Além, de um tópico adicional de assuntos diversos, compilados a partir da pesquisa efetuada.

2.1 CONCEPÇÃO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A vertente denominada Construção se subdivide em: Geral, Célula Orgânica e Utilização de Corante. Na qual, a subdivisão Geral se refere à métodos genéricos de construção e alteração de um projeto pré-estabelecido de placa fotovoltaica.

2.1.1 Visão Geral

Muitas técnicas e métodos são utilizados para se construir ou melhorar a forma física de uma placa fotovoltaica, dentre elas podemos destacar, a proposição de um novo conversor, com três ativas Z-redes, em que apenas um interruptor é utilizado. Podendo este chegar a uma voltagem de alto ganho e cumprir muito bem o requisito rigoroso da indústria, que rege em torno da energia limpa (Zhang et al., 2015). Outra possibilidade é se obter uma rota eletroquímica de nano compósito óxidos de Cu/Zn/Sn semicondutores, fabricada em um vidro de flúor dopado com óxido de estanho. Avaliações indicam que a sob irradiância de luz, a transferência de carga e a resistência diminuem e a corrente catódica se apresenta otimizada (LASHGARI; SHAFIZADEH; ZEINALKHANI, 2015).

Já em Wang et al. (2014) é apresentada a utilização de uma fina banda larga micro óptica difratória estruturada, capaz de separar a incidência da luz, mas também concentrá-la em uma única junção absorvedora. Neste caso, se observa um aumento de 20% do total de energia elétrica. Porém, González-Pérez et al. (2015) propõe um catalisador polimérico, que se utilizado aos vidros convencionais.

Lee et al. (2014a) propõe a utilização de um sistema de laser de tabulação. Em Yu et al. (2014) se indica a possibilidade de utilizar de um concentrador parabólico,

evitando a perda de captação de energia, além de se utilizar de apoio de sombreamento para evitar o aumento do calor. Para concluir e confirmar sua proposta foram efetuadas simulações por meio de um software e experimentos em condições reais. Em ambos os casos o concentrador se apresentou uma ótima opção para melhorar o desempenho das placas fotovoltaicas. Já Obara et al. (2014) estudam a energia fotovoltaica bifacial, tal investigação tem por objetivo reduzir a quantidade de silício utilizado e aumentar a eficiência de conversão de energia. Davidsen et al. (2016) relatam a fabricação de uma nano estrutura dopada por um laser emissor remoto, contando com a indução da luz das placas de Ni e Cu. Como resultado se observa uma eficiência de conversão de potência correspondente à 18,1%. Lin et al. (2015) indicam o desenvolvimento de uma ligação de banda larga CaTiO QC NIR3:Yb3+,Bi3+ phos- phor. Como resultado se observa uma conversão eficiente de energia, além de uma melhoria considerável no desempenho de células solares à base de silício.

Lin et al. (2014b) investigam os parâmetros ópticos e elétricos de células solares fotovoltaicas. O objetivo é avaliar quais as influências que as estruturas físicas da placa podem interferir nas perdas de desempenho de tais parâmetros. Já Zhou et al. (2014) investigam a metalização das placas fotovoltaicas. Em seu trabalho é apresentado um revestimento de níquel. Observa-se um aumento de eficiência, tal resultado demonstra o potencial promissor de luz de laser e tecnologia de galvanização induzida por células solares cristalinas dopado. Spencer et al. (2014) apresentam a introdução de um novo material, que demonstra uma grande promessa para incorporação em uma camada absorvente *near-infrared* (NIR) para aumentar a eficiência da captação em células fotovoltaicas. Painéis solares são avaliados de acordo com suas respectivas configurações e componentes (concentradores, refletores, espelhos e prismas). Para tanto cada configuração de concentrador ou refletor é avaliado individualmente por meio da medição da potência de saída testada sob a luz do sol, durante um dia todo (LIM et al., 2014).

Liu et al. (2014b) indicam que o aumento no comprimento molecular de banda estreita conjugada de cromóforos, pode apresentar potenciais benefícios, tais como nas propriedades ópticas e eletrônicas, na estabilidade térmica e alta eficiência de conversão (quando integrados à células solares orgânicas, por exemplo). Em Jiménez-solano et al. (2015) se apresenta um protótipo de um módulo fotovoltaico que combina um concentrador solar luminescente e uma integração unidimensional de cristais no plano de Cobre disseleneto de índio e gálio (CuInGaSe₂ CIGS) da célula

solar. O protótipo apresenta um bom custo benefício, além de apresentar a possibilidade de fabricação em larga escala. Em Li et al. (2015b) é proposta a síntetização de uma p-molécula em forma de estrela. Como resultado se observa que apesar do fraco desempenho termomecânico, tal estudo indica uma estratégia de design molecular eficaz que pode permitir realizar ampla absorção. Em Rolland et al. (2014) é apresentado um estudo abrangente de alta eficiência de células solares cultivadas em um substrato de silício usando gálio arsenieto de fosfeto dopado com Nitrogênio (GaAsPN) como camada absorvedora. Como resultado se observa que ainda existem diversas possibilidades de melhoria na eficiência de tal célula. A otimização do material ainda se faz necessária, para aumentar a vida útil do dispositivo.

Kang, Cho e Lee (2015) apresentam um projeto para melhorar a estrutura de textura de absorção da luz em células fotovoltaicas. Para tanto é indicada uma ligação de estrutura de armadilha que pode ser aplicada para a construção integrada de células, que independem de receber a luz de maneira assimétrica. Já em Jiachen, Lee e Lee (2015) é relatado o design e o desempenho de uma conexão de banda larga para um revestimento de sistema dicróico de conversão de energia solar. Por conta de sua disposição, permite facilmente um sistema híbrido (fotovoltaico térmico). Em Myong e Jeon (2015) se apresentam conceitos de design desenvolvidos combinando a transparência de contatos de retorno e técnicas de sequencialidade em laser. É indicado também que módulos do tipo híbrido com luz de cor azul foram obtidos utilizando o filme de *polyvinylbutyral* (PVB), este apresentando o melhor cenário de resultado. Em Nomura, Kikuchi e Nakano (2014) se propõe uma alimentação de energia fotovoltaica para um sistema autônomo, fornecendo geração elétrica e funções de intensificação de tensão em um único chip de silício. Dois tipos de células solares são incorporadas no sistema para melhorar a sua eficiência de energia. É avaliada também a operação de três estágios da bomba de carga, por meio de um sinal de relógio externo.

Foi verificado também a apresentação de um projeto de módulo de baixa concentração fotovoltaica, os primeiros experimentos e a versão industrial foram indicados também. Tal produto se trata de um refletor de alta aceitação angular, permitindo a coleta de uma grande fração da luz, proporcionando alta irradiância normal direta e real eficiência em condições operativas (ANTONINI; BUTTURI; ZURRU, 2015).

Em Kim et al. (2015) se investiga as condições de deposição para fazer um a-SiOx:H, com o objetivo de se obter um material ótimo. Verifica-se que com propriedades opto eletrônicas favoráveis, o mesmo pode ser obtido quando depositado utilizando taxas baixas de emissões de CO₂ de fluxo e pressões de deposição. Avaliando-se tais condições se verifica que é possível obter alta eficiência. Blévin et al. (2014) apresentam duas simplificações de processos em um componente traseiro bifacial difundido em células solares. Tais processos apresentam excelentes resultados, tais como diminuição do número de etapas térmicas elevada, facilitando uma possível fabricação em escala industrial.

Harvey et al. (2015) indicam uma abordagem de questões fundamentais sobre a distribuição espacial de cloro no material absorvedor, após um tratamento comparável às práticas industriais. Já Yunyun, Gang e Longcan (2014) indicam que em células solares existe uma camada de ar entre a tampa de vidro e as células, para minimizar a perda de calor. Tal estrutura lança sobre a célula uma sombra, o que pode atrapalhar a captação de luz. O objetivo de seu estudo foi determinar os efeitos de uma sombra sob um sistema fotovoltaico. Para tanto um modelo matemático é determinado. Tait et al. (2016) indicam a implementação de um método de linha de transmissão para análise da camada fotoativa em módulos fotovoltaicos. É verificada também a influência de trióxido de molibdênio (MoO₃) no sistema, exibindo um aumento substancial na resistência em série e diminuição no desempenho de tal dispositivo. Além disso, para atingir o mais alto desempenho possível, deve ser considerada a remoção de camadas interfaciais que são aplicadas na camada de fotoativa da célula. Em Benedetto et al. (2014) se propõe o cultivo de filmes finos de pratas, para aplicação em células fotovoltaicas, tal uso se apresenta diferenciado, visto que os materiais possuem matéria-prima de baixo custo e baixa toxicidade. Para Budiman et al. (2014) se apresenta a importância do estudo de tração e fratura do silício em células solares cristalinas. A natureza das trincas do silício, indicam que o controle do estresse mecânico é a chave para permitir o avanço das tecnologias de células solares de silício fino nos próximos anos. O estudo da qualidade do silício cristalino contribui diretamente para os esforços da indústria em reduzir o custo de sistemas fotovoltaicos. Em Wu et al. (2014) é apresentado o desenvolvimento de um método versátil e confiável, que combina a inclinação do conjunto cristal com deposição de metal coloidal e as nano estruturas semicondutoras. Tal método possui

as vantagens de baixo custo e alta saída de amostra e sendo compatível com processo industrial.

Em Müller et al. (2014) se investiga a alta e a baixa dose de implantes para a área metalizada além de um material que seja eficaz e passivo para a área que receberá posteriormente um forno de recozimento. Os resultados experimentais demonstram que a implantação de íons seletivos de emissores de boro é compatível com a tecnologia de impressão de tela industrial e permite alta eficiência. Para Lan e Green (2015) existe a necessidade em se estudar a aplicabilidade da técnica de análise espectral e da eficiência quântica interna no desenvolvimento de células solares. Para tanto tal estudo é reavaliado tendo em vista a evolução nos últimos anos como um meio de determinar as propriedades ópticas e elétricas da célula. Em Gollmer et al. (2014) se indica que células solares orgânicas são uma boa opção se comparada às células solares convencionais, visto seu baixo custo de produção. Porém, as mesmas podem ser ainda mais melhoradas com a proposta indicada de uma possível combinação com nanoestruturas semicondutoras metálicas, com o fim de se melhorar as propriedades ópticas e de absorção da luz. Para Paternoster et al. (2015) o silício é ainda um material interessante para o desenvolvimento de *Concentration Photovoltaic* (CPV), se trabalhado em baixa gama de concentração média. Para tanto em seu estudo se descreve a modelagem, o design e a tecnologia de fabricação e caracterização funcional de uma pequena área de silício para uma célula solar adequada. Em Shen, Wang e Green (2014) é validado uma boa visualização de defeitos locais. Em tal estudo se propõe uma técnica rápida para efetuar tal verificação, se referindo a superfície frontal, o emissor e a junção. Os resultados experimentais mostram que o método alcançado, apresenta uma clara separação de diversas células, ajudando a otimizar o processamento de células e o desenvolvimento de técnicas. Para tanto, um grande número de células comerciais foram testadas e tal método apresenta um excelente funcionamento em todos os casos.

Li et al. (2015c) investigam as propriedades ópticas de *terpolymers*. Indica-se que é possível que os mesmos sejam controlados pelo ajuste da relação entre *difluorobenzene* (DFB) e *diketopyrrolo[3,4c]pyrrole* (DPP). Tal estudo demonstrou que alterações significativas em propriedades eletrônicas de polímero podem ser ajustadas pela combinação de estratégia simples de elétrons de monômeros e sua composição no *terpolymers* aleatório. Em Kaltenbrunner et al. (2015) se indica que a

tecnologia fotovoltaica requer materiais de absorção de luz que são altamente eficientes e leves, de baixo custo e estáveis durante a operação. Para tanto se propõe a utilização de *perovskites*, sendo estes constituintes de uma classe de materiais altamente promissor. Desta forma é apresentada uma fina camada, altamente flexível em *perovskites*, para células solares, apresentando uma estabilização de 12% das anomalia.

Em Kumar, Shrivastava e Untawale (2015) é indicado o uso um *Concentrated Solar Power* (CSP), tecnologia esta que é capaz de atender a demanda atual. Para tanto a necessidade de uso de um refletor ou espelho em CSP contribui com 50% do custo total de instalação, desta forma o investimento inicial e os custos do ciclo de vida se apresentam como o principal desafio desta tecnologia. Em Glen et al. (2015) é indicado o estudo da degradação de produtos orgânicos de células solares quando expostos a um ambiente de alta umidade. Dois efeitos óbvios foram causados por tal exposição: anulação da interface de alumínio e de cálcio e uma grande bolha como saliências na superfície superior. A importância de minimizar a entrada de água nos dispositivos através de tubos catódicos de projeto e escolha de materiais é indicada. Em Chien et al. (2015) é indicada a Integração de dispositivos de conversão e armazenamento de energia, sendo este um caminho viável para obter auto alimentação de sistemas eletrônicos, para que os mesmos tenham longo prazo operação, isenta de manutenção. No estudo é demonstrado um sistema integrado de energia, que consiste em uma sequência de células fotovoltaicas orgânicas conectadas em série (*organic photovoltaic cells* - OPCs) e super capacitores de grafeno em um único substrato. O resultado se apresenta mais leve e mais flexível estrutura. Para Olivieri et al. (2015) é considerado que as tendências de arquitetura moderna visam uma utilização extensiva de elementos de vidraças em prédios, sendo estas necessárias para minimizar a demanda de energia externa, diminuindo a energia necessária e cobrindo a demanda residual usando soluções de geração de energia local. No estudo é indicada a integração de sistemas fotovoltaicos, *Semi-Transparent Photovoltaic* (STPV). Elementos estes que parecem apresentar um potencial de poupança de energia promissor, levando a uma redução significativa do aquecimento e arrefecimento e cargas de iluminação enquanto a produção de eletricidade no local é fornecido.

Em Ma et al. (2014) se indica que componentes ópticos secundários individuais em um concentrador solar de divisão espectral, utilizando uma matriz de microlente

exigem várias células fotovoltaicas, que leva à complexidade do alinhamento do sistema e um alto custo. A fim de melhorar a integração da *photovoltaic* PV, um gerenciamento térmico e de células de um concentrador de divisão espectral acoplado ao guia de luz, com duas camadas é proposto. Os resultados mostram que esse concentrador solar mantém um bom ângulo de aceitação de ± 2 graus no sentido leste-oeste e um ângulo aceitável de ± 14 graus no sentido perpendicular em ambos os espectros de baixa e alta concentração. Para Ong et al. (2014) a síntese de dióxido de titânio (TiO_2) é atualmente uma das áreas de investigação interdisciplinares mais ativas. Este progresso constante tem demonstrado que os compósitos à base de TiO_2 estão desempenhando um papel indispensável na remediação ambiental e na busca de tecnologias de energia limpas e renováveis. Os avanços contínuos na síntese e modificação de TiO_2 trouxe novas propriedades fascinantes com melhor desempenho. Tal síntese apresenta um papel crucial na fabricação de materiais de alta qualidade com propriedades de superfície bem definidas.

Cocilovo et al. (2015) apresentam a simulação exclusiva de uma janela com texturização de filmes, que capturam a radiação solar. Tais filmes são ideais para alimentar o vidro retrovisor eletro cromado. Para tanto é projetado um modelo transparente com filmes de textura, capaz de fornecer energia para tal janela. Em Cheng et al. (2014) as propriedades elétricas de polímeros de células solares, com *gold nanoparticles* (nano partículas de ouro, AuNPs) incorporados em camadas de transporte são investigados. Indica-se que tal ação apresentou um aprimoramento de 22% em densidade de corrente de curto-circuito, tensão em circuito aberto e conversão de energia com melhor eficiência. Em Kechiantz, Afanasev e Lazzari (2013) se indica a procura de uma estrutura prática para aplicação de pontos quânticos (*quantum dots* - QD) em células solares, com o objetivo de reforçar a sub-gap de banda de absorção de fótons. Para tanto é proposta uma nova estrutura com GaSb/GaAs tipo II absorvedor QD, incorporado na região dopada com p de célula solar ideal. É então desenvolvido um modelo e utilizado o princípio do equilíbrio detalhado juntamente com as equações de continuidade e de Poisson para o cálculo da banda de energia, juntamente com a eficiência de conversão da célula. Para Khanna et al. (2015) a maior parte das instalações industriais com células solares de bolacha de silício mono cristalino (mono-Si) são metalizadas por impressão de tela. Pastas de prata (Ag) são comumente usadas para eletrodos de forma dopada com fósforo np Si. No entanto, ainda há ambiguidade sobre a influência da pirâmide

aleatória de textura de superfície na impressão de contatos. Para tanto é apresentado um estudo para investigar esta influência usando a tela de impresso tipo p-mono-Si em grupos de células fabricadas com uma variação no processo de texturização controlada na superfície alcalina.

Em Deprédurand, Bertram e Siebentritt (2014) é demonstrado que a atividade de selênio durante o crescimento de amortecedores, pode ser benéfico para a células solares. Já em Huang et al. (2015) indicam a integração de um nano cristal, utilizado como sensibilizador espectral, em filmes finos. No caso, o nano cristais, incorporados em uma matriz ativa eletricamente óxido de zinco (ZnO), forma um nano compósito, oferecendo o controle de ambos os pontos de absorção espectral.

Axelevitch et al. (2015) indicam que células solares feitas de um único silício cristalino, como fonte de energia alternativa, se tornou a mais utilizada célula solar, nos últimos anos. No entanto, a conversão direta da energia solar em eletricidade usando o efeito PV sofre de baixa eficiência. Desta maneira, aumentar a eficiência de conversão e diminuir os custos de produção, se tornou o principal objetivo dos fabricantes de célula solar. Para tanto o estudo apresenta um novo conceito geométrico de estrutura de pino para aplicações em PV. Em Yoon et al. (2015) é apresentada a redução no consumo de material de silício no setor fotovoltaico, com o objetivo de redução de custos. Com isto foi desenvolvido um silício cristalino (c-Si)

ultrafino com espessura inferior à 120 nm, para aplicação em célula solar, se apresentando como uma boa opção para se reduzir o custo de produção dos módulos. Porém, o c-Si sofre com o fenômeno de arqueamento, que ocorre após o processo de sinterização térmica entre o silício e o alumínio, devido às suas propriedades distintas.

Em Tien e Chu (2014) é apresentado um *distributed Bragg reflector* (DBR) com alto desempenho, fabricado utilizando óxido de índio e estanho (ITO), material proposto para armadilhas de luz, em células solares de filme fino. Indica-se que o elevado índice de refração do filme de ITO foi alcançado pela técnica de longa distância de rádio frequência catódica. Por fim foi demonstrada a condutora DBRs formada por empilhamento de ITO e bicamadas lipídicas em temperaturas ambiente. Zhao et al. (2015) apresentam o desenvolvimento da célula de SiGe, específica ao abrigo de uma célula Arsenieto de gálio fosfeto (GaAsP), podendo esta chegar à 34% de aumento da eficiência, em células solares de silício. Para tanto, o estudo se concentra em criar uma célula inferior à SiGe. Por meio de métodos numéricos e analíticos, foi possível verificar o desempenho de tais células e examinar o *trade-off*

entre desempenho, estrutura celular e material. Em Huang et al. (2015a) são estudadas as propriedades de defeito tanto em filmes de cristalização de fase sólida (*solid-phase crystallisation* - SPC) quanto em filmes de cristalização em fase líquida (*liquid-phase crystallisation* - LPC), sendo ambos comparados entre si. Os resultados indicam que os filmes criados por LPC apresentam menor grau significativo de densidade de defeitos, após a sua cristalização.

Muhammad-Sukki et al. (2014) apresentam um novo tipo de concentrador solar, por meio da utilização de um espelho simétrico, totalmente dielétrico. Tal concentrador foi concebido de modo a satisfazer os objetivos de proporcionar o máximo ganho de produção elétrica, reduzir a quantidade de material necessário à célula, e a minimização de custos do sistema. Tal concentrador proposta é capaz de ter dois diferentes ângulos de aceitação, em diferentes planos. Em Puglisi et al. (2015) é apresentado um processamento, que tem por objetivo reduzir os custos de fabricação de materiais para células solares, transístores, memória e muitos outros dispositivos. A maioria dos trabalhos de processamento de solução até agora tem sido dedicada a materiais orgânicos, porém tal estudo apresenta uma abordagem focada em silício nano estruturados. Tais resultados demonstram que o método apresentado, pode ser extremamente promissor para aplicações em células solares, e pode ser representado como base para a próxima geração destes dispositivos. através de mo- ácido ylic anchor mostrando uma melhor conversão geral.

Em Caselli e Ning (2015) é relatada, por meio de relatórios e comentários, quais os últimos progressos em projeto e fabricação de células solares do tipo *Monolithically-Integrated Laterally-Arrayed Multi-Band gap* (MILAMB). No caso, a essência de tal conceito é fabricar várias células, simultaneamente em um único substrato, usando uma composição de liga de semicondutores nano fios para simplificar o processo, cortando assim os custos e eventualmente atingindo os níveis elevados de eficiência. Chen et al. (2015a) indicam a utilização de um *Building integrated photovoltaics* (BIPV) como uma importante aplicação futura. A proposta gira em torno da melhoria na concepção de difusão da janela solar, por meio de uma estrutura de três camadas de vidro com nano partículas de TiO₂. Os principais parâmetros de projeto foram a espessura do vidro e a concentração das nano partículas fabricadas. Os resultados da simulação sugerem uma maior espessura do vidro. Em Geisler et al. (2015) é discutido os processos usados na criação de laser de onda contínua, para aplicações em células solares, assim como se discute também a

utilização de um emissor remoto chapeado Ni-Cu. Tal estudo apresenta uma nova sequência de processo, com base na formação de um emissor remoto profundo, usando um laser verde contínuo e uma sequencialidade dielétrica por meio da utilização de um laser pulsado em nano segundos.

Back et al. (2014) apresentam uma nano estrutura preparada pela litografia ultravioleta, baseada em nanopartículas de sílica. Tal material permite um aprisionamento de luz altamente eficaz, tanto para células solares de filme fino quanto às de vidro, considerando também uma preparação de cristais fotônicos 2D, para comprimentos de telecomunicações. Em Meng et al. (2015) se indica que a utilização de solventes halogenados em polímeros fotovoltaicos é necessário, porém, podem ser prejudiciais ao ambiente. Para tanto é proposta uma abordagem inovadora, para desenvolver polímeros fotovoltaicos adequados para o processamento de solventes não halogenados. Desta forma, se indica que polímeros processados com metoxibenzeno (MOB) apresentam melhor desempenho do que os de dispositivos fotovoltaicos processados com solventes halogenados comuns. A conversão de energia alcançada é de 2,11% para MOB se comparado às 0,9% dos comuns. Wen et al. (2015a) descrevem a integração estratégica eletro-óptica, que combina funcionalidades de sistemas fotovoltaicos (PV), geração de eletricidade e filtragem de cores. O filtro proposto difere dos convencionais, à base de pigmento, se utilizando de uma transmissão de alumínio (Al) eletrodo traseiro perfurado com *nano holes* (NHs). Os resultados apresentados podem lançar alguma luz sobre a expansão da utilização de geração de eletricidade em toda nova geração elétrica e dispositivos de economia de energia. Raniero et al. (2014) se preocupam com a concepção, a produção e a caracterização de uma série de filtros dicróicos. Tais filtros são criados pelo PVD magnetron reativo catódico, por meio da obtenção de dióxido de silício (SiO₂) e TiO₂. A aplicação de dicróicos em sistemas fotovoltaicos de concentração, é capaz de separar a radiação solar em duas bandas espectrais ópticas.

Maclachlan et al. (2015) apresentam a sintonização molecular de metal xanthate e seu precursor, e a sua influência em uma hetero junção de híbrido de poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) (P3HT)/CdS. Como resultados são observados processos químicos e o desempenho geral de células solares híbridas. Uma combinação transitória por espectroscopia de absorção e fotovoltaica é indicada e as medições de desempenho do dispositivo são usadas para mostrar o complexo equilíbrio necessário entre carga de fotogeração e os domínios para efetivamente

extrair os encargos para maximizar a eficiência de conversão. Em Borrego et al. (2014) é apresentado um design, modelagem, materiais e fabricação de dispositivos, resultados da escala de módulos de *wafers monolithically integrated modules* (MIMs) em série, interconectadas com GaSb *thermo-photovoltaic* (TPV), células estas cultivadas com 50 mm de diâmetro semi-isolantes de substratos de GaAs (SI). A vantagem de se utilizar este sistema é que ele traz a possibilidade de diminuição da resistência interna da célula PV. Wang, Carlson e Gupta (2015) apresentam o processo de fabricação de *all-laser-transferred* contacts (ALTC), em wafers de silício cristalino. Sendo este bastante simplificado. Apresentando uma transferência na parte dianteira e traseira e a utilização de lasers nas células. Blösch et al. (2013) comparam uma alternativa de fonte a partir de uma camada n-dopada, com as convencionais utilizadas, compostas por *soda-lime glass* (SLG), substrato de vidro. Indica-se que para a n-dopada existe baixa mobilidade, em vista da SLG, que pode se apresentar mais dependente da temperatura.

Em Espinosa et al. (2015) é apresentada uma análise do ciclo de vida e uma análise de impacto ambiental em células solares à base de chumbo perovskita. Para tanto foi desenvolvido um inventário de todos os componentes utilizados na construção destes dois dispositivos. Conclui-se que atualmente não existem razões exatas para se descartar a utilização de perovskita à base de chumbo. Bai et al. (2015) apresentam uma fotoirradiação induzida p e n, por meio de hetero junção em naftilamina biológicas com células fotovoltaicas, onde naftilamina como um típico de semicondutores do tipo p poderia ser oxidada sob fotoirradiação e transformado numa nova semicondutora com características do tipo “n”. Os resultados mostram que a eficiência de conversão de potência e eficiência dos dispositivos podem ser facilmente aumentadas. Griffini, Levi e Turri (2015) indicam o efeito de diferentes parâmetros no dispositivo o no comportamento fotovoltaico, além da luminescência em concentradores solares (*luminescent solar concentrators* (LSCs)). Indica-se que a concentração de corante e a espessura do filme LSCs tem efeito sobre a resposta óptica do dispositivo. A rugosidade da superfície traseira do refletor também desempenha papel fundamental na eficiência da célula e pode também aumentar a potência isotrópica. Em Li et al. (2014d) é indicado um novo conceito para a produção em grande escala de solução biológica, para aplicações em células solares. O design e a utilização de materiais compósitos ternários em camadas ativas e o módulo de laser baseado em processamento são avaliadas. A combinação de PEDOT:PSS

HIL3.3 e ZnO foi comprovada para agir como um meio eficaz, que possibilita um desempenho confiável à uma baixa temperatura de secagem no ar.

Em Pop et al. (2014) é indicado o estudo de filmes finos, com espessura na faixa de 30 nm cultivados por evaporação térmica de silício. Os resultados divulgam um caráter óptico sintonizável constante da porfirina, que pode ser empregada na concepção e melhoria de dispositivos de painéis fotovoltaicos. Eid et al. (2015) exploram a dinâmica portadora de carga nas camadas absorvedoras de Cu (In,Ga) Se₂ (CIGS), com concentrações variáveis de Na. Apresenta-se evidência direta para alongamento da vida útil do transportador através da incorporação na CIGS. Em Lu e Yu (2014) se apresenta o desenvolvimento de células solares de polythieno [3,4-b]-thiophene-co-benzodithiophene (PTB₇). Discute-se os detalhes básicos, a relação da propriedade e estrutura e o estudo da morfologia, engenharia interfacial e nano materiais orgânicos. Merdes et al. (2014) indicam a viabilidade de deposição de camada atômica de Zn(O,S), cultivada em amortecedores Cu(In,Ga)(Se,S)₂, para fins de comercialização. Indica-se também que a presença de sódio na superfície do absorvedor, pode desempenhar um papel crítico no crescimento de Zn(O,S), se tornando um fator que dificulta a homogeneidade e reprodutibilidade. Sharaf e Orhan (2015) e Sharaf e Orhan (2015) apresentam um estudo abrangente sobre os sistemas fotovoltaicos térmicos concentrados (*Concentrated photovoltaic termal* - CPVT). Considerando o *design*, os avanços tecnológicos nos componentes solares (células, coletores, concentrador, mecanismo de rastreamento, energia fotovoltaica concentrada e sistemas solares térmicos), além da cobertura completa dos estudos CPVTs 'publicados, áreas de aplicação, avaliação de desempenho, iniciativas comerciais e as perspectivas de pesquisa. Em Sardar et al. (2015) se investiga o PbS-ZnO em light montagens de colheita (*harvesting assemblies* - LHAs), item este que pode levar a energia fotovoltaica eficiente. É indicado que a ultra-rápida foto indução dos processos fundamentais, separação de carga e recombinação de carga na interface semicondutora são fatores essenciais para a dupla aplicação de LHAs.

Khan et al. (2014) indicam a utilização de nano cristais cúbicos, com pontos quânticos pontos sintetizados, para a utilização em células solares de película fina. Tal aplicação apresentou especial melhoria na eficiência da placa. Karg et al. (2015) avaliam os recentes desenvolvimentos na síntese coloidal, funcionamento e montagem com foco em estruturas que fornecem a gestão de luz em energias fotovoltaicas. Foi possível distinguir entre os efeitos ópticos relacionados com as

propriedades de partículas individuais, bem como os efeitos ópticos coletivos. O foco se deu em eletrodos estruturados, por conta de sua dupla funcionalidade como sistemas de captação de luz e eletrodos condutores.

2.1.2 Células Orgânicas

Existem métodos e técnicas de construção e alteração próprios para células fotovoltaicas orgânicas, desta forma podem ser destacadas as seguintes indicadas.

Qian-Qian, Qiao-Shi e Fu-Jun (2014) apresentam um método de encapsulamento de dispositivos opto eletrônicos orgânicos com para filme, baseado em polímero ternário para células solares. Como vantagens se verifica o baixo custo e a compatibilidade com dispositivos flexíveis.

Em Dijk et al. (2015) se indica que as técnicas de aprisionamento da luz indicadas (concentrador parabólico em V, quadrados, hexagonais e circulares, se utilizando da prata como matéria de absorção), assim como a diminuição de sua espessura da placa, podem se apresentar com uma excelente opção para uma provável melhoria em células solares orgânicas. Já em Vishwanathan et al. (2015) é avaliado um concentrador já existente, para que o mesmo possa ser inserido em um poste de iluminação exterior. Os materiais luminescentes podem ser corantes fluorescente orgânicos, fósforos inorgânicos ou pontos quânticos. A luz absorvida é reemitida em comprimentos de onda mais longos, e uma fração da luz emitida. Em Kang et al. (2014) são investigadas as características das camadas de óxido de titânio (TiO) e óxido de zinco (ZnO) em uma célula solar orgânica. É dada especial atenção para estes dois casos visto que suas transmitâncias ópticas são maiores e muito bem correspondida.

