

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 01/10/2020.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FÍSICA APLICADA

ALISSON HENRIQUE FERREIRA MARQUES

**Desenvolvimento de Protótipos com Compósitos de
GPTMS/PEDOT:PSS (BR 10 2015 024848 2): Antena para RFID e
Resistencia Desembaçadora de Vidro**

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

Rio Claro

São Paulo
2018

*Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Departamento de Física*

ALISSON HENRIQUE FERREIRA MARQUES

***Desenvolvimento de Protótipos com Compósitos de
GPTMS/PEDOT:PSS (BR 10 2015 024848 2): Antena para
RFID e Resistência Desembaçadora de Vidros***

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Giovani Fornereto Gozzi

Rio Claro, SP.
2018

M357d Marques, Alisson Henrique Ferreira
Desenvolvimento de Protótipos com Compósitos de
GPTMS/PEDOT:PSS (BR 10 2015 024848 2): Antena para
RFID e Resistencia Desembaçadora de Vidros / Alisson
Henrique Ferreira Marques. -- Rio Claro, 2018
73 f. : il., tabs., fotos + 1 CD-ROM

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: Giovani Fornereto Gozzi

1. Polímero. 2. Tinta condutora. 3. Eletrodo transparente. 4.
Antena RFID. 5. Dispositivo Eletroluminescente. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Alisson Henrique Ferreira Marques

***Desenvolvimento de Protótipos com Compósitos de
GPTMS/PEDOT:PSS (BR 10 2015 024848 2): Antena para
RFID e Resistência Desembaçadora de Vidros***

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física Aplicada.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Giovani Fornereto Gozzi – Unesp/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Lucas Fugikawa Santos – Unesp/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Gregório Couto Faria – USP/São Carlos

Conceito: Aprovado

Rio Claro, SP

01 de Outubro de 2018

Dedicatória

Dedico este trabalho a todos os meus familiares, em especial a minha mãe, Clarice, aos meus irmãos Allan e Alexandre e ao meu pai Airton, que com paciência e carinho puderam me acompanhar durante todos esses anos de estudo.

Agradecimentos

Um forte agradecimento aos meus amigos do laboratório, Denis Expedito Martins, Lucas Augusto Moisés, Danilo dos Santos, Kayo Oliveira Vieira, Bruno, Luiza e Guilherme Kubo que estiveram presente nos bons e maus momentos durante o desenvolvimento do trabalho. Aos técnicos do departamento André, Geraldo e Leandro pelo suporte técnico oferecido durante o projeto, à secretária Maristela e às funcionárias Cibele, Danusa, Maria Antônia e Elizabete pelo apoio indireto e que foram fundamentais para realização deste trabalho.

Um agradecimento à empresa TICON que nos possibilitou esta oportunidade de desenvolver esse projeto. Ao Henry e Elson que, a partir de nossas reuniões e visitas a empresa puderam nos proporcionar um grande suporte técnico que foi necessário para o desenvolvimento do trabalho.

Ao meu orientador e amigo Professor Giovani Gozzi que me ajudou com paciência e bons conselhos no desenvolvimento do trabalho.

Aos meus amigos de casa, Abbul, Viviane, Luciana, as cachorras Pala e Flora e a gata Carry, que estiveram presentes nos momentos de descontração e foram os melhores companheiros nesses anos de casa. Ao meu amigo José Renato Ribeiro, que esteve presente nos meus anos de graduação, pós-graduação e moradia. A minha namorada Michele que em nossos momentos acreditou em mim e teve paciência durante alguns fins de semanas que precisei estudar.

A todas as pessoas que passaram por mim durante esses anos de mestrado e que mesmo não citados, tiveram uma grande importância na minha vida e puderam fazer parte do desenvolvimento deste trabalho.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	IV
Resumo	V
Abstract	VI
1. Introdução	14
2. Revisão Bibliográfica.....	17
2.1. Processos de Impressão	17
2.2. Polímeros	22
2.2.1. Polímeros condutores.....	23
2.3. Materiais ORMOSIL.....	27
2.4. Aditivos.....	29
2.4.1. Espessante.....	29
2.4.2. Antiespumante	29
2.4.3. Coalescentes.....	30
2.5. Compósitos.....	30
2.6. Teoria da percolação	31
3. Materiais e métodos.....	33
3.1. Materiais	33
3.1.1. PEDOT:PSS.....	33
3.1.2. GPTMS.....	34
3.1.3. Aditivos	35
3.2. Métodos	35
3.2.1. Limpeza dos substratos	35
3.2.2. Preparação da tinta condutora.....	36
3.2.3. Filmes preparados com a tinta condutora	38

