



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE MATERIAIS

DIEGO CAITANO DE PINHO

**CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE UMA SUPERFÍCIE SELETIVA PARA
COLETORES SOLARES TÉRMICOS A PARTIR DO LIQUIDO DA CASCA DA CASTANHA
DE CAJU**

FORTALEZA

2022

DIEGO CAITANO DE PINHO

CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE UMA SUPERFÍCIE SELETIVA PARA COLETORES
SOLARES TÉRMICOS A PARTIR DO LIQUIDO DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Engenharia e Ciência de Materiais.

Área de concentração: Processos de transformação e degradação dos materiais. Linha de Pesquisa: Processos de fabricação dos materiais

Orientador: Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire.

FORTALEZA

2022

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)

- P723c Pinho, Diego Caitano de.
Caracterização e Aplicação de uma Superfície Seletiva para Coletores Solares Térmicos a partir do Líquido da Casca da Castanha do Caju / Diego Caitano de Pinho. – 2022.
82 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire .
1. Energia Solar . 2. Coletor. 3. Superfície Seletiva . 4. Líquido da Casca da Castanha do Caju. 5. Eficiência . I. Título.

CDD 620.11

DIEGO CAITANO DE PINHO

CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE UMA SUPERFÍCIE SELETIVA PARA COLETORES
SOLARES TÉRMICOS A PARTIR DO LIQUIDO DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia e Ciência de materiais.

Área de concentração: Processos de transformação e degradação dos materiais. Linha de Pesquisa: Processos de fabricação dos materiais

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ricardo Emílio Ferreira Quevedo Nogueira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Ana Fabíola Leite Almeida
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Manuel Pedro Fernandes Graça
Universidade de Aveiro (UA)

Prof. Dr. Daniel Xavier Gouveia
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

A Deus.

Aos meus pais, por tudo.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Francisco Clever Pinho (*in memoriam*) e Josenice Pinheiro Caitano de Pinho, que sempre estiveram ao meu lado independente das minhas decisões, por sempre estarem me incentivando e pelo amor incondicional.

À minha irmã, Debora Caitano de Pinho, por todo carinho.

Aos meus sobrinhos, Cauã Davi Pinho Lima e Rael Vitor Pinho Lima, por todos os dias poder ver um sorriso sincero e inocente.

À minha noiva, Fernanda de Almeida Monteiro pela ajuda, paciência, compreensão, amor e por sempre estar ao meu lado, independente de tudo.

Aos familiares, pelo apoio.

Ao Professor Francisco Nivaldo Aguiar Freire pela excelente orientação acadêmica, confiança e pelos ensinamentos que levarei por toda a minha vida.

Aos amigos de laboratório, principalmente ao Kaio Hemerson Dutra e Felipe Alves Albuquerque Araújo pela valiosa ajuda.

Aos colegas da turma de Doutorado, por todas reflexões e pelos momentos de descontração.

À FUNCAP pelo apoio financeiro.

À CAPES.

E a todas as pessoas, que de alguma forma fizeram parte desse trabalho.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.” (Charles Chaplin)

RESUMO

A energia solar se apresenta como uma das mais promissoras fontes de energia do planeta, tendo em vista a sua grande disponibilidade e aplicabilidade em processos térmicos. Porém, seu uso ainda representa um grande desafio tecnológico e econômico, pois muitos sistemas que utilizam esta energia ainda possuem baixa eficiência e alto custo. Desse modo, o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias com o intuito de aumentar a eficiência de coletores solares térmicos, é, ao mesmo tempo, um desafio e uma necessidade. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é obter e analisar superfícies seletivas para coletores solares térmicos, utilizando como material o Líquido da Casca da Castanha de Caju (LCC) – o natural e o técnico. Para os testes, construiu-se uma bancada experimental para simular um coletor solar placa plana em condições reais de operação. Foram realizadas algumas caracterizações, tais como: técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise de infravermelho e determinação de absorvância UV-VIS, bem como gráficos com temperaturas de superfície e com radiação durante os testes ao sol para todas as superfícies: 100% LCC Natural, 25% LCC Técnico + 75% LCC Natural, 50% LCC Técnico + 50% LCC Natural, 75% LCC Técnico + 25% LCC Natural e MRTiNOX. No teste em campo, todas as cinco superfícies compostas de LCC técnico e LCC natural, apresentaram valores de temperatura próximos aos valores alcançados com a superfície comercial, todavia, com relação aos valores de absorvância, as superfícies com uma maior porcentagem de LCC técnico (100% LCC técnico e 75% LCC técnico + 25 % natural) mostraram valores próximos ao obtido pela MRTiNOX, principalmente para a superfície 100% LCC técnico, o qual obteve o valor de 0,90. De modo geral, a superfície 100% LCC técnico foi a que mais se aproximou da superfície comercial em todos os resultados analisados. Portanto, pode-se concluir que o LCC técnico apresentou-se como um possível material alternativo para utilização em coletores solares térmicos, o que representaria uma diminuição no custo destes coletores, além de ser dado um destino mais adequado ao LCC.

Palavras-chave: Energia Solar, Coletor, Superfície Seletiva, Líquido da casca da Castanha do Caju, Eficiência.

ABSTRACT

Solar energy is one of the most promising sources of energy on the planet, due to its great availability and applicability in thermal processes. However, its use still represents a major technological and economic challenge, as many systems that use this energy still have low efficiency and high cost. Thus, the development of new materials and technologies to increase the efficiency of solar thermal collectors is both a challenge and a necessity. In this context, the objective of this work is to obtain and analyze selective surfaces for thermal solar collectors, using as material the Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) - the natural and the technical. For the tests, an experimental bench was constructed to simulate a flat plate solar collector under real operating conditions. Some characterizations will be carried out, such as: scanning electron microscopy (SEM) techniques, infrared analysis and determination of UV-VIS absorbance, as well as graphs with surface temperatures and with radiation during the tests in the sun for all surfaces: 100 % Natural CNSL, 25% Technical CNSL + 75% Natural CNSL, 50% Technical CNSL + 50% Natural CNSL, 75% Technical CNSL + 25% Natural CNSL and MRTiNOX. In the field test, all five surfaces composed of technical CNSL and natural CNSL, presented temperature values close to the values reached with the commercial surface, however, in relation to the absorptivity values, the surfaces with a higher percentage of technical CNSL (100 % technical CNSL and 75% technical CNSL + 25% natural) showed values close to those obtained by MRTiNOX, mainly for the 100% technical CNSL surface, which obtained the value of 0,90. In general, the 100% technical CNSL surface was the closest to the commercial surface in all the analyzed results. Therefore, it can be concluded that the technical CNSL presents itself as a possible alternative material for use in solar thermal collectors, which would represent a decrease in the cost of these collectors, in addition to giving a more adequate destination to the CNSL.

Keywords: Solar energy, collectors, selective surface, cashew nut shell liquid, efficiency

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Energia solar comparada a outras fontes não renováveis.....	19
Figura 2 - Radiação solar atravessando a atmosfera.....	29
Figura 3 - Coletor solar placa plana	30
Figura 4 – Estrutura dos principais componentes do LCC.....	32
Figura 5 - Representação esquemática dos componentes do MEV.....	36
Figura 6 - Espectro eletromagnético.....	37
Figura 7 - Representação esquemática do interferômetro de Michelson.....	39
Figura 8 - Câmara de fotoenvelhecimento.....	41
Figura 9 - Parâmetros de sinterização.....	42
Figura 10 - Fragilização da superfície seletiva.....	43
Figura 11 - Superfície Seletiva a base de LCC técnico.....	44
Figura 12 - Bancada de Teste.....	45
Figura 13 - Representação do balanço de energia na bancada de teste.....	46
Figura 14 - Esquema da bancada experimental.....	51
Figura 15 – Sinterização 1.....	52
Figura 16 – Sinterização 2.....	53
Figura 17 – Sinterização 3.....	54
Figura 18 – Sinterização 4.....	54
Figura 19 - Gráficos de absorbância das superfícies produzidas com LCC Técnico e LCC Natural.....	55
Figura 20 – Comparação entre as temperaturas das superfícies seletivas.....	57
Figura 21- Gráfico de Transmitância para as superfícies seletivas.....	61
Figura 22 - Micrografia da amostra de superfície seletiva de LCC técnico com fator de ampliação de: (a) 2000x e (b) 10000x e gráfico percentual.....	61
Figura 23 - EDS da superfície seletiva contendo LCC técnico.....	62
Figura 24 - Micrografia da amostra de superfície seletiva de LCC natural com fator de ampliação de: (a) 2000x e (b) 10000x e gráfico percentual.....	63
Figura 25 - EDS da superfície seletiva contendo LCC natural.....	64
Figura 26 - Micrografia da amostra de superfície seletiva de 75% LCC técnico e 25%LCC natural com fator de ampliação de: (a) 2000x e (b) 10000x e gráfico percentual.....	65
Figura 27 - Micrografia da amostra de superfície seletiv a de 50% LCC técnico e 50%LCC natural com fator de ampliação de: (a) 2000x e (b) 10000x e gráfico percentual.....	66
Figura 28 - Micrografia da amostra de superfície seletiva de 25% LCC técnico e 75%LCC natural com fator de ampliação de: (a) 2 000x e (b) 10000x e gráfico percentual.....	67

Figura 29 - Micrografia da amostra de superfície seletiva comercial natural com fator de ampliação de: (a) 2000x e (b) 10000x e gráfico percentual.....	68
Figura 30 - Desgaste da superfície seletiva composta de LCC Técnico ao longo de quatro semanas.....	70
Figura 31- Desgaste da superfície seletiva composta de LCC natural ao longo de duas semanas.....	70
Figura 32 – Desgastes da superfície seletiva composta de 75%LCC técnico + 25%LCC natural ao longo de duas semanas.....	71
Figura 33 – Desgastes da superfície seletiva composta de 50%LCC técnico + 50%LCC natural ao longo de duas semanas.....	72
Figura 34 – Desgastes da superfície seletiva composta de 25%LCC técnico + 75%LCC natural ao longo de duas semanas.....	72
Figura 35 – Desgastes da superfície seletiva comercial.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição das superfícies seletivas obtidas	41
Tabela 2 – Temperatura média no estado estacionário	58
Tabela 3 – Dados do Fabricante	58
Tabela 4 – Resultados obtidos para os coeficientes	59
Tabela 5 – Absortividade e emissividade das superfícies seletiva	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACRÔNIMOS

CBC	Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar
CrMoN(H)	High Metal Content
CrMoN(L)	Low Metal Content
EDS	Electron Microprobe Analysis
EDX	Energy Dispersive Xray
FTIR	Fourier Transform Infrared
LCC	Líquido da Casca da Castanha de Caju
MEV	Microscopia de Varredura Eletrônica
PECVD	Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition
PVD	Physical Vapor Deposition
SEM	Scanning Electron Microscopy
UFC	Universidade Federal do Ceará
UV/VIS	Ultravioleta visível
XPS	X-ray Photoelectron Spectroscopy

GREGOS

α	Absortividade [adimensional]; Região denominada em microscopia [adimensional];
β	Região denominada em microscopia [adimensional]
δ	Região denominada em microscopia [adimensional]
γ	Região denominada em microscopia [adimensional]
ε	Emissividade [adimensional]
θ	Ângulo [°]
λ	Comprimento de onda [m]
σ	Constante de Stefan Boltzmann [$5,67 \times 10^8 \text{ W/m}^2\text{K}^4$]
τ	Transmissividade [adimensional]

SUBSCRITOS

a_b	absorvido
cond	condução
conv	convecção
ent	entrada
i	isolamento
n	natural
rad	radiação
ref	reflexão
s	superfície
sai	saída
sol	solar
v	vidro

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área [m ²]
f	Eficiência [adimensional]
h	Coefficiente de transmissão de calor por convecção [W/m ² .K]
k	Condutividade térmica [W/m.K]
L	Espessura [m]
Q	Calor[J]
R	Radiação [W/m ²]
s	Seletividade [adimensional]
T	temperatura [°C]
U _l	Coefficiente global de perda de calor [W/m ² .K]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	Contribuições na área	21
2.2	Superfícies seletivas	25
2.3	Radiação solar	28
2.4	Coletores solares planos	29
2.5	Líquido da Casca de Castanha de Caju	31
3	OBJETIVOS	34
3.1	Objetivos gerais	34
3.2	Objetivos específicos	34
4	CARACTERIZAÇÃO DAS SUPERFÍCIES SELETIVAS	35
4.1	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	35
4.2	Espectroscopia UV-VIS	36
4.3	Espectroscopia de Infravermelho	37
4.4	Ensaio de Fotodegradação	39
5	MATERIAIS E MÉTODOS	41
5.1	Extração do LCC natural	41
5.2	Preparação da superfície	41
5.3	Bancada de teste	45
5.3.1	<i>Balanço de energia da bancada de teste</i>	46
5.4	Testes realizados	48
5.4.1	<i>Microscopia de Varredura Eletrônica assistida por microsonda EDX</i>	48
5.4.2	<i>Ensaio de fotodegradação</i>	48
5.4.3	<i>Análise de Infravermelho</i>	49
5.4.4	<i>Absorbância por UV-VIS</i>	50
5.4.5	<i>Teste em Campo</i>	50
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
6.1	Parâmetro de Sinterização	52
6.2	Caracterização por UV-VIS	55
6.3	Teste em Campo	56
6.4	Análise de Infravermelho	59

6.5	Estrutura Morfológica e composição químicas das superfícies seletivas.....	61
6.5	Ensaio de Fotodegradação	69
7	CONCLUSÃO	74
8	PERSPECTIVA DE TRABALHOS FUTUROS.....	76
	REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

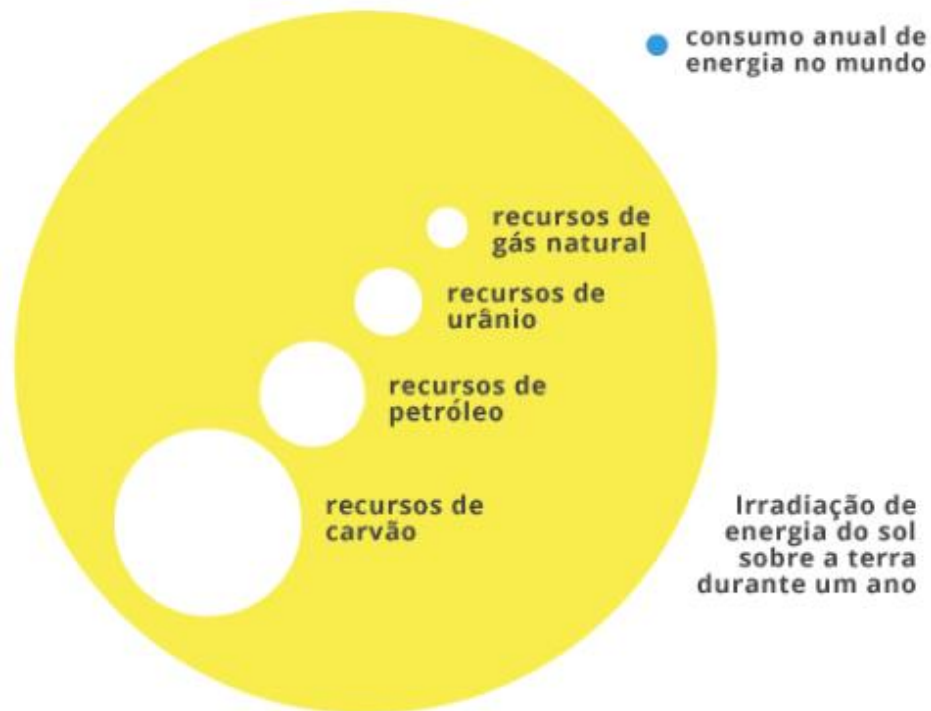
O esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e as mudanças climáticas ocasionadas pela poluição atmosférica têm levado o ser humano a buscar alternativas menos prejudiciais ao meio ambiente (SELVAKUMAR; BARSHILIA, 2012). A preocupação e conscientização da população abre espaço para o aprofundamento do estudo das energias renováveis (MEDEIROS; GOMES; GONÇALVES, 2019), dentre estas, vale destacar a melhor utilização da energia solar.

O Sol é a principal fonte de energia renovável do planeta, além disso, a energia solar é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia na Terra. O Sol pode ser utilizado tanto como fonte de luz quanto de calor, o que o torna uma das alternativas energéticas mais promissoras.

A energia solar é, por excelência, a mais ecologicamente correta. Ela é abundante, renovável e limpa. Trabalhando como um imenso reator à fusão, o Sol irradia, diariamente, um elevado potencial energético, incomparável a qualquer outro sistema de energia (RAMOS, 2011). Teoricamente, a energia solar tem o potencial de atender adequadamente às demandas de energia do mundo se houver tecnologias disponíveis para sua colheita e suprimento (BLASCHKE; BIBERACHER; GADOCHA, 2013). Aproximadamente quatro milhões de exajoule de energia solar chegam à Terra anualmente e apenas 5×10^4 do que é esperado é colhido (KABIR; KUMAR; KUMAR, 2017).

Comparando com as energias não renováveis, como pode ser visto na Figura 1, a energia solar que chega à Terra em um ano é cerca de 35 vezes maior do que as reservas mundiais de petróleo, carvão, gás natural e urânio somadas (ARBOT, 2010).

Figura 1 – Energia solar comparada a outras fontes não renováveis



Fonte: ARBOT, 2010

O aproveitamento da radiação solar pode ser dividido, dependendo da aplicação, em quatro maneiras distintas: aplicações térmicas em geral, obtenção de força motriz diversa, obtenção de eletricidade e obtenção de energia química (QUEIROZ, 2005).

A utilização da energia solar por meio de conversão térmica é uma das alternativas para reduzir as dependências dos combustíveis fósseis. Os equipamentos mais difundidos com o objetivo específico de se utilizar a energia solar térmica são conhecidos como coletores solares térmicos. Esses coletores são aquecedores de fluidos (líquidos ou gasosos) e são classificados em coletores concentradores, coletores de tubos evacuados e coletores de placa plana (CRESESB, 2014). Em geral, os coletores solares captam a radiação solar através da região espectral absorvedora e a transformam em energia térmica. Essa região pode ser obtida por uma superfície preta ou uma superfície seletiva, sendo esta última mais eficiente.

Nos coletores térmicos placa plana, a placa absorvedora de radiação é responsável pela absorção de radiação, conversão em energia térmica e transferência de calor para o fluido de trabalho através dos tubos de escoamento. Em função da operação desses tipos de coletores envolver transferência de calor, faz-se necessário levar em consideração as perdas térmicas nos balanços de energia. Elas ocorrem, basicamente, devido à reflexão e à emissão de radiação nas placas absorvedoras, estando ligadas, respectivamente, à refletividade e à emissividade, que são propriedades térmicas do material que as compõe.

Dependendo do revestimento aplicado às superfícies das placas absorvedoras de radiação solar, as condições de absorção, de reflexão e de emissão da radiação térmica podem variar substancialmente. Assim, torna-se importante selecionar o material adequado, com características de absorvidade, de refletividade e de emissividade que aumentem a eficiência dos coletores, fazendo com que a relação custo-benefício seja capaz de atrair investimentos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contribuições na Área

A aplicação de sistemas térmicos solares é diversa. Ela pode ser utilizada em processos de secagem, aquecimento de ambientes, refrigeração e, ainda, na dessalinização de água em comunidades que não têm acesso a água potável, entre outros. Contudo, o grande problema dos equipamentos que convertem energia solar em energia térmica são a eficiência e o custo dos componentes; daí faz-se necessário o desenvolvimento de pesquisas que possam minimizar tanto as perdas térmicas e o baixo desempenho dos equipamentos quanto o custo para fabricação e instalação.

Dentre os tipos de pesquisas implementadas para melhorar a eficiência e minimizar os custos de um sistema de conversão térmica em coletores, tem-se o desenvolvimento de superfície seletiva que tenha uma alta absortividade e uma baixa emissividade, permitindo que as superfícies atinjam temperaturas mais elevadas. Nesse sentido, estudos foram desenvolvidos em busca de novos tipos de materiais de baixo custo e que possuam características seletivas.

Granqvist e Hunderi (1979) investigaram a refletância de algumas partículas de cromo dispersas em um meio isolante que foram depositadas sobre um substrato metálico. O objetivo do estudo era obter parâmetros que definissem a seletividade do mesmo. Alguns dos parâmetros foram: espessura do revestimento, permeabilidade dielétrica, substrato metálico, forma e orientação das partículas dispersas no isolante.

Gallo (1985) sugeriu através de seu trabalho a produção de revestimentos de baixo custo utilizando como técnicas de deposição da superfície seletiva a eletrodeposição e imersão. As superfícies produzidas por ele geraram uma absortividade em torno de 0,95 e uma emitância em torno de 0,10. Sua utilização em sistemas de aquecimento solar residencial e industrial é garantida devido a sua resistência a degradação térmica e química. Ele também caracterizou a sua superfície através de infravermelho e espectroscopia.

