



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**



TIAGO OLIVEIRA DE BELMONT FONSECA

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DEPOSIÇÃO E DOS TRATAMENTOS
SUPERFICIAIS DOS SUBSTRATOS NAS PROPRIEDADES ÓPTICAS E NA
MORFOLOGIA DE FILMES ABSORVEDORES À BASE DE CROMO**

João Pessoa - PB
2020

Tiago Oliveira de Belmont Fonseca

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DEPOSIÇÃO E DOS TRATAMENTOS
SUPERFICIAIS DOS SUBSTRATOS NAS PROPRIEDADES ÓPTICAS E NA
MORFOLOGIA DE FILMES ABSORVEDORES À BASE DE CROMO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em energias renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

Linha de pesquisa: Meio Ambiente, Economia e Aproveitamento Energético.

Orientadora: Prof^a. Dra. Kelly Cristiane Gomes

Catálogo na publicação
Seção de Catálogo e Classificação

F676a Fonsêca, Tiago Oliveira de Belmont.

Avaliação dos parâmetros de deposição e dos tratamentos superficiais dos substratos nas propriedades ópticas e na morfologia de filmes absorvedores à base de cromo / Tiago Oliveira de Belmont Fonsêca. - João Pessoa, 2020.
53 f. : il.

Orientação: Kelly Cristiane Gomes.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CEAR.

1. Energias renováveis. 2. Coletores solares. 3. Cromo.
4. Eletrodeposição. 5. Superfícies seletivas absorvedoras. 6. Energia solar. I. Gomes, Kelly Cristiane. II. Título.

UFPB/BC

CDU 620.91(043)

TIAGO OLIVEIRA DE BELMONT FONSECA

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DEPOSIÇÃO E DOS TRATAMENTOS
SUPERFICIAIS DOS SUBSTRATOS NAS PROPRIEDADES ÓPTICAS E NA MORFOLOGIA
DE FILMES ABSORVEDORES À BASE DE CROMO**

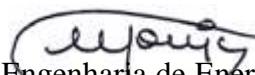
Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em energias renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

Banca Examinadora:

Prof. 1 – Dra. Kelly Cristiane Gomes: Departamento de Engenharia de Energias Renováveis (UFPB) – Orientador



Prof. 2 – Dra. Monica Carvalho: Departamento de Engenharia de Energias Renováveis (UFPB) – Examinador Interno



Prof. 3 – Dr. José Felix da Silva Neto: Departamento de Engenharia de Energias Renováveis (UFPB) – Examinador Externo



Orientadora

Dra. Kelly Cristiane Gomes

João Pessoa - PB

2020

Dedico este trabalho aos meus Pais e irmãos por me apoiarem em todas as fases de minha vida. Ao meu Filho Murilo Belmont, e a minha esposa Rousier dos Santos Paulino por me proporcionarem os mais belos sorrisos que já vi. A minha orientadora Kelly Gomes, por seu empenho para a realização deste trabalho e sonho, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me ajudar nos momentos mais difíceis, me proporcionando saúde, paz e motivação para continuar a lutar por um amanhã cada vez melhor.

Aos meus Pais, Celso Petrônio e Júlia Alice, por ter me proporcionado, a medida do possível, força e oportunidade para alcançar os meus objetivos nos momentos mais necessários.

Ao meu filho, Murilo Belmont, por me ajudar a ser um ser humano cada vez melhor, e me proporcionar momentos ímpares de felicidade.

À minha esposa, Rousier dos Santos, por ser uma pessoa maravilhosa, que me trouxe mais motivação para alcançar sonhos.

À professora, orientadora Kelly Gomes, pela confiança, dedicação e ensinamentos na construção desse trabalho e na realização de um sonho.

Aos meus amigos Alex, Arthuro, Edson, Ingride, Daniel, Malu, Tiago, Paulo, Nyara, Isaac, Walber, Rennêr, Habila, Laura, Olinto, por serem pessoas inteligentes, dedicadas, comprometidas com seus propósitos. Obrigado a todos.

Aos professores Marçal Rosas, Márcio Rodrigo, Riuzuani Bezerra, Pollyana Fernandes, Kelly Gomes e Monica Carvalho, que com seus ensinamentos contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos demais familiares e amigos, obrigado pelo companheirismo. Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, sou grato.

RESUMO

Na atualidade, a utilização de fontes renováveis tornou-se um fator indispensável para o uso de energias necessárias para superar a demanda energética da sociedade moderna. Dessa maneira, surge o desenvolvimento de uma consciência ambiental na sociedade criando uma necessidade por produtos amigáveis ao meio ambiente, com menor impacto ambiental associado aos grandes avanços e desenvolvimentos tecnológicos. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo a produção de filmes absorvedores a base de cromo, em que foram avaliados tanto o tratamento superficial do substrato de aço inoxidável AISI 304 (limpeza por hexano e tratamento mecânico), quanto a utilização de dois tipos de banhos eletrolíticos (B1 e B2) e variações no tempo de eletrodeposição (60, 120 e 300 s). Estes parâmetros foram utilizados com o objetivo de avaliar sua influência tanto no percentual de absorção dos filmes, quanto da morfologia obtida. Os filmes produzidos foram caracterizados pelas técnicas de Espectroscopia no UV-Vis-NIR e de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e Perfilometria Óptica. Pelos resultados obtidos, observou-se que o tempo de deposição e o tipo de banho eletrolítico apresentou grande influência nos percentuais de absorbância dos filmes produzidos, onde tempos de deposição de 120 s são mais viáveis em termos de economia e absorção, bem como os filmes obtidos com o banho tipo 2 (B2) apresentou os melhores resultados com percentuais na ordem de 97% de absorção.

Palavras Chaves: Superfícies seletivas absorvedoras, Coletores Solares, Cromo negro, Eletrodeposição.

ABSTRACT

At present, the use of renewable sources has become an indispensable factor for the use of energy necessary to overcome the energy demand of modern society. In this way, there is the development of an environmental awareness in society creating a need for friendly products, with less environmental impact associated with major technological advances and developments. In this sense, the present work aimed produced chromium-based absorber films, in which the superficial treatment of the AISI 304 stainless steel substrate (cleaning by hexane and mechanical treatment), as well the use of two types of electrolytic baths (B1 and B2) and variations in the electrodeposition time (60, 120 and 300 s). These parameters were used in order to evaluate their influence on the absorption percentage of the films, as in the morphology obtained. The films produced were characterized by Spectroscopy UV-Vis-NIR, FTIR and Optical Profilometry. By the results obtained, it was observed that the deposition time and the type of electrolyte bath great influence on the absorbance percentages of the films produced, where deposition times of 120 s are more viable in terms of economy and absorption, as well as the films requested with type 2 bath (B2) presented the best results with absorption percentages of 97%.

Keywords: selective absorbing surfaces, solar collectors, black chrome, electrodeposition.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	17
APRESENTAÇÃO	13
1.1 INTRODUÇÃO	13
1.2 OBJETIVO GERAL.....	16
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
CAPÍTULO II	17
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 SUSTENTABILIDADE	17
2.2 CRISE AMBIENTAL E A PRODUÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL	17
2.3 ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	19
2.4 TIPOS DE SUPERFÍCIES SELETIVAS ABSORVEDORAS	24
2.4.1 Absorvedores com Seletividade Intrínseca	25
2.4.2 Revestimento Absorvedor-Refletor Acoplados	25
2.4.3 Revestimento de Multicamadas Empilhadas	26
2.4.4 Armadilhas Ópticas (superfícies texturizadas)	27
2.4.5 Revestimento de Materiais Compósitos (Cermet).....	28
2.5 TÉCNICAS DE OBTENÇÃO DE FILMES ABSORVEDORES SELETIVOS	28
2.5.1 Sol-gel.....	29
2.5.2 Sputtering	31
2.5.3 Deposição Eletroquímica	33
CAPÍTULO III	35
MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 INTRODUÇÃO	36
3.2 PREPARO DOS SUBSTRATOS	36
3.3 PREPARO DOS BANHOS ELETROLÍTICOS	36
3.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DEPOSIÇÃO	37
3.5 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO.....	38
3.5.1 Espectrofotometria UV-VIS-NIR	39
3.5.2 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier – FTIR	39
3.5.3 Perfilometria óptica	40
CAPÍTULO IV	35
RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 ESPECTROFOTOMETRIA UV-Vis-NIR.....	41
4.2 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO MÉDIO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)	413
4.3 PERFILOMETRIA ÓPTICA	414

CAPITULO V.....	47
CONCLUSÃO	47
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

FIGURAS

Figura 1:Estágios de desenvolvimento e consumo de energia.	13
Figura 2: Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.....	18
Figura 3: Variação do consumo de energia por setor econômico	19
Figura 4: Sistema Solar Fotovoltaico.....	22
Figura 5: Sistema solar ativo.....	22
Figura 6: Tipos de coletores solares	23
Figura 7: Desempenho de uma superfície seletiva ideal.....	24
Figura 8:Camadas empilhadas no substrato de Aço.....	27
Figura 9: Perfil de uma superfície texturizada.	28
Figura 10: Etapas do processo sol-gel de deposição de filmes finos.....	30
Figura 11: Fases do “spin-coating” para obtenção de filmes.....	31
Figura 12: Sistema de Sputtering.....	32
Figura 13: Princípio da Eletrodeposição.....	34
Figura 14: Representação do planejamento experimental proposto durante o desenvolvimento dessa pesquisa.	35
Figura 15: Esquema físico do processo de eletrodeposição.	37
Figura 16: Metodologia da construção de batente.	38
Figura 17: Espectro da absortância dos filmes produzidos e sua influência com o tipo de Banho Eletrolítico.	41
Figura 18: Percentual de absortância dos filmes produzidos e sua influência com o tipo de Banho Eletrolítico x Tempo de deposição dos filmes.	41
Figura 19: Média de absortância e desvio padrão dos revestimentos produzidos.	42
Figura 20: Espectros de Infravermelho dos revestimentos obtidos com o banho B1.	43
Figura 21: Espectros de Infravermelho dos revestimentos obtidos com o banho B2.	43
Figura 22: Microestrutura dos filmes absorvedores.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo entre as principais características das fontes de energias renováveis e não renováveis.....	14
Tabela 2: Técnicas de produção de SSS. Adaptado de Kennedy (2002).	16
Tabela 3: Nomenclatura adotada na pesquisa.	37
Tabela 4: Relação entre os parâmetros de Rugosidade, as espessuras dos filmes e os valores de percentuais de absorvância com desvio padrão observados.	44

CAPÍTULO I

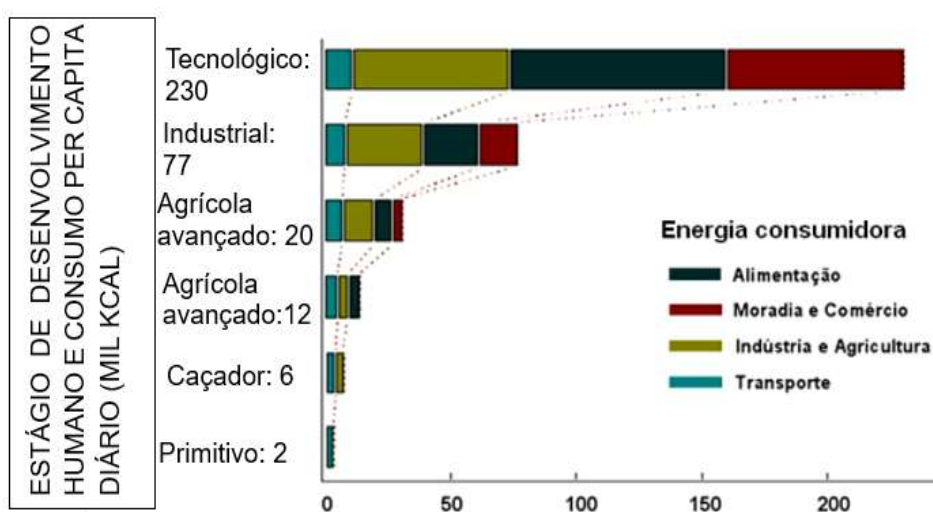
APRESENTAÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

O uso de energia durante toda a história da humanidade é parte determinante no desenvolvimento socioeconômico das populações. A ascensão da demanda energética no país eleva as fontes renováveis a um papel de necessidade para o suprimento de energia.

Nesse contexto, a elevada exigência para o desenvolvimento e satisfação das necessidades diárias da vida moderna, nos remete a um significativo aumento nos gastos energéticos. Na Figura 1 são mostrados os estágios de desenvolvimento humano por energia consumida desde o homem primitivo até o homem tecnológico (COOK, 1976).

Figura 1: Estágios de desenvolvimento e consumo de energia.



Fonte: Goldemberg (2012).

Destaca-se que as fontes geradoras de energia possuem função fundamental no desenvolvimento do processo evolutivo e podem ser qualificadas em renováveis e não renováveis, levando-se em consideração as características de cada uma. A primeira é alcançada através do fluxo natural de energia contínua que através de equipamentos permite a captação do fluxo energético. A segunda caracterizada por fontes não renováveis são adquiridas por meio de

reservas subterrâneos, sendo liberadas através da interação humana (TWIDELL; WEIR, 2015).