3.2.4. Deposição dos eletrodos.....	38
3.2.5. Caracterização reológica	39
3.2.6. Caracterização elétrica	40
3.2.7. Espectrofotometria na região do ultravioleta-visível (UV-Vis)	42
3.2.8. Caracterização morfológica.....	43
3.2.9. Caracterização térmica.....	43
3.2.10. Metodologia utilizada para aplicação de conceito	45
4. Resultados e discussões.....	48
4.1. Caracterização das tintas	48
4.2. Caracterização térmica	59
4.3. Aplicação prática	62
5. Considerações finais	66
Referências	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Ilustração da técnica de impressão por gravura. Imagem retirada e modificada da referência [21].....	18
Figura 2.2: Ilustração da técnica de impressão por flexografia. Imagem retirada e modificada da referencia [21].....	19
Figura 2.3: Ilustração da técnica de serigrafia. Imagem retirada e modificada da referencia [21].....	19
Figura 2.4: Esquema Ilustrativo de três telas com diferentes tamanhos de lineatura.	21
Figura 2.5: Estrutura molecular de polímeros condutores intrínsecos e suas respectivas condutividades.	23
Figura 2.6: Desdobramento dos picos de energia das moléculas de alcano ao se aumentar a cadeia polimérica. Imagem retirada e modificada da referência [28].	25
Figura 2.7: Ligação π e σ formado pela sobreposição dos orbitais pz e sp ² . Figura retirada e modificada da referencia [29].....	26
Figura 2.8: I) Diagrama de energia dos orbitais moleculares mostrando que o orbital π está totalmente preenchido enquanto que o orbital π^* está totalmente vazio. As setas representam os elétrons com spin opostos. II) Representação das bandas contínuas de energia formado pelas várias ligações π e π^* da cadeia polimérica.	26
Figura 2.9: Ilustração de vários sistemas: a) sistema não percolado, b) sistema percolado por um único “caminho ligado”, c) sistema percolado por vários “caminhos ligados”.	32
Figura 3.1: Estrutura molecular plana de uma blenda de PEDOT:PSS.	34
Figura 3.2: Estrutura química de uma molécula de GPTMS.	34
Figura 3.3: Imagem do filme preparado com a tinta azul usando a tela de 180 fios/cm ²	38
Figura 3.4: Arquitetura dos dispositivos com os eletrodos de tinta prata.	39
Figura 3.5: Imagem de um reômetro de torque utilizado nas análises de viscosidade das tintas.	39

Figura 3.6: Esquema ilustrativo do aparato experimental usado para as medidas I vs. V a temperatura ambiente.	40
Figura 3.7: Curva característica de análise térmica de TG/DTG.....	44
Figura 3.8: TGA utilizado para caracterização térmica da tinta condutora.....	45
Figura 3.9: Imagem da arquitetura do dispositivo EL.	46
Figura 3.10: a) antena produzida com a tinta 2.2 sobre um substrato de vidro; b) esquema ilustrativo das dimensões da antena.	47
Figura 4.1: Perfilometria das superfícies das amostras preparadas com as três tintas. ..	50
Figura 4.2: Imagens de microscopia ótica dos filmes preparados com as tintas 1.0, 1.1 e 1.2. As imagens (a), (c) e (e) foram obtidas das bordas dos filmes preparados com as tintas 1.0, 1.1 e 1.2, respectivamente. As imagens (b), (d) e (f) mostram as imagens da região central dos filmes preparados com as tintas 1.0, 1.1 e 1.2 respectivamente.	51
Figura 4.3: Imagens binárias dos filmes preparados com as tintas, em que (a), (c) e (e) representam as imagens das bordas das tintas 1.0, 1.1 e 1.2 respectivamente, e (b), (d) e (f) representam as imagens da região central das tintas 1.0, 1.1 e 1.2 respectivamente.	53
Figura 4.4: Resultados da caracterização elétrica, I vs. V, dos filmes: (a) filme preparado com a tinta 1.0, (b) filme preparado com a tinta 1.1 e (c) filme preparado com a tinta 1.2. Em (d) tem-se a relação entre a condutividade pelos filmes.	55
Figura 4.5: Transmitância óptica obtida para os filmes com as diferentes tintas: (a) tinta 1.0, (b) tinta 1.1 e (c) tinta 1.2. (d) coeficiente de absorção óptica obtido dos diferentes filmes em comprimento de onda de 550 nm.....	57
Figura 4.6: Resultados da caracterização elétrica (a) e caracterização ótica (b) do filme preparado com a tinta 2.2.....	58
Figura 4.7: Caracterização ótica filme obtido com a tinta 2,2: (a) a borda do filme, (b) a região central do filme, (c) e (d) são as imagens binárias do filme e (e) é a perfilometria do filme.	59
Figura 4.8: Perda de massa obtida para a tinta 1.2 em função da temperatura em atmosfera controlada de ar sintético com vazão de 20 ml/min.	60
Figura 4.9: Perda de massa em função da temperatura.....	61