Shuler et al. (2000) depositaram, por meio dos processos de PVD (*Physical Vapor Deposition*) e PECVD (*Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition*), filmes de titânio sobre substrato de alumínio, para utilização em coletores solares de placa plana. Inicialmente, apenas titânio puro foi depositado sobre o substrato. Posteriormente, foi feita a

aplicação de uma camada contendo carbono amorfo hidrogenado (a-C:H/Ti) e titânio, e de outra contendo apenas a-C:H puro. Com a técnica de XPS (*X-ray Photoelectron Spectroscopy*), foi possível determinar as composições dos filmes utilizados. Alcançou valores de absorvância α de 0,876, de emitância ϵ de 0,061 e de seletividade $s = \alpha / \epsilon$ de 14,4. Obteve-se uma estimativa de tempo de vida útil dos filmes produzidos de mais de 25 anos.

Gomes (2001) apresentou um estudo comparativo de superfícies seletivas para coletores solares industrializados. Foram retratadas medições experimentais em seis amostras de placas absorvedoras e da radiação solar global e direta incidentes sobre as placas, em função do tempo. As emissividades e os parâmetros de operação das superfícies foram determinados, e análises microscópicas (microscópico eletrônico de varredura) das diferentes superfícies complementaram o estudo. Os resultados expressam o desempenho das amostras quando expostas à radiação solar e que o procedimento desenvolvido no estudo pode ser utilizado na determinação de um valor médio para a emissividade solar.

Teixeira et al. (2001) utilizaram como substrato cobre e vidro para produzirem superfícies seletivas de $Cr - Cr_2O_3$ e $Mo - Al_2O_3$ e utilizaram o método de magnetron sputtering. Essas superfícies foram caracterizadas através das técnicas de EDX (Energy Dispersive Xray) e XRD (X-ray diffraction). Os valores de absorvância e emitância encontrados para cada superfície foram bem próximos: $Cr - Cr_2O_3$ (absorvância-0,94, emitância - 0,04) e $Mo - Al_2O_3$ (absorvância-0,94, emitância - 0,09). O Cr e o Al utilizados no processo possuíam 99,99% de pureza e durante o processo de fabricação do filme ocorreu uma variação no fluxo de oxigênio, isso permitiu melhorar o desempenho óptico da superfície.

Kontinen et al. (2003) realizaram um estudo do desenvolvimento de um processo mecânico para fabricação de superfícies seletivas. O substrato utilizado foi de alumínio devido as suas propriedades favoráveis para essa aplicação e ao relativo baixo custo. O revestimento era composto por alumina e carbono. Foram realizados diversos testes preliminares para verificar qual seria o melhor abrasivo a ser utilizado. O processo de maceração, inicialmente, era feito de forma manual, posteriormente, foi mecanizado. Após a maceração, o pó era submetido a um banho de ácido composto por permanganato de potássio (10 g/l), nitrato de cobre (25 g/l) e ácido nítrico (4 ml/l). A superfície foi caracterizada através de EDS (*Electron Microprobe Analysis*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*) e para as propriedades ópticas de absorvância e emitância foi utilizado um espectrorradiômetro e

espectroscopia FTIR (*Fourier Transform Infrared*), respectivamente. Os resultados para absorvância e emitância foram de 0,95 e 0,25, respectivamente.

Katzen et al. (2005) realizaram estudos experimentais em silício-carbono dissolvido em meio aquoso e depositado, por *spin-coating*, em um substrato de vidro com diferentes espessuras, passando, posteriormente, por um tratamento térmico. O objetivo era avaliar a emissividade e a absorvância das superfícies, e os melhores resultados foram encontrados para filmes com espessura de 1000nm, que apresentaram absorvância de 0,94 e emissividade de 0,15. Barshilia, Selvakumar e Rajam (2007) trabalharam com *TiAlN/TiAlON/Si₃N₄* na produção de superfícies seletivas, possuindo as duas primeiras camadas características absorvedoras, e a terceira atuou como uma camada anti-reflexiva. Através da técnica de deposição conhecida como *magnetron sputtering* reativo DC, aplicou-se a superfície multicamada em quatro substratos diferentes: aço inoxidável, níquel, cobre e MRNimonic. Com a referida disposição em camadas, obtiveram-se baixa emissividade térmica e alta absorvância no visível das superfícies seletivas. Dentre as diferentes aplicações das multicamadas, a que propiciou melhores resultados alcançou, a uma temperatura de 82°C, absorvância de 0,958 e emitância de 0,07, para deposição em substrato de cobre. Concluiu-se que o gradiente de refração gerado (valor máximo no substrato, decaindo gradativamente até a camada mais externa) contribuiu para o aumento da absorvância.

Vieira (2011) utilizou-se da técnica de *screen printing* na obtenção de novas superfícies seletivas à base de cromo, ferro e titânio. Essas superfícies foram comparadas com as superfícies comerciais existentes e caracterizadas através de espectroscopia Raman e Infravermelho. Ele obteve valores de absorvância em torno de 0,79 para sua célula de CRFO e, para sua célula de FCTO, em torno de 0,74, ambos bem próximo aos das células obtidas por *Katzen et al.* (2005), que, para um filme de silício-carbono, obtiveram um valor de absorvância de 0,84.

Madhukeshwara, N *et al* (2012) realizou um estudo das características de desempenho de um coletor solar de placa plana utilizando três diferentes superfícies seletivas, *solchrome*, *matt black* e *black chrome*. Em sua conclusão ele ressaltou que a escolha do material da superfície seletiva influencia diretamente no desempenho do coletor solar; que das superfícies utilizadas a que gerou uma maior eficiência, e conseqüentemente, maior

temperatura, foi a de *black chrome*; e que os melhores resultados foram obtidos nos testes nos quais as placas ficaram posicionadas sob um ângulo de 30°.

Selvakumar et al. (2013) trabalharam com CrMoN(H)/CrMoN(L)/CrON na produção de superfícies seletivas, utilizando a técnica de deposição *magnetron sputtering* reativo DC. Para trabalhos a baixas temperaturas, utilizaram-se as superfícies aplicadas em substrato de alumínio, e, a médias temperaturas, o substrato de aço inoxidável. Para o CrMoN, a variação do fluxo de nitrogênio deu origem a duas camadas distintas: CrMoN(H) (*high metal content*) e CrMoN(L) (*low metal content*). Para uma temperatura de 82°C, as camadas de CrMoN/CrON atingiram valores de absorvância de 0,90 e de emitância de 0,08, quando aplicadas sobre substrato de alumínio. Já com trabalhos a médias temperaturas, valores de absorvância de 0,92 e de emitância de 0,13 foram obtidos com as superfícies multicamadas aplicadas sobre aço inoxidável. Dentre as camadas utilizadas, a que mais contribuiu para o aumento da absorvância, de acordo com a técnica de caracterização conhecida por elipsometria, foi a de CrMoN(H).

Rodrigues (2014) propôs a obtenção de uma superfície seletiva para coletores térmicos através de um material que é resíduo da indústria de granito. Três superfícies foram testadas e comparadas entre si, uma das superfícies corresponde a superfície comercial utilizada atualmente conhecida como TiNOX, as outras duas eram variações de superfícies a base de pó de granito se diferenciando pelo uso de granito puro ou granito acrescido de CRFO (Cr_{0,75}Fe_{1,25}O₃). Os resultados mostraram que a superfície obtida a partir do granito possuía um valor de temperatura média superior ao da superfície TiNOX, sendo esse valor de 119°C contra os 101 °C da superfície comercial.

Sena (2016) testou o Líquido da Casca da Castanha de Caju (LCC) como uma superfície seletiva de coletores solares de placas planas. O LCC utilizado foi tanto o natural quanto o teórico. Foram testados três tipos de ligantes (catalisador de amina, HCl e boro bismuto) e seus resultados comparados. Os dois métodos de deposição utilizados foram o *screen painting* e *spin coating*, afim de obter uma superfície a mais homogênea possível. Os resultados mostraram que o LCC técnico foi o composto que apresentou melhores valores de absorvância.

Medeiros (2016) avaliou o potencial de uso da Cinza do Bagaço da Cana – de – Açúcar (CBC) como matéria-prima para produção de filmes absorvedores solares, através da utilização de duas técnicas de deposição (Sol-Gel, Pintura) em três tipos de substratos (vidro,

cobre, aço inoxidável). O melhor resultado obtido pelos filmes apresentou pico e média de absorção de, respectivamente, 88% e 65%. Essa superfície foi obtida a partir da CBC.5.250 diluída em 10 g de H_2O depositada pela técnica de Pintura sobre o substrato de vidro.

Araújo *et al.* (2019) obteve superfícies seletivas a base de pó de granito e óxido de titânio para aplicações em coletores térmicos. Foram realizados teste em campo em 5 superfícies, com variações proporcionais de granito e óxido de titânio. O autor apresentou como resultado uma eficiência de 23,3 para a superfície seletiva formada por 50% de granito e 50% de óxido de titânio. Foram realizadas comparações com superfícies comerciais.

Araújo *et al.* (2021) obteve e analisou cinco superfícies seletivas para aplicação em coletores solares planos de baixo custo, utilizando resíduos da indústria do granito. As cinco superfícies diferentes, variando o percentual em peso são: 100% pó de granito, 75% pó de granito + 25% óxido de titânio, 50% pó de granito + 50% óxido de titânio, 25% pó de granito + 75% óxido de titânio e 100% titânio óxido. A eficiência das superfícies foi determinada pela razão da absorvidade através da emissividade, assim como a marca MRTiNOX. Uma eficiência de 23,58 foi obtida para isso, enquanto para a superfície 50% granito - 50% titânio foi calculado o valor de 23,30 (mais próximo da marca).

Dutra *et al.* (2022) obteve e analisou uma superfície seletiva para aplicações em coletores solares térmicos, utilizando CRFO (composto formado por óxidos de cromo e ferro), variando a porcentagem em peso, e então misturado com óxido de alumínio. Algumas caracterizações foram realizadas, tais como: técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise de infravermelho e determinação de absorvidade UV-VIS, bem como os gráficos com temperaturas de superfície e com radiação durante os testes ao sol para o composto (CRFO e óxido de alumínio) e para a superfície comercial (MRTiNOX). Com os resultados obtidos, verificou-se no teste de campo que uma das superfícies seletivas produzidas obteve um resultado de absorvidade de 0,94 e 0,0349 de emissividade, próximo ao da superfície comercial. Os resultados foram confirmados na caracterização por UV-VIS, que apresentou altos valores de absorvidade na faixa de luz visível.

2.2 Superfícies Seletivas

O conceito de superfície seletiva propriamente dito surgiu em 1955 quando H. Tabor o utilizou em sua superfície de níquel negro formada por NiS e ZnS produzida por

meio do método de eletrodeposição. Na época, essa era a superfície utilizada comercialmente em aquecedores de água de diversos países (SENA, 2016).

As pesquisas têm mostrado um interesse crescente por esse assunto, mais precisamente, pelos métodos de obtenção das superfícies seletivas objetivando, principalmente, a sua melhor eficiência e redução nos custos de fabricação. As superfícies produzidas em laboratórios são as que mais apresentam resultados favoráveis ao avanço tanto das técnicas quanto dos materiais empregados, além de possuírem uma melhor seletividade tornando-as mais viáveis para produção e comercialização em coletores solares.

Independente da superfície seletiva e do método empregado para produzi-las, existem características básicas que devem ser garantidas para que a superfície tenha sua aplicabilidade válida. Dentre essas características, podemos destacar: alta absortividade e baixa emitância, possuir estabilidade durante um longo período na temperatura de operação, suportar um superaquecimento, ser o mais estável e “imune” possível contra corrosões atmosféricas e possuir baixo custo. O aspecto econômico deve ser considerado, pois, atualmente, o que eleva o custo em coletores solares é o revestimento utilizado, visto que este é importado. Com as pesquisas e a descoberta de mais materiais que podem ser utilizados é possível trilhar um caminho para que o custo seja reduzido e o produto se torne mais acessível.

Quanto a eficiência das superfícies seletivas, ela é comumente analisada em função da seletividade, parâmetro definido com a razão entre a absorptância (α) na faixa do visível e a emitância (ε) na faixa do infravermelho (KENNEDY, 2002).

$$Seletividade(s) = \frac{\alpha}{\varepsilon} \quad (1)$$

Uma superfície seletiva para aplicação térmica deve apresentar o fator de seletividade maior que 5,67; ademais, é necessário que a absorptância solar seja maior que 85% e a emitância térmica menor que 15%. Quando o fator de seletividade for maior que 10 a superfície é considerada altamente seletiva (KRENZINGER, 1979; XIAO et al., 2011). Somado a isso, deve ser estável na temperatura de operação, ter alta durabilidade e baixo custo.

Um dos obstáculos que dificultam a produção de superfícies seletivas é a necessidade dessa baixa emitância, que leva à fabricação de superfícies seletivas com

configurações complexas e sujeitas a degradação na temperatura de operação (MIHELICIC *et al.*, 2015; ZHENG *et al.*, 2013).

Segundo Granqvist (1991) podemos classificar as superfícies seletivas em seis categorias: Pares semicondutor-metal, revestimentos transparentes em substratos absorvedores, revestimentos com materiais compósitos, absorvedores multicamadas, intrínsecos, superfícies texturizadas rugosas.

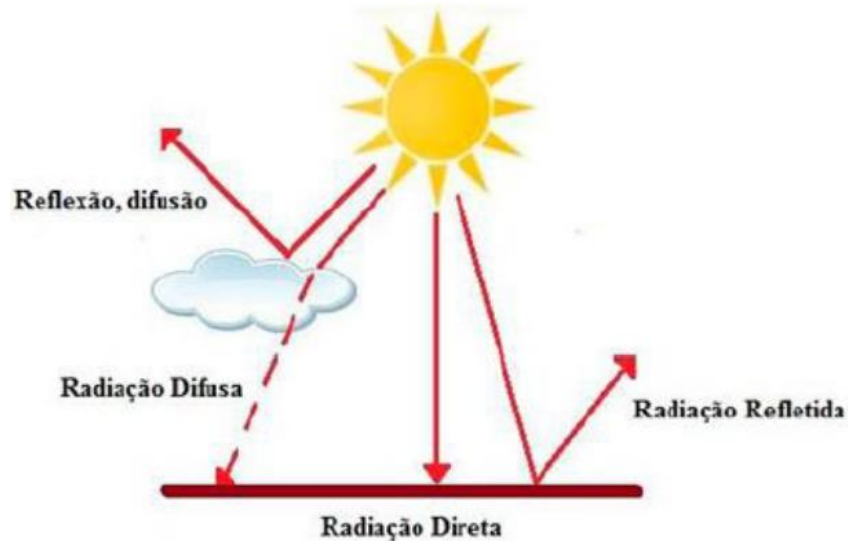
1. Pares semicondutores-metal: trata-se de superfícies seletivas com alto índice de refração (motivo pelo qual geralmente são empregados com uma camada antireflexiva por cima), em que um semicondutor absorve radiação solar em pequenos comprimentos de onda. Os fótons devem possuir energia superior ao *gap* do semicondutor para promover a ida dos elétrons à banda de condução.
2. Revestimentos transparentes em substratos absorvedores: superfícies, usadas para trabalhos a baixas temperaturas, que permitem a transmissão da radiação solar através do revestimento e sua absorção pelo substrato, que absorve como um corpo negro. A radiação infravermelha emitida pelo substrato é refletida pelo revestimento transparente (RODRIGUES, 2014).
3. Revestimentos com materiais compósitos: são superfícies que podem ser depositadas em substratos metálicos para se aumentar a seletividade. Os revestimentos com materiais compósitos, geralmente, são feitos de cermet (partículas de metal em uma matriz cerâmica ou vice-versa). As propriedades dos cermets podem ser determinadas através da escolha da matriz cerâmica, do tamanho, da forma, da densidade, da orientação das partículas metálicas e da espessura do revestimento (GRANQVIST, 1991).
4. Absorvedores multicamadas: estas superfícies funcionam através das interferências entre diferentes camadas formadas por materiais distintos. Dois exemplos são o composto de $Al_2O_3-Mo - Al_2O_3 - Mo - Al_2O_3-Mo - Al_2O_3$, com absorbância e emitância de até 0,91 e 0,85, respectivamente, e o composto $MgF_2 - Mo - MgF_2 - Mo - MgF_2$, que pode alcançar uma absorbância de 0,89 e uma emitância de 0,75, ambos a uma temperatura de 260 °C (SHIMIDT E PARK, 1965)

5. Intrínsecos: são materiais que possuem seletividade naturalmente, sem a necessidade de processamentos em laboratório. Como exemplos, tem-se alguns carbetos, boretos e silicetos. Todavia, mesmo o melhor desses materiais não possui uma excelente seletividade. De acordo com Randich e Pettit (1981), o ZrB_2 , por exemplo, destaca-se pela sua alta absorbância solar de 0,77, enquanto sua emitância é de apenas 0,08. Em contrapartida, materiais obtidos em laboratório chegam a atingir absorbância de 0,96 (MADHUKESHWARA, 2012).
6. Superfícies rugosas: estas superfícies também podem ter características seletivas, sendo baseadas na geometria, na porosidade ou em pequenas estruturas que parecem ásperas aos pequenos comprimentos de ondas, e lisas aos grandes comprimentos de ondas da radiação solar, conhecidas como estruturas dendríticas (RODRIGUES, 2014).

2.3 Radiação Solar

A radiação solar é uma variável de fundamental importância em estudos climáticos e projetos que tenham como objetivo o aproveitamento da energia solar. O valor da radiação solar medida fora da atmosfera terrestre em uma superfície perpendicular ao raio incidente é assumido com uma constante igual a 1367 W/m^2 . Entretanto, ao atravessar a atmosfera, sofre dispersão, reflexão e outros fenômenos. Diferentemente dos raios solares extraterrestres que são paralelos, os raios terrestres possuem duas componentes, que são apresentadas na Figura 2: a direta e a difusa.

Figura 2 – Radiação Solar atravessando a atmosfera



Fonte: Focusola, 2015.

A radiação solar direta é a parte mais importante para a geração solar térmica, onde não há reflexões, ou seja, é a parte recebida diretamente do sol. É muito variável ao longo do dia, devido às condições atmosféricas. Já a radiação difusa é dispersa e atenuada pela reflexão nos componentes atmosféricos, tais como: nuvens, poeira, vapor d'água e outros. A radiação global é, então, a soma das duas componentes, ou seja,

$$E_g = E_r + E_f \quad (2)$$

Onde, E_g é a radiação global, E_r é a radiação direta e E_f é a radiação difusa.

A medição dos dados solares tem como objetivo a obtenção experimental do valor instantâneo da irradiância ou irradiação ao longo do tempo (minuto, hora, dia ou ano). São utilizados, comumente, dois instrumentos para medição da radiação solar: o piranômetro e o pireliômetro. No geral, o piranômetro mede a irradiância global e o pireliômetro mede a irradiância direta com incidência normal a superfície.

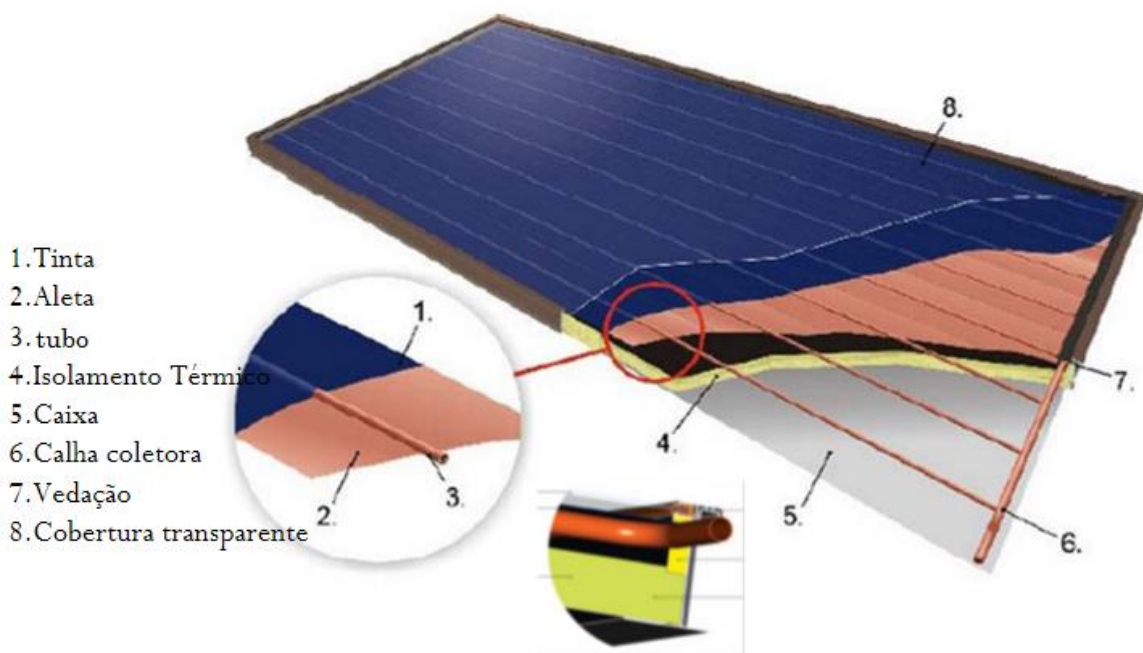
2.4 Coletores Solares Planos

O coletor solar de placa plana é um tipo especial de trocador de calor que transforma a radiação solar em energia térmica. Podem ser projetados para aplicações que exigem o fornecimento de energia a temperaturas moderadas, em torno de 100°C acima da

temperatura ambiente. Além de absorver tanto a radiação solar direta quanto difusa, não necessitam de acompanhamento do sol, e exigem pouca manutenção (DUFFIE & BECKMAN, 2013).