As fontes não renováveis como petróleo, carvão e gás natural, apesar de serem eficientes impulsionadores do progresso econômico, causam danos irreversíveis ao meio ambiente e à saúde humana por emitirem gases de efeito estufa (GEE) e resíduos poluentes, além de serem reservas finitas. Portanto, a redução de sua exploração tem sido incentivada. Além disto, sua diminuição torna-se a origem de um dos principais objetivos de redução da emissão de GEE definidos no Protocolo de Kyoto (HERZOG et al., 2001).

As fontes renováveis como hidrelétrica, marés, geotérmica, biomassa, solar e eólica, são consideradas reservas infinitas com elevado potencial para auxiliar no suprimento da demanda energética proporcionada pelo grau de desenvolvimento atual do homem tecnológico (PEREIRA, 2019).

A Tabela 1 apresenta as principais características das fontes de energias renováveis e não renováveis.

Tabela 1: Comparativo entre as principais características das fontes de energias renováveis e não renováveis.

	Fontes renováveis	Fontes não renováveis
Recurso	Solar, eólica, hidrelétrica, biomassa, marés, geotérmica	Petróleo, carvão, gás natural
Origem	Ambiente local natural	Estoques concentrados
Vida útil	Infinita	Final
Custo da fonte	Livre	Em aumento constante
Custo de equipamento por capacidade em KW	Alto	Moderado
Contexto	Bem adaptável a zonas rurais e indústrias descentralizadas	Escala favorece centros urbanos e indústrias centralizadas
Poluição e danos	Pouco dano ambiental	Poluição ambiental

Pela Tabela 01 é possível observar que as fontes de energia não renováveis apresentam algumas desvantagens se comparadas às fontes de energias renováveis, principalmente relacionadas a custos e a elevada formação de poluentes atmosféricos.

Nesse sentido, a diversificação da matriz energética se torna cada vez mais essencial para o desenvolvimento sustentável e o suprimento da demanda energética da população.

Dentre as diversas fontes renováveis, destaca-se a energia solar que pode ser aproveitada através da conversão solar elétrica ou da conversão solar térmica. No tocante a conversão solar térmica, o principal equipamento utilizado, são os trocadores de calor, comumente chamado de coletor solar, que pode ser do tipo concentrador ou do tipo não concentrador (KENNEDY, 2002). Contudo, estes equipamentos, independentemente do tipo, apresentam limitações, em especial no tocante a sua à estabilidade em temperaturas de trabalho elevadas.

Para otimizar a eficiência destes coletores são aplicados revestimentos absorvedores com propriedades seletivas para auxiliar na elevação da absorção da radiação solar e minimizar as perdas térmicas na região do infravermelho, sendo estes revestimentos denominados de Superfície Seletiva Solar – SSS (GOMES, 2001; FONSECA et al., 2019)

Para o desenvolvimento das SSS, pode-se empregar uma variedade de técnicas para a obtenção dos revestimentos, tais como: Magnetron Sputtering, Deposição química por vapor, Evaporação pirolise, Eletrodeposição, entre outros (KENNEDY, 2002; MEDEIROS et al., 2019).

Com a característica de versatilidade, baixo custo e obtenção de grandes áreas de deposição simultânea, a Eletrodeposição é uma das técnicas com maior emprego para a obtenção das SSS (WINDOW; RITCHIE; CATHRO, 1978; AGUILAR et al., 2003; DARYABEGY e MAHMOODPOOR, 2006; MEDEIROS et al., 2019).

Além das vantagens elencadas, a eletrodeposição é um processo de deposição eletroquímica que consiste em uma técnica direcionada a formação de revestimentos metálicos com elevada aderência e propriedades físico-químicas de grande interesse a seletividade solar (PECEQUILO; PANOSSIAN, 2010).

Destaca-se que o desempenho das SSS obtidas via eletrodeposição podem ser afetados por vários parâmetros, tais como: tipo de limpeza do substrato, tempo de eletrodeposição, rugosidade dos substratos, o tipo de banho eletrolítico utilizado, entre outros (AGUILAR et al., 2003; JAFARI; ROZATI, 2011; CAO et al., 2015; GOMES et al., 2017).

A Tabela 2, apresenta algumas SSS disponíveis no mercado, suas propriedades ópticas e seu processo de fabricação.

Tabela 2: Técnicas de produção de SSS. Adaptado de Kennedy (2002).

Material	Substrato	Processo de fabricação	Absortância (%)	Emitância a 100°C (%)
Cr-SiO ₂	Cu Al	DC Sputtering	90-96	3-14
NiCrO _x	Aço	Sputtering	80	14
CuFeMnO ₄ SiO ₂	Vidro Si	Eletrodeposição	60	29-39
Cromo Negro	Cu Aço	DC Sputtering	97	9
Cr, Fe, Mo, SS, Ta, Ti, W	Cu	DC Sputtering	84-90	3,5-6
Ge	Cu	Pintura	91	7
Si	Aço	Pintura	83	7

Desta forma, neste trabalho serão avaliados alguns parâmetros que influenciam a eficiência dos revestimentos absorvedores solares a base de cromo e obtidos pela técnica de eletrodeposição, correlacionando-os com a absorvidade e morfologia dos filmes obtidos.

1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho se propõe a avaliar os parâmetros de deposição e os tratamentos superficiais dos substratos e sua influência na absorvidade e na sua morfologia de revestimentos solares a base de cromo.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Produzir filmes absorvedores a base de cromo;
- ✓ Avaliar a influência do tempo de deposição e do tipo de banho eletrolítico nos percentuais de absorção de filmes a base de cromo;
- ✓ Estudar o efeito do tempo de deposição e do tipo de banho eletrolítico na morfologia dos filmes obtidos;
- ✓ Estudar o efeito do tipo de tratamento superficial dos substratos nos percentuais de absorção de filmes a base de cromo;
- ✓ Avaliar a influência do tipo de tratamento superficial dos substratos na morfologia dos filmes obtidos.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SUSTENTABILIDADE

O conceito de sustentabilidade em seu mais amplo desenvolvimento surgiu em 1987, onde permite o suprimento das necessidades dos presentes sem comprometer as gerações futuras. No entanto, esta concepção ao longo dos anos vem evoluindo e transformando não somente os modos e costumes das populações, mas todos os recursos necessários para o desenvolvimento das atividades humanas (FIGUEREDO, 2017).

A segurança da sustentabilidade em qualquer área está inserida no equilíbrio entre as dimensões econômicas, sociais e ambientais. Dessa forma, se permite buscar o lucro que satisfaça os interesses de todos durante o transcorrer do processo. Os empresários devem recuperar seus investimentos, e a população periférica deve usufruir dos benefícios da atividade empregada, e tudo isso, não deve prejudicar o meio ambiente, do qual todos necessitam para sobreviver (FIGUEREDO, 2017).

Portanto, a sustentabilidade é um consenso que implica em produzir bens com o menor prejuízo ambiental, de forma a preservar o meio ambiente, garantindo, assim, um planeta saudável para as próximas gerações.

Nesse sentido, a busca por fontes renováveis de energia e equipamentos derivados para sua utilização, foco de extremo interesse e alta demanda pela sociedade moderna, se faz imprescindível.

2.2 CRISE AMBIENTAL E A PRODUÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL

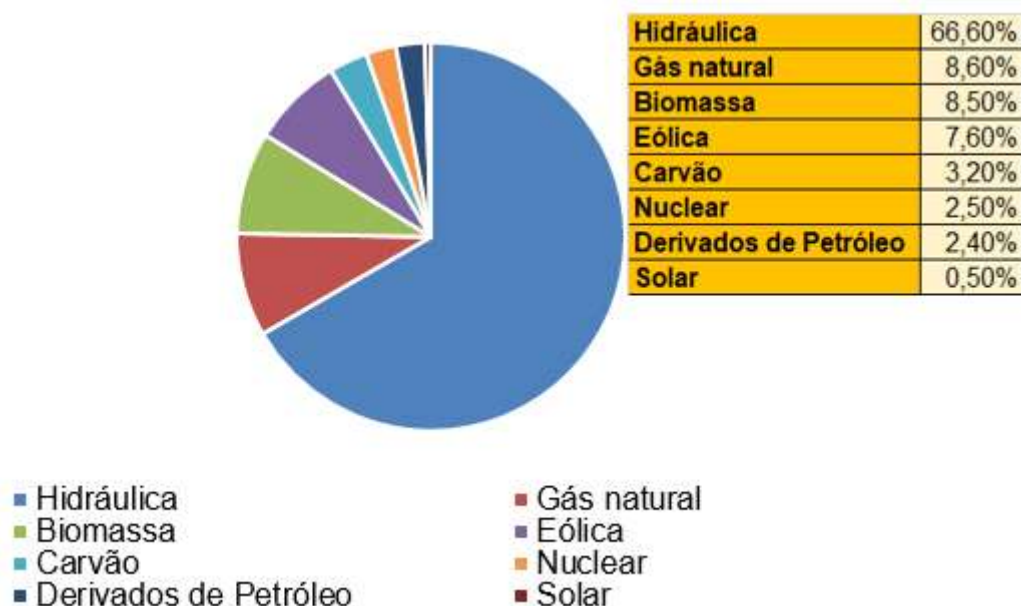
Na atual situação climática mundial existe uma grave crise ambiental que se propaga a cada dia entre as instituições governamentais. Isto é decorrente das grandes emissões de gases poluentes na atmosfera acarretando desequilíbrios ao meio ambiente, intensificando o efeito estufa e, por conseguinte, causando o aquecimento global. Assim sendo, as energias

renováveis surgiram como uma forte alternativa para auxiliar na redução da liberação destes agentes poluidores ao meio (MEDEIROS, 2019).

No contexto brasileiro, segundo dados preliminares do Balanço Energético Nacional (BEN, 2019), cerca de 45,3% da matriz energética do Brasil é renovável (resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações), frente aos 54,7% correspondentes à produção energética não renovável geradas no país.

No Brasil, aproximadamente, 67% do total de energia elétrica gerada são oriundas de fontes hidráulicas, que apesar de serem fontes renováveis de energia, acarretam significativos impactos ambientais, como alagamento de grandes áreas, perda de biodiversidade local e migração de comunidades circunvizinhas (BEN, 2019). Na Figura 2, está representada a oferta interna de eletricidade no Brasil em 2019 com ano base 2018.

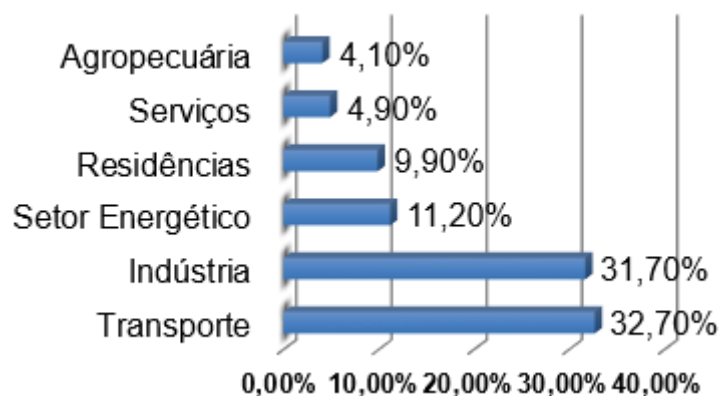
Figura 2: Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte.



Fonte: BEN (2018).

Devido à grande demanda nacional, associada a busca por fontes menos agressivas ao meio ambiente e ao empenho do mercado em buscar suprir suas demandas energéticas sem entrar em colapso, espera-se nos próximos anos um aumento da diversificação da geração de energias limpas. Pela Figura 3, pode-se observar a variação do consumo de energia por setor econômico.

Figura 3: Variação do consumo de energia por setor econômico



Fonte: BEN (2018).

Segundo dados do BEN (2019), o setor que mais se destacou no consumo energético nacional no ano de 2019 foi o setor de transporte com 33%, aproximadamente, seguido da indústria com 32%.

Analisando detalhadamente a variação de consumo de energia por setor da economia e fazendo um comparativo do acumulado tendo como base os anos de 2017/2018, obteve-se uma queda no consumo de simultaneamente de 0,8% e 4,8%, com uma leve demanda de consumo para o setor residencial e agropecuário que representaram respectivamente 0,9% e 0,1% do total consumido no país.

Devido à diversidade da matriz, da sua localização geográfica e extensão territorial e dos fatores climáticos, a produção do setor energético no Brasil possui uma boa vantagem em comparação aos outros países (GOLDEMBERG, 2012; DIAS et al., 2017).

Dessa forma, o desenvolvimento de tecnologias que produzam energia a partir de fontes alternativas é fundamental para a ampliação da contribuição das energias renováveis na matriz energética brasileira.

2.3 ENERGIAS RENOVÁVEIS

Recentemente, as energias renováveis vêm ganhando espaço no setor energético pela sua diversidade e capacidade de geração de eletricidade sem agredir ao meio ambiente, além de proporcionar benefícios devido a sua forma cíclica encontrada na natureza.

Outro fator de relevância é a possibilidade de emprego amplo dessa fonte de energia, tornando-se imprescindível sua admissão na matriz energética do planeta pela sua diversidade, benesses e sustentabilidade no setor (COSTA; PRATES, 2005).

Destaca-se, ainda, que as fontes não renováveis de energias são baseadas em combustíveis fósseis e recursos minerais que se exaurem com o uso contínuo e descontrolado, além de serem causadores de inúmeros danos ambientais ocasionados pela sua utilização sem restrição de consumo (BORGES NETO; CARVALHO, 2012; FIGUEREDO, 2017).