Figura 4.10: (a) Temperatura do vidro em função do tempo e (b) taxa de aquecimento do vidro em função do tempo.....	62
Figura 4.11: (a) Temperatura do vidro em função do tempo e (b) taxa de aquecimento do vidro em função do tempo.....	63
Figura 4.12: (a) caracterização elétrica e luminescente do dispositivo EL; e (b) imagem do desempenho dos dispositivos preparados com eletrodo transparente de ITO e com a tinta 2.2.....	64
Figura 4.13: (a) Antena com 12 camadas, (b) antena com 5 camadas, (c) antena com 2 camadas e (d) imagem das distâncias teóricas de leituras das antenas.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Comparação do filme formado pela técnica de impressão utilizada. Tabela retirada e modificada da referência [19].....	20
Tabela 4.1: Valores obtidos a partir da caracterização das tintas e dos filmes.	48

Resumo

A busca por novos materiais é um dos grandes desafios da eletrônica que utiliza compósitos de materiais orgânicos e inorgânicos na produção de dispositivos eletrônicos. O interesse por esses materiais é devido a possibilidade de se produzir dispositivos eletrônicos via rota líquida, possibilitando a produção de tintas condutoras que possam ser depositados por técnicas de impressão. Um dos principais desafios na área da eletrônica impressa é a fabricação de eletrodos transparentes que, atualmente, são produzidos a partir de óxidos condutores transparentes, TCO (*Transparent Conducting Oxides*). Uma alternativa para substituição dos TCO é a formação de compósitos a partir de materiais orgânicos e inorgânicos para confecção de eletrodos transparentes que possam ser processados através de rota líquida. O presente trabalho propõe a produção de uma tinta condutora que possa ser depositada pela técnica de serigrafia. A tinta foi composta por um polímero condutor, por uma material inorgânico reticulador que conferiu estabilidade mecânica aos filmes formados e por aditivos. Foi realizada uma caracterização reológica nas tintas, que proporcionou avaliar a viscosidade para ser utilizada em serigrafia. As tintas apresentaram viscosidade entre 1 Pa.s e 2 Pa.s, que foi suficiente para deposição serigráfica utilizando uma tela de 180 fios/cm². Foi realizada caracterizações elétrica, ótica e morfológica nos filmes preparados com as tintas condutoras, onde os filmes apresentaram uma transmitância ótica entre 85 % e 95 %, com uma resistência de folha entre 50 Ω /sq e 160 Ω /sq. Estes filmes foram aplicados como resistência aquecedora para uso como desembaçador de vidros, podendo aquecer uma lâmina de vidro com 2,5 mm de espessura até 100 °C a uma taxa máxima de 30 °C/min. Além disso, os filmes transparentes condutores foram aplicados como eletrodos de dispositivos eletroluminescentes, os quais apresentaram desempenho comparável a de dispositivos produzidos com eletrodos de ITO. Finalmente, foram produzidas antenas para identificadores do tipo RFID aos quais permitiram leituras confiáveis à uma distância de até 3,5 metros do leitor.

Palavras-chave: Tinta Condutora, polímero condutor e serigrafia.