O coletor solar placa plana, apresentado na Figura 3, possui basicamente quatro componentes principais: cobertura transparente, placa absorvedora, isolamento térmico e a estrutura de suporte.

Figura 3 – Coletor Solar de Placa Plana



Fonte: Studio Equinócio, 2015.

A placa absorvedora ou aleta, geralmente pintada de preto na superfície exposta a radiação solar, é responsável pela absorção da radiação solar incidente e transmissão do calor para o fluido de trabalho.

Na cobertura transparente normalmente é utilizado vidro para cobrir o coletor e evitar a maior parte das perdas por convecção, além do que produz um efeito de estufa dentro do coletor. O vidro reflete parte da radiação térmica proveniente da placa absorvedora.

O isolamento térmico é responsável por reduzir as perdas de calor para o ambiente. Para coletores com uma maior eficiência, que possuem superfície seletiva, normalmente são usadas mantas de lã de vidro ou lã de rocha, capazes de suportar temperaturas de 300°C e 500°C, respectivamente.

O suporte do coletor ou caixa é a parte responsável por suportar e proteger os componentes que compõem o coletor solar, e pode ser feita de plástico, metal ou madeira.

2.5 Líquido da Casca da Castanha do Caju (LCC)

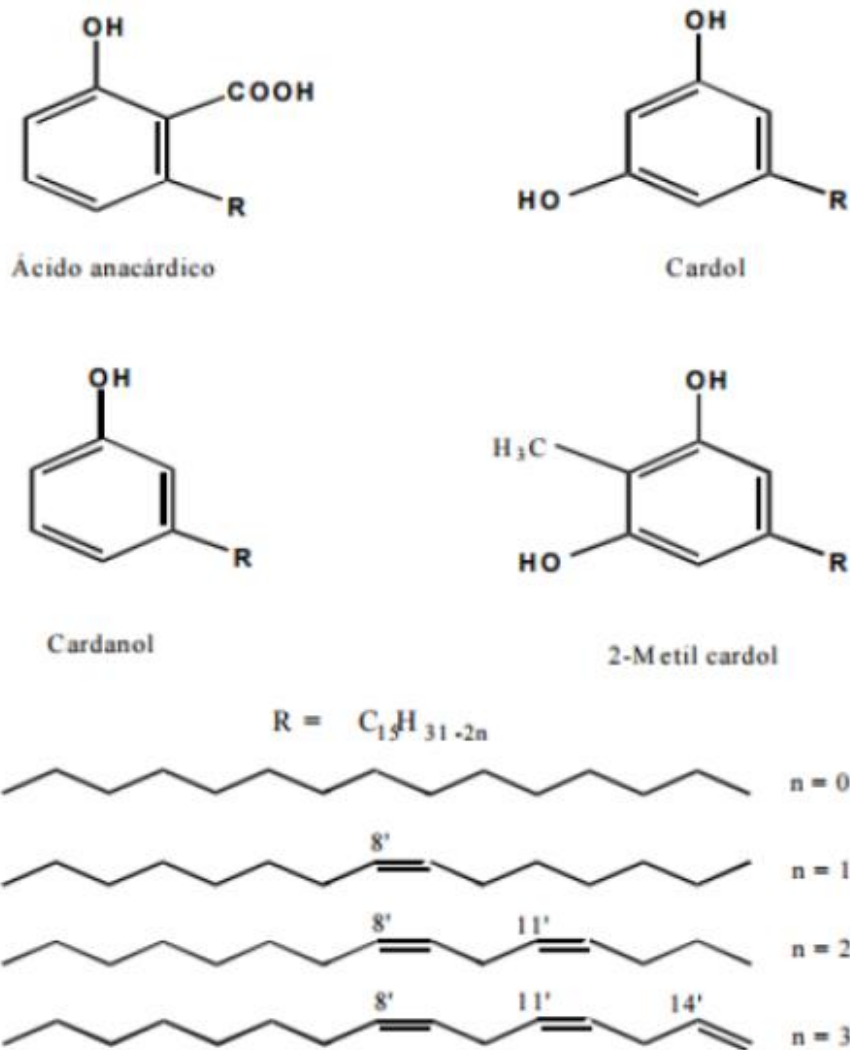
O cajueiro é uma árvore nativa da América do Sul e que foi difundida pelo mundo todo. Ele, durante séculos, vem sendo utilizado das mais diversas formas: como planta com poderes analgésicos, no combate a problemas intestinais, higiene bucal, bronquite, sarna, doenças de pele, dentre outras. Praticamente tudo se aproveita do cajueiro (SENA, 2016).

O agronegócio do caju é bastante intenso no Brasil, especialmente no estado do Ceará que concentra oito das doze empresas do país e detém 70% da capacidade instalada na região Nordeste. Essas empresas brasileiras juntas processam cerca de 360 mil toneladas/ano de castanha de caju que geram cerca de 45 mil toneladas de LCC/ano (Idem).

O LCC representa aproximadamente um terço do peso total da castanha de caju, (BASSETT; BREYTA; HONNIG, 2019) obtido do *Anacardium occidentale*, popularmente conhecido como cajueiro. Apesar de ser um subproduto do agronegócio, o LCC é uma fonte de origem natural rica em lipídios fenólicos não isoprenóides (MOREIRA; SILVA; MENDES, 2018). O LCC - óleo marrom extraído do processamento de castanha de caju - compõe 18% dos 27% do peso total do aqueno e possui baixo valor agregado (BALACHANDRAN; JADHAV; VEMULA, 2013)

O principal componente do LCC é o ácido anacárdico (ácido 3-n-pentadecilsalicílico), um composto aromático com uma cadeia alquílica longa e insaturada, presente em 80-90%, enquanto o cardol (3-n-pentadecilresorcinol), o cardanol (3-n-pentadecilfenol) e o metilcardol (2-metil-5-n-pentadecilresorcinol) estão presentes em menores quantidades. A Figura 4 apresenta as estruturas dos principais componentes do LCC (RODRIGUES, 2006).

Figura 4 – Estrutura dos principais componentes do LCC



Fonte: Rodrigues, 2006.

O LCC encontra muitas aplicações industriais, tais como: formação de resinas fenol – formaldeído, resina epóxi, resinas alquídicas, resinas trocadores de íons, ceras antioxidantes, elastômeros, agregantes, adesivos, dentre outras. Algumas tintas e vernizes desenvolvidos a partir do LCC apresentam propriedades superiores às convencionais desenvolvidas a partir de óleos e resinas sintéticas. Porém, em virtude de sua cor escura, o LCC é usado exclusivamente para a fabricação de tintas escuras e esmaltes pretos, incluindo preparação para anticorrosão de esmaltes pretos e vernizes marinho.

O Líquido da casca da Castanha de Caju apresenta características químicas e físico-químicas peculiares, que são atribuídas principalmente às duplas ligações presentes na cadeia lateral e ao anel fenólico (LINO, 2022). Estas características juntas não são obtidas

facilmente em laboratório e por isso o LCC é um dos compostos naturais de maior funcionalidade. Apresenta ótima estabilidade, permanecendo líquido mesmo em temperaturas muito baixas e tem boa estabilidade térmica.

O LCC pode ser classificado como técnico ou natural, dependendo do modo de extração do líquido de caju. O LCC técnico é obtido através do processo de extração que envolve o aquecimento das amêndoas a uma temperatura de 180-200 °C. Quando o ácido anacárdico é submetido a altas temperaturas, sofre uma reação de descarboxilação e é convertido em cardanol, produzindo o LCC técnico (GUISSENI; SILVA; GERIS, 2013). O LCC técnico contém principalmente cardanol (60-65%) (COSTA; VIVEIROS; JUNOR, 2019), cardol (15-20%), material polimérico (10%) e vestígios de metilcardol. O LCC natural, por sua vez, é extraído por meio de solventes e prensas e constitui ácido anacárdico (60-65%), cardol (15-20%), cardanol (10%) e traços de metilcardol.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivos Gerais

Obter, analisar e testar superfícies seletivas para aplicações em coletores solares de placa plana usando o líquido da casca da castanha do caju. O objetivo é obter uma superfície semelhante ou superior às superfícies seletivas já existentes no mercado, reduzindo os custos e o tempo de fabricação, além disso seria dado um destino mais adequado ao LCC, visto que é um produto regional e de baixo custo que seria descartado pelas empresas.

3.2 Objetivos Específicos

- Obter superfície seletivas com diferentes materiais e diferentes proporções: somente LCC técnico, somente LCC natural, LCC técnico + LCC natural (nas proporções em peso de (75% – 25%, 50% – 50% e 25% – 75%).
- Verificar a estrutura morfológica e a composição química das superfícies seletivas sintetizadas, através da utilização de microscópio de varredura eletrônica (MEV) assistido por microsonda EDX.
- Construir uma bancada de testes, a fim de realizar medições para levantamento de propriedades seletivas das novas superfícies desenvolvidas, comparando-as com a de MRTiNOX, já disponíveis comercialmente;
- Determinar as absorvâncias pelo UV-VIS, ressaltando os resultados obtidos para a faixa de luz visível (aproximadamente 400nm a 750nm);
- Empregar a análise de infravermelho para verificar a formação ou não de novos compostos após o aquecimento das superfícies seletivas nos fornos, na fase de fixação das mesmas ao substrato de cobre;
- Realizar ensaios de fotodegradação com as superfícies seletivas produzidas e com a de MRTiNOX, a fim de simular os efeitos de radiação e de umidade a que estariam submetidas nos coletores solares, comparando-se os resultados obtidos para cada uma delas.

4. CARACTERIZAÇÃO DAS SUPERFÍCIES SELETIVAS

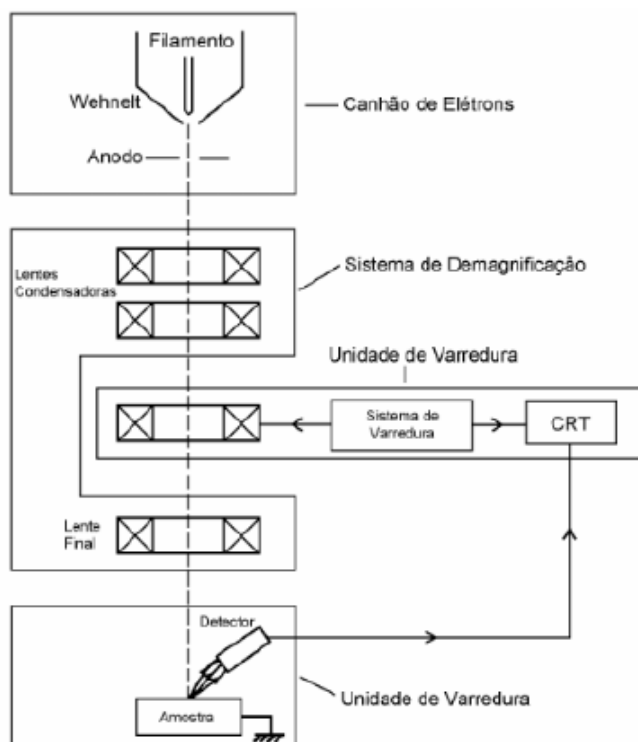
Para estudar o comportamento das superfícies seletivas produzidas, além dos testes de desempenho das superfícies seletivas na bancada de teste em condições ambientais reais, com medições de temperatura, absorvância e emitância; foi necessário também caracterizá-las. Os métodos de caracterização utilizados foram: Microscopia eletrônica, espectroscopia UV-VIS, espectroscopia de infravermelho e ensaio de fotodegradação. Neste tópico, é descrito de forma detalhada as caracterizações realizadas.

4.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O microscópio eletrônico de varredura é um dos equipamentos mais utilizado para análise microestrutural de diversos materiais. É especialmente utilizado para realizar análises morfológicas de superfícies de particulados, polímeros, composto inorgânicos e orgânico, possibilitando análises de superfície fraturada, análise de falhas, permitindo também avaliar o tamanho de partículas, estrutura e forma (COSTA, 2016).

O MEV é composto por uma coluna óptica-eletrônica (canhão de elétrons) a uma câmara com porta – amostra, sistema eletrônico, detectores e sistema de vácuo, conforme apresentada na Figura 5 (COSTA, 2016). De forma geral, o princípio de funcionamento da técnica do MEV, embasa-se na utilização de um feixe de elétrons, produzido a partir de um filamento ou cristal, que tem como objetivo analisar toda a superfície da amostra, e transmitir o sinal do detector a uma tela catódica, no qual a varredura está perfeitamente sincronizada com aquela do feixe incidente (BOZOLLA, 1999).

Figura 5 - Representação esquemática dos componentes do MEV



Fonte: Maliska, 2016.

De acordo com Dedavid, Gomes e Machado (2007), é possível obter imagens tridimensionais das amostras, permitindo a análise em pequenos aumentos e com grandes profundidades no foco. Além disso, segundo Bragança e Bergmann (2004), o MEV é um equipamento com alta capacidade de resolução, através do qual é possível obter imagens com ótima nitidez. A utilização do microscópio eletrônico de varredura com microsonda EDX (*Energy Dispersive X-ray*) é bastante útil na investigação de microestruturas, permitindo uma análise química elementar pontual.

4.2 Espectroscopia UV-VIS

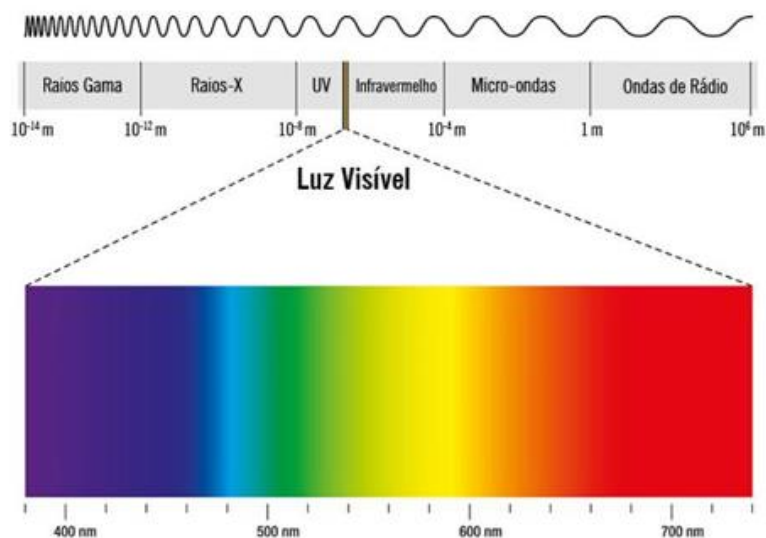
A espectroscopia de absorção na região do visível é uma técnica bastante utilizada na caracterização de diversos compostos, sejam eles inorgânicos, orgânicos ou biológicos (SKOOG, HOLLER E NIEMAN, 2002).

Como um composto pode interagir de várias formas com diferentes comprimentos de onda de radiação, então a técnica de espectroscopia UV-VIS analisa as interações da radiação eletromagnética com o material, com a finalidade de captar

informações sobre sua composição química, podendo se manifestar através de fenômenos como absorção, reflexão, transmissão, difração, refração e espalhamento das ondas.

De forma operacional, o ensaio baseia-se em expor a amostra a radiações emitidas por uma lâmpada que emite comprimentos de ondas (λ) que pertençam ao espectro visível e ao espectro ultravioleta, com comprimento de onda na faixa 200 nm a 900 nm . Após ser emitida pela lâmpada, a radiação passa por um monocromador, e em seguida, incide na amostra, que é posicionada no caminho óptico do equipamento, entre o monocromador e o detector, podendo identificar nesse último quais comprimentos de ondas foram absorvidos durante o ensaio, buscando as informações necessárias para que os resultados da análise sejam gerados. O resultado do ensaio consiste em um espectro que indica os comprimentos de ondas absorvidos e a intensidade da absorção em cada comprimento de onda. A Figura 6 apresenta o espectro eletromagnético, no qual apresenta sete regiões distintas: raios gama, raio-X, ultravioleta, luz visível, infravermelho, micro-ondas e ondas de rádio.

Figura 6 – Espectro eletromagnético



Fonte: Toda matéria, 2018.

4.3 Espectroscopia de Infravermelho

A Espectroscopia de Infravermelho é uma técnica de muita importância na análise química qualitativa, sendo muito utilizada nas áreas da química de produtos naturais, síntese e transformação orgânica. A Espectroscopia de infravermelho é um tipo de

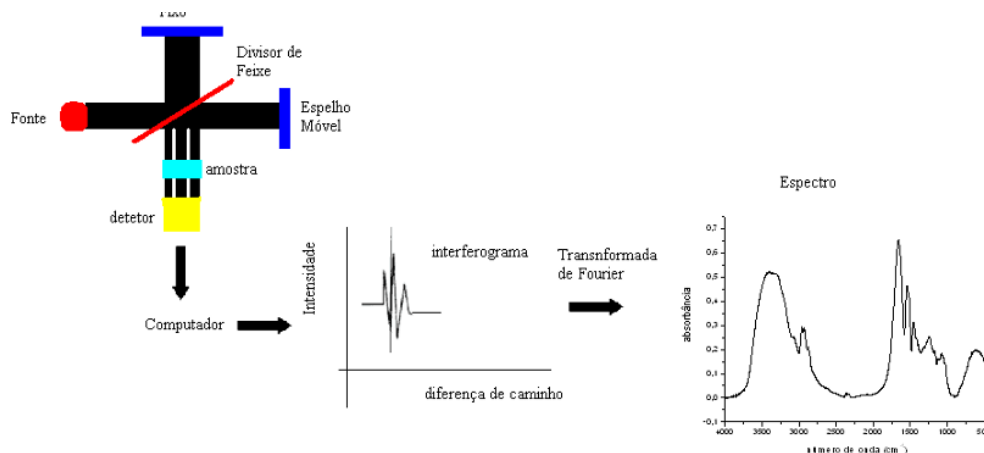
espectroscopia de absorção que usa a região do infravermelho do espectro eletromagnético. Essa técnica pode ser utilizada para identificar um composto ou investigar a composição de uma amostra (MARIN, 2013). A técnica espectroscopia de infravermelho se destaca pela facilidade de preparação da amostra; a possibilidade do uso de amostras em filmes sólidos, amostras líquidas e gasosas; o custo, o tamanho e a versatilidade do equipamento (QUÍMICA, 2003).

O Instrumento que obtém o espectro de absorção no infravermelho de um composto é chamado de espectrômetro de infravermelho. Os mais utilizados em laboratórios químicos são: Espectrômetros de infravermelho dispersivos e Espectrômetros de infravermelho de Transformada de Fourier. Ambos oferecem espectros de compostos em uma faixa comum de 4.000 a 400 cm^{-1} . Embora, os dois espectrômetros produzirem espectros idênticos para um composto qualquer, o Espectrômetros de infravermelho de Transformada de Fourier produzem o espectro muito mais rapidamente do que os instrumentos dispersivos.

O espectrômetro de infravermelho de Transformada de Fourier (FTIR) utilizam o interferômetro de Michelson. O sinal é um interferograma, -variação da amplitude da luz absorvida ou transmitida em função da varredura do espelho móvel. O interferômetro de Michelson, apresentado na Figura 7, é um arranjo que possibilita dividir um feixe de radiação, em dois e, então, recombina-los de forma que as variações de intensidade do feixe de saída podem ser medidas por um detector como função da diferença de trajeto entre dois feixes.

O modelo consiste de dois espelhos planos perpendiculares, sendo um fixo, e outro movido a velocidade constante. Entre os dois espelhos há um divisor de feixe, onde a radiação da fonte externa pode ser parcialmente refletida no espelho fixo e parcialmente transmitida ao espelho móvel. Os feixes então retornam ao divisor de feixe, passam pela amostra e finalmente chegam ao detector. O interferograma resultante é digitalizado e transferido para um microcomputador. Com a transformada de Fourier desse sinal obtém-se o espectro de infravermelho, em absorbância/transmitância por número de ondas, similar aos obtidos em aparelhos dispersivos.

Figura 7 - Representação esquemática do interferômetro de Michelson



Fonte: Embrapa, 2010.

4.4 Ensaio de Fotodegradação

O Sol é a maior fonte de energia radiante na superfície terrestre. Ela fornece aquecimento, luz radiante (luz visível luz ultravioleta) e outras formas de energia, como: raios-X e raios gamas. As diversas formas de radiação eletromagnética podem ser classificadas em função dos seus comprimentos de onda (λ) e sua frequência (f), conforme mostrada na Figura 6.