Nesse sentido, a substituição dos combustíveis fósseis por fontes renováveis se faz necessária, pois favorece a redução da emissão dos gases do efeito estufa e auxiliam na melhoria da qualidade de vida (BORGES NETO; CARVALHO, 2012). Dessa forma, associado ao provável esgotamento das reservas mundiais de petróleo, a alteração da matriz energética em grande escala representa um grande desafio mundial para as gerações futuras.

Nesse contexto, pode-se esperar que as economias internacionais assumam compromissos essenciais a fim de fortalecer e propagar a matriz energética em todo o planeta, de forma limpa e sustentável, visto que estima-se que a população mundial se aproximará de 9 bilhões em 2040, e dessa maneira será necessário aumentar a produção energética próximo a 35% na oferta total de energia produzida. Logo, a diversificação de recursos energéticos e as inovações tecnológicas permitirão uma matriz energética mais eficiente, confiável e sustentável para o meio ambiente (IEA, 2015; PEDROSO et al., 2018).

Diante do exposto, justifica-se que a produção de energia renovável venha ganhando destaque, sobretudo quando avaliado a capacidade instalada em Giga Watts (GW), bem como quando analisado a capacidade de geração em Tera Watts/hora (TWh) (ALBUQUERQUE; MALDONADO, 2017). Além disso, entre os anos de 2005 a 2015, o crescimento em escala mundial em capacidade instalada anual de energia fotovoltaica (uma das fontes renováveis de energia) foi de 45,31%, e para capacidade de geração foi de 58,51% (SPE, 2016).

Comparada aos métodos mais tradicionais de geração de eletricidade, tais como a energia nuclear e aos combustíveis fósseis, a energia solar vem se mostrando menos hostil ao meio ambiente. Dentre os tipos de aproveitamento

de energia solar, pode-se destacar as formas ativas, passivas ou fotovoltaicas. A primeira está relacionada a coletores solares com o objetivo de absorver a energia solar e conduzir o calor; o segundo é um sistema passivo sem gasto de energia, associado com o ambiente instalado; e o terceiro denominado de fotovoltaico tende a absorver a energia solar e a converter em eletricidade (HODGE, 2011).

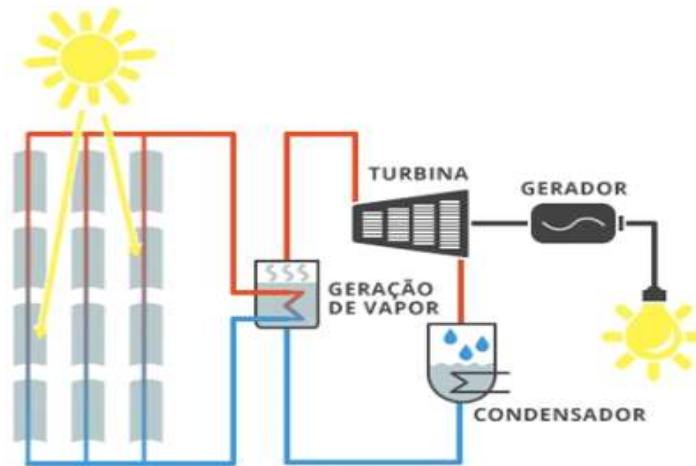
Para sistemas que absorvem calor e o convertam em energia, se faz necessário o desenvolvimento de novas tecnologias que permitam o máximo aproveitamento da irradiação solar. Para tanto, são utilizados sistemas denominados de trocadores de calor, também denominados de coletores solares, que convertem a irradiação solar em calor promovendo o aquecimento de um fluido, seja para uso industrial ou residencial (GOLDEMBERG, 2012).

Já para os sistemas baseados na produção de energia elétrica os equipamentos utilizados na sua conversão utilizam uma central geradora, onde o fluido aquecido origina vapor, que movimenta turbinas associadas a geradores elétricos (VILLALVA, 2015).

No tocante aos trocadores de calor, os mais difundidos são os de placas planas. Entretanto, esse tipo de sistema tem sua eficiência comprometida, pois além de não acompanharem a direção solar e serem mais sensíveis a passagens de nuvens, também apresentam o fenômeno da emissão, ou seja, apresentam mais perdas térmicas, em especial para os coletores que operam em médias (100°C a 400°C) e altas (acima de 400°C) temperaturas (BERMANN, 2007).

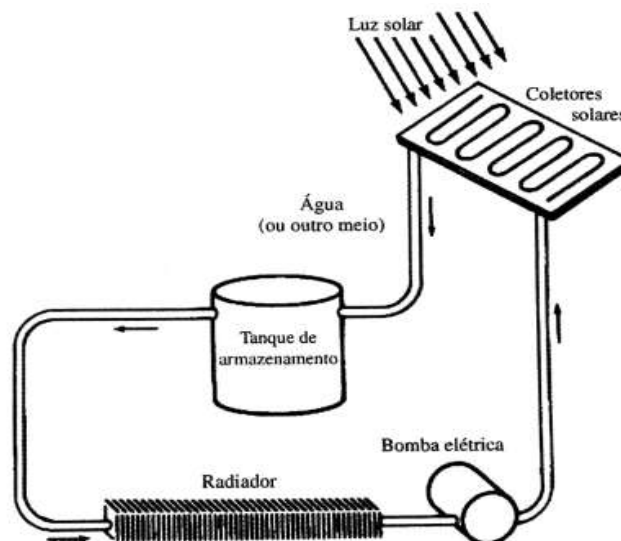
Nas Figuras 4 e 5, pode-se observar de maneira sucinta o funcionamento de um sistema fotovoltaico e de um sistema ativo na qual se produz energia através da captação do calor do sol proporcionado pelos coletores solares.

Figura 4: Sistema Solar Fotovoltaico



Fonte: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (2018).

Figura 5: Sistema solar ativo.



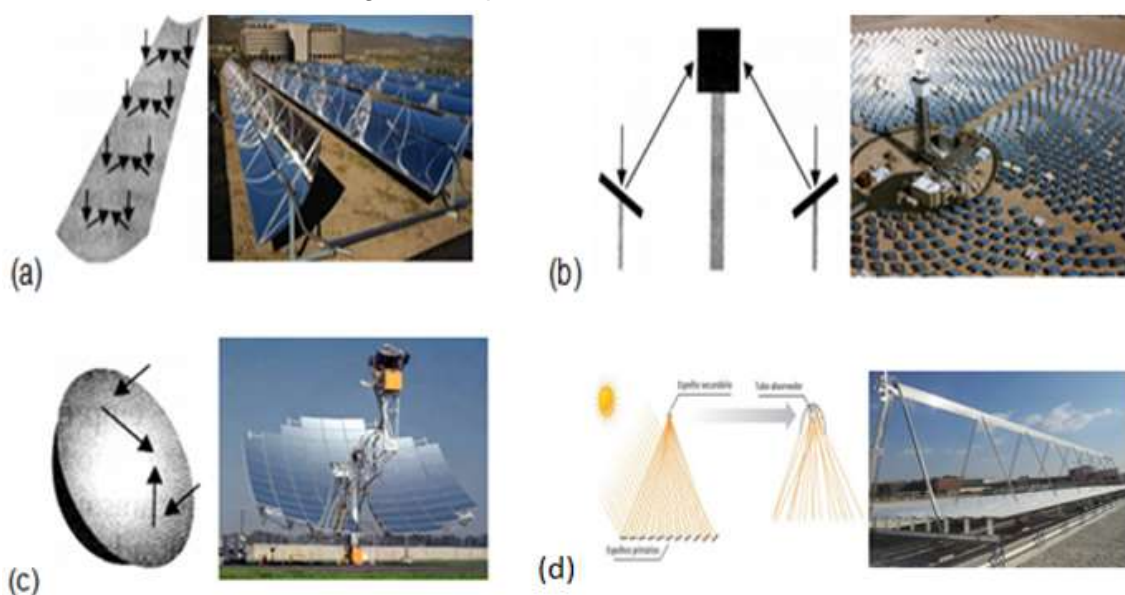
Fonte: Adaptado de Goldemberg (2012).

Observa-se, na Figura 4, que a incidência da energia solar sobre o painel gera um aquecimento do fluido presente nos coletores, que permite a passagem desse calor através da formação de vapores, movimentando a turbina que por consequência gera eletricidade.

Destaca-se na figura 5, a utilização de bomba elétrica que auxilia na movimentação da água, aquecida através dos coletores e sua consequente geração de energia elétrica, sendo esse o modelo mais empregado em climas de baixas temperaturas.

No tocante as usinas solares térmicas existe uma grande variedade de modelos, sendo possível descrever seu funcionamento de acordo com sua temperatura de operação (MALAGUETA, 2012; VILLALVA, 2015). Assim, pode-se representar os principais tipos de equipamentos utilizados na produção de energia, apresentados na Figuras 6.

Figura 6: Tipos de coletores solares



- a) Coletor parabólico; b) Espelho plano com Torre central; c) Disco Parabólico; d) Coletor Fresnel. Fonte: Malagueta (2012); Villalva (2015); Cresesb (2018).

Pela Figura 6a, pode-se observar que o coletor parabólico concentra os raios solares e direciona-os para a tubulação que possui temperaturas de trabalho na ordem de 100°C a 400°C. Já o sistema apresentado na Figura 6b concentra a energia captada em uma cápsula alocada no alto de uma torre, enquanto o apresentado na Figura 6c é baseado em espelho parabólico que concentra os raios em um único ponto. Ambos, (b) e (c) operam a uma temperatura superior aos 400°C.

Para o coletor apresentado na Figura 6d, a temperatura de funcionamento varia entre 120°C e 380°C com potências térmicas entre 500 kW e 10 MW, apresentando um funcionamento próximo do coletor parabólico (VILLALVA, 2015).

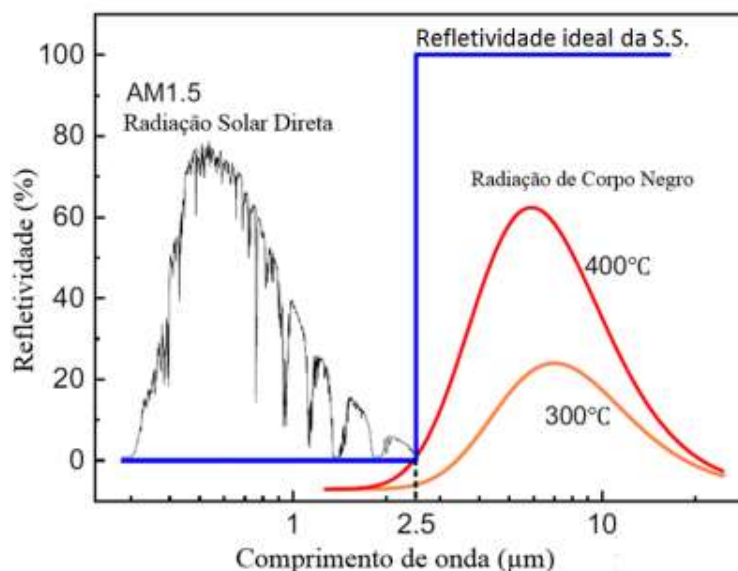
Em suma, estes sistemas apresentam maneiras eficientes de geração de calor por via natural sem a utilização de combustíveis que degradam cada vez mais o meio ambiente.

2.4 TIPOS DE SUPERFÍCIES SELETIVAS ABSORVEDORAS

Independentemente do tipo de coletor utilizado, todos apresentam perdas térmicas na região do infravermelho, em especial aqueles que trabalham em temperaturas acima de 100 °C. Para otimizar a eficiência destes coletores alguns autores (TABOR, 1961; SHAFFER, 1958; KOKOROPOULOS; SALAM; DANIELS, 1959) propuseram a utilização de revestimentos que possuíssem propriedades seletivas que permitissem uma alta absorção da radiação solar (0,3 μm - 2,5 μm) e minimizassem as perdas térmicas na faixa espectral do infravermelho (> 2,5 μm), ou seja, apresentassem baixa emissividade (KARLSSON et al., 1982; BRUNOLD et al., 2000; GOMES, 2001; SILVA NETO, 2017; FONSECA et al., 2019). Estes revestimentos foram também denominados de Superfície Seletiva Solar – SSS

As SSS apresentam uma importância relevante na seletividade óptica, consistindo para a melhor eficiência da absorção de toda a radiação incidente (SILVA NETO, 2017). Na figura 7 apresenta-se um comportamento ideal para as superfícies seletivas.

Figura 7: Desempenho de uma superfície seletiva ideal.



Fonte: Adaptado de Lu et al. (2019).

De acordo com alguns autores (FANTINI, 1980; GALLO, 1985; GOMES, 2001; MARTINS, 2010) as superfícies seletivas podem ser classificadas pela sua diversidade de características que consiste na forma química e morfológica,

estando listadas como: absorvedor intrínseco, absorvedor-refletor acoplados, multicamadas empilhadas, sistemas de armadilhas ópticas e filmes de materiais compósitos, também denominados de Cermet.

Contudo, destaca-se que existe dois fatores preponderantes para o revestimento ser eficaz na absorção da energia, sendo: a geometria e a espessura do material. Existindo diferenças entre esses parâmetros, ocorrerá à reflexão parcial e à mudança de fase da radiação incidente nas interfaces entre os meios de propagação (KARLSSON et al.,1982; HEAVENS, 1991; SILVA NETO, 2017).