Lei et al. (2014) apresentam a fabricação de células solares orgânicas à base de sulfeto de Cobre (CuS) e óxido de estanho fluorado (FTO), se utilizando de baixa temperatura e baixo custo, por meio de uma fonte hidrotermal. Já em Pandey et al. (2015) uma camada de prata é incorporada à flúor-zinco dopado com óxido de estanho, sendo realizada com estes a fabricação de um vidro, em temperatura ambiente para as aplicações de células fotovoltaicas orgânicas. Mohajeri e Omidvar (2015) apresentam um estudo que abre caminho para a manipulação de derivados e o desenvolvimento de materiais aplicáveis em células solares de polímero. Em Page et al. (2014) se discute um *trade-off* entre a estabilidade oxidante e a função de

trabalho do cátodo de metal, considerando que este último pode ser reduzido por meio da incorporação a fina camada com amina. Em Lee et al. (2015a) se discute a fabricação de nano estruturas aplicadas em células solares. Para tanto são apresentadas as características ópticas, estruturais e propriedades elétricas das mesmas. Zheng et al. (2015) apresentam os avanços nos estudos em perovskitas de iodetos organometálicos (*Organometal halide perovskites* - OMHPs). É apresentada uma pesquisa em torno dos materiais, com diferentes estratégias de inovação para melhorar o desempenho, o design e a estabilidade de tal tipo de célula solar. Wen et al. (2015b) investigam a fluorescente intermitência de vapor fabricada, utilizada na construção de células solares orgânicas. Indica-se que tal camada é capaz de apresentar densidade suficiente para facilitar a migração de carga móvel entre a nano partículas e acúmulo de carga na superfície.

Liu et al. (2014a) propõe a introdução de um grupo forte de elétrons, de copolímero, podendo estes otimizar as propriedades eletrônicas, melhorando assim o desempenho de células solares orgânicas. Em Pfannmöller et al. (2015) se apresenta um estudo sobre os semicondutores orgânicos celulósicos, e suas propriedades eletrônicas, óticas e termodinâmicas. Apilo et al. (2015) avaliam o design de células orgânicas, para tanto a fina película fotovoltaica é verificada, assim como o seu método de revestimento e a sua influência sobre o desempenho do sistema como um todo. Estuda-se também o aprimoramento do processo de impressão de monolíticos nos módulos orgânicos.

Burgués-Ceballos et al. (2014) propõem e discutem um método de substituição do solvente halogenado por um solvente verde, para a viabilização e comercialização de células orgânicas. Neophytou et al. (2014) propõe a utilização de um jato de tinta impressa, de nano partículas de prata, que pode influenciar positivamente nos requisitos para uma célula à base de óxido de estanho orgânico. Man et al. (2015) apresentam um modelo conceitual de filme ultra fino adaptado para maximizar a absorção ótica em células fotovoltaicas orgânicas, se utilizando de uma estrutura de eletrodo transparente altamente absorvente. Já Shao et al. (2014) indicam um conjunto abrangente de técnicas de caracterização e análise, usadas para revelar os efeitos morfológicos de um aditivo sobre os parâmetros de células fotovoltaicas orgânicas. Tal técnica se bem aplicada, pode resultar em melhorias no dispositivo solar.

2.1.3 Utilização de Corante

Outra possibilidade para construção e ajustes nos parâmetros de uma placa fotovoltaica é a utilização de corantes em sua composição, apresentando os casos a seguir.

Em Mane e Hung (2015) se apresenta a preparação de um corante SM1, com dois hexyloxyphenyl doadores e um carbox, uma série de oito novos boryl oxasmaragdyrins, Venkatraman, Abburu e Alsberg (2015) investigam uma nova metodologia de design computacional que pode ser aplicado a um sensibilizador de corante, baseado em propriedades ótimas, para uso em células solares. Já Li et al. (2014e) apresentam um novo binário design, contador de ligas de eletrodos (considerando uma baixa temperatura), utilizando um método de redução das fontes hidrotermais. Tais ações podem reduzir os custos e aumentar o desempenho da célula sensibilizada por corante. Li et al. (2014a) propõe dois novos sensibilizadores, a base de rutênio, para validá-los, propriedades óticas, eletroquímicas e fotovoltaicas são verificadas.

Duan et al. (2015) propõe um novo corante 1,2,3-triazol, que em comparação com outros corantes de referência, este mostra ligações intramoleculares mais fortes entre os átomos de transferência de carga, proporcionando assim uma célula com melhor desempenho. Zhang et al. (2015c) apresenta o primeiro uso de proteína de espinafre, por meio de fotossistema complexo lipídico, em filmes dispositivos fotovoltaico, apresentando excelente desempenho na potência de saída. Em Huang, Zhang e Jiang (2014) é sugerido um design otimizado de estrutura de armazenagem de energia, podendo este ser usado em células fotovoltaicas, garantindo alta densidade de armazenamento. Sheehan et al. (2015) avaliam o potencial de índio dopado com óxido índio-estanho (ITO), revestidos de vidro flexível, como uma alternativa de material, para a fabricação de células sensibilizadas por corante flexíveis. Além da vantagem do peso leve (por conta da fina espessura), apresenta uma melhor eficiência.

Feng et al. (2015) utilizam um método computacional para avaliar os efeitos de agregação de dois corantes orgânicos. Já Zang et al. (2014) apresentam três tipos de corantes orgânicos, para aplicação em células sensibilizadas por corantes. Das três avaliações, se verifica que o corante 1 apresenta uma capacidade de coleta de luz mais forte e melhor eficiência na transferência de carga, além da menor tendência de

agregação. Além do que, os corantes 2 e 3, apresentam menor eficiência de conversão de potência. Gupta et al. (2015) propõe dois elementos de design para os doadores de corantes orgânicos utilizados em células solares sensibilizadas por corante. Conclui-se que a substituição de doares convencionais pelos propostos (a base de ácido benzoico) apresenta uma superior colheita de luz, além de um desempenho aprimorado. Hua et al. (2014) apresentam três novos elementos orgânicos fotossintetizantes, thiadiazolo[3,4-c]piridina, para aplicação em células sensibilizadas por corantes, se observando assim um aumento na conversão de energia. Soto-Rajo, Baldenebro-López e Glossman-Mitnik (2015) avaliam um grupo de corantes derivados de cumarina. É proposta uma sintetização de tais corantes, como resultado se verifica que é possível alcançar maior otimização e maior potência. Em Byrne et al. (2015) se propõe uma fase sólida plástica (a base de uma mistura entre 1,2-dimetil-3-propylimidazolium ou iodeto de 3-metilimidazólio-1-butil) a ser aplicada em células sensibilizadas por corantes. Conclui-se que tal aplicação pode melhorar a eficiência em 6,3% e a conversão de energia em 5,6%. Já em Ying et al. (2014) é apresentado quatro novos corantes sintetizados, à base trifenilamina ou N, N-difeniltiofen-2-amina como doador de unidades e tiofeno ou benzeno como o p-pontes. Verifica-se que tal utilização é capaz de aumentar a conversão de energia. Em Wei et al. (2014) se indica uma análise de geometria molecular que compõe as células sensibilizadas por corantes, indica-se a utilização de alcóxidos como doadores. Em Wang et al. (2015) se descreve o aumento de rugosidade e neblina em FTO filmes, se apresenta também o desenvolvimento da morfologia dos grãos podem apresentar uma melhoria significativa.

2.2 DESEMPENHO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A vertente de desempenho indica algumas possíveis atualizações da placa que possam vir a prover algum tipo de melhoria da mesma. Tal qual a vertente de Construção, a de Desempenho também foi dividida em sub tópicos, tais como Geral, Células Orgânicas, Corantes, Custos, Sistema Híbrido e por fim Desempenho por Arrefecimento.

2.2.1 Visão Geral

No tópico geral são observadas variadas técnicas e ajustes que podem ser efetuados para um melhor desempenho das placas fotovoltaicas, conforme será indicado na sequência.

Em Green et al. (2015) é apresentada uma maneira de conversão de luz, para produção de eletricidade em um coletor solar, no qual se apresenta 40% mais eficiente, usando uma pequena área de abertura de 287 cm², de ensaio, equipada com células solares e concentradores comerciais. Tal melhoria não só traz redução de custos como também faz com que a torre principal produza energia em forma de calor.

Em Leloux et al. (2014) são propostas maneiras de se avaliar o desempenho de uma placa fotovoltaica. Alguns parâmetros são utilizados para tal, como clima do local, custo do material utilizado em sua fabricação e o rendimento da mesma. Tal metodologia permite estimar uma produção de energia a longo prazo e com a utilização de um satélite é possível simular o rendimento energético. Em Ya'acob et al. (2014) é indicado uma maneira de avaliação detalhada um sistema fotovoltaico, sob condições climáticas tropicais. No entanto, a investigação técnica é sugerida para o sistema CPV enquanto que o desempenho do sistema foi encontrado muito abaixo da mais algum estudo esperado em profundidade sobre o desempenho e técnico-econômica benefícios para geradores fotovoltaicos em escala fazenda solar. Rahimi et al. (2015) avaliam o desempenho de dois arrefecedores, ambos com a utilização de força hidráulica. Apesar do grande número de métodos de arrefecimento propostos descrito na literatura, tem havido pouca discussão sobre o potencial de micro canais e o papel da distribuição de fluido de fluxo padrão no resfriamento de células fotovoltaicas. Porém, os resultados obtidos por tal estudo (aumento de 28% na energia) confirmam a importância da distribuição do líquido de arrefecimento no desempenho de refrigeração da célula fotovoltaica.

Sharma, Duttagupta e Agarwal (2014) propõe um modelo que rastreia o ponto de potência máximo, a partir de curvas de filme fino flexível. A abordagem proposta consiste em otimizar o consumo de energia de rendimento usando tal modelo, facilitando ótimos designs de layout de sistemas fotovoltaicos.

Em Sun et al. 2014 se propõe uma energia armazenada baseada no sistema de geração de energia. O sistema combina o armazenamento de energia por meio da

adição de uma bateria armazenada em cada módulo para equilibrar as flutuações da potência. Indica-se também um regime de controle para a energia armazenada no sistema fotovoltaico. O sistema proposto pode atingir o ponto de máxima de energia distribuída, equilibrando o poder entre diferentes módulos e fornecer a potência desejada para a grade. Thang et al. (2014) apresentam uma arquitetura de vários módulos de conversor integrado, compartilhando um desdobramento inversor, é proposto para sistemas fotovoltaicos ligados à rede. A proposta de configuração pode melhorar a conversão de energia, o circuito de controle, a complexidade e o custo. Rüdiger et al. (2014) é apresentado um quadro de cálculo para avaliar a eficiência de um combinado de células solares de silício, para otimizar a célula é efetuado um revestimento antirreflexo na parte dianteira e traseira. Os cálculos mostram que pode se obter um aumento na eficiência da célula solar em até 3,0%.

Em Sadeghi e Ameri (2014) é indicada a combinação de diferentes sistemas auxiliares com painéis solares e baterias, e é comparado em termos de eficácia econômica, compatibilidade ecológica e confiabilidade. Um algoritmo é utilizado para se obter as melhores soluções em cada uma das configurações. Gagric, Marzec e Uhl (2016) apresentam que a futura geração de inversores de energia solar fotovoltaica terá de ser equipada com funcionalidades de apoio. Uma delas é a limitação de potência ativa (*active power curtailment* - APC) para prevenção de sobre tensão. Para tanto é apresentado dois designs de APC, como resultado se observa que tal APC é capaz de diminuir a taxa de insucesso dos capacitores. Em Chandel et al. (2015) se apresenta o estudo do impacto da degradação de uma célula solar, sob o seu desempenho, a confiabilidade e a expectativa de vida também são avaliadas, como resultado se observa que a energia média de degradação do módulo gerador, se apresenta em 1,4% por ano que é razoável, considerando materiais e tecnologia utilizada há cerca de três décadas, porém, em Balderrama et al. (2014) a degradação avaliada gira em torno das células baseadas em polímeros e exposição à ambientes que apresentam maior volume de Nitrogênio no ar.

Perez-Gallardo et al. (2014) exploram técnicas de desempenho econômico, utilizando um quadro integrado, que apresenta o intuito de gerenciar mutuamente os parâmetros de técnica, economia e critérios ambientais. Para auxiliar na obtenção dos resultados é utilizado um simulador de irradiância solar acoplado à um otimizador externo, baseado em um algoritmo genético. Ibrahim et al. (2014) apresentam um amortecedor que fica preso à placa de silício poli cristalino. Em tal sistema, a água é

utilizada como meio de transferência de calor. Como resultado se indica que o potencial de melhoria aumenta com o aumento da radiação solar e discorre entre 98 e 404 W, além do que a energia primária tem a sua eficiência poupada em até 73% a 81%. Li e Karava (2014) avaliam o desempenho energético de construções fotovoltaicas que utilizam papelão ondulado em suas construções. São explorados os fatores que afetam o desempenho térmico, além de examinar o impacto dos parâmetros que são exclusivos para tal configuração, além de avaliar a geometria e orientação da placa. Baig et al. (2014) apresentam um modelo e análise de desempenho de um dielétrico com base linear, para sistemas fotovoltaicos. Os resultados obtidos são comparados com os experimentos efetuados e mostram um aumento de 16% na potência de saída média.

Mohammad et al. (2014) medem o reforço de potência máxima de saída, por meio do espectro de divisão e concentração. Um algoritmo de busca é utilizado como apoio. A caracterização elétrica das células solares, feitas a partir de GaInP, GaAs e Si indicam um aumento na densidade de potência de saída de pico de 43,63%, 30,84% e 30,86%, respectivamente, quando se comparado à operação normal. Isto representa um aumento global de 35,52% em densidade de potência de saída. A proposta pode ser muito bem aplicada em dispositivos híbridos que agrupam várias bandas espectrais. Além de obter uma melhor eficiência e menor custo. Giannuzzi et al. (2015) apresentam um método para controlar possíveis aberrações estatísticas induzidas em refletores. O objetivo é aumentar o desempenho de tal receptor de raios solares. Tal método é computacional e é capaz de acompanhar a degradação provocada pela irradiância solar. A proposta apresenta um controle óptico local, se apresentando como um excelente recurso. Tous et al. (2014) avaliam um material ótimo à ser utilizado na parte traseira de uma célula fotovoltaica. Dentre as opções avaliadas se destacam níquel, Cobre e prata, além de uma verificação do design mais pertinente. Os diferentes mecanismos de perda foram quantificados se utilizando de uma análise de perda de poder analítico. Com isto apresentou uma diminuição de 75% para 50% do total de perdas por recombinação.

Liu et al. (2015) apresentam uma maneira de aumentar o desempenho elétrico da sílica monocristal ao ser hidrogenada com germânio. Já Meyer (2015) indica que a utilização da fluoração faz com que a energia e as propriedades óticas alcancem níveis desejáveis, fazendo com que o desempenho seja superior se comparado com um sistema não fluorado. Em Dongaonkar e Alam (2013) se comenta do possível

impacto negativo que determinados designs de células solares podem apresentar, uma vez que pode ocasionar o sombreamento indesejado, interferindo diretamente no desempenho, para tanto dois designs são apresentados com o intuito de melhorar a potência total sob sombreamento parcial.

Akinyele, Rayudu e Nair (2015) realizam um estudo de caso na Nigéria, para tanto é utilizado o apoio de uma nova técnica chamado análise fundamental de desempenho do módulo fotovoltaico, no qual utiliza como parâmetros rendimento energético e perda de captura.

Lee et al. (2015c) apresentam uma célula solar, à base de arsênio de gálio e sua respectiva análise. Por conta do seu alto custo de produção, se for considerado em grande escala, é proposta uma diminuição da espessura do material, porém mantendo o desempenho desejado e adequado. Wright et al. (2015) apresentam um design de junção tripla, com o objetivo de redução de risco para o desenvolvimento de uma matriz de alta potência solar. Por fim, testes foram efetuados e os resultados apontam para um design robusto para aplicação e uma elevada corrente e potência. Zhang et al. (2015b) integram uma matéria porosa de cristal dentro da camada opaca da célula solar, tal dispositivo, se apresentou com alta eficiência em todo espectro visível, aumentando ainda mais o seu desempenho. Li et al. (2014b) avaliam a lógica de uma lente-estruturada murada, para tanto um protótipo de acrílico, com materiais de baixo custo, foi desenvolvido. O resultado da simulação indica que o uso de tal lente apresenta um maior ângulo de aceitação, se comparado com um espelho. Já Zhou et al. (2015) indicam que a utilização de tiofeno em polímeros componentes de células fotovoltaicas, pode aumentar o desempenho e a eficiência das mesmas. Olivieri et al. (2014) apresentam um método capaz de avaliar o comportamento térmico, de aproveitamento e desempenho elétrico de células fotovoltaicas. São instaurados quatro protótipos que são verificados, levando-se em consideração os materiais utilizados, a configuração e o design da placa. Em Park, Lee e Choi (2015) é apresentado os possíveis impactos que a texturização formada pelos gases pode provocar nas células solares. Dentre as texturas avaliadas se apresentam as com formato de pirâmides, as de cone e as de agulhas.

Guo et al. (2015) indicam que o uso de bolachas de silício é a maneira mais eficaz de se obter energia por meio de células solares, visto que as perdas se apresentam de maneira reduzida. Apresenta-se também o desenvolvimento de um método para quantificar a influência da chapa traseira sobre a corrente de curto-

circuito de uma bolacha de silício. Sendo que o mesmo é uma versão melhorada dos modelos já existentes. Yang et al. (2015) apresentam a aplicação de uma matriz de armadilha de luz periódica. Tal método se apresenta de maneira eficaz para melhorar as propriedades ópticas em células solares de película fina. Como resultado se indica uma absorção de 64,8%.

Lee et al. (2016) propõe um método de modelagem e previsão para o tamanho e formato ideal para os micros elétrodos componentes de células solares. Entende-se que tal estudo auxilia no desenvolvimento de seu tamanho efetivo, do seu design e melhor método de sua manipulação, no que se refere às suas nano estruturas. Orabi et al. (2015) propõe um chip de circuito integrado de gerenciamento de energia com rastreamento no ponto de potência máxima, com o objetivo principal de alcançar uma elevada eficiência do sistema fotovoltaico. São abordadas também questões sobre o efeito de sombreamento e de incompatibilidade entre células solares em um mesmo sistema. Além de apresentar um comparativo entre a proposta e o sistema já existente. Em Tan, Chong e Wong (2014) é concebido um prato concentrador de maneira otimizada, como apoio é utilizado um algoritmo capaz de identificar a melhor configuração da faceta de espelhos. Os resultados computacionais numéricos, os métodos analíticos de concentração solar máxima e a área de iluminação uniforme são comparados, apresentando uma diferença entre si de 0,005%. Já Li et al. (2014c) apresentam um novo concentrador parabólico composto de espelho e lente estruturada murada, podendo este fazer pleno uso da reflexão interna total e reflexão especular. Comparando-se a simulação do experimento efetivo do concentrador, a diferença apresentada é de apenas 5%. Zou e Yang (2014) analisa o desempenho óptico de um concentrador solar de design adequado para a alta concentração de módulos fotovoltaicos. Para tanto refletores parabólicos microscópios e uma lente com comprimento focal são utilizados para manter a irradiância uniforme da célula.

Em Khare e Rangnekar (2014) a vida útil e o custo da célula solar são avaliados. Parâmetros são utilizados para se calcular a placa ideal, tais como potência de saída do sistema, número ideal de inversores, melhor ângulo de inclinação, custo de instalação, custo de manutenção e custo de venda de energia. Além da utilização de um algoritmo de otimização, que foi testado por meio da plataforma MATLAB. Abu-Bakar et al. (2015) indicam que uso de concentradores de raios solares é uma das soluções que poderiam auxiliar a diminuir o custo dos sistemas solares fotovoltaicos. Para tanto foi apresentado um protótipo que gerou um ganho opto-eletrônico

excelente se comparado com uma célula nua sob as condições de teste padrão. Yilmaz e Özçalik (2015) efetuam a análise de uma modelização e análise de custos de um gerador fotovoltaico de 500kW. A aplicação foi realizada em uma fábrica têxtil. Entre os achados, se destaca que a mesma apresenta retorno (do capital inicial) cerca de 6,2198 anos após à sua instalação.

Ahnood et al. (2015) avaliam dispositivos fotovoltaicos ortogonais e apresenta parâmetros que devem ser considerados quando se trata de seus desempenhos, neste caso a uniformidade da iluminação, melhoramento do campo elétrico e resistência em série são grandes influenciadores destes dispositivos Abu-Bakar et al. (2016) propõe um novo concentrador, conhecido como rotacional parabólico. Tal protótipo foi submetido a uma série de experimentos. Por fim, se indica que a saída elétrica foi maior do que a obtida a partir de uma célula que não possui um concentrador, com uma eficiência melhorada. Yew, Chong e Lim (2015) propõe a utilização de um concentrador secundário com o intuito de se aproveitar a alta aceitação de ângulo, maior abertura de entrada para proporcionar mais espaço para a flexibilidade de interconexão entre as células. Apesar dos 12,5% de perda de absorção a potência de saída máxima neste caso se apresenta melhorado se comparado à uma célula comum.

Gasparini et al. (2015) apresentam a avaliação de desempenho e propriedades opto eletrônicas de um doador contratante copolímero. Células solares que se utilizam de tal doador se apresentam com melhor eficiência. Verifica-se também que existe forte relação entre desempenho fotovoltaico e geração de carga. Em Boccolini et al. (2014) se apresenta uma fórmula analítica, com o intuito de indicar as limitações proporcionadas pela auto absorção de luminescência por conversão de materiais. Os resultados ajudam com o design e a implementação de camadas para dispositivos fotovoltaicos, assim como indicar um quadro para a otimização de materiais para os mesmos.

Em Lee et al. (2014c) se indica que a utilização de silício cristalino nano estruturado é um opção ótima para se obter excelente desempenho, porém, o alto custo do material se apresenta como o maior empecilho. Desta forma é proposta uma maneira de reduzir o custo apresentando a utilização de uma camada ultrafina de silício. Schmitt et al. (2014) avaliam o desempenho para a aplicação de diodos de silício utilizados (como conversores solares) para a integração de vários dispositivos opto eletrônicos, os seus designs também são verificados. Wu et al. (2015) avaliam a

capacidade de uma película fina em absorver e aprisionar à luz. Entre os parâmetros verificados se destaca o design óptico, a espessura da película de filme de silício amorfo e a capacidade de armadilha da luz. Em Sgrignuoli et al. (2015) é apresentado um nano cristal com alta capacidade de absorção na região ultravioleta. Tal material é capaz de aumentar a eficiência de células de silício cristalino. Em You et al. (2015) é desenvolvida uma célula de junção tripla, que procura aumentar a baixa eficiência de conversão de películas finas de silício. Com o aumento da eficiência é possível tornar o material imbatível, visto que já é muito bem utilizado, por conta da sua flexibilidade de tamanho, baixo coeficiente de temperatura e design estético.

Em Xu et al. (2014) é proposta uma nova série de doador contratante para células de copolímeros. Tal utilização se apresentou mais eficaz em termos de níveis de energia. Em Chou et al. (2014) é apresentado um método para adaptar as estruturas nanoscópicas, por meio da hetero junção de polímero em camadas ativas de uma célula fotovoltaica. Como resultados se observa uma melhora na absorção da luz, da condutividade e no transporte de carga (XU; YANG, 2014).

Lee et al. (2014d) propõem um inversor bidirecional, com o objetivo de controlar o fluxo de energia. Como resultados se observa que tal dispositivo é capaz de satisfazer a necessidade de ligação entre grade e fonte, além de apresentar uma eficiência melhorada e menor custo. Wang et al. (2016) apresentam um sistema de energia capaz de fornecer carga sem o auxílio de conversores ou armazenamento de energia, para tanto um microprocessador é utilizado para efetuar o gerenciamento de energia dinâmica (que reage em centenas de microssegundos). Como resultados se observa que a energia global alcançada gira em torno de 87,1%, número este maior do que os métodos convencionais apresentam. Xu eYang (2014) avaliam os semicondutores por heterojunção utilizados em células solares. Entre os resultados se observa que uma menor absorção na camada de vidro e o menor foto-transportador gerado na interface de heterojunção, pode conduzir à melhoria nas propriedades fotovoltaicas. Em Deangelis et al. (2014) dois tipos de camadas intermediárias são avaliadas e comparadas, estas são óxido de índio e molibdênio (*indium molybdenum oxide* - IMO) e óxido de índio-estanho (ITO). Como resultados, se observa que o OMI é mais adequado, ao se comparar ao ITO, em termos opto eletrônicos ambos se apresentam no mesmo patamar, porém, no que se refere à baixo custo e alta performance, o IMO se apresenta como melhor opção. Alhalabi et al. (2014) propõe um sistema básico de conversão de energia (transpondo energia térmica solar

em outras energias utilizáveis) utilizando uma configuração eficiente e de baixo custo de instalação.

Em Mann et al. (2014) é apresentado um cenário que remete à 2020 com a intenção de se apresentar uma previsão do desempenho ambiental das tecnologias de silício cristalino. Como resultado se verifica que o ponto chave para aumentar essa eficiência energética é o custo da mesma, se for possível diminuí-lo, este tipo de energia poderá se disseminar mais facilmente. Yu et al. (2015) indicam que o grafeno-silício é um excelente candidato, no que se refere à custo x benefício quando se trata de células fotovoltaicas, porém, apresenta a limitação da conversão de potência. Para tanto é proposta uma melhoria no desempenho de tais células, por meio da utilização de um campo elétrico.

Yuan e Wu (2015) avaliam uma célula sob exposição à duplo feixe de laser e irradiação. Parâmetros como temperatura e potência são verificados. Awal, Ahmed e Talukder (2015) apresentam que uma estrutura fotovoltaica de silício, de película fina com tiras de silicone na parte superior e sulcos sobre a camada de contato de prata, pode absorver a energia solar incidente sobre uma ampla faixa espectral. Apresentando como resultado um aumento de 46% na absorção solar integrada.

2.2.2 Células Orgânicas

Em Zhao et al. (2014) se apresenta a utilização de eletro spray como método ótimo de deposição em células fotovoltaicas orgânicas. É utilizado também o ácido acético como aditivo solvente, pois possui uma alta condutividade elétrica. Majkic et al. (2014) indicam que a eficiência em células solares orgânicas depende do transporte de carga no compósito. Desta forma é proposta a adição de nano fios, que pode resultar num aumento de 18% da eficiência. Já em Wang, Wang e Xing (2014) é indicado que depois de adicionar um filme *nano silver*, propriedades óticas do dispositivo podem ser melhoradas mais ainda com o aumento da espessura do mesmo. Em Lafalce et al. (2014) se observa uma otimização em células fotovoltaicas orgânicas, por meio de um método spray e de recozimento, apresentando uma ótima conversão de potência e um excelente aumento na eficiência. Jiang et al. (2015) indicam que a frequência ótica e as propriedades dielétricas das células orgânicas (considerando a temperatura ambiente) são muito importantes, no que se refere a um design otimizado. Já Lee et al. (2015b) informam que uma superfície formada por nano

partículas de metal nobre é uma excelente opção para melhorar o desempenho de dispositivos e células solares orgânicas. Kan et al. (2014) apresentam uma metodologia para melhorar a eficiência de conversão em células solares orgânicas. Para tanto são utilizadas camadas de um polímero conjugado e um derivado de fulereno.

2.2.3 Utilização de Corante

A utilização de corantes tem se apresentado como uma excelente opção para melhorar o desempenho de células solares. Verificou-se em Lin et al. (2014) apresentam estudo de como ftalocianina de silício pode efetuar o aproveitamento de fótons no comprimento de onda de luz visível. Para investigar tal relação, uma série de placas foram sensibilizadas com corante e com diferentes tempos de imersão. Sun et al. (2015) propõe a utilização de corantes baseados em cobalto. Verifica-se que para tal corante existe um favorecimento na colheita de luz, que faz com que a célula por ele dopada, seja otimizada. Em Qadir et al. (2015) é apresentado a proposta de uma nova estratégia adotada para melhorar o desempenho de uma célula sensibilizada por corante, com melhor absorção do espectro solar, tanto nas cores visíveis como nas regiões de infravermelho. Para tanto foi utilizada uma estrutura de dupla camada com nano partículas de TiO_2 , e uma camada composta de nano tubos de titânio. Em Lue et al. (2015) nano partículas de um gel de TiO_2 são incorporados em uma solução de iodo/iodeto. Tal mistura de solventes fabrica iodetos quase sólidos. Neste caso, a melhoria da eficiência da célula está correlacionada com a uma maior vida útil de elétrons das células. Inostroza et al. (2016) apresentam a concepção de seis novos corantes que tem por base a utilização de um grupo doador de elétrons, os resultados obtidos indicam que tal ação produz uma carga intramolecular. É possível também melhorar o desempenho das células por meio de interferência na maneira como a luz é coletada, caso apresentado em (LIN et al., 2015b). Em Yu et al. (2015a) um material orgânico é dopado em TiO_2 , para absorver a luz ultravioleta e converter a luz verde para a luz mais eficaz em relação ao corante. Esta conversão de fluorescência permite a absorção adicional de luz verde por moléculas de corante por meio de transferência de energia de ressonância, entre doador composto fluorescente e receptor de corante. Babu et al. (2015) propõe a concepção de três novos doadores de corantes, para aplicação em células fotovoltaicas. Indica-se que é

capaz de reduzir as taxas de recombinação de elétrons no TiO_2 , de maneira eficaz conduzindo assim a uma maior eficiência. Em suma, otimizando a unidade aceitante do corante, é possível continuar a melhorar o desempenho da célula.

2.2.4 Avaliação de Custos

Em Marwede e Reller (2014) é feita uma crítica aos materiais utilizados hoje na produção de placas fotovoltaicas, como índio, gálio e telúrio. Por conta da sua disponibilidade limitada isto pode prejudicar a expansão do mercado. Em vista disso, novos materiais são explorados, além de uma boa análise de custos e o estudo de uma possível reciclagem, podem auxiliar na expansão e sugestão de uma produção em massa.

2.2.5 Aplicação Híbrido (Fotovoltaico – Térmico)

Touafek, Khelifa e Adouane (2014) propõe um sistema híbrido fotovoltaico térmico que permite uma melhoria no desempenho, por meio do aumento da intensidade da radiação solar com uma configuração de extração de calor das células solares, permitindo um resfriamento em paralelo. Entre outras vantagens se destaca um menor custo de produção e melhor absorção de calor.

2.2.6 Desempenho por arrefecimento

Foram verificadas três maneiras de arrefecer um sistema de células fotovoltaicas. A primeira delas é a proposta de Arcuri, Reda e Simone (2014), que é utilizar em um mesmo sistema o arrefecimento por água e por ar (mutuamente), se verificou que a uso de dutos de metais facilitam e agilizam o arrefecimento do sistema, já em Tursunov et al. (2014) indicam que um design diferenciado que facilite a circulação do ar, permite uma maior velocidade do vento, trazendo bons resultados em relação ao desempenho, por último em Han et al. (2015) se observou que a utilização de um líquido próprio para refrigeração por imersão pode arrefecer uma junção tripla de células solares, podendo interferir positivamente na eficiência da conversão elétrica da placa.

2.3 REVISÃO DE CONHECIMENTO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Na vertente de Revisão de Conhecimento se indica quais artigos apresentaram um compilado de informações sobre uma determinada sub temática dentro do conhecimento geral de Célula Fotovoltaica.

2.3.1 Células Orgânicas versus Desempenho

Yu, Zheng e Huang (2014) apresentam uma revisão do progresso e do desempenho de células solares orgânicas nos últimos anos. A arquitetura é explorada, a modificação da geometria externa e a estrutura intrínseca são também apresentadas. Algumas abordagens para aumentar ainda mais a eficiência da destes sistemas são comentadas. Por fim, se destaca os desafios e perspectivas para um melhor entendimento de um sistema fotovoltaico eficiente. Já Youn, Park e Guo (2015) apresentam uma revisão a respeito dos avanços da tecnologia de células fotovoltaicas orgânicas. A atenção é dada devido à suas vantagens ecológicas e de simplicidade de fabricação.

