



**UFC**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

**CENTRO DE CIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA**

**QUÍMICA-BACHARELADO**

**CARLOS HENRIQUE FABRICIO SAMPAIO**

**PRODUÇÃO DE FILME CONDUTOR DE GRAFITE E QUITOSANA MODIFICADO  
COM ZINCO**

**FORTALEZA-CE**

**2022**

CARLOS HENRIQUE FABRICIO SAMPAIO

PRODUÇÃO DE FILME CONDUTOR DE GRAFITE E QUITOSANA MODIFICADO  
COM ZINCO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Química Industrial do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Química.

Orientador pedagógico: Prof. Dr. Pierre Basílio Almeida Fechine.

Orientador profissional: Profa. Dra. Janaína Sobreira Rocha.

FORTALEZA-CE

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S182p Sampaio, Carlos Henrique Fabricio.  
Produção de filme condutor de grafite e quitosana modificado com zinco / Carlos Henrique Fabricio Sampaio. – 2022.  
42 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Química, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Pierre Basílio Almeida Fechine.  
Coorientação: Profa. Dra. Janaína Sobreira Rocha.

1. Grafite. 2. Zinco. 3. Células fotovoltaicas. I. Título.

CDD 540

---

2022

CARLOS HENRIQUE FABRICIO SAMPAIO

PRODUÇÃO DE FILME CONDUTOR DE GRAFITE E QUITOSANA MODIFICADO  
COM ZINCO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Química Industrial do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Química.

Aprovada em: \_\_/\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Pierre Basílio Almeida Fechine (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Janaína Sobreira Rocha (Orientadora)  
Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC)

---

Prof. Dr. Francisco Marccone Lima  
Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC)

---

A Deus e a todos que fizeram parte dessa  
caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Principalmente aos meus orientadores Pierre e Janaína que me deram essa oportunidade e sempre me motivaram mesmo quando tudo estava dando errado e acreditando que eu seria capaz;

Aos meus melhores amigos Jonas e Marina que são irmãos que a vida me deu, sempre acreditaram no meu potencial e estiveram do meu lado mesmo quando eu estava altamente estressado por causa de uma rotina extremamente cansativa;

A minha tia Lenir que sempre sonhou com esse momento, estando presente em toda minha vida acadêmica, desde a minha formatura do ABC até a formatura do ensino médio. Que ela possa estar orgulhosa e saber que grande parte disso tudo é para ela.

Aos colegas e amigos que fiz durante a essa jornada, aos que foram e que ficaram. Cada um teve sua importância de um jeito especial;

Aos meus pais que nunca deixaram faltar as coisas básicas;

Ao NUTEC, especialmente à GEMAT, que me concedeu a oportunidade de estágio e também me permitiu obter a orientação e o espaço para concluir minha pesquisa;

Ao Dr Marcone que me acompanhou durante a realização do trabalho, que me ensinou sobre uma área nova para mim e me direcionou para que eu conseguisse chegar até aqui.

“O insucesso é apenas uma oportunidade para  
recomeçar de novo com mais inteligência.”

Henry Ford

## RESUMO

Neste trabalho, será apresentada uma possível aplicação de grafite, quitosa juntamente com zinco na indústria de energias renováveis. Para isso, propôs-se sintetizar filmes de grafite e quitosana modificados com zinco e logo depois utilizar esse filme em um sistema gerador de corrente elétrica trabalhando juntamente com uma célula fotovoltaica de silício quebrada. A justificativa para produção deste trabalho é o crescimento cada vez mais acelerado da indústria de células fotovoltaicas e por falta de alternativas quando se trata de reutilização de células fotovoltaicas de silício quebradas. Foram feitas as medidas das dimensões dos filmes produzidos e as suas respectivas resistências elétricas. A escolha dos componentes do filme se dá pela interação favorável entre os compostos e por serem comumente utilizados em trabalhos que envolvem condução elétrica. A eficiência do sistema final foi avaliada fazendo medições de tensão e corrente com o sistema estando em contato com a radiação solar. Haja vista que se trata de uma metodologia relativamente simples, e com base nos resultados obtidos experimentalmente, é razoável inferir que os procedimentos adotados podem ser melhorados e, assim, readequados a fim de que se atinja uma escala maior.

**Palavras-chave:** Grafite; Zinco; Células fotovoltaicas



## ABSTRACT

In this work, a possible application of graphite, chitosan together with zinc in the renewable energy industry will be presented. For this, it was proposed to synthesize zinc-modified graphite and chitosan films and then use this film in an electric current generator system working together with a broken silicon photovoltaic cell. The justification for producing this work is the increasingly accelerated growth of the photovoltaic cell industry and the lack of alternatives when it comes to reuse of broken silicon photovoltaic cells. Measurements were made of the dimensions of the films produced and their respective electrical resistances. The choice of film components is due to the favorable interaction between the compounds and because they are commonly used in work involving electrical conduction. The efficiency of the final system was evaluated by making voltage and current measurements with the system being in contact with solar radiation. Considering that this is a relatively simple methodology, and based on the results obtained experimentally, it is reasonable to infer that the adopted procedures can be improved and, thus, readjusted in order to reach a larger scale.

**Keywords:** Graphite; Zinc; Photo-voltaic cells.

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>                                 | <b>14</b> |
| <b>2 OBJETIVOS</b>                                  | <b>17</b> |
| <b>2.1 Objetivos gerais</b>                         | <b>17</b> |
| <b>2.2 Objetivos específicos</b>                    | <b>17</b> |
| <b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>                      | <b>18</b> |
| <b>3.1 Células fotovoltaicas</b>                    | <b>18</b> |
| 3.1.1 História                                      | 18        |
| 3.1.2 Efeito fotovoltaico                           | 19        |
| 3.1.3 Células fotovoltaicas                         | 20        |
| <b>3.2 Resistores elétricos</b>                     | <b>21</b> |
| <b>3.3 Zinco</b>                                    | <b>22</b> |
| <b>3.4 Grafite</b>                                  | <b>22</b> |
| <b>3.5 Quitosana</b>                                | <b>24</b> |
| <b>3.6 Sobre as propriedades do filme</b>           | <b>25</b> |
| 3.6.1 Resistência elétrica e resistividade elétrica | 25        |
| 3.6.2 Resistência à abrasão                         | 26        |
| <b>4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL</b>                   | <b>27</b> |
| <b>4.1 Reagentes e Materiais</b>                    | <b>27</b> |
| <b>4.2 Métodos</b>                                  | <b>27</b> |
| 4.2.1 Solubilização da quitosana                    | 27        |
| 4.2.2 Preparação dos filmes                         | 27        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2.3 Montagem do sistema condutor      | 30        |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>         | <b>32</b> |
| <b>5.1 Preparação dos filmes</b>        | <b>32</b> |
| <b>5.2 Caracterizações ópticas</b>      | <b>33</b> |
| <b>5.3 Análise de dimensões</b>         | <b>36</b> |
| <b>5.4 Montagem do sistema condutor</b> | <b>37</b> |
| <b>6 CONCLUSÃO</b>                      | <b>39</b> |
| PERSPECTIVAS                            | 40        |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS              | 41        |

## 1 INTRODUÇÃO

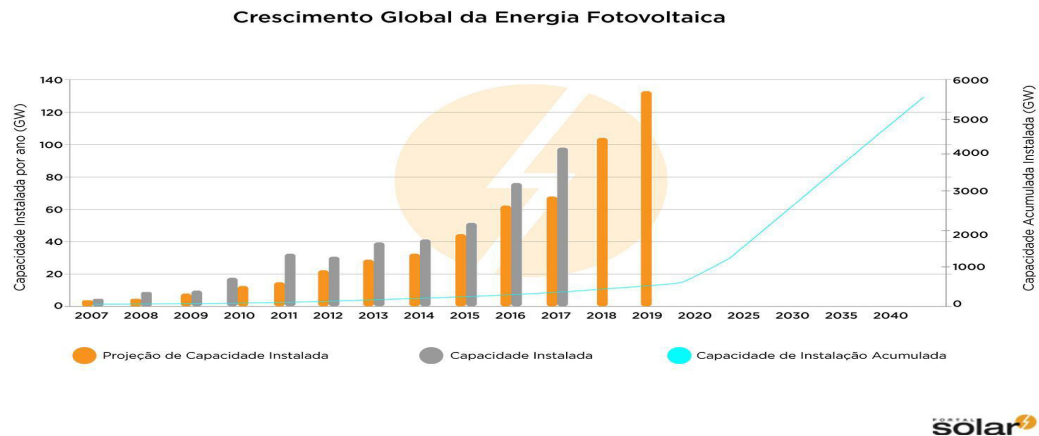
É inegável que o consumo mundial de energia, sendo esta eólica, termoelétrica, nuclear, fotovoltaica, tende a se elevar com o passar dos anos. Esse aumento no consumo corresponde ao aumento de desenvolvimento em continentes como a Ásia, América do Sul e África e também a um assinalável aumento da população mundial (SILVA, 2009).

