

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA - EST
CURSO DE BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

SOL PETRUS DA SILVA PRAIA WALKEY

**DESENVOLVIMENTO DE TINTA CONDUTIVA A BASE DE CARBONO (NEGRO
DE FUMO) PARA IMPRESSÃO DE TRILHA ELÉTRICA**

Manaus – AM

2021

SOL PETRUS DA SILVA PRAIA WALKEY

DESENVOLVIMENTO DE TINTA CONDUTIVA A BASE DE CARBONO (NEGRO DE FUMO) PARA IMPRESSÃO DE TRILHA ELÉTRICA

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Lima Serudo

Manaus – AM

2021

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia - EST

Reitor:

Cleinaldo de Almeida Costa

Vice-Reitor:

Cleto Cavalcante de Souza Leal

Diretor da Escola Superior de Tecnologia:

Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo

Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica:

Israel Gondres Torné

Banca Avaliadora composta por:

Prof. Dr. Ricardo Lima Serudo (Orientador)

Prof. Me. Roberto Higino

Profa. Ma. Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo

Data da defesa: 03/01/2022.

CIP – Catalogação na Publicação

Walkey, Sol Petrus da Silva Praia

Desenvolvimento de tinta condutiva a base de carbono (negro de fumo) para impressão de trilha elétrica / Sol Petrus da Silva Praia Walkey; [orientado por] Ricardo Lima Serudo. – Manaus: 2021.
46 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade do Estado do Amazonas, 2021.

1. Tintas condutivas, 2. Eletroquímica, 3. Carbono, 4. Trilhas Elétricas.

I. Serudo, Ricardo Lima.

SOL PETRUS DA SILVA PRAIA WALKEY

DESENVOLVIMENTO DE TINTA CONDUTIVA A BASE DE CARBONO (NEGRO DE FUMO) PARA IMPRESSÃO DE TRILHA ELÉTRICA

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Nota obtida: _____ (_____)

Aprovada em ____/____/____.

Área de concentração: Química e Condução Elétrica.

BANCA EXAMINADORA



Orientador: Ricardo Lima Serudo, Dr.

Avaliador: Roberto Higino, Me.

Avaliador: Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo, Ma.

Manaus 2021

Dedicatória

Dedico este trabalho à Deus pelo simples fato de ser quem ele é, por ser a ciência, do empírico ao abstrato, do início ao fim, modelador de cada partícula, da orgânica à inorgânica, ser vivo ou não. Fato é, toda inovação científica deve ser dedicada à inspiração divina, pois estamos todos fadados a manipulação da criação; na natureza nada se cria, tudo se transforma porque tudo vem Dele e volta para Ele.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi concluído graças ao apoio e incentivo de amigos, professores e familiares durante o período mais difícil que vivi em minha vida. Até o presente momento, minha esposa Eveline Praia Walkey está internada em UTI pelo período exato de 1 ano, na data de apresentação desta tese, isto é, dia 03 de janeiro de 2022, coincidindo também no 1º aniversário do nosso filho Ethan Praia Walkey, e são a eles, meu filho e esposa, a quem devo meus primeiros agradecimentos, como fonte de minha resiliência e persistência.

Agradeço também aos meus pais, Aldévio Praia e Sígilia Santos, por moldarem quem sou através dos ensinamentos, valores e princípios que levarei comigo ao longo de toda a minha vida.

As minhas irmãs Lua e Aimê Praia, por todo apoio, amor e confiança que depositam em minha vida.

Aos meus amigos e colegas, sejam eles da faculdade, da empresa a qual trabalho ou da igreja, sem o apoio de muitos eu não teria forças para continuar.

Aos meus professores, tutores e orientadores acadêmicos por todo conhecimento, direcionamento e instrução durante minha discência.

E as minhas amigas e engenheiras químicas Syra Mubarak e Kerollaine Cavalcante por todo conhecimento compartilhado em suas áreas de especialização, importantes para a conclusão deste trabalho.

“O mais importante é o amor”.

Praia Walkey, Eva (adaptado de 1Co 13:13)

RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvida uma tinta com capacidade de conduzir elétrons a base de carbono do tipo negro de fumo, objetivando um bom custo-benefício em relação às formulações existentes no mercado atual. Tal desenvolvimento proporciona na área da indústria eletrônica um novo campo de visão ao que pode se chamar de eletrônica descartável, tags de RFID, circuitos impressos em substratos descartáveis e biossensores são os segmentos mais beneficiados com a formulação desenvolvida. Para tal, fez-se o aprofundamento nos conceitos de eletrônica orgânica, eletroquímica, condutividade e resistência elétrica, a adaptação da lei de ohm para a situação proposta, técnicas de construção de circuitos impressos e reações químicas. Na escolha dos reagentes da formulação, almejou o uso de materiais de fácil acesso, baixo custo e não prejudiciais a pele enquanto produto final, afim de que possibilite futuramente a aplicação e desenvolvimento de dispositivos vestíveis, área com possibilidade de investimentos por meio da sociedade científica e empreendedora. Como resultado, a formulação com uso de surfactantes apresentou bons resultados de aderência bem como a análise voltamétricas e de resistências retornaram estabilidade na transferência de elétrons por meio da tinta.

Palavras-chave: Tintas Condutivas, Carbono, Eletroquímica, Trilhas-elétricas,

ABSTRACT

In this work, it was developed a paint capable of conducting carbon-based electrons of carbon black type. Such development allows the electronic industry field with a new vision to the called disposable electronic, RFID tags, printed circuits on disposable substrates and biosensors are the most benefited fields with the developed formulation. For such, it was made an organic electronics, electrochemical, electrical conductivity and resistance, Ohm's law adapting to the proposed situation, PCB construction techniques and chemical reaction concepts deepening. In choosing formulation reagents, it was aimed the usage of easy access, low cost and skin harmless as final product materials, in order to allow future application and development of wearable devices, field with investment potential by entrepreneurial and scientific societies. As a result, the formulation with surfactants showed good grip, as well as voltammetry and resistance analysis yielded balance in the electron transference through the paint.

Keywords: Conductive Paints, Carbon, Electrochemical, Electrical rails

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ilustração de tecido inteligente.	16
Figura 2 - Tinta Conndutiva Bare Paint.	17
Figura 3 - Bandas de Condução para material condutor, semicondutor e isolante.	18
Figura 4 - Adaptação da segunda Lei de Ohm para análise de tinta condutiva.....	19
Figura 5 - Morfologia do Negro de Fumo.	20
Figura 6 - Diferentes tipos de Negro de Fumo.	20
Figura 7 - Ilustração do processo de serigrafia.....	22
Figura 8 - Ilustração de impressão a jato de tinta.	23
Figura 9 - Voltamograma cíclico de um sistema de oxirredução.	24
Figura 10 - Potenciostato utilizado na caracterização eletroquímica da tinta condutiva.....	25
Figura 11 - Eletrodo moldado no substrato de cerâmica.	26
Figura 12 - Área de deposição da tinta condutiva no substrato de papel A4.	27
Figura 13 - Equipamento Multímetro para medições elétricas da tinta condutiva.....	28
Figura 14 - Resultado da formulação 1 sem surfactante.	29
Figura 15 - Resultado da formulação 2 com surfactante.	30
Figura 16 - Aplicação da tinta condutiva no substrato de papel.....	30
Figura 17 - Análise visual do segundo dia de aplicação das tintas condutivas, sem e com surfactante.....	31
Figura 18 - Análise de transferência de massa sobre o substrato das tintas, 17A é a formulação sem surfactante e 17B com surfactante.	32
Figura 19 - Análise de condutividade da tinta sobre o substrato de papel.	34
Figura 20 - Trilha elétrica construída com tinta condutiva sobre o substrato de papel.....	34
Figura 21 - Aplicação da tinta produzida no cartucho da Impressora Brother.....	35
Figura 22 - Impressão da tinta condutiva sobre o substrato de papel.....	36
Figura 23 - Voltamograma Cíclico da tinta condutiva de Negro de fumo.	37
Figura 24 - Gráfico correspondente de corrente de pico versus raiz quadrada das taxas de varredura denotando sistema quase reversível adequado para análise de transferência de elétrons.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Reagentes químicos utilizados para composição e análise eletroquímica da tinta condutiva.	25
Tabela 2 - Resultados de resistência elétrica com 4 camadas de tinta.	33



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1 REFERENCIAL TEÓRICO	15
1.1 ELETRÔNICA ORGÂNICA	15
1.2 TINTAS CONDUTIVAS	16
1.3 PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS	17
1.4 CONDUÇÃO ELÉTRICA	17
1.4.1 As Leis de Ohm para a tinta condutiva.	18
1.5 NEGRO DE FUMO	19
1.6 TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DE CIRCUITOS IMPRESSOS	21
1.6.1 Serigrafia	22
1.6.2 Fotolitografia	22
1.6.3 Impressão à jato de tinta	23
1.7 TÉCNICAS DE ANÁLISES ELETROQUÍMICAS	23
1.7.1 Voltametria Cíclica	24
2 METODOLOGIA	25
2.1 MATERIAIS E REAGENTES	25
2.1.1 Produção das tintas condutivas	26
2.1.1.1 Tinta sem surfactante	26
2.1.1.2 Tinta com adição de surfactante	26
2.2 ESTUDO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA DA TINTA CONDUTIVA	27
2.3 ESTUDO DE REVERSIBILIDADE DA TINTA CONDUTIVA	28
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
3.1 ANÁLISE DE ADERÊNCIA NO SUBSTRATO	30
3.2 ESTUDO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA DA TINTA CONDUTIVA	32
3.3 APLICAÇÃO DA TINTA CONDUTIVA EM IMPRESSORA	34
3.4 ANÁLISE ELETROQUÍMICA DA TINTA CONDUTIVA	36
CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	40

INTRODUÇÃO

São jogadas 53,6 mega toneladas de lixo eletrônico no mundo, segundo o relatório de 2020 do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, a estimativa para 2030 é de 74,7 Mtl, e todo esse lixo possui em comum a Placa de Circuito Impresso (PCI) a qual é responsável pela distribuição planejada da energia elétrica no circuito através da deposição de trilhas de cobre sobre um material isolante. Entretanto, este processo é caro, demorado e além de usar um solvente corrosivo no processo de galvanoplastia, a escolha do substrato é limitada. Por estas razões, o advento de novas tecnologias como as impressões a jato de tinta de linhas condutoras, torna-se indispensável (DORO, 2004; PARK et al., 2007; DE GANS et al., 2004).