2.3.2 Células sensibilizadas por corantes

Enquanto Chen e Pham (2014) validam o quanto e como vem sendo estudo as células sensibilizadas por corantes, por meio do recolhimento e análise de patentes dos EUA, Alemanha, Japão e Taiwan, para se compreender o desenvolvimento da tecnologia de células solares, Kouhnavard et al. (2014) apresenta uma visão geral dos estudos recentes sobre foto sensibilização e fornece sugestões para melhorar tais sistemas, pelo comparativo de diferentes substâncias sensibilizantes.

2.3.3 Aplicação com Silício

Em Zarmai et al. (2015) são fornecidas as informações que podem melhorar a confiabilidade do sistema fotovoltaico. Tal revisão apresenta as características de interconexão em células convencionais e outras implementações de silício e da qualidade cristalina das células. Indica-se também o papel das destas tecnologias e apresenta uma comparação de seu conceito, tipo de célula, tipo misto, técnicas de fabricação e status de produção.

2.3.4 Células Solares e seus componentes

Em Metz et al. (2014) é apresentada uma revisão sobre a evolução do lado traseiro do dielétrico, bem como o estado-da-arte de tais tecnologias. É demonstrado que para todas as principais etapas do processo e suas várias opções estão disponíveis para reduzir ainda mais os custos de fabricação. O objetivo é se verificar a possibilidade de produção em massa, com redução de custo da produção do silício cristalino, mantendo o aumento no desempenho.

2.3.5 Estratégias, materiais e técnicas de montagem de Células Solares

A revisão de projeto é indicada, por meio da verificação da estratégia, técnica, design, materiais, formas de montagem, componentes eletrônicos não convencionais e quais progressos regem estes parâmetros na construção das células fotovoltaicas (HE; NUZZO; ROGERS, 2015).

2.4 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS – ASSUNTOS DIVERSOS

Neste tópico se observa temas variados, que não apresentaram uma frequência tão alta quanto os temas anteriores, porém, indicaram grande expressividade de inovação na temática de Células Fotovoltaicas.

2.4.1 Algoritmos

Alguns autores se utilizam de algoritmos pré-existentes ou desenvolveram os seus próprios, a fim de manter um controle da produção de energia das células fotovoltaicas. Em alguns casos o algoritmo é utilizado para avaliar relações de custo benefício, condições ambientais e convergência de captação de energia com em Kamarzaman e Tan (2014), em outros para controlar a potência conforme indicado por Liu et al. (2014c) ou acompanhar o ponto de potência máxima como em Jain, Karampuri e Somasekhar (2016) e a eficiência elétrica da placa, por meio de expressões analíticas GAUR; TIWARI, 2015).

2.4.2 Análise de Custo

Apresenta-se a realização de uma estimativa de engenharia para determinar o custo de fabricação em massa de módulos fotovoltaicos. A produção de materiais, o custo operacional e o capital também são avaliados (MULLIGAN et al., 2014).

2.4.3 Sistemas Híbridos Fotovoltaico – Térmico

É apresentado um sistema híbrido fotovoltaico térmico com uma estrutura de filtro de baixo custo para fabricação. Tal proposta se apresenta em vantagem visto que aumenta a absorção solar direta (MOJIRI et al., 2015).

2.4.4 Tomada de Decisão

A revisão apresentada forma base para o desenvolvimento de sistemas de eletricidade rural, auxiliando assim o desenvolvimento das populações e a garantia da sustentabilidade (BHANDARI et al., 2014).

2.4.5 Energia Solar no Brasil, quais os interessados?

O estudo indica quais as expectativas de retorno sobre o investimento na sustentabilidade, bem como preço e a adaptação que deverá ocorrer para quebrar as barreiras necessárias no Brasil (ECHEGARAY, 2014).

2.4.6 Estudo de Viabilidade com utilização de Corantes

Tal estudo avalia a aplicabilidade de corantes semitransparentes em sistemas fotovoltaicos, e como o mesmo pode se comportar se for utilizado em uma janela de um edifício (LEE; PARK; JUNG, 2014).

2.4.7 Modelagem e Simulação

Além de explicitar a construção e o desempenho no mundo das placas fotovoltaicas vale ressaltar também a importância da utilização da modelagem e simulação, como maneira de previsão e controle dos sistemas fotovoltaicos. Como verificado em Atoche et al. (2015), que é indicado o uso de um sistema com interface

humana, para se verificar quais os melhores parâmetros, para se obter o melhor desempenho, para um melhor controle, avaliação e manutenção da planta fotovoltaica. Já em Kapsis e Athienitis (2015) é indicada a utilização de parâmetros de design, térmicos e elétricos, para se obter o menor custo e o maior desempenho. Carrasco, Mancilla-David e Ortega (2014) apresentam a utilização de parâmetros de temperatura e irradiância solar. Para tanto foram realizadas simulações experimentais, se utilizando de medições reais. O objetivo é obter um estimador global de convergência solar.

Em Rajendran, Ramabadran e Sankararajan (2015) se indica a utilização da interface do software MATLAB para realizar simulações em torno dos parâmetros de ponto de potência máxima e condições ambientais. O objetivo de tal sistema é aumentar a vida útil da placa, sem uma prévia necessidade de troca de bateria. Porém, em Bakar et al. (2014) é apresentada uma simulação realizada para se obter um melhor desempenho de um sistema híbrido térmico - elétrico, os parâmetros utilizados giram em torno da temperatura do fluido.

Em Lauermann et al. (2015), os parâmetros avaliados giram em torno do design, quantidade e geometria de material na placa fotovoltaica. Em específico a distribuição de silício e prata são avaliadas para se verificar quais as influências no desempenho da célula solar. Já Novoa, Miller e Dauskardt (2014) apresentam testes de envelhecimento na placa traseira do dispositivo, a avaliação foi efetuada por meio de um modelo que considera como parâmetros o ciclo de temperatura, umidade e carga mecânica, além de uma possível exposição à ambientes agressivos. Em Almonacid et al. (2015) é proposta uma modelagem elétrica para fins de projetos de sistema de previsão de energia, o que influencia largamente o desempenho das placas fotovoltaicas. Tal simulação ainda utiliza parâmetros da atmosfera e medições no exterior. Para Rabbani et al. (2014) os parâmetros de fio de silício (dimensões, funções e vida útil) são avaliados a fim de se observar os resultados em torno do desempenho dos dispositivos fotovoltaicos. Em Chen et al. (2015b), a simulação é utilizada para avaliar o quanto um determinado fito plâncton é capaz de absorção óptica sobre o espectro visível, para tanto um relatório numérico é utilizado.

Em Li et al. (2015a) uma miniatura estática solar é proposta e para validar o seu desempenho, diversos experimentos são realizados, por fim, para serem comparadas aos resultados do modelo matemático utilizado inicialmente, verificando assim o desvio entre os experimentos e a simulação. Para Çilingiroglu, Tar e Özmen

(2014) os parâmetros utilizados em tal simulação são o design , tensão e reforço e armazenagem, para validar suas métricas de desempenho.

Para Ziapour, Palideh e Mohammadni (2014) a simulação é utilizada para verificar o desempenho de um sistema que envolve energia fotovoltaica e térmica. Os parâmetros utilizados são a temperatura e a massa da água do tanque, para fim de avaliar o quantos estes influenciam na eficiência da placa.

2.4.8 Plano de Negócio

Um plano de negócio é proposto para verificar a viabilidade econômica da construção de uma placa fotovoltaica, para tanto questões financeiras, econômicas e técnicas são verificadas. Para validar tal plano, dois estudos de casos foram instaurados em diferentes plantas, sendo verificada também a estabilidade econômica do sistema (BENDATO et al., 2015).

2.4.9 Política Energética

É realizado um estudo qualitativo sobre a indústria solar fotovoltaica, a fim de investigar o papel da diversidade no estímulo à inovação e difusão. Com base em conceitos econômicos evolutivos, foram identificadas as dimensões principais e componentes da diversidade em tal vertente. Discute-se as implicações do papel da diversidade das placas solares, na concepção das políticas energéticas. Os resultados de tal pesquisa mostram que a tendência dominante é um aumento ou manutenção da diversidade entre as tecnologias existentes (LACERDA; BERGH, 2016).

3 ESTADO DA ARTE

Para se tornar viável tal pesquisa, foi utilizada uma técnica de captação, filtro e avaliação de material, baseada em Mattioda *et. al.* (2015). A base de dados utilizada foi a CAPES, base nacional brasileira que compila diversas outras (nacionais e internacionais).

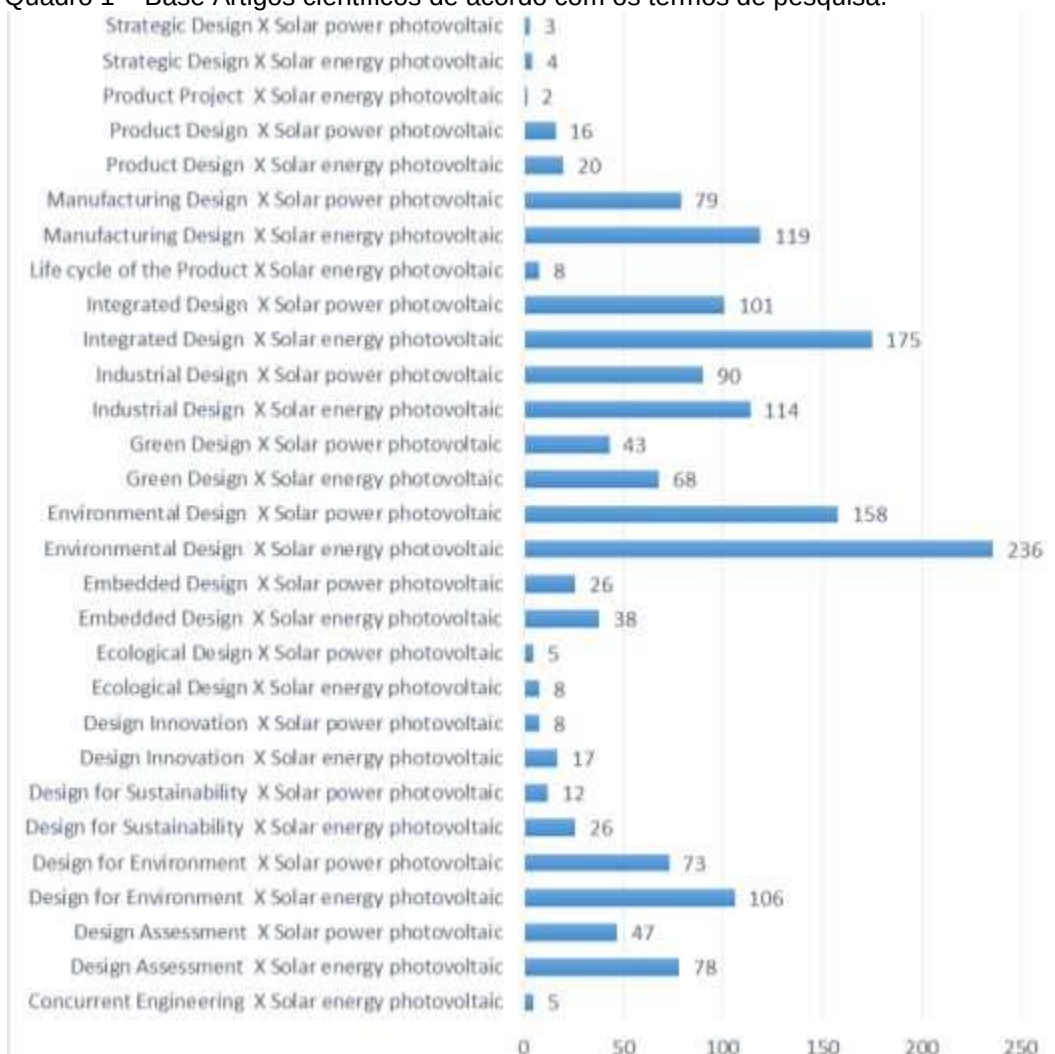
O termo chave principal (linha de pesquisa) utilizado foi “Desenvolvimento de Produtos”, considerando as 20 possíveis representações indicadas em Mattioda *et. al.* (2015), sendo estes: “*Green Design*”, “*Ecological Design*”, “*Environmental Design*”, “*Design for Environment*”, “*Environmentally sustainability design*”, “*Design for Sustainability*”, “*Product Design*”; “*Product Project*”, “*Industrial Design*”; “*Manufacturing Design*”; “*Life cycle of the Product*”; “*Design Innovation*”; “*Strategic Design*”; “*Design Assessment*”; “*Developing New Product*”; “*Integrated Design*”; “*Embedded Design*”; “*Concurrent Engineering*”; “*Design for Manufacturing and Assembly*” e “*Design for Disassembly*”. O termo chave secundário (tema) utilizado foi “Energia Solar Fotovoltaica”. Considerando 2 possibilidades diferentes (representando a mesma temática), entre estes: “*Solar energy photovoltaic*” e “*Solar power photovoltaic*”.

A partir disto a pesquisa foi dividida entre 40 buscas considerando o cruzamento do termo principal com o termo secundário. O corte de data utilizado foi os 2 últimos anos uma vez que um dos objetivos foi avaliar o que se vem sendo inovado no tema, levando em conta apenas os artigos publicados em periódicos revisados por pares. O Quadro 1 apresenta o resultado do primeiro filtro de busca.

A busca apresentou um total de 1685 artigos publicados, sendo que destes, a combinação “*Environmental Design*” versus “*Solar Energy Photovoltaic*” apresentou 236 artigos selecionados representando a maior percentagem, isto é, 14% do total dos artigos publicados.

O filtro subsequente foi para a eliminação dos artigos repetidos resultando 690 artigos de um total de 1685. A partir dos 690 artigos, foi necessário classifica-los pelo grau de importância considerando a escala apresentada no Quadro 2.

Quadro 1 – Base Artigos científicos de acordo com os termos de pesquisa.



Quadro 2 – Escala de importância adotada

GRAU DE IMPORTÂNCIA	DESCRIÇÃO DA IMPORTÂNCIA AVALIADA
Muito Relevante	Possui alta diferenciação (algo inovador ao tema).
Relevante	Possui pequena diferenciação (algo que pode ser melhorado com relação ao tema).
Neutro	Possui alguma diferenciação, porém não contribui com a temática tema.
Pouco Relevante	Possui propostas pouco relevantes ao tema (algumas ideias que possam contribuir muito pouco com o tema).
Sem Relevância	Não considera especificamente o tema.

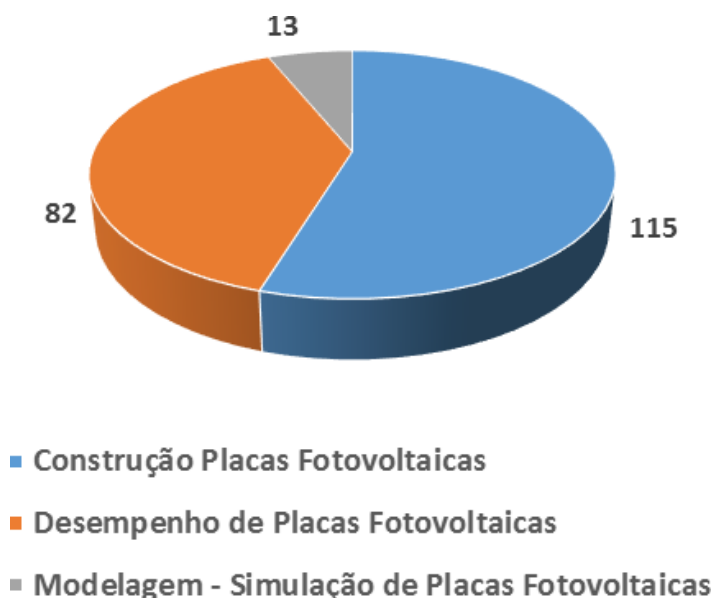
A partir disso, cada artigo foi classificado baseado nos critérios apresentados no quadro 2, levando-se em consideração a relevância da pesquisa demonstrada no título, resumo e nas palavras-chaves. Os resultados obtidos desta classificação estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Número de artigos classificados pelo grau de importância.

Grau de Importância	Resultado Obtido
Muito Relevante	227 artigos.
Relevante	163 artigos.
Neutro	105 artigos.
Pouco Relevante	22 artigos.
Sem Relevância	173 artigos.

A revisão de conhecimento indicada no tópico anterior se baseou na leitura, compreensão e o estudo das 227 pesquisas indicadas no Quadro 3 (muito relevantes). As 227 pesquisas estudadas foram reavaliados levando em consideração os seguintes itens: assunto, áreas de aplicação (vertente), mês e ano de publicação, localização e objetivo principal. O Gráfico 1 ilustra os resultados das principais vertentes que foram encontrados: i) a maneira de construção das placas fotovoltaicas (115 pesquisas); ii) as maneiras de se melhorar o desempenho das células (82 pesquisas); e iii) a proposição de uma maneira de modelagem e simulação para fins de controle (13 pesquisas).

Gráfico 1 – Principais Vertentes



Como vertentes secundárias (Gráfico 2), foram consideradas temáticas como revisão de conhecimento, estudo de algoritmos, análise de custos, estudo de viabilidade, sistemas híbridos, plano de negócios, política energética e por fim sistemas de bombeamento de água com apoio de células fotovoltaicas. Percebe-se que tais temas vêm sendo pouco explorados, no que diz respeito à inovação e alta

diferenciação. Em vista dos números referente a “Construção e Desempenho das placas fotovoltaicas”, existe uma preocupação com o processo de desenvolvimento das placas, estudos que envolvem o planejamento da mesma estão defasados, devido ao projeto teórico ou as suas barreiras de implementação indicadas na política energética.

Quanto às publicações referente ao tema, como apresentado no Quadro 4, percebe-se que houve um aumento significativo de publicações em 2014 (100 artigos), uma leve diminuição em 2015 (82 artigos) e uma grande diminuição em 2016 (2 artigos) quando comparado com as publicações de 2013. Para o ano de 2016, esta diminuição se deu pelo fato da pesquisa ter sido realizada em meados de 2016, não tendo a finalização do ano.

Gráfico 2 – Vertentes Secundárias (vertentes menos exploradas).



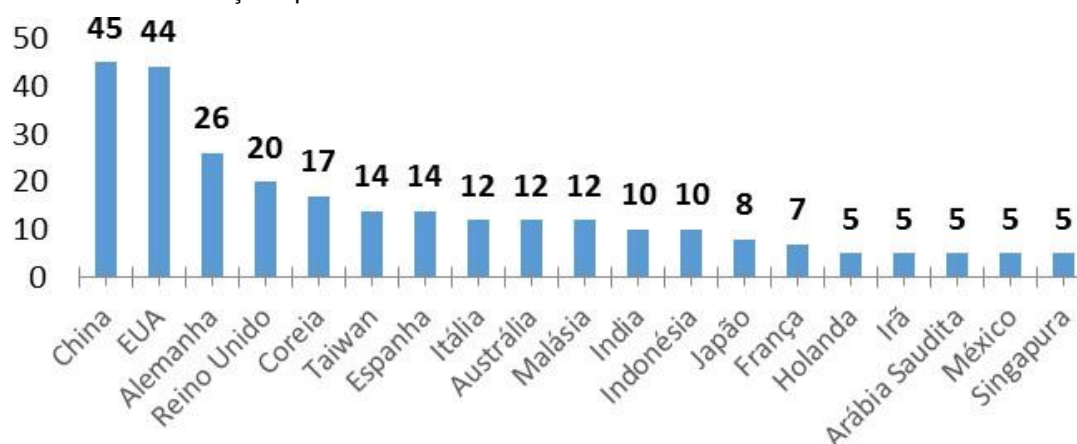
Quadro 4 – Temáticas por ano

Rótulos de Linha	2012	2013	2014	2015	2016	Total Geral
Algoritmos			2	2		4
Análise de Custo - Orgânicas		1				1
Construção	1	22	52	40		115

Desempenho		14	37	29	2	82
Energia Solar -Brasil - Interessados		1				1
Estudo de viabilidade - Aplicação - Corante			1			1
Híbrido Fotovoltaico - Térmico				1		1
Modelagem - Simulação		3	4	6		13
Plano de negócio				1		1
Política energética				1		1
Revisão de Conhecimento		1	3	2		6
Tomada de decisão			1			1
Total geral de artigos	1	42	100	82	2	227

No que se refere a distribuição das publicações por países de origem, percebe-se que China, EUA, Alemanha, Reino Unido e Coreia respectivamente estão à frente do restante do mundo nesta temática com aproximadamente 50% das publicações (152 artigos), contra 44,93% das publicações realizadas pelo restante do mundo (124 artigos). Com isso, fica evidente que diversos países apresentaram bons estudos a respeito, porém ainda indicam poucas pesquisas, sendo eles: Áustria, Bélgica, Dinamarca, Suíça, Canadá, Finlândia, Polônia, Noruega, Chile, Chipre, Emirados Árabes, Irlanda, Turquia, Argélia, Armênia, Bangladesh, Brasil, Catar, Egito, Eslovênia, Grécia, Israel, Luxemburgo, Nepal, Nova Zelândia, Paquistão, Portugal, República Tcheca, Rússia, Suécia, Taipei, Tanzânia, Uzbequistão e Vietnã.

Gráfico 3 – Publicações por Países



4 PROJETO CONCEITUAL E CONSTRUÇÃO DA CÉLULA SOLAR PROPOSTA

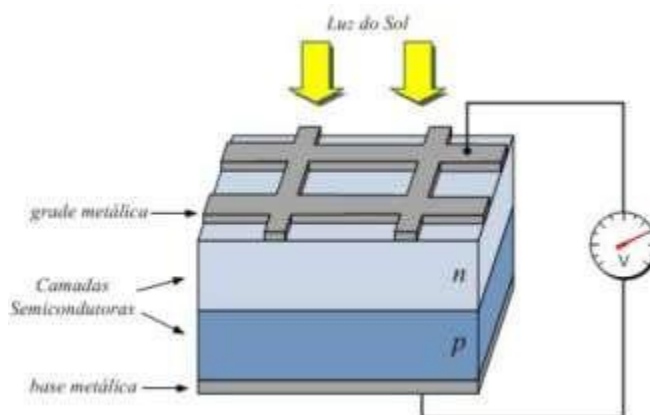
Para o desenvolvimento se utiliza como base o objetivo indicado na segunda fase da metodologia, que se trata da proposta de projeto, protótipo e avaliação de uma nova célula fotovoltaica. De acordo com a revisão de literatura efetuada, facilmente se observa que em alguns casos corantes são utilizados como indutores, apoiando a geração de diferença de potencial necessária, produzindo assim energia elétrica. Como os corantes indicados se tratam de um tipo de tinta ou pigmento, será utilizada esta base teórica para apoiar a nova proposta que será apresentada a seguir, esta escolha se deu por conta de ser uma matéria-prima de fácil acesso (facilidade para compra e baixo custo). Porém, somente a tinta (como único material) não é capaz de gerar a diferença de potencial, são necessários elementos de apoio que façam o papel de polo negativo e positivo. Nestas condições, pela mesma motivação da escolha da tinta, como base de construção, foram escolhidos o Nitrogênio, como elemento negativo e o Pó de Alumínio (Óxido de Alumínio, conhecido também como Al_2O_3) como polo Positivo.

Considerando que o “Nitrogênio se trata de um não metal (íon negativo)” (DIAS, 2017) e o “Alumínio um metal (íon positivo)” (DIAS, 2017), ambos juntos formarão polo positivo e negativo gerando assim diferença de potencial, por fim energia.

O Nitrogênio a ser utilizado se encontra na forma líquida e o Alumínio no formato de alumina. Foram estas as maneiras mais facilmente encontradas no mercado, que poderiam se adaptar a mistura junto à tinta.

O desenho esquemático se comportará como a Figura 2, indicado por Rosa (2014):

Figura 2 – Estrutura de uma célula fotovoltaica



Fonte: Rosa, 2014.

Porém, adaptando o mesmo para a proposta aqui apresentada se obtém o seguinte esquema, conforme figura 3.

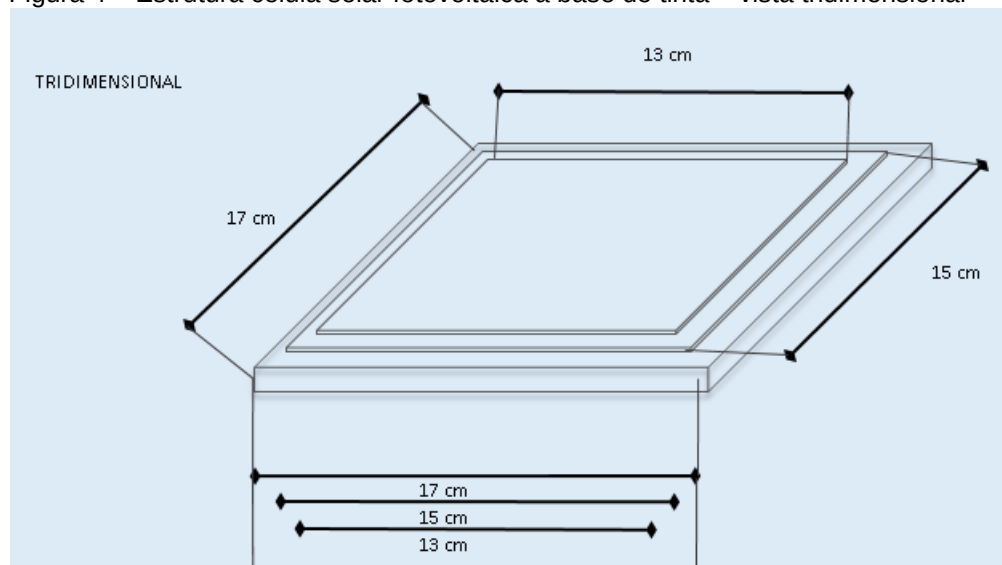
Figura 3 – Estrutura célula solar fotovoltaica a base de tinta



Como base para a proposta do projeto foi levado em consideração a maneira de apresentação e funcionalidade de uma célula fotovoltaica de silício convencional, facilitando assim as comparações que serão avaliadas e analisadas.

Nas figuras 4 e 5 se observa as vistas tridimensional e de cima, assim como as métricas que serão consideradas na construção das células propostas.

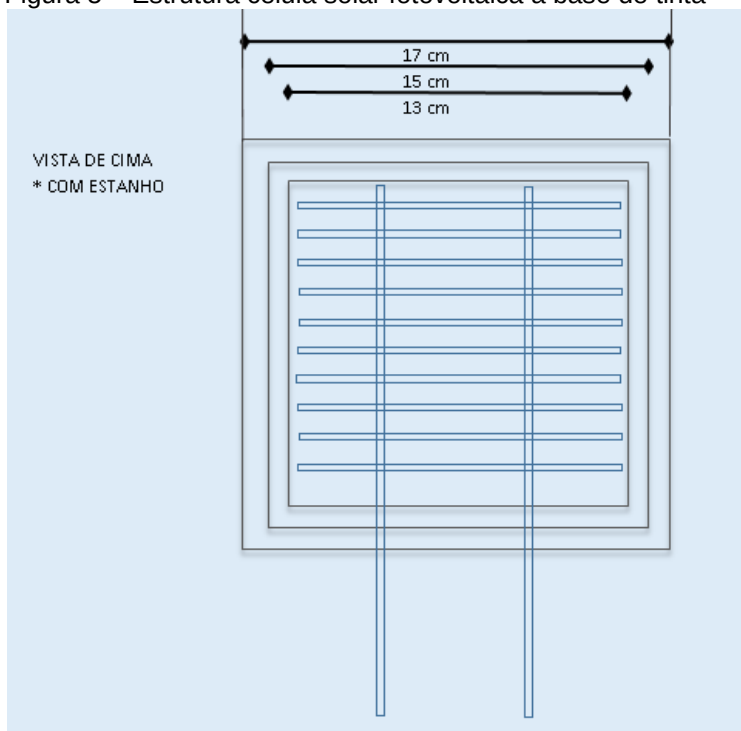
Figura 4 – Estrutura célula solar fotovoltaica a base de tinta – vista tridimensional



Na vista tridimensional se observa como se dará as camadas de tintas sobrepostas sobre a placa de alumínio.

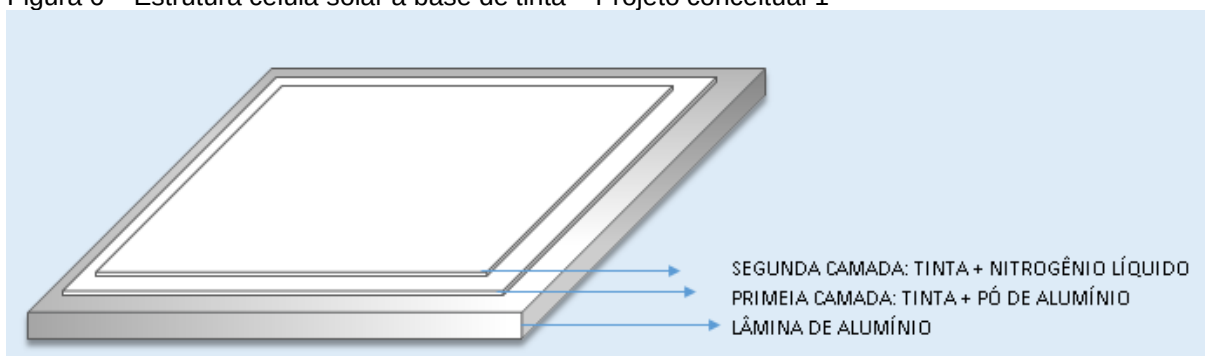
Já na vista de cima foi considerada também o manejo da fita de estanho, como um produto final acabado da célula.

Figura 5 – Estrutura célula solar fotovoltaica a base de tinta – Vista de cima



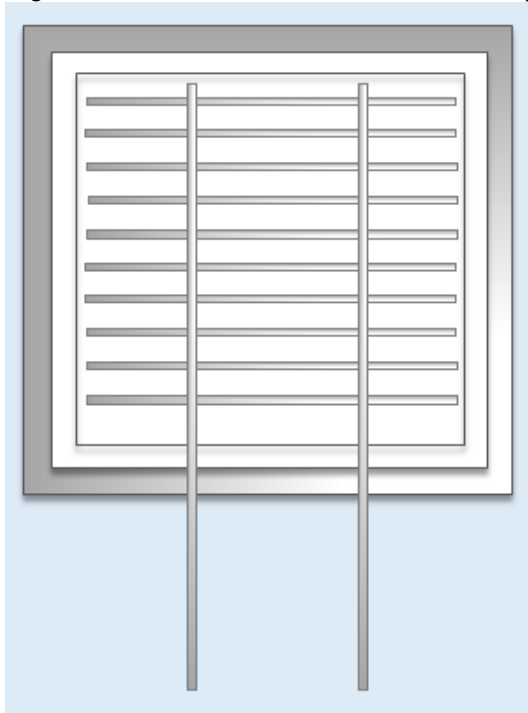
Por fim, nas figuras 6 e 7 se mostra a célula finalizada, sendo a primeira delas, sem o acabamento e finalização com o estanho.

Figura 6 – Estrutura célula solar à base de tinta – Projeto conceitual 1



E a segunda com o estanho já inserido e a célula pronta para medição.