A crescente demanda por energia juntamente com o consumo desenfreado de recursos energéticos finitos e nocivos resultou em uma crise energética global. O processo de produção de energia utilizando matérias-primas fósseis, como carvão mineral e petróleo, está sendo afetado cada vez mais pela problemática da escassez, além de serem matrizes energéticas que necessitam de um alto investimento financeiro e com grande potencial de prejudicarem o meio ambiente no cenário atual, isto, juntamente com uma crescente preocupação com questões relacionadas à proteção ambiental, têm gerado uma grande demanda por pesquisas relacionadas à preservação de recursos energéticos, fazendo com que novas formas de energia renováveis, que não prejudicam o meio ambiente, ganhem cada vez mais espaço no mundo acadêmico (STEIGLEDER, 2006; FIGUEIRA, 2005).

A energia solar fotovoltaica apresenta-se como uma alternativa promissora no que se refere ao uso de energias renováveis no mundo. Dentre suas vantagens destacam-se a tecnologia bem difundida e conhecida, que proporciona confiabilidade, além de possibilidade de geração descentralizada, que permite a instalação do gerador junto à carga, incluindo o fato de ser uma fonte de energia limpa e não prejudicial ao meio ambiente, não ocasionando gases de efeito estufa que tencionam o aquecimento global (VERA, 2009).

Na década de 90, conforme destaca Brito e Serra (2004), a necessidade de utilização da energia solar para a obtenção de eletricidade se intensificou devido ao impacto ambiental causado pela utilização desenfreada do petróleo e, também, pelas mudanças climáticas associadas à emissão de gases inerentes à sua queima. Nesse sentido, é um desafio de extrema importância estudos que contemplam novas fontes de energia renováveis para geração de eletricidade. Podemos ver através deste gráfico como a utilização da energia fotovoltaica está crescendo com o passar dos anos;

Gráfico 1- Crescimento global da energia fotovoltaica



Portal solar, 2017

A energia solar possui características únicas como a disponibilidade, renovabilidade, abundância e o custo zero na fonte primária. Além disso, sua conversão é considerada limpa, ou seja, não polui na obtenção de energia elétrica, contribuindo para minimizar os atuais problemas do meio ambiente (FEITOSA, 2011).

A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, este é o efeito fotovoltaico. Edmond Becquerel relatou o fenômeno em 1839, quando nos extremos de uma estrutura de matéria semicondutora surge o aparecimento de uma diferença de potencial elétrico, devido à incidência de luz. No processo de conversão da energia radiante em energia solar a célula é a unidade fundamental (BÜHLER, 2011).

A principal desvantagem da produção de eletricidade fotovoltaica é o alto custo para sua produção e manutenção, com a eletricidade produzida sendo aproximadamente três vezes mais cara do que a produzida pela energia eólica e geotérmica, e seis vezes mais cara do que a eletricidade produzida por carvão e gás (RUTHER, 2004).

Como a busca pela produção de eletricidade fotovoltaica continua aumentando, claramente a eficiência das células fotovoltaicas também deve aumentar. Na indústria de células solares, as células fotovoltaicas monocristalinas à base de silício compõem aproximadamente 80% da produção de células fotovoltaicas. Sua eficiência pode chegar a 28%, mas para a maioria das células monocristalinas comerciais, a eficiência tende a ficar entre 15% e 17% (ALMEIDA, 2016; CEPEL, 2014).

Os principais fatores que afetam a eficiência das células fotovoltaicas incluem a qualidade do semicondutor em uso e a temperatura de operação da célula fotovoltaica. A ideia

de células solares híbridas forneceu uma solução tendenciosa para esses problemas(PINHO, GALDINO; 2014).

Diante disso este trabalho tem como objetivo principal ,primeiramente, produzir um filme condutor utilizando grafite e quitosana modificada com zinco, logo em seguida adaptar células fotovoltaicas de silício quebradas para funcionar juntamente com o filme.Também será avaliado se o filme tem potencial para ser utilizado como resistor.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Essa pesquisa tem como fim produzir um filme condutor de grafite e quitosana modificado com zinco a fim de ser aplicado a energia fotovoltaica.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar o efeito da concentração de zinco nas propriedades do filme.
- Analisar os efeitos das dimensões na resistência elétrica do filme.
- Produzir um sistema gerador de corrente elétrica utilizando o filme condutor de grafite e quitosana modificado com zinco juntamente com uma célula fotovoltaica de silício quebrada.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Células fotovoltaicas

#### 3.1.1 História

Com o grande uso das matrizes de energéticas finitas no planeta, foi sendo observado a necessidade da utilização dos recursos naturais,esses, são matrizes energéticas limpas, sustentáveis, renováveis e infinitas, logo, foi visto que a energia solar apresentava tamanho potencial para suprir essa demanda.

Contudo, mesmo com a necessidade e meio de obtenção de energia favorável , a energia fotovoltaica ,juntamente com a energia eólica e geotérmica, ainda não ocupam 1,6% das fontes de energias usadas (EPE, 2018)

O Brasil apresenta grande potencial para a produção de energia solar,é favorecido pelo clima e pela geografia, principalmente a região nordeste,entretanto não é um dos maiores produtores mundiais dessa energia(MENDONÇA, 2020). A energia fotovoltaica é obtida com a instalação de painéis ,então, além dos benefícios de ser uma energia limpa ,tem maior utilidade em pequenas instalações,pequenas cargas,que a torna econômica, eficiente e segura, ainda soma-se o fato da independência , superando a desvantagem de seu alto valor.

A conversão de energia solar em energia elétrica, chama-se efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 ,quando o francês Alexandre-Edmond Becquerel descobriu que , mergulhando eletrodo em solução de eletrólito, a resposta seria a produção de energia. Em 1877, W. G. Adams e R. E. Day, usaram as propriedades fotocondutoras do selênio para criar o primeiro aparelho sólido de produção de eletricidade por exposição à luz. Já em 1923, Einstein recebeu o prêmio Nobel de Física pela formulação da ideia do Efeito Fotovoltaico. Em 1954 Calvin Fuller desenvolveu células fotovoltaicas à base de Silício, que tem seu princípio de funcionamento utilizado até hoje

Grandes eventos históricos impulsionaram a pesquisa e produção de células fotovoltaicas, tais como: a guerra fria e a crise do petróleo. Com os governos mundiais vendo a possibilidade de esgotamento das suas reservas petrolíferas, acabaram criando um grande interesse em relação à energia solar.



Mesmo com esses eventos impulsionando a busca por tecnologias relacionadas à energia solar, o custo de produção das células em relação à energia produzida era um fator desfavorável, por conta disso o desenvolvimento do mercado foi muito lento.

Quando a crise do petróleo se encerrou, muitas empresas petrolíferas deixaram o ramo do desenvolvimento de novas células. Mas mesmo assim outros fatores continuam impulsionando as pesquisas, o principal deles é que nos últimos anos o movimento de defesa do meio ambiente vem ganhando cada vez mais força.

O âmbito ambiental ganhou mais relevância com os incentivos internacionais da Organização das Nações Unidas (ONU) como: comissões, cúpulas do desenvolvimento sustentável, conferências. Logo , a ONU estabeleceu como meta que, os países membros da organização , até 2030, devem aumentar o uso da energia renovável , e investir cada vez mais nas mesmas.

### ***3.1.2 Efeito fotovoltaico***

O efeito fotovoltaico é o fenômeno físico que permite a conversão direta da luz em eletricidade. Esse fenômeno ocorre quando a luz, ou radiação eletromagnética do Sol, incide sobre uma célula composta de materiais semicondutores com propriedades específicas (VILLALVA, 2017).

Para entender como um material semicondutor consegue converter a energia solar em eletricidade é necessário expor algumas teóricas básicas sobre condução:

O átomo é a partícula base de toda matéria existente, toda matéria é formada de átomos. O átomo é formado de prótons, elétrons e nêutrons, tanto os prótons quanto os nêutrons estão localizados no núcleo do átomo que é onde se encontra maior parte da massa do átomo, os elétrons estão localizados na eletrosfera que corresponde a maior parte do volume atômico, os elétrons giram ao redor no núcleo em órbitas que possuem energia definida. A órbita ou camada mais distante do núcleo é denominada camada de valência, e os elétrons que pertencem a essa camada são chamados de elétrons de valência.(BROWN, 2015)

Alguns dos elétrons que pertencem a camada de valência podem possuir uma grande quantidade de energia que permite que eles saltem para uma faixa superior. Estes elétrons são responsáveis pela condução elétrica e pela condução térmica, a camada onde esse elétron fica é chamada de banda de condução, a diferença entre o elétron mais energético na camada de

valência e a camada mais interna da banda de condução é chamada de energia de gap(PINHO; GALDINO, 2014).

Alguns materiais são isolantes, pois possuem a camada de valência cheia de elétrons e a banda de condução vazia, isso ocorre pelo fato de que a energia necessária para vencer o gap que há entre a camada de valência e a banda de condução é muito grande, impossibilitando que os elétrons saltem para banda de condução. Já os materiais condutores são justamente o inverso(PINHO; GALDINO, 2014).