O surgimento de nanopartículas nas últimas décadas, proporcionou a criação de tintas com alta condutividade elétrica, sendo esta, uma tecnologia em ascensão, é vista como a grande aposta para o futuro da indústria de eletrônicos por diversos fatores, tais como: a capacidade substituir um fio elétrico, tornando um circuito mais organizado, ter maior rendimento do material condutivo e inutilizar produtos corrosivos como o perclorato de ferro, além de ser aplicável em diferentes substratos como papel, plástico, vidro, madeira, tecidos e até mesmo na pele humana dependendo de sua composição que pode ser feita a base de carbono. (NATHAN et al., 2012; SUGANUMA et al., 2007; KALCHER et al., 1994).

Quanto à composição, diversas substâncias são estudadas, para que suas características quando combinadas, sejam capazes de atender requisitos de viscosidade, flexibilidade, aderência, tensão superficial, uniformidade e condutividade, onde a condução de elétrons tem como possibilidades metais fundidos, polímeros condutores, precursores metálicos, organometais e suspensões de nanopartículas (ORME; SMITH, 2000; VARAHRAMYAN; CUI; LIU., 2003; ROZENBERG et al., 2002; CALVERT, 2001; LIU, 2001; TANG et al., 2014).

Responsáveis pela fixação do material condutivo no substrato desejado, são usadas substâncias com baixa temperatura de ebulição como metanol, acetona e resinas, transformando a pasta condutiva em uma tinta. A escolha das substâncias é de suma importância a fim de que o produto final tenha bons resultados e seja usado na confecção de circuitos, podendo substituir resistores, trilhas elétricas de transistores, células solares, PCIs além de ajudar no desenvolvimento de sensores e biossensores (CAPASSO et. al., 2015; KREBS, 2009; HAN et al, 2012; NASCIMENTO, 1998).

A versatilidade gerada com o advento de tintas capazes de conduzir elétrons, ampliou o campo de visão da indústria eletroeletrônica, pois além de proporcionar melhorias e miniaturização de circuitos já existentes como os feitos em aparelhos celulares, viabilizou a

criação de dispositivos vestíveis como biossensores depositados sob a pele, luvas a base de tinta condutiva para a aferir os movimentos dos dedos, dentre outros (SINGH; FEINER; STEVEN, 1994).

Sabendo que a criação de trilhas condutoras de elétrons, como as feitas nas PCBs são indispensáveis na indústria eletrônica, é proposta a impressão de trilhas elétricas capazes de desenhar circuitos os quais serão pré-definidos os parâmetros de cada ramo do circuito, como a resistência, a grande vantagem desse processo, é que será mais eficiente, econômico e sem danos abusivos ao meio ambiente, ao contrário do tradicional processo de galvanoplastia com o uso do perclorato de ferro, o circuito utilizará a tinta condutiva que será injetada no cartucho de impressora a jato de tinta comercial (LEE; CHOU; HUANG, 2005; PERÇIN; YAKUB, 2003; HUANG, 2001; TSENG; KIM; HO, 2002).

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 ELETRÔNICA ORGÂNICA

A eletrônica orgânica (EO) é essencialmente um campo que compreende o desenvolvimento, emprego e aplicação principalmente de moléculas e polímeros eletricamente ativos baseados em carbono, ou seja, possuem propriedades de interesse como condutividade ou semicondutividade elétrica, piezoeletricidade, e luminescência, por exemplo (ZAKI, 2015).

É uma área com grande interesse de pesquisa/desenvolvimento devido ao seu potencial em relação a eletrônica convencional, baseada em materiais inorgânicos. De modo geral, a eletrônica convencional depende de técnicas custosas, complexas e que envolvem numerosas etapas de fabricação/deposição, tais como a fotolitografia e deposições a vácuo. Em contrapartida, a EO se sobressai por possuir baixo custo, menor tempo de fabricação em temperaturas mais baixas e processabilidade via solução (FORTUNATO; BARQUINHA; MARTINS, 2012; SINGH et al., 2010; ZAKI, 2015).

Segundo o documento elaborado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, intitulado Perspectiva para eletrônica orgânica no Brasil, os materiais semicondutores baseados em carbono representam uma importante oportunidade de negócio. O desenvolvimento destes materiais na forma de dispositivos possibilitaria o surgimento de empresas e negócios baseados na EO, um campo de interesse tanto comercial quanto acadêmico (RIVERA; TEIXEIRA, 2014).

Comercialmente a EO destaca-se devido ao seu potencial de mercado, uma solução alternativa à eletrônica convencional, possivelmente mais viável economicamente e capaz de aliar características como leveza e flexibilidade. Entre os exemplos de aplicação neste campo estão: as telas flexíveis, a iluminação de grandes áreas, sensores, a eletrônica descartável, etiquetas eletrônicas de identificação por radiofrequência e tecidos e embalagens inteligentes. A figura 1 apresenta um modelo de tecido inteligente.

Figura 1- Ilustração de tecido inteligente.



Fonte: Urbano (2015)

1.2 TINTAS CONDUTIVAS

Existem diversas pesquisas recentes sobre tinta condutiva, sendo estas eficientes em termos de custo e de condutividade. Tais tintas utilizam procedimentos e materiais não tóxicos, além da redução da temperatura de cura ou sinterização da trilha impressa pela mesma. Atualmente a prata é o material mais relatado para tinta condutiva, e o mais utilizado em aplicações industriais, devido a sua fácil síntese e estabilidade química sob condições ambientes. Devido ao alto custo da prata, um grande desafio é substituir a prata e outros metais nobres, por elementos mais baratos (TANG et al., 2014; SANTOS et al., 2018).

As tintas condutoras existentes no mercado atualmente são de difícil acesso e de valores variando entre R\$79,9 e R\$220,0. Sendo um material com capacidade de aplicação em isolamento eletromagnético de equipamentos ou até mesmo como um reforço de preenchimento de trilhas em placas de circuito impresso. Alguns pesquisadores vêm trabalhando no desenvolvimento deste material, sendo o principal foco destas pesquisas a quantidade de pó de carbono na composição desta tinta (DOS SANTOS; DA SILVA, 2018).

As primeiras tintas condutivas funcionais relatadas na literatura foram de WALKER (2012), o qual criou na Universidade de Illinois nos Estados Unidos uma caneta com a tinta à base de prata, e da empresa Bare Conductive®, esta desenvolveu uma tinta condutiva,

registrada como Bare Paint (Figura 2), solúvel em água que vem como substituto de trilhas e soldas, podendo ser aplicadas em cartolina, madeira, plástico, dentre outros materiais sem precisar produzir primeiro uma placa de circuito (WALKER; LEWIS, 2012; DOS SANTOS; DA SILVA 2018).

Figura 2 - Tinta Conndutiva Bare Paint.



Fonte: Shopify (2021)

1.3 PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS

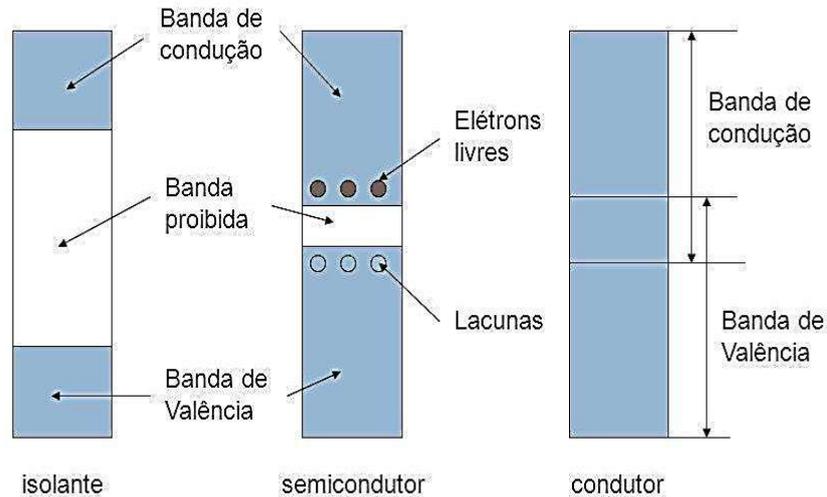
De forma geral, tintas condutivas são compostas por um material condutor, sendo este de grande maioria composto por metais como cobre, ouro e prata, um material aglutinante (tinta ou solução polimérica), cuja característica principal é a uniformidade da tensão superficial da tinta e complementação da ligação coalescente entre os grãos do condutor, um solvente para o controle de viscosidade e evaporação de resíduos, como o etanol. Além de uma solução com baixa temperatura de ebulição para que possa aderir os demais componentes da tinta nos substratos desejados. Outras propriedades importantes são: a aderência da tinta ao substrato ou base, a flexibilidade ou a resistência mecânica da trilha em suportar torções de acordo com o substrato, além da sua baixa resistividade elétrica (NASCIMENTO; ANGNES, 1998).

1.4 CONDUÇÃO ELÉTRICA

Por definição, os materiais condutores são aqueles que facilitam o fluxo de carga elétrica, a imagem a seguir relaciona o nível de energia para cada tipo de material. A facilidade dos elétrons em transpor a banda de menor energia para a energia mais elevada, ou seja, passar

os elétrons da banda completamente preenchida para a parcialmente preenchida, é que possibilita o material ser um condutor, como mostra a Figura 3, abaixo:

Figura 3 - Bandas de Condução para material condutor, semicondutor e isolante.