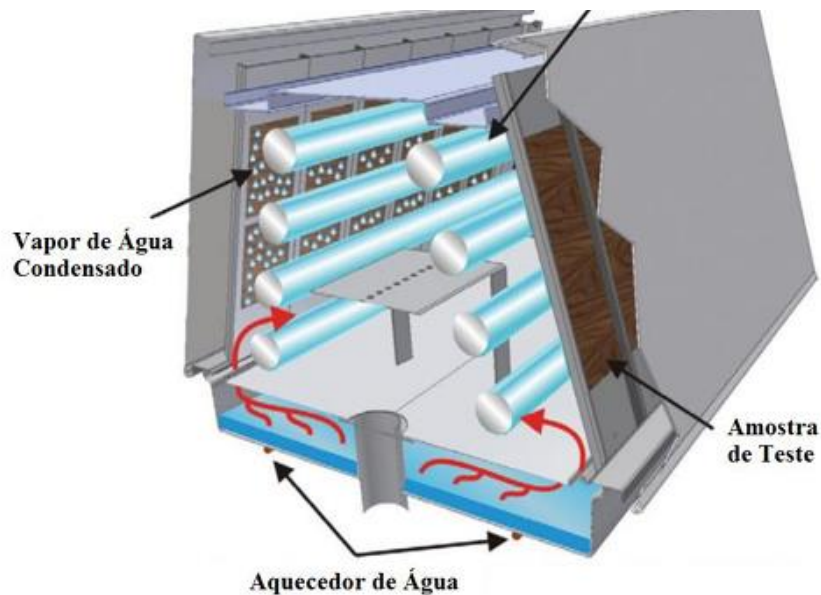
A radiação ultravioleta tem um comprimento de onda variando entre 280 *nm* e 400 *nm*, representando, aproximadamente 5% do espectro solar sendo a principal responsável pela fotodegradação que ocorre em materiais. A fotodegradação está associada à oxidação da cadeia macromolecular nos sítios mais suscetíveis ao ataque pelas radiações. Contudo, a radiação UV, em face de sua baixa energia, influencia, apenas a região superficial dos materiais, pois tem uma penetração muito pequena, da ordem de micrometros (MIGUEZ, 2017).

O ensaio de fotodegradação simula condições similares à exposição à radiação ultravioleta através de câmaras com lâmpadas fluorescentes UV, operando a ensaios conhecidos como “teste de envelhecimento”. O ensaio simula os efeitos ocasionados pela radiação solar, capaz de investigar os danos ao corpo de prova em estudo, tais como: fragilização, mudança de cor, trincas, oxidação. De acordo com (TORK, 2018), a radiação UV é capaz de degradar os materiais expostos ao ar livre, conseqüentemente, alterando as propriedades físicas e mecânicas dos elementos, devido à quebra das ligações moleculares.

A umidade é outro parâmetro o qual o material estaria exposto no ensaio de fotodegradação. Como a presença de água propicia o surgimento de agentes oxidantes – oxigênio atômico e o ozônio-, então os efeitos da radiação ultravioleta seriam intensificados.

Dessa maneira, o ensaio de fotodegradação é importante porque é possível realizar uma simulação, adequando o ensaio aos diferentes locais em que os testes poderiam ser feitos. Além do que, o período de exposição e os ciclos vão depender do tipo de material a ser estudado juntamente com a condições climáticas do local. A Figura 8 apresenta um exemplo de câmara de fotoenvelhecimento e suas principais componentes.

Figura 08 - Câmara de fotoenvelhecimento



Fonte: Adaptado de TORK, 2018.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, foram descritos os procedimentos e os materiais utilizados para fabricação das superfícies seletivas e da bancada de testes para comparação das superfícies seletivas utilizando o LCC e a superfície comercial (MRTiNOX).

5.1 Extração do LCC Natural

Para extração do LCC natural utilizadas nesse estudo, as castanhas de caju foram primeiramente biseccionadas e, em seguida, as amêndoas foram removidas. As cascas (150 g) foram imersas em um becker de 2 litros contendo 500 ml de hexano. Após a filtração, o extrato foi concentrado num rotaevaporador, e aquecido a 75 °C durante 2 horas. Obtendo-se uma massa final de LCC natural de 75 ml.

5.2 Preparação da Superfície

No presente trabalho, utilizou-se o LCC natural e o LCC técnico de forma separada. Como o LCC é um material viscoso, fez-se necessário adicionar tanto no LCC natural como no LCC técnico o fundente B₂O₃/Bi₂O₃ (uma mistura de Boro-Bismuto, na proporção 1:1) para melhorar a aderência da mistura no substrato de cobre. O ácido sulfúrico (H₂SO₄) também foi adicionado como catalisador para uma melhor homogeneidade da superfície no substrato de cobre.

As composições de cada superfície seletiva produzida são apresentadas na Tabela 1.

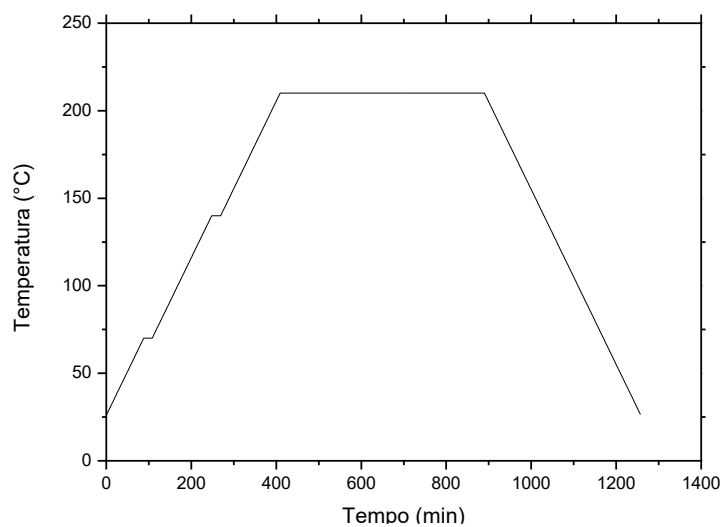
Tabela 1 – Composição das superfícies seletivas obtidas

Componentes	Superfície 1	Superfície 2	Superfície 3	Superfície 4	Superfície 5
LCC Técnico (%)	93	-	69,75	46,5	23,25
LCC Natural (%)	-	93	23,25	46,5	69,75
Fudente (%)	3	3	3	3	3
H ₂ SO ₄ (%)	4	4	4	4	4
Massa total (g)	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1

Fonte: Autor.

Após a obtenção dos compostos, a deposição foi feita sobre um substrato de cobre (placa de 5cm x 3cm, com cerca de 0,3mm de espessura), por meio do processo conhecido como *screen printing*, no qual uma espátula é utilizada para realizar a dispersão do composto sobre o substrato em um único sentido. Em seguida, as superfícies foram tratadas termicamente (sinterização) em um forno resistivo – seguindo a configuração mostrada na Figura 5 – com taxa de aquecimento de 0,5°C/min, de modo que o H_2SO_4 evaporou e, assim, o processo de sinterização foi completado. O resfriamento das superfícies ocorreu no interior do forno.

Figura 9 – Parâmetros de sinterização



Fonte: Autor.

Os parâmetros adotados tiveram de ser encontrados por meio de tentativas sucessivas, pois não havia bibliografia específica para configuração do forno resistivo com os materiais empregados neste trabalho. Alguns dos testes realizados para os parâmetros de sinterização investigados e que não deram certos estão apresentados na seção 6.1. Um dos principais problemas encontrados com a superfície seletiva, ao longo do período de ajuste de parâmetros, conforme pode ser visto na Figura 10, foi sua fragilização, culminando com a ruptura e conseqüente desprendimento do substrato de cobre.

Figura 10 – Fragilização da superfície seletiva



Fonte: Autor.

Após a obtenção dos parâmetros corretos para estas superfícies seletivas, os substratos podiam até ser dobrados, e nenhum efeito de desprendimento da superfície era percebido – o mesmo ocorre com as superfícies comerciais. A Figura 11 apresenta a superfície seletiva contendo LCC técnico seguindo os parâmetros de sinterização apresentado na Figura 5.

Figura 11 – Superfície Seletiva a base de LCC técnico



Fonte: Autor.

5.3 Bancada de Teste

Para a realização dos testes de campo, construiu-se uma bancada experimental com modelo estrutural de caixa de madeira muiracatiara de 2,5cm de espessura, com cobertura de vidro tipo float MRVivix incolor, temperado, 1m x 12.6cm e espessura de 4mm. A bancada foi dividida em nove compartimentos iguais, sendo coberta na parte inferior por peças retangulares de lã de vidro, 11,5cm x 8,5cm e espessura de 5cm. As placas de cobre com as superfícies seletivas depositadas, foram colocadas em cada um desses compartimentos acima do isolamento de lã de vidro para testes no sol. Na Figura 12, apresenta-se a bancada de teste em um dos dias de testes realizados com exposição à radiação solar.

Figura 12 – Bancada de Teste



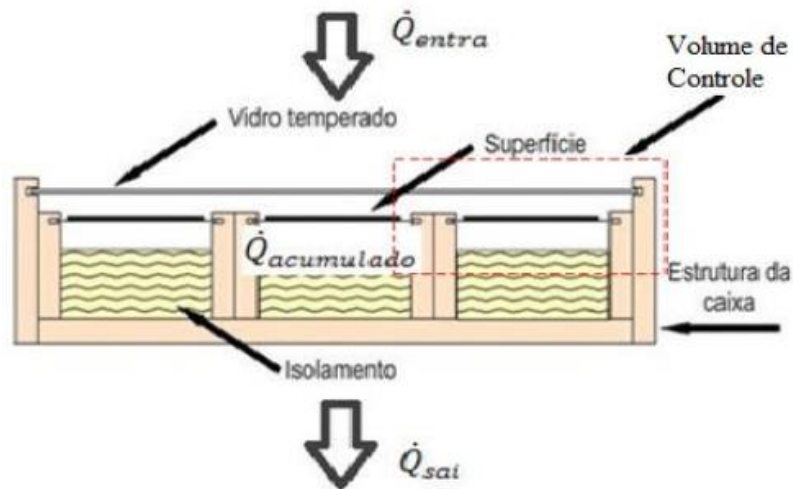
Fonte: Autor.

A bancada também foi composta por termopares do tipo “k”, – para medição das temperaturas das superfícies seletivas do ambiente, do vidro e do isolamento – de um Piranômetro Horizontal MREppley – para a medição da radiação solar – e de um datalogger da Ômega – para registrar e armazenar os dados de temperatura obtidos durante os testes.

5.3.1 Balanço de Energia da Bancada de Teste

O balanço de energia na bancada de teste é necessário para comparar o desempenho das superfícies seletivas. A Figura 13 mostra a representação do balanço de energia no aparato experimental.

Figura 13 – Representação do balanço de energia na bancada de teste



Fonte: Vieira, 2011.

A energia de entrada (Q_{entra}), Equação (3), poder ser contabilizada pela energia proveniente da radiação solar (Q_{sol}) menos as energias perdidas pela absorção realizada através da cobertura de vidro ($Q_{abvidro}$) e a reflexão energética na superfície seletiva (Q_{ref}). Dessa forma, está relacionado com a radiação solar transmitida através do vidro (R_{sol}), com a transmissividade do vidro (τ_v), com absorvidade da superfície seletiva (α_s) e com a área da placa (A_p).

$$Q_{entra} = Q_{sol} - Q_{abvidro} - Q_{ref} = R_{sol}\tau_v\alpha_sA_p \quad (3)$$

A energia de saída (Q_{sai}) está relacionada com as perdas térmicas através do coletor por convecção, condução e radiação térmica. Não há, nesse sistema, a perda através da convecção forçada por ação do vento devido à proteção do vidro. Portanto, existirá apenas convecção natural entre a superfície e a cobertura do vidro. Ressalta-se também que o calor refletido não deve entrar na contabilidade da energia de saída, visto que o mesmo já fora deduzido na Equação (3) e de fato não representa uma energia que transpassa pelo interior da superfície seletiva. A perda por convecção natural é dada pela Equação (4).

$$Q_{conv} = hA_p(T_p - T_{cg}) \quad (4)$$

onde h é o coeficiente de transferência de calor por convecção, T_p é a temperatura da placa e T_{cg} é a temperatura da cobertura de vidro.

A perda de energia por condução ocorre pelas paredes de madeira da bancada de teste e pelo isolamento térmico. A Equação (5) representa as perdas de energia por condução.

$$Q_{cond} = \left(\frac{K}{L}\right) A_p (T_p - T_b) \quad (5)$$

Onde: K é a condutividade térmica L é a espessura do isolamento e T_b é a temperatura próxima à parede externa da estrutura.

A perda por radiação é dada pela Equação (6).

$$Q_{rad} = \varepsilon A_p \sigma (T_p^4 - T_b^4) \quad (6)$$

Onde: ε é a emissividade da superfície seletiva e σ é a constante de Stefan-Boltzman ($\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$).

O balanço de energia para o volume de controle representado na Figura 9 é dado pela Equação (7).

$$Q_{acumulado} = Q_{entra} - Q_{sai} + Q_{transformado} \quad (7)$$

Onde, a taxa de calor transformado ($Q_{transformado}$) é nulo, pois não há geração de energia.

Tendo em vista que o coletor não esteve associado a um sistema de fluidos durante o tempo de exposição ao Sol, ou seja, funcionando em regime permanente, a taxa de calor acumulada é zero ($Q_{acumulado} = 0$). Portanto a Equação (7) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$Q_{entra} = Q_{sai} \quad (8)$$

Então, substituindo as Equações (3) à (6) na Equação (8) e adotando as considerações proposta, a equação do balanço de energia pode ser escrita como representada na Equação (9).

$$R_{sol} \tau_v \alpha_s A_p = h A_p (T_p - T_{cg}) + \varepsilon A_p \sigma (T_p^4 - T_b^4) + \left(\frac{K}{L}\right) A_p (T_p - T_b) \quad (9)$$

A partir da Equação (9) é possível calcular as propriedades de absorvidade e emissividade das superfícies seletivas com base nos dados obtidos nos testes em campo. Para isso, é necessário utilizar a Equação (10), que corresponde a energia útil ($Q_{\text{útil}}$) fornecida por um coletor solar ao fluido de trabalho (KALOGIROU, 2006).

$$Q_{\text{útil}} = A_p [R_{\text{sol}} \tau_v \alpha_s - U_l (T_p - T_a)] \quad (10)$$

Como não há o uso de fluido térmico, ou seja, toda energia absorvida é dissipada, dessa forma a energia útil apresentará valor nulo ($Q_{\text{útil}} = 0$). Desse modo, tem-se que toda energia absorvida pela superfície seletiva será dissipada no ambiente, de forma que, conhecendo-se os parâmetros de operação e as características da superfície seletiva, é possível calcular o coeficiente global de perda de calor através da Equação (11).

$$U_l = \frac{R_{\text{sol}} \tau_v \alpha_s}{(T_p - T_a)} \quad (11)$$

Portanto, é possível encontrar a absorvidade de uma superfície seletiva, através de um teste de sol, onde sejam medidas as temperaturas da superfície seletiva, temperatura do ambiente e radiação solar, deve-se conhecer também a transmissividade da cobertura de vidro e o coeficiente global de perda de calor. A perda de calor pode ser inferida de forma comparativa, utilizando-se uma superfície seletiva de parâmetros similares, mas de absorvidade conhecida, submetida as mesmas condições e parametrizações do teste das superfícies a serem analisadas. Conhecendo-se a absorvidade de uma superfície seletiva pode-se também obter sua emissividade.

5.4 Testes Realizados

Para caracterização e verificação do desempenho das novas superfícies seletivas obtidas, foram realizados os testes a seguir:

5.4.1 Microscopia de Varredura Eletrônica assistida por microsonda EDX

O objetivo da caracterização com o MEV assistida por microsonda de EDX é verificar a estrutura morfológica e identificar a composição química das seis superfícies

seletivas: 100% LCC Técnico, 100% LCC Natural, 25% LCC Técnico + 75% LCC Natural, 50% LCC Técnico + 50% LCC Natural, 75% LCC Técnico + 25% LCC Natural e a superfície comercial (MRTiNOX).

As análises foram realizadas na Central Analítica da UFC, no Campus do Pici. Para caracterização, foi necessário cortar o substrato com dimensões de 1 cm x 1 cm, e posteriormente a amostra passava por um processo de metalização, para recobri-las com ouro.

5.4.2 Ensaio de fotodegradação

O ensaio de fotodegradação foi realizado no laboratório de Pesquisa em Corrosão (LPC), do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, no Campus do Pici da UFC. O teste tem como objetivo comparar o tempo de vida útil das 6 superfícies seletivas: 100% LCC Técnico, 100% LCC Natural, 25% LCC Técnico + 75% LCC Natural, 50% LCC Técnico + 50% LCC Natural, 75% LCC Técnico + 25% LCC Natural e a superfície comercial (MRTiNOX).

A principal finalidade desse ensaio é simular as condições de uso dos materiais desenvolvidos em campo, acelerando sua interação com os fatores ambientais - temperatura, radiação e umidade. Portanto, não há um limite de tempo para realização desse ensaio, pois cada superfície seletiva comporta-se de uma maneira particular.

A norma que serviu como orientação para este ensaio foi a ABNT NBR 9512:2016, que se refere às condições de operação da câmara de foto-envelhecimento. Por meio dela, informações como quantidade de corpos de prova, assim como a forma correta de fixá-los, e como configurações iniciais do equipamento, por exemplo, são determinadas.

As condições do ciclo de intemperismo utilizadas foram as seguintes: 4h de exposição à condensação de água, a 50°C, e 8h de exposição à radiação UV-B, a 50°C. Essa configuração permitiu acelerar os efeitos fotoquímicos sobre as superfícies seletivas, reduzindo o tempo de operação do equipamento.

Foram preparados seis corpos de prova para cada amostra, em substratos de cobre de aproximadamente 5cm x 3cm de área. Ao todo, foram testadas 6 amostras, sendo 5 relativas às superfícies da Tabela 1 e outra referente à superfície comercial (MRTiNOX), totalizando 36 corpos de prova.

Todos os corpos de prova foram fixados em suportes adequados com superfície de ensaio paralela e a 50mm de distância do plano formado pelos pontos mais próximos das lâmpadas.

A operação deu-se de maneira ininterrupta, de segunda a sexta, sendo interrompida nos finais de semana, pois algum imprevisto, com possível princípio de incêndio, poderia resultar em consequências perigosas ao laboratório. Também havia uma pausa de aproximadamente trinta minutos, durante a semana, para fazer registros fotográficos dos corpos de prova, necessários para comparação das condições iniciais, intermediárias e finais das superfícies, bem como para realizar as manutenções necessárias na câmara.

5.4.3 Análise de Infravermelho

A análise de infravermelhos, com pastilhas de KBr, foi realizada no aparelho Shimadzu, IRTracer-100 modelo, na gama de 400 a 4.000 cm^{-1} , com a finalidade de determinar se todos os compósitos foram formados após sinterização das superfícies, conseqüentemente, identificar o surgimento de algum componente indesejado.

As análises foram feitas para as cinco superfícies seletivas: 100% LCC Técnico, 100% LCC Natural, 25% LCC Técnico + 75% LCC Natural, 50% LCC Técnico + 50% LCC Natural e 75% LCC Técnico + 25% LCC Natural. A caracterização foi realizada para amostra líquida (antes da deposição no substrato) e para a amostra depositada no substrato de cobre (após o processo de sinterização).

5.4.4 Absorbância por UV-VIS

O equipamento utilizado para análise da absorbância por UV-VIS foi o Uv-vis Spectrophotometer, Uv-2600, da Shimadzu, no foi gerado resultados no intervalo de comprimento de onda de 185nm a 1000nm, posteriormente, foi traçado os gráficos de absorbância por comprimento de onda para análise.

O objetivo principal é verificar se há absorbância na faixa de luz visível (400nm a 750nm), o que representa um fator positivo para melhor captação de energia solar. Vale ressaltar, que a absorbância é um dos principais parâmetros a se considerar na escolha se uma superfície seletiva.

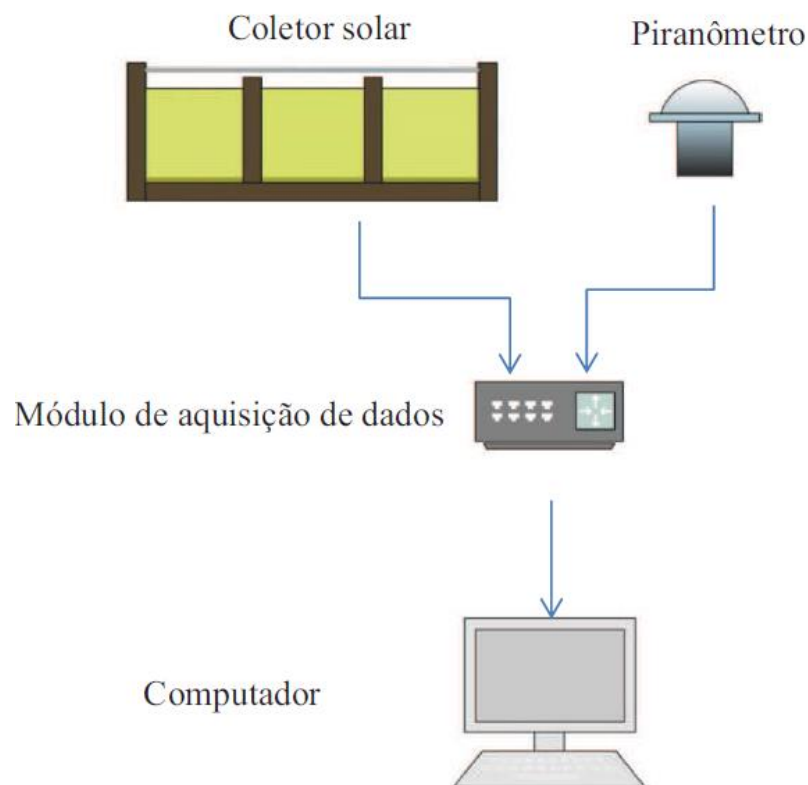
5.4.5 Teste em Campo

O teste em campo foi realizado no Laboratório de Energia Solar e Gás natural (LESGN), no Campus do Pici na UFC. O principal objetivo deste teste é analisar o

desempenho das superfícies seletivas na bancada de teste em condições ambientais reais, com medições de temperatura e absorvância.