2.4.1 Absorvedores com Seletividade Intrínseca

Os absorvedores intrínsecos apresentam uma geometria e composição que facilita a absorção da radiação solar para comprimentos de onda menores que 2500 nm, visto que possibilita excitar os elétrons presentes no material, resultando na absorção desta radiação. No entanto, não existe na natureza um material que apresente estas características com elevada seletividade.

Nesse sentido, a adição de elementos químicos (W, Si dopado com B, CaF₂, HfC, ZrB₂, SnO₂, Ln₂O₃, V₂O₅ e LaB₆) diferentes da matriz dos revestimentos pode auxiliar no melhoramento do comportamento seletivo, permitindo que os materiais possam servir como um absorvedor intrínseco (KENNEDY, 2002; MEDEIROS, 2016).

2.4.2 Revestimento Absorvedor-Refletor Acoplados

Segundo Silva Neto (2017) para se produzir um sistema Absorvedor-Refletor é necessário unir dois tipos de materiais com características ópticas distintas, no intuito de se obter uma seletividade óptica almejada. Essa combinação permitiu auxiliar o revestimento da superfície do coletor solar, geralmente formada por um material metálico (cobre ou alumínio, por exemplo), de elevada absorvidade no espectro solar. Dessa forma, possibilita no revestimento uma melhoria no desempenho de absorção da radiação na faixa do espectro solar e ao mesmo tempo apresenta baixa emitância térmica em função do substrato refletor metálico.

Contudo, se faz necessário promover um segundo revestimento a fim de se evitar que a energia adicionada seja perdida através da radiação infravermelha, utilizando-se um material transparente que proporciona à faixa de radiação do espectro solar, mas refletor de radiação na faixa do infravermelho. Por conseguinte, toda a radiação emitida pelo material absorvedor, seria aprisionada, aumentando a eficiência da superfície seletiva (GOMES, 2001; SILVA NETO 2017).

2.4.3 Revestimento de Multicamadas Empilhadas

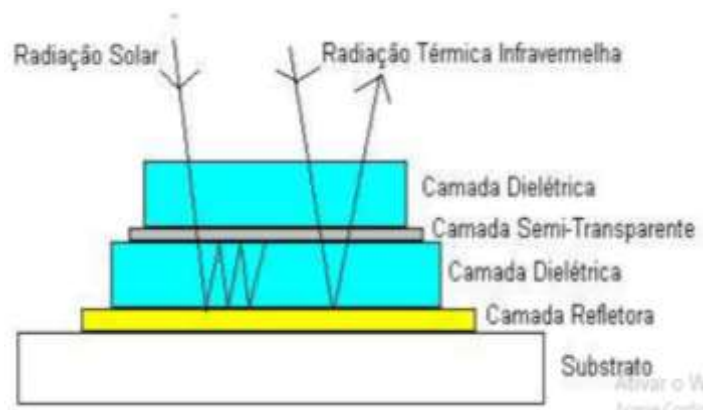
Para elevar a eficiência dos coletores solares, pode-se fazer uso dos revestimentos de multicamadas empilhadas, que consiste basicamente no uso de camadas alternadas de material dielétrico e metais semitransparentes.

De acordo com Vieira (2011), a adição de materiais sobre o substrato de forma alternada com isolantes elétricos e metais semitransparentes pode gerar um efeito seletivo, quando anexado entre materiais diferentes, com diferentes constantes ópticas. Esse efeito acarreta uma melhora na eficiência nas características do material seletivo, além de auxiliar na obtenção de superfícies seletivas cujas propriedades se devam, excepcionalmente, à interferência entre camadas.

Desta forma, os materiais dielétricos utilizados são projetados para absorver de forma eficiente a radiação no espectro do visível e os materiais metálicos são aplicados com o objetivo de refletir no infravermelho. Já os revestimentos antirreflexivos são aplicados na parte externa com o objetivo de melhorar a transmissão para as camadas absorventes (ATKINSON et al., 2015).

A Figura 8 apresenta um tipo de revestimento formado por múltiplas camadas, composto de camadas de material dielétrico, separadas por um filme semitransparente fino.

Figura 8: Camadas empilhadas no substrato de Aço



Fonte: Seraphin (1976)

Segundo Gomes (2001), as camadas formadas através das características gerais do empilhamento de interface demonstram na primeira trajetória do raio incidente a refletividade da camada de metal que possui uma maior refletância na faixa do infravermelho e uma menor refletividade na região visível. Já a adição de uma segunda camada de material dielétrico promove uma refletividade na região do visível menor. Ao agregar uma terceira camada de metal semitransparente (de espessura adequada) reduz-se a refletividade na região do visível. E por fim o acréscimo da quarta camada (material dielétrico) permite uma elevação na absorção na região visível e aumenta a região de alta absorvidade, funcionando como um atenuante da reflexão da superfície do revestimento (HEAVENS, 1991; KATS et al., 2013).

2.4.4 Armadilhas Ópticas (superfícies texturizadas)

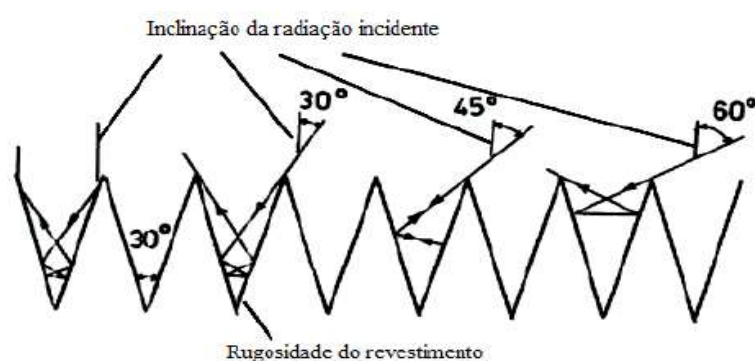
Ao propor uma modificação na estrutura morfológica do revestimento através de um tratamento na textura da superfície, promove-se o fenômeno da armadilha óptica, no qual as microcavidades existentes no plano auxiliam na absorção do comprimento de onda da radiação solar. A absorção, nesse caso, acontece devido às múltiplas reflexões da radiação interna à cavidade, promovendo-se assim, a retenção da radiação incidente sobre a superfície (GOMES, 2001; SILVA NETO 2017).

Nesse tipo de tratamento pode-se empregar diversas técnicas para o aperfeiçoamento na absorvidade solar através das técnicas:

- a. Ranhuras;
- b. Revestimento depositados em superfícies rugosas obtidas por processos mecânicos;
- c. Semicondutores evaporados em vácuo parcial;
- d. Rugosidade produzida por Sputtering;
- e. CVD (deposição química de vapor).

A Figura 9 retrata um esquema com um revestimento que apresenta microcavidades com múltiplas reflexões (armadilhas ópticas).

Figura 9: Perfil de uma superfície texturizada.



Fonte: Adaptado de Gomes, (2001).

2.4.5 Revestimento de Materiais Compósitos (Cermet)

O Revestimento tipo Cermet é constituído por um composto de fragmentos metálicos, envolvidos por um material dielétrico ou material cerâmico, que possui propriedades ópticas adequadas para ser utilizada em absorvedores solares. Os metais normalmente empregados nos revestimentos compósitos são do tipo: Ag, Cr, Cu, Mo e Ni, e para os materiais cerâmicos Al_2O_3 , SiO_2 e o NiO.

A principal vantagem para a utilização do revestimento tipo Cermet é sua estabilidade térmica em temperaturas elevadas, sendo de fundamental

importância para aplicações em coletores solares com concentração da radiação solar (MARTINS, 2010; SELVAKUMAR; BARSHILIA, 2012; MEDEIROS, 2016).

Segundo Gomes (2001) o revestimento Cermet apresenta uma absorção elevada na região do espectro solar (0,2 μm até 3,0 μm) e baixa emitância térmica do substrato. Isto ocorre devido as partículas metálicas presentes no revestimento, espalharem a luz através de múltiplas reflexões internas, possibilitando a radiação ser absorvida com maior eficiência.

2.5 TÉCNICAS DE OBTENÇÃO DE FILMES ABSORVEDORES SELETIVOS

2.5.1 Sol-gel

Consiste em um método alternativo para obter revestimentos ao usar uma única ou mais camadas com porosidade graduada, o que resulta em uma mudança através do filme minimizando assim perdas por reflexão. O gel seco e poroso resultante pode ser sintetizado a temperaturas relativamente baixas, entre 400°C e 1000°C para formar um sólido amorfo e denso (MEDEIROS, 2016).

Assim sendo, uma das principais áreas de aplicação da técnica de sol-gel está relacionada aos revestimentos, pois se mostra como um método prático para aplicação nos mais variados substratos de maneira mais econômica. Além disso, apresenta vantagens na capacidade de revestimentos em grandes áreas de substratos curvos, em revestimentos de alta homogeneidade e utilização em baixas temperaturas de aquecimento (UHLMANN et al., 1990)

Do ponto de vista químico, o processo sol-gel é fundamentado em reações de polimerização inorgânica. Com a utilização dos alcóxidos dissolvidos em solventes orgânicos e as soluções aquosas de sais inorgânicos. A utilização de precursores do tipo alcóxidos é a mais viável atualmente e pode ser descrita por três processos: a hidrólise, a condensação e a secagem como descritos por Melo (2001) e Medeiros (2016).

As técnicas de deposição mais utilizadas para obter camadas de filmes em substratos através do processo sol-gel são: “dip-coating” (molhamento) e “spin coating” (rotação).

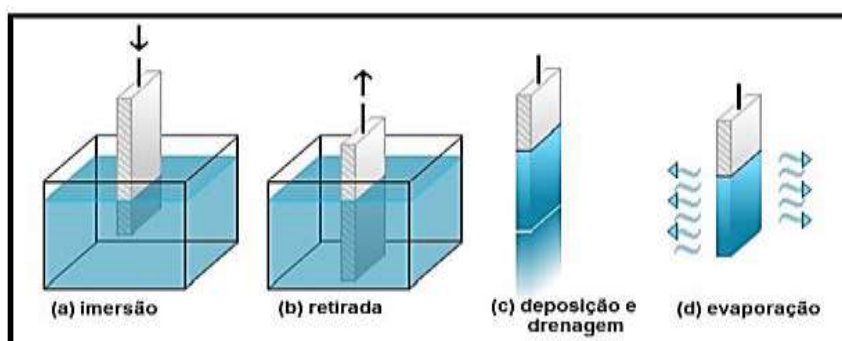
Processo dip-coating

O dip-coating é o método mais simples no preparo de filmes finos através de soluções químicas, sendo mais indicado para a produção em pequena escala. Em casos específicos de alta tecnologia, ele é usado para depositar revestimentos sobre grandes superfícies.

O processo funciona com uma imersão do substrato na solução inicial permitindo que ocorra uma evaporação e posterior densificação do revestimento final, que se espalha na superfície do substrato pelos efeitos combinados de arrasto viscoso e ascensão capilar. Contudo, é necessário que se promova um ajustamento da velocidade de retirada, assim como das condições de evaporação (temperatura e pressão de vapor relativa) e controle das características do filme (espessura e estrutura interna) (MEDEIROS, 2016).

As principais vantagens do processo, estão relacionadas a simplicidade, controle, confiabilidade, reprodutibilidade, baixo custo, além de permitir a deposição de mais de uma camada ou a deposição nos dois lados do substrato. Dessa forma, pode-se resumir todo o processo em: imersão, início da deposição, deposição e drenagem, drenagem e evaporação (BRINKER et al., 1991) como mostrado na Figura 10. O dip-coating é bastante utilizado na preparação de revestimentos nanoestruturados sendo aplicável para filmes bifuncionais ou multifuncionais.

Figura 10: Etapas do processo sol-gel de deposição de filmes finos.



Fonte: VIANA, 2011.

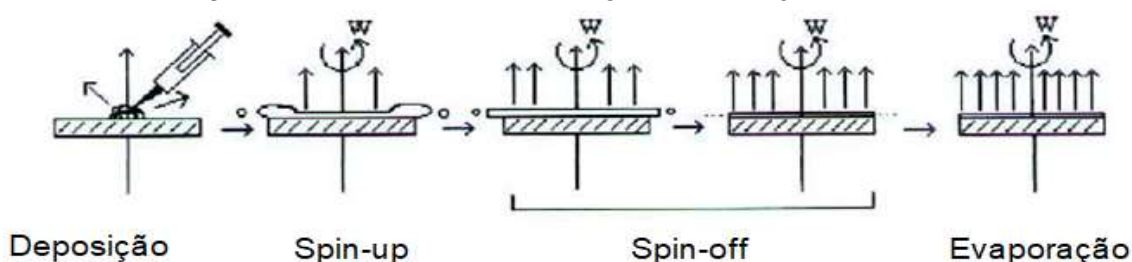
Essa técnica também foi empregada por Mahallawy, Shoeib e Ali (2014), em sua pesquisa para o desenvolvimento de revestimentos seletivos a base de

CuCoMnO_x em substratos de cobre, obtendo excelentes resultados em termos de absorção ($\alpha = 0,90$) e emissão ($\epsilon_{200^\circ\text{C}} = 0,011$).

Spin-coating

Segundo Medeiros (2016), a deposição do filme ocorre por espalhamento centrifugal do gel sobre o substrato. Para a obtenção do revestimento necessita-se de quatro fases: deposição, “spin-up”, “spin-off” e evaporação, como pode ser verificado na Figura 11.

Figura 11: Fases do “spin-coating” para obtenção de filmes.



Fonte: Avellaneda (1995).