Abstract

The search for new materials is one of the great challenges of electronics that uses composites of organic and inorganic materials in the production of electronic devices. The interest in these materials is due to the possibility of producing electronic devices by liquid route, enabling the production of conductive inks that can be deposited by printing techniques. One of the main challenges in the field of printed electronics is the manufacture of transparent electrodes produced from transparent conducting oxides (TCO). An alternative to substitute TCO is the formation of composites from organic and inorganic materials to make transparent electrodes that can be processed by route liquid. The present work proposes the production of a conductive ink that can be deposited by the silkscreen technique. The ink was composed of a conductive polymer, an inorganic crosslinker material which imparted mechanical stability to the formed films and additives. A rheological characterization was carried out to evaluate the viscosity of the conductive ink to be used in screen printing. The prepared inks were obtained with a viscosity between 1 Pa.s and 2 Pa.s, which was sufficient for screen printing using a screen of 180 wires/cm². It was performed electrical, optical and morphological characterization in the films prepared with the conductive inks, where the films presented an optical transmittance between 85 % and 95 %, with a sheet resistance between 50 Ω /sq and 160 Ω /sq. These films were applied as a heating resistor for use as a glass defroster, and can heat a glass slide with 2,5 mm thickness up to 100 °C at a maximum rate of 30 °C/min. In addition, conductive transparent films were applied as electrodes of electroluminescent devices, which presented performance comparable to devices produced with ITO electrodes. Finally RFID-type antennas were produced and allowed to be reliably read up to a distance of up to 3,5 meters from the reader.

Keywords: Conductive ink, conductive polymer and screen printing.

Capítulo 01

1. Introdução

A busca por novos materiais é um dos grandes desafios para eletrônica orgânica/polimérica que utiliza materiais poliméricos orgânicos ou compósitos de materiais orgânicos e inorgânicos na produção de dispositivos eletrônicos [1-4]. Esta possibilidade se deu a partir da descoberta da condutividade elétrica em polímeros dopados por Shirakawa *et. al*, a partir da exposição de agentes oxidantes ou redutores, que lhes renderam o prêmio Nobel em 2000 [5]. Com a possibilidade de se alterar a condutividade elétrica a partir da dopagem, vários materiais poliméricos com propriedades eletrônicas (semicondutores e condutores) foram descobertos e vêm sendo desenvolvidos e explorados como elemento de dispositivos eletrônicos [6,7]. Este grande interesse na eletrônica orgânica é devido à possibilidade de se combinar materiais poliméricos orgânicos com materiais inorgânicos para formação de compósitos, melhorando as propriedades do material e possibilitando também a síntese de dispositivos utilizando técnicas de deposição mais simples, permitindo o controle da condutividade elétrica do material condutor/semicondutor através de sua dopagem.

O mercado da eletrônica polimérica abriu novas portas devido à grande possibilidade de se processar os materiais eletrônicos via rota líquida. Isso torna possível a produção de tintas condutoras que são viáveis para serem utilizadas em técnicas de deposição mais simples, que demandam uso de menos material e acarreta baixo custo para formação dos dispositivos. Outras vantagens observadas na confecção de dispositivos eletrônicos a partir de compósitos formados por materiais orgânicos e inorgânicos via rota líquida é a possibilidade de formar filmes com espessura controlada, podendo ser depositado somente na área desejada, com filmes que possam ser flexíveis e autossustentáveis. Alguns exemplos de dispositivos eletrônicos que contêm materiais orgânicos e inorgânicos em sua composição e são confeccionados via rota líquida e podem ser encontrados no mercado são os OLEDs (*Organic Light-Emitting Diodes*), PLEDs (*Polimeric Light-Emitting Diodes*), OPVs (*Organic*

Photovoltaics) e antenas de RFID (*Radio Frequency Identification*) [8,9]. Estes materiais possuem sua confecção a partir de técnicas de impressão e são utilizados como alternativa na substituição de dispositivos que são produzidos somente por materiais inorgânicos.