Figura 7 – Célula solar à base de tinta – Projeto conceitual 2



Na sequência será indicada a escolha dos materiais, assim como o papel de cada um deles.

4.1 ESCOLHA DOS MATERIAIS

Dentre os materiais escolhidos é possível dividi-los em matéria-prima e materiais de apoio, onde entre as matérias-primas se destacam a folha de alumínio, o Pó de Alumínio e o Nitrogênio e entre os materiais de apoio a tinta, o Cobre/ estanho, a fita adesiva, a fita crepe e o papel *contact* transparente. A escolha se deu, de acordo com os princípios físicos para geração de diferença de potencial e pela facilidade de busca e baixo custo dos materiais.

Cada material apresenta a seguinte participação no processo de fabricação: A folha de alumínio foi escolhida para ser a base das células, não só para sustenta-las, como também para alimentar e aumentar a área positiva das mesmas. Por sua vez o Pó de Alumínio, foi escolhido para ser representante efetivo do polo positivo da célula. Por fim para alimentar o polo negativo, foi escolhido o Nitrogênio. Ambos foram misturados à tinta.

Por conta da base metálica de alumínio, a tinta escolhida foi um verniz próprio para metal/ madeira, considerando as cores mais claras possíveis: transparente e

branco (para uma melhor reflexão da luz e não absorção de calor, o que poderia gerar perda de eficiência).

Para a condução da tensão emitida pela célula, foram considerados dois materiais: o Cobre (popularmente utilizado em fiação elétrica, por conta da sua ótima condutibilidade) e o estanho, por conta da sua extensa utilização na fabricação de células fotovoltaicas.

Além dos materiais utilizados como matéria-prima, foram utilizados também materiais de apoio, para fabricação das células, entre eles, se destacam: a fita adesiva, como apoio para aderência do Cobre/ estanho à célula e para delimitar a pintura na fabricação das células efetivas; a fita crepe, para isolar as bordas das células, evitando que o estanho aderido encostasse nos dois polos (positivo e negativo) ao mesmo tempo, prejudicando a medição e por fim o papel “*contact transparente*”, que foi utilizado para reforçar a aderência do estanho às células de fabricação efetiva.

4.2 PILOTO

O objetivo do piloto efetuado foi a validação simples e direta respondendo a seguinte pergunta: “este tipo de célula, a base de tinta, gera tensão ou não?”. Para a elaboração do mesmo foram consideradas três amostras, com as seguintes misturas aproximadas (escolhidas de maneira aleatória): 25% Al x 50% N, 50% Al x 50% N e 67% Al x 50% N. A tinta utilizada foi de cor transparente e como condutor, o Cobre. A sequência de fabricação se deu da seguinte maneira:

4.2.1 Primeira etapa: Pintura da 1º Camada - Polo Positivo

A primeira camada se trata da mistura entre tinta e Pó de Alumínio, formando a camada positiva, sendo esta aplicada na folha de alumínio. Três camadas foram consideradas, passadas a cada oito horas. Foi utilizada uma base de papel, como apoio para evitar que a tinta escorresse e para diferenciar as misturas.

4.2.2 Segunda etapa: Pintura da 2ª Camada – Polo Negativo

Após secagem da primeira camada, foi possível efetuar a pintura da segunda camada, a qual utiliza como mistura a tinta com o Nitrogênio Líquido, formando assim a camada negativa.

4.2.3 Inserindo o Condutor - Cobre

Como os fios de Cobre comercializados encontrados apresentavam camada esmaltada (o que impossibilita a condução externa de energia), foram utilizados fios de Cobre nu, provindos de fios de internet decapados. Este item se apresentou muito interessante, uma vez que se trata de uma matéria-prima reciclada.

Foi elaborado uma espécie de “grade” para ser incluída acima do polo negativo da célula, assim capacitando a tensão da mesma. A mesma foi aderida à célula, se utilizando de fita adesiva, uma vez que a solda não aderiu à tinta e nem ao Cobre.

4.2.4 Medição do Piloto

Com a conclusão da fabricação do piloto foi possível efetuar a medição do mesmo. Foi escolhido um dia ensolarado, considerando o horário do meio-dia (sol ao cume). Como instrumento de medição, foi utilizado multímetro, regulado para captação de voltagem. Como resultado, se observou uma tensão de 4 mV (0,004 V). Apesar do pequeno valor obtido, a resposta para a pergunta objetivo do piloto: “este tipo de célula, a base de tinta, gera tensão elétrica ou não?”, é “Sim, este tipo de célula fotovoltaica gera tensão elétrica”. O que permitiu a evolução do estudo, finalizando esta primeira etapa e permitindo a sequência do trabalho para uma segunda etapa (fabricação efetiva, amostras definidas e analisadas por meio de um estudo estatístico).

4.3 ESCOLHA DAS AMOSTRAS

Para que pudesse ser feito um estudo estatístico, por meio do método DOE (*Design of Experiments*), foi necessário a escolha de no mínimo três níveis, com percentuais diferentes e ortogonais em relação aos dois materiais escolhidos (Pó de Alumínio e Nitrogênio). Sendo estes níveis: 20%, 40% e 60% de Pó de Alumínio

(mistura com tinta) e 20%, 40% e 60% de Nitrogênio (mistura com tinta). Considerando que tais materiais foram instaurados como os fatores controláveis do experimento. Como variável resposta, o desempenho em volts será medido. Três níveis foram definidos para que fosse possível não obter apenas resultados limitados como um ponto ou uma reta (como apresentação do comportamento), mas sim a possibilidade de se obter uma curva, uma parábola ou até mesmo uma exponencial, explanando assim a análise a ser efetuada.

O DOE foi escolhido uma vez que, segundo Tahara (2008):

“[...] é uma técnica utilizada para se planejar experimentos, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletados durante um determinado experimento, buscando, basicamente, satisfazer dois grandes objetivos: a maior precisão estatística possível na resposta e o menor custo. É, portanto, uma técnica de extrema importância para a indústria pois seu emprego permite resultados mais confiáveis [...] A sua aplicação no desenvolvimento de novos produtos é muito importante, onde uma maior qualidade dos resultados dos testes pode levar a um projeto com desempenho superior seja em termos de suas características funcionais como também sua robustez”

Um ponto importante, não se optou por um percentual maior que 60% (nem de Pó de Alumínio, nem de Nitrogênio), uma vez que se observou no piloto que uma mistura com um percentual muito inferior de tinta (cerca de 35%/ 40%) faz com que ela se torne mais espessa, dificultando no processo de pintura. Para esta primeira análise foi considerada apenas uma camada (espessa) para ambos os polos (positivo e negativo) e quatro amostras de cada tipo diferente de mistura.

Para fins de pesquisa, inicialmente foi instaurada uma população, que neste caso também é a amostra, de quatro unidades para cada uma das diferentes misturas.

Com isto definido, foi possível efetuar o cruzamento de misturas e chegar no número total de 36 amostras. Considerando que estas se apresentam de acordo com o seguinte quadro:

Quadro 5 – Amostras de cada Mistura

ID	Pó de Alumínio (%)	Nitrogênio (%)	N (código das células com mesmas especificações de fabricação)
1	20	20	1
2	20	20	1
3	20	20	1
4	20	20	1
5	20	40	2
6	20	40	2
7	20	40	2
8	20	40	2
9	20	60	3
10	20	60	3
11	20	60	3
12	20	60	3
13	40	20	4
14	40	20	4
15	40	20	4
16	40	20	4
17	40	40	5
18	40	40	5
19	40	40	5
20	40	40	5
21	40	60	6
22	40	60	6
23	40	60	6
24	40	60	6
25	60	20	7
26	60	20	7
27	60	20	7
28	60	20	7
29	60	40	8
30	60	40	8
31	60	40	8
32	60	40	8
33	60	60	9
34	60	60	9
35	60	60	9
36	60	60	9

Com o número de amostras definido foi possível iniciar a fabricação efetiva das células solares.

4.4 FABRICAÇÃO EFETIVA

O objetivo da fabricação efetiva é por meio do método DOE indicar qual das misturas propostas apresentam uma maior tensão (em volts) e se realmente existe diferença significativa entre as opções propostas.

Para a elaboração do mesmo foram consideradas as 36 amostras definidas anteriormente, com as misturas (aproximadas), indicadas no quadro 5. A tinta utilizada foi de cor branca e o condutor o estanho.

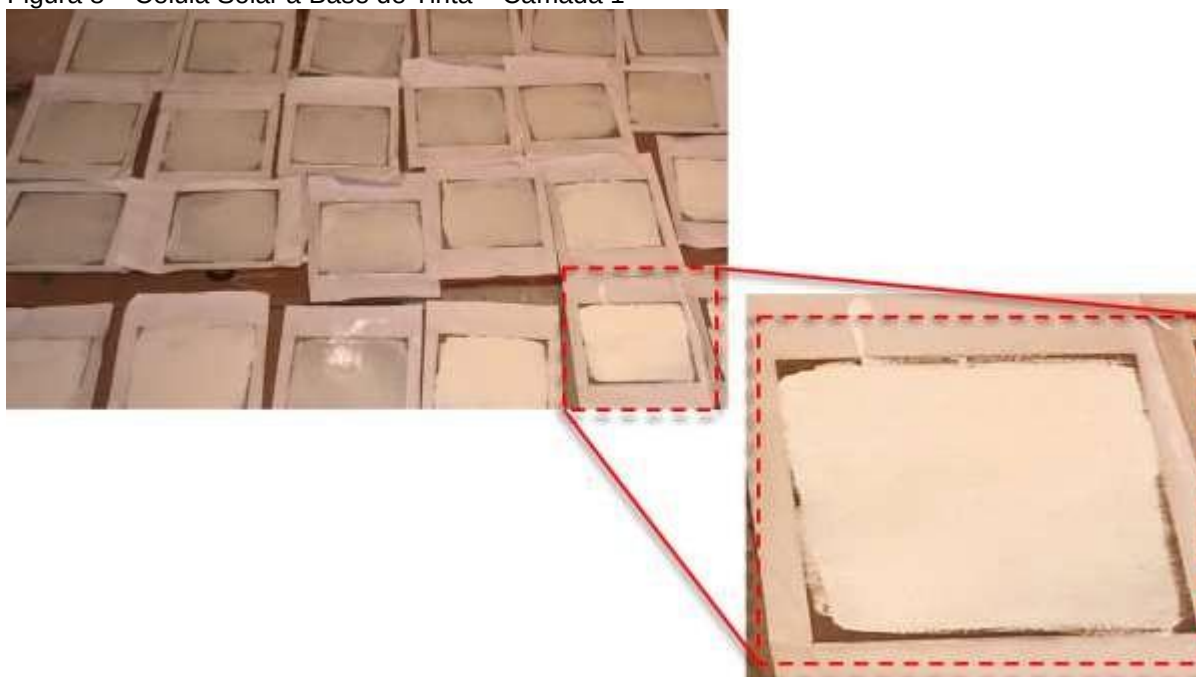
A cor branca foi escolhida para evitar ao máximo a absorção de calor na célula, o que poderia fazer com que a mesma perdesse eficiência, uma vez que o objetivo proposto é uma célula solar fotovoltaica, não térmica. Quanto ao estanho, a sua escolha foi embasada nas células convencionais presentes no mercado, ele é responsável por captar a diferença de potencial e fazer ligações em série entre as células solares à base de silício.

A sequência de fabricação se deu da seguinte maneira:

4.4.1 Primeira etapa: Pintura da 1º Camada Polo Positivo

A primeira camada se trata da mistura entre tinta e Pó de Alumínio, formando a camada positiva, sendo esta aplicada na folha de alumínio. Apenas uma camada (de grossa espessura) foi considerada, a relação entre número de camadas e aumento de tensão será considerada em trabalhos futuros. Foi utilizada uma base de papel e fitas adesivas, como apoio e delimitação das bordas, para evitar que a tinta escorresse para a outra face da lâmina, além disso também permitindo anotações, facilitando a diferenciação entre as misturas. Nesta primeira camada, as placas de alumínio de 17 x 17 cm, com o recuo da fita adesiva passaram a ter uma área de pintura de 15 x 15 cm.

Figura 8 – Célula Solar à Base de Tinta – Camada 1

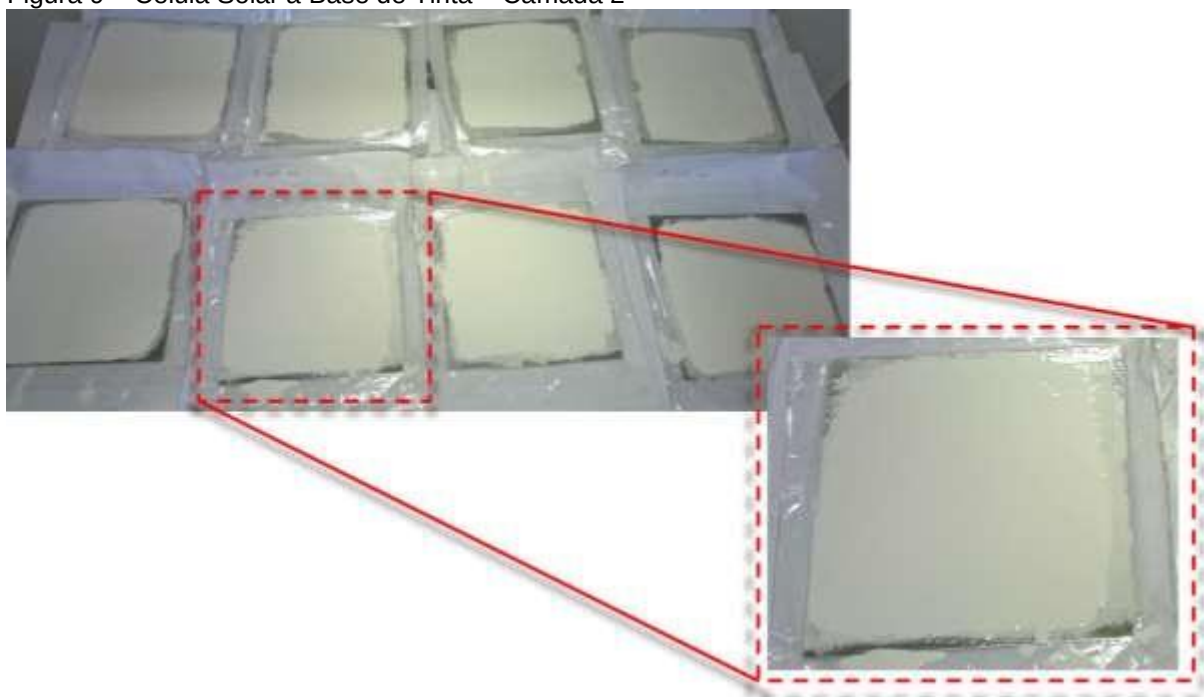


Após 5 dias de secagem e mais 10 dias de armazenagem foi possível efetuar a pintura da segunda camada, conforme será indicado a seguir.

4.4.2 Segunda etapa: Pintura da 2ª Camada – Polo Negativo

Após secagem da primeira camada, foi efetuada a pintura da segunda camada, a qual utiliza como mistura a tinta com o Nitrogênio, formando assim a camada negativa. Neste momento também foi considerada apenas uma camada (espessa) e a folha de papel ainda utilizada como apoio, além das fitas adesivas. Nesta segunda camada, as placas de alumínio (que com o primeiro recuo da fita adesiva estavam com 15 x 15 cm), agora passaram a ter uma área de pintura de 13 x 13 cm. O recuo foi instaurado para evitar o escoamento da tinta para a outra face e evitar que polo positivo e negativo se misturassem, perdendo assim o princípio da pilha e não gerando a diferença de potencial.

Figura 9 – Célula Solar à Base de Tinta – Camada 2

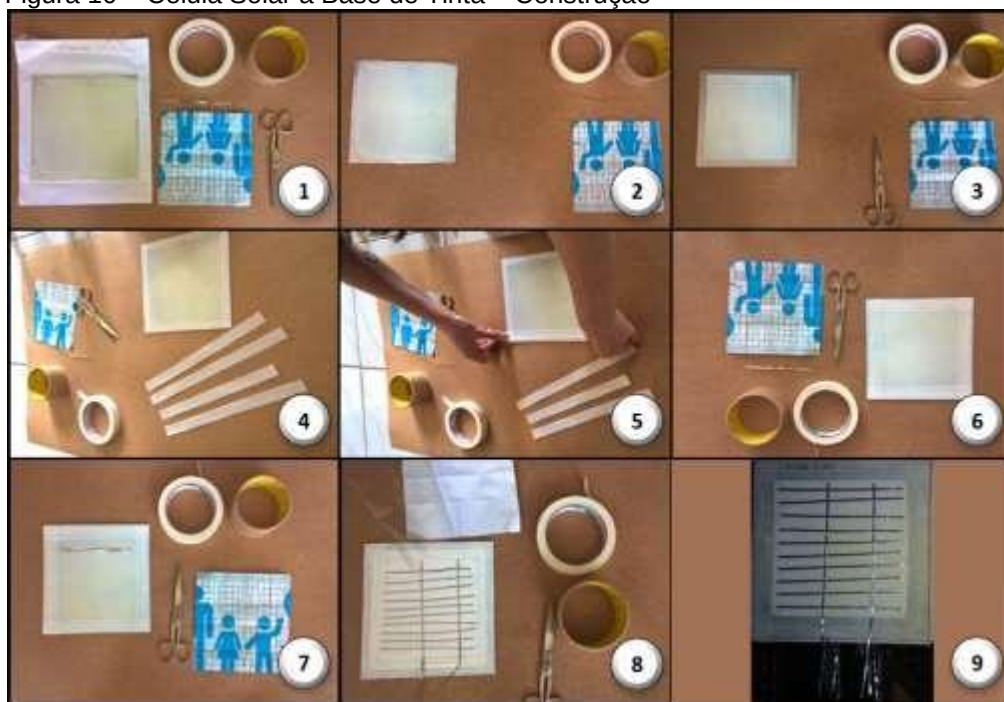


Após mais 5 dias de secagem foi possível retirar as placas da base de papel e inserir o condutor (neste caso o estanho), para na sequência ser possível inseri-las em exposição ao sol e assim efetuar a medição da voltagem.

4.4.3 Inserindo o Condutor - Estanho

O estanho utilizado é próprio para células fotovoltaicas. As tiras foram cortadas de 12 em 12 cm, para não ultrapassar a área da pintura da placa de alumínio. Foram consideradas 10 tiras na horizontal e duas na vertical (estes por sua vez foram cortadas de 20 em 20 cm, para facilitar a medição). Para que o estanho não encostasse diretamente na placa de alumínio, o que poderia prejudicar a medição com o multímetro, a fita crepe foi utilizada como fita isolante. Os dois recuos indicados nas pinturas da primeira e segunda camada (totalizando 4 cm, no comprimento e largura da placa) foram recobertos com a mesma. Com o estanho cortado conforme estabelecido, uma espécie de grade é instaurada e para aderência da mesma foi utilizado como apoio a fita adesiva e o papel “*contact transparente*”. Não foi possível a utilização de solda, uma vez que em testes físicos (no momento do piloto) a mesma não aderiu à tinta.

Figura 10 – Célula Solar à Base de Tinta – Construção



1. Placas após secagem mais os materiais de apoio utilizados;
2. Após isto, a base de papel foi retirada;
3. Assim como a fita adesiva (que delimitou a pintura) também foi retirada;
4. 5. 6. Feito isto foram inseridas nas bordas a fita crepe, que neste caso funcionou como fita isolante;
7. Na sequência a fita de estanho foi cortada de 12 cm em 12 cm, para a parte horizontal da grade e de 20 cm em 20 cm, para a parte vertical da grade;
8. Em seguida, o conjunto de fitas de estanho foram alinhadas em forma de grade (com o apoio prévio da fita adesiva);
9. Por fim, para uma maior aderência foi utilizado o papel “*contact* transparente” para fixar a grade à célula solar.

Feito isto, as amostras se encontram concluídas e prontas para teste.

4.5 MEDIÇÃO EFETIVA

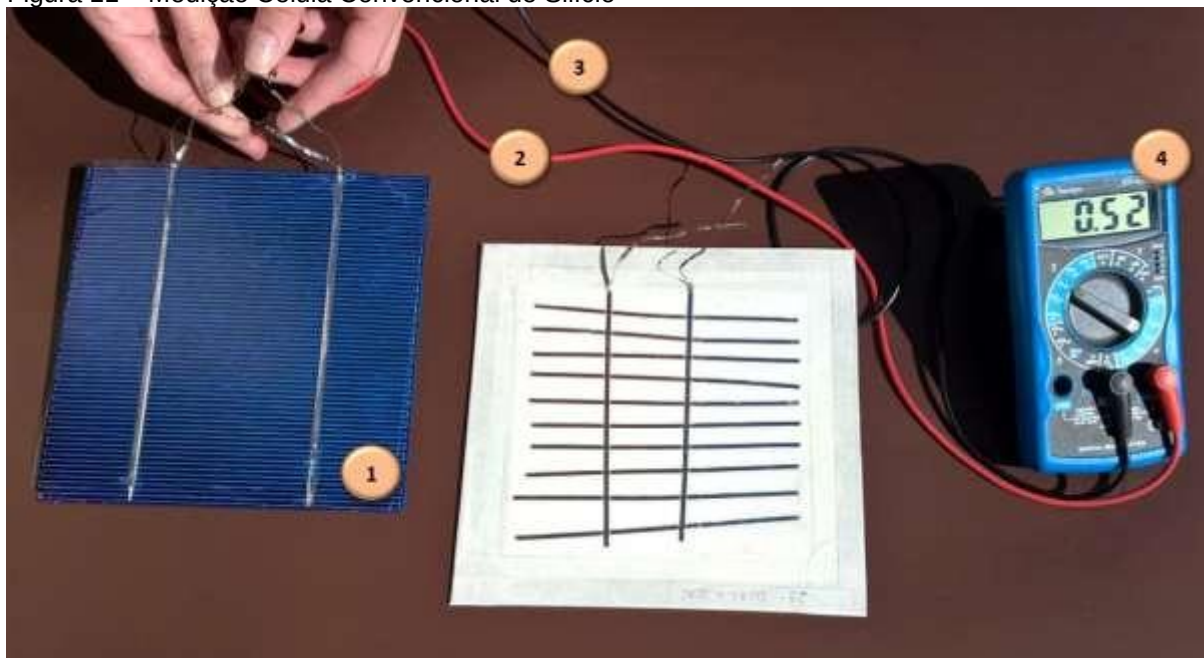
A ocorrência se deu em 7 dias, totalizando 20 medições, na estação de outono. Destas em nenhum dos dias ocorreu chuva e o sol se apresentou ao menos parcialmente. As medições foram realizadas das 10h às 17h, considerando que o local

do experimento recebe (em sua totalidade) o sol da tarde. Considerando que o mesmo é situado na região residencial do bairro Boa Vista em Curitiba, Paraná.

Como resultado das medições a seguinte tabela (Apêndice A) foi preenchida, considerando como parâmetros o ID da célula (número de identificação individual da mesma), o percentual de Pó de Alumínio, o percentual de Nitrogênio, N (número de identificação das células que apresentavam a mesma mistura), Repetições por dia, Faixa Horária da Medição, produção de tensão elétrica (em volts), Data da ocorrência e por fim, as Condições Climáticas (estas coletadas do aplicativo MSN Clima, em tempo real). A tabela de medição gerou 720 linhas, considerando o cruzamento de dados de 36 amostras diferenciadas versus as 20 medições ocorridas (conforme tabela Apêndice A). As Células Convencionais (2) e as Células à Base de Tinta (36) foram medidas nas mesmas condições ambientes, sob o mesmo posicionamento (com inclinação aproximada de 45° em relação ao plano).

- Medição Célula Convencional:

Figura 11 – Medição Célula Convencional de Silício



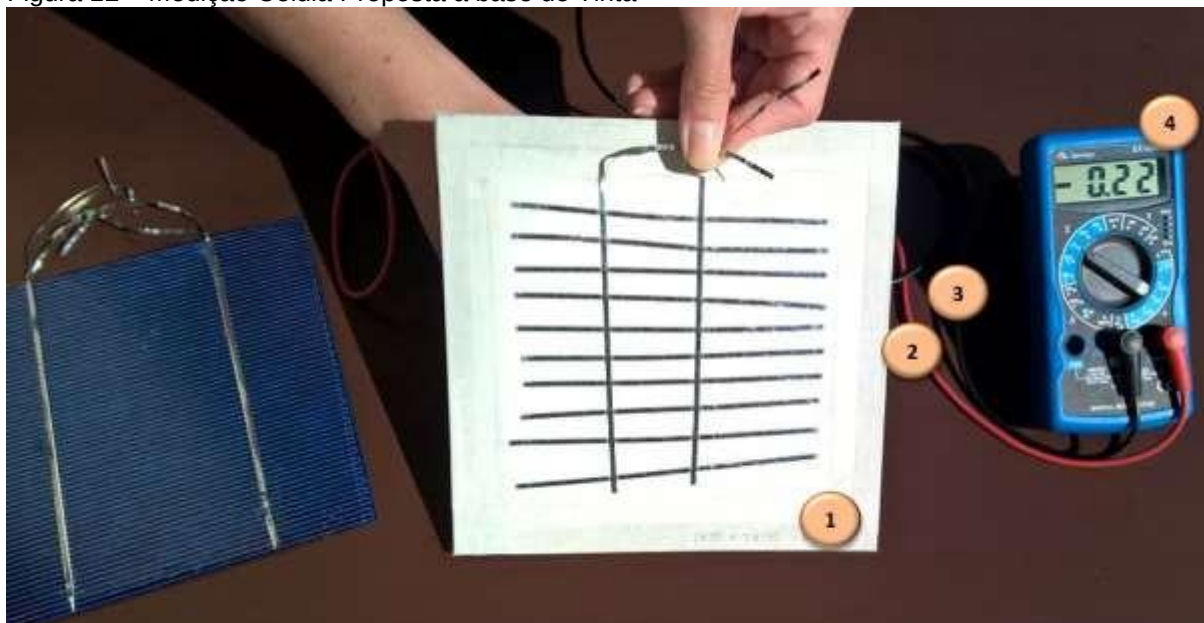
Na Figura 11 se observa os seguintes itens:

- 1 – Placa Fotovoltaica de Silício;
- 2 – Terminal de medição: positivo (fio vermelho);
- 3 – Terminal de medição: negativo (fio preto);

4 – Multímetro – Voltímetro indiano.

- Medição Célula à Base de Tinta:

Figura 12 – Medição Célula Proposta à base de Tinta



Na Figura 12 se observa os seguintes itens:

- 1 – Placa Fotovoltaica a base de tinta;
- 2 – Terminal de medição: positivo (fio vermelho);
- 3 – Terminal de medição: negativo (fio preto);
- 4 – Multímetro – Voltímetro indiano.

O multímetro utilizado foi regulado para medir as placas considerando que os resultados apresentados foram medidos em volts. Os cabos (vermelho e preto) são para captar a geração de energia que circula entre os polos positivo e negativo. Para tanto, um dos cabos foi aderido ao polo positivo (base da placa com pintura, folha de alumínio) e o outro cabo foi aderido aos fios de estanhos que se encontram na parte superior da placa, polo negativo, onde se encontra a mistura de tinta com nitrogênio. Em seguida, após três segundo de estabilidade foi possível verificar o valor (em volts) disponibilizado no visor do equipamento.

5 RESULTADOS DO EXPERIMENTO

Com a coleta de dados efetuada foi possível iniciar a tratativa de resultados. O método utilizado, DOE, trará indicativos de qual mistura é a de melhor desempenho e as possíveis influências.

5.1 ELABORAÇÃO DOE

O objetivo de tal avaliação estatísticas das células é indicar se existe alguma mistura (dentre as nove estabelecidas) que se sobressai em relação às outras, ou se a geração de voltagem delas se permanece constante independente do percentual de Nitrogênio (camada N) e Pó de Alumínio (camada P). O DOE também será aplicado para validar se condições climáticas, clima, temperatura e umidade também apresentam determinada influência (considerando que tais dados foram extraídos do MSN Clima, aplicativo este que apresenta os dados em tempo real de acordo com a localização indicada). Porém, por opção do autor estes fatores foram considerados controláveis uma vez que ao medi-los foi possível classifica-los dentro de ranges de medidas proporcionais, mantendo assim o delineamento balanceado.

5.2 RESULTADOS DOE

Para reforçar e apresentar uma prévia análise a ser efetuada pelo Minitab, software estatístico utilizado como base, foram analisados os dados de acordo com o comportamento da média de cada uma das diferentes misturas. Em linhas gerais se observa o seguinte (considerando a tabela de misturas):

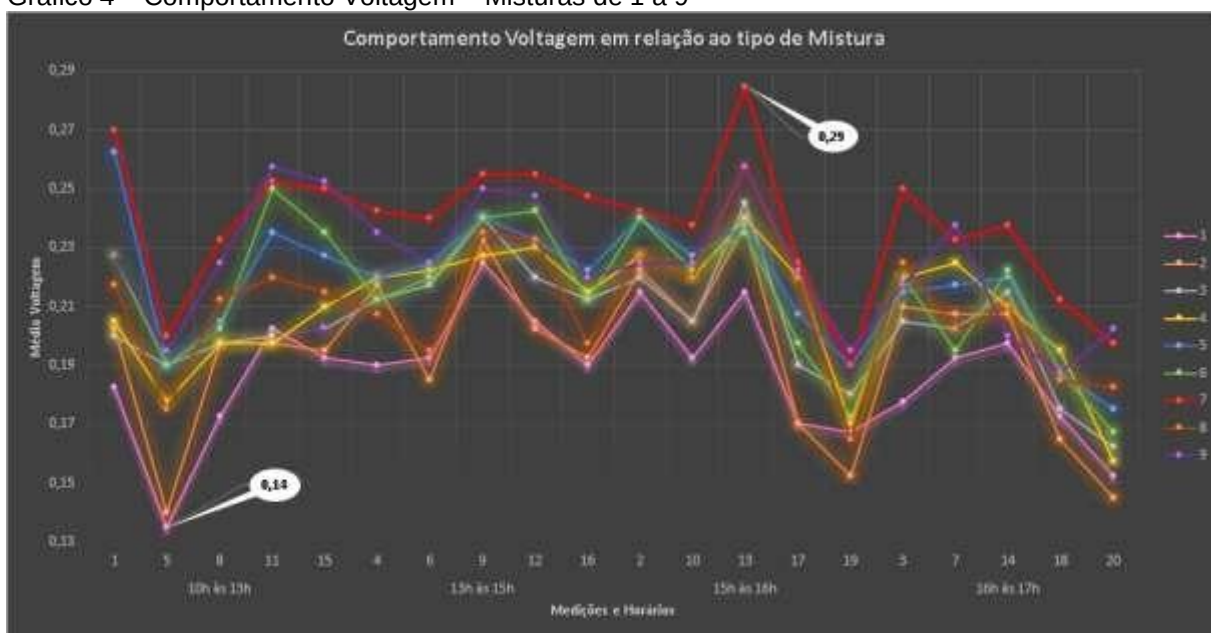
Quadro 6 – Grupo de Misturas

Tipo de Mistura	Pó de Alumínio (%)	Nitrogênio (%)
1	20	20
2	20	40
3	20	60
4	40	20
5	40	40
6	40	60
7	60	20
8	60	40
9	60	60

- Geral

Considerando um comparativo geral, entre todas as misturas, se observa um ponto máximo de 0,29V na mistura 7 (60% Pó de Alumínio e 20% Nitrogênio) e um ponto mínimo de 0,14V na mistura 1 (20% Pó de Alumínio e 20% Nitrogênio).