Na fase de “spin-up” incide a rotação do substrato em elevada velocidade angular, com o intuito de promover o espalhamento do gel em excesso por toda a superfície. O “spin-off” demonstra as partículas de gel que flui para fora do substrato. Na fase de evaporação, o gel remanescente é reduzido ainda mais, uma vez que o solvente é evaporado, proporcionando a diminuição da espessura do filme depositado (AVELLANEDA, 1995, 1999; MELO, 2001; MEDEIROS, 2016).

2.5.2 Sputtering

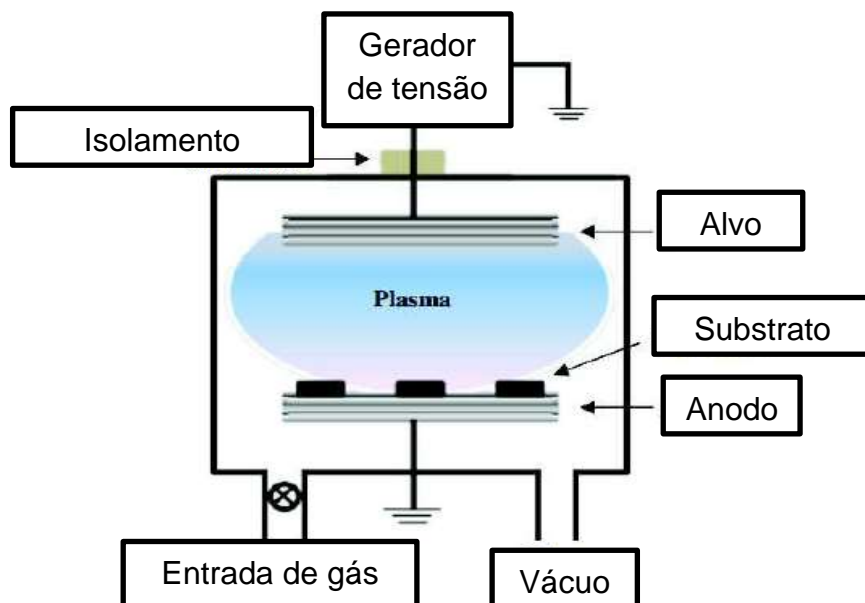
Para a formação de uma superfície seletiva absorvedora, é necessário que se avalie a escolha da técnica apropriada para concepção do filme. Existe uma diversidade de técnicas que podem ser utilizadas para essa finalidade (ATKINSON et al., 2015; SILVA NETO, 2017).

Para isso, tem-se destacado ao longo dos anos um uma técnica que não gera resíduos proporciona um controle satisfatório da morfologia do revestimento, espessura e homogeneidade (SELVAKUMAR; BARSHILIA, 2012; MARTINS, 2010). Esta técnica é chamada de Pulverização Catódica (do inglês,

Sputtering), cuja definição retrata uma utilização de uma descarga luminescente para atingir determinado alvo.

Dependendo do tipo de feixe de íons utilizado, esta técnica recebe outros tipos de designações, sendo elas: DC Sputtering (“Direct Current”) quando se utiliza feixe contínuo e RF Sputtering (“Radio Frequency”) para feixe pulsado (MEDEIROS, 2016). A Figura 12 ilustra o sistema de Sputtering.

Figura 12: Sistema de Sputtering



Fonte: Adaptado de Baptista; Borges e Ferreira (2010).

Na deposição por Sputtering um gás (geralmente argônio) é inserido na entrada do equipamento, sendo um agente facilitador para que o alvo seja atingido através dos feixes de íons. Com isso, a descarga luminosa é proveniente de uma interação do campo elétrico formado entre eletrodos (cátodo e ânodo), estando localizados em lados opostos da câmara interna, com nível de pressão em torno de 100 mTorr (KUMAR et al, 2013).

Com as colisões entre os elétrons ocasionadas pela ionização dos átomos de argônio no plasma, promove-se uma elevação da eficiência do processo, através do uso de um campo elétrico pela técnica de confinamento dos elétrons (Magnetron Sputtering) (JUANG et al, 2010).

A técnica de Sputtering também poderá ser realizada com a inserção de um gás reativo que propiciará o transporte mais eficaz na câmara, ao ser

misturado ao gás inerte já presente no sistema, sendo definido este processo como Sputtering Reativo (ZHU et al, 2014).

É de extrema importância que alguns parâmetros devam ser avaliados quando se deseja utilizar essa técnica, são eles: estado de polarização entre alvo e substrato; pressão e gás de trabalho; temperatura do substrato e distância entre o alvo e o substrato.

A técnica de Sputtering apresenta algumas vantagens que podem ser destacadas, como: trabalhar com temperaturas reduzidas; aplicação “limpa”, envolvendo vários pontos de ataque simultâneos; trabalhar com alvos em sequência para obtenção de filmes em multicamadas, entre outros (BARSHILIA et al, 2011; MEDEIROS, 2016). Porém a desvantagem é que os equipamentos têm elevado custo; a taxa de deposição é baixa, além do controle estequiométrico não ser simples.

Na literatura é possível encontrar trabalhos envolvendo a técnica de Sputtering como Barshilia et al. (2008) obtiveram uma superfície de $\text{Cr}_x\text{O}_y/\text{Cr}/\text{Cr}_2\text{O}_3$ sob um substrato de cobre, tendo como resultado $\alpha = 0,89 - 0,91$, $\epsilon_{100^\circ\text{C}} = 0,05 - 0,06$ e estabilidade térmica no ar a 275°C (50 h) e no vácuo 500°C (2 h). Já Xinkang et al. (2008) obtiveram, através da técnica de Magnetron Sputtering, um revestimento em multicamadas formado por $\text{Mo-Al}_2\text{O}_3$ sob um substrato de aço inoxidável, tendo como propriedades óticas, $\alpha = 0,91 - 0,3$ e $\epsilon_{80^\circ\text{C}} = 0,19 - 0,17$ com estabilidade térmica no vácuo de 500°C (2 h).

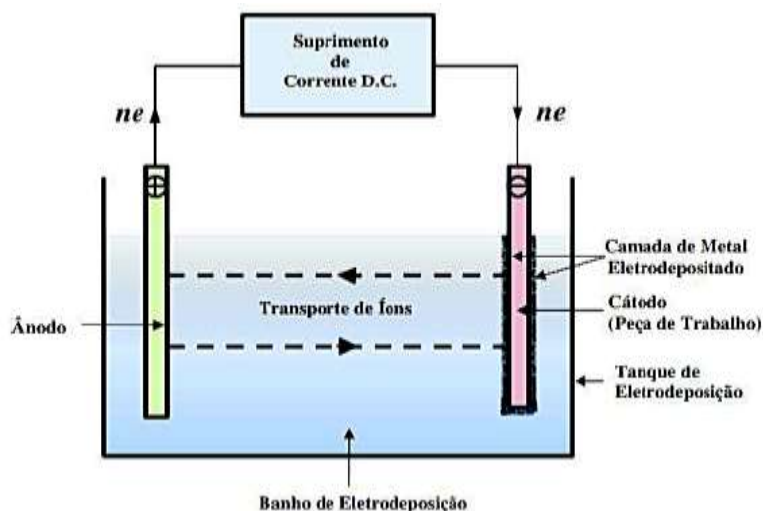
2.5.3 Deposição Eletroquímica

A eletrodeposição ou deposição eletrolítica possui uma excelente aplicação em processos industriais, com custos reduzidos na produção dos revestimento/filmes quando comparada às demais tecnologias (NAHAR, 1989). De acordo com San Miguel (2003), a eletrodeposição é uma método baseada na eletrólise que através da eletricidade produz reações químicas necessárias para que o processo ocorra.

Esta técnica é direcionada para formação de revestimentos metálicos com elevada aderência e propriedades físico-químicas, e dessa forma, para que o processo seja transcrito corretamente é necessário manter as propriedades do material dentro das especificações a fim de viabilizar a reprodução breve e

correta (PECEQUILO; PANOSSIAN, 2010). Na Figura 13 está esquematizado o processo de eletrodeposição.

Figura 13: Princípio da Eletrodeposição.



Fonte: Adaptado de Gomes (2001)

Como se pode observar na Figura 13, a eletrodeposição consiste num processo relacionado a divisão de cargas elétricas em solução de eletrólitos, envolvendo metais e ligas metálicas em um substrato, ou seja, corresponde a uma reação de troca de partículas realizadas na interface de contato entre o substrato e o banho eletrolítico (SILVA, 1980; MEDEIROS et al., 2019).

Neste trabalho optou-se pela utilização da técnica de eletrodeposição, pois devido a sua versatilidade, baixo custo e obtenção de grandes áreas de deposição simultânea, a Eletrodeposição é uma das técnicas com maior emprego para a obtenção das SSS, especialmente pelas suas propriedades ópticas (absortância e emitância) dos filmes obtidos (WINDOW; RITCHIE; CATHRO, 1978; AGUILAR et al., 2003; DARYABEGY e MAHMOODPOOR, 2006; MEDEIROS et al., 2019).

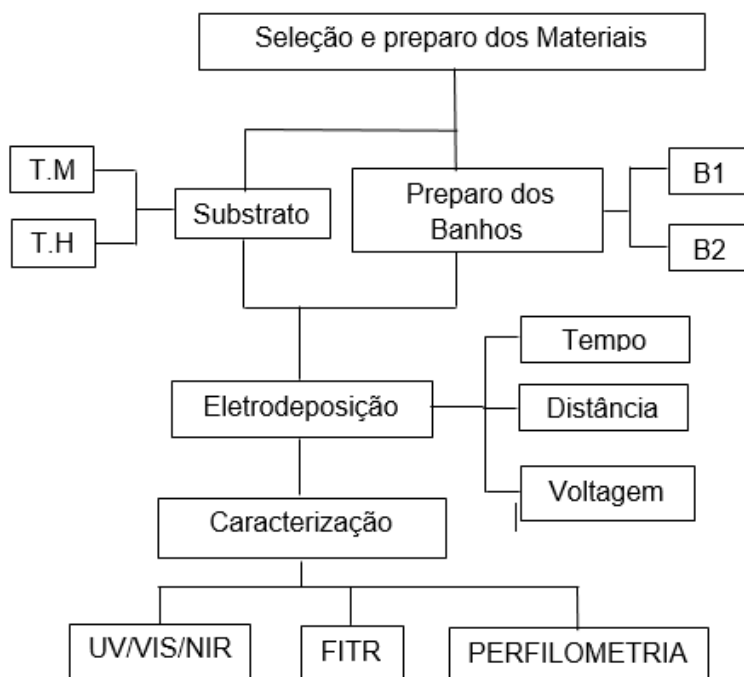
CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 INTRODUÇÃO

Nesta etapa são apresentados os materiais e métodos utilizados na pesquisa para a obtenção dos revestimentos absorvedores, com o emprego da: preparação dos substratos, caracterizações pós-preparação dos substratos, processo de deposição dos revestimentos e as caracterizações pós-deposição dos revestimentos. Esses passos estão representados no fluxograma do planejamento experimental da Figura 14.

Figura 14: Representação do planejamento experimental proposto durante o desenvolvimento dessa pesquisa.



Fonte: Autoria própria.

3.2 PREPARO DOS SUBSTRATOS

Para a obtenção das SSS foram utilizados substratos de aço inoxidável AISI (American Iron and Steel Institute) 304 com dimensões de 30 mm x 30 mm x 1 mm. Antes da eletrodeposição, os substratos passaram por dois tipos de tratamentos superficiais, visando avaliar a influência deste parâmetro na rugosidade superficial final e aderência dos filmes produzidos.

Parte dos substratos foram submetidos à limpeza desengordurante com Hexano (LH) durante 15 min. e posterior lavagem em água destilada, seguido de banho ultrassônico por 15 min. em uma solução de álcool isopropílico, de acordo com a metodologia de Vilela (1985).

A segunda parte dos substratos, passaram por processos mecânicos de lixamento (TM), sendo utilizado uma lixa de 400 mesh, conforme os trabalhos de Axelbaum e Brandt (1987) e Quintana e Sebastian (1994). O procedimento de lixamento foi realizado em uma Politriz lixadeira de velocidade variável (PVV) da marca Teclago, tendo os substratos sido lixados com uma rotação de 100 rpm durante 1 min. em sua posição vertical e em seguida rotacionados a 90° e submetidos novamente a 1 min. de lixamento. Logo após esse procedimento, os substratos foram embebidos em álcool isopropílico e realizado banho ultrassônico durante 15 min. a fim de eliminar quaisquer impurezas que viessem a influenciar nos resultados.

3.3 PREPARO DOS BANHOS ELETROLÍTICOS

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados dois tipos de banhos eletrolíticos de cromo com o objetivo de avaliar a influência dos banhos na absorvância e morfologia dos filmes.

O primeiro banho (B1), utilizou 700 ml de água destilada, 247 g/L de Trióxido de Cromo (CrO_3) e 0,854 g/L de Ácido hexafluorossilícico (H_2SiF_6), baseado nos trabalhos de Daryabegy e Mahmoodpoor (2006). Para o segundo banho (B2), foi utilizado 400 ml de água destilada, 364 g/L de Trióxido de Cromo (CrO_3) e 1,8 ml/L de Ácido hexafluorossilícico (H_2SiF_6), 9,1 g/L de Carbonato de Bário (BaCO_3) e 2,3 g/L de Nitrato de Potássio (KNO_3), baseado nos trabalhos de Aguilar et al. (2003).