Fonte: Ashcroft; Mermin (2011).

1.4.1 As Leis de Ohm para a tinta condutiva.

Quando se aplica uma diferença de potencial “V” dado em Joules/Coulomb em um circuito elétrico fechado, é gerada a taxa de fluxo de cargas ao longo do tempo, isto é, Corrente Elétrica “I” dada em Coulomb/segundo, e o material cria uma oposição ou Resistência “R” dada em Volt/Ampère ao fluxo de corrente, a relação entre essas 3 grandezas é definida através da primeira lei de Ohm (BOYLESTAD, 2004):

$$V = I * R \quad (1)$$

O valor da resistência R depende da geometria do material, a resistividade, a área da secção transversal e a distância entre os pontos de medição da amostra do material. A segunda Lei de Ohm relaciona essas características (BOYLESTAD, 2004):

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \quad (2)$$

Onde: R é a resistência (Ω)

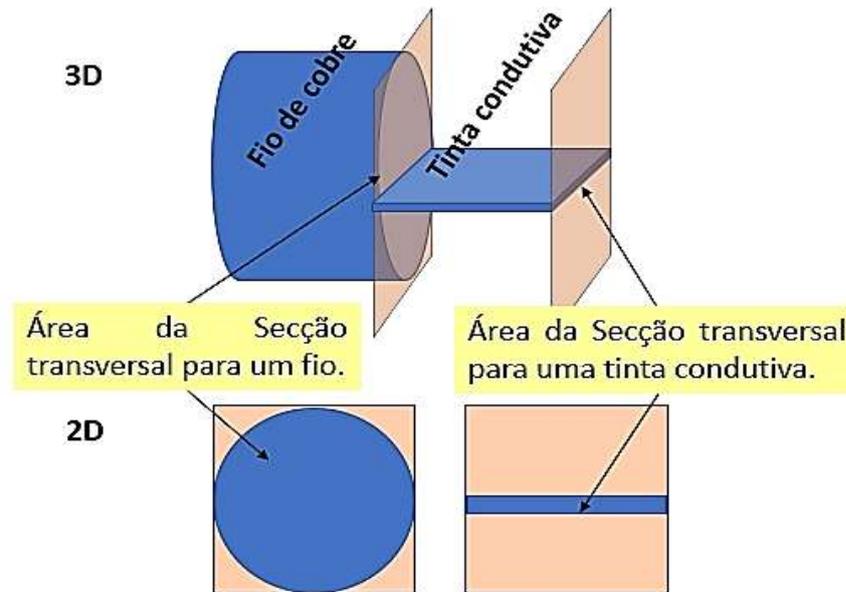
L = Comprimento (m)

ρ = Resistividade ($\Omega \cdot m$)

A = Área da secção transversal

Levando em consideração que esta lei de Ohm é usada para um material em 3 dimensões com características cilíndricas, fez-se uma adaptação para se usar na análise das tintas condutivas, veja na imagem a seguir o comparativo entre os dois tipos de materiais analisados em 3D e 2D. A seguir, a figura 4 apresenta uma adaptação da lei supracitada.

Figura 4 - Adaptação da segunda Lei de Ohm para análise de tinta condutiva.

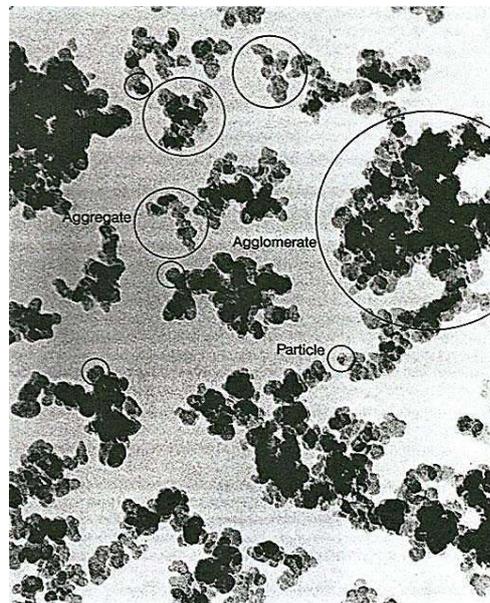


Fonte: Autoria Própria (2021).

1.5 NEGRO DE FUMO

O termo Negro de Fumo (NF) é utilizado para identificar uma grande variedade de materiais carbonáceos em forma de partículas esféricas com tamanhos na faixa de 10-100nm (figura 5), a qual é produzida através da decomposição térmica controlada de hidrocarbonetos aromáticos gasosos ou líquidos sob condições controladas. O negro de fumo é um material amorfo, um subproduto do petróleo bruto, constituído por partículas nanométricas. Estas partículas se unem por forças eletrostáticas formando os agregados, como mostra a Figura 5 (SÁNCHEZ-GONZÁLEZ et al., 2005; JUNQUEIRA, 2012; DOS SANTOS et al., 2017).

Figura 5 - Morfologia do Negro de Fumo.



Fonte: Semantic Scholar (2021).

Os muitos tipos de NF comerciais diferem-se pelo tipo de tecnologia empregada neles, com isso o tipo de obtenção interfere na qualidade do produto final. São materiais que possuem concentrações de carbono elementar acima de 90% e propriedades físicas bem estabelecidas, conforme o processo de fabricação, conforme mostra figura 6 (HUANG, 2002; DOS SANTOS et al., 2017). A figura 6 apresenta diferentes tipos de negro de fumo disponíveis no mercado.

Figura 6 - Diferentes tipos de Negro de Fumo.



Fonte: MFRural (2021).

A principal aplicação do negro de fumo é como carga de reforço para melhorar as propriedades mecânicas de materiais poliméricos. Porém, o negro de fumo semicondutor tem sido bastante utilizado como material condutor em compósitos poliméricos devido à sua capacidade de conduzir eletricidade, e por razões econômicas mesmo sendo conhecido e utilizado desde a pré-história, nas pinturas de cavernas, o negro de fumo só foi amplamente produzido a partir de 1870 para atender as necessidades da indústria de tintas (HUANG, 2002; JUNQUEIRA, 2012).

A aplicação industrial deste material é extremamente ampla, podendo variar desde a utilização como material adsorvente, pigmentos industriais ou até mesmo em construção de células a combustível, baterias a base de sódio e lítio. E recentemente, seu uso foi aplicado na área da eletroquímica como agente modificador de eletrodos. Apesar de ainda escassas informações sobre a potencialidade do Negro de Fumo como principal material condutor na preparação de tintas condutivas visando construção de trilhas elétricas (BEEBE et al., 1947; LEONG; CHUNG, 2004; ZHANG; GAO; YANG, 2011; ZHENG et al., 2012; LIN et al., 2013).

Pelo processo de produção o negro de fumo pode ser classificado como:

- Negro de fumo de lamparina;
- Negro de fumo de acetileno;
- Negro de fumo de canal;
- Negro de fumo de fornalha;
- Negro de fumo térmico.

O negro de fumo utilizado nesse experimento foi o de fornalha, o qual corresponde a 95% do negro de fumo produzido no mundo por questões de custos e aplicações. O tamanho das partículas pode variar de 8 e 100 nm.

1.6 TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DE CIRCUITOS IMPRESSOS

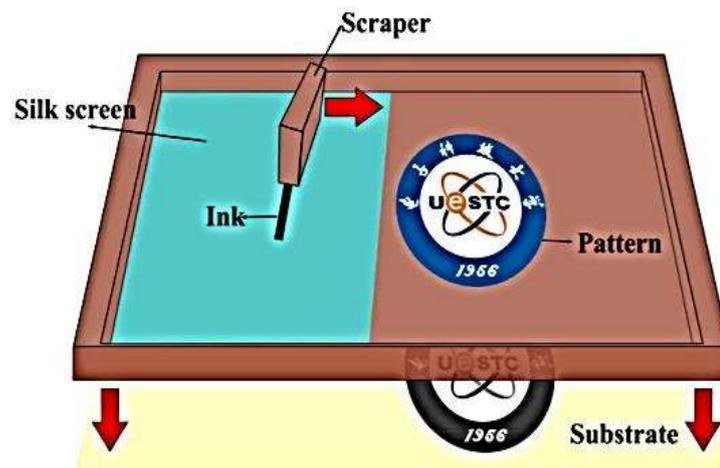
Além da geometria/configuração e da composição do material usado na construção de circuito impressos é importante também determinar a técnica a ser usada, uma vez que esta pode proporcionar diferentes características de acordo com a aplicação que se deseja (DOS SANTOS et al., 2017). Dentre as mais utilizadas, tem-se serigrafia, fotolitografia e impressão à jato de tinta (DOS SANTOS et al., 2017; DOS SANTOS, 2018).

1.6.1 Serigrafia

A serigrafia ou “screen-printing” é o mais utilizado desde 1990, principalmente pela facilidade de execução em qualquer laboratório, mas também devido à possibilidade de se obter um sistema miniaturizado e portátil. Além disso, ela permite a aplicação nos mais diversos substratos como têxteis, eletrônicos, cerâmica, vidro, entre outros (DOS SANTOS et al., 2017)

A técnica mencionada consiste em passar a tinta condutora através de um molde de configuração definida, proporcionando uma ou mais camadas de filme como demonstrado na Figura 7. Os principais parâmetros que influenciam na qualidade da tinta são fluidez, plasticidade, tensão superficial e viscosidade, sendo os dois últimos os mais importantes, uma vez que alta viscosidade fornece congestionamento ou mesmo a não transferência da tinta para o substrato e baixa viscosidade pode causar vazamentos e baixa precisão dos padrões impressos, então recomenda-se que a viscosidade esteja entre 14000 a 12000 mPa s (LI et al., 2020).