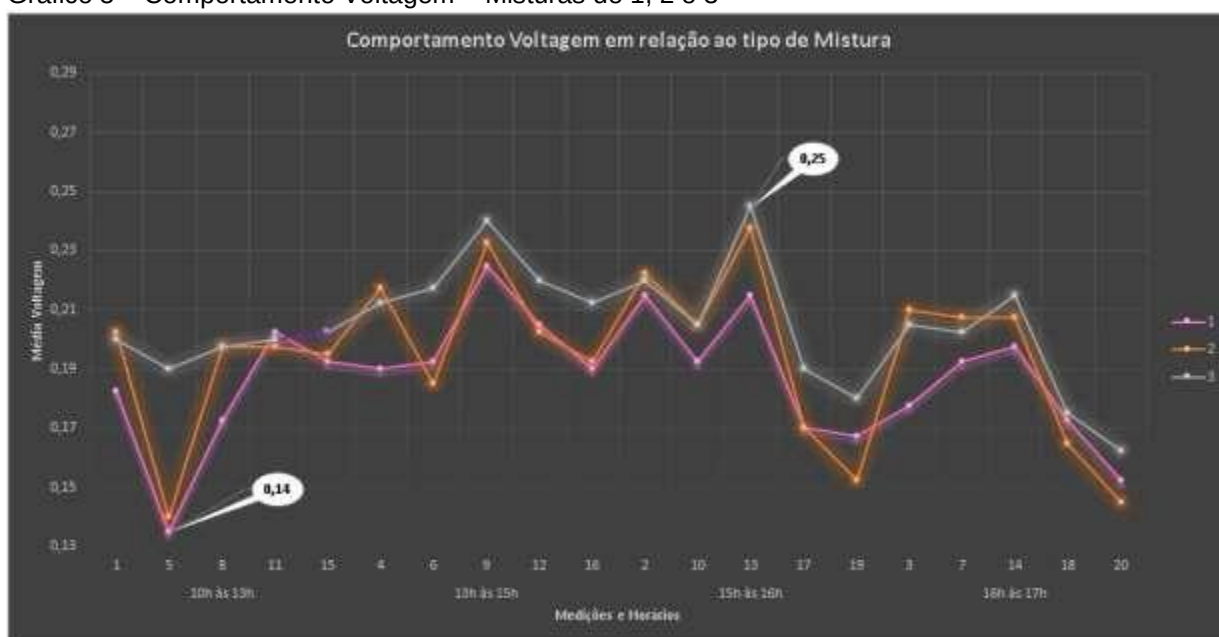
Gráfico 4 – Comportamento Voltagem – Misturas de 1 a 9



- Alumínio 20%

Considerando um comparativo entre as misturas que apresentam 20% de Alumínio, se observa um ponto máximo de 0,25V na mistura 3 (20% Pó de Alumínio e 60% Nitrogênio) e um ponto mínimo de 0,14V na mistura 1 (20% Alumínio e 20% Nitrogênio).

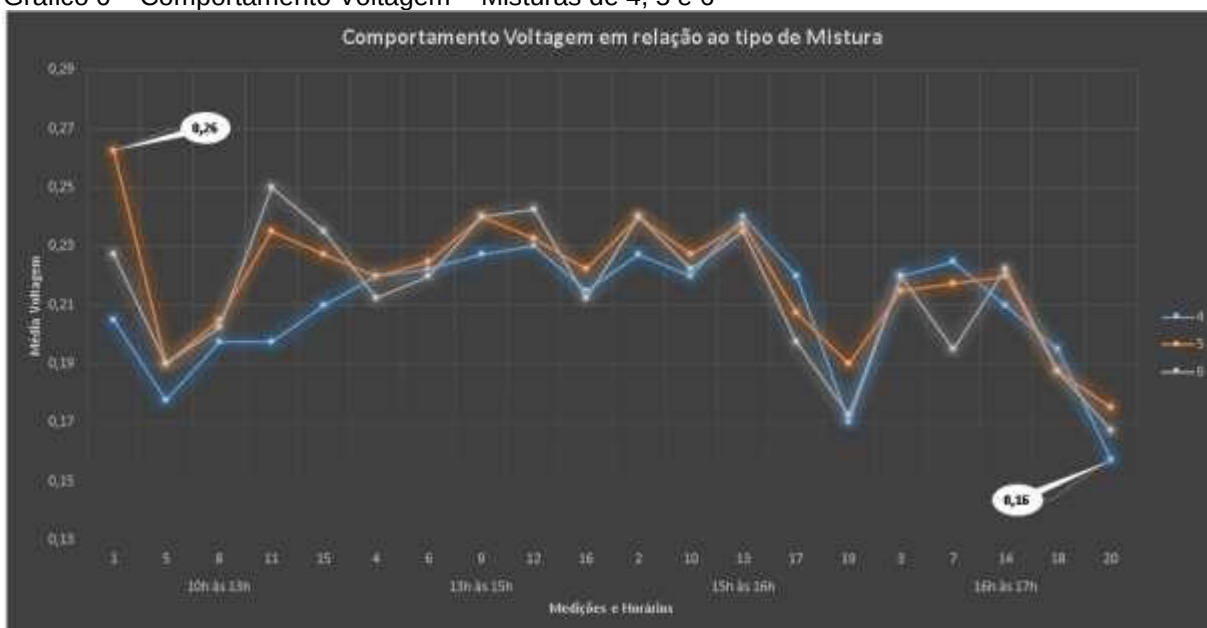
Gráfico 5 – Comportamento Voltagem – Misturas de 1, 2 e 3



- Alumínio 40%

Considerando um comparativo entre as misturas que apresentam 40% de Alumínio, se observa um ponto máximo de 0,26V na mistura 5 (40% Pó de Alumínio e 40% Nitrogênio) e um ponto mínimo de 0,16V na mistura 4 (40% Pó de Alumínio e 20% Nitrogênio).

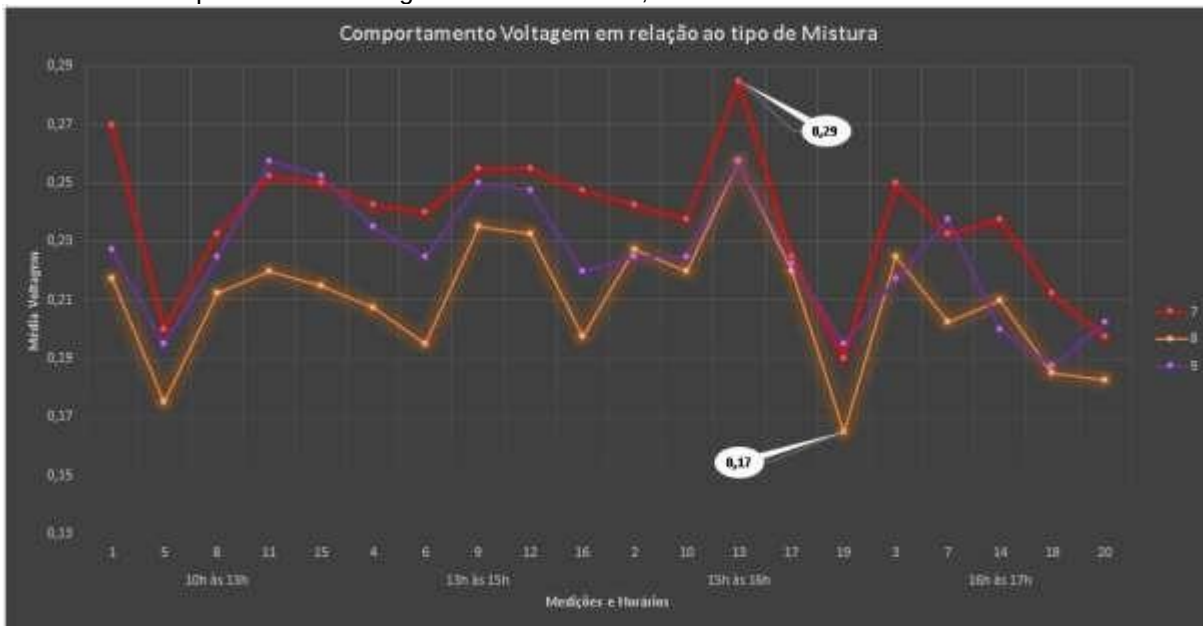
Gráfico 6 – Comportamento Voltagem – Misturas de 4, 5 e 6



- Alumínio 60%

Considerando um comparativo entre as misturas que apresentam 60% de Alumínio, se observa um ponto máximo de 0,29V na mistura 7 (60% Pó de Alumínio e 20% Nitrogênio) e um ponto mínimo de 0,17V na mistura 8 (60% Pó de Alumínio e 40% Nitrogênio).

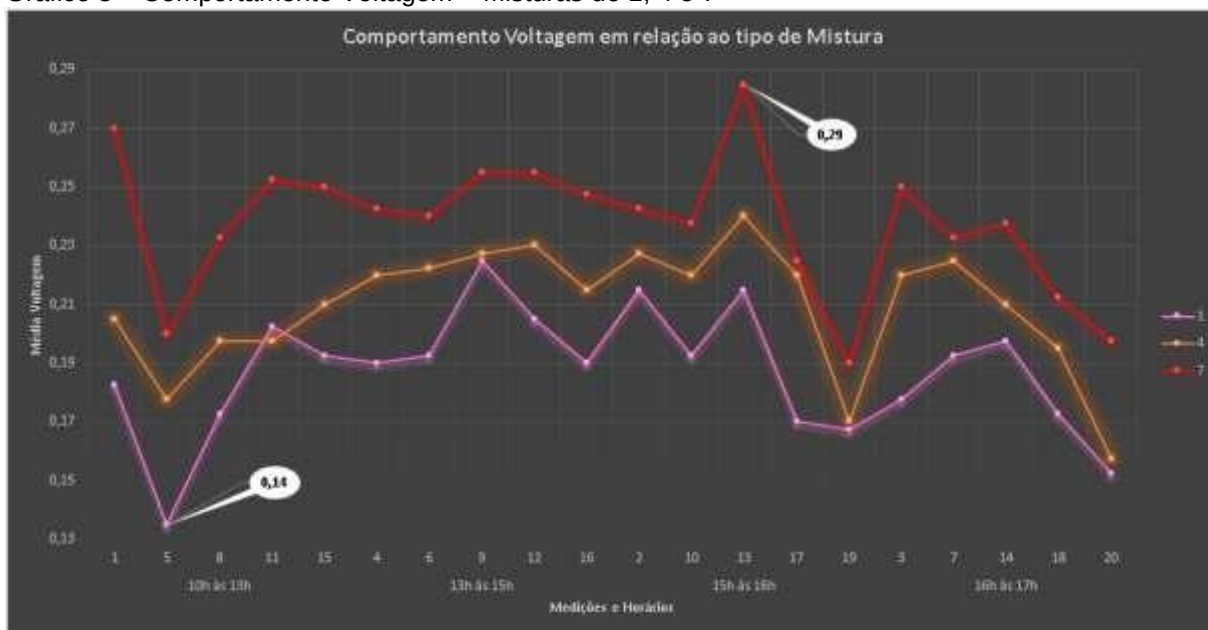
Gráfico 7 – Comportamento Voltagem – Misturas de 7, 8 e 9



- Nitrogênio 20%

Considerando um comparativo entre as misturas que apresentam 20% de Nitrogênio, se observa um ponto máximo de 0,29V na mistura 7 (60% Pó de Alumínio e 20% Nitrogênio) e um ponto mínimo de 0,14V na mistura 1 (20% Pó de Alumínio e 20% Nitrogênio).

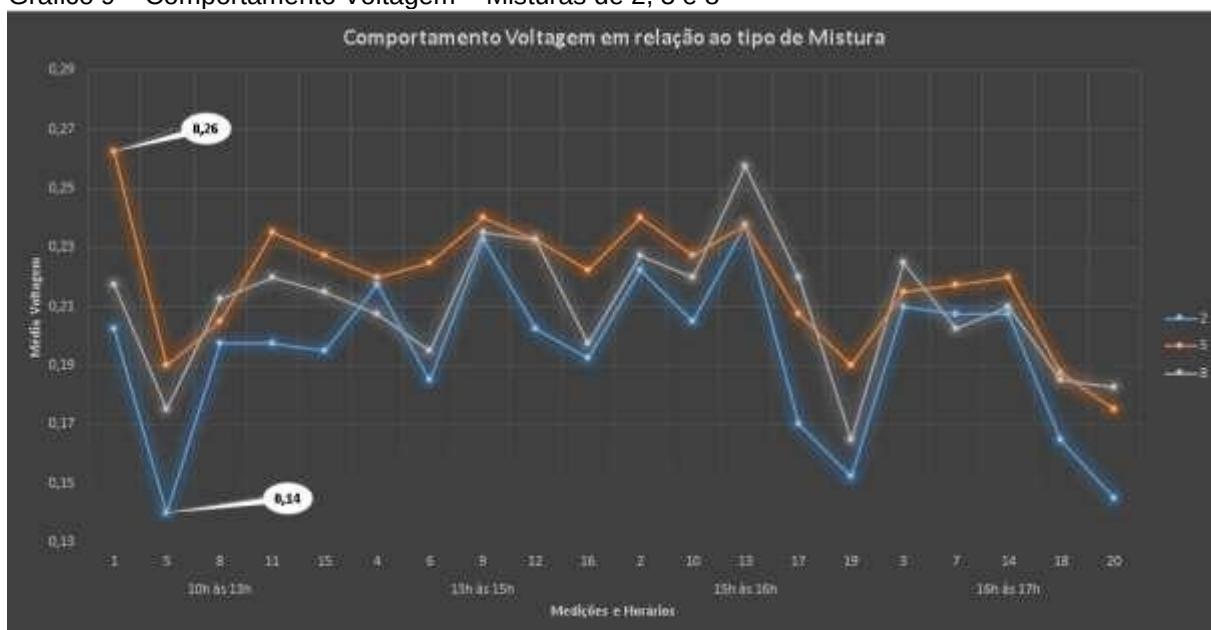
Gráfico 8 – Comportamento Voltagem – Misturas de 1, 4 e 7



- Nitrogênio 40%

Considerando um comparativo entre as misturas que apresentam 40% de Nitrogênio, se observa um ponto máximo de 0,26V na mistura 5 (40% Pó de Alumínio e 40% Nitrogênio) e um ponto mínimo de 0,14V na mistura 2 (20% Pó de Alumínio e 40% Nitrogênio).

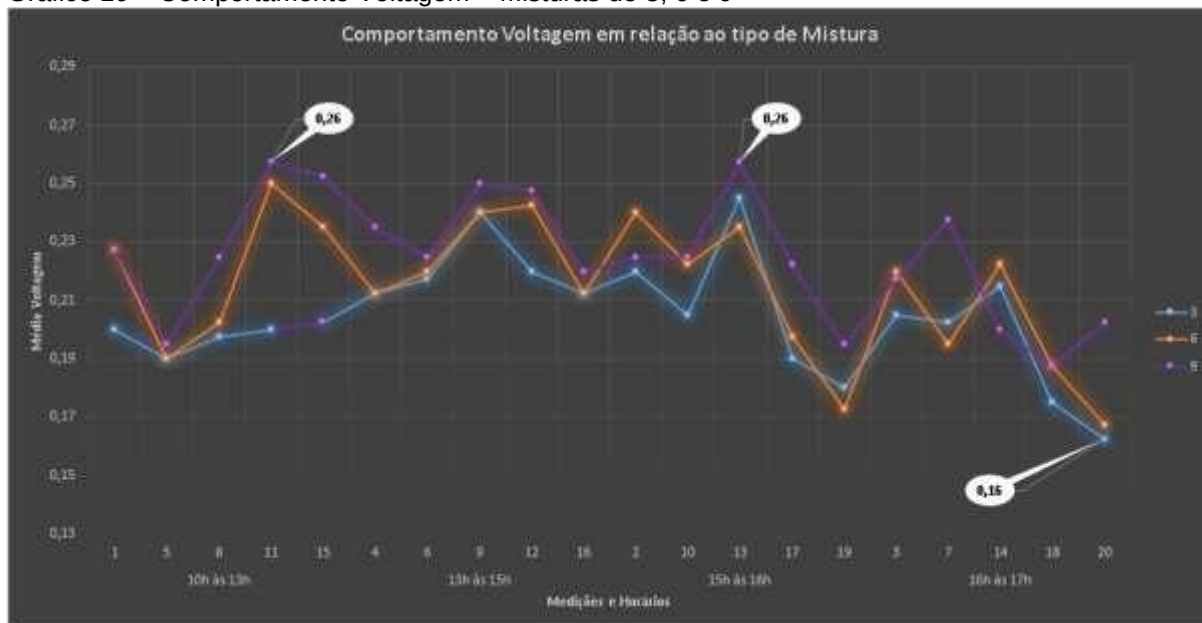
Gráfico 9 – Comportamento Voltagem – Misturas de 2, 5 e 8



- Nitrogênio 60%

Considerando um comparativo entre as misturas que apresentam 60% de Nitrogênio, se observa um ponto máximo de 0,26V na mistura 9 (60% Pó de Alumínio e 60% Nitrogênio) e um ponto mínimo de 0,16V na mistura 3 (20% Pó de Alumínio e 60% Nitrogênio).

Gráfico 10 – Comportamento Voltagem – Misturas de 3, 6 e 9



De acordo com os dados, se ranquearmos os resultados de maneira decrescente, se considera como melhores misturas, a 7 (60% Pó de Alumínio e 20% Nitrogênio) com 0,29V, a 5 (40% Pó de Alumínio e 40% Nitrogênio) com 0,26V e por fim a 9 (60% Pó de Alumínio e 60% Nitrogênio) com 0,26V também. A grosso modo se observa que o comportamento do Pó de Alumínio é mais sensível em relação ao resultado obtido em Voltagens, o que pode torná-lo um dos principais influentes, em contrapartida o Nitrogênio, nesta análise prévia, não traz resultados conclusivos.

Para confirmar tais gráficos e valores, os dados serão também refletidos no Mitinitab, com o intuito de determinar com precisão qual a melhor mistura, como resultado deste estudo.

A tabela de dados resultados das medições se encontra no Apêndice A.

No quadro 7 se observa os fatores avaliados, neste primeiro momento, que seriam: o Pó de Alumínio aos níveis de 20%, 40% e 60%, o Nitrogênio aos níveis de 20%, 40% e 60% e o Horário aos níveis de 10h às 13h, 13h às 15h, 15h às 16h e 16h às 17h.

Quadro 7 – Fatores Relacionados ao Horário - Minitab

Fator	Tipo	Níveis	Valores
Pó de Alumínio (%)	Fixo	3	20; 40; 60
Nitrogênio (%)	Fixo	3	20; 40; 60
Horário	Fixo	4	10h às 13h; 13h às 15h; 15h às 16h; 16h às 17h

Já no quadro 8 é possível observa o resultado obtido pela ANOVA, avaliando os três fatores indicados. Para sequência da avaliação é utilizado os critérios de acordo com o p-valor, considerando:

“sendo este a probabilidade, sob H_0 , de ocorrência do valor particular observado para a estatística de teste ou de valores mais extremos. A probabilidade de significância de um teste mede a força da evidência contra H_0 em uma escala numérica. Um p-valor pequeno indica uma forte justificativa (evidência) para a rejeição de H_0 .” (SOUZA, 2013)

Nestas condições quando o p-valor $< \alpha$, se indica que tal fator apresenta significância na interferência do resultado para a variável resposta. O experimento aqui realizado utiliza um $\alpha = 0,05$, totalizando um nível de confiança de 95%. Ou seja, para todo p-valor $< 0,05$ se conclui que exista uma interferência expressiva.

Quadro 8 – Análise de Variância para Voltagem - Minitab

Fonte	GL	SQ	QM	F	P
Pó de Alumínio (%)	2	0,104681	0,052341	74,79	0,000
Nitrogênio (%)	2	0,006022	0,003011	4,30	0,014
Horário	3	0,048255	0,016085	22,98	0,000
Pó de Alumínio (%)*Nitrogênio (%)	4	0,040775	0,010194	14,57	0,000
Pó de Alumínio (%)*Horário	6	0,005262	0,000877	1,25	0,277
Nitrogênio (%)*Horário	6	0,004211	0,000702	1,00	0,422
Pó de Alumínio (%)*Nitrogênio (%)*Horário	12	0,005155	0,000430	0,61	0,831
Erro	684	0,478685	0,000700		
Total	719	0,693047			
S = 0,0264543 R ² = 30,93% R ² (aj) = 27,40%					

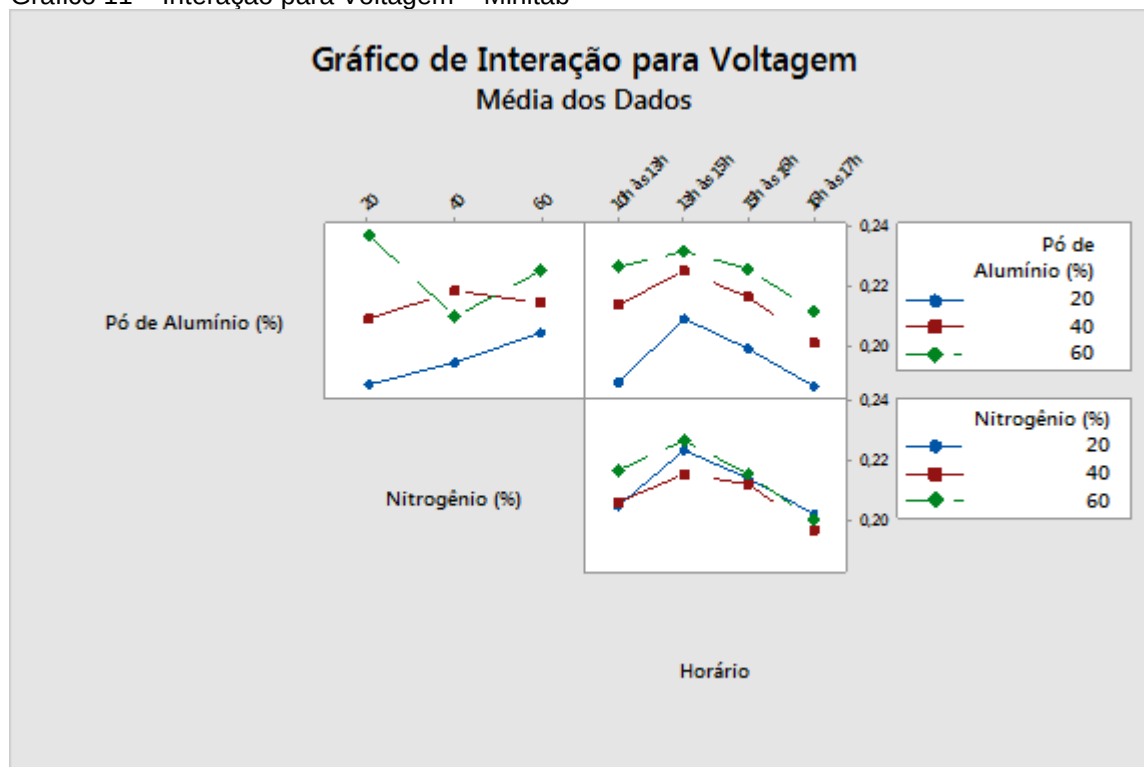
Considerando tal avaliação, se percebe ainda pelo quadro 8 que o percentual de Pós de Alumínio, o percentual de Nitrogênio, o Horário e o cruzamento entre o

Percentual de Pó de Alumínio versus o Horário apresentam maior influência no resultado do experimento.

Para se confirmar isto de maneira ilustrativa, foram gerados os gráficos de Interação (Gráfico 11) e Efeitos Principais para a Voltagem (Gráfico 12). Desta forma no Gráfico 11 se observa que o Pó de Alumínio apresenta um melhor desempenho na faixa dos 60%, apresenta um recuo na faixa dos 40% e decai na faixa dos 20%. Enquanto o Nitrogênio apresenta o seguinte comportamento, apresenta alto desempenho na faixa dos 20%, decai aos 40% e retorna a aumentar aos 60%.

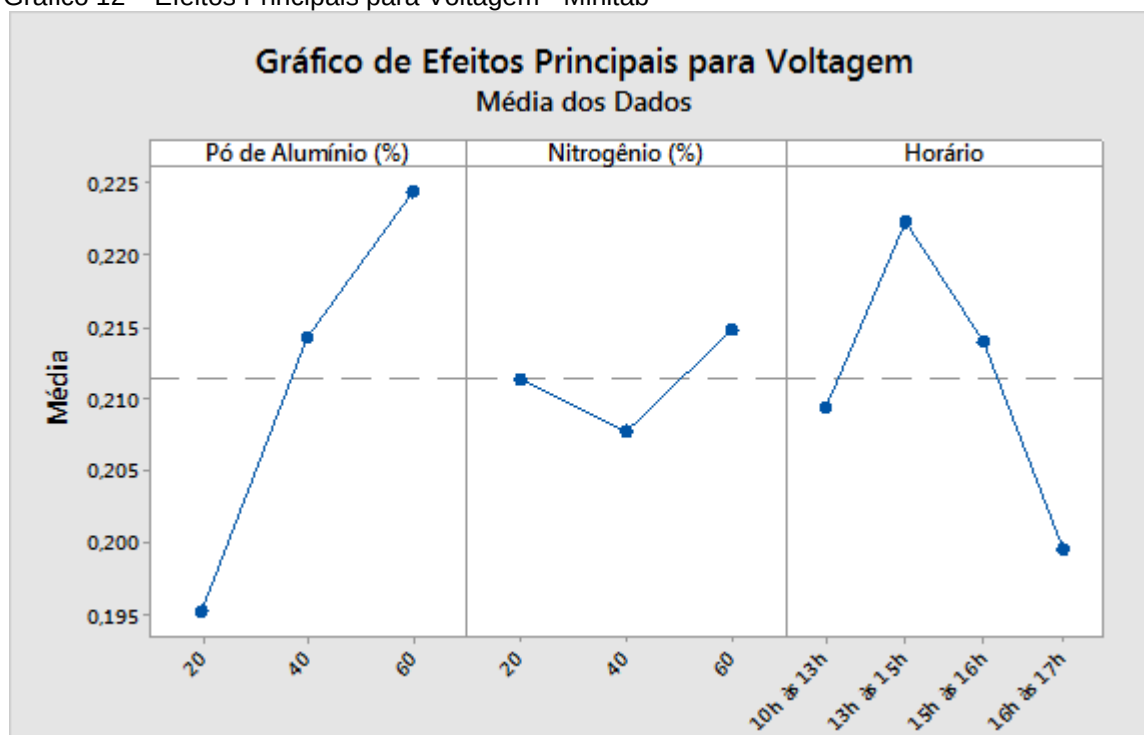
Quanto ao horário, se confirma o que foi observado na prática do experimento, todo horário próximo às 13h (sol à pino), as células apresentaram uma maior tensão.

Gráfico 11 – Interação para Voltagem – Minitab



Já no Gráfico 12, se observa de maneira mais clara ainda que o Pó de Alumínio apresenta maior expressividade na influência dos resultados obtidos, seguido do Horário, por fim, o Nitrogênio apresenta uma influência mais suave, o que nos faz concluir que é possível obter um bom resultado até com uma quantidade menor de Nitrogênio (20% considerado neste experimento), fazendo também com que possíveis custos de fabricação sejam ainda mais reduzidos.

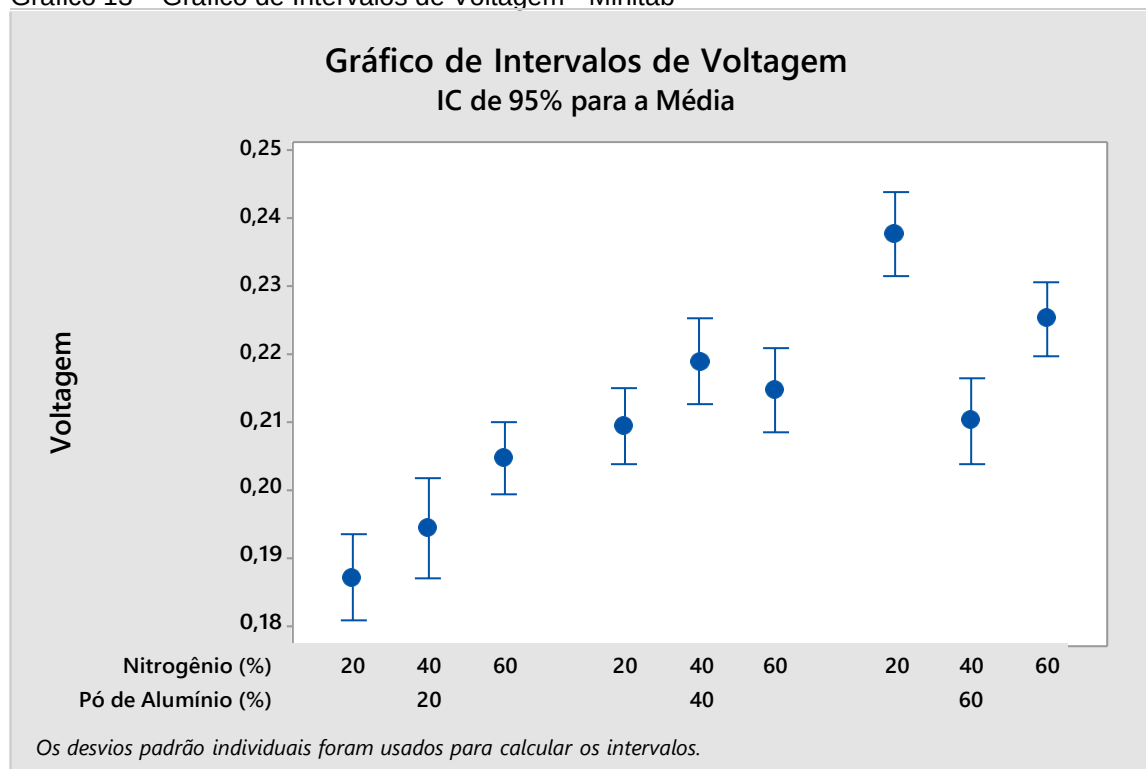
Gráfico 12 – Efeitos Principais para Voltagem - Minitab



Por fim, para uma avaliação de intervalos entre Pó de Alumínio e Nitrogênio foi utilizado como artifício o Gráfico de Intervalos, Gráfico 13. Nele se observa o aumento de tensão, conforme se aumenta o índice de Nitrogênio, dentro do universo de 20% de Pó de Alumínio. Porém, ao aumentar o Pó de Alumínio para 40% se observa uma curva negativa, ao passo que o pico de maior tensão é aos 40% de Nitrogênio. Em um último cenário, 60% de Pó de Alumínio, se observa uma curva positiva, onde a maior tensão se encontra no nível à 20% de Nitrogênio.

Nestas condições, verificando os gráficos de Interação, Efeito e Intervalo, pode se afirmar com 95% de confiança que o resultado ótimo do experimento é Pó de Alumínio à 60% e Nitrogênio à 20%, apresentando também como o melhor horário o intervalo de 13h às 15h (região de ocorrência do experimento: Boa Vista; Curitiba; Paraná).