3.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DEPOSIÇÃO

A determinação dos parâmetros para a obtenção dos revestimentos pela técnica de eletrodeposição foi baseado nos trabalhos de Medeiros et al. (2018). Neste sentido, para a realização da eletrodeposição foi utilizado um eletrodo inerte de Pb-Sb (95-5%) conectado ao polo positivo (ânodo), enquanto o substrato foi conectado ao polo negativo (cátodo) da fonte de alimentação, tendo os mesmos sido imersos nos banhos eletrolíticos propostos no trabalho. A corrente do sistema foi oriunda de uma fonte de tensão da marca Agilent modelo E3631A. O arranjo físico do processo está apresentado na Figura 15.

Figura 15: Esquema físico do processo de eletrodeposição.



Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (2019).

Para a realização do experimento foram mantidas fixas uma corrente de 5A, uma tensão de 5V e distância de trabalho de 15 mm com base nos trabalhos de Medeiros (2016) e Medeiros et al. (2019). A variação de tempo (60, 120 e 300 s) de deposição teve como objetivo determinar as melhores condições de realização do processo para obtenção de filmes mais absorvedores. Já a temperatura apresentou uma variação em torno de 24 a 30°C, decorrente do banho utilizado.

A Tabela 3 apresenta a nomenclatura adotada para as amostras após a determinação dos parâmetros de deposição, o preparo dos banhos eletrolíticos e o tratamento superficial dos substratos.

Tabela 3: Nomenclatura adotada na pesquisa.

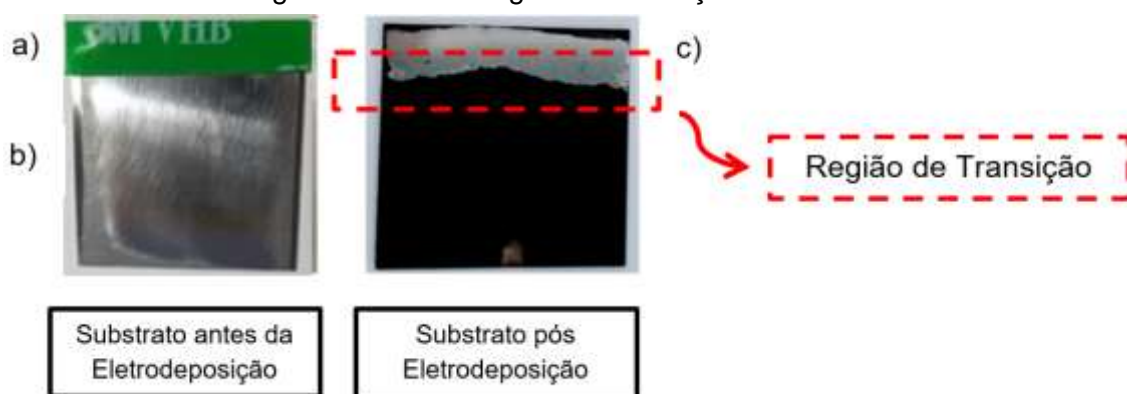
Amostras	Banho Eletrolítico	Tratamento do Substrato	Corrente (A)	Distância (mm)	Tempos de deposição (s)
F1	B1	LH	5	15	60
F2					120
F3					300
F4		60			
F5		120			
		TM			

F6					300
F7	B2	LH			60
F8					120
F9					300
F10		TM			60
F11					120
F12					300

A fim de garantir a confiabilidade dos resultados finais das análises aos quais os filmes estiveram submetidos, foram realizados a réplicas e tréplicas de cada condição de amostra.

Em todas as amostras foi utilizada a metodologia de “batente”, na qual consiste em fixar uma fita em parte do substrato para garantir que em uma parte do substrato não ocorra a deposição do revestimento, e desta forma ser possível obter os resultados de espessuras de cada filme depositado. Essa metodologia pode ser observada na Figura 16.

Figura 16: Metodologia da construção de batente.



a) Região do substrato que foi impedida de ser depositada, b) Região do substrato onde a deposição será realizada, c) Região do substrato que não foi coberta durante a eletrodeposição.

Fonte: Autoria própria (2019).

3.5 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO

No presente estudo, é de fundamental importância que se avalie as propriedades físicas e químicas dos filmes depositados no substrato, aplicados as técnicas analíticas de caracterização com os referentes aparelhamentos utilizados bem como as propriedades avaliadas são descritos a seguir.

3.5.1 Espectrofotometria UV-VIS-NIR

O equipamento utilizado foi um Espectrofotômetro na região do Ultravioleta, Visível e parte do Infravermelho próximo (UV-Vis-NIR), fabricado pela Shimadzu, modelo UV-2600 operando na região de 220 nm a 1400 nm com medidas de reflectância, utilizando o acessório esfera de integração o qual possibilita a análise de filmes.

Esta caracterização foi utilizada para determinar a reflectância dos revestimentos. Sabendo que, de acordo com a lei de Kirchhoff, a soma da absorptância, transmitância e reflectância de uma superfície em um comprimento de onda particular são iguais a incidência da radiação incidente (MEDEIROS et al., 2019), essa lei pode ser escrita conforme a Eq.1 a seguir:

$$\alpha + \tau + \rho = 1 \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde, α é igual absorptância, τ é igual a transmitância e ρ é igual a reflectância da superfície. Nas superfícies opacas cuja transmitância é zero (MEDEIROS et al., 2019), pode-se dizer que:

$$\alpha + \rho = 1 \rightarrow \alpha = 1 - \rho \quad \text{Eq. (2)}$$

Dessa maneira, para a obtenção dos níveis de absorção dos revestimentos produzidos no presente estudo, foi empregada a Eq. (2) descrita.

3.5.2 Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier– FTIR

As amostras analisadas através da transmissão na região do infravermelho foram realizadas em um Espectrofotômetro de Infravermelho na região do Infravermelho médio, em um equipamento da Shimadzu, modelo IRTracer-100. A técnica foi empregada com o objetivo de avaliar a presença de um ou mais tipos de cromo nos filmes absorvedores. Para tanto foi utilizado um acessório de reflectância total atenuada (ATR), operando no modo de transmitância, na região de 4000 a 600 cm^{-1} .

3.5.3 Perfilometria óptica

Nesta análise, foi possível realizar medidas de rugosidades e da espessura dos revestimentos depositados sobre o substrato de aço inoxidável. Para tanto, foi utilizado um Perfilômetro Óptico 3D sem contato, modelo CCIP MPP fabricado pela empresa Taylor Hobson e os resultados foram analisados com o software TalyMap, fabricado também pela empresa Taylor Hobson.

As rugosidades superficiais das amostras foram avaliadas utilizando-se os parâmetros: R_p (máxima altura de pico do perfil da rugosidade), R_v (máxima profundidade de vale do perfil da rugosidade) e R_a (rugosidade média).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESPECTROFOTOMETRIA UV-Vis-NIR

As Figuras 17 e 18 apresentam a distribuição espectral e os percentuais de absorvância para os filmes produzidos em função do tipo de banho eletrolítico e do tempo de deposição dos filmes.

Figura 17: Espectro da absorvância dos filmes produzidos e sua influência com o tipo de Banho Eletrolítico.

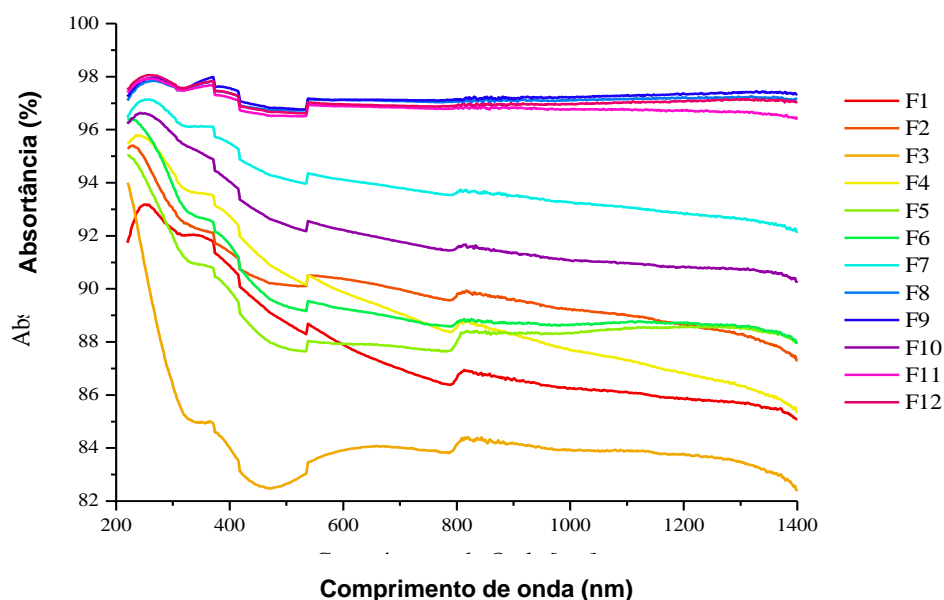
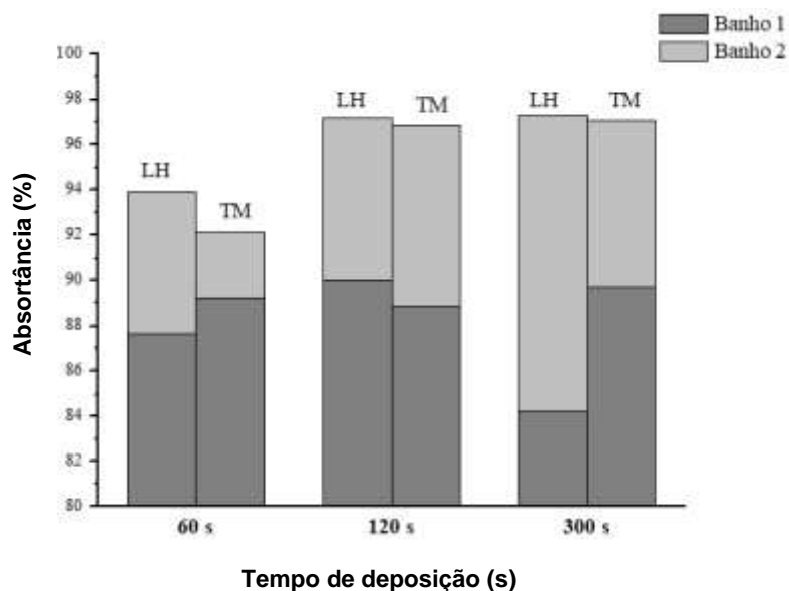


Figura 18: Percentual de absorvância dos filmes produzidos e sua influência com o tipo de Banho Eletrolítico x Tempo de deposição dos filmes.



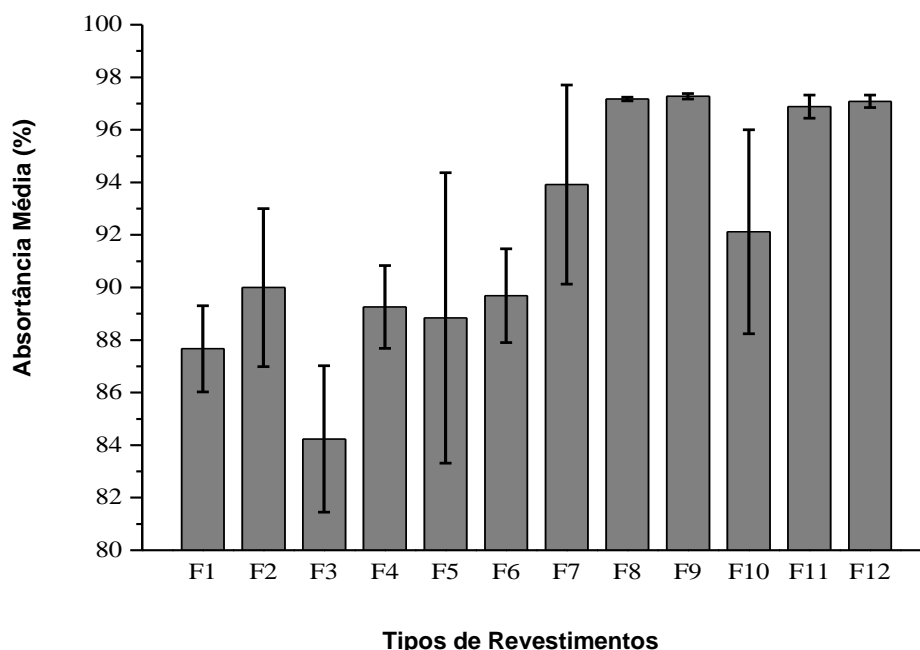
Pode-se observar pela Figura 18 que os filmes F8 e F9, oriundos da limpeza com Hexano e os filmes F11 e F12 oriundos do tratamento mecânico, apresentaram os melhores resultados de percentuais de absorvância. Estes resultados são corroborados pela pesquisa de Bayati et al. (2005), que através da eletrodeposição por um período de cinco minutos, proporcionaram revestimentos seletivos de cromo negro sobre substratos de cobre com média de absorvância de 96%

Observando a Figura 18, verifica-se que os tempos de 120 e 300 s promoveram melhores resultados de absorvância para esses tratamentos, destacando-se um incremento na absorvância dos filmes depositados de 60 s para 120 s, bem como de 120 s para 300 s. Estes resultados também foram observados por Lee et al. (2000) e Lee (2007), que analisou as características ópticas de superfícies solares de cromo negro.