Entre esses dois existem os materiais semicondutores, que são materiais que possuem a camada de valência parcialmente cheia e têm gaps intermediários. Eles têm a mesma estrutura de banda que os isolantes, mas a diferença de energia é bem mais baixa. Existem dois tipos de semicondutores, os puros (intrínsecos), e aqueles que são dopados com pequenas quantidades de impurezas (extrínsecos) (PINHO; GALDINO, 2014).

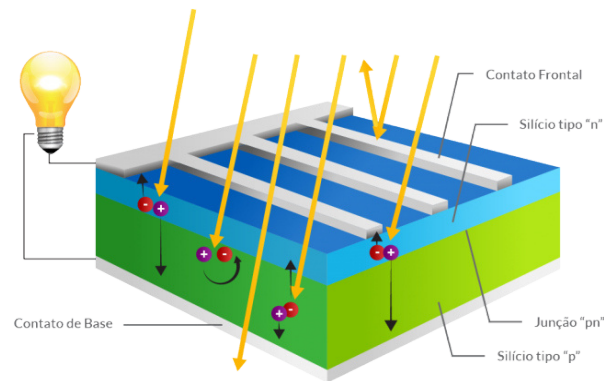
Em semicondutores, se o material que é dopado tem mais elétrons na camada de valência do que o semicondutor, o material é chamado um semicondutor do tipo N. O semicondutor do tipo N é eletricamente neutro, mas tem excesso de elétrons, que estão disponíveis para condução(BÜHLER, 2011).

Em semicondutores, se o material que é dopado tem menos elétrons na camada de valência que o semicondutor, o material dopado é chamado um semicondutor do tipo P. O semicondutor do tipo P é eletricamente neutro, mas tem lacunas positivas (elétrons perdidos) em sua estrutura, que podem acomodar elétrons em excesso(BÜHLER, 2011).

Quando duas camadas de materiais P e N são colocadas em contato, é formada a junção semicondutora, os elétrons da camada N migram para camada P e ocupam os espaços vazios das lacunas. Isto acaba originando um campo elétrico e cria uma barreira de potencial entre as duas camadas(GASPARIN, 2009).

É representado o efeito fotovoltaico através de uma imagem que simbolize uma célula fotovoltaica, como está abaixo:

Figura 1 -Célula fotovoltaica como representação gráfica do efeito fotovoltaico



Fonte: SOLAR, B. S. E.

### 3.1.3. Células fotovoltaicas

Grande parte das células fotovoltaicas são compostas principalmente de silício, mas o cristal de silício puro não possui elétrons livres, sendo assim um mal condutor elétrico. Por conta disso é necessário que ocorra a dopagem do silício com fósforo e desta forma é obtido um semiconductor do tipo N. Realizando o mesmo processo só que dopando o silício com boro ao invés de fósforo, obtemos um semiconductor do tipo P. Cada célula solar é composta de uma camada fina do material tipo N e outra com uma maior espessura do material do tipo P (ANDRADE, 2008).

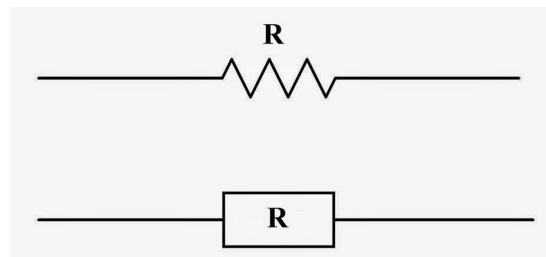
A ligação entre a camada P e a camada N é feita por meio de um condutor externo, essa ligação gera um fluxo de elétrons. Enquanto a célula for incidida por luz solar o fluxo irá se manter. A intensidade da corrente elétrica depende da intensidade da luz (PRIEB, 2002).

### 3.2 Resistores elétricos

Os resistores são componentes elétricos que possuem a função de limitar a passagem de corrente elétrica, diminuindo assim sua intensidade, isto ocorre devido

a sua característica de resistir a corrente elétrica. A representação de um resistor em um diagrama de circuito elétrico é apresentada na figura. A maior parte dos resistores comerciais é constituída de um material péssimo condutor de corrente elétrica, como carvão em pasta, ligados por dois terminais condutores (XAVIER; BENIGNO, 2010).

Figura 2 Representação ilustrativa de um resistor elétrico



Fonte: XAVIER; BENIGNO, 2010

Tem grande importância em dispositivos elétricos e eletrônicos, principalmente em chuveiros elétricos, esta importância em específico se deve ao fato de que a limitação da corrente elétrica acontece na dissipação de energia elétrica na forma de calor. Essa dissipação é utilizada em equipamentos que precisam de resistores com função exclusiva de aquecimento, como torradeiras, secadores de cabelo e chuveiros elétricos, como já foi dito anteriormente.

Quando um circuito tem mais de um resistor chamamos de associação de resistores. Existem três formas de associação de resistores, em série, onde os resistores são ligados em sequência. Associação em paralelo onde todos os resistores estão sendo submetidos a uma mesma diferença de potencial e por último a associação mista, onde em um mesmo circuito os resistores são ligados tanto em série como em paralelo (BONJORNIO, 2013).

### 3.3 Zinco

O zinco é um metal de transição do grupo 12 da tabela periódica, possui número atômico 30 e sua massa molar é 65,392 g/mol. Assim como os demais metais de transição ele apresenta boa condutividade elétrica, alta densidade e altos pontos de ebulição e fusão. Essas propriedades estão relacionadas à ligação metálica por elétrons deslocalizados. O zinco faz

parte do grupo de metais não ferrosos, características importantes do zinco são a sua facilidade de oxidação, maleabilidade, fácil moldagem e trabalho mecânico(BENELLI, 2015).

É encontrado na natureza normalmente na forma de óxidos e sulfetos, o sulfeto de zinco (ZnS), também conhecido como blenda de zinco, é encontrado normalmente em rochas calcárias. Dependendo da sua fonte mineral, o zinco pode ser classificado como zinco primário ou zinco secundário, o zinco primário corresponde a grande maioria da produção mundial atualmente (cerca de 80%), ele é obtido principalmente por meio de um processo eletrolítico. O zinco secundário é obtido a partir de sucatas e resíduos(CASAGRANDE, 2010).

A aplicação mais importante do zinco está relacionada à produção de aço, devido às suas propriedades anticorrosivas ele é muito usado em revestimento de superfícies, principalmente na produção de materiais galvanizados por conta também do seu baixo custo em relação à outros metais utilizados em revestimento, como o níquel e o cromo entre outros(CASAGRANDE, 2010).

Também é muito utilizado na produção de ligas metálicas, devido à sua facilidade de combinação com outros metais, essa facilidade ocorre por conta do seu tamanho atômico ser bastante próximo dos demais metais. Assim, em uma rede metálica, ele pode substituir ou ser substituído por outro elemento de tamanho similar. Uma das principais ligas metálicas que ele é utilizado é o latão que é muito utilizado em materiais elétricos. O zinco também é bastante utilizado na produção de pilhas e baterias secas(BENELLI, 2015).

O óxido de índio dopado com estanho (ITO), tem sido comumente usado como eletrodo transparente em células solares. No entanto seu alto custo motiva a pesquisa em busca de óxidos condutores transparentes alternativos, que tenham um alto grau de transparência e baixa resistividade, a fim de substituí-lo (BHOSLE, 2007).

O óxido de zinco tem sido estudado como um candidato promissor para substituir o ITO, pois apresenta transmitância óptica na região do visível acima de 80% e baixa resistividade elétrica, além de ser economicamente mais viável, não ser tóxico e possuir alta estabilidade química (CHOPPALI, 2010), o zinco metálico normalmente é usado na dopagem de outro TCO bastante utilizado, o óxido de índio ( $In_2O_3$ ), a dopagem utilizando zinco aumenta sua estabilidade. Por conta disso, o zinco sólido foi utilizado para a produção do filme, para verificar se ele teria propriedades condutivas semelhantes ao seu óxido e para melhorar a estabilidade do filme.

### 3.4 Grafite

O carbono é uma espécie química bastante versátil, que pode formar compostos com quase todos os elementos da tabela periódica, em uma variedade quase ilimitada de arranjos. O resultado disso é uma série de compostos orgânicos e inorgânicos com diferentes propriedades químicas e físicas (HIRSCH, 2010).

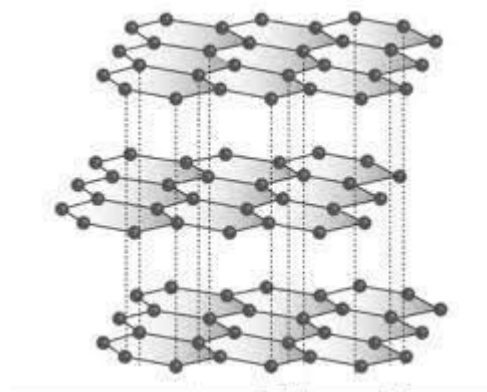
O carbono tem várias formas alotrópicas, são elas: grafite, diamante, carbono amorfo, grafeno, fulerenos e nanotubos de carbono. Dentre estas, o grafite é a forma alotrópica mais estável do carbono em condições normais de temperatura e pressão. Ele apresenta coloração variando de negra a cinza que apresenta brilho metálico quando cristalizado ou um aspecto terroso na forma microcristalina (KING, 2006).