Para realização de testes em campo, foi utilizada uma bancada de experimental de teste ((Figura 8) fabricado no próprio Laboratório de Filmes Finos em Energias Renováveis (LAFFER). A bancada inclui um coletor solar térmico experimental, utilizado para testar as superfícies; termopares tipo k, para medição das temperaturas; um Piranômetro Horizontal Eppley, para medição da irradiação solar; um módulo de aquisição de dados (Agilent 34972A); para aquisição dos valores de temperatura das superfícies, irradiação solar e temperatura ambiente; e uma computador portátil. A Figura 14 mostra um esquema da bancada experimental que foi utilizada.

Figura 14 - Esquema da bancada experimental



Fonte: Rodrigues, 2011.

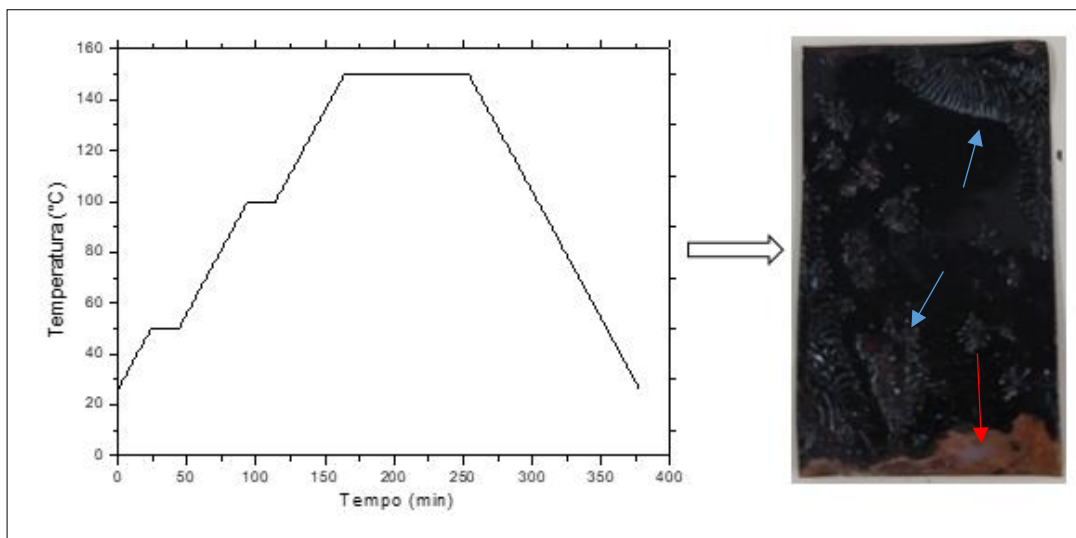
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Parâmetro de Sinterização

A finalidade do processo de sinterização era garantir que o ligante evaporasse e, de modo que o procedimento fosse concluído. Para os testes de tratamento térmico, várias superfícies foram produzidas com as mesmas composições apresentadas na Tabela 1, posteriormente, essas superfícies foram submetidas a diversos teste no forno resistivo com diferentes parâmetros com o intuito de alcançar os parâmetros considerado ideal para essas superfícies. Os resultados apresentados a seguir mostram algumas configurações testadas, como também, o resultado da superfície de acordo com o parâmetro testado.

A primeira configuração testada no forno resistivo, sinterização 1, o processo de aquecimento a partir da temperatura ambiente (26°C) até 150°C a uma taxa de 1,5 °C/min, permanência a 200°C por 1 horas e 30 minutos, e em seguida, resfriamento a taxa de 1,5°C/min partindo de 150°C até a temperatura ambiente dentro do forno. A figura 15 apresenta a configuração utilizada no processo de sinterização e a superfície obtida.

Figura 15 – Sinterização 1



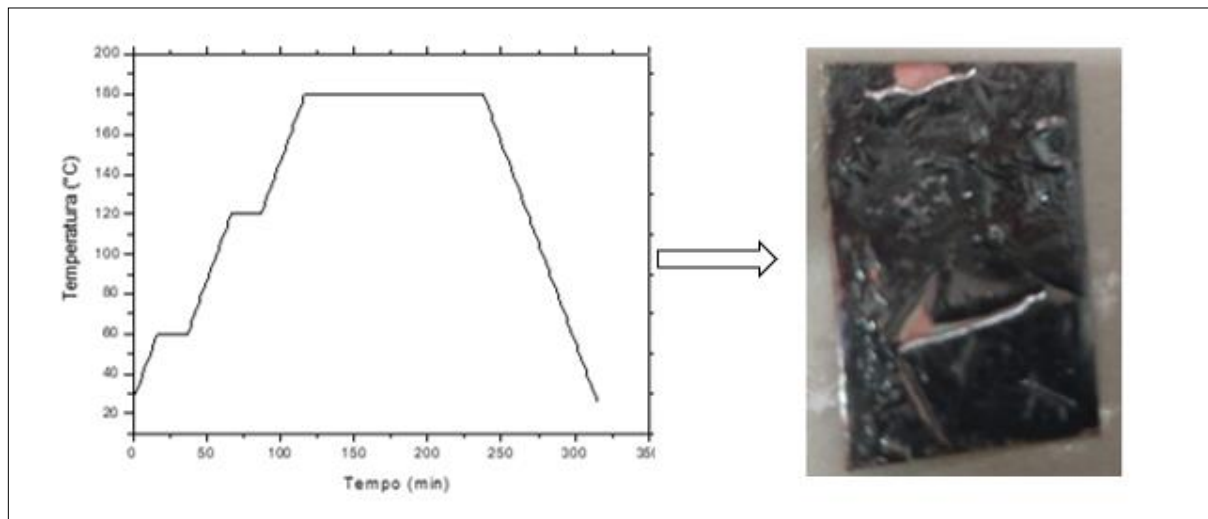
Fonte: Autor.

A superfície mostrada após o processo de sinterização 1 (Figura 16), apresenta vários pontos de rugosidades, conforme indica a seta azul; e regiões em que a superfície não aderiu ao substrato de cobre, evidenciado pela seta vermelha.

A segunda configuração testada no forno resistivo, sinterização 2, o processo de

aquecimento a partir da temperatura ambiente (26°C) até 180°C a uma taxa de $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$, permanência a 180°C por 2 horas, e em seguida, resfriamento a taxa de $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ partindo de 180°C até a temperatura ambiente dentro do forno. A figura 16 apresenta a configuração utilizada no processo de sinterização e a superfície obtida.

Figura 16 - Sinterização 2

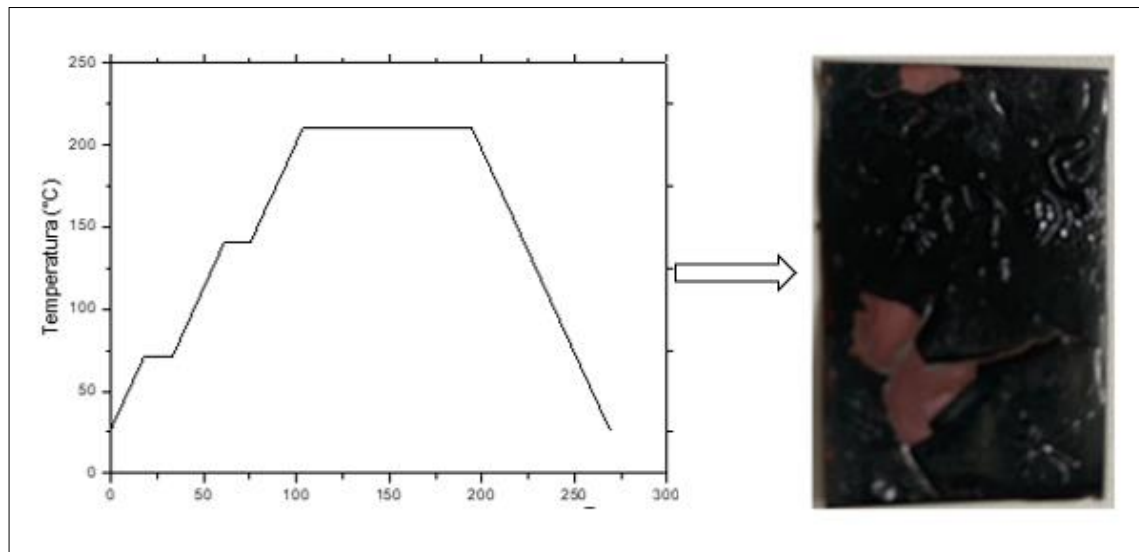


Fonte: Autor.

A superfície mostrada após o processo de sinterização 2 (Figura 16), apresenta fragilização ao longo de toda a área da superfície. Foi uma das grandes dificuldades encontradas nos vários testes realizados no processo de tratamento térmico, conforme mostrada também na Figura 17.

A terceira configuração testada no forno resistivo, sinterização 3, o processo de aquecimento a partir da temperatura ambiente (26°C) até 210°C a uma taxa de $2,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$, permanência a 210°C por 1 hora e 30 minutos, e em seguida, resfriamento a taxa de $2,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ partindo de 210°C até a temperatura ambiente dentro do forno. A figura 17 apresenta a configuração utilizada no processo de sinterização e a superfície obtida.

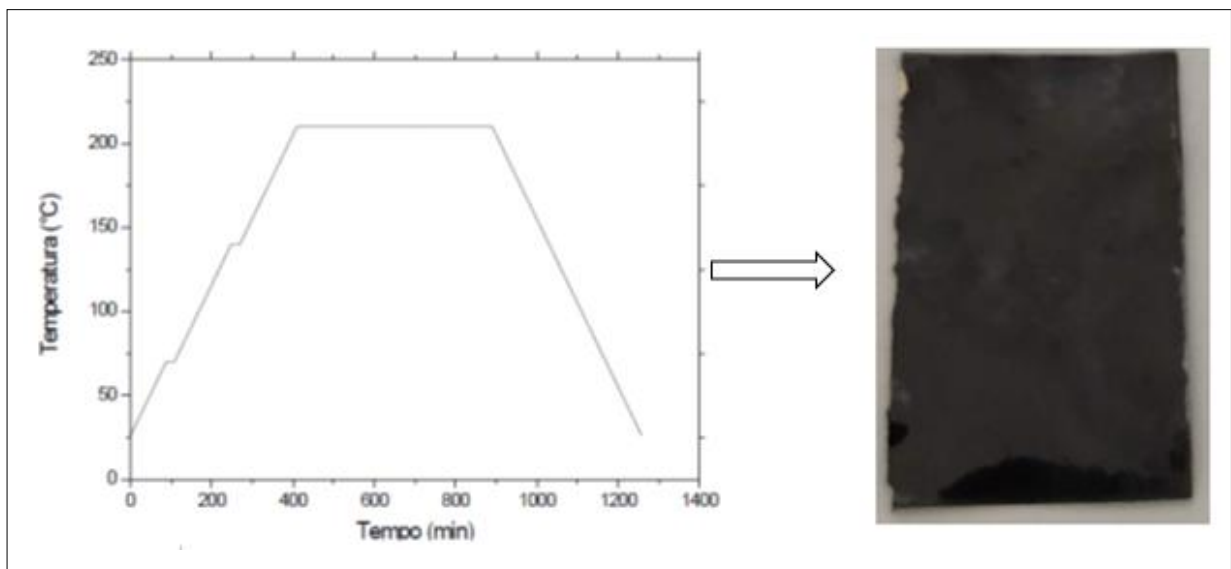
Figura 17 – Sinterização 3



Fonte: Autor.

A quarta configuração testada no forno resistivo, sinterização 3, foi considerada a configuração ideal, após vários testes. O processo de aquecimento a partir da temperatura ambiente (26°C) até 210°C a uma taxa de 0,5°C/min, permanência a 210°C por 8 horas, e em seguida, resfriamento a taxa de 0,5°C/min partindo de 210°C até a temperatura ambiente dentro do forno. A figura 18 apresenta a configuração utilizada no processo de sinterização e a superfície obtida.

Figura 18 – Sinterização 4



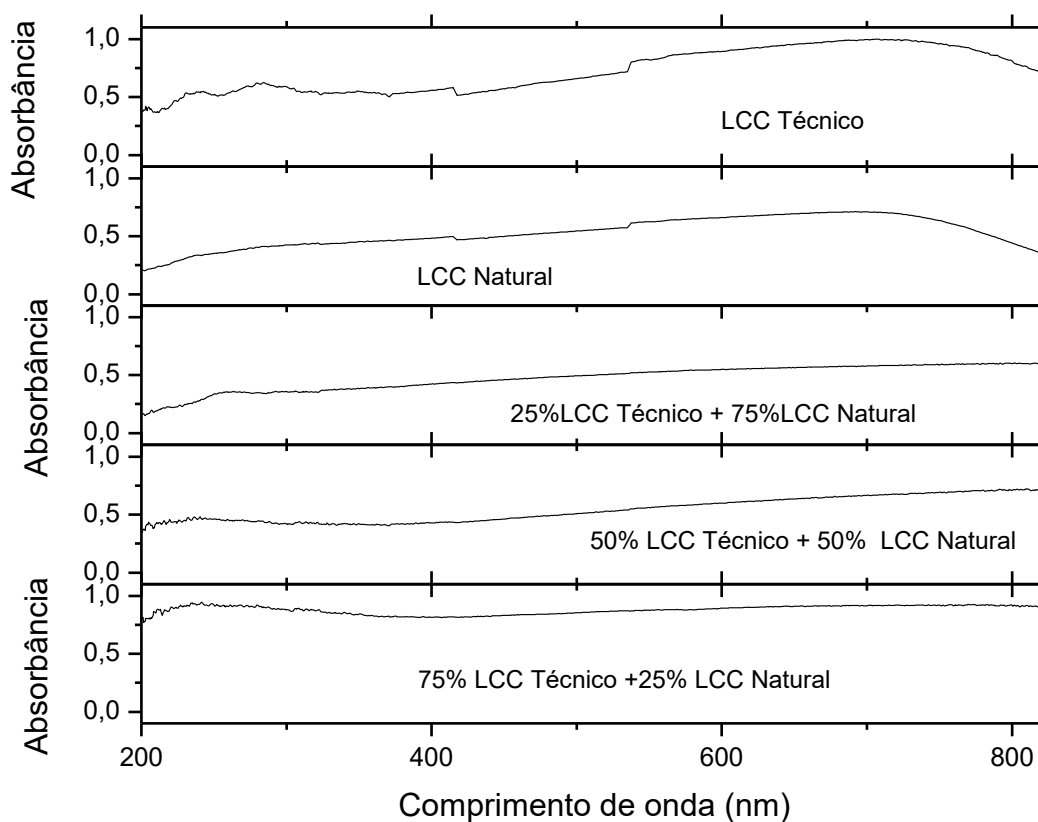
Fonte: Autor.

Após a obtenção dos parâmetros corretos para estas superfícies seletivas, a superfície apresentou boa homogeneidade ao longo de todo o substrato de cobre, além disso os substratos podiam até ser dobrados, e nenhum efeito de desprendimento da superfície era percebido – o mesmo ocorre com as superfícies comerciais.

6.2 Caracterização por UV-VIS

A absorvância é uma das propriedades mais importantes para se analisar em uma superfície seletiva. Para esta caracterização, utilizou-se o espectrofotômetro Shimadzu, Uv-2600. A Figura 19 apresenta o gráfico plotado a partir dos resultados obtidos para as superfícies contendo 100% LCC Técnico, 100% LCC Natural, 25% LCC Técnico + 75% LCC Natural, 50% LCC Técnico + 50% LCC Natural e 75% LCC Técnico + 25% LCC Natural.

Figura 19 - Gráficos de absorvância das superfícies produzidas com LCC Técnico e LCC Natural



Fonte: Autor.

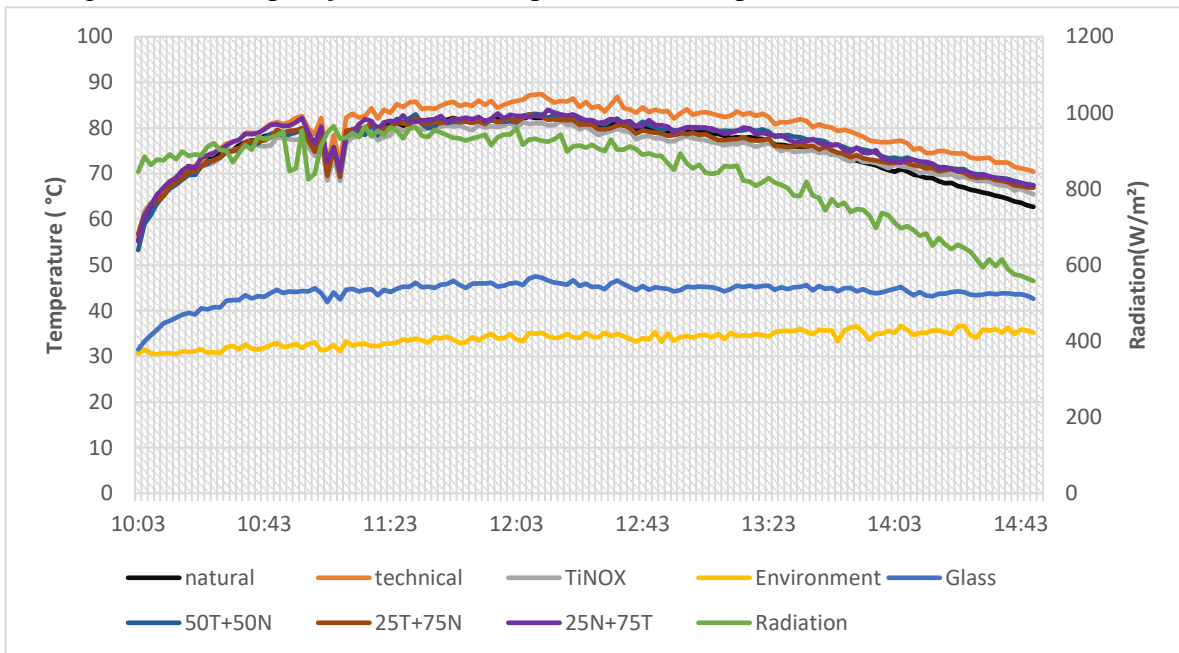
Observa-se que em todas as superfícies, a absorvância na faixa de luz do visível (400 nm a 750 nm) possui um valor máximo, que é um fator positivo para uma melhor captação de energia solar. Percebe-se também que a superfície composta de 100 % LCC técnico e 75% LCC Técnico + 25% LCC Natural, apresentam valores mais elevados na faixa de luz do visível em comparação a superfícies contendo 100% LCC Natural, 25% LCC Técnico + 75% LCC Natural, 50% LCC Técnico + 50% LCC Natural.

6.3 Teste em Campo

No mês de agosto de 2018 foram realizados testes em campo nos dias 08, 09, 22 e 23. Esses testes foram realizados para analisar o comportamento das superfícies seletivas exposta ao Sol, com medições de temperatura, absorvância e emitância.

As superfícies testadas foram: 100% LCC Técnico, 100% LCC Natural, 25% LCC Técnico + 75% LCC Natural, 50% LCC Técnico + 50% LCC Natural, 75% LCC Técnico + 25% LCC Natural e MRTiNOX. Também foram medidas as temperaturas da cobertura do vidro, do isolamento e do meio ambiente. Nesses dias de testes o céu estava claro com poucas nuvens. O dia 22 de agosto apresentou maior radiação média com um valor de 850 W/m² entre 10h e 14:43, intervalo em que a bancada de teste ficou em operação; e 934 W/m² entre 11h e 13h. O Figura 20 apresenta as medições de temperatura ambiente, temperatura do vidro e das superfícies seletivas contendo 100% LCC técnico, 100% LCC natural, 25% LCC Técnico + 75% LCC Natural, 50% LCC Técnico + 50% LCC Natural, 75% LCC Técnico + 25% LCC Natural, MRTiNOX. e radiação global.

Figura 20 - Comparação entre as temperaturas das superfícies seletivas



Fonte: autor

Quando o sistema atingiu o estado estacionário, medido de 11 a 13 h, a temperatura das 6 superfícies foram salva a cada 2 minutos: 100% LCC Técnico, 100% LCC Natural, 25% LCC Técnico + 75% LCC Natural, 50% LCC Técnico + 50% LCC Natural, 75% LCC Técnico + 25% LCC Natural e MRTiNOX. As temperaturas da cobertura de vidro, o isolamento e o ambiente também foram medidos. As médias de temperatura são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Temperatura média no estado estacionário

Elementos medidos	Temperatura média (°C)
100 % LCC técnico	89,1
100 % LCC natural	86,4
75% LCC Técnico + 25% LCC Natural	85,9
50% LCC Técnico + 50% LCC Natural	84,9
25% LCC Técnico + 75% LCC Natural	84,1
MRTiNOX	91
Cobertura do vidro	65,7
Isolamento	33,7
Ambiente	33,7

Fonte: Autor.