Ainda na Figura 18, pode-se observar que o Banho 2 promoveu melhores resultados de absorvância, independentemente do tipo de tratamento superficial dos substratos, bem como do tempo de deposição.

Para facilitar a comparação dos filmes, foram calculadas as suas médias de absorvância ao longo do espectro e suas respectivas faixas de tolerância (desvio padrão), como pode ser observado na Figura 19.

Figura 19: Média de absorvância e desvio padrão dos revestimentos produzidos.



Pela Figura 19 pode-se observar que os Filmes F8 e F9 apresentaram os maiores valores de absorção média, na ordem de 97%, bem como os Filmes F11 e F12. Contudo os dois primeiros filmes (tratamento com hexano) apresentaram os menores percentuais de desvio padrão, que foram na ordem de $\pm 0.1\%$.

4.2 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO MÉDIO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

A análise de Espectroscopia de Infravermelho de Transformada Fourier (FTIR) determinou a absorção da radiação óptica relacionada as amostras Eletrodepositadas. As Figuras 20 e 21, apresentam os espectros de infravermelho dos revestimentos produzidos.

Figura 20: Espectros de Infravermelho dos revestimentos obtidos com o banho B1.

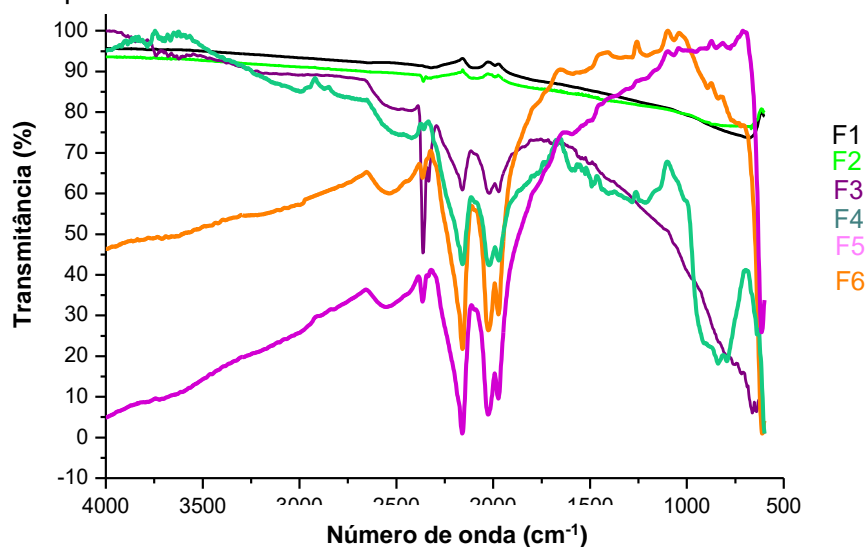
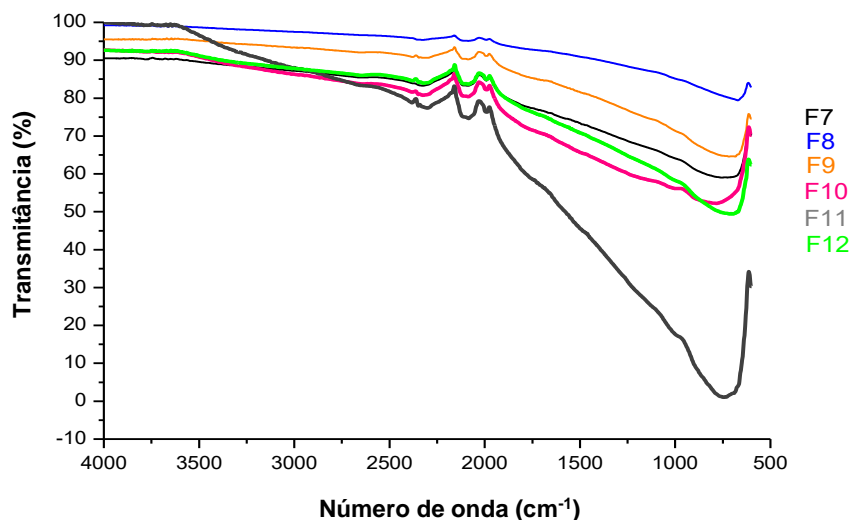


Figura 21: Espectros de Infravermelho dos revestimentos obtidos com o banho B2.



Pode-se observar pelas Figuras 20 e 21 que os revestimentos obtidos pelos banhos B1 e B2 apresentam bandas relacionados aos tipos de reagentes utilizados nos respectivos banhos, bem como oriundos de resíduos do tratamento superficial aplicado no substrato, ou seja, resíduos de hexano.

A banda próximo à 600 cm^{-1} , mais evidente nos revestimentos obtidos pelo banho B2 (Figura 21) é um indicativo da presença de Cr_2O_3 . Já a banda observada próxima a 950 cm^{-1} (Figura 20) oriunda dos revestimentos obtidos pelo banho B1, pode corresponder à estrutura de CrO_2 .

As bandas largas observadas são um indicativo da natureza praticamente amorfa dos filmes absorvedores. Percebe-se que o material eletrodepositado consiste de uma mistura de óxidos a base de cromo.

Em decorrência do banho B1 ser composto basicamente de trióxido de cromo e de ácido hexafluorossilícico, foi favorecido a formação de revestimentos mais finos, e desta forma, ficou mais evidentes a composição dos compostos do substrato, representados pelas bandas vibracionais em torno de 1800 a 2600 cm^{-1} .

4.3 PERFILOMETRIA ÓPTICA

A Tabela 4 exhibe os valores dos parâmetros de rugosidade, R_p (máxima altura de pico do perfil da rugosidade), R_v (máxima profundidade de vale do perfil da rugosidade) e R_a (média).

Tabela 4: Relação entre os parâmetros de Rugosidade, as espessuras dos filmes e os valores de percentuais de absorvância com desvio padrão observados.

Amostras	R_a (μm)	R_v (μm)	R_p (μm)	Espessura (μm)	Absortância Média (%)	Desvio Padrão (%)
F1	0,114	0,422	0,411	0,785	87,67	1,64
F2	0,150	0,848	0,623	-	90,00	3,01
F3	0,348	0,917	1,588	1,247	84,23	2,79
F4	0,222	0,814	0,897	-	89,26	1,57
F5	0,151	0,659	0,758	0,737	88,84	5,53
F6	0,471	1,808	1,975	-	89,68	1,78
F7	0,434	1,900	2,048	-	93,92	3,79
F8	0,477	1,888	1,833	-	97,17	0,07
F9	0,462	1,466	1,411	2,207	97,28	0,10
F10	0,233	1,079	0,886	-	92,01	3,88
F11	0,285	1,348	1,404	3,263	96,88	0,44
F12	0,409	1,598	1,713	8,333	97,09	0,23

Pela Tabela 4, pode-se observar um incremento nos valores de rugosidade dos filmes produzidos com o aumento do tempo de eletrodeposição independentemente do tipo de tratamento superficial do substrato.

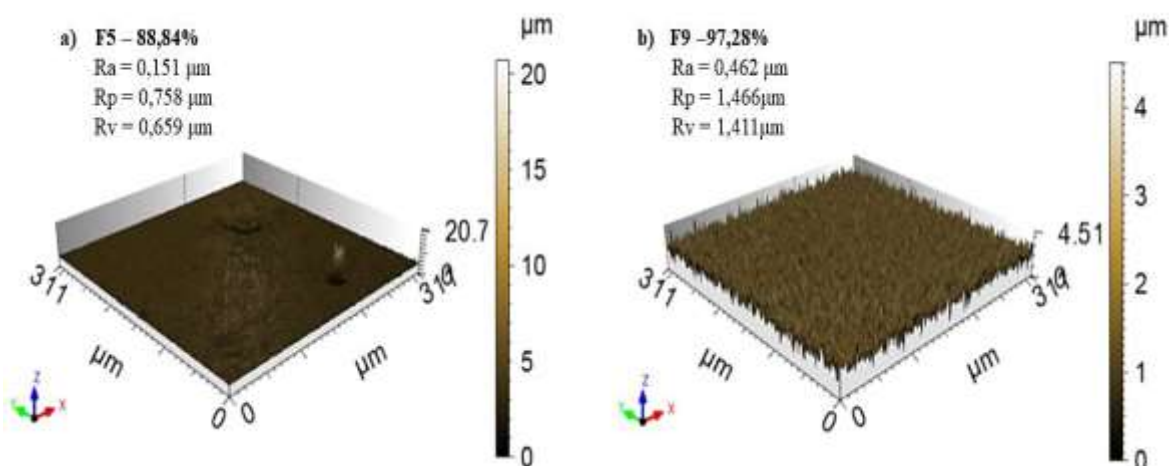
Estes resultados foram observados por Window, Rirchie e Cathro (1978) que avaliaram o crescimento dos valores do parâmetro Ra com o aumento do tempo de deposição na obtenção de superfícies seletivas de cromo negro em substratos de metal polido com valores de Ra na ordem de $0,12 \mu\text{m}$ para filmes eletrodepositados por 55 segundos, e que estão compatíveis com os observados neste trabalho.

Pode-se observar, que quando comparado os tipos de banhos, o banho 2 (B2) apresentou os maiores valores de rugosidades médias, bem como os maiores percentuais de absortância, evidenciando que a composição química do banho afeta o tipo de morfologia dos filmes produzidos.

Analisando o tipo de tratamento, observou-se que o Tratamento Mecânico (TM) não apresentou relevância significativa nos perfis de rugosidades dos filmes produzidos, onde foram observados valores de rugosidade semelhantes para ambos os tipos de banhos. Isto pode estar relacionado, tanto a granulometria utilizada para a realização do lixamento, quanto ao tempo empregado no mesmo, e que podem não ter sido os mais adequados.

Já quando analisado os resultados obtidos para o tratamento à base de hexano, o mesmo sofreu influência do tipo de banho eletrolítico, apresentando uma maior interação com este, e produzindo rugosidades com valores variando entre $0,11$ a $0,48 \mu\text{m}$. A Figura 22 exibe a microestrutura em 3D dos Filmes F5 e F9.

Figura 22: Microestrutura dos filmes absorvedores.



Pela Figura 22 é possível notar que a morfologia dos filmes apresenta grande influência nos percentuais de absorção obtidas. Segundo Cuomo et al. (1975), uma superfície constituída por uma rigorosa floresta de agulhas alinhadas com diâmetros de mesma dimensão que o comprimento de onda da luz visível e com distanciamento da ordem de muitos comprimentos de onda permite a absorção com elevada eficiência em função das múltiplas reflexões à proporção que os fótons penetram o labirinto de agulhas.

Dessa maneira, observando a Figura 22, é possível constatar que o aumento dos parâmetros R_p , R_v e R_a podem ter promovido essa construção de “labirinto de agulhas” que favoreceu a absorção.

CAPITULO V

CONCLUSÃO

Os filmes a base de cromo produzidos nesta pesquisa mostraram-se favoráveis à sua aplicação como revestimento absorvedores de coletores solares, dados os altos níveis de absorvância obtidos.

O banho B2 (composto por água destilada, trióxido de cromo, ácido hexafluorossilícico, carbonato de bário e nitrato de potássio) propiciou a obtenção de filmes com melhores propriedades ópticas, em termos de absorvância e menores desvios padrão, em relação aos filmes obtidos através do banho B1 (composto por água destilada, trióxido de cromo e ácido hexafluorossilícico).

Em relação aos tratamentos superficiais do substrato (tratamento mecânico – TM ou limpeza por hexano - LH), não foram observadas diferenças significativas em suas influências na absorvância dos filmes. Entretanto percebe-se que o tratamento com hexano mostrou-se ligeiramente mais eficaz que o tratamento mecânico em termos de apresentarem valores menores de desvio padrão nos percentuais de absorvância, se tratando de um tratamento mais homogêneo.

O tempo de eletrodeposição de 120 s mostrou-se o mais viável para a produção comercial desses revestimentos, uma vez que apresentou resultados tão satisfatórios quanto o tempo de 300 s, porém com uma maior economia de recursos energéticos. Esses parâmetros também proporcionaram os menores desvios padrão, evidenciando assim a homogeneidade das propriedades dos filmes obtidos pelo processo de eletrodeposição.

Observou-se que os filmes cuja morfologia apresentaram os maiores valores de rugosidade foram também aqueles que promoveram os melhores valores de absorvância. Isto pode ter sido ocasionado pela formação dos “labirintos de agulhas” que aprisionam a radiação solar em suas estruturas.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No desenvolvimento do presente trabalho, alguns pontos poderiam auxiliar em resultados mais precisos. Dessa forma, algumas lacunas não foram preenchidas durante a realização deste trabalho e poderiam ser desenvolvidas e estudadas em trabalhos futuros. Alguns aspectos importantes seriam:

- ✓ Avaliar quantitativamente a aderência entre os revestimentos e os substratos metálicos, levando-se em consideração a consequência da temperatura sobre essa característica;
- ✓ Promover um estudo sobre novos tipos de geometrias aplicados em superfícies seletivas, considerando diferentes quantidades de camadas;
- ✓ Avaliar o tipo e o teor dos tipos de óxidos formados na produção dos revestimentos absorvedores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, M. et al. **Characterization of black and white chromium electrodeposition films: surface and optical properties**. Journal of non-crystalline solids, v. 329, n. 1-3, p.31-38, 2003.