O grafite apresenta certas propriedades que resultam em uma série de aplicações na indústria. Dentre essas propriedades estão a sua maleabilidade e ductibilidade em ampla faixa de temperatura, inércia química, efeito lubrificante, baixo coeficiente de expansão térmica e excelentes propriedades refratárias.

Sua estrutura é formada por matrizes hexagonais de átomos de carbono paralelas ao eixo. As matrizes se sobrepõem umas às outras, formando estruturas foliares (KING, 2006).

O arranjo atômico em camadas está organizado segundo uma rede de planos hexagonais com distância de  $1,42\text{\AA}$  entre átomos de carbono e é resultado das ligações de natureza covalente atuando nesse sistema. A distância entre os planos, entretanto, é de  $3,35\text{\AA}$  e é determinada por forças de van der Waals. A diferença entre as intensidades das ligações nas duas direções é responsável pelas propriedades anisotrópicas do grafite (BONNISSEL, 2001). O arranjo atômico do grafite pode ser representado pela seguinte figura:

Figura 3- Arranjo atômico em camadas do grafite



Fonte: BONNISSEL, 2001

Na estrutura do grafite, cada átomo de carbono está ligado a outros três adjacentes por ligações covalentes do tipo  $sp^2$ . Como três dos quatro elétrons de valência estão distribuídos em ligações do tipo sigma, o quarto elétron é capaz de formar uma ligação pi.

Este elétron quarto elétron tem a liberdade de migrar através da superfície da camada, o que promove uma carga elétrica dispersa que produz alta condutividade elétrica nessa direção. A grafita é, portanto, um semicondutor na direção perpendicular aos planos hexagonais e um condutor similar aos metais na direção paralela a estes. O coeficiente de expansão térmica é próximo a zero na direção paralela aos planos, porém adquire maior valor na direção perpendicular (KING, 2006)

Por conta das suas propriedades condutivas o grafite já foi utilizado em uma ampla quantidade de pesquisas para produção de tintas condutivas, pegando algumas destas pesquisas como inspiração foi decidido que o grafite seria o material mais ideal para produção do filme condutor. A escolha do grafite também vem em função do aglutinante que foi escolhido, que foi a quitosana.

A boa interação do grafite com a quitosana foi verificada em um trabalho utilizando a mesma como agente aglutinante em uma pasta de carbono usada em um eletrodo para determinar a concentração de cobre (II) em águas residuais, onde foi concluído que a quitosana melhorou a fixação da pasta ao eletrodo, também tinha a função de preencher as partículas de grafite e isolar o mesmo do contato com soluções aquosas. (JANEGITZ, 2007)

### 3.5 Quitosana

A quitosana é um copolímero formado por unidades 2-acetoamido-2-desoxi-D-glicopiranosose e 2-amino-2-desoxi-D-glicopiranosose ligadas por ligações  $\beta(1-4)$ , possui cadeia linear, obtido a partir da desacetilação alcalina da quitina (STULZER, 2009). A quitina é o 2º biopolímero natural mais abundante, é derivada do exoesqueleto de insetos, paredes celulares de fungos e da carapaça de crustáceos (KUBOTA, 2000).

A utilização da quitosana é bastante atrativa, pois se trata de uma molécula bastante funcional, ela tem propriedades bastante interessantes, como sua atoxicidade, hidroflicidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade e uma boa ação bacteriana. Além destas propriedades, a quitosana tem um custo baixo e uma grande abundância (AZEVEDO, 2007).

A quitosana é um polissacarídeo que tem baixíssima solubilidade em água, entretanto tem uma solubilidade considerável em soluções ácidas diluídas. Os ácidos que são comumente usados para a solubilização da quitosana são o ácido acético e o ácido clorídrico. A quitosana tem três grupos funcionais reativos, o primeiro é o grupo amino presente no C2, no C3 tem a presença de um grupo hidroxila secundário e também um grupo hidroxila primário. A solubilidade da quitosana em ácidos diluídos é devida a protonação dos grupos aminos(AZEVEDO, 2007).

Outra utilidade da quitosana é seu potencial como agente aglutinante, ela tem sido bastante usada em sensores eletroquímicos por conta da sua ação aglutinante e também devido a sua afinidade por íons metálicos, melhorando assim a sensibilidade do sensor. A presença de nitrogênio na estrutura da quitosana sob forma de grupamento amino justifica algumas de suas utilidade como agente quelante de íons metálicos e para a formação de filmes (BEZERRA, 2011) (THEVARAJAH , 2017)

### **3.6 Propriedades do filme**

A propriedade mais importante do filme produzido será sua resistência elétrica, caso o filme tenha uma baixa resistência elétrica ele será aplicado na produção de uma célula fotovoltaica mista, utilizando uma célula de silício quebrada. Caso tenha uma resistência moderada ele poderá ser utilizado como resistor elétrico.

Outra característica importante do filme é a sua resistência à abrasão para que ele possa resistir à montagem da célula sem se fragmentar.

#### ***3.6.1 Resistência elétrica e resistividade elétrica***

Quando é aplicada uma diferença de potencial em um objeto ou corpo, este oferece uma dificuldade ou resistência ao movimento dos portadores de carga da corrente elétrica. Essa capacidade de um corpo qualquer se opor à passagem de corrente elétrica é denominada resistência elétrica(BONJORNNO, 2013).



No SI a unidade de medida da resistência elétrica é V/i, onde V é a diferença de potencial nas extremidades e i é a intensidade da corrente elétrica. Essa unidade de medida recebeu o nome de ohm ( $\Omega$ ) em homenagem ao físico alemão Georg Simon Ohm (1745-1827).

A resistência elétrica está mais relacionada ao corpo em si, já a resistividade está relacionada ao material de que esse corpo é feito. Como queremos analisar a influência das composições de grafite e zinco é interessante entendermos um pouco melhor sobre resistividade elétrica (HALLIDAY, 2012).

Na segunda lei de Ohm foi mostrada a relação de resistência elétrica e resistividade com o comprimento e altura do material. Sua fórmula é:

*Equação 1 Segunda lei de Ohm. Fonte: BONJORNO, 2013*

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

Onde:

R = resistência elétrica

$\rho$  = resistividade (característica do material de que é feito o condutor)

L = comprimento

A = Área da seção transversal do fio condutor

### **3.6.2 Resistência à abrasão**

O termo desgaste é definido como a perda progressiva de material de uma superfície de um corpo sólido, devido ao contato e movimento relativo contra um corpo sólido, líquido ou gasoso (ASTM, 2001). Os principais mecanismos de remoção de material são: desgaste adesivo, desgaste por fadiga superficial, desgaste por reação triboquímica e desgaste por abrasão (ZUM GAHR, 1987). De acordo com a norma ASTM G-40 (2001), o desgaste abrasivo é definido como “a perda de massa resultante da interação entre partículas ou protuberâncias duras que são forçadas contra uma superfície, ao longo da qual se movem”. Dito isto o desgaste abrasivo ocorre quando existe contato físico direto entre a superfície de dois materiais, sendo que uma é muito mais dura que a outra. Portanto, devido o

carregamento normal as asperezas da superfície dura ou as partículas duras (abrasivos) penetram na superfície do material mais mole, produzindo deformações plásticas.

O desgaste abrasivo pode ser separado em dois grupos: o desgaste por riscamento e o desgaste por rolamento. O desgaste abrasivo por riscamento ocorre quando as partículas abrasivas estão fixas no segundo corpo e deslizam sobre a superfície do primeiro corpo, riscando ou removendo o material. O desgaste por rolamento as partículas estão livres para rolar, de tal forma que não retiram material do primeiro corpo o tempo todo em que estão em contato (TREZONA, ALLSOPP e HUTCHINGS, 1999).

Existem vários fatores que podem influenciar a resistência à abrasão, olhando para este trabalho o fator mais importante é o material da estrutura.

## **4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

### **4.1 Reagentes e Materiais**

Para a preparação da solução de quitosana, foram utilizadas quitosana sólida, que foi obtida da Êxodo Científica, ácido acético glacial, que foi adquirido da Dinâmica e por último, água destilada. Para a preparação dos filmes foi utilizado grafite em pó, obtido pela Dinâmica e zinco metálico, também obtido pela dinâmica.

### **4.2 Métodos**

#### ***4.2.1 Solubilização da quitosana***

Primeiramente foram pesados 0,5g de quitosana sólida em um béquer de 100mL, logo após utilizando uma pipeta graduada foram adicionados 18mL de água destilada e 2mL de ácido acético glacial. A dispersão foi posta em agitação magnética por aproximadamente 1h em temperatura ambiente, até a solubilização total da quitosana.

#### ***4.2.2 Preparação dos filmes***

Primeiramente o objetivo principal seria descobrir a proporção ideal de grafite, zinco e quitosana. Para isto, foi testado inicialmente em quais proporções o zinco e o grafite individualmente interagem com a quitosana de maneira que a menor resistividade elétrica possa ser alcançada.