Para calcular a absorptividade, emissividade e eficiência a partir do balanço de energia descrito na seção 5.3.1, foi necessário obter dados do fabricante da superfície comercial (MRTiNOX) e do vidro utilizado na bancada de teste. Os dados do fabricante são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados do Fabricante

Materiais	Absorbância (α_s)	Emissividade (ε)	Transmissividade (τ_v)
Vidro	-	-	0,87
MRTiNOX	0,95	0,04	-

Fonte: Autor.

A espessura do isolamento (L) é de 5 cm, condutividade térmica (K) é de $0,04 \frac{W}{mK}$. Assim, para calcular o coeficiente global de perda (U_l), equação (11), foram utilizados os dados do fabricante, juntamente com a radiação média de $934 \frac{W}{m^2}$ no intervalo de 11 h a 13 h. Para calcular o coeficiente de transferência de calor (h), aplicamos a equação (7) para superfície comercial, sabendo que a área da placa utilizada foi $A_p = 0,0015 m^2$. Os resultados obtidos para os coeficientes são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados obtidos para os coeficientes

Coefficientes	Resultados obtidos
Coeficiente Global de perda (U_l),	13,51
Coeficiente de Transferência de calor	$28,22 \frac{W}{m^2K}$

Fonte: Autor.

O resultado encontrado para o coeficiente de transferência de calor é considerado plausível, pois em aplicações de convecção natural, o coeficiente h pode variar em um intervalo de 5 à 30 W/m^2K (UNESP).

Utilizando-se das medições de temperatura e radiação e dos parâmetros de operacionais conhecidos da Superfície MRTiNOX, é possível, através do balanço de energia apresentado na Seção 5.3.1, obter os valores de absorptividade e emissividade das superfícies

analisadas. A Tabela 5 apresenta a média dos valores de absorvidade (α) e emissividade (ϵ) obtidos para cada superfície seletiva calculado a partir do registro de cada temperatura ao longo do período de teste, está registrado, também, o valor calculado de seletividade, resultante da divisão da absorvidade (α) pela emissividade (ϵ). É importante destacar que o valor para a Superfície MRTiNOX foi extraído de seu fabricante e já foi registrado na Tabela 3.

Tabela 5 - Absortividade e emissividade das superfícies seletiva

Superfície	Absortividade(α)	Emissividade (ϵ)	Seletividade (s)
100% LCC Técnico	0,903	0,0270	33,44
100 % LCC Natural	0,859	0,030	28,63
25% LCC Técnico + 75% LCC Natural	0,820	0,0355	23,09
50% LCC Técnico + 50% LCC Natural	0,835	0,033	25,30
75% LCC Técnico + 25% LCC Natural	0,851	0,031	27,45
MRTiNOX	0,950	0,0237	40,08

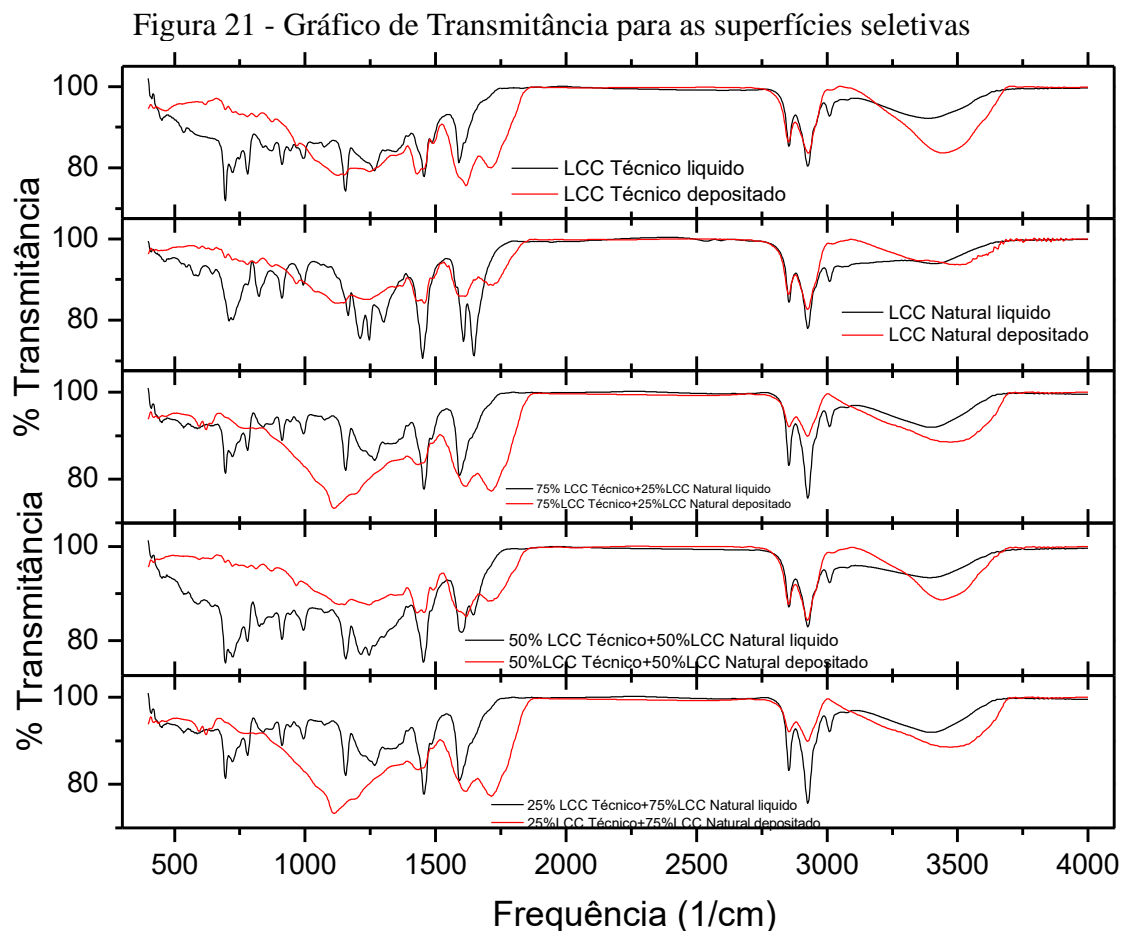
Fonte: Autor.

Observa-se, comparando com as superfícies composta de LCC técnico e LCC natural, que a superfície composta de 100% LCC técnico apresentou um valor de absorvidade e seletividade superior ao das outras superfícies compostas 100% LCC Natural, 25% LCC Técnico + 75% LCC Natural, 50% LCC Técnico + 50% LCC Natural, 75% LCC Técnico + 25% LCC Natural. É possível constatar que os valores de absorvidade acompanharam o desempenho dos dados de temperatura, visto que a Superfície 100% LCC técnico que apresentou maior valor de absorvidade (0,90) e seletividade (33,44), e também foi a que apresentou maior temperatura média nas medições (89,1 °C). Nota-se que a superfície contendo LCC técnico foi a que se aproximou mais da superfície comercial.

6.4 Análise de Infravermelho

Com análise do infravermelho, é possível identificar a presença de algum componente após o processo de tratamento térmico no forno. Assim, foi realizado a análise para as 5 superfícies seletivas: 100% LCC Natural, 25% LCC Técnico + 75% LCC Natural, 50% LCC Técnico + 50% LCC Natural e 75% LCC Técnico + 25% LCC Natural.

Primeiramente, a análise foi realizada antes da deposição, para a amostra ainda líquida e posteriormente, foi feita a análise após o tratamento térmico, de modo que a comparação pudesse ser feita. A Figura 21 mostra as análises de infravermelho para todas as amostras, antes e após a sinterização.



Fonte: Autor.

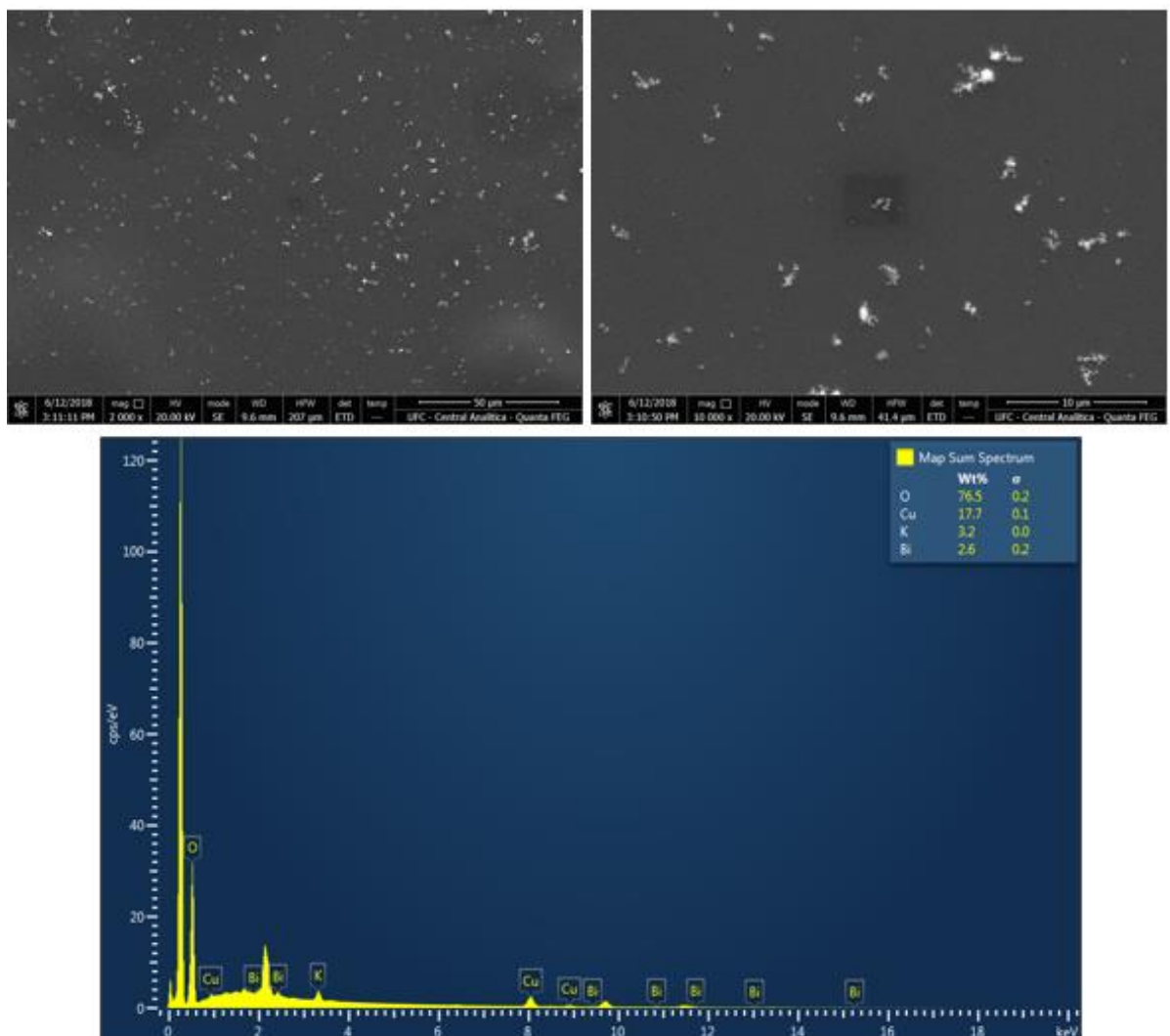
Observa-se que alguns picos característicos são observados no CNSL líquido e no CNSL depositado. No entanto, constata-se a interferência da umidade na análise, pois nestes espectros com partilha KBr, ele tem contato com o ar no preparo da amostra, observa-se que as bandas características de OH em torno de 3300 são bastante intensas como também em 1640 que é derivado da deformação angular do OH das moléculas de água.

Verifica-se quatro picos principais na Figura 21, nas seguintes regiões de número de onda: 500 a 750 cm^{-1} , 1000 a 1250 cm^{-1} , 1250 a 1500 cm^{-1} e 2750 a 3000 cm^{-1} . Em todas elas, os formatos dos picos coincidem, diferenciando-se apenas pela intensidade.

6.5 Estrutura morfológica e composição químicas das superfícies seletivas

As Figuras 22, 24, 26, 27, 28 e 29 mostram imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (SEM) com aumento de 10.000x e 2000x, respectivamente, e o gráfico percentual, em peso, de cada elemento da amostra. As micrografias obtidas mostraram a distribuição da superfície seletiva no substrato de cobre após o tratamento térmico, seguindo a composição apresentada na Tabela 1. A Figura 22 apresenta as micrografias para a superfície seletiva composta de LCC técnico, juntamente com o gráfico percentual dos elementos.

Figura 22 - Micrografia da amostra de superfície seletiva de LCC técnico com fator de ampliação de: (a) 2000x e (b) 10000x e gráfico percentual



Fonte: Autor.

Observa-se na Figura 22 uma boa deposição da superfície seletiva, pois os grãos encontrados nas superfícies estão espalhados uniformemente, apresentando uma pequena

diferença no tamanho dos grãos do fundente, identificado como o bismuto. A deposição pode ser melhor vista na Figura 23, no qual apresenta o EDS da superfície seletiva do LCC técnico. É possível verificar, Figura 23, a disposição do fundente ao longo de toda a área do substrato, constatando uma boa aderência do filme no substrato de cobre.

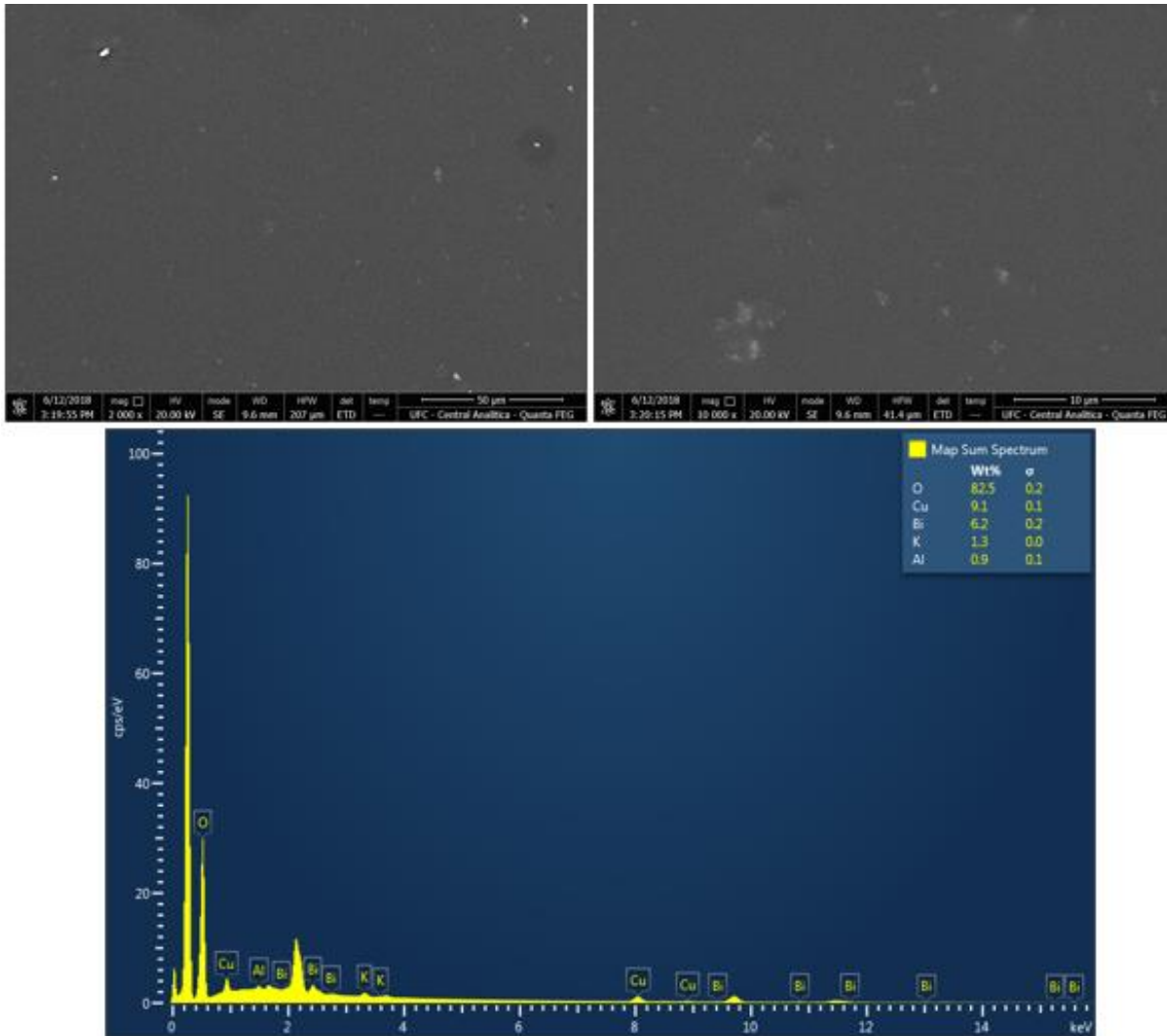
Figura 23 – EDS da superfície seletiva contendo LCC técnico



Fonte: Autor.

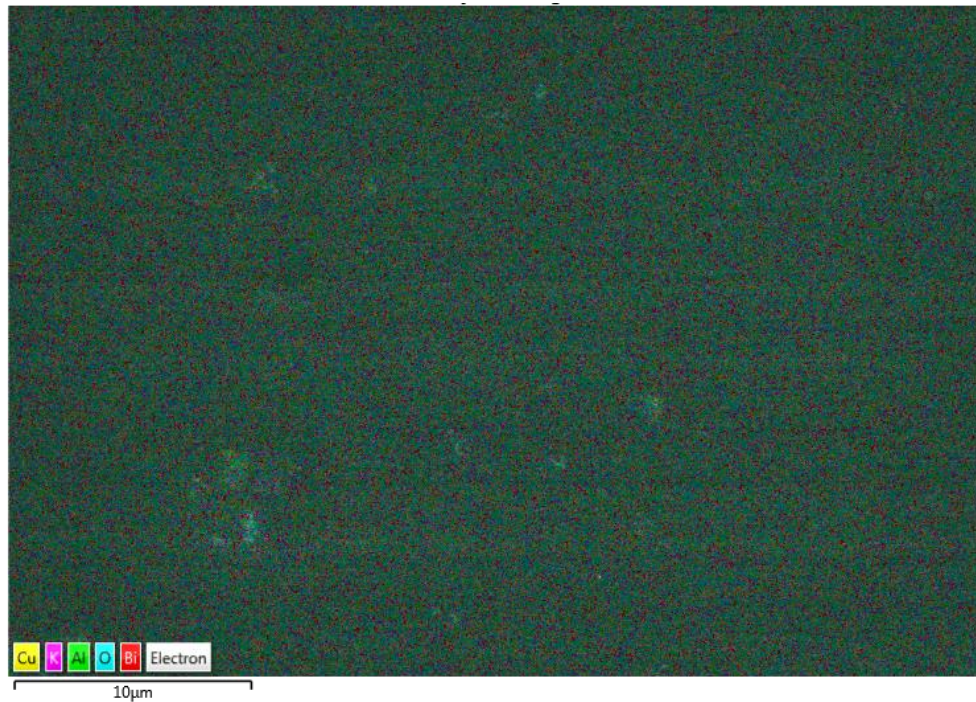
A Figura 24 apresenta as micrografias para a superfície seletiva composta de LCC natural, juntamente com o gráfico percentual dos elementos. De modo semelhante a superfície do LCC técnico, a do LCC natural também apresentou uma boa deposição no substrato de cobre, contudo verificou-se grãos maiores do fundente em certas regiões na superfície seletiva, ficando mais evidente na micrografia com resolução de 10000x. De modo geral, o fundente obteve boa homogeneização ao longo de toda a superfície, evidenciando no EDS da superfície seletiva do LCC natural na Figura 25, ressaltando sua característica na mistura, de melhor aderência ao substrato. Nos gráficos percentuais do LCC técnico e do LCC natural, o bismuto foi encontrado em pequenas porcentagens, evidenciando a quantidade descrita na tabela 1. Nos gráficos percentuais também é importante enfatizar, que não foi encontrado a presença do ligante, ácido sulfúrico, evaporado totalmente após o processo de tratamento térmico.

Figura 24 - Micrografia da amostra de superfície seletiva de LCC natural com fator de ampliação de: (a) 2000x e (b) 10000x e gráfico percentual



Fonte: Autor.