Figura 7 - Ilustração do processo de serigrafia.



Fonte: Wu et al (2020)

1.6.2 Fotolitografia

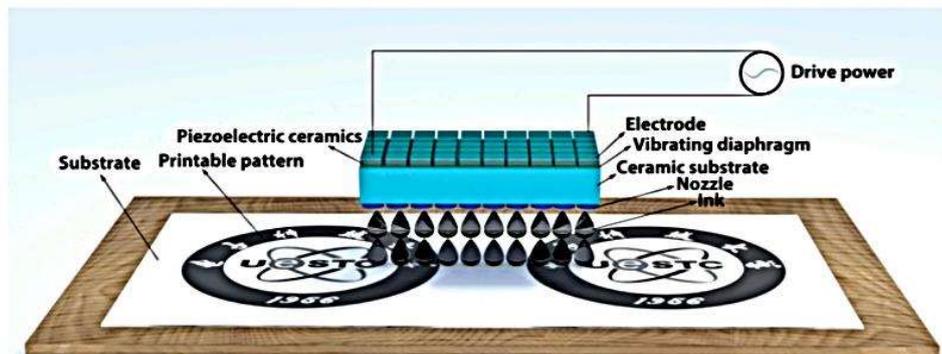
A fotolitografia consiste da impressão de estruturas micrométricas em um substrato sólido, utilizando para isso máscara de transferência e tinta fotossensível a luz ultravioleta. Para o caso de circuitos impressos, por exemplo, a técnica ocorre por meio do desenho do circuito na máscara plástica, a qual é fixada na superfície de cobre juntamente com a tinta fotossensível. Em seguida, há a exposição à luz ultravioleta que é responsável pela degradação da tinta que não está no desenho do circuito, sobrando apenas a máscara com o desenho do circuito sobre a

placa de cobre. Para obtenção das trilhas do circuito de cobre, a placa com a máscara deve ser lavada para um banho com perclorato de ferro, o qual irá corroer o cobre que não está protegido pela máscara (DOS SANTOS, 2018).

1.6.3 Impressão à jato de tinta

A impressão à jato de tinta é utilizado para fabricação de dispositivos eletrônicos, como antenas, placas de circuito, sensores bioquímicos e apresenta a vantagem de possibilitar a impressão de filmes condutores em substratos flexíveis, fato este que não pode ser obtido por meio de serigrafia e fotolitografia, a Figura 8 demonstra o princípio da impressão à jato, a qual proporciona realizar gráficos em grande escala, alta eficiência e baixo custo. Um ponto importante para essa técnica, é o tipo de impressora utilizada que deve ser específica para jato de tinta, de modo a possibilitar impressões de filmes condutores de qualidade. Para isso, um importante parâmetro influenciador é o tamanho do bico que quanto maior, a probabilidade de entupimento será menor, porém esse tamanho não fornece alta resolução de impressão (Wu et al., 2020). Mesmo a técnica proporcionando alta resolução da impressão, o escalonamento não é aconselhado devido ao alto custo, principalmente quando se utiliza tintas condutoras compostas de nanopartículas metálicas (LENG et al., 2019).

Figura 8 - Ilustração de impressão a jato de tinta.



Fonte: Leng et al (2019)

1.7 TÉCNICAS DE ANÁLISES ELETROQUÍMICAS

Para análise de relações diretas entre concentração de composições químicas e suas propriedades elétricas como a corrente, resistência e condutividade, faz-se o uso de tecnologias as quais servem como alicerces para análises no ramo da eletroquímica, por meio de softwares capazes de transformar sinais elétricos em dados estatísticos.

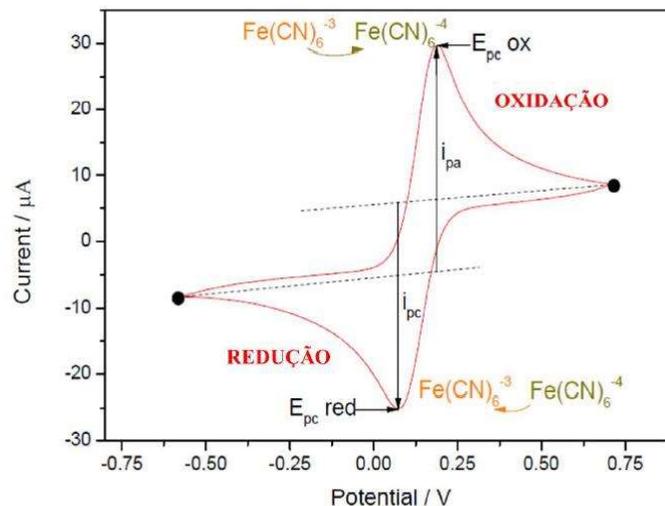
A eletroquímica é a interface entre a física e a química eletrônica, através da mesma, se estuda os fenômenos oriundos da separação e fluxo dos transportadores de carga. A carga é transportada por elétrons e transferida para transportadores químicos no eletrodo, os íons da solução, a geração desses íons é mediada pela redução ou oxidação de espécies iônicas na interface do sensor, como a sonda eletroquímica de Fericianeto de Potássio e o Ferrocianeto de Potássio (GOODE, 2015).

1.7.1 Voltametria Cíclica

Esta técnica consiste na aplicação de uma diferença de potencial (V) entre dois eletrodos em forma de varredura, observa-se então o comportamento da corrente elétrica, com isso é possível extrair as informações qualitativas e quantitativas da solução. Essa variação de tensão em uma velocidade constante, e análise de corrente, gera o gráfico corrente vs potencial, denominado voltamograma (ALEIXO, 2003; PACHECO, et al., 2013).

A eficiência da técnica consiste em fornecer dados sobre a termodinâmica de processos redox, da cinética de reações heterogêneas de transferência de elétrons e sobre reações químicas acopladas a processos adsorptivos. Nos ensaios de VC são aplicados determinados potenciais crescentes e decrescentes, gerando dados significativos sobre as propriedades da solução e do eletrodo, bem como quaisquer mudanças que ocorram na interface. A varredura de potenciais em ambas as direções pode gerar informações sobre redução e oxidação do sistema, como mostra a Figura 9 (GOODE, 2015).

Figura 9 - Voltamograma cíclico de um sistema de oxirredução.



Fonte: Goode (2015).

2 METODOLOGIA

2.1 MATERIAIS E REAGENTES

Os reagentes utilizados na produção e análises eletroquímicas da tinta condutiva, bem como suas respectivas purezas, são descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Reagentes químicos utilizados para composição e análise eletroquímica da tinta condutiva.

REAGENTES	PUREZA	MARCA
Ciclohexanona	P. A	Synth
Acetona	P. A	Dinâmica
1-Metil-2-Pirrolidona (NMP)	P. A	Sigma Aldrich
Negro de Fumo VXL-72	-	CABOT
Acetato de Celulose	-	Agro Organic
Dodecil Sulfato de Sódio (SDS)	99%	Neon
Ferrocianeto de Potássio	P. A	Sigma Aldrich
Ferricianeto de Potássio	P. A	Aldrich Sigma
Ácido Sulfúrico	98%	VETEC

Fonte: Autoria Própria (2021).

A medição voltamétrica foi realizada em um potenciostato/galvanostato da marca DROPSSENS, modelo DSC-P, modelo semelhante ao apresentado na figura 10.

Figura 10 - Potenciostato utilizado na caracterização eletroquímica da tinta condutiva.

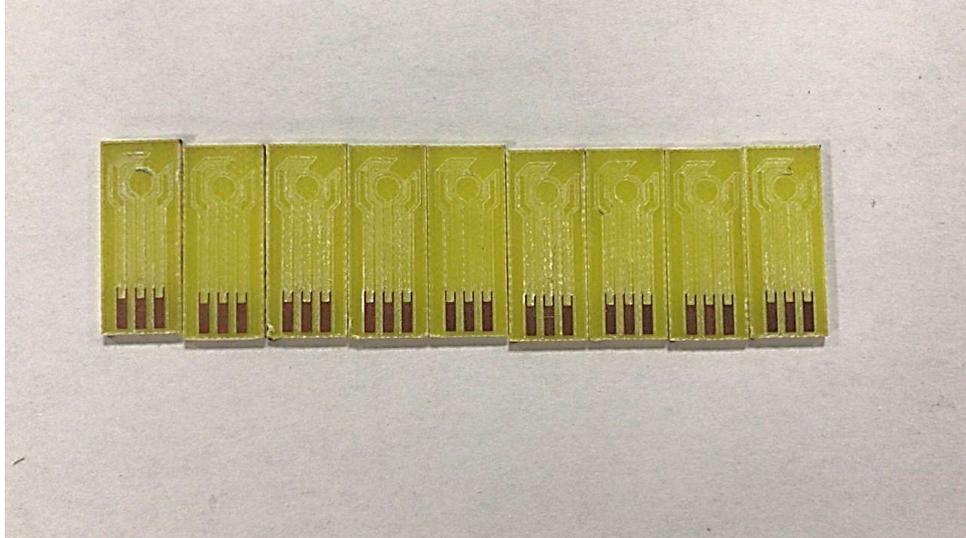


Fonte: Dropsens (2021)

Utilizou-se dois tipos de substrato: cerâmica e papel. Para medidas de resistências, foram utilizadas formados de 4 e 2 cm desenhados no papel A4 e para análises voltamétrica,

foram utilizados eletrodos de cerâmicas, moldados por uma Máquina fresadora de madeira da marca ROUTER CNC, do modelo Pro-Max 3018 Diy, apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Eletrodo moldado no substrato de cerâmica.



Fonte: Autoria Própria (2021).