Para isto foram preparados filmes de grafite juntamente com quitosana, zinco com quitosana e a quitosana sozinha em diferentes quantidades. Foi estipulado um peso fixo de aproximadamente 0,45g de grafite e de zinco, onde somente a quantidade de quitosana iria variar.

Um filme é produzido depois da pesagem do grafite ou do zinco em um béquer, logo após a solução de quitosana é adicionada, então é iniciada a agitação mecânica. Os primeiros filmes produzidos tinham uma concentração alta de quitosana (aproximadamente 85% m/m), a consistência dos filmes formados era de líquidos levemente viscosos e o filme de grafite formava pequenos aglomerados e o filme de zinco é mais homogêneo como é possível observar na imagem.

Figura 4- Filmes produzidos com 85% de quitosana



Imagem do autor

Esta diferença pode significar que as partículas de zinco se organizam de forma mais compacta quando utilizado com essa quantidade de quitosana.

Os próximos filmes produzidos utilizaram uma concentração menor de quitosana, a consistência buscada seria de algo semelhante a uma pasta, com o objetivo de melhorar a sua aplicação no substrato. Nos filmes de grafite foram utilizados primeiramente 35% de quitosana e depois a concentração foi aumentada para 58% m/m. Nos filmes de zinco foram utilizados inicialmente 26% m/m de quitosana, sendo aumentada para 44% m/m e por último chegando aos 58% m/m de quitosana assim como no grafite.

A resistência elétrica foi medida utilizando um multímetro, as observações sobre a resistência elétrica serão mais detalhadas nos resultados. Foi visto que a menor resistência foi obtida com uma concentração de 58% de quitosana.

A partir dessa proporção se iniciaram os testes para identificar qual seria a melhor proporção de grafite e zinco atuando em conjunto. Para isto foram preparados cinco filmes para análise de resistência elétrica, resistência à abrasão e melhor aplicação no substrato, o substrato escolhido foram lâminas de microscopia.

A proporção da quitosana foi fixada, só o que iria ser alterado seria a proporção de grafite e zinco dentro dos 0,45 gramas que já haviam sido fixados anteriormente. A primeira amostra tinha 70% de grafite e 30% de zinco (Amostra 1), a segunda teria 30% de grafite e 70% de zinco (Amostra 2), a terceira tinha 50% de grafite (Amostra 3), a quarta tinha 100% de grafite (Amostra 4) e a quinta amostra tinha 100% de zinco (Amostra 5). Estas proporções

foram escolhidas com base nas proporções que o zinco normalmente é usado em ligas metálicas.

Figura 5 -Amostras de 1 a 5 aplicadas em papel alumínio.



Imagem do autor

Analisando a superfície das cinco amostras é possível observar que a amostra de 100% zinco (Amostra 5) nessa proporção de quitosana tem uma aparência bem menos uniforme em comparação com o filme de zinco usando 85% de quitosana. Também nota-se que o filme utilizando 100% de grafite (Amostra 4) tem uma caráter uniforme e a medida que aumentamos a concentração de zinco, ocorre a formação de pequenos aglomerados, como é possível observar na imagem.

Figura 6 -Amostras utilizando diferentes concentrações de grafite e zinco

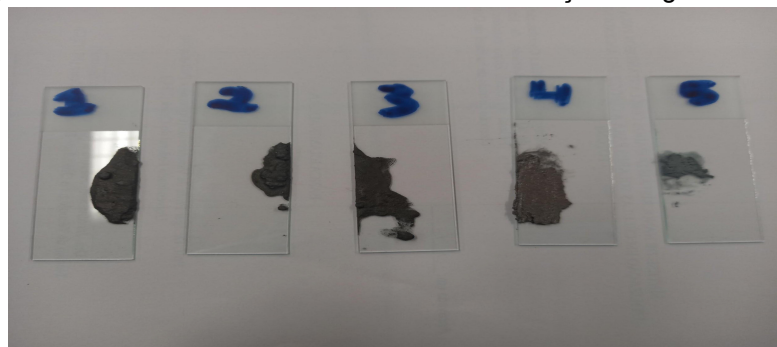


Imagem do autor

Através das análises foi decidido que a melhor proporção seria com valores inferiores a 30%. Então foram feitos 3 ensaios, o primeiro com 5% de zinco (Amostra A), o

segundo com 10% de zinco e o terceiro tinha 15% de zinco. Em cada ensaio foram preparados três filmes com dimensões diferentes, para que possa ser analisado o efeito de tanto da área quanto da espessura na resistência elétrica do filme.

Figura 7- Amostras utilizando concentrações de zinco inferiores a 15%

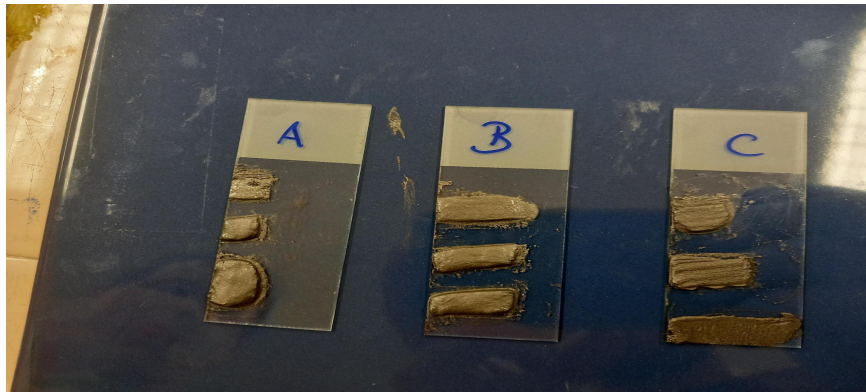


Imagem do autor

Foi feita uma análise óptica utilizando um microscópio óptico com uma lente objetiva com ampliação 50X., a área foi calculada utilizando uma régua e a espessura foi calculada utilizando um paquímetro, onde foi feita a diferença da espessura somente da lâmina e da lâmina junto com o filme.

#### 4.2.3 Montagem do sistema condutor

Analisando as amostras A, B e C, vimos que dentre elas a de menor resistência elétrica foi o filme contendo contração de 5% de zinco (Amostra A), mesmo com concentrações mais baixas de zinco sua resistência a abrasão ainda estava aceitável e sua aderência ao substrato também não teve nenhuma alteração relevante. Por esses motivos esta será a concentração utilizada na aplicação.

A aplicação consiste no desenvolvimento de uma trilha elétrica feita a partir do filme, onde no fim da trilha será conectada uma célula fotovoltaica de silício quebrada na superfície de um filme com dimensões semelhantes da mesma, na superfície da célula de silício também será feita uma trilha, mas com dimensões diferentes da que foi aplicada abaixo da mesma. Uma célula fotovoltaica já possui trilhas metálicas na sua superfície, elas são paralelas umas às outras. Desta forma o filme que será aplicado na superfície da célula para produzir essa trilha deve ser aplicado de forma que conecte as trilhas metálicas entre si para que o circuito seja fechado e os elétrons possam circular de forma a gerar tensão elétrica e corrente elétrica.

O filme irá atuar de uma forma semelhante a caixa de junção de um painel solar, que também pode ser chamado de caixa de conexão elétrica, normalmente ela está localizada na parte de trás do painel solar, com intuito de unificar as correntes elétricas geradas pelas células fotovoltaicas. Na caixa de junção estão presentes dois cabos fotovoltaicos que são os componentes da caixa responsáveis por promover a continuidade elétrica, o filme aplicado na superfície da célula terá uma função semelhante.

Em um mesmo substrato foram produzidas três amostras bem semelhantes, produzidas apenas com o intuito de aumentar a amostragem. Das três aplicações apenas uma gerou tensão elétrica e corrente elétrica, os motivos serão aprofundados nos resultados.

Para verificar como a célula se comportaria em diferentes intensidades de raios solares, as medições foram feitas a cada trinta minutos, totalizando três medições. As medições foram feitas utilizando um multímetro, os horários das medições foram: 09:00h, 09:30h e 10:00h.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Preparação dos filmes**

Nos primeiros filmes produzidos, foi possível verificar através da medida da resistência elétrica da amostra feita somente com a quitosana, que ela tem caráter isolante. Por conta disso os filmes que foram feitos com uma quantidade alta de quitosana têm grande resistência elétrica, logo foi decidido que a melhor metodologia a se seguir para a formação do filme condutor seria com quantidades moderadas de quitosana, que teria apenas a função de agente aglutinante, onde ela seria responsável pela melhor adesão da amostra ao substrato.

Analisando as cinco amostras feitas com a proporção de 58% de quitosana, foi possível identificar que o zinco mesmo em concentrações mais baixas de quitosana, ele possui altas resistências, tendo também uma péssima adesão ao substrato formando aglomerados rapidamente, desta forma dificultando ou impossibilitando a sua aplicação. Entretanto tem uma ótima resistência a abrasão e um processo de solidificação bastante acelerado. Dentre as cinco amostras, a menor resistência elétrica contabilizada foi da amostra de 100% de grafite (Amostra 4), porém sua resistência à abrasão é baixíssima, sendo facilmente fragmentado nas partes mais superficiais do filme. Esta amostra tem uma boa aplicação por ser mais fluida que as demais, porém o seu processo de solidificação é bem mais demorado.