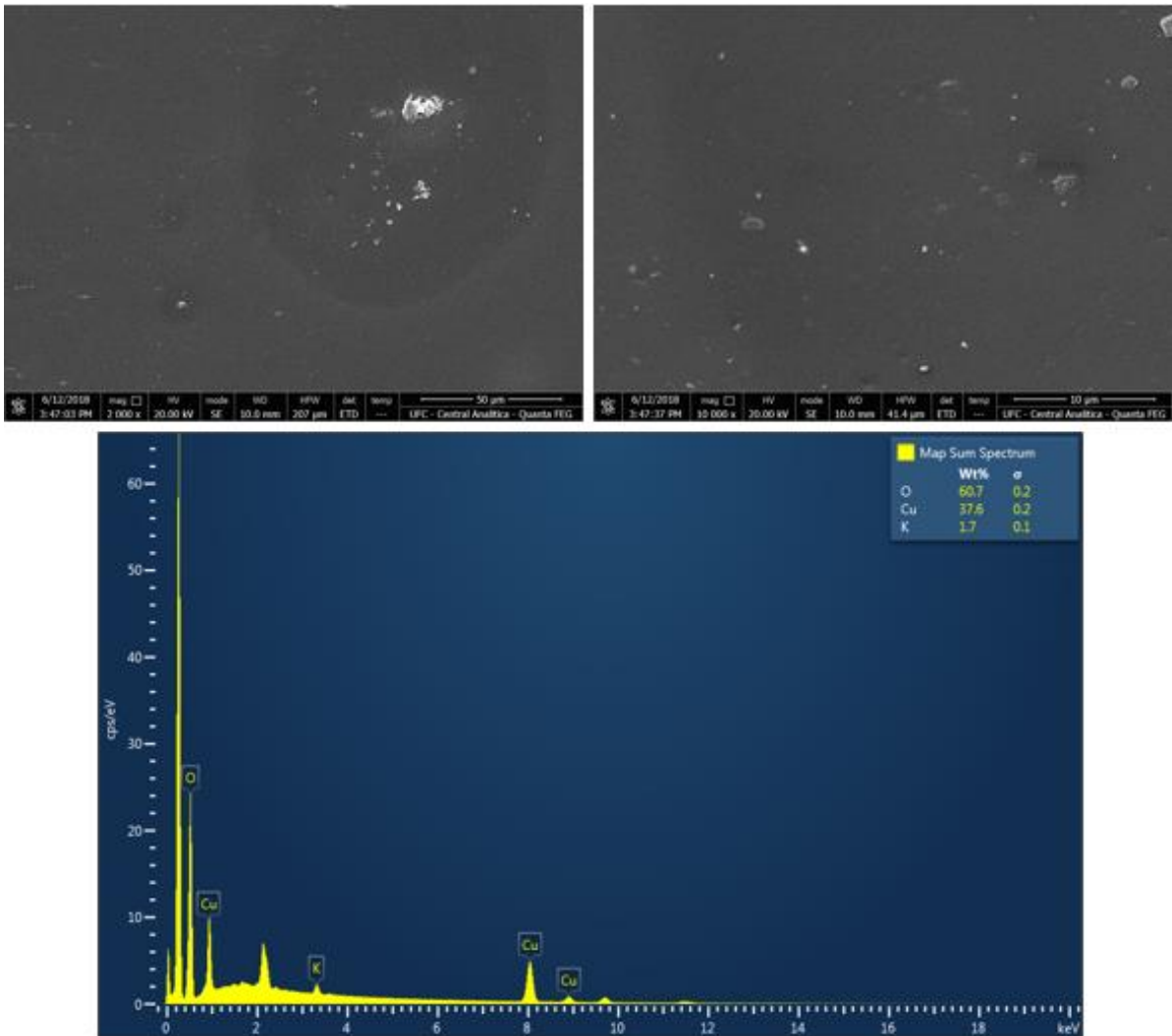
Figura 25 – EDS da superfície seletiva contendo LCC natural



Fonte: Autor.

A Figura 26 apresenta as micrografias para a superfície seletiva composta de 75% LCC técnico +25% LCC natural, juntamente com o gráfico percentual dos elementos. Observa-se uma boa deposição no substrato de cobre, similar a deposição do LCC técnico e do LCC natural.

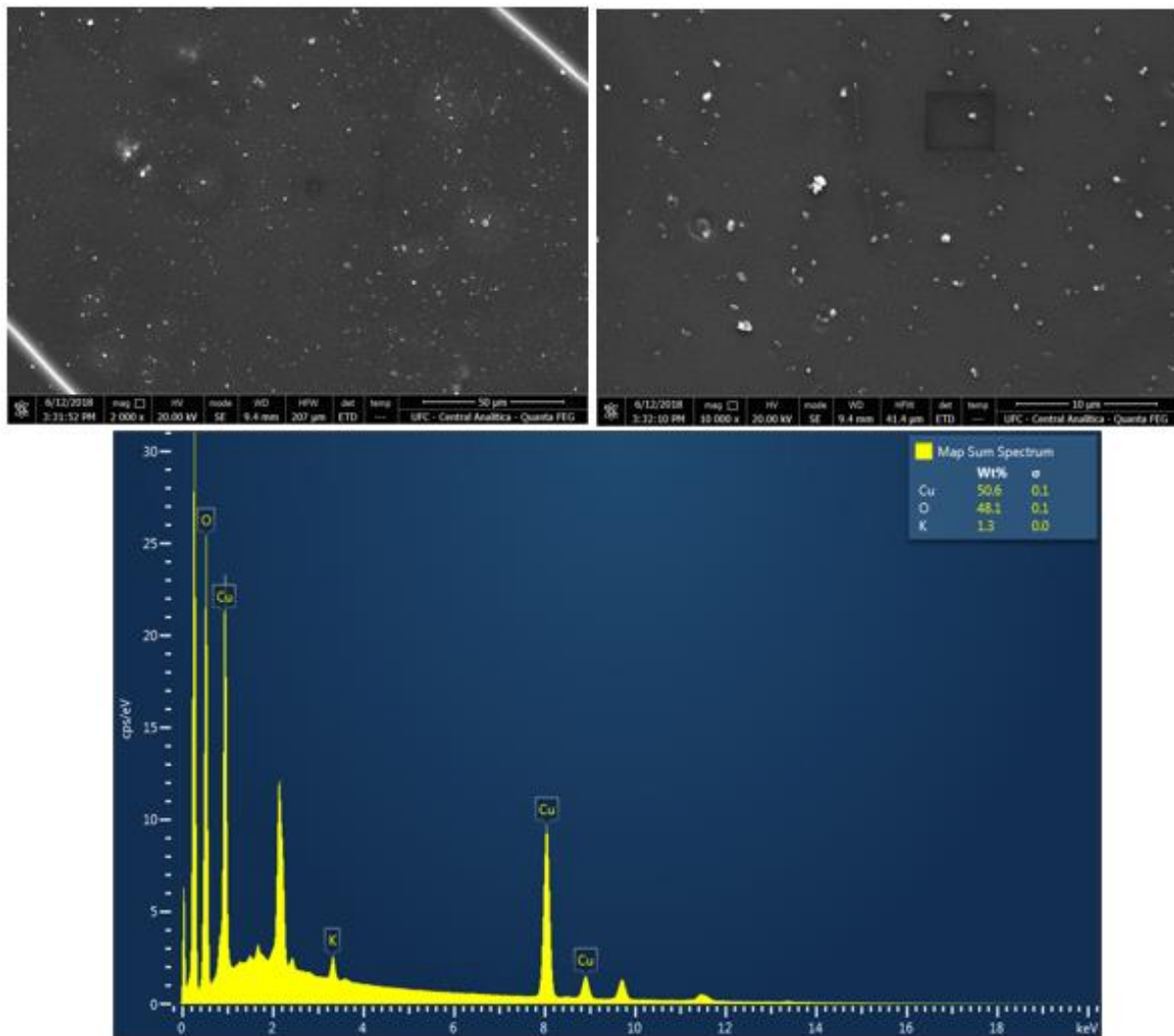
Figura 26 - Micrografia da amostra de superfície seletiva de 75%LCC técnico e 25%LCC natural com fator de ampliação de: (a) 2000x e (b) 10000x e gráfico percentual



Fonte: Autor.

A Figura 27 apresenta as micrografias para a superfície seletiva composta de 50% LCC técnico +50% LCC natural, juntamente com o gráfico percentual dos elementos. É possível identificar na micrografia com magnitude de 2000x espaços não preenchidos na superfície seletiva, apresentando um defeito na deposição do filme no substrato nessas regiões.

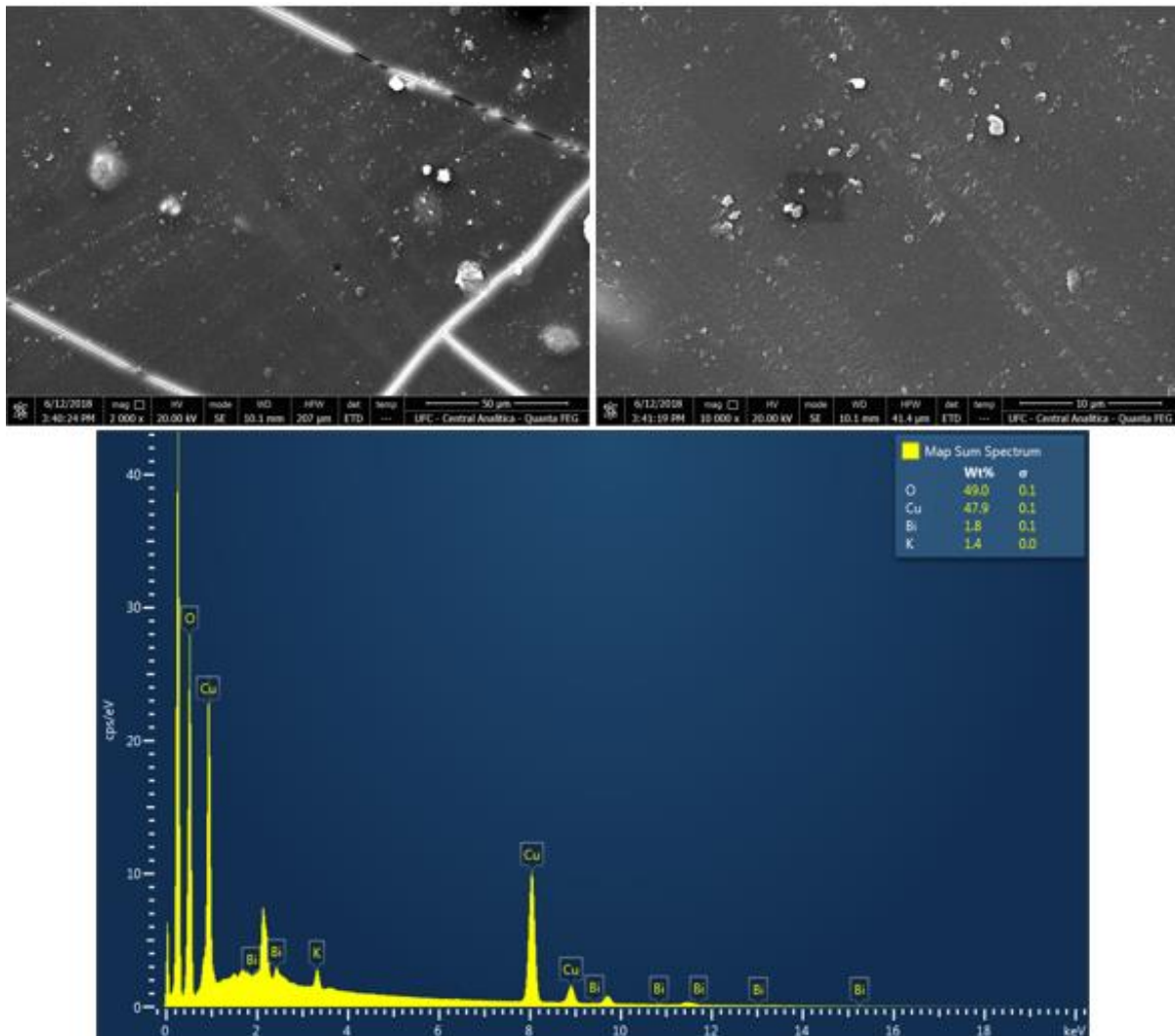
Figura 27 - Micrografia da amostra de superfície seletiva de 50%LCC técnico e 50%LCC natural com fator de ampliação de: (a) 2000x e (b) 10000x e gráfico percentual



Fonte: Autor.

A Figura 28 apresenta as micrografias para a superfície seletiva composta de 75% LCC técnico + 25% LCC natural, juntamente com o gráfico percentual dos elementos. Observa-se um espaço não preenchido no substrato de cobre; verificado, principalmente, na micrografia com resolução de 2000x. Na micrografia com resolução de 1000x, Figura 28, constata-se uma linhas que indicam um direção preferencial da aplicação da superfície. Embora a técnica de *screen printing* tivesse sido empregada igualmente para todos os materiais, apenas a superfície contendo 75% LCC técnico + 25% LCC natural apresentou essa característica.

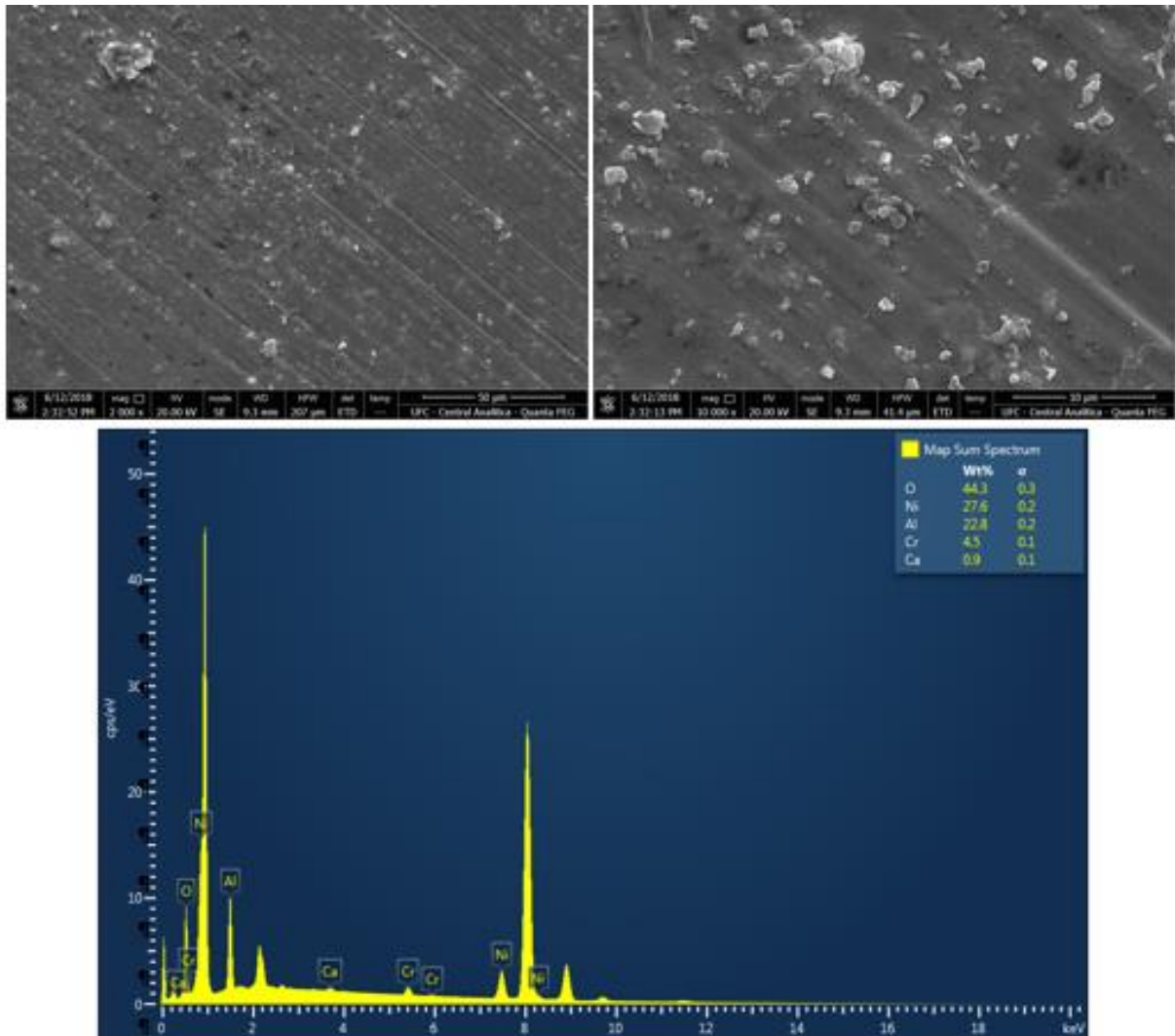
Figura 28 - Micrografia da amostra de superfície seletiva de 25%LCC técnico e 75%LCC natural com fator de ampliação de: (a) 2000x e (b) 10000x e gráfico percentual



Fonte: Autor.

A Figura 29 apresenta as micrografias para a superfície seletiva comercial (MRTiNOX), juntamente com o gráfico percentual dos elementos. Analisando a Figura 29, é possível notar que praticamente todo o substrato de cobre preenchido, além disso, é possível observar uma direção preferencial de aplicação da superfície seletiva, em funções de linhas diagonais presente praticamente em todo o material. Com uma aproximação maior, visualiza-se grãos dispersos da matriz principal, sendo identificados oxigênio, níquel, alumínio e cromo.

Figura 29 - Micrografia da amostra de superfície seletiva comercial natural com fator de ampliação de: (a) 2000x e (b) 10000x e gráfico percentual



Fonte: Autor.

Nos gráficos percentuais das Figuras 22, 24, 26, 27, 28 e 29, é possível verificar que alguns picos não foram identificados, principalmente o pico com maior porcentagem em peso do elemento, esse pico provavelmente seja do carbono, tendo visto a composição do LCC técnico e do LCC natural ser composto, principalmente, de carbono. Consta-se também que picos com menor percentual de peso não foram identificados, possivelmente esses picos sejam relativos ao ouro, elemento utilizado para metalização de todas as superfícies seletivas, caso contrário as aferições não seriam possíveis.

6.6 Ensaio de Fotodegradação

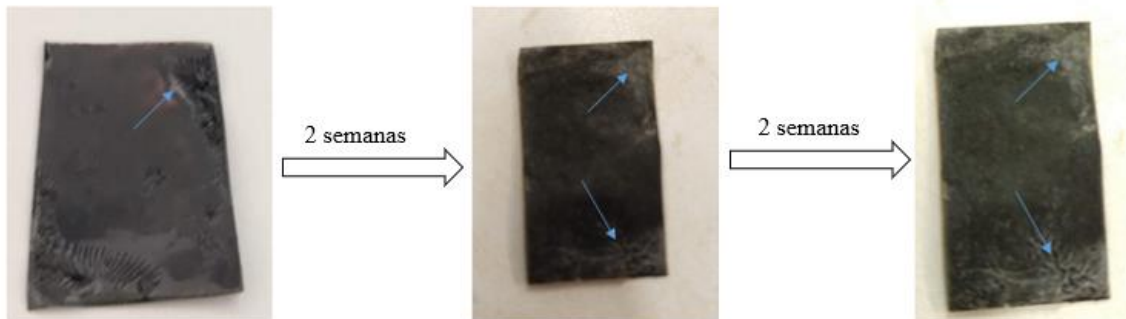
O ensaio de fotodegradação teve duração aproximadamente de um mês, sendo interrompido aos finais de semana e durante os registros fotográficos e as manutenções previstas na norma ABNT NBR 9512:2016.

Durante o processo de obtenção das superfícies, aquelas que ficaram mais uniformemente distribuídas no substrato de cobre foram separadas para os testes em Sol, enquanto outras, com diferenças de espessura mais acentuadas, como o acúmulo de ligante em alguma região da placa de cobre, durante o processo de aquecimento, por exemplo, foram separadas para o ensaio de fotodegradação. Diferentemente do que é visto em um resultado final de eletrodeposição, como o que ocorre para a superfície comercial **MRTiNOX**, com o procedimento de aplicação de camadas, em substrato de cobre, por *screen printing*, houve uma diferença de espessura ao longo das placas, devido à imprecisão da aplicação manual das superfícies.

O ensaio de fotodegradação foi iniciado no dia 18/06/2018 e finalizado no dia 16/07/2018. Os registros fotográficos foram feitos a cada duas semanas, ou seja, primeiro registro foi feito no dia 18/06/2018, correspondente a superfície seletiva antes de ser exposta ao ensaio; segundo registro no 02/07/2018, após duas semanas de testes e o terceiro registro foi feito no dia 16/07/2018, após quatro semanas de testes; totalizando três registros. Como será visto, para algumas superfícies seletivas, foram feitos apenas dois registros, devido a algumas superfícies apresentarem uma fragilização após duas semanas de teste.

A Figura 30 apresenta o ensaio de fotodegradação para a superfície composta de LCC Técnico.

Figura 30 - Desgaste da superfície seletiva composta de LCC Técnico ao longo de quatro semanas

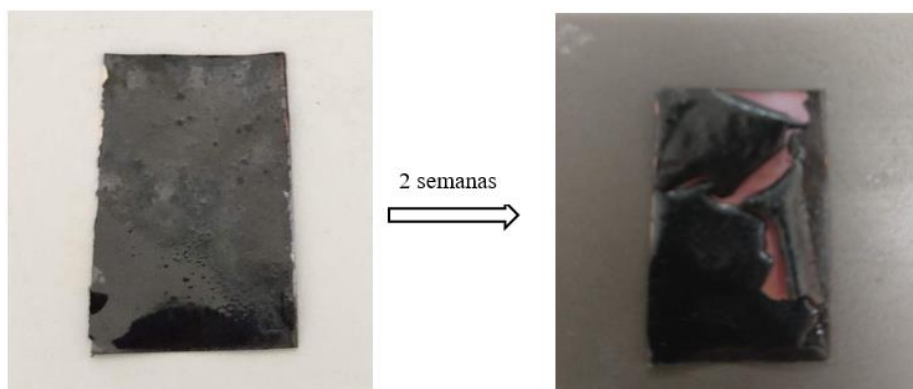


Fonte: Autor

Analisando a Figura 30 é possível notar o acúmulo do ligante em certas regiões da superfície, conforme apresentado no primeiro registro, favorecendo uma mudança de coloração, principalmente, nas regiões indicadas após duas e quatro semanas. Inicialmente, a cor escura tornava-se, progressivamente, mais clara, com aspecto acinzentado.