2.1.1 Produção das tintas condutivas

2.1.1.1 Tinta sem surfactante

A tinta foi produzida utilizando uma mistura de solvente na proporção de 60:40 (V:V) de Ciclohexanona e Acetona, para a solubilização de 80% (M/M) de Acetato de Celulose. O processo de solubilização da mistura foi feito com auxílio de um agitador de marca ETHIK, durante o período de 1 hora a 200 rpm. A quantidade de Negro de Fumo utilizada foi de 70% (M/M). Após a solubilização do Acetato de celulose, foi adicionada 35% (V/V) da mistura ao Negro de Fumo e 80% (V/V) de NMP (N-metil-pirrolidona). Em seguida, foi feita a adição sobre o substrato de papel. Em seguida, a tinta foi colocada na Lavadora Ultrassônica da marca ULTRANIQUE, para o processo de homogeneização durante um período de 2 horas. Em seguida, foi feita a adição sobre o substrato de papel.

2.1.1.2 Tinta com adição de surfactante

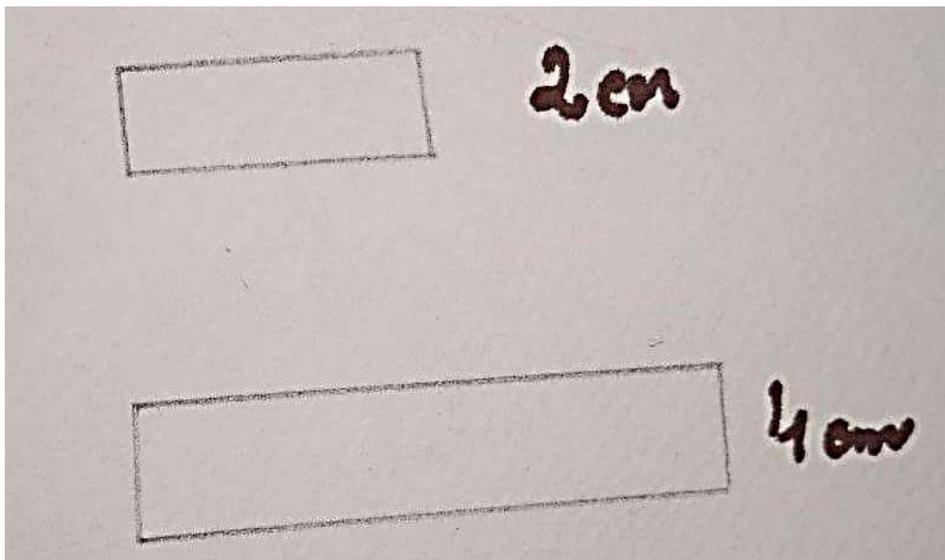
A tinta foi produzida utilizando uma mistura de solvente na proporção de 60:40 (V:V) de Ciclohexanona e Acetona, para a solubilização de 80% (M/M) de Acetato de Celulose. O processo de solubilização da mistura foi feito com auxílio de um agitador de marca ETHIK, durante o período de 1 hora a 200 rpm. A quantidade de Negro de Fumo utilizada foi de 70%

(M/M). Após a solubilização do Acetato de celulose, foi adicionada 35%(V/V) da mistura ao Negro de Fumo e 80% (V/V) de NMP e 60% de SDS. Em seguida, a tinta foi colocada na Lavadora Ultrassônica da marca ULTRANIQUE, para o processo de homogeneização durante um período 1 hora e 30 minutos. Em seguida, foi feita a adição sobre o substrato de papel. A figura 12 apresenta a configuração dos testes.

2.2 ESTUDO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA DA TINTA CONDUTIVA

O estudo de resistência da tinta foi feito utilizando um Multímetro Digital da marca FLUKE. O substrato foi dimensionado em 2 e 4 cm e adicionado uma camada de tinta com ajuda de um pincel, esperava-se secar durante 24 horas, e foi medido as resistências, durante 5 dias, conforme apresentado na figura 13.

Figura 12 - Área de deposição da tinta condutiva no substrato de papel A4.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Figura 13 - Equipamento Multímetro para medições elétricas da tinta condutiva.



Fonte: Autoria Própria (2021).

2.3 ESTUDO DE REVERSIBILIDADE DA TINTA CONDUTIVA

As tintas foram adicionadas sobre um molde de eletrodo e esperou-se secar durante 24 horas. Em seguida foi adicionado uma solução de 40 uL do par Redox Ferricianeto de Potássio e Ferrocianeto de Potássio a 0,1 mol.L⁻¹ em H₂SO₄ a 0,5 mol.L⁻¹.

Em seguida foi aplicado a leitura da técnica de Voltametria Cíclica, com varredura de potencial foi feita de -1,0 a +1,0V, nas velocidades de 5mV/s a 150mV.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para este trabalho, foram produzidas duas tintas condutivas que consistiam em um compósito de base de Negro de Fumo aglutinado homogeneamente com acetato de celulose. A parte principal da formulação de qualquer tinta é a escolha da proporção dos reagentes, pois influenciam na viscosidade, homogeneidade, volatilidade e resistência. (DOS SANTOS et al., 2017).

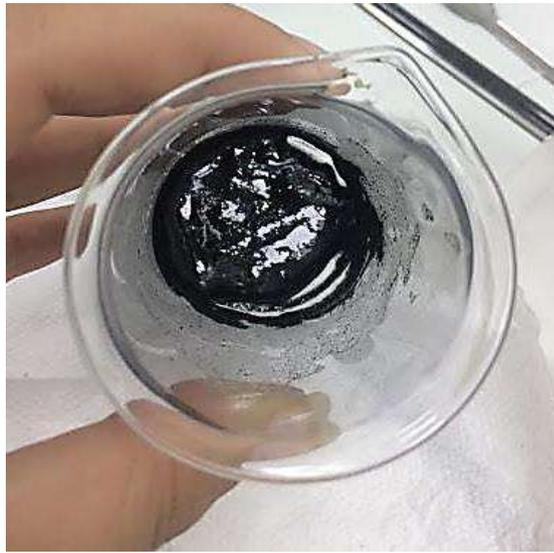
Outro fator importante é a escolha do veículo líquido da tinta. Para obtenção de tinta com alta viscosidade e homogeneidade, o solvente em menor quantidade na mistura, deve conter o maior ponto de ebulição e menor tensão superficial em relação ao solvente principal. (NETO, J. A. 2019). As figuras 14 e 15 apresentam os resultados sem e com surfactante, nesta ordem.

Figura 14 - Resultado da formulação 1 sem surfactante.



Fonte: Autoria Própria (2021)

Figura 15 - Resultado da formulação 2 com surfactante.



Fonte: Autorial Própria (2021)

3.1 ANÁLISE DE ADERÊNCIA NO SUBSTRATO

A deposição da tinta é dividida em duas etapas: dispersão da tinta no substrato e a consolidação no substrato. O contato da tinta é controlado pelas forças inerciais e capilaridade, que influenciam no espalhamento da tinta. A consolidação da tinta é uma característica do grau de evaporação dos solventes, relacionado diretamente com a solubilidade dos solventes. (SANTOS, G. et al., 2018)

A Figura 16 apresenta o processo de adição da tinta no substrato de papel, com o auxílio de um pincel.

Figura 16 - Aplicação da tinta condutiva no substrato de papel.



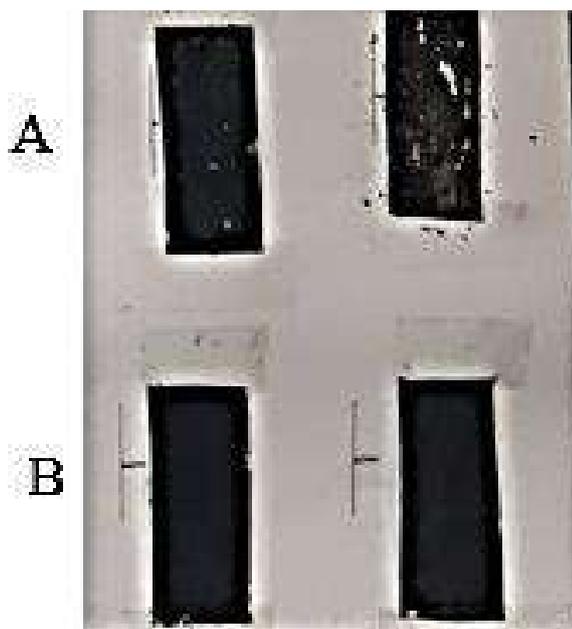
Fonte: Autorial Própria (2021)

Na Figura 17 é apresentado o resultado da primeira adição das tintas no substrato, esperou-se 24 horas, e retirou-se a foto. Na primeira análise visual da tinta condutiva, sem surfactante, Figura 17A, verificou-se a presença de perfil de quebra na superfície onde foi adicionada a tinta. Na tinta com surfactante, Figura 17B, observou-se a uniformidade da superfície, sem a presença de quebra na superfície.

Os surfactantes são compostos orgânicos anfipáticos que apresentam em sua estrutura uma porção polar ou cabeça, constituído por grupos iônicos (cátions e ânions) e não iônicos, e outra porção apolar, também chamada de cauda, constituída por duas cadeias carbônicas. Devido ao seu caráter anfifílico, quando são incorporados a um solvente polar, se acumulam na superfície do solvente, diminuindo a força de coesão entre as moléculas do solvente, reduzindo a tensão superficial. São classificados em aniônicos, catiônicos, não iônicos e anfotéricos, de acordo com o grupo presente na parte polar. (DE OLIVEIRA FELIPE; DE CÁSSIA DIAS, 2016).

O SDS é um surfactante aniônico utilizado em diversos processos industriais, domésticos e farmacêuticos. Tem função de dispersante, emulsificantes, lubrificantes e para esse trabalho como agente dispersante, atuando na penetração e molhamento da tinta. A interação da carga negativa do surfactante com a carga negativa do carbono previne a agregação de massa na superfície, melhorando a dispersão e por fim o espalhamento no (MARQUES, 2018; LAFRAGÜETA, 2020).