O gráfico abaixo mostra as resistências obtidas por cada amostra.

*Tabela 1- Tabela dos valores de resistência elétrica das primeiras cinco amostras*

| Amostra                     | Amostra 1 | Amostra 2  | Amostra 3 | Amostra 4 | Amostra 5        |
|-----------------------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------------|
| Resistência<br>( $\Omega$ ) | 40 - 50   | 900 - 1200 | 190 240   | 60 - 67   | Maior que<br>20M |

Fonte: Autor.

Através da análise das resistências de cada amostra foi possível observar que o grafite pode ser descrito como agente condutor. O zinco nada mais é do que um estabilizante, dito isto o objetivo com as demais amostras é descobrir a concentração de zinco ideal para que a resistência a abrasão do filme melhore, mas a resistência elétrica não aumente consideravelmente. Observando as outras três amostras foi confirmado exatamente isso, à medida que a concentração de zinco aumenta, a resistência elétrica do filme também aumenta e juntamente com ela a sua estabilidade.

Foi visto que mesmo nas menores concentrações escolhidas ainda ocorria a formação de aglomerados mesmo que mais lentamente, sua resistência a abrasão também está aceitável nas menores concentrações de zinco. Por conta disso foi decidido fazer os últimos três ensaios com concentrações menores que 30% de zinco e aplicando o filme com menor resistência elétrica para formar um sistema condutor juntamente com fragmentos de uma célula fotovoltaica de silício.

## **5.2 Caracterizações ópticas**

Utilizando um microscópio óptico foi possível analisar de maneira mais precisa como a concentração de zinco afeta a superfície do filme, na imagem mostra o filme de grafite 100% (Amostra 4) e na imagem ao lado mostra o filme de 100% zinco (Amostra 5).



Figura 8 Amostra 4 (100% grafite)

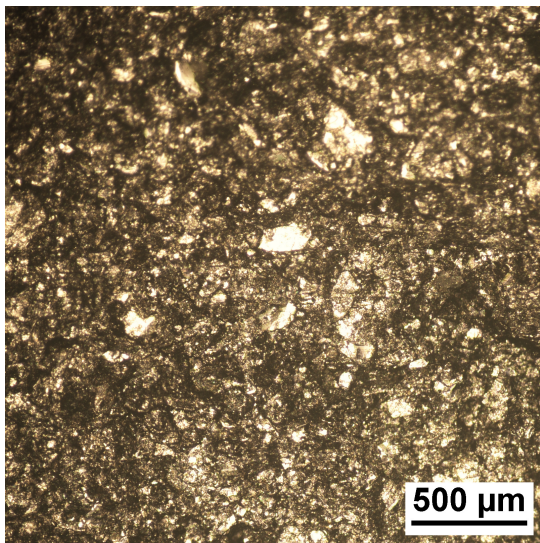


Imagem do autor

Figura 9 Amostra 5 (100% zinco)

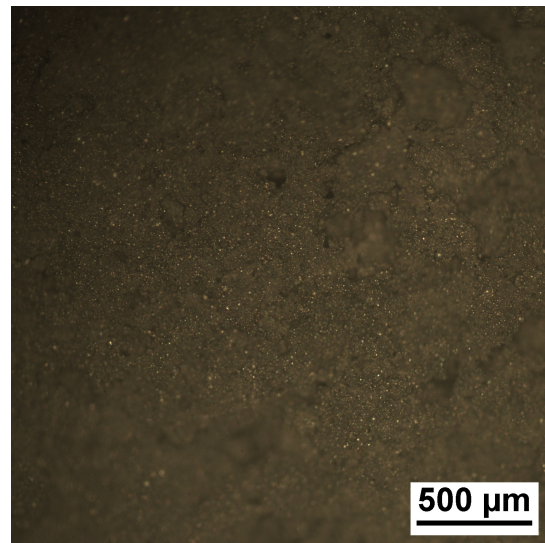
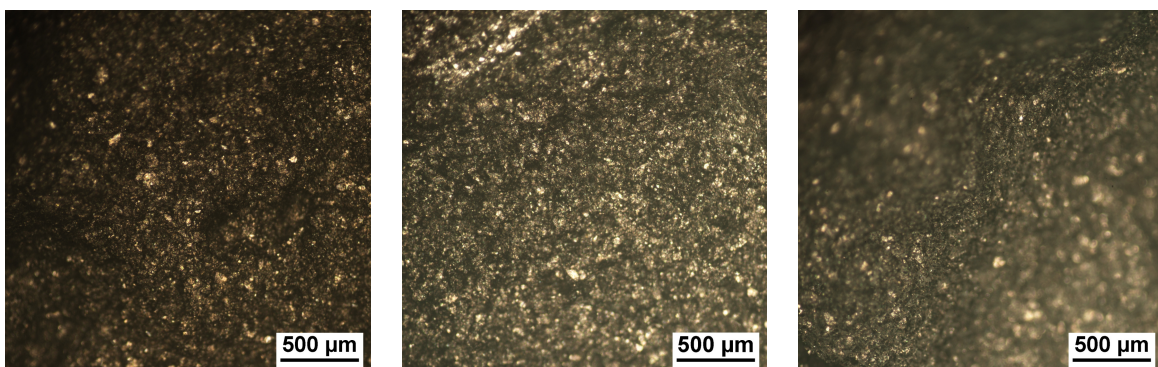


Imagem do autor

Como é possível observar o grafite tem seu brilho característico, também pode-se observar que o zinco em relação ao grafite tem uma superfície bem mais compacta, sem pequenas fendas em sua estrutura, tendo uma aparência mais homogênea mesmo que a olho nu ocorra à formação de aglomerados.

Analisando as amostras nota-se que com o aumento da concentração do zinco a aparência superficial do filme vai se tornando cada vez mais homogênea por ser mais compacta.

Figura 10 Respectivamente, Amostra 1, amostra 3 e amostra 2



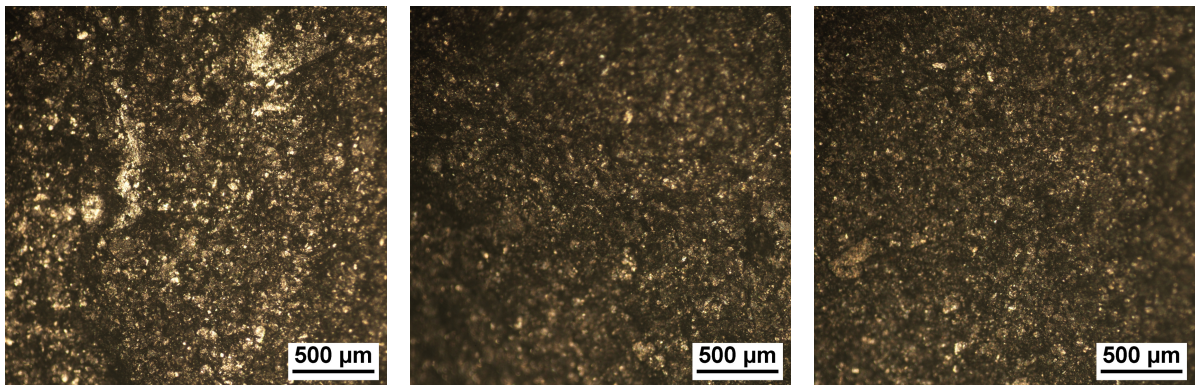
Imagens do autor

Como já foi dito anteriormente os últimos três filmes, cada proporção foi aplicada em triplicata tendo diferentes dimensões para que possa ser avaliado a efeito da área e da espessura na resistência elétrica. Como é possível ver nas imagens a espessura do filme não

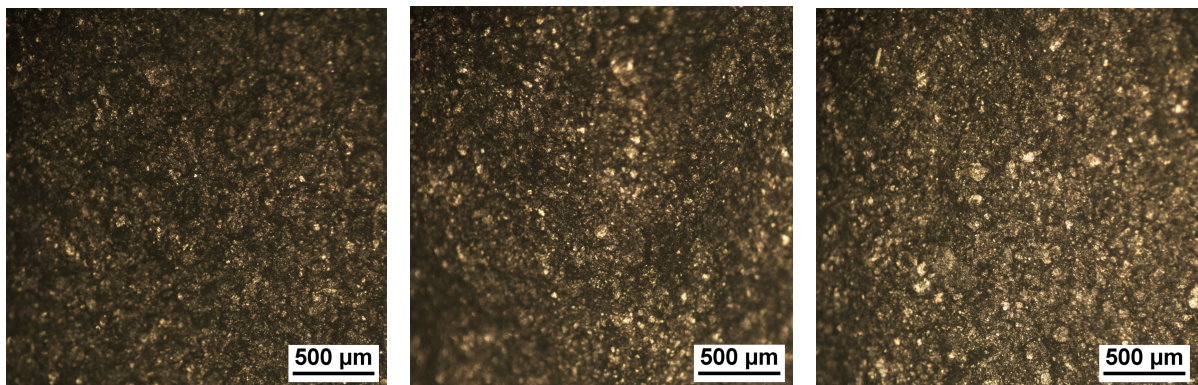
afeta de maneira significativa a aparência superficial da amostra, somente a composição do filme.