A Figura 31 apresenta o ensaio de fotodegradação para a superfície composta de LCC natural.

Figura 31 - Desgaste da superfície seletiva composta de LCC natural ao longo de duas semanas

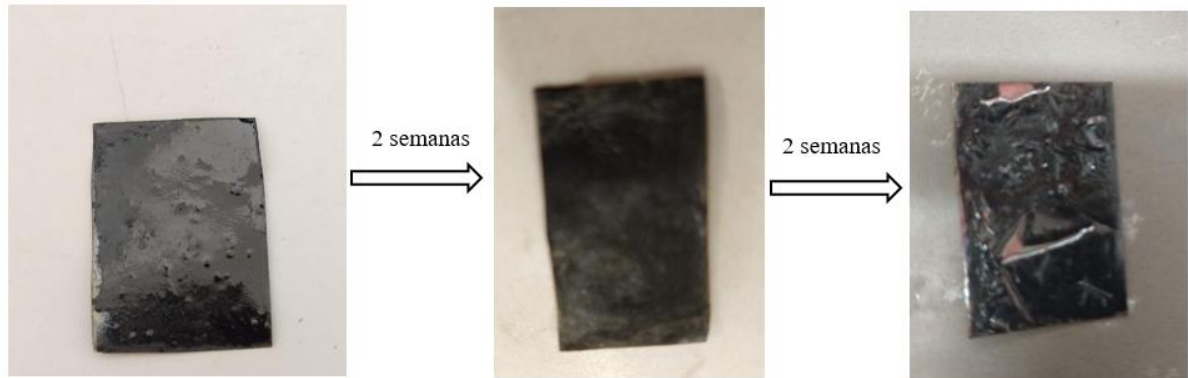


Fonte: Autor

Para a superfície seletiva contendo LCC natural, Figura 31, observa-se a fragilização do filme, culminando com a ruptura e consequente desprendimento do substrato de cobre. Em todas as superfícies contendo em sua composição LCC natural, apresentou-se resultados semelhantes, diferendo apenas no tempo em que ocorria a fragilização da superfície seletiva.

A Figura 32 apresenta o ensaio de fotodegradação para a superfície composta de 75% LCC Técnico + 25% LCC natural.

Figura 32 - Desgaste da superfície seletiva composta de 75% LCC Técnico + 25% LCC natural ao longo de quatro semanas

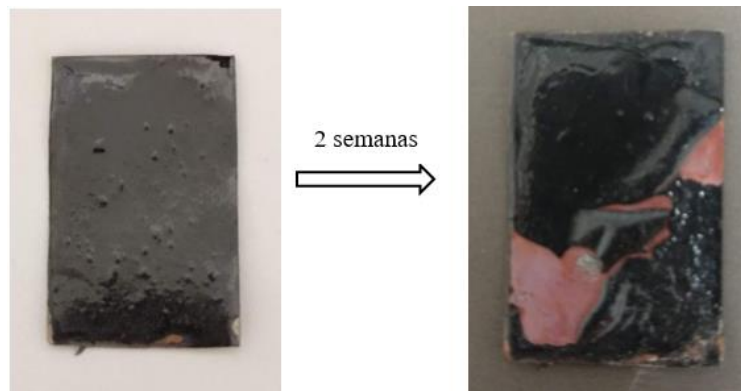


Fonte: Autor

De forma semelhante com o resultado da superfície do LCC natural, a superfície composta de 75% LCC Técnico + 25% LCC, Figura 32, também apresentou fragilização do filme, culminando com a ruptura e conseqüente desprendimento do substrato de cobre. Porém, após quatro semanas. Um maior tempo de resistência do filme, provavelmente, se deve a porcentagem maior de LCC técnico. Evidenciando a análise da superfície seletiva LCC técnico possuir uma maior resistência a radiação ultravioleta e a umidade.

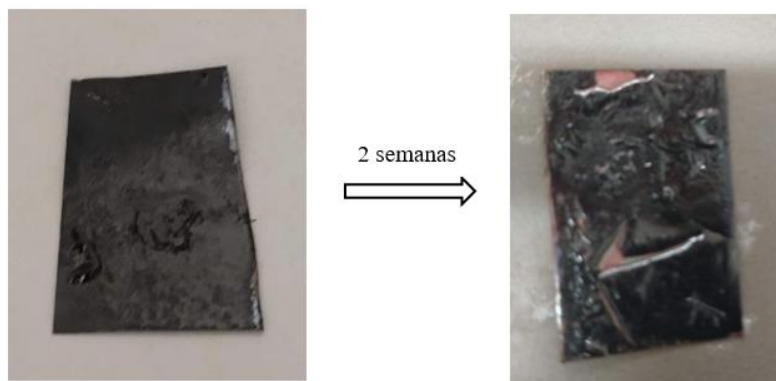
A Figura 33 apresenta o ensaio de fotodegradação para a superfície composta de 50% LCC Técnico + 50% LCC natural e a Figura 34 apresenta o ensaio de fotodegradação para a superfície composta de 25% LCC Técnico + 75% LCC natural.

Figura 33 - Desgaste da superfície seletiva composta de 50% LCC Técnico + 50% LCC natural ao longo de duas semanas



Fonte: Autor

Figura 34 - Desgaste da superfície seletiva composta de 25% LCC Técnico + 75% LCC natural ao longo de duas semanas



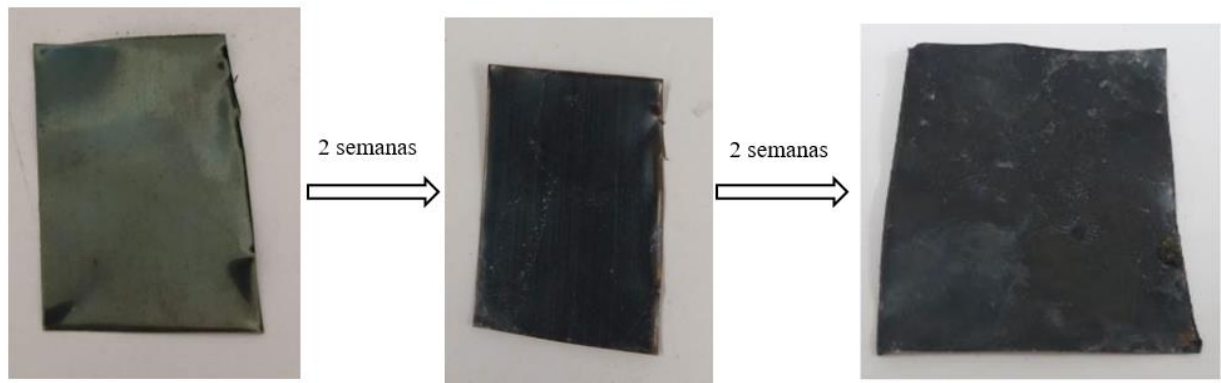
Fonte: Autor

As figuras 33 e 34, apresentam também uma fragilização e ruptura do filme. Como foi possível verificar, todas as superfícies compostas de LCC natural apresentaram o mesmo resultado, diferindo apenas o tempo da fragilização do filme, superfícies contendo uma maior porcentagem do LCC natural o processo ocorreu de forma mais acelerada, conforme visto na Figura 31, 33 e 34; e superfícies com uma menor porcentagem, o processo aconteceu de forma mais lenta, conforme evidenciado na Figura 32.

A Figura 35 apresenta o ensaio de fotodegradação para a superfície comercial (MRTiNOX). Analisando a superfície comercial, conforme apresentado na Figura 35, houve

uma mudança de coloração ao longo do filme, apresentando uma consequência comum com relação ao resultado obtido para o LCC natural. Inicialmente, a cor escura tornava-se, progressivamente, mais clara, com aspecto acinzentado, ficando mais evidente após quatro semanas de teste.

Figura 35 - Desgaste da superfície seletiva comercial



Fonte: Autor

De modo geral, a superfície contendo 100% LCC técnico e a superfície comercial, mostraram uma maior resistência a radiação ultravioleta e a umidade do que as demais superfícies. Essa maior resistência também foi percebida no teste campo, com duas semanas exposta ao sol, todas as superfícies compostas de LCC natural, apresentaram um maior desgaste, porém não apresentaram uma fragilização e nem o despreendimento do filme no substrato.

5 CONCLUSÃO

A técnica de deposição dos compostos no substrato de cobre foi satisfatória, embora a técnica de *screen painting* seja o método de deposição mais simples, para esse estudo se mostrou vantajoso, apresentando uma homogeneização para todas as superfícies depositadas, conseqüentemente diminuindo o custo do processo.

Os parâmetros alcançados no processo de sinterização, após inúmeros testes, foram considerados ideal para essa superfície. Com a configuração obtida, acredita-se que a taxa de crescimento da temperatura pelo tempo de $0,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$, de forma lenta, permitiu uma boa homogeneidade e aderência do filme no substrato, diferente do que foi alcançado quando a taxa de crescimento da temperatura pelo tempo era de $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ou maior.

Com relação à tendência de absorvância do líquido da casca da castanha do caju, analisada pelos gráficos gerados pelo teste no UV-VIS, observou-se uma tendência de crescimento na faixa de 185nm a aproximadamente 830nm. Considerando que a faixa de luz visível está entre 400nm e 750nm, tem-se um bom indicativo para o alcance de superfícies seletivas altamente seletivas.

No teste em campo, todas as cinco superfícies composta de LCC técnico e LCC natural, apresentaram valores de temperatura próximos com os valores alcançado com a superfície comercial, todavia com relação aos valores de absorvância, as superfícies com uma maior porcentagem de LCC técnico (100% LCC técnico e 75%LCC técnico + 25 % natural) mostraram valores próximos ao obtido pela MRTiNOX, principalmente para a superfície 100% LCC técnico.

Na análise do MEV, embora o pico mais intenso não tenha sido identificado, pela característica do composto, provavelmente seja o carbono. No gráfico percentual é possível observar que o ácido sulfúrico evaporou por completo após o tratamento térmico.

Com a análise de infravermelho, não foi identificada a formação de nenhum novo componente no processo de aquecimento em forno resistivo, durante a obtenção das superfícies seletivas, fixando-as nos substratos de cobre. Os picos das superfícies, após passarem pelo processo de sinterização, coincidiram com os de seus elementos formadores

No ensaio de fotodegradação, a superfície contendo 100% LCC técnico e a superfície comercial, mostraram uma maior resistência a radiação ultravioleta e a umidade do que as demais superfícies. Essa maior resistência também foi percebido no teste campo, com duas semanas exposta ao sol, todas as superfícies composta de LCC natural, apresentaram um maior desgastes.

De modo geral, a superfície 100% LCC técnico foi a que mais se aproximou da superfície comercial em todos os resultados analisados. Necessita-se de mais testes em condições reais de operação, principalmente aplicado em um sistema térmico para uma conclusão mais eficaz. Todavia, o LCC técnico apresenta-se como um possível material alternativo para utilização em coletores solares térmico, o que representaria uma diminuição no custo do coletor solar térmico, além de ser dado um destino mais adequado ao produto de origem regional, o LCC.

7 PERSPECTIVA DE TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalho futuro, pode-se aperfeiçoar a deposição do LCC no substrato de cobre, deixando a superfície mais homogênea possível e diminuir a espessura do filme. Alçando esses aprimoramentos, conseqüentemente poderíamos conseguir melhores resultados. Além disso, tentar aplicar o LCC em um sistema solar - térmico - concentrador solar, sistema de dessalinização, por exemplo - para funcionamento, assim seria possível observar o comportamento da superfície seletiva em condições reais de operação (umidade, radiação).

REFERÊNCIAS

ABBOTT, Derek. Keeping the Energy Debate Clean: How Do We Supply the World's Energy Need. *Proceedings of the IEEE* | Vol. 98, No. 1, January 2010. BLASCHKE T, BIBERACHER M, GADOCHA S, et al. **Energylandscapes: meeting energy demands and human aspirations**. *Biomass Bioenergy* 2013; 55: 3–16.

ARAÚJO, Felipe Alves Albuquerque; FREIRE, Francisco Nivaldo Aguiar; PINHO, Diego Caitano; ROCHA, Paulo Alexandre Costa; SILVA, Maria Eugênia Vieira.

Characterization of new selective coatings, made of granite and chrome, for solar collectors. *Revista Matéria*, [s. l.], 21 jan. 2019.

ARAÚJO, Felipe Alves Albuquerque; FREIRE, Francisco Nivaldo Aguiar; PINHO, Diego Caitano; DUTRA, Kaio Hemerson; ROCHA, Paulo Alexandre Costa; SILVA, Maria Eugênia Vieira. **Study of surfaces, produced with the use of granite and titanium, for applications with solar thermal collectors**. *Reviews on Advanced Materials Science*, [s. l.], 13 maio 2020.

BALACHANDRAN VS, JADHAV SR, VEMULA PK, et al. **Recent advances in cardanol chemistry in a nutshell: from a nut to nanomaterials**. *Chem Soc Rev* 2013; 42: 413–832.

BASSETT AW, BREYTA CM, HONNING AE, et al. **Synthesis and characterization of molecularly hybrid bisphenol derived from lignin and CNSL: application in thermosettin resins**. *Eur Polym J* 2019; 111: 95–103.

BLASCHKE, Thomas; BIBERACHER, Markus; GADOCHA, Sabine; SCHARDINGER, Ingrid. **'Energy landscapes': Meeting energy demands and human aspirations**. *Biomass Bioenergy*, [s. l.], 16 ago. 2013.

COSTA KP, VIVEIROS BM, JUNIOR MASS, et al. **Chemical transformation in technical cashew nut shell liquid and isolated mixture of cardanols, evaluation of the antioxidante activity and thermal stability of the products for use in pure biodiesel**. *Fuel* 2019; 235: 1010–1018.

CRESESB. **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf
Acesso em: 21 mar. 2019.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes.** 4. ed, John Wiley & Sons, 2013.

DUTRA, Kaio Hemerson; FREIRE, Francisco Nivaldo Aguiar; PINHO, Diego Caitano; ARAÚJO, Felipe Alves Albuquerque. **Characterization of a Selective Surface Based on Chromium, Iron and Aluminum Oxides for Application in Solar-Thermal Collectors.** Materials Research, [s. l.], 25 jan. 2022.

ENERGIA HELIOTÉRMICA. Disponível em: <http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/o-sol-fonte-de-energia>. Acesso em: 25 set. 2019.

FOCUSOLAR. Disponível em: <http://focusolar.com.br/potencial-solar-brasileiro/> Acesso em: 14 nov. de 2019

GALLO, N. J. H. **Preparação e caracterização de revestimentos seletivos para conversão fototérmica de energia solar.** 1985. 134f. Tese (Doutorado em Ciências – Física Aplicada) – Departamento de Física e Ciências dos Materiais, Instituto de Física e Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1985

GONÇALVES, Raiane Valenti; ZANINI, Mara Lise; MALMONGE, José Antonio; BONNAUD, Leila; BASSO, Nara Regina de Souza. **Cashew nut shell liquid, a valuable raw material for generating semiconductive polyaniline nanofibers.** Polímeros, [s. l.], 28 jan. 2018.

GOMES, C.A.S. **Estudo Comparativo de Superfície Seletiva Para Coletores Solares.** 2001. 65p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – UFC, Fortaleza.

GRANQVIST, C.G. **Solar-energy materials - overview and some examples.** Applied Physics 52. Solids and Surfaces, Gothenburg, p. 83-93 1991.

KABIR E, KUMAR P, KUMAR S, et al. Solar energy: potential and future prospects. Renew Sustain Energy Rev2017; 82: 894–900.

KALOGIROU AS. **Prediction on flat–plate collector performance parameters using artificial neural networks.** Solar Energy 2006; 80: 248–259.

KATZEN, D.; LEVY, E. MASTAI, Y. **Thin Films Os SilicapCarbon Nanocomposites For Selective Solar Absorbers.** Applied Surface Science 248 (2005), 514-517.

KRENZINGER, A. **Superfícies Seletiva para Conversão Térmica Solar – Óxido de Cobre Sobre Cobre.** 1979. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais)-UFRGS, Porto Alegre

KENNEDY, C. E. **Review of Mid-to-High Temperature Solar Selective Absorber Materials.** Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2002.

KONTTINEN, P. et al. **Mechanically manufactured selective solar absorber surfaces.** Solar Energy Materials & Solar Cells 79. Elsevier Science, p. 273-283, 2003

LINO, Larruama Priscylla Fernandes de Vasconcelos; FILHO, Larruama Priscylla Fernandes de Vasconcelos; SOUZA, Marthyna Pereira; ARAÚJO, Débora Gomes de Sousa; OLIVEIRA, , Juliana Paula Felipe; FLHO, Edson Cavalcanti da Silva; SILVA, André Leandro; MAZZETTO, Selma Elaine Mazzetto; OLIVEIRA, Ronaldo Lopes; ROCHA, Karla Nayalle; MOURA, José Fábio Paulino; BEZERRA, Leilson Rocha. **Control of microbial growth and lipid oxidation on beef steak using a cashew nut shell liquid (CNSL)-based edible coating treatment.** Food Science and Technology, [s. l.], 29 mar. 2022.

MADHUKESHWARA, N.; PRAKASH, E. S. **An investigation on the performance characteristics of solar flat plate collector with different selective surface coatings.** International Journal of Energy and Environment. v. 3, n. 1, p. 99-108, 2012.

MEDEIROS, Ithyara Dheylle Machado de. **Superfície seletivas a base de polímeros inorgânicos para coletores solares de média e alta temperaturas.** 2016. 133 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia Renováveis, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2016

MEDEIROS IDM, GOMES KC, GONÇALVES RPN, et al. **Selective solar surface solar based on black chromium: influence of electrodeposition parameters in the absorption of surfaces.** Mater Res 2019; 22: 1–6.

MIHELICIC, M.; FRANCETIC, V.; KOVAC, J.; VUK, A. S.; OREL, B.; KUNIC, R.; PEROS, D. **Novel sol-gel based selective coatings: from coil absorber coating to high power coating.** Solar Energy Materials & Solar Cells, v. 140, p. 232-248, 2015.

MOREIRA MM, SILVA LRR, MENDES TAD, et al. **Synthesis and characterization of a new methacrylate monomer derived from the cashew nut shell liquid (CNSL) and its effect on dentinal tubular occlusion.** ScienceDirect 2018; 24: 1144–1153.

QUEIROZ, W. F. **Construção de um fogão solar à concentração para cozimento direto e indireto.** 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - UFRN, Natal.

RAMOS, Ricardo Eugênio Barbosa. **Análise de desempenho de um fogão solar construído a partir de sucatas de antena de TV.** 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - UFRN, Natal.

RODRIGUES, F.P. **Obtenção e estudo de uma superfície seletiva para coletores solares térmicos a partir de resíduos de granito.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UFC, Fortaleza.

SCHÜLER, A. et al. **Application of titanium containing amorphous hydrogenated carbon films (a-C : H/Ti) as optical selective solar absorber coatings.** Solar Energy Materials & Solar Cells 60. Elsevier Science, p. 295-307, 2000. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024899000744>>. Acesso em: 10 de ago. 2018.

SHIMIDT, R. N.; PARK, K. C. **High-temperature space-stable selective solar absorber coatings**. Applied Optics, v. 8, n. 8, p. 917-927, 1965.

SELVAKUMAR N and BARSHILIA HC. **Review o physical vapor deposited (PVD) spectrally selective coatings for mid- and high-temperature solar termal applications**. Solar Energy Mater Solar Cells.

SELVAKUMAR, N. et al. **Spectrally selective CrMoN/CrON tandem absorber for mid-temperature solar thermal applications**. Solar Energy Materials & Solar Cells109. Elsevier Science, p. 97-103, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024812004709>>. Acesso em: 23 ago. de 2019.

SENA, A. C. **Estudo e caracterização de uma superfície seletiva para coletores solares planos à base do Líquido da Casca da Castanha de Caju**. 2016. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

TEIXEIRA, V. et al. **Spectrally selective composite coatings of Cr-Cr₂O₃ and Mo-Al₂O₃ for solar energy applications**. Thin Solid Films, v. 392, p. 320-326, 2001. Universidade estadual paulista (UNESP), http://www.dem.feis.unesp.br/intranet/tci_capitulo1.pdf. Acesso em 20 jan de 2019.

VIEIRA, S. G. **Obtenção, caracterização e aplicação de uma nova superfície seletiva para coletores solares térmicos**. 2011. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica e Produção, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

XIAO, X.; MIAO, L.; XU, G.; LU, L.; SU, L.; SU, Z.; WANG, N.; TANEMURA, S. **A facile process to prepare copper oxide thin films as solar selective absorbers**. Applied Surface Science, v. 257, n. 24, p. 10729-10736, 2011.

ZHENG, L.; GAO, F.; ZHAO, S.; ZHOU, F.; NSHIMIYIMANA, J. P.; DIAO, X. **Optical design and co-sputtering preparation of high performance Mo-SiO₂ cermet solar selective absorbing coating.** Applied Surface Science, v. 280, p. 240-246, 2013.