Figura 17 - Análise visual do segundo dia de aplicação das tintas condutivas, sem e com surfactante.



Fonte: Autoria Própria (2021)

Na figura 18A, observamos a presença de excesso de carbono na superfície da tinta. A consolidação da tinta esta correlacionado com a solubilização do aglutinante com a mistura dos solventes e o material condutor. O aglutinante tem um papel muito significativo na formulação da tinta devido a capacidade de garantir melhor empacotamento próximo das partículas do material conduto. Assim, o aglutinante mantém uma superfície consolidada, intransferível e uniforme, apresentada na figura 18B.; Milagres, 2019 (BHAKARE, et al., 2020)

Ferreira (2017) obteve uma tinta condutiva estável e homogênea, utilizando porcentagem de 60/40% (V/V) de Acetona / Ciclohexanona, para solubilizar o aglutinante, alcançando uma mistura em gel. Verificou-se também que o aumento da acetona leva a volatilização mais rápida do solvente, gerando menor homogeneidade e presença de falhas na tinta depositada

Figura 18 - Análise de transferência de massa sobre o substrato das tintas, 17A é a formulação sem surfactante e 17B com surfactante.



Fonte: Autoria Própria (2021)

3.2 ESTUDO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA DA TINTA CONDUTIVA

Um dos principais problemas para verificar a condutividade das tintas, era a uniformidade e a deposição da camada sobre o substrato, pois a medida da condutividade seria feita através do contato dos eletrodos do multímetro com a superfície. A presença de espaços, rachaduras ou transferência da tinta tem influência direta na medição da resistência elétrica das trilhas, onde a homogeneidade ineficaz favorece a presença de barreiras feitas por grânulo, que se desprendem da superfície eletródica mudando a morfologia inicial da superfície da tinta,

aumentando a resistência elétrica (FERREIRA, 2017; PAULA, 2013; ZUCHINALI, et al. 2017).

A tabela 2 apresenta os resultados de resistências elétricas das camadas após 5 dias de deposição da tinta. A quantidade de camadas depositadas no substrato influencia no melhor encobrimento da superfície do substrato, promovendo uma maior condutividade elétrica (DOS SANTOS et al., 2017).

Outro fator importante na diminuição de resistência elétrica foi o tempo de secagem. Esse tempo deve ser suficiente para que os solventes das misturas volatilizem e permaneçam somente no substrato, o material condutor, aglutinante e o surfactante, formando uma superfície benéfica para a passagem de elétrons.

Tabela 2 - Resultados de resistência elétrica com 4 camadas de tinta.

CAMADAS	4 CM	2 CM
1	2,27 k Ω	1K Ω
2	1,68 k Ω	500 Ω
3	1,24 k Ω	200 Ω
4	800 Ω	100 Ω

Fonte: Autoria Própria (2021)

Com os resultados de resistências obtidos pelo multímetro, foi realizado análise de condutividade elétrica sobre os substratos, utilizando lâmpadas LEDs, como podemos verificar na figura 19, onde resultou que a lâmpada acendeu e em seguida foi feita uma trilha com a tinta condutiva, apresentada na figura 13, onde foi possível verificar que a tinta otimizada apresentou resultados promissores de condutividade, pois foi condutiva o suficiente para acender todos os LEDs.

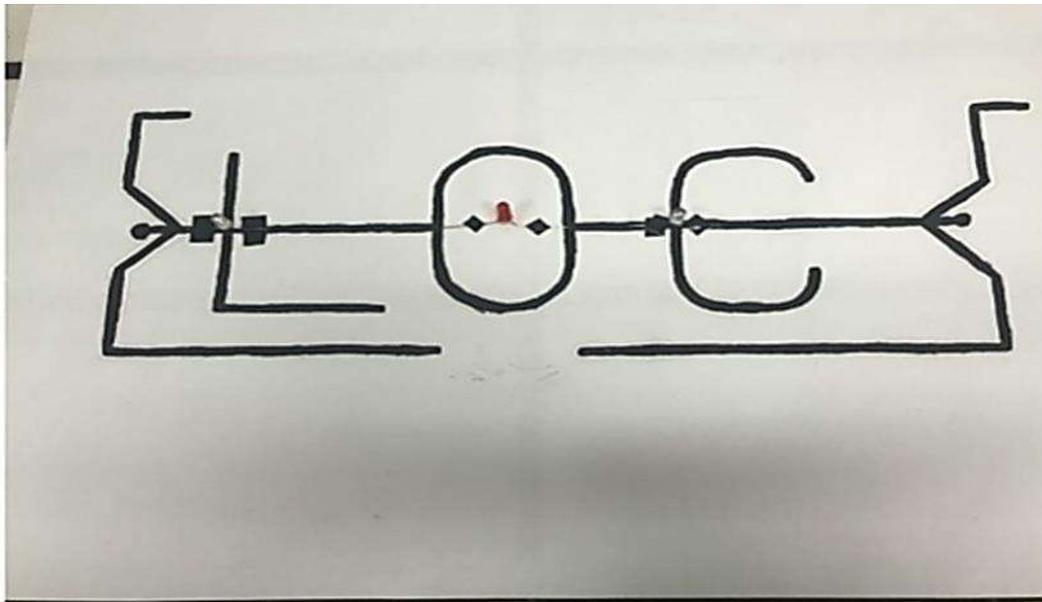
Em seguida foi construído um circuito, apresentado na Figura 20, onde foi feita a averiguação da condutividade da tinta. Ao fim, o resultado obtido foi a presença da luminescência dos LEDs na trilha do circuito desenhado.

Figura 19 - Análise de condutividade da tinta sobre o substrato de papel.



Fonte: Aatoria Própria (2021)

Figura 20 - Trilha elétrica construída com tinta condutiva sobre o substrato de papel.



Fonte: Aatoria Própria (2021).

3.3 APLICAÇÃO DA TINTA CONDUTIVA EM IMPRESSORA

Após feita a aplicação no substrato de forma manual, a tinta foi otimizada para ser acrescentada em um dispositivo de impressão. Nesta etapa, a tinta produzida deveria conter a

viscosidade de 3 a 10.000cP, de acordo com as especificações da impressora BROTHER, modelo DCP1617NW, exibida na figura 21.

Figura 21 - Aplicação da tinta produzida no cartucho da Impressora Brother.

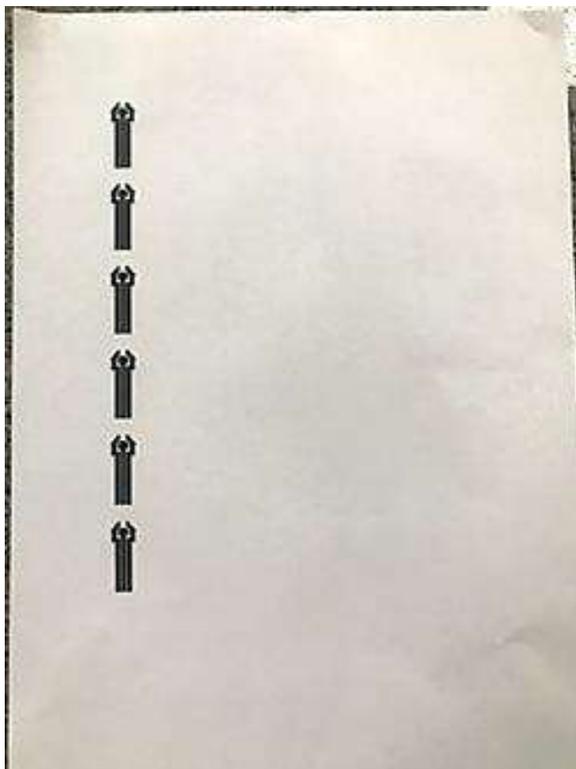


Fonte: Autoria Própria (2021).

A quantidade de Acetona e Negro de Fumo foram modificadas visando diminuir a viscosidade da tinta. O resultado da impressão está apresentado na figura 22. Após a impressão foi feito o teste de resistividade e o resultado foi o aumento da resistência. Este resultado afirma que para se obter uma tinta condutiva é necessário verificar as proporções dos reagentes. No entanto, a tinta manteve uniformidade após 6 impressões de eletrodos, e o tempo de secagem foi mais curto em comparação com a adição manual.

As impressoras a laser possuem tratamento térmico ao final da impressão, para facilitar o tempo de secagem e não espalhar tinta sobre o papel. É uma etapa importante na finalização da impressão, pois mantém um sistema estável e uniforme. (SOUSA, 2017)

Figura 22 - Impressão da tinta condutiva sobre o substrato de papel.



Fonte: Autoria Própria (2021).