Gráfico 13 – Gráfico de Intervalos de Voltagem - Minitab



5.3 RELAÇÃO GERAÇÃO DE TENSÃO VERSUS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Nesta área serão avaliadas as condições climáticas em relação às possíveis influências no desempenho de tensão das células. Conforme indicado anteriormente, por opção do autor, os fatores climáticos foram considerados controláveis.

5.3.1 Geração de Tensão versus Clima

Para efetuar a avaliação da Tensão versus o Clima, foram consideradas as médias de cada uma das trinta e seis células em cada uma das condições consideradas como níveis do fator Clima.

No quadro 11 se observa os fatores avaliados, que seriam: o Pó de Alumínio aos níveis de 20%, 40% e 60%, o Nitrogênio aos níveis de 20%, 40% e 60% e o Clima aos níveis de Ensolarado; Maior parte ensolarado; Parcialmente Ensolarado; Predominantemente Nublado.

Quadro 11 – Fatores Relacionados ao Clima - Minitab

Fator	Tipo	Níveis	Valores
-------	------	--------	---------

Pó de Alumínio	Fixo	3	20; 40; 60
Nitrogênio	Fixo	3	20; 40; 60
Clima	Fixo	4	Ensolarado; Maior parte ensolar.; Parcialm. Ensolarado; Predomin. nublado

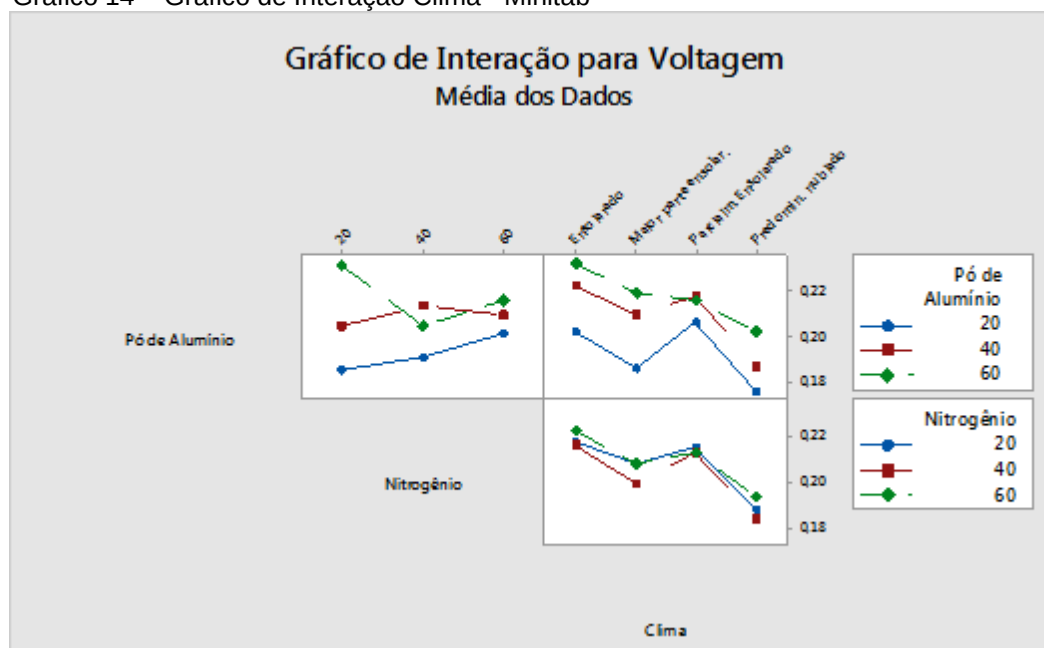
Considerando a avaliação do p-valor, se percebe ainda pelo quadro 12 que o percentual de Pó de Alumínio, o Clima e os cruzamentos entre o Percentual de Pó de Alumínio versus percentual de Nitrogênio e o Percentual de Pó de Alumínio versus o Clima apresentam maior influência no resultado do experimento.

Quadro 12 – Análise de Variância para o Clima - Minitab

Fonte	GL	SQ	QM	F	P
Pó de Alumínio (%)	2	0,015357	0,007679	45,33	0,000
Nitrogênio	2	0,000986	0,000493	2,91	0,059
Clima	3	0,019413	0,006471	38,20	0,000
Pó de Alumínio*Nitrogênio	4	0,007936	0,001984	11,71	0,000
Pó de Alumínio*Clima	6	0,002506	0,000418	2,47	0,028
Nitrogênio*Clima	6	0,000575	0,000096	0,57	0,757
Pó de Alumínio*Nitrogênio*Clima	12	0,001982	0,000165	0,97	0,477
Erro	108	0,018296	0,000169		
Total	143	0,067051			
S = 0,0130156 R2 = 72,71% R2(aj) = 63,87%					

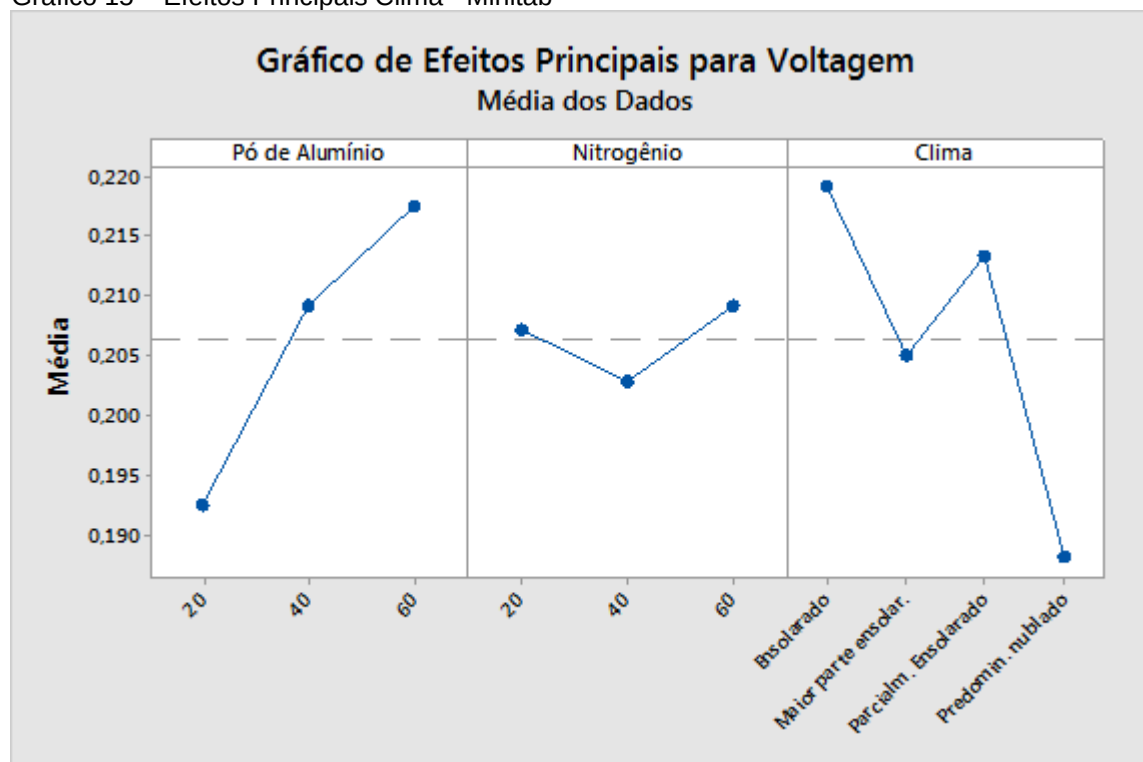
Para se confirmar isto de maneira ilustrativa, foram gerados os gráficos de Interação (Gráfico 14) e Efeitos Principais para (Gráfico 15). Desta forma no Gráfico 14 se observa que o comportamento entre Alumínio e Nitrogênio se mantém o mesmo que o apresentando, quando se é avaliado o Horário em conjunto. Já para o Clima se observa que existe uma tendência de diminuição da tensão quanto mais nublado ele se apresenta. Porém, existe um aumento considerável para dias Parcialmente Ensolarados. Por fim, os dias Ensolarados apresentaram um melhor resultado.

Gráfico 14 – Gráfico de Interação Clima - Minitab



No Gráfico 15 se observa no detalhe o comportamento da tensão em relação ao Clima. Apresentando uma diferença média de voltagem de 0,01V entre os dias “Maior parte ensolarado” e “Parcialmente ensolarados”, considerando que este último apresentou um melhor desempenho.

Gráfico 15 – Efeitos Principais Clima - Minitab



5.3.2 Geração de Tensão versus Umidade

Para efetuar a avaliação da Tensão versus a Umidade, foram consideradas as médias de cada uma das trinta e seis células em cada uma das condições consideradas como níveis do fator Umidade.

No quadro 13 se observa os fatores avaliados, que seriam: o Pó de Alumínio aos níveis de 20%, 40% e 60%, o Nitrogênio aos níveis de 20%, 40% e 60% e a Umidade aos níveis de 59%, 60%, 61%, 64%, 70%, 71%, 73%, 74% e 75%.

Quadro 13 – Fatores relacionado à Umidade - Minitab

Fator	Tipo	Níveis	Valores
Pó de Alumínio	Fixo	3	20%, 40%, 60%
Nitrogênio	Fixo	3	20%, 40%, 60%
Umidade	Fixo	9	59%, 60%, 61%, 64%, 70%, 71%, 73%, 74%, 75%

Considerando a avaliação do p-valor, se percebe ainda pelo quadro 14 que o percentual de Pó de Alumínio, o percentual de Nitrogênio, Umidade e o cruzamento Pó de Alumínio versus Nitrogênio apresentam maior influência no resultado do experimento.

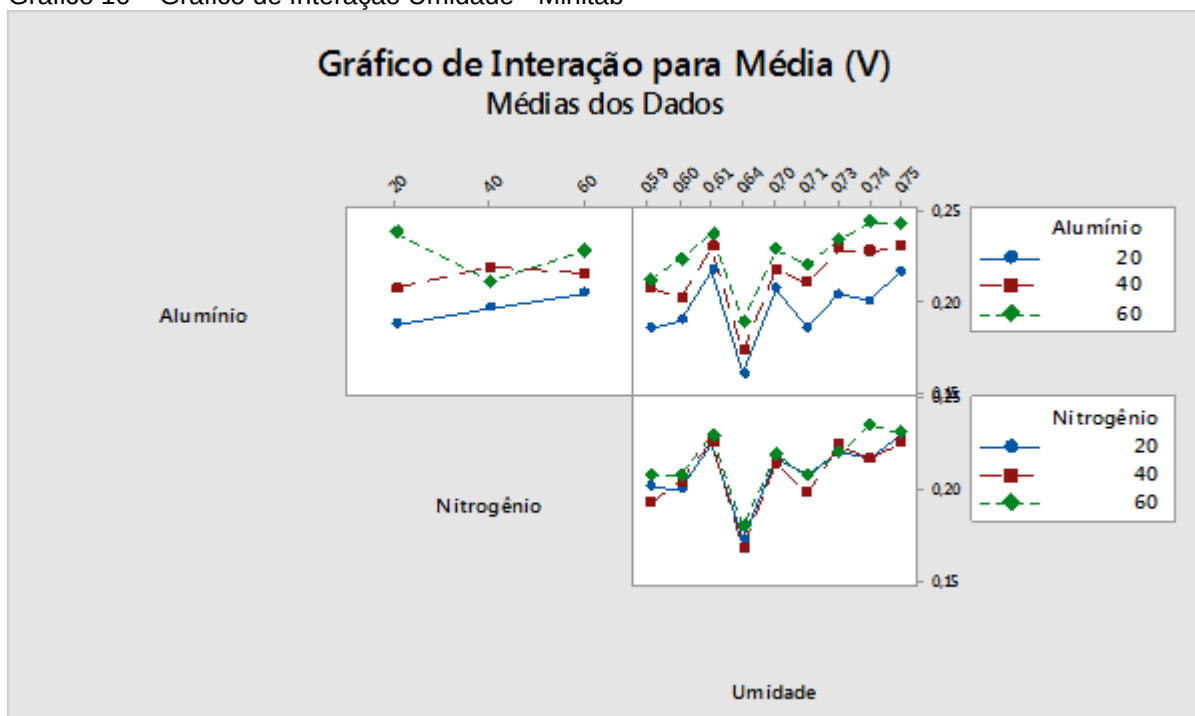
Quadro 14 – Análise de Variância para a Umidade - Minitab

Fonte	GL	SQ	QM	F	P
Pó de Alumínio	2	0,047553	0,023777	80,88	0,000
Nitrogênio	2	0,003137	0,001569	5,34	0,005
Umidade	8	0,090628	0,011328	38,53	0,000
Pó de Alumínio*Nitrogênio	4	0,018223	0,004556	15,50	0,000
Pó de Alumínio*Umidade	16	0,004027	0,000252	0,86	0,621
Nitrogênio*Umidade	16	0,003395	0,000212	0,72	0,771
Pó de Alumínio*Nitrogênio*Umidade	32	0,010293	0,000322	1,09	0,341
Erro	243	0,071439	0,000294		
Total	323	0,248696			
S = 0,0171461 R ² = 71,27 R ² (aj) = 61,82					

Para se confirmar isto de maneira ilustrativa, foram gerados os gráficos de Interação (Gráfico 16) e Efeitos Principais para (Gráfico 17). Desta forma no Gráfico

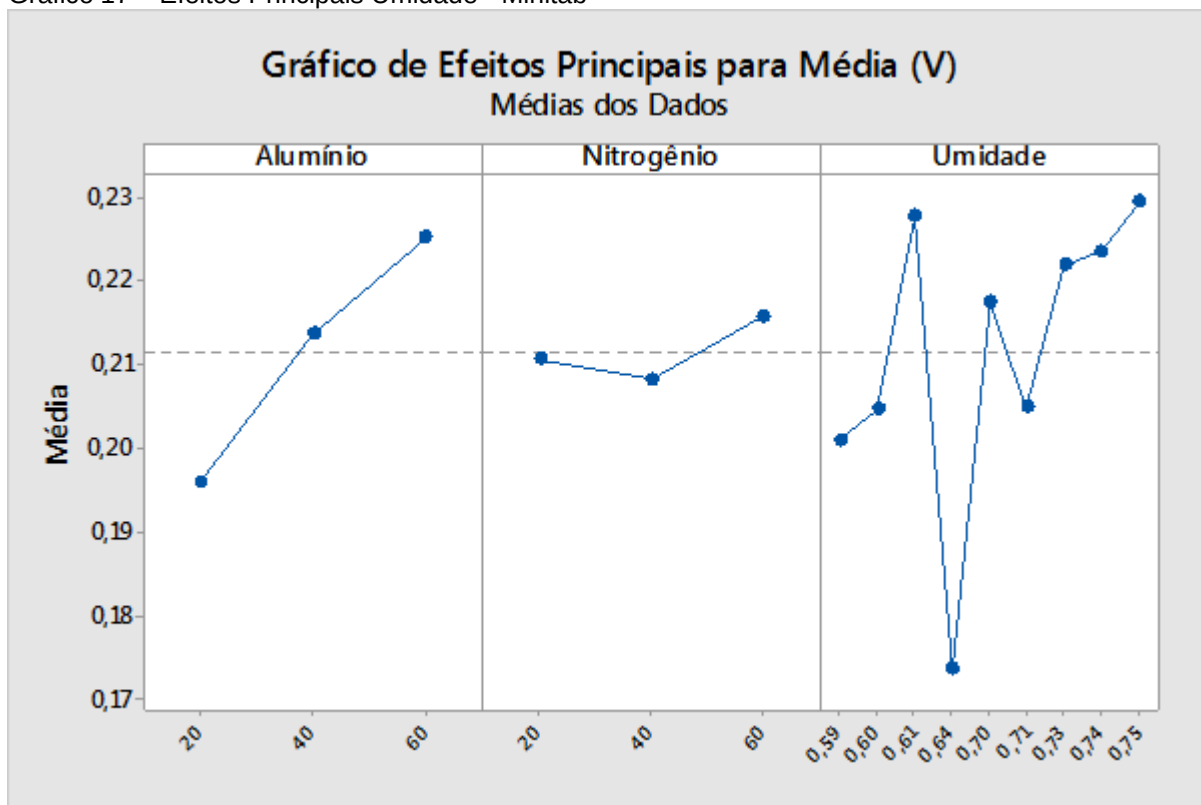
16 se observa que o comportamento entre Alumínio e Nitrogênio se mantém o mesmo que o apresentando, quando se é avaliado o horário em conjunto. Já para a Umidade não existe um comportamento conclusivo, uma vez que inicialmente ao aumentar a umidade se aumenta o desempenho, porém, no ponto de 64% existe uma acentuada queda de produtividade.

Gráfico 16 – Gráfico de Interação Umidade - Minitab



No Gráfico 17 se observa no detalhe o comportamento da tensão em relação à umidade.

Gráfico 17 – Efeitos Principais Umidade - Minitab



5.3.3 Geração de Tensão versus Temperatura

Para efetuar a avaliação da Tensão versus a Temperatura, foram consideradas as médias de cada uma das trinta e seis células em cada uma das condições consideradas como níveis do fator Temperatura.

No quadro 15 se observa os fatores avaliados, que seriam: o Pó de Alumínio aos níveis de 20%, 40% e 60%, o Nitrogênio aos níveis de 20%, 40% e 60% e a Temperatura aos níveis de 15°, 17°, 18°, 19°, 20°, 21°, 22°, 23° e 24°.

Quadro 15 – Fatores relacionado à Temperatura - Minitab

Fator	Tipo	Níveis	Valores
Pó de Alumínio	Fixo	3	20, 40, 60
Nitrogênio	Fixo	3	20, 40, 60
Temperatura	Fixo	9	15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24

Considerando a avaliação do p-valor, se percebe ainda pelo quadro 16 que o percentual de Pó de Alumínio, o percentual de Nitrogênio, Temperatura e o

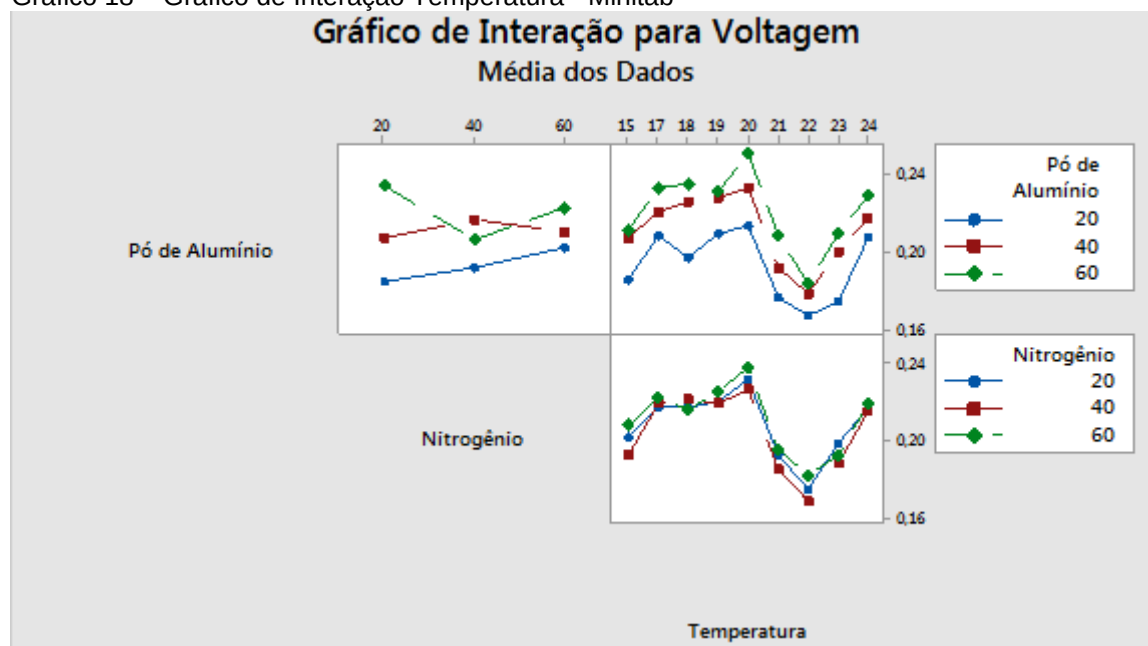
cruzamento Pó de Alumínio versus Nitrogênio apresentam maior influência no resultado do experimento.

Quadro 16 – Análise de Variância para a Temperatura - Minitab

Fonte	GL	SQ	QM	F	P
Pó de Alumínio	2	0,044435	0,022218	92,89	0,000
Nitrogênio	2	0,002603	0,001301	5,44	0,005
Temperatura	8	0,095502	0,011938	49,91	0,000
Pó de Alumínio*Nitrogênio	4	0,019062	0,004766	19,92	0,000
Pó de Alumínio*Temperatura	16	0,004034	0,000252	1,05	0,400
Nitrogênio*Temperatura	16	0,002657	0,000166	0,69	0,799
Pó de Alumínio*Nitrogênio*Temperatura	32	0,008496	0,000265	1,11	0,321
Erro	243	0,058120	0,000239		
Total	323	0,234910			
S = 0,0154654 R2 = 75,26 R2(aj) = 67,11					

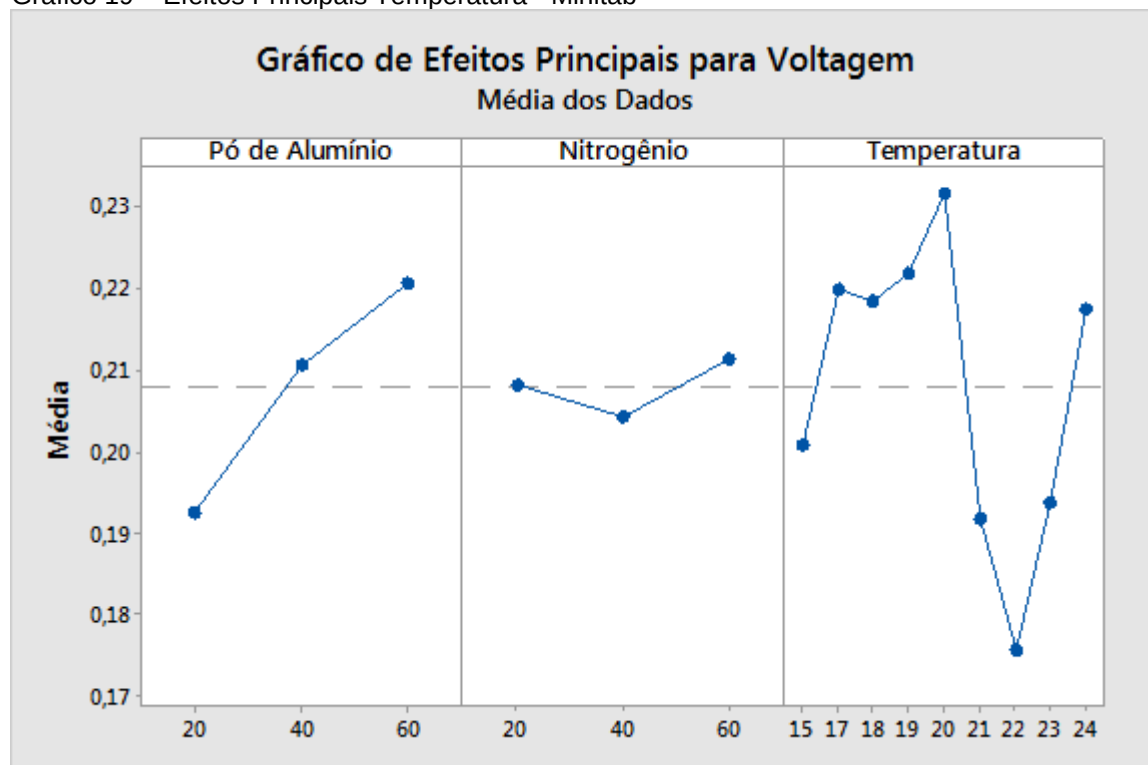
Para se confirmar isto de maneira ilustrativa, foram gerados os gráficos de Interação (Gráfico 18) e Efeitos Principais para (Gráfico 19). Desta forma no Gráfico 18 se observa que o comportamento entre Alumínio e Nitrogênio se mantém o mesmo que o apresentando, quando se é avaliado o Horário em conjunto. Já para a Temperatura não existe um comportamento conclusivo, uma vez que inicialmente ao aumentar a temperatura se aumenta o desempenho, porém, após 20° C o desempenho apresenta uma acentuada queda. Uma sugestão neste caso é que com o aumento da temperatura (de maneira brusca) pode ocorrer a perda de eficiência da célula, uma vez que ela é fotovoltaica e não térmica. Porém, isto pode ser aprofundado e confirmado em pesquisas futuras. Por fim, passados do 22° C, o desempenho retorna a aumentar.

Gráfico 18 – Gráfico de Interação Temperatura - Minitab



No Gráfico 19 se observa no detalhe o comportamento da tensão em relação à temperatura.

Gráfico 19 – Efeitos Principais Temperatura - Minitab



5.3.4 Geração de Tensão versus Percentual de Percentual Chuva

Para efetuar a avaliação da Tensão versus a Percentual Chuva, foram consideradas as médias de cada uma das trinta e seis células em cada uma das condições consideradas como níveis do fator Percentual Chuva.

No quadro 17 se observa os fatores avaliados, que seriam: o Pó de Alumínio aos níveis de 20%, 40% e 60%, o Nitrogênio aos níveis de 20%, 40% e 60% e o Percentual Chuva aos níveis de 10% e 40%.

Quadro 17 – Fatores relacionado ao Percentual de Chuva – Minitab

Fator	Tipo	Níveis	Valores
Pó de Alumínio	Fixo	3	20, 40, 60
Nitrogênio	Fixo	3	20, 40, 60
Chuva (%)	Fixo	2	10, 40

Considerando a avaliação do p-valor, se percebe ainda pelo quadro 18 que o percentual de Pó de Alumínio e o cruzamento Pó de Alumínio versus Nitrogênio apresentam maior influência no resultado do experimento.

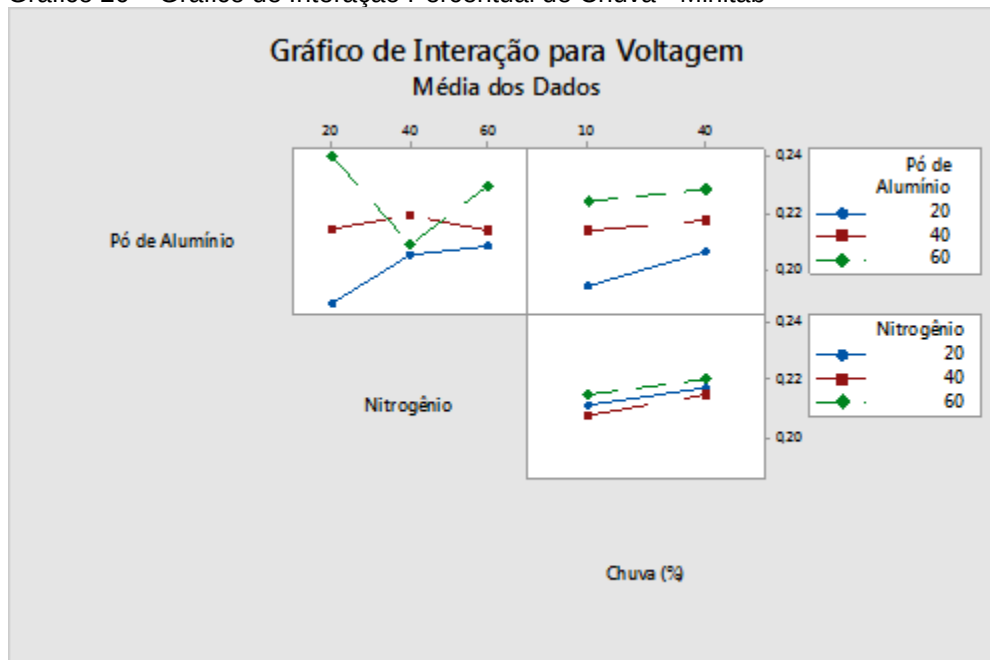
Quadro 18 – Análise de Variância para ao Percentual de Chuva - Minitab

Fonte	GL	SQ	QM	F	P
Pó de Alumínio	2	0,0079341	0,0039671	16,85	0,000
Nitrogênio	2	0,0004460	0,0002230	0,95	0,394
Chuva	1	0,0007619	0,0007619	3,24	0,078
Pó de Alumínio*Nitrogênio	4	0,0055838	0,0013959	5,93	0,000
Pó de Alumínio*Chuva	2	0,0002709	0,0001355	0,58	0,566
Nitrogênio*Chuva	2	0,0000145	0,0000072	0,03	0,970
Pó de Alumínio*Nitrogênio*Chuva	4	0,0008469	0,0002117	0,90	0,471
Erro	54	0,0127149	0,0002355		
Total	71	0,0285730			
S = 0,0153447 R ² = 55,50 R ² (aj) = 41,49					

Para se confirmar isto de maneira ilustrativa, foram gerados os gráficos de Interação (Gráfico 20) e Efeitos Principais para (Gráfico 21). Desta forma no Gráfico 20 se observa que o comportamento entre Alumínio e Nitrogênio se mantém o mesmo

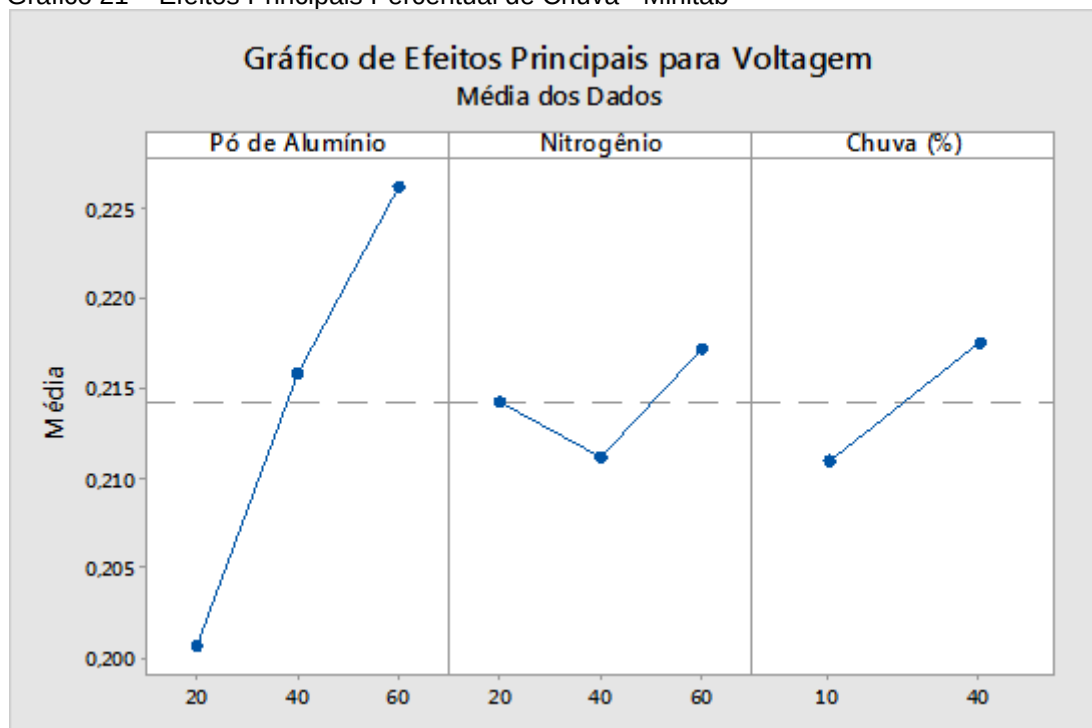
que o apresentando anteriormente. Por fim, o Percentual de chuva não apresenta significativa influência no desempenho das células.