Explicando a nomenclatura que foi escolhida para cada amostra, tomando como base a letra escrita na placa de microscopia como região superior, indo em seguida pela região média e logo depois a região inferior.

*Figura 11 Respectivamente, amostra A superior, médio e inferior*

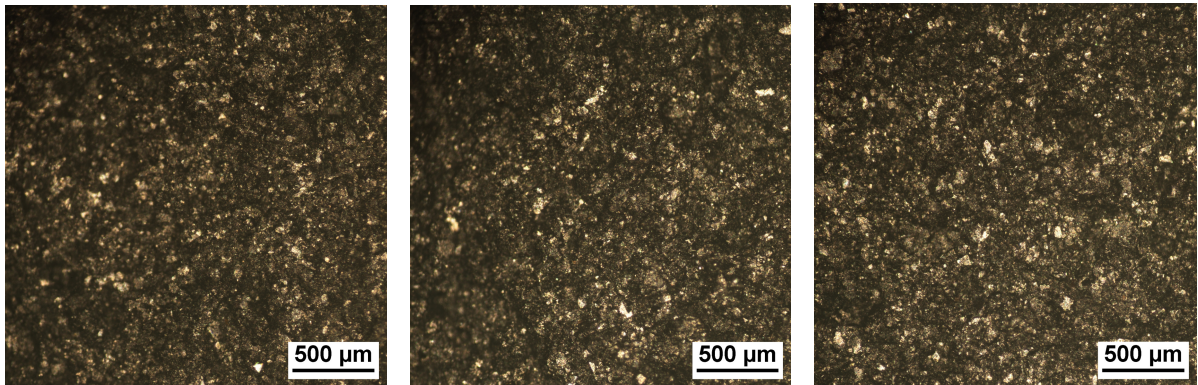


*Figura 12 Respectivamente, amostra B superior, médio e inferior*



Imagens do autor

Figura 13 Respectivamente, amostra C superior, médio e inferior



Imagens do autor

### 5.3 Análise de dimensões

Nas últimas três amostras foram analisadas as dimensões de cada uma delas, com o intuito de identificar a relação da resistência elétrica com as dimensões da amostra. OBS: A espessura das lâminas era de 1mm, logo a espessura será calculada utilizando a diferença entre a espessura da lâmina com o filme e sem o filme, na tabela será o valor depois desse cálculo.

As resistências de cada amostra juntamente com suas dimensões estão descritas no gráfico a seguir:

Tabela 2- Amostra A dimensões e resistência elétrica

| Amostra A                | Superior  | Médio     | Inferior  |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Espessura (mm)           | 0,57      | 1,26      | 2,41      |
| Resistência ( $\Omega$ ) | 127 - 140 | 150 - 180 | 478 - 596 |
| Área ( $cm^2$ )          | 0,56      | 0,56      | 1,5       |

Fonte: Autor

Tabela 3- Amostra B dimensões e resistência elétrica

| Amostra B                | Superior  | Médio     | Inferior  |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Espessura (mm)           | 1,41      | 1,75      | 1,71      |
| Resistencia ( $\Omega$ ) | 479 - 500 | 357 - 428 | 280 - 330 |
| Área ( $cm^2$ )          | 1,4       | 0,85      | 0,75      |

Fonte: Autor

Tabela 4 -Amostra C dimensões e resistência elétrica

| Amostra C                | Superior  | Médio     | Inferior  |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Espessura (mm)           | 0,78      | 0,71      | 0,34      |
| Resistencia ( $\Omega$ ) | 194 - 219 | 218 - 316 | 296 - 307 |
| Área ( $cm^2$ )          | 0,56      | 0,56      | 1,5       |

Fonte: Autor

Analisando as três tabelas, é possível tirar algumas conclusões, primeiramente o fator mais importante sempre será a composição da amostra, uma concentração maior de zinco resulta em maiores resistências, mas analisando a tabela da amostra B vs a tabela da amostra C, vemos que as resistências da amostra B estão superiores a da amostra C, entretanto para que isso ocorra foi necessário uma diferença relativamente alta tanto de espessura como de área.

Analisando cada tabela individualmente foi possível observar que tanto a espessura como a área do filme alteram as resistências em proporções bem semelhantes, mas para que aconteça uma alteração de resistência é necessário que haja uma diferença tanto de área como de espessura.

#### 5.4 Montagem do sistema condutor

Como foi dito na descrição do método, apenas uma das três amostras teve resultados positivos, analisando a imagem podemos deduzir os motivos das outras duas não terem produzido tensão e corrente.

Como podemos ver apenas um dos trilhos aplicados na superfície da célula foi aplicado de forma que ele passe por todas as trilhas metálicas e se conecte a trilha que foi aplicada abaixo, pode-se deduzir que como as duas trilhas aplicadas não se conectaram o circuito não pode ter continuidade e dessa forma não pode gerar os resultados esperados.

Na amostra que teve resultados positivos, a tensão elétrica e a corrente elétrica foram medidas como é possível ver na seguinte tabela:

Tabela 5- Medições de tensão e corrente do filme condutor

| Horário    | Voltagem de circuito aberta<br>(V) | Corrente de curto circuito<br>(mA) |
|------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 09h: 00min | 0,424                              | 0,471                              |
| 09h: 30min | 0,523                              | 0,875                              |
| 10h: 00min | 0,527                              | 0,874                              |

Fonte: Autor

Analisando a tensão elétrica vemos que os resultados foram aceitáveis já que normalmente uma célula fotovoltaica produz tensão entre 0,4V e 0,5V. Já a corrente elétrica teve resultados menores. Isto pode ter ocorrido por causa de alguns motivos, o primeiro obviamente seria a área da célula voltaica, já que foi apenas um pedaço de 1,56 cm<sup>2</sup> era de se esperar que o valor da corrente elétrica fosse um pouco inferior que o desejável. O segundo motivo seria a intensidade dos raios solares, infelizmente a medição depende muito das condições climáticas e no dia das medições o clima estava parcialmente nublado, dessa forma dificultando as medições. Outro motivo que também pode ser citado seria que o material da trilha aplicada na superfície da célula é relativamente resistente em comparação com fios condutores que são utilizados na junção elétrica.

Por último, talvez o fato do material do filme não ser transparente e estar aplicado na superfície da célula possa ter influenciado a absorção de energia solar.

## 6 CONCLUSÃO

Analisando os resultados podemos afirmar que foi possível produzir um filme utilizando grafite e quitosana com pequenas concentrações de zinco que possui uma boa aderência ao substrato selecionado para a aplicação, com uma resistência elétrica aceitável e uma boa resistência a abrasão.

Vimos que a quitosana atua somente como agente aglutinante e dispersante das partículas de grafite e zinco. Através das análises foi possível observar que a sua concentração interfere apenas na resistência elétrica do filme, tornando ele mais resistente em altas concentrações.

O grafite é o principal responsável pela condução elétrica do filme e trabalhando juntamente com a quitosana aumenta consideravelmente a aderência do filme ao substrato. A presença do zinco tem vantagens e desvantagens, tendo papel importante na resistência a abrasão, mas sendo o principal causador do aumento da resistência elétrica, dito isto seria necessário fazer mais análises para ter uma noção mais precisa de como ele atua no filme.

A criação do sistema do filme agindo em conjunto com uma célula condutora teve êxito, porém é necessário buscar meios para que a resistência elétrica seja ainda menor para que o sistema possa gerar uma maior quantidade de corrente elétrica.

Os objetivos do trabalho foram concluídos com êxito, porém ainda existem algumas lacunas que podem ser exploradas para produção de trabalhos posteriores. Além disto, o composto grafite/quitosana/zinco tem potencial para ser aplicado em outras áreas de pesquisa além da que foi explorada neste trabalho.

## PERSPECTIVAS

Para trabalhos posteriores seria necessário fazer as caracterizações tanto químicas como elétricas do filme, para ver como cada componente está atuando e como eles organizam na estrutura do filme.

Para diminuir a resistência elétrica e aumentar sua corrente elétrica podem ser feitas algumas alterações, primeiramente vimos que a quitosana tem uma alta resistência, logo ela poderia ser substituída por algum polímero condutor que tenha interações semelhantes com os demais componentes. Também é possível utilizar outras formas alotrópicas do carbono, como o grafeno, por exemplo.

Como o principal causador da resistência elétrica é o zinco, seria interessante analisar se o óxido de zinco que é bastante utilizado como óxido condutor transparente teria um efeito semelhante ao do zinco quando se trata de resistência a adesão, possibilitando que seja possível a produção de um filme com grande resistência a atritos na sua superfície sem ter que aumentar sua resistência elétrica em troca disto.