ALBUQUERQUE, T. C.; MALDONADO, M. U.; VAZ, C. R. Um Levantamento da Produção Intelectual sobre Energia Solar Fotovoltaica. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**. v.6, n.5, p.915-939, 2017.

ATKINSON, C.; SANSOM, C.L.; ALMOND, H.J.; SHAW, C.P. Coatings for concentrating solar systems – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.45, p.113–122, 2015.

AVELLANEDA, C. A. O. **Preparação e caracterização de filmes finos sol-gel de Nb₂O₅**. 1995. 88 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

AXELBAUM, R.L.; BRANDT, H. The effect of substrate surface preparation on the optical properties of a black chrome solar absorber coating. **Solar Energy**, vol. 39, n.3, pp. 233-241, 1987.

BARSHILIA, H. C., KUMAR, P., RAJAM, K. S., BISWAS, A. Structure and optical properties of Ag-Al₂O₃ nanocermet solar selective coatings prepared using unbalanced magnetron sputtering. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 95, p. 1707-1715, 2011.

BARSHILIA, H. C., SELVAKUMAR, N., RAJAM, K. S., BISWAS, A. Structure and optical properties of pulsed sputter deposited Cr_xO_y/Cr/Cr₂O₃ solar selective coatings. **Journal of Applied Physics**, v. 103, p. 130-143, 2008.

BAYATI, M. R.; SHARIAT, M. H.; JANGHORBAN, K. **Design of chemical composition and optimum working conditions for trivalent black chromium electroplating bath used for solar thermal collectors**. Renewable Energy, v. 30, n. 14, p. 2163-2178, 2005.

BERMANN, C. **Crise ambiental e as energias renováveis**. Energia , ambiente e sociedade /artigos, 2007.

BRINKER, C. J.; SCHERER, G. W. Fundamentals of sol-gel dip-coating. **Thin Solid Films**, v. 201, p. 97-108, 1991.

BORGES NETO, M. R.; CARVALHO, P. **Geração de Energia Elétrica**. São Paulo:Érica, 2012.

CAO, Feng et al. Enhanced Thermal Stability of W-Ni-Al₂O₃ Cermet-Based Spectrally Selective Solar Absorbers with Tungsten Infrared Reflectors. **Advanced Energy Materials**, v. 5, n. 2, 2015.

COOK, Earl Ferguson. **Man, energy, society**. Texas A and M University, College of Geosciences, College Station, TX, 1976.

COSTA, R.C.; PRATES, C.P.T. **O Papel das Fontes Renováveis de Energia no Desenvolvimento do Setor Energético e Barreiras à sua Penetração no Mercado**. BNDES Setorial, RJ, n.21, p. 5-30, 2005.

CRESESB. Centro de Referência para as Energias Solar e Eólico Sérgio de S. Brito. Coletores Solares. Disponível em: 9 Acesso em Novembro de 2019.

CUOMO, J.J.; ZIEGLER, J.F.; WOODALL, J.M. A new concept for solar energy thermal conversion. **Applied Physics Letters**, v. 26, n. 10, p. 557-559, 1975.

DARYABEGY, M.; MAHMOODPOOR, A. R. Method of manufacturing absorbing layers on copper for solar applications (I). Renewable Energy Organization of Iran, v. 2, p. 35-39, 2006.

DIAS, C. T. de C.; SILVA, W. K. de M.; FREITAS, G. P. de; NASCIMENTO, J. F. do. InterScientia. **Revista InterScientia**, v. 5, n. 1, p. 153–165, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.unipe.br/index.php/interscientia/article/view/463>>.

FANTINI, M. C. de A. **Superfície Seletivas de Cobalto para a Conversão Fototérmica da Energia Solar**. 1980. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1980.

FIGUEREDO, C. F. **Aplicação da avaliação do ciclo de vida como critério de seleção para materiais utilizados em construções sustentáveis**. 2017. Dissertação(Mestrado em Energias Renováveis)- Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa: 2017.

FONSECA, T. O. de B.; PETERSON, R.; GALVAO, G. O.; OLIVEIRA, A. S.; GOMES, K. C. **Influência do Tratamento Superficial e dos Parâmetros de Deposicao na Absortância e Morfologia de Filmes Absorvedores a base de Cromo Eletrodepositado**. CONIMAS, Campina Grande-PB. p. 12, 2019.

GALLO, N. J. H. **Preparação e caracterização de revestimentos seletivos para conversão fototérmica de energia solar**. 1985. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física e Química de São Carlos, São Carlos, 1985.

GOLDEMBERG, JOSÉ; LUCON, OSWALDO. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. 3. Ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p. 240-241, 2012.

GOMES, C.A.S. **Estudo Comparativo de Superfícies Seletivas para Coletores Solares**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências de Materiais). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

GOMES, K.C.; MEDEIROS, I.D.M.; GALVÃO, G.O.; LEITE, K.S.; SILVA, A.K.B. Avaliação das características da cinza do bagaço da cana-de-açúcar obtida por moagem de alta energia. **Revista InterScientia**, v.5, n.2, p. 39-50, 2017.

GONÇALVES, R. P. da N.; MEDEIROS, I. D. M.; GOMES, K. C.; OLIVEIRA, A. da S.; GALVÃO, G. O. Efeitos do pós-tratamento térmico em superfícies seletivas à base de óxidos de cromo obtidas pelo processo de eletrodeposição. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, n. June, p. v.16 n.29; p. 2326, 2019.

HEAVENS, O.S. **Optical properties of thin solid films**. Dover Publications, INC. New York, 1991.

HERZOG, Antonia V.; LIPMAN, Timothy E.; KAMMEN, Daniel M. Renewable energy sources. **Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). Forerunner Volume'Perspectives and Overview of Life Support Systems and Sustainable Development**.

HODGE, B.K. **Sistemas e aplicações de energia alternativa**. Rio de Janeiro: LTC, P. 109, 2011.

IEA, International Energy Agency (IEA, 2015) Key World Energy Statistics 2018 Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics-2018>.html. Acesso em: 02 dez. 2018.

JAFARI, S.; ROZATI, S. M. **Characterization of black chrome films prepared by electroplating technique**. In: World Renewable Energy Congress-Sweden; 8-13 May; 2011; Linköping; Sweden. Linköping University Electronic Press, 2011. p. 3999-4005.

JUANG, R. C., YEH, Y. C., CHANG, B. H., CHEN, W. C., CHUNG, T. W. Preparation of solar selective absorbing coatings by magnetron sputtering from a single stainless steel target. **Thin Solid Films**, v. 518, p. 5501-5504, 2010.

KARLSSON, B.; RIBBING, C.G. **Optical constants and spectral selectivity of stainless steel and its oxides**. Journal of Applied Physics, v.53, p.6340-6346, 1982.

KATS, M.A.; BLANCHARD, R.; GENEVET, P.; CAPASSO, F. **Nanometre optical coatings based on strong interference effects in highly absorbing media**. *Nature Materials*, v.12, p.20-24, 2013.

KENNEDY, C.E. **Review of mid-to high-temperature solar selective absorber materials**. National Renewable Energy Laboratory, Golden,CO(US), 2002.

KOKOROPOULOS, P.; SALAM, E.; DANIELS, F. Selective Radiation Coatings. Preparation and high temperature stability. *Solar Energy*, v. 3, p. 19-23, 1959.

KUMAR, S. K., MURUGESAN, S., SURESH, S., RAJ, S. P. Nanostructured CuO Thin Films Prepared through Sputtering for Solar Selective Absorbers. *Journal of Solar Energy*, 2013.

LEE, K.D. Preparation and characterization of black chrome solar selective coatings. *Journal of Korean Physical Society*, v. 51, p. 135, 2007.

LEE, K.D.; JUNG, W.C.; KIM, J.H. Thermal degradation of black chrome coatings. *Solar energy materials and solar cells*, v. 63, n. 2, p. 125-137, 2000.

MAHALLAWY, N. E.; SHOEIB, M.; ALI, Y. **Application of CuCoMnOx coat by sol gel technique on aluminum and copper substrates for solar absorber application**. J. Coat. Technol. Res, v. 11, n. 6, p. 979-991, 2014.

MALAGUETA, D. C. **Geração Heliotérmica – Princípios e Tecnologias**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012.

MARTINS, MOEMA. **Produção de Superfícies Seletivas por Magnetron Sputtering para Aplicação em Coletores Solares** – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

MEDEIROS, ITHYARA DHEYLLE MACHADO DE. **Superfícies Seletivas A Base de Polímeros Inorgânicos Para Coletores Solares de Média e Alta Temperatura**. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis). João Pessoa, 2016.

MEDEIROS, I. D. M.; GOMES, K.C.; GONCALVES, R. P. N.; GALVAO, G. O. Selective Solar Surface Solar Based on Black Chromium: Influence of Electrodeposition Parameters in the Absorption of Surfaces. *Materials Research*, Sao Carlos, v.22, n.2, 2019. Disponível em:

<<http://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2018-0625>>. DOI: 10.1590/1980-5373-mr-2018-0625

MELO, L. O. **Preparação e caracterização de filmes finos sol-gel de Nb₂O₅ dopados com Li⁺ visando possível aplicação em arquitetura.** 2001. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

NAHAR, N. M.; MO, G. H.; IGNATIEV, A. Development of a Al₂O₃-Co selective absorber for solar collectors; **Thin solid films**; v. 172; p. 19-25, 1989.

PECEQUILO, C. V.; PANOSSIAN, Z. Estudo do mecanismo de eletrodeposição do cobre a partir do HEDP por meio da técnica eletroquímica de medição do potencial de circuito aberto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CORROSÃO, 30., 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2010.

PEDROSO, L.L.A.; MENDES, U. C.; MENDES, U. C.; PE, A.; E-MAIL, R. J.; MESTRE, S.; MENDES, U. C.; MENDES, U. C.; PE, A.; E-MAIL, R. J. Brazilian Journal of Development Brazilian Journal of Development. p. 1980–1996, 2018.

PEREIRA, Gustavo Furtado. **Superfície Seletiva Absorvedoras com base em CrO₃: Avaliação dos Tratamentos dos substratos e influência nas propriedades ópticas dos filmes.** Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis). João Pessoa, 2019.

PETITJEAN, J. P.; VANDER POORTEN, H. **Les revêtements sélectifs et leur rôle dans l'amélioration des performances des collecteurs solaires.** Surface Technology, p. 229– 258, 1980.

QUINTANA, J.; SEBASTIAN, P.J. The influence of various substrate treatments on morphology and selective absorber characteristics of electrochemical black chrome. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v.33, pp. 465-474, 1994.

SAN MIGUEL, Q. G. S. **Produção de filmes finos de CdTe por electrodeposição.** 2003. Dissertação de Mestrado, Instituto Militar De Engenharia.

SELVAKUMAR, N.; BARSHILIA, H.C. Review of physical vapor deposited (PVD) spectrally selective coatings for mid- and high-temperature solar thermal applications. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 98, p. 1-23, 2012.

SERAPHIN, B.C. AND MEINEL, A.B., **Optical Properties of Solids: New Developments** B.O. Seraphin, Ed. (North Holland Publishing Co., Amsterdam,) 1976.

SHAFFER, L.H. Wavelength-dependent (selective) processes for the utilization of solar energy. **Solar Energy**, v. 2, p. 21-26, 1958.

SILVA NETO, José Felix da. **Desenvolvimento de superfícies seletivas para coletores solares com deposição multicamadas de Cr e SiO₂**. 2017. 97f. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

SPE. Global Market Outlook for Solar Power. EUROPE, S. P. Brussels, Belgium 2016.

TABOR, H. Solar collectors, selective surfaces and heat engines. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 47, p. 1271–1278, 1961.

TWIDELL, John; WEIR, Tony. **Renewable energy resources**. Routledge, 2015.

UHLMANN, D. R.; BOULTON, J. M.; TEOWEE, G.; WEINSENBACH, L.; ZELINSKI, B. J. J. SPIE Proc. 1328, 270, 1990.

VIANA, Marcelo Machado. Estudo de filmes finos e materiais particulados de TiO₂ e de Ag/TiO₂ produzidos pelo processo sol-gel. 2011. 115f. Tese (Doutorado) - **Instituto de Ciências Exatas, Deptº de Química**, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

VIEIRA, S. G. **OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE UMA NOVA SUPERFÍCIE SELETIVA PARA COLETORES SOLARES TÉRMICOS**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

VILELA, M. F. **Obtenção de uma superfície seletiva de cromo negro depositada em um substrato de aço inoxidável (AISI 304) para conversão térmica de energia solar**. 1985. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1985.

VILLALVA, MARCELO FRADELLA. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2. ed. Ver. E atual. – São Paulo: Érica, 2015.

WINDOW, B.; RITCHIE, I. T.; CATHRO, K. Selective electroplated chromium blacks. **Applied optics**, v. 17, n. 16, p. 2637-2644, 1978.

XINKANG, D.; CONG, W.; TIANMIN, W.; LONG, Z.; BULIANG, C.; NING, R. Microstructure and spectral selectivity of Mo-Al₂O₃ solar selective absorbing coatings after annealing. **Thin Solid Films**, v. 516, p. 3971-3977, 2008.

ZHU, F., CHEN, X., ZHOU, L., ZHOU, J., YANG, J., HUANG, S., SUN, Z.
Dependence of the performance of inverted polymer solar cells on thickness of
an electron selective ZnO layer deposited by magnetron sputtering. **Thin Solid
Films**, v. 551, p. 131-135, 2014.