3.4 ANÁLISE ELETROQUÍMICA DA TINTA CONDUTIVA

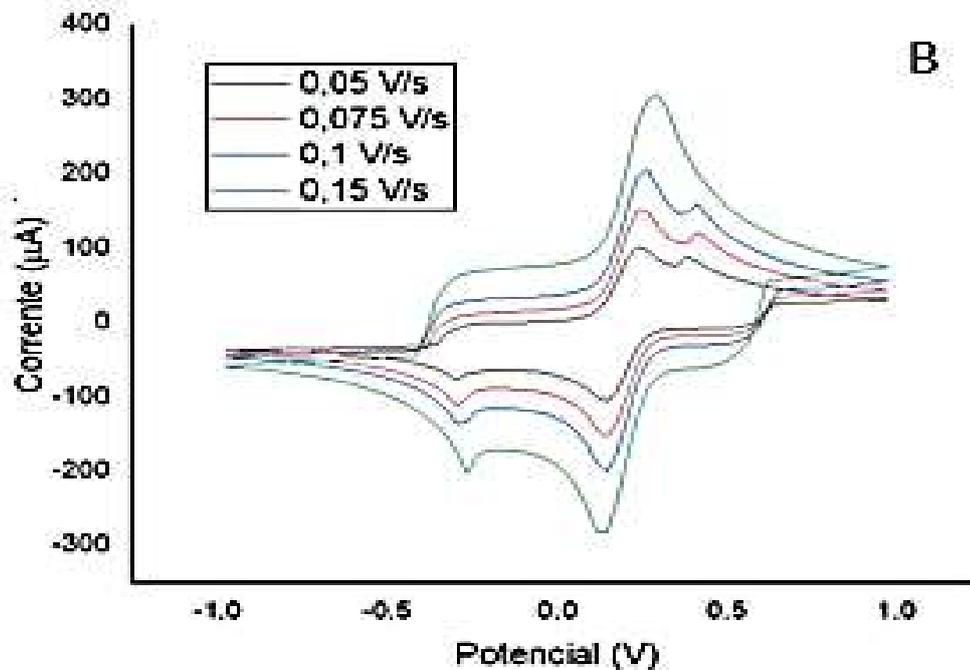
A reversibilidade de um sistema eletroquímico está relacionada com a capacidade de transferência de elétrons. A validação de um sistema reversível, irreversível ou semi-reversível é feita através da técnica de Voltametria cíclica, possibilitando ter informações qualitativas e quantitativas de uma espécie química, através do comportamento de uma corrente quando um potencial (V) é aplicado. Para um sistema reversível, a diferença entre os deslocamentos catódicos deve ser igual ou menor a 59 mV e a razão numérica entre as correntes de picos anódicos e catódicos devem ser próximos, ou seja, a quantidade de elétrons envolvidos na oxidação e redução é a mesma (GETO, et al 2019; NETO, 2019).

Para a obtenção de um sistema reversível com o Ferrocianeto de Potássio, os picos de oxidação e redução irão produzir resultados simétricos, criando um ambiente de equilíbrio dinâmico de interface onde a tinta foi aplicada.

A Figura 23 indica superfícies suficientemente ativas para intermediar as reações redox sofridas pela sonda eletroquímica, o que é um aspecto relevante no desenvolvimento de tintas condutivas aplicadas a circuito elétrico e biossensores, permitindo alcançar maiores valores de

correntes anódicas e uma redução na separação de picos redox, indicando redução das perdas ôhmicas devido ao ganho em condutividade elétrica. (KHODABAKHSHI; FULVIO; ANDREOLI, 2020)

Figura 23 - Voltamograma Cíclico da tinta condutiva de Negro de fumo.

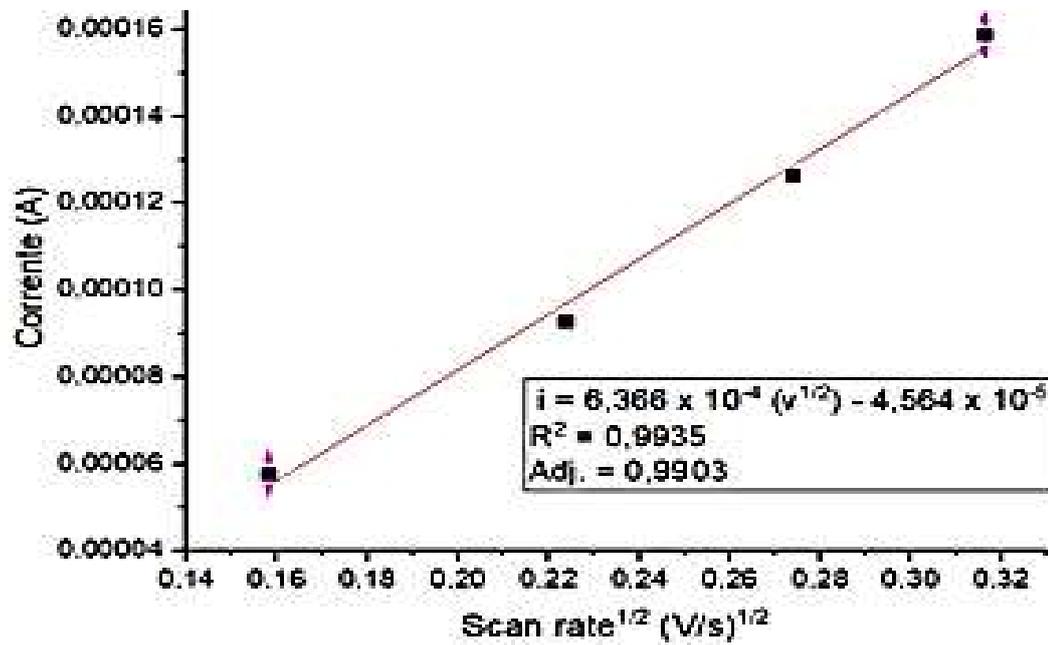


Fonte: Autoria Própria (2021).

O resultado acima, foi gerado através da voltametria cíclica da tinta produzida neste documento em solução de análise de ferrocianeto de potássio 0,1 mol.L⁻¹ e ácido sulfúrico à 0,5 mol.L⁻¹, variando a velocidade de varredura de 5mV/s a 150mV/s, na faixa de potencial de -0,1 a 0,1 V.

A Figura 24 corresponde ao gráfico da curva do pico de corrente versus a raiz quadrada das taxas de varredura. Com os valores obtidos, é possível verificar que o sistema eletroquímico da tinta é quase reversível, pois os valores de corrente aumentam na proporção da raiz quadrada da varredura, R^2 igual a 0,9953, verificando que quanto mais próximos de 1, são os valores de R^2 , mais reversível é o sistema. Esse resultado demonstra que a tinta proposta tem área ativa muito extensa, ou seja, o sistema tem pouca resistência à passagem de elétrons, assim aumentando a condutividade elétrica da tinta condutiva (GETO., et al., 2019).

Figura 24 - Gráfico correspondente de corrente de pico versus raiz quadrada das taxas de varredura denotando sistema quase reversível adequado para análise de transferência de elétrons.



Fonte: Autoria Própria (2021).

CONCLUSÃO

Neste presente trabalho, apresentou-se desenvolvimento de tinta condutiva a base de carbono (negro de fumo) para impressão de trilha elétrica. A princípio foram formuladas duas tintas, sem e com surfactante, a fim de verificar a condutividade. No entanto, no teste de aderência foi verificado, que a tinta condutiva com surfactante obteve melhores resultados e assim foi escolhida para continuar o desenvolvimento.

No teste de condutividade elétrica, a tinta escolhida obteve na 4 camada a resistência de 100Ω , uma resposta promissora para este tipo de desenvolvimento, utilizando reagentes e equipamentos de baixo custo. No entanto, é uma tinta que precisará ser otimizada para impressão a jato, pois as respostas de condutividades elétricas ainda estão não satisfatórias.

Portanto, as análises eletroquímicas obtiveram respostas promissoras, tanto nos perfis de oxidação e redução, quanto no teste de reversibilidade, aumentando a área de aplicação da tinta proposta, podemos ser utilizadas em dispositivos elétricos, biossensores, vestimentas e etc. Como sugestão de trabalhos futuros, destaca-se a necessidade de pesquisa acerca de materiais ou métodos que permitam melhores índices de condutividade elétrica, a fim de prover menores perdas no sistema e propiciar maior atratividade por parte de empresas/fabricantes que atualmente adotam elementos como percloroato de ferro como matéria-prima, e, assim, reduzir de modo significativo as chances de impacto à natureza.

REFERÊNCIAS

- ALEIXO, Luiz Manoel. **Voltametria: conceitos e técnicas**. Revista Chemkeys, n. 3, p. 1-21, 2003.
- ASHCROFT, Neil W; MERMIN, N. David. **Física do estado sólido**. Cap. 1, 4, 8, 12 e 13– São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- BEEBE, R. A. et al. **Heats of adsorption on carbon black**. I. Journal of the American Chemical Society, v. 69, n. 1, p. 95-101, 1947.
- BHAKARE, Madhuri A. et al. **Carbono grafitico ecológico derivado de biorresíduos como pigmento preto para tintas condutoras**. Progress in Organic Coatings, v. 147, p. 105872, 2020.
- BOYLESTAD, ROBERT L. **Introdução à Análise de Circuitos** 10^o Ed, Pearson Prentice Hall, 2004.
- CALVERT, P. **Inkjet printing for materials and devices**. Chemistry of materials, 2001.
- CAPASSO, A.; CASTILLO, A. E. D. R.; SUN, H.; ANSALDO, A.; PELLEGRINI, V.; BONACCORSO, F. **Ink-jet printing of graphene for flexible electronics: An environmentally-friendly approach**. Solid State Communications, 2015.
- DE GANS, B.-J.; DUINEVELD, PAUL C.; SCHUBERT, ULRICH S. **Inkjet printing of polymers: state of the art and future developments**. Advanced materials, v. 16, n. 3, p. 203-213, 2004.
- DORO, MARCOS MARINOVIC. **Sistemática para implantação da garantia da qualidade em empresas montadoras de placas de circuito impresso**, 2004.
- DE OLIVEIRA FELIPE, Lorena; DE CÁSSIA DIAS, Sandra. **Surfactantes sintéticos e biossurfactantes: vantagens e desvantagens**. 2016
- DOS SANTOS, Bruno Rangel; DA SILVA, Lidiane Gomes. **Tinta condutora de baixo custo à base de pó de grafite**. Revista Científic@ Universitas, v. 5, n. 2, 2018.
- DOS SANTOS, Sérgio Maurício Vallelongo et al. **Eletrodos impressos construídos por serigrafia utilizando negro de fumo como material condutor**. Revista virtual de química, v. 9, n. 2, 2017.
- DROPSSENS, Accessories. **Boxes connector for screen-printed electrodes**. 2021. Disponível em: <https://www.dropsens.com/en/pdfs_productos/new_brochures/dsc-bidsc.pdf>. Acesso em: 01 de janeiro de 2021.
- FERREIRA, José Carlos. **Obtenção de tinta aquosa com fase condutora dispersa de nanopartículas de polipirrol para a impressão jato de tinta térmica**. 2017.
- FORTUNATO, Elvira; BARQUINHA, Pedro; MARTINS, Rodrigo. Oxide semiconductor thin-film transistors: a review of recent advances. **Advanced materials**, v. 24, n. 22, p. 2945-2986, 2012.
- GETO, Alemnew el at. **Electrochemical determination of bentazone using simple screen-printed carbon electrodes**. Environment intertetional, v. 129, p.400-407,2019.