Gráfico 20 – Gráfico de Interação Percentual de Chuva - Minitab



No Gráfico 21 se observa no detalhe o comportamento da tensão em relação ao percentual de chuva.

Gráfico 21 – Efeitos Principais Percentual de Chuva - Minitab



5.4 COMPARATIVO ECONÔMICO CÉLULA FOTOVOLTAICA À BASE DE TINTA VERSUS CÉLULA FOTOVOLTAICA DE SILÍCIO (CONVENCIONAL)

Para mensurar o rendimento econômico da célula proposta, em termos de produção em larga escala (Industrial), foi utilizado como base o exemplo teórico indicado abaixo:

“[...] se a produção de cem bolsas custa R\$ 20 mil, ao aumentar a produção para mil bolsas o valor deve cair para algo em torno de R\$ 100 mil reais. No entanto, ao repassar o produto para o mercado, o valor unitário poderia ser R\$ 300, o que significa que, no primeiro cenário, o lucro era de R\$ 100. Já no segundo cenário, o lucro chega a R\$ 200.” (SEBRAE, 2015)

Desta forma, foram consideradas três escalas de crescimento, a partir da primeira produção (36 amostras, efetuadas à caráter de experimento para as medições). Conforme indicado acima, ao aumentar a sua produção em 1000% existe uma tendência em diminuir os seus custos iniciais em até 50%. Desta forma, podemos replicar isto de acordo com o quadro 19:

Quadro 19 – Projeção Produção Larga Escala e Preço Unitário

		Número de células produzidas			
Custos	36		360	3600	36000
	Placa Alumínio	R\$ 64,80	R\$ 324,00	R\$ 1.620,00	R\$ 8.100,00
	Pó de Alumínio	R\$ 6,00	R\$ 30,00	R\$ 150,00	R\$ 750,00
	Nitrogênio	R\$ 40,00	R\$ 200,00	R\$ 1.000,00	R\$ 5.000,00
	Estanho	R\$ 120,00	R\$ 600,00	R\$ 3.000,00	R\$ 15.000,00
	Tinta	R\$ 25,00	R\$ 125,00	R\$ 625,00	R\$ 3.125,00
	Materiais de apoio	R\$ 40,00	R\$ 200,00	R\$ 1.000,00	R\$ 5.000,00
	Mão de obra	R\$ 350,00	R\$ 2.800,00	R\$ 19.600,00	R\$ 117.600,00
	Valor Total	R\$ 645,80	R\$ 4.279,00	R\$ 26.995,00	R\$ 154.575,00
	Valor Unitário	R\$ 17,94	R\$ 11,89	R\$ 7,50	R\$ 4,29

Por fim, se observa que ao alcançar uma produção de 36000 células a base de tinta será possível baixar seu custo individual para R\$ 4,29.

Considerando os parâmetros: número de placas, número de projetos, horas de mão de obra e número de funcionários, se obtém a seguinte projeção (quadro 20) para cada um dos cenários:

Quadro 20 – Projeção Produção Larga Escala e Mão de Obra

	Número de células produzidas			
Parâmetros	36	360	3600	36000
Placas (nº)	0,6	6	60	600
Projetos (nº)	0,03	0,3	3	30
Mão de Obra (h)	14	140	1400	14000
Funcionários (nº)	0,0875	0,875	8,75	87,5

Nestas condições, ao acrescentar um lucro aproximado de 20%, totalizando assim em um preço unitário de R\$ 5,15.

Comparando-se à célula convencional, que apresenta um preço médio de venda no mercado de R\$ 12,00 (com dimensões de 15 cm x 15 cm), teremos a seguinte proporção, conforme quadro 21, levando em conta a seguinte média de tensão das células convencionais, conforme quadro 22:

Quadro 21 – Projeção Produção Larga Escala e Mão de Obra

	Convencional (Silício)	À base de Tinta	Percentual de Produtividade em relação à Convencional	
Dimensões (cm x cm)	15,2 x 15,2	13 x 13		
Dimensões (cm²)	231,04	169		
Preço (venda)	R\$ 12,00	R\$ 5,15		
Produção média (V)	0,54	0,29		
Coeficiente de Produtividade (V/cm²)	0,002337258	0,001716	73,42%	Produção de Energia
Coeficiente de Rendimento Econômico	0,000194771	0,000333	171,07%	Ganho em Preço

Lembrando que as medições das células convencionais ocorreram nos mesmos dias e condições que as células propostas.

Quadro 22 – Medições Células Convencionais

Medição	Convencional 1 (V)	Convencional 2 (V)
1	0,56	0,55
2	0,56	0,55
3	0,56	0,55
4	0,54	0,54
5	0,55	0,55
6	0,54	0,54
7	0,57	0,53

8	0,56	0,56
9	0,54	0,54
10	0,56	0,55
11	0,54	0,54
12	0,54	0,54
13	0,53	0,53
14	0,45	0,45
15	0,55	0,55
16	0,55	0,55
17	0,57	0,55
18	0,55	0,54
19	0,52	0,51
20	0,50	0,50
Média (Experimento)	0,54	0,54
Média (Geral)	0,54	

Onde o Coeficiente de Produtividade é a Produção Média dividida pelo Preço, o Coeficiente de Rendimento Econômico é o Coeficiente de Produtividade dividido pelo Preço, Percentual de Produtividade em relação à Convencional (no que tange a produção de energia) é o quanto, proporcionalmente, a célula proposta pode apresentar de desempenho (em voltagem) em relação à convencional e por fim o Percentual de Produtividade em relação à Convencional (no que tange ao Ganho de Preço), indicando o quanto à célula proposta pode ser apresentar mais econômica que a convencional.

5.5 TESTE EM BRANCO E TESTE APENAS COM ALUMINA

Como observado anteriormente, a alumina (Al_2O_3) é que apresentou maior influência direta no resultado de uma maior diferença de potencial. Desta forma, neste tópico se apresenta o teste em branco, onde duas células foram fabricadas sem a presença de nitrogênio líquido e alumina e mais duas somente com a presença da alumina. Estas apresentando como base a mesma tinta utilizada nas placas anteriores.

Para o teste em branco (células fabricadas apenas com a tinta) a diferença de potencial se apresentou zerada. Porém, para o teste com a presença única da alumina (considerando a primeira camada com a mistura aproximada de 50% de tinta mais 50% de alumina e a segunda camada com 100% de tinta) a diferença de potencial apresentou uma média de 0,14v (considerando quatro medições e duas células

fabricadas com as mesmas especificações), para o horário das 13 horas, em um dia ensolarado, na região residencial do bairro Boa Vista, em Curitiba, Paraná.

Apesar de ser um valor inferior ao encontrado na média da melhor mistura Al x N (60% Al x 20% N) com um resultado de 0,29v, o fato de eliminar um dos materiais da composição técnica da célula (sendo este um dos mais caros e de difícil manuseio), esta proposta se apresenta como uma boa opção de custo *versus* benefício que pode ser melhor estudada e mais aprofundada em trabalhos futuros.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 DIFICULDADES

Em alguns momentos se observou dificuldade em encontrar alguns dos materiais utilizados para a fabricação e o teste. Por exemplo, o fio de cobre, a maneira comercializada na região de Curitiba e em boa parte dos sites de vendas, se apresentava da maneira esmaltada, o que não permitiria a condução externa de energia, o que captaria a tensão por meio do polo negativo da célula, impedindo assim a medição com o multímetro.

Para um primeiro teste, o piloto, foi possível utilizar o cobre contido em fiações de instalações elétricas. Porém, ao retirá-lo do cabo, fazia com que o mesmo não ficasse bom o suficiente para uso (por conta dos amassados superficiais), podendo assim ter ocasionado o mal contato, que por sua vez gerou baixa geração de tensão no teste inicial.

O nitrogênio, na forma líquida, que permitiria melhor mistura com a tinta, foi de difícil acesso em Curitiba, sendo encontrado para comercialização em pequena escala apenas em um lugar, após algum tempo de procura.

Em contrapartida, as lâminas de alumínio (base para a células) foram encontradas facilmente, com preço acessível, em um lugar que comercializa reciclados. Nestas condições, apresentando ainda a vantagem de sustentabilidade de um material reaproveitado (que se encontrava em bom estado para uso).

Outro ponto foi a dificuldade de avaliar a potência em watts. As células apresentaram uma média geral de tensão de 0,21V (considerando uma média de 0,29V apenas para a célula mais eficiente), o que não é suficiente para acender uma lâmpada led (que necessita de 1,5V). Como o objetivo foco do experimento é

responder o questionamento “é capaz de gerar tensão?” e a execução da medição individual das amostras, a verificação da corrente neste momento não foi avaliada. Apesar de ser uma das dificuldades, isto será considerado fortemente como tema de aprofundamento em pesquisas futuras.

6.2 REFLEXÃO

Por meio desta pesquisa, primeiramente pela revisão de literatura, foi possível se observar que a preocupação com a geração da energia tem se tornado um forte tema de estudo, uma vez que não se trata apenas de uma maneira de economia, mas sim diminuir a agressão ao meio-ambiente e disponibilizar de maneira mais acessível tais recursos para a população como um todo, além do reaproveitamento de materiais.

A partir da fabricação das amostras foi possível identificar, confirmar estatisticamente e responder à pergunta de pesquisa indicada na problematização (“É possível desenvolver uma célula fotovoltaica de baixo custo?”), que sim, é possível gerar uma quantidade razoável de energia a partir de um processo simples de construção, consumindo poucos recursos (materiais e financeiros), apresentando subsídios suficientes para se aprofundar na técnica de fabricação, otimizando-a (inserindo novos materiais e métodos de montagem) a ponto de se obter um melhor desempenho energético para as novas células.

6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Verificar a relação entre “Número de camadas de tinta” *versus* “Valor da tensão elétrica”.
- Verificar a relação entre “Área de pintura” *versus* “Valor da tensão elétrica”.
- Medição da Corrente das amostras fabricadas que apresentaram melhor desempenho.
- Pesquisa e aprofundamento dos materiais utilizados, se os mesmos podem ser substituídos por outros (com maior facilidade de manuseio, melhor oferta *versus* procura e melhor custo) ou se é possível o acréscimo de materiais, para otimizar a captação de energia.
- Verificar a possibilidade de aplicação efetiva das 36 amostras, em uma residência, ou instituição (relação de energia solar com o tripé da

sustentabilidade: ambiente, social e economia). Tornar a célula produtiva e acessível a quem precisa.

- Verificar se ocorrerá interferência na obtenção de tensão elétrica, caso as camadas N e P sejam invertidas no momento da coleta de radiação solar.
- Verificar a possibilidade de melhoria de desempenho para uma célula à base de tinta sem a presença de nitrogênio.

REFERÊNCIAS

A INVENÇÃO de Hugo Cabret. Direção: Martin Scorsese, Produção: Graham King/ Tim Headington. EUA: Paramount, 2011, 1 DVD, 126 min.

ABU-BAKAR, M. N. et al. Design concept and mathematical model of a bi-fluid photovoltaic/thermal (PV/T) solar collector. **Renewable Energy**, v. 67, p. 153–164, 2014.

ABU-BAKAR, S. H. et al. Optimisation of the performance of a novel rotationally asymmetrical optical concentrator design for building integrated photovoltaic system. **Energy**, v. 90, p. 1033–1045, 2015.

ABU-BAKAR, S. H. et al. Performance analysis of a solar window incorporating a novel rotationally asymmetrical concentrator. **Applied Energy**, v. 154, p. 221–231, 2016.

AHNOOD, A. et al. Orthogonal Thin Film Photovoltaics on Vertical Nanostructures. **Nanoscale Research Letters**, v. 10, p. 1–10, 2015.

AKINYELE, D. O., RAYUDU, R. K., NAIR, N. K. C. Global progress in photovoltaic technologies and the scenario of development of solar panel plant and module performance estimation - Application in Nigeria. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 48, p. 112–139, 2015.

ALHALABI, W. et al. The co-learning in the design, simulation and optimization of a solar concentrating system. **Computers in Human Behavior**, v. 51, p. 857–866, 2014.

ALMONACID, F. et al. High concentrator photovoltaic module simulation by neuronal networks using spectrally corrected direct normal irradiance and cell temperature. **Energy**, v. 84, p. 336–343, 2015.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA – ANOVA

Disponível em:

<[http://w3.ufsm.br/adriano/aulas/anova/T\[0\]anova.pdf](http://w3.ufsm.br/adriano/aulas/anova/T[0]anova.pdf) – pág. 27>. Acesso 17 ago. 2017

ANTONINI, A., BUTTURI, M. A., ZURRU, P. Development of a mirror-based LCPV module and test results. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 23, p. 1668–1677, 2015.

APILO, P. et al. Roll-to-roll gravure printing of organic photovoltaic modules—insulation of processing defects by an interfacial layer. **2Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 23, p. 918–928, 2015.

ARCURI, N., REDA, F., SIMONE, M. DE. Energy and thermo- fluid - dynamics evaluations of photovoltaic panels cooled by water and air. **Solar Energy**, v. 105, p. 147–156, 2014.

ATOCHE, A. C. et al. A high-accuracy photovoltaic emulator system using ARM processors. **Solar Energy**, v. 120, p. 389–398, 2015.

AWAL, M. A., AHMED, Z., TALUKDER, M. A. An efficient plasmonic photovoltaic

structure using silicon strip-loaded geometry. **Journal of Applied Physics**, v. 117, p. 1 – 6, 2015.

AXELEVITCH, A. et al. Investigation of Novel Silicon PV Cells of a Lateral Type. **Silicon**, v. 7, p. 283–291, 2015.

BABU, D. D. et al. New D-pi-A type indole based chromogens for DSSC: Design, synthesis and performance studies. **Dyes and Pigments**, v. 112, p. 183–191, 2015.

BACK, F. et al. Periodic nanostructures imprinted on high-temperature stable sol-gel films by ultraviolet-based nanoimprint lithography for photovoltaic and photonic applications. **Thin Solid Films**, v. 562, p. 274–281, 2014.

BAI, L. et al. The photoirradiation induced p–n junction in naphthylamine-based organic photovoltaic cells. **Nanoscale**, v. 7, p. 14612–14617, 2015.

BAIG, H. et al. Enhancing performance of a linear dielectric based concentrating photovoltaic system using a reflective film along the edge. **Energy**, v. 73, p. 177–191, 2014.

BALDERRAMA, V. S. et al. Degradation of electrical properties of PTB1:PCBM solar cells under different environments. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 125, p. 155–163, 2014.

BENDATO, I. et al. A design of experiments/response surface methodology approach to study the economic sustainability of a 1MWe photovoltaic plant. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 51, p. 1664–1679, 2015.

BENEDETTO, F. DI et al. Electrodeposition of ternary $\text{Cu}_x\text{Sn}_y\text{S}_z$ thin films for photovoltaic applications. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 22, p. 97–106, 2014.

BHANDARI, B. et al. A novel off-grid hybrid power system comprised of solar photovoltaic, wind, and hydro energy sources. **Applied Energy**, v. 133, p. 236–242, 2014.

BLÉVIN, T. et al. Development of industrial processes for the fabrication of high efficiency n-type PERT cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 131, p. 24–29, 2014.

BLÖSCH, P. et al. Sodium-doped molybdenum back contacts for flexible $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ solar cells Reference. **Thin**, v. 535, p. 214–219, 2013.

BOCCOLINI, A. et al. Physical performance limitations of luminescent down-conversion layers for photovoltaic applications. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 122, p. 8–14, 2014.

BORREGO, J. M. et al. Rear illumination monolithically integrated GaSb thermophotovoltaic devices grown on semi-insulating GaAs substrate. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 6, n. 1, 2014.

BUDIMAN, A. S. et al. Enabling thin silicon technologies for next generation c-Si solar PV renewable energy systems using synchrotron X-ray microdiffraction as stress and crack mechanism probe. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 130, p. 303–

308, 2014.

BURGUÉS-CEBALLOS, I. et al. Solubility based identification of green solvents for small molecule organic solar cells. **Advanced Functional Materials**, v. 24, p. 1449–1457, 2014.

BYRNE, O. et al. Succinonitrile-based solid-state electrolytes for dye- sensitised solar cells. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 23, p. 417–427, 2015.

CARRASCO, M., MANCILLA-DAVID, F., ORTEGA, R. An estimator of solar irradiance in photovoltaic arrays with guaranteed stability properties. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 61, n. 7, p. 3359–3366, 2014.

CASELLI, D., NING, C. Z. Monolithically-integrated laterally-arrayed multiple bandgap solar cells for spectrum-splitting photovoltaic systems. **Progress in Quantum Electronics**, v. 39, p. 24–70, 2015.

CHANDEL, S. S. et al. Degradation analysis of 28 year field exposed mono-c-Si photovoltaic modules of a direct coupled solar water pumping system in western Himalayan region of India. **Renewable Energy**, v. 78, p. 193–202, 2015.

CHEN, J. K. C., PHAM, V. K. A study on knowledge flows of dye-sensitized solar cells' patent. **Foresight**, v. 16, n. 3, p. 229–249, 2014.

CHEN, R. et al. Novel Design for a Diffusive Solar Cell Window. **Journal of Nanomaterials**, v. 2015, p. 1–5, 2015a.

CHEN, X. et al. Numerical and experimental investigation of light trapping effect of nanostructured diatom frustules. **Scientific Reports**, v. 5, p. 1–9, 2015b.

CHENG, C. E. et al. Hole transit in P3HT:PCBM solar cells with embedded gold nanoparticles. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 121, p. 80–84, 2014.

CHIEN, C. T. et al. Graphene-Based Integrated Photovoltaic Energy Harvesting/Storage Device. **Small**, v. 11, n. 24, p. 2929–2937, 2015.

CHOU, S. et al. Strategic Design of Three-Dimensional (3D) Urchin-Like Pt – Ni Nanoalloys: How This Unique Nanostructure Boosts the Bulk Heterojunction Polymer Solar Cells Efficiency to 8.48. **chemistry of Materials**, v. 26, p. 7029–7038, 2014.

ÇILINGIROGLU, U., TAR, B., ÖZMEN, Ç. On-Chip Photovoltaic Energy Conversion in Bulk-CMOS for Indoor Applications. **IEEE Transactions on Circuits and Systems**, v. 61, n. 8, p. 2491–2504, 2014.

COCILOVO, B. et al. Highly transparent light-harvesting window film. **Applied Optics**, v. 54, n. 30, p. 8990–8998, 2015.

DAVIDSEN, R. S. et al. Black silicon laser-doped selective emitter solar cell with 18.1 efficiency. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 144, p. 740–747, 2016.

DEANGELIS, A. D. et al. Temperature-resistant high-infrared transmittance indium molybdenum oxide thin films as an intermediate window layer for multi-junction photovoltaics. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 127, p. 174–178, 2014.

DEPRÉDURAND, V., BERTRAM, T., SIEBENTRITT, S. Influence of the Se environment on Cu-rich CIS devices. **Physica B**, v. 439, p. 101–104, 2014.

DIAS, D. L.. Íon Fórmula.

Disponível em:

<<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/ion-formula.htm>>. Acesso em 11 ago. 2017.

DIJK, L. VAN et al. 3D-printed concentrator arrays for external light trapping on thin film solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 139, p. 19–26, 2015.

DONGAONKAR, S., ALAM, M. A. Geometrical design of thin film photovoltaic modules for improved shade tolerance and performance. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, 2013.

DUAN, T. et al. Design of organic dyes for dye-sensitized solar cells: Extending pi-conjugation backbone via “Click” reaction to improve photovoltaic performances. **Dyes and Pigments**, v. 117, p. 108–115, 2015.

ECHEGARAY, F. Understanding stakeholders’ views and support for solar energy in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 63, n. December 2011, p. 125–133, 2014.

EID, J. et al. Ultrafast pump-probe reflectance spectroscopy: Why sodium makes Cu(In,Ga)Se₂ solar cells better. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 140, p. 33–37, 2015.

ECONOMIA DE ESCALA: GASTE MENOS E PRODUZA MAIS

Disponível em:

<<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/economia-de-escala-gaste-menos-e-produza-mais,b23732f8d0cbf410VgnVCM1000004c00210aRCRD>>. Acesso 11 ago. 2017

ESPINOSA, N. et al. Solution and vapour deposited lead perovskite solar cells: Ecotoxicity from a life cycle assessment perspective. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 137, p. 303–310, 2015.

FELTRIN, Andrea, MEGURO, Tomomi, ASSCHE, Elizabeth V. ET. al. Advanced light trapping designs for high efficiency thin film silicon solar cells. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, p.-219 - 227, 2013.

FENG, S. et al. Insights into aggregation effects on optical property and electronic coupling of organic dyes in dye sensitized solar cells. **Journal of Power Sources**, v. 273, p. 282–289, 2015.

GAGRICA, O., MARZEC, M., UHL, T. Comparison of reliability impacts of two active power curtailment methods for PV micro-inverters. **Microelectronics Reliability**, v. 58, p. 1–11, 2016.

GASPARINI, N. et al. Photophysics of Molecular-Weight-Induced Losses in Indacenodithienothiophene-Based Solar Cells. **Advanced Functional Materials**, v. 25, p. 4898–4907, 2015.

GAUR, A., TIWARI, G. N. Analytical expressions for temperature dependent electrical efficiencies of thin film BIOPVT systems. **Applied Energy**, v. 146, p. 442–452, 2015.

GEISLER, C. et al. Overcoming electrical and mechanical challenges of continuous wave laser processing for Ni–Cu plated solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 133, p. 48–55, 2015.

GIANNUZZI, A. et al. Enhancing the efficiency of solar concentrators by controlled optical aberrations: Method and photovoltaic application. **Applied Energy**, v. 145, p. 211–222, 2015.

GLEN, T. S. et al. Grain size dependence of degradation of aluminium/calcium cathodes in organic solar cells following exposure to humid air. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 140, p. 25–32, 2015.

GOLLMER, D. A. et al. Fabrication and characterization of combined metallic nanogratings and ITO electrodes for organic photovoltaic cells. **Microelectronic Engineering**, v. 119, p. 122–126, 2014.

GONZÁLEZ-PÉREZ, S. et al. A new cost-effective polymeric film containing an Eu(III) complex acting as UV protector and down-converter for Si-based solar cells and modules. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 136, p. 187–192, 2015.

GREEN, M. A. et al. 40 Efficient Sunlight To Electricity Conversion. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 23, n. 6, p. 685–691, 2015.

GRIFFINI, G., LEVI, M., TURRI, S. Thin-film luminescent solar concentrators: A device study towards rational design. **Renewable Energy**, v. 78, p. 288–294, 2015.

GUO, S. et al. Investigation of the short-circuit current increase for PV modules using halved silicon wafer solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 133, p. 240–247, 2015.

GUPTA, A. et al. New organic sensitizers using 4-(cyanomethyl)benzoic acid as an acceptor group for dye-sensitized solar cell applications. **Dyes and Pigments**, v. 113, p. 280–288, 2015.

HAN, X. et al. Thermal analysis of direct liquid-immersed solar receiver for high concentrating photovoltaic system. **International Journal of Photoenergy**, 2015.

HARVEY, S. P. et al. Direct evidence of enhanced chlorine segregation at grain boundaries in polycrystalline CdTe thin films via three-dimensional TOF-SIMS imaging. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 23, p. 838–846, 2015.

HE, J., NUZZO, R. G., ROGERS, J. A. Inorganic materials and assembly techniques for flexible and stretchable electronics. **Proceedings of the IEEE**, v. 103, n. 4, p. 619–632, 2015.

HIMPSEL, F.J., COOK, P.L., TORRE, G. de la et. al. **Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena**, p. 2 - 11, 2013.

HUA, Y. et al. New simple panchromatic dyes based on thiadiazolo[3,4-c]pyridine unit for dye-sensitized solar cells. **Dyes and Pigments**, v. 102, p. 196–203, 2014.

HUANG, J. et al. Micro-structural defects in polycrystalline silicon thin-film solar cells on glass by solid-phase crystallisation and laser-induced liquid-phase crystallisation. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 132, p. 282–288, 2015a.

HUANG, W. et al. Integration of CdTe–ZnO nanocomposite thin films into photovoltaic devices. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 137, p. 86–92, 2015b.

HUANG, X., ZHANG, X., JIANG, H. Energy storage via polyvinylidene fluoride dielectric on the counterelectrode of dye-sensitized solar cells. **Journal of Power Sources**, v. 248, p. 434–438, 2014.

IBRAHIM, A. et al. Efficiencies and improvement potential of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) system. **Energy Conversion and Management**, v. 77, p. 527–534, 2014.

INOSTROZA, N. et al. Improvement of photovoltaic performance by substituent effect of donor and acceptor structure of TPA-based dye-sensitized solar cells. **Journal of Molecular Modeling**, v. 22, n. 1, p. 25, 2016.

JAIN, S., KARAMPURI, R., SOMASEKHAR, V. T. An Integrated Control Algorithm for a Single-Stage PV Pumping System Using an Open-End Winding Induction Motor. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 63, n. 2, p. 956–965, 2016.

JIACHEN, W., LEE, S. B., LEE, K. Design of broadband multilayer dichroic coating for a high-efficiency solar energy harvesting system. **Applied optics**, v. 54, n. 15, p. 4805–4811, 2015.

JIANG, Y. et al. Room temperature optical properties of organic-inorganic lead halide perovskites. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 137, p. 253–257, 2015.

JIMÉNEZ-SOLANO, A. et al. Design and realization of transparent solar modules based on luminescent solar concentrators integrating nanostructured photonic crystals. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 23, p. 1785–1792, 2015.

JIN, Jian. A Hierarchical Z-Scheme CdS–WO₃ Photocatalyst with Enhanced CO₂ Reduction Activity. **Small-Journal**, Cidade, v.11, n.39, p.-5262 - 5271, jan. 2015.

JUANICÓ, Luis E., LALLA, Nicolás Di., Jian. A New Low-Cost Plastic Solar Collector. **Hindawi Publishing Corporation**, p.-1 - 10, 2013.

KALTENBRUNNER, M. et al. Flexible high power-per-weight perovskite solar cells with chromium oxide–metal contacts for improved stability in air. **Nature Materials**, v. 14, p. 1–10, 2015.

KAMARZAMAN, N. A., TAN, C. W. A comprehensive review of maximum power point tracking algorithms for photovoltaic systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p. 585–598, 2014.

KAN, Z. et al. Triple bulk heterojunctions as means for recovering the microstructure of photoactive layers in organic solar cell devices. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 120, n. PART A, p. 37–47, 2014.

KANG, J., CHO, C., LEE, J. Design of asymmetrically textured structure for efficient

light trapping in building-integrated photovoltaics. **Organic Electronics**, v. 26, p. 61–65, 2015.

KANG, S. B. et al. Characteristics of a ZnTiO and ITO cathode-integrated electrodes for inverted organic solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 121, p. 85–91, 2014.

KARG, M. et al. Colloidal self-assembly concepts for light management in photovoltaics. **Materials Today**, v. 18, n. 4, p. 185–205, 2015.

KECHIAN TZ, A., AFANASEV, A., LAZZARI, J.-L. Impact of Spatial Separation of Type-II GaSb Quantum Dots from the Depletion Region on the Conversion Efficiency Limit of GaAs Solar Cells. p. 1–23, 2013.

KHAN, M. A. et al. Synthesis, characterization and processing of cubic iron pyrite nanocrystals in a photovoltaic cell. **Materials Chemistry and Physics**, v. 148, p. 1022–1028, 2014.

KHANNA, A. et al. Influence of random pyramid surface texture on silver screen-printed contact formation for monocrystalline silicon wafer solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 132, p. 589–596, 2015.

KHARE, A., RANGNEKAR, S. Optimal sizing of a grid integrated solar photovoltaic system. **Iet Renewable Power Generation**, v. 8, p. 67–75, 2014.

KHATIB, Tamer, MOHAMED, Azah., SOPIAN, K. A review of photovoltaic systems size optimization techniques. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, p. 454 - 465, 2013.

KIM, D. Y. et al. Development of a-SiO_x:H solar cells with very high $V_{oc} \times FF$ product. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 53, p. 671–684, 2015.

KOUHNAVARD, M. et al. A review of semiconductor materials as sensitizers for quantum dot-sensitized solar cells. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p. 397–407, 2014.

KUMAR, V., SHRIVASTAVA, R. L., UNTAWALE, S. P. Fresnel lens: A promising alternative of reflectors in concentrated solar power. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 376–390, 2015.

LACERDA, J. S., BERGH, J. C. J. M. VAN DEN. Diversity in solar photovoltaic energy: Implications for innovation and policy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 331–340, 2016.

LAFALCE, E. et al. Photo annealing effect on p-doped inverted organic solar cell. **Journal of Applied Physics**, v. 115, n. 24, 2014.

LAN, D., GREEN, M. A. Extended spectral response analysis of conventional and front surface field solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 134, p. 346–350, 2015.

LASHGARI, M., SHAFIZADEH, N., ZEINALKHANI, P. A nanocomposite p-type semiconductor film for possible application in solar cells: Photo-electrochemical studies. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 137, p. 274–279, 2015.

LASHGARI, Mohsen, SHAFIZADEH, Nahideh, ZEINALKHANI, Parisa. A nanocomposite p-type semiconductor film for possible application in solar cells: Photo-electrochemical studies. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, n.137, p.-274 - 279, mar. 2015.

LAUERMANN, T. et al. Diffusion-based model of local Al back surface field formation for industrial passivated emitter and rear cell solar cells. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 23, p. 10–18, 2015.

LEE, C. S. et al. A study on soldering characteristics of laser tabbing system for crystalline silicon photovoltaic module production. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 28, n. 8, p. 3279–3283, 2014a.

LEE, J. H. et al. Manipulation of discrete porphyrin-fullerene nanopillar arrays regulated by the phase separated infiltration of polymer in ternary blended organic thin-films. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 140, p. 428–438, 2015a.

LEE, J. H. et al. Modeling of optimum size and shape for high photovoltaic performance of poly(3-hexylthiophene) nanopore in interdigitated bilayer organic solar cells. **Organic Electronics**, v. 28, p. 59–66, 2016.

LEE, J. M. et al. Synergistic concurrent enhancement of charge generation, dissociation, and transport in organic solar cells with plasmonic metal-carbon nanotube hybrids. **Advanced Materials**, v. 27, n. 9, p. 1519–1525, 2015b.

LEE, J. W., PARK, J., JUNG, H. J. A feasibility study on a building's window system based on dye-sensitized solar cells. **Energy and Buildings**, v. 81, p. 38–47, 2014.

LEE, S. et al. Printable Nanostructured Silicon Solar Cells for High-Performance , Large-Area Flexible Photovoltaics. **ACS Nano**, v. 8, n. 10, p. 10507–10516, 2014b.

LEE, S. et al. Single-phase transformerless bi-directional inverter with high efficiency and low leakage current. **IET Power Electronics**, v. 7, n. 2, p. 451–458, 2014c.

LEE, S. M. et al. High Performance Ultrathin GaAs Solar Cells Enabled with Heterogeneously Integrated Dielectric Periodic Nanostructures. **ACS Nano**, v. 9, n. 10, p. 10356–10365, 2015c.