O composto grafite/quitosana/zinco tem um potencial interessante na área de resistores, pois como podemos ver sua resistência elétrica pode ser ajustada com alterações na concentração de zinco tornando possível a produção de resistores de diferentes resistências utilizando os mesmos materiais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E., ROSA, A. C., DIAS, F. C. L. S., BRAZ, K. T. M., LANA, L. T. C., SANTO, O. C. E., SACRAMENTO, T. C. B., Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica, 2016.

ANDRADE, Airton Cabral de. Análise e simulação da distribuição de temperatura em módulos fotovoltaicos. 2008. 143 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

Acessado em:12/12/2022

ASTM. G-40-01 - Standard Terminology Relating to Wear and Erosion. Philadelphia: Annual Book of Standards, v. Volume 03.02, 2001.

Acessado em:12/12/2022

ASTM. G-65 - Test Method Standard for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber wheel Apparatus. Philadelphia: Annual Book, v. Volume 03.02, 2001.

Acessado em:13/12/2022

ATKIN, P.; FARID, M. M. Improving the efficiency of photovoltaic cells using PCM infused graphite and aluminium fins. Solar energy (Phoenix, Ariz.), v. 114, p. 217–228, 2015.

AZEVEDO, V. V. C. et al. Quitina e Quitosana: aplicações como biomateriais. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 2.3, p. 27–34, 2007.

Acessado em:12/12/2022

BENELLI, C.; GATTESCHI, D. Introduction to molecular magnetism: From transition metals to lanthanides. 1. ed. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag, 2015.

Acessado em:13/12/2022

BEZERRA, A. M. Síntese e avaliações físico-químicas e biológicas de derivados de quitosana de alta e baixa massa molecular. 2011.

Acessado em:13/12/2022

BONJORNIO, J., R. et al. Física: eletromagnetismo, física moderna: 3º ano. 2ed.-São Paulo: FDT, 2013.

Acessado em:13/12/2022

BONNISSEL, N; LUO L; TONFEUR, D. Compacted exfoliated natural graphite as heat conduction medium. Carbon. França, v.39, p2151-2161, Janeiro, 2001.

Acessado em:13/12/2022



BHOSLE, V.; PRATER, J.T.; YANG, F.; BURK, D.; FORREST, S.R.; NARAYAN, J. Gallium-doped zinc oxide films as transparent electrodes. *Journal of applied physics*, Vol. 102, 2007.

Acessado em:13/12/2022

BRITO, M. C.; SERRA, J. M. Células solares para a produção de energia eléctrica.

Departamento de Física da FCUL. 2004. 17 p.

Acessado em:13/12/2022

BROWN, Theodore; LEMAY, H. Eugene; BURSTEN, Bruce E. Químico E. Química: a ciência central. 9 ed. Prentice-Hall, 2005.

Acessado em:14/12/2022

BÜHLER, Alexandre José. Estudo de técnicas de determinação experimental e pós processamento de curvas características de módulos fotovoltaicos. 2011. 195 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Acessado em:12/12/2022

CASAGRANDE, D. F. M. et al. Estudo de camadas eletrodepositadas a partir de soluções livres de cianeto. *Revista Escola de Minas*, v. 63, n. 2, p. 307–313, 2010.

Acessado em:13/12/2022

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

Acessado em:13/12/2022

CHOPPALI, U.; KOUGIANOS, E.; MOHANTY, S.P.; GORMAN, B.P. Polymeric precursor derived nanocrystalline ZnO thin films using EDTA as chelating agent. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 94, p. 2351–2357, 2010.

Acessado em:14/12/2022

DE ARAUJO ANDREOTTI, I. A. et al. Disposable and flexible electrochemical sensor made by recyclable material and low cost conductive ink. *Journal of electroanalytical chemistry* (Lausanne, Switzerland), v. 840, p. 109–116, 2019.

Acessado em:13/12/2022

DUB, M. Compounds of transition metals. Nova Iorque, NY, USA: Springer, 2014. FEITOSA, A. V. Estudos de Novos Corantes Naturais Foto excitáveis como sensibilizadores em Células

Solares. 2011. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas), Universidade Estadual do Ceará. 2011.

Acessado em:14/12/2022

EPE, disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>.

Acessado em:14/12/2022

FERNANDES, I. J. et al. Silver nanoparticle conductive inks: synthesis, characterization, and fabrication of inkjet-printed flexible electrodes. *Scientific reports*, v. 10, n. 1, p. 8878, 2020.

Acessado em:16/12/2022

FIGUEIRA, Daniel Sampaio. Análise experimental e numérica do comportamento térmico de um coletor solar acumulador. 2005. 195 f. Tese (Doutorado) - Programa Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

Acessado em:14/12/2022

GASPARIN, Fabiano Perin. Análise de efeitos transientes na caracterização elétrica de módulos fotovoltaicos. 2012. 171 f. Tese (Doutorado) - Programa Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

Acessado em:14/12/2022

HALLIDAY, D., RESNICK, R., J., W. Fundamentos de Física, 9ed. LTC, 2012.

HIRSCH, Andreas. The era of carbon allotropes. *Nature Materials*. Reino Unido, vol.9, p868-871. Novembro, 2010.

Acessado em:16/12/2022

JANEGITZ, B. C.; MARCOLINO JUNIOR, L. H.; FATIBELLO-FILHO, O. Determinação voltamétrica por redissolução anódica de Cu(II) em águas residuárias empregando um eletrodo de pasta de carbono modificado com quitosana. *Quimica nova*, v. 30, n. 7, p. 1673–1676, 2007.

Acessado em:15/12/2022

KING, R.J. Minerals explained – Graphite. *Geology Today*, Inglaterra, v.22, n.2, p71-77, Março/Abril, 2006.

Acessado em:14/12/2022

KUBOTA, N.; TASTUMOTO, N.; SNO, T.; TOYA, K.; A simple preparation of half N-acetylated chitosan highly soluble in water and aqueous organic solvents. *Carbohydrate Reserach*, v.324, p.268-274, 2000.

Acessado em:14/12/2022

LIMA, F. M. et al. Use of SnO<sub>x</sub>:F in the recycling of silicon solar cells. *Materials research*, v. 20, n. suppl 2, p. 826–829, 2018.

Acessado em:15/12/2022

MENDONÇA, ÂNDRIA LAVÍNIA DE. SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO DE ENERGIA: ENERGIA FOTOVOLTAICA. 2020.

Acessado em:15/12/2022

MISHRA, A. K. (ED.). *Transition metals: Characteristics, properties & uses*. Hauppauge, NY, USA: Nova Science, 2012.

Acessado em:13/12/2022

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio (Org.). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: Cepel, 2014.

Acessado em:12/12/2022

Energia fotovoltaica – Como funciona a energia elétrica solar. Disponível em:

<<https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>>.

Acessado em:15/12/2022

PRIEB, César Wilhelm Massen. Desenvolvimento de um sistema de ensaio de módulos fotovoltaicos. 2002. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

Acessado em:15/12/2022

RUTHER, R. Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas a rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis, SC: Labsolar, 2004.

Acessado em:14/12/2022

SILVA, R. M. P.; Células Solares Orgânicas baseadas em MEH-PPV. Portugal, 2009. 57 p. Dissertação de Mestrado - Engenharia Física - Universidade de Aveiro

Acessado em:15/12/2022

SOLAR, B. S. E. Efeito Fotoelétrico e Efeito Fotovoltaico: Entenda Qual É Geração de Energia Elétrica. Disponível em:

<<https://blog.bluesol.com.br/efeito-fotoeletrico-fotovoltaico/>>.

Acessado em:15/12/2022

STEIGLEDER, Marco Antônio. Comparação do desempenho de duas bombas acopladas diretamente a geradores fotovoltaicos. 2006. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Programa Pós

Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

Acessado em:15/12/2022

STULZER, H.K.; TAGLIARI, M.P.; PARIZE, A.L.; SILVA, M.A.S.; LARANJEIRA, M.C.M.; Evaluation of cross-linked chitosan.

Acessado em:16/12/2022

THEVARAJAH, J. J. et al. Determination of the distributions of degrees of acetylation of chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 95, p. 40–48, 2017.

Acessado em:16/12/2022

TREZONA, R. I.; ALLSOPP, D. N.; HUTCHINGS, I. M. Transitions between two-body and threebody abrasive wear: influence of test conditions in the microscale abrasive wear test. [S.l.]: *Wear*, v. 225–229, 1999. 205–214 p

Acessado em:16/12/2022

VILLALVA, Marcelo Gradella. *Energia Solar Fotovoltaica*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2017

VERA, Luis Horacio. *Análise do impacto do comportamento de baterias em sistemas fotovoltaicos autônomos*. 2009. 269 f. Tese (Doutorado) - Programa Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009

Acessado em:16/12/2022.

XAVIER, C. S., BENIGNO, B.,F.. *Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna*. 1ed.- São Paulo: FDT, 2010.

Acessado em:16/12/2022

ZUM GAHR, K.-H. *Microstructure and wear of materials*. [S.l.]: *Tribology series*, v. 10, 1987

Acessado em:16/12/2022