GOODE, Jack Anthony. **Development of biosensors using novel bioreceptors; Investigation and optimisation of fundamental parameters at the nanoscale.** 2015. Tese de Doutorado. University of Leeds.

HAN, TAE-HEE; LEE YOUNGBIN, CHOI, MI-RI; WOO, SEONG-HOON; BAE, SANG-HOON; HONG, BYUNG HEE; AHN, JONG-HYUN; LEE, TAE-WOO. **Extremely efficient flexible organic light-emitting diodes with modified graphene anode,** Nature Photonics 6, 2012.

HUANG, D.; KIM, E., S. **Micromachined acoustic-wave liquid ejector.** Journal of microelectromechanical systems, 2001.

HUANG, Jan-Chan. **Carbon black filled conducting polymers and polymer blends.** Advances in Polymer Technology: Journal of the Polymer Processing Institute, v. 21, n. 4, p. 299-313, 2002.

JUNQUEIRA, Vania. **Percolação e Caracterização Elétrica em Tintas Condutoras.** 2012. Tese de Doutorado. Ph. D. Dissertation (in Portuguese), Federal University of Itajubá, MG, Brazil.

KALCHER, K.; KAUFFMANN, J.-M.; WANG, J.; SVANCARA, I.; VYTRAS, K.; NEUHOLD, C.; YANG, Z. **Sensors based on carbon paste in electrochemical analysis: A review with particular emphasis on the period 1990–1993.** Electroanalysis, 1994.

KHODABAKHSHI, Saeed; FULVIO, Pasquale F.; ANDREOLI, Enrico. **Carbon black reborn: Structure and chemistry for renewable energy harnessing.** Carbon, v. 162, p. 604-649, 2020

KREBS, FREDERIK C. **Fabrication and processing of polymer solar cells: A review of printing and coating techniques.** Solar Energy Materials and Solar Cells, 2009.

LAFRAGÜETA, Ignacio. **Preparação e caracterização de tintas condutoras e eletrodos para produção de hidrogênio com nanotubos de carbono.** 2020.

LEE, H.; CHOU, K., -S.; HUANG, K., -C. **Inkjet printing of nanosized silver colloids.** Nanotechnology, 2005.

LENG, Ting et al. **Screen-printed graphite nanoplate conductive ink for machine learning enabled wireless radiofrequency-identification sensors.** ACS Applied Nano Materials, v. 2, n. 10, p. 6197-6208, 2019.

LEONG, Chia-Ken; CHUNG, D. D. L. **Carbon black dispersions and carbon–silver combinations as thermal pastes that surpass commercial silver and ceramic pastes in providing high thermal contact conductance.** Carbon, v. 42, n. 11, p. 2323-2327, 2004.

LIN, Li et al. **In vivo study on the monoamine neurotransmitters and their metabolites changes in the striatum of Parkinsonian rats by liquid chromatography with an acetylene black nanoparticle modified electrode.** Journal of pharmaceutical and biomedical analysis, v. 72, p. 74-79, 2013.

LIU, Q.; ORME, M. **High precision solder droplet printing technology and the state of the art.** Journal of materials processing technology, 2001.

MARQUES, Alisson Henrique Ferreira. **Desenvolvimento de protótipos com compósitos de GPTMS/PEDOT: PSS (BR 10 2015 024848 2): antena para RFID e resistência desmbeaçadora de vidros.** 2018.

MILAGRES, Jaderson Lopes. **Adsorção de corantes e agroquímicos em hidrocalumita intercalada com dodecil sulfato.** 2019.

MF Rural. **Sem título.** 2021. Disponível em: < <https://shortest.link/2sg3>>. Acesso em: 28 de dezembro de 2021.

NATHAN, A.; AHNOOD, A.; COLE, M.T.; LEE, S.; SUZUKI, Y.; HIRALAL, P.; BONACCORSO, F.; HASAN, T.; GARCIA-GANCEDO, L.; DYADYUSHA, A.; **Flexible Electronics: The Next Ubiquitous Platform.** Proceedings of the IEEE, 2012.

NASCIMENTO, Valberes B.; ANGNES, Lúcio. **Eletrodos fabricados por" silk-screen".** Química Nova, v. 21, n. 5, p. 614-629, 1998.

NETO, JOÃO AFONSO DA SILVA. **Desenvolvimento De Eletrodo Impresso Utilizando Tinta Condutiva E Deposição Por Sputtering.** Laboratório de nanotecnologia filmes poliméricos. 2019.

ORME, M; SMITH, R. F. **Enhanced aluminum properties by means of precise droplet deposition.** Transactions-american society of mechanical engineer's journal of manufacturing science and engineering. v. 122, n. 3, p. 484-493. 2000.

PACHECO, Wagner Felipe et al. **Voltametrias: Uma breve revisão sobre os conceitos.** Revista Virtual de Química, v. 5, n. 4, p. 516-537, 2013.

PARK, B. K.; KIM, D.; JEONG S.; MOON, J.; KIM, J. S.. **Direct writing of copper conductive patterns by ink-jet printing.** Department of Materials Science and Engineering, 2007.

PAULA, Lucas Ferreira de et al. **Desenvolvimento de tintas condutivas e sua aplicação em eletrodos impressos.** 2013.

PERÇIN, G.; YAKUB, T., K. **Piezoelectric droplet ejector for ink-jet printing of fluids and solid particles.** Review of scientific instruments, 2003.

RIVERA, Ricardo; TEIXEIRA, Ingrid. **Perspectivas para a eletrônica orgânica no Brasil.** BNDES, 2014.

ROZENBERG, G. G.; BRESLER, E.; SPEAKMAN, S. P.; JEYNES, C.; STEINKE, J. H. **Patterned low temperature copper-rich deposits using inkjet printing.** Applied physics letters, 2002.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, Jose et al. **Electrical conductivity of carbon blacks under compression.** Carbon, v. 43, n. 4, p. 741-747, 2005.

SANTOS, Guilherme Joaquim Brito dos et al. **Nova Proposta de Tinta Condutiva de Baixo Custo, Para Aplicação em Placas de Circuito Impresso.** 2018.

SEMANTIC SCHOLAR. **Rubber Grade Carbon Blacks.** 2021. Disponível em: < <https://bityli.com/I6eFyM5>>. Acesso em: 28 de dezembro de 2021.

SHOPIFY. **Sem título.** 2021. Disponível em: < <https://bityli.com/AvBvk1z>>. Acesso em: 28 de dezembro de 2021.

SINGH, GURMINDER; FEINER, STEVEN K.; THALMANN, DANIEL. **Virtual Reality Software & Technology: Proceedings of the VRST'94 Conference**, 23-26 August 1994, Singapore. World Scientific, 1994

SINGH, MADHUSUDAN et al. **Inkjet printing—process and its applications**. *Advanced materials*, v. 22, n. 6, p. 673-685, 2010.

SOUSA, Janisley Oliveira de. **Estudo sobre modelos de estruturas tridimensionais para impressão 3D aplicada no desenvolvimento de piezoelétricos**. 2017

SUGANUMA, K; WAKUDA, D.; HATAMURA, M.; KIM, K. S. **Ink-jet Printing of nano materials and processes for electronics applications**. Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University. 2007.

TANG, YUE et al. **Manufacturable conducting rubber ambers and stretchable conductors from copper nanowire aerogel monoliths**. *ACS nano*, v. 8, n. 6, p. 5707-5714, 2014.

TSENG, F., -G.; KIM, C., -J.; HO, C., -M. **A high-resolution high-frequency monolithic top-shooting microinjector free of satellite drops—Part I: Concept, design, and mode**. *Journal of microelectromechanical systems*, 2002.

URBANO, Stylo. **Tecidos inteligentes vão criar roupas mais interativas e multifuncionais**, 2015. Disponível em: < <https://bityli.com/ORWYK12>>. Acesso em: 01 de janeiro de 2021.

VARAHRAMYAN, K.; CUI, T; LIU, Y. **All-polymer capacitor fabricated with inkjet printing technique**. *Solid-State Electronics*, v. 47, n. 9, p. 1543-1548, 2003.

WALKER, S. Brett; LEWIS, Jennifer A. **Reactive silver inks for patterning high-conductivity features at mild temperatures**. *Journal of the American Chemical Society*, v. 134, n. 3, p. 1419-1421, 2012.

WU, X.; ZHOU, Z.; WANG, Y.; LI, J. **Syntheses of Silver Nanowires Ink and Printable Flexible Transparent Conductive Film: A Review**. *Coatings* **2020**, *10*, 865.

ZAKI, Tarek. **Short-channel organic thin-film transistors: fabrication, characterization, modeling and circuit demonstration**. Springer, 2015.

ZHANG, Huajie; GAO, Miaomiao; YANG, Xiaofeng. **Electrochemical oxidation and detection of paeonol on modified electrode with acetylene black nanoparticles**. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 87, n. 2, p. 378-381, 2011.

ZHENG, Dongyun et al. **Sensing of nitric oxide using a glassy carbon electrode modified with an electrocatalytic film composed of dihexadecyl hydrogen phosphate, platinum nanoparticles, and acetylene black**. *Microchimica Acta*, v. 176, n. 1-2, p. 49-55, 2012.

ZUCHINALI, Filipe Freitas et al. **Otimização do processo produtivo de emulsão acrílica estirenada para a produção de tintas base água**. 2017.