LEI, H. et al. Enhanced efficiency in organic solar cells via in situ fabricated p-type copper sulfide as the hole transporting layer. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 128, p. 77–84, 2014.

LELOUX, J. et al. A bankable method of assessing the performance of a CPV plant. **Applied Energy**, v. 118, p. 1–11, 2014.

LI, C. Y. et al. Design and development of cyclometalated ruthenium complexes containing thiophenyl-pyridine ligand for dye-sensitized solar cells. **Dyes and Pigments**, v. 100, p. 57–65, 2014a.

LI, G. et al. Improving angular acceptance of stationary low-concentration photovoltaic compound parabolic concentrators using acrylic lens-walled structure. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 6, n. 1, p. 1–12, 2014b.

LI, G. et al. Optical evaluation of a novel static incorporated compound parabolic

concentrator with photovoltaic/thermal system and preliminary experiment. **Energy Conversion and Management**, v. 85, p. 204–211, 2014c.

LI, G. et al. Numerical and experimental study on a PV / T system with static miniature solar concentrator. **Solar Energy**, v. 120, p. 565–574, 2015a.

LI, N. et al. Towards large-scale production of solution-processed organic tandem modules based on ternary composites: Design of the intermediate layer, device optimization and laser based module processing. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 120, p. 701–708, 2014d.

LI, P. et al. Counter electrodes from binary ruthenium selenide alloys for dye-sensitized solar cells. **Journal of Power Sources**, v. 271, p. 108–113, 2014e.

LI, S., KARAVA, P. Energy modeling of photovoltaic thermal systems with corrugated unglazed transpired solar collectors – Part 2: Performance analysis. **Solar Energy**, v. 102, p. 297–307, 2014.

LI, W. et al. Design and synthesis of star-burst triphenylamine-based pi-conjugated molecules. **Dyes and Pigments**, v. 113, p. 1–7, 2015b.

LI, Z. et al. Fine tuning of terpolymer properties by incorporating electron-accepting difluorobenzene and diketopyrrolopyrrole units. **Journal of Materials Science**, v. 50, p. 5363–5370, 2015c.

LIM, Y. S. et al. Design and evaluation of passive concentrator and reflector systems for bifacial solar panel on a highly cloudy region - A case study in Malaysia. **Renewable Energy**, v. 63, p. 415–425, 2014.

LIN, K. C. et al. Laser spectroscopic assessment of a phthalocyanine-sensitized solar cell as a function of dye loading. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 126, p. 155–162, 2014a.

LIN, K.-C. et al. Combination of Optical and Electrical Loss Analyses for a Si-Phthalocyanine Dye-Sensitized Solar Cell. **J phys chem**, v. 118, n. 49, p. 14027–14036, 2014b.

LIN, L. et al. Broadband near-infrared quantum-cutting by cooperative energy transfer in Yb³⁺–Bi³⁺ co-doped CaTiO₃ for solar cells. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 640, p. 280–284, 2015a.

LIN, Y.-J. et al. Manipulation of light harvesting for efficient dye- sensitized solar cell by doping an ultraviolet light- capturing fluorophor. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 23, p. 106–111, 2015b.

LIU, B. et al. Fill factor improvement in PIN type hydrogenated amorphous silicon germanium thin film solar cells: Omnipotent N type μ -c-SiO_x:H layer. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 140, p. 450–456, 2015.

LIU, X. et al. Molecular design of donor-acceptor conjugated copolymers based on C-, Si- and N-bridged dithiophene and thienopyrroledione derivatives units for organic solar cells. **Journal of Power Sources**, v. 245, p. 217–223, 2014a.

LIU, X. F. et al. Design and Properties of Intermediate-Sized Narrow Band-Gap

Conjugated Molecules Relevant to Solution-Processed Organic Solar Cells. **Journal of the American Chemical Society**, v. 136, n. 15, p. 5697–5708, 2014b.

LIU, Y. et al. An Effective Control Method for Three-Phase Quasi-Z-Source Cascaded Multilevel Inverter Based Grid-Tie Photovoltaic Power System. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 61, n. 12, p. 6794–6802, 2014c.

LU, L., YU, L. Understanding low bandgap polymer PTB₇ and optimizing polymer solar cells based on IT. **Advanced Materials**, v. 26, p. 4413–4430, 2014.

LUE, S. J. et al. Functional titanium oxide nano-particles as electron lifetime, electrical conductance enhancer, and long-term performance booster in quasi-solid-state electrolyte for dye-sensitized solar cells. **Journal of Power Sources**, v. 274, p. 1283–1291, 2015.

MA, H. et al. High-integrated spectral splitting solar concentrator with double-light guide layers. **Optical Engineering**, v. 53, n. 10, p. 1–7, 2014.

MACLACHLAN, A. J. et al. Polymer/nanocrystal hybrid solar cells: Influence of molecular precursor design on film nanomorphology, charge generation and device performance. **Advanced Functional Materials**, v. 25, p. 409–420, 2015.

MAJKIĆ, A. et al. MoS₂-xix nanowires as additives for enhanced organic solar cell performance. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 127, p. 63–66, 2014.

MAN, J. X. et al. Ultrathin optical design for organic photovoltaic cells. **Optics Communications**, v. 342, p. 184–188, 2015.

MANE, S. B., HUNG, C. H. Molecular engineering of boryl oxasmaragdyrins through peripheral modification: Structure-efficiency relationship. **Chemistry - A European Journal**, v. 21, p. 4825–4841, 2015.

MANN, S. A. et al. The energy payback time of advanced crystalline silicon PV modules in 2020: a prospective study. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 22, p. 1180–1194, 2014.

MARWEDE, M., RELLER, A. Estimation of life cycle material costs of cadmium telluride- and copper indium gallium diselenide-photovoltaic absorber materials based on life cycle material flows. **Journal of Industrial Ecology**, v. 18, n. 2, p. 254–267, 2014.

MATTIODA, R. A., JUNIOR, O. C., FERNANDES, P. T. , CASEL, J. L., MAZZI, A.. Thoughts on Product Development Oriented to Sustainability in Organizational Overview. **Advanced Materials Research**. Vols. 1061-1062 (2015) pp 1238-1244

MENG, B. et al. Phosphonated conjugated polymers for polymer solar cells with a non-halogenated solvent process. **Polym. Chem.**, v. 6, n. 5, p. 805–812, 2015.

MERDES, S. et al. Zn(O,S) buffer prepared by atomic layer deposition for sequentially grown Cu(In,Ga)(Se,S)₂ solar cells and modules. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 126, p. 120–124, 2014.

METZ, A. et al. Industrial high performance crystalline silicon solar cells and modules based on rear surface passivation technology. **Solar Energy Materials and Solar**

Cells, v. 120, p. 417–425, 2014.

MOHAJERI, A., OMIDVAR, A. Fullerene-based materials for solar cell applications: Design of novel acceptors for efficient polymer solar cells-a DFT study. **Phys. Chem. Chem. Phys.**, v. 17, p. 22367–22376, 2015.

MOHAMMAD, N. et al. Enhancing photovoltaic output power by 3-band spectrum-splitting and concentration using a diffractive micro-optic. **Optical Express**, v. 22, p. 1–7, 2014.

MOJIRI, A. et al. A spectrally splitting photovoltaic-thermal hybrid receiver utilising direct absorption and wave interference light filtering. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 139, p. 71–80, 2015.

MUHAMMAD-SUKKI, F. et al. Mirror symmetrical dielectric totally internally reflecting concentrator for building integrated photovoltaic systems. **Applied Energy**, v. 113, p. 32–40, 2014.

MÜLLER, R. et al. Evaluation of implantation annealing for highly-doped selective boron emitters suitable for screen-printed contacts. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 120, p. 431–435, 2014.

MULLIGAN, C. J. et al. A projection of commercial-scale organic photovoltaic module costs. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 120, p. 9–17, 2014.

MYONG, S. Y., JEON, S. W. Design of esthetic color for thin-film silicon semi-transparent photovoltaic modules. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 143, p. 442–449, 2015.

NEOPHYTOU, M. et al. Two step sintering process and metal grid design optimization for highly efficient ITO free organic photovoltaics. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 122, p. 1–7, 2014.

NOMURA, K., KIKUCHI, D., NAKANO, N. Design of photovoltaic device and DC-DC converter on a single chip using 0.18 μm standard CMOS technology. **Analog Integrated Circuits and Signal Processing**, v. 78, p. 3–9, 2014.

NOVOA, F. D., MILLER, D. C., DAUSKARDT, R. H. Environmental mechanisms of debonding in photovoltaic backsheets. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 120, p. 87–93, 2014.

OBARA, S. et al. Analysis of output power and capacity reduction in electrical storage facilities by peak shift control of PV system with bifacial modules. **Applied Energy**, v. 128, p. 35–48, 2014.

OLIVIERI, L. et al. Integral energy performance characterization of semi-transparent photovoltaic elements for building integration under real operation conditions. **Energy and Buildings**, v. 68, p. 280–291, 2014.

OLIVIERI, L. et al. G-value indoor characterization of semi-transparent photovoltaic elements for building integration: New equipment and methodology. **Energy and Buildings**, v. 101, p. 84–94, 2015.

ONG, W. et al. Highly reactive {001} facets of TiO_2 -based composites: synthesis,

formation mechanism and characterization. **Nanoscale**, v. 6, p. 1946–2008, 2014.

ORABI, M. et al. On-chip integrated power management MPPT controller utilizing cell-level architecture for PV solar system. **Solar Energy**, v. 117, p. 10–28, 2015.

PAGE, Z. A. et al. Fulleropyrrolidine interlayers: tailoring electrodes to raise organic solar cell efficiency. **Science**, v. 346, n. 6208, p. 441–445, 2014.

PANDEY, R. et al. Fluorine doped zinc tin oxide multilayer transparent conducting Oxides for organic photovoltaic's Cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 134, p. 5–14, 2015.

PARK, K. M., LEE, M. B., CHOI, S. Y. Investigation of surface features for 17.2 efficiency multi-crystalline silicon solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 132, p. 356–362, 2015.

PATERNOSTER, G. et al. Fabrication, characterization and modeling of a silicon solar cell optimized for concentrated photovoltaic applications. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 134, p. 407–416, 2015.

PEREZ-GALLARDO, J. R. et al. Ecodesign of photovoltaic grid-connected systems. **Renewable Energy**, v. 64, p. 82–97, 2014.

PFANNMÖLLER, M. et al. Quantitative Tomography of Organic Photovoltaic Blends at the Nanoscale. **Nano Letters**, v. 15, p. 6634–6642, 2015.

PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS (DOE)

Disponível em:

<<http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/Conteudo/Planejamento-de-Experimentos-DOE>>. Acesso em 11 ago. 2017.

POP, S. D. et al. Tunable optical constants of thermally grown thin porphyrin films on silicon for photovoltaic applications. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 127, p. 169–173, 2014.

PUGLISI, R. A. et al. Molecular doping applied to Si nanowires array based solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 132, p. 118–122, 2015.

QADIR, M. B. et al. Composite multi-functional over layer: A novel design to improve the photovoltaic performance of DSSC. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 140, p. 141–149, 2015.

QIAN-QIAN, S., QIAO-SHI, A., FU-JUN, Z. A simple encapsulation method for organic optoelectronic devices. **Chinese Physics B**, v. 23, n. 8, p. 1–5, 2014.

RABBANI, M. G. et al. Modeling of dual-metal Schottky contacts based silicon micro and nano wire solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 130, p. 456–465, 2014.

RAHIMI, M. et al. A comparative study on using single and multi header microchannels in a hybrid PV cell cooling. **Energy Conversion and Management**, v. 101, p. 1–8, 2015.

RAJENDRAN, H., RAMABADRAN, R., SANKARARAJAN, R. Design and implementation of PV based energy Harvester for WSN Node with MAIC algorithm. **Advances in Electrical and Computer Engineering**, v. 15, n. 2, p. 109–116, 2015.

RANIERO, W. et al. Physical vapour deposition reactive magnetron sputtering for the production and application of dichroics in photovoltaic system with solar spectral splitting. **Applied Surface Science**, v. 308, p. 170–175, 2014.

REHMAN, Atteq ur, LEE, Soo H.. Advancements in n-Type Base Crystalline Silicon Solar Cells and Their Emergence in the Photovoltaic Industry. **Hindawi Publishing Corporation**, p.-1 - 13, 2013.

ROLLAND, A. et al. Design of a lattice-matched III-V-N / Si photovoltaic tandem cell monolithically integrated on silicon substrate. *Hal*, p. 7–8, 2014.

ROSA, V.. Aplicação Computacional para o dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Isolados. Fevereiro de 2014. 87 páginas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – Brasil. Imagem Estrutura de uma Célula Fotovoltaica - Pág. 15.

RÜDIGER, M. et al. Bifacial n-type silicon solar cells for upconversion applications. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 128, p. 57–68, 2014.

SADEGHI, S., AMERI, M. Comparison of different power generators in PV-battery-power generator hybrid system. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 387–398, 2014.

SARDAR, S. et al. Interfacial carrier dynamics in PbS-ZnO light harvesting assemblies and their potential implication in photovoltaic/ photocatalysis application. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 134, p. 400–406, 2015.

SCHMITT, S. W. et al. Probing photo-carrier collection efficiencies of individual silicon nanowire diodes on a wafer substrate. **Nanoscale**, v. 6, p. 7897–902, 2014.

SGRIGNUOLI, F. et al. Purcell effect and luminescent downshifting in silicon nanocrystals coated back-contact solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 132, p. 267–274, 2015.

SHAO, M. et al. Understanding How Processing Additives Tune the Nanoscale Morphology of High Efficiency Organic Photovoltaic Blends: From Casting Solution to Spun-Cast Thin Film. **Advanced Functional Materials**, v. 24, p. 6647–6657, 2014.

SHARAF, O. Z., ORHAN, M. F. Concentrated photovoltaic thermal (CPVT) solar collector systems: Part I – Fundamentals, design considerations and current technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 50, p. 1500–1565, 2015a.

SHARAF, O. Z., ORHAN, M. F. Concentrated photovoltaic thermal (CPVT) solar collector systems: Part II - Implemented systems, performance assessment, and future directions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 50, p. 1566–1633, 2015b.

SHARMA, P., DUTTAGUPTA, S. P., AGARWAL, V. A Novel Approach for Maximum Power Tracking From Curved Thin-Film Solar Photovoltaic Arrays Under Changing

Environmental Conditions. **IEEE Transactions on Industrial Applications**, v. 50, n. 6, p. 4142–4151, 2014.

SHEEHAN, S. et al. Flexible glass substrate based dye sensitized solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 132, p. 237–244, 2015.

SHEN, C., WANG, K., GREEN, M. A. Fast separation of front and bulk defects via photoluminescence on silicon solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 128, p. 260–263, 2014.

SOTO-ROJO, R., BALDENEbro-LÓPEZ, J., GLOSSMAN-MITNIK, D. Study of chemical reactivity in relation to experimental parameters of efficiency in coumarin derivatives for dye sensitized solar cells using DFT. **Phys. Chem. Chem. Phys**, v. 17, p. 14122–14129, 2015.

SPENCER, S. et al. Controlling J-aggregate formation for increased short-circuit current and power conversion efficiency with a squaraine donor. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 22, p. 488–493, 2014.

SUN, Cheng, SU, Jie, WANG, Xiaoqiu. A Design of Thin Film Silicon Solar Cells Based on Silver Nanoparticle Arrays. **Plasmonics**, p.-633 - 641, 2014.

SUN, D. et al. **An energy stored quasi-Z source cascaded multilevel inverter based photovoltaic power generation system**. Conference Proceedings - IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC. **Anais...**2014

SUN, Z. Z. et al. Probing the regeneration process of triphenylamine-based organic dyes in dye-sensitized solar cells. **Journal of Power Sources**, v. 276, p. 230–237, 2015.

TAIT, J. G. et al. Electrical properties of patterned photoactive layers in organic photovoltaic modules. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 144, p. 493–499, 2016.

TAN, M., CHONG, K., WONG, C. Optical characterization of nonimaging dish concentrator for the application of dense-array concentrator photovoltaic system. **Applied optics**, v. 53, n. 3, p. 475–486, 2014.

THANG, T. V. et al. Analysis and design of grid-connected photovoltaic systems with multiple-integrated converters and a pseudo-dc-link inverter. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 61, n. 7, p. 3377–3386, 2014.

TIEN, W. C., CHU, A. K. ITO distributed Bragg reflectors fabricated at low temperature for light-trapping in thin-film solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 120, p. 18–22, 2014.

TOUAFÉK, K., KHELIFA, A., ADOUANE, M. Theoretical and experimental study of sheet and tubes hybrid PVT collector. **Energy Conversion and Management**, v. 80, p. 71–77, 2014.

TOUS, L. et al. Evaluation of advanced p-PERL and n-PERT large area silicon solar cells with 20.5 energy conversion efficiencies. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, p. 660–670, 2014.

TURSUNOV, M. N. et al. Improvement of the efficiency of photo-heat converting plant operation. **Applied Solar Energy**, v. 50, n. 4, p. 287–288, 2014.

VENKATRAMAN, V., ABBURU, S., ALSBERG, B. K. Artificial evolution of coumarin dyes for dye sensitized solar cells. **Physical chemistry chemical physics : PCCP**, v. 17, p. 27672–82, 2015.

VISHWANATHAN, B. et al. A comparison of performance of flat and bent photovoltaic luminescent solar concentrators. **Solar Energy**, v. 112, p. 120–127, 2015.

WANG, J. T. et al. Morphology control of fluorine-doped tin oxide thin films for enhanced light trapping. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 132, p. 578–588, 2015.

WANG, L., CARLSON, D. E., GUPTA, M. C. Silicon solar cells based on all-laser-transferred contacts. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 23, p. 61–68, 2015.

WANG, P. et al. A new class of multi-bandgap high-efficiency photovoltaics enabled by broadband diffractive optics. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 23, p. 1073–1079, 2014.

WANG, Y. et al. Storage-Less and Converter-Less Photovoltaic Energy Harvesting With Maximum Power Point Tracking for Internet of Things. **IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems**, v. 35, n. 2, p. 173–186, 2016.

WANG, Y., WANG, H., XING, X. Nanosilver surface plasmon response enhanced the photovoltaic performance of organic solar cells. **Optik**, v. 125, p. 5600–5602, 2014.

WEI, S. et al. Theoretical Insight into Organic Dyes Incorporating Triphenylamine-Based Donors and Binary π -Conjugated Bridges for Dye-Sensitized Solar Cells. **International Journal of Photoenergy**, p. 1–9, 2014.

WEN, L. et al. Photon harvesting, coloring and polarizing in photovoltaic cell integrated color filters: efficient energy routing strategies for power-saving displays. **Nanotechnology**, v. 26, n. 26, p. 1–10, 2015a.

WEN, X. et al. Mobile Charge-Induced Fluorescence Intermittency in Methylammonium Lead Bromide Perovskite. **Nano Letters**, v. 15, p. 4644–4649, 2015b.

WRIGHT, K. H. et al. High-Current ESD Test of Advanced Triple Junction Solar Array Coupon. **IEEE Transactions on Plasma Science**, v. 43, n. 9, p. 2993–2999, 2015.

WU, S. et al. Proximity effect assisted absorption enhancement in thin film with locally clustered nanoholes. **Opt Lett**, v. 40, n. 5, p. 792–795, 2015.

WU, Y. et al. Engineered fluorescence of quantum dots via plasmonic nanostructures. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 126, p. 113–119, 2014.

XU, J., YANG, Y. Study on the performances of SnS heterojunctions by numerical analysis. **Energy Conversion and Management**, v. 78, p. 260–265, 2014.

XU, X. et al. Side-Chain Engineering of Benzodithiophene-Fluorinated Quinoxaline Low-Band-Gap Co-polymers for High-Performance Polymer Solar Cells. **Chemistry - A European Journal**, v. 20, p. 13259–13271, 2014.

YA'ACOB, M. E. et al. A comparative study of three types of grid connected photovoltaic systems based on actual performance. **Energy Conversion and Management**, v. 78, p. 8–13, 2014.

YANG, X. et al. Light Trapping Enhancement in a Thin Film with 2D Conformal Periodic Hexagonal Arrays. **Nanoscale research letters**, v. 10, p. 284–293, 2015.

YEW, T. K., CHONG, K. K., LIM, B. H. Performance study of crossed compound parabolic concentrator as secondary optics in non-imaging dish concentrator for the application of dense-array concentrator photovoltaic system. **Solar Energy**, v. 120, p. 296–309, 2015.

YILMAZ, Ş., ÖZÇALIK, H. R. Performance analysis of a 500-kWp grid-connected solar photovoltaic power plant in Kahramanmaraş. **Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences**, v. 23, p. 1946–1957, 2015.

YING, W. et al. Synthesis and photovoltaic properties of new [1,2,5]thiadiazolo[3,4-c]pyridine-based organic Broadly absorbing sensitizers for dye-sensitized solar cells. **Tetrahedron**, v. 70, p. 3901–3908, 2014.

YOON, P. et al. Investigation of the controlling parameters on the bowing phenomenon in ultra-thin crystalline silicon solar cells. **Applied Thermal Engineering**, v. 90, p. 559–570, 2015.

YOU, D. J. et al. Recent progress of high efficiency Si thin-film solar cells in large area. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 23, p. 973–988, 2015.

YOUN, H., PARK, H. J., GUO, L. J. Organic photovoltaic cells: From performance improvement to manufacturing processes. **Small**, p. 2228–2246, 2015.

YU, J., ZHENG, Y., HUANG, J. **Towards high performance organic photovoltaic cells: A review of recent development in organic photovoltaics** *Polymers*, 2014.

YU, M. et al. Multi-functional DNA-based synthesis of SWNTs@(TiO₂/Ag/Au) nanocomposites for enhanced light-harvesting and charge collection in DSSCs. **RSC Advances**, v. 5, p. 5604–5610, 2015a.

YU, X. et al. A study on use of miniature dielectric compound parabolic concentrator (dCPC) for daylighting control application. **Building and Environment**, v. 74, p. 75–85, 2014.

YU, X. et al. The enhanced efficiency of graphene–silicon solar cells by electric field doping. **Nanoscale**, v. 7, p. 7072–7077, 2015b.

YUAN, Y., WU, C. Thermal analysis of film photovoltaic cell subjected to dual laser beam irradiation. **Applied Thermal Engineering**, v. 88, p. 410–417, 2015.

YUNYUN, W., GANG, P., LONGCAN, Z. Effects of frame shadow on the PV character of a photovoltaic/thermal system. **Applied Energy**, v. 130, p. 326–332, 2014.

ZANG, X. F. et al. Molecular design of the diketopyrrolopyrrole-based dyes with varied donor units for efficient dye-sensitized solar cells. **Journal of Power Sources**, v. 271, p. 455–464, 2014.

ZARMAI, M. T. et al. A review of interconnection technologies for improved crystalline silicon solar cell photovoltaic module assembly. **Applied Energy**, v. 154, p. 173–182, 2015.

ZARMAI, Musa,T., EKERE, N.N., ODUOZA, C.F., AMALU, E H. A review of interconnection technologies for improved crystalline silicone solar cell photovoltaic module assembly. **Applied Energy**, p.-173 - 182, 2015.

ZHANG, G. et al. A 3-Z-network boost converter. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 62, n. 1, p. 278–288, 2015a.

ZHANG, W. et al. Highly efficient perovskite solar cells with tunable structural color. **Nano Letters**, v. 15, p. 1698–1702, 2015b.

ZHANG, Y. et al. Efficient Photoelectrochemical Energy Conversion using Spinach Photosystema II (PSII) in Lipid Multilayer Films. **ChemistryOpen**, v. 4, p. 111–114, 2015c.

ZHAO, X. et al. Material and device analysis of SiGe solar cell in a GaAsP-SiGe dual junction solar cell on Si substrate. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 134, p. 114–121, 2015.

ZHAO, X. Y. et al. Enhancement of the performance of organic solar cells by electrospray deposition with optimal solvent system. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 121, p. 119–125, 2014.

ZHANG, Ying, WANG, Xiaodong, WU, Dezhen. Design and fabrication of dual-functional microcapsules containing phase change material core and zirconium oxide shell with fluorescent characteristics. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, p.-56 - 68, 2015.

ZHENG, F. et al. Material Innovation in Advancing Organometal Halide Perovskite Functionality. **Journal of Physical Chemistry Letters**, v. 6, p. 4862–4872, 2015.

ZHOU, P. et al. Increasing thiophene spacers between thieno[3,2-b]thiophene and benzothiadiazole units in backbone to enhance photovoltaic performance for their 2-D polymers. **Dyes and Pigments**, v. 112, p. 99–104, 2015.

ZHOU, S. et al. Comprehensive study of light induced plating of nickel and its effect on large area laser doped crystalline solar cells. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 125, p. 33–38, 2014.

ZIAPOUR, B. M., PALIDEH, V., MOHAMMADNIA, A. Study of an improved integrated collector-storage solar water heater combined with the photovoltaic cells. **Energy Conversion and Management**, v. 86, p. 587–594, 2014.

ZOU, Y. H., YANG, T. S. Optical performance analysis of a HCPV solar concentrator yielding highly uniform cell irradiance. **Solar Energy**, v. 107, p. 1–11, 2014.

APÊNDICE A – TABELA COLETA DE DADOS EXPERIMENTO

Medição	ID	Alumínio (%)	Nitrogênio (%)	N (Placas com mesmas especificações/ misturas)	Repetições (plac)	Faixa Horária	Produção de energia (v)	Data	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Probabilidade de Chuva (%)	Condição Climática
1	1	20	20	1	2	10h às 13h	0.19	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
2	2	20	20	1	2	10h às 13h	0.16	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
3	3	20	20	1	2	10h às 13h	0.19	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
4	4	20	20	1	2	10h às 13h	0.19	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
5	5	20	40	2	2	10h às 13h	0.18	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
6	6	20	40	2	2	10h às 13h	0.24	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
7	7	20	40	2	2	10h às 13h	0.22	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
8	8	20	40	2	2	10h às 13h	0.17	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
9	9	20	60	3	2	10h às 13h	0.16	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
10	10	20	60	3	2	10h às 13h	0.21	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
11	11	20	60	3	2	10h às 13h	0.21	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
12	12	20	60	3	2	10h às 13h	0.22	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
13	13	40	20	4	2	10h às 13h	0.18	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
14	14	40	20	4	2	10h às 13h	0.21	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
15	15	40	20	4	2	10h às 13h	0.21	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
16	16	40	20	4	2	10h às 13h	0.22	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
17	17	40	40	5	2	10h às 13h	0.25	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
18	18	40	40	5	2	10h às 13h	0.26	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
19	19	40	40	5	2	10h às 13h	0.27	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
20	20	40	40	5	2	10h às 13h	0.27	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
21	21	40	60	6	2	10h às 13h	0.23	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
22	22	40	60	6	2	10h às 13h	0.25	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
23	23	40	60	6	2	10h às 13h	0.21	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
24	24	40	60	6	2	10h às 13h	0.22	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
25	25	60	20	7	2	10h às 13h	0.24	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
26	26	60	20	7	2	10h às 13h	0.29	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
27	27	60	20	7	2	10h às 13h	0.28	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
28	28	60	20	7	2	10h às 13h	0.27	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
29	29	60	40	8	2	10h às 13h	0.21	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
30	30	60	40	8	2	10h às 13h	0.22	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
31	31	60	40	8	2	10h às 13h	0.23	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
32	32	60	40	8	2	10h às 13h	0.21	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
33	33	60	60	9	2	10h às 13h	0.22	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
34	34	60	60	9	2	10h às 13h	0.23	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
35	35	60	60	9	2	10h às 13h	0.28	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
36	36	60	60	9	2	10h às 13h	0.20	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
37	1	20	20	1	3	13h às 16h	0.19	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
38	2	20	20	1	3	13h às 16h	0.21	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
39	3	20	20	1	3	13h às 16h	0.24	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
40	4	20	20	1	3	13h às 16h	0.22	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
41	5	20	40	2	3	13h às 16h	0.22	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
42	6	20	40	2	3	13h às 16h	0.22	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
43	7	20	40	2	3	13h às 16h	0.25	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
44	8	20	40	2	3	13h às 16h	0.20	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
45	9	20	60	3	3	13h às 16h	0.24	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
46	10	20	60	3	3	13h às 16h	0.24	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
47	11	20	60	3	3	13h às 16h	0.19	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
48	12	20	60	3	3	13h às 16h	0.21	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
49	13	40	20	4	3	13h às 16h	0.23	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
50	14	40	20	4	3	13h às 16h	0.23	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
51	15	40	20	4	3	13h às 16h	0.24	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
52	16	40	20	4	3	13h às 16h	0.23	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
53	17	40	40	5	3	13h às 16h	0.22	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
54	18	40	40	5	3	13h às 16h	0.23	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
55	19	40	40	5	3	13h às 16h	0.24	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
56	20	40	40	5	3	13h às 16h	0.27	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
57	21	40	60	6	3	13h às 16h	0.23	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
58	22	40	60	6	3	13h às 16h	0.25	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
59	23	40	60	6	3	13h às 16h	0.23	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
60	24	40	60	6	3	13h às 16h	0.25	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
61	25	60	20	7	3	13h às 16h	0.24	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
62	26	60	20	7	3	13h às 16h	0.23	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
63	27	60	20	7	3	13h às 16h	0.24	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
64	28	60	20	7	3	13h às 16h	0.26	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
65	29	60	40	8	3	13h às 16h	0.24	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
66	30	60	40	8	3	13h às 16h	0.22	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
67	31	60	40	8	3	13h às 16h	0.26	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
68	32	60	40	8	3	13h às 16h	0.19	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
69	33	60	60	9	3	13h às 16h	0.23	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
70	34	60	60	9	3	13h às 16h	0.22	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
71	35	60	60	9	3	13h às 16h	0.22	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
72	36	60	60	9	3	13h às 16h	0.23	03/06/2017	19°C	73%	10%	Enxurrada
73	1	20	20	1	4	16h às 17h	0.16	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
74	2	20	20	1	4	16h às 17h	0.17	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
75	3	20	20	1	4	16h às 17h	0.16	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
76	4	20	20	1	4	16h às 17h	0.22	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
77	5	20	40	2	4	16h às 17h	0.22	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
78	6	20	40	2	4	16h às 17h	0.22	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
79	7	20	40	2	4	16h às 17h	0.22	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
80	8	20	40	2	4	16h às 17h	0.18	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
81	9	20	60	3	4	16h às 17h	0.20	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
82	10	20	60	3	4	16h às 17h	0.21	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
83	11	20	60	3	4	16h às 17h	0.19	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
84	12	20	60	3	4	16h às 17h	0.21	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
85	13	40	20	4	4	16h às 17h	0.24	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
86	14	40	20	4	4	16h às 17h	0.22	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
87	15	40	20	4	4	16h às 17h	0.23	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
88	16	40	20	4	4	16h às 17h	0.19	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
89	17	40	40	5	4	16h às 17h	0.18	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
90	18	40	40	5	4	16h às 17h	0.18	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
91	19	40	40	5	4	16h às 17h	0.25	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
92	20	40	40	5	4	16h às 17h	0.25	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
93	21	40	60	6	4	16h às 17h	0.20	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
94	22	40	60	6	4	16h às 17h	0.25	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
95	23	40	60	6	4	16h às 17h	0.20	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada
96	24	40	60	6	4	16h às 17h	0.23	03/06/2017	18°C	73%	10%	Enxurrada