Outros trabalhos apresentam a utilização de tintas condutoras na indústria têxtil para confecção de componentes eletrônicos. A partir da técnica de impressão por serigrafia a indústria têxtil utiliza esses materiais na produção de estampa de roupas para integralizar componentes eletrônicos, como telefones celulares e MP3 players em bolsos ou faixas do braço para facilitar a convivência e mobilidade das pessoas [10]. Existem pesquisas na produção de sensores que empregam somente materiais orgânicos poliméricos como tinta condutora. Estes sensores possuem aplicações tanto na indústria de alimentos (ajudando na qualidade e controle dos produtos oferecidos), no monitoramento ambiental (monitorando o controle de gases poluentes emitidos por indústrias para a atmosfera) e em diagnósticos médicos (empregados na detecção de patógenos no corpo humano). Esta linha de pesquisa tem como finalidade a produção de sensores de baixo custo e que possam ser descartáveis [11-13].

Um dos principais desafios na área da eletrônica orgânica é a fabricação de eletrodos transparentes que, atualmente, são produzidos a partir de óxidos condutores transparentes TCO (*Transparent Conducting Oxides*) dopados com índio ITO (*Indium Tin Oxide*), fluoreno FTO (*Fluorine Tin Oxide*) ou antimônio ATO (*Antimony Tin Oxide*). Estes óxidos possuem boas aplicações devido a sua transparência óptica na região do visível e boa condutividade elétrica [14]. Os eletrodos a partir de TCO têm aplicações em diversos dispositivos eletrônicos como display de cristal líquido (LCD) e células solares, sendo confeccionados como camada ativa nestes dispositivos. Contudo, o uso de óxidos transparentes implica um aumento no custo final do produto devido à escassez de materiais na natureza e o processamento de deposição utilizado para formar o eletrodo transparente (evaporação a vácuo). Além disso, estes eletrodos apresentam baixa resistência quando depositados em substratos de vidros com grandes áreas. Um exemplo é o eletrodo de ITO que apresenta uma resistência de folha abaixo de $50 \Omega/\text{sq}$ com uma transmitância de até 90 % quando depositado em pequenas áreas. Ao se depositá-lo em substratos com áreas maiores, ocorre um aumento na resistência do

eletrodo, que é compensando depositando-se uma espessura maior do eletrodo o que acarreta uma diminuição da transmitância devido à espessura do filme de ITO [15].

Algumas pesquisas buscam a produção de eletrodos transparentes condutores a partir de nano partículas de metais, como prata e cobre. Estes materiais são utilizados na formação de malhas metálicas (*Metal Mesh*) para formação de painéis touch, com larga área. Esses materiais apresentam vantagens com relação a eletrodos transparentes formados a partir de óxidos, como ITO, devido a baixa resistência elétrica em grandes áreas, fácil processo de deposição para formação de filmes, podendo ser depositados por técnicas de impressão e a produção de dispositivos que possam ser flexíveis [15, 16].

Uma alternativa para substituição dos TCO é a formação de compósitos a partir de materiais orgânicos e inorgânicos para confecção de eletrodos transparentes. Foi apresentado um estudo que utiliza um compósito produzido a partir de uma matriz vítrea e um polímero condutor como alternativa de eletrodo transparente [17, 18]. Este material foi depositado via técnica de *spray* e foi utilizado como transportador de carga para dispositivo eletroluminescente e eletrodo transparente. Os resultados obtidos mostraram que o eletrodo possui uma resistência de folha de 100 Ω/sq , com transmitância entre 75 % e 90 %.

A partir do compósito apresentado, o presente trabalho propõe a produção de uma tinta condutora que possa ser utilizada como eletrodo transparente e possa ser depositado via rota líquida. A deposição da tinta condutora será realizada pela técnica de impressão serigráfica e terá como aplicação prática a produção de um eletrodo transparente para dispositivo eletroluminescente (EL), produção de antena RFID e a formação de filmes resistivos para desembaladores de vidros. Para alcançar essa proposta foi realizado um estudo das propriedades reológicas da tinta condutora com a finalidade de se adequar a viscosidade da mesma para ser depositada pela técnica de serigrafia (*silkscreen*).

Capítulo 05

5. Considerações finais

Até o presente momento foi possível preparar uma tinta condutora a partir do compósito utilizando um polímero condutor e um material ORMOSIL. As tintas preparadas tiveram suas propriedades reológicas adequadas utilizando aditivos, que foram relevantes para a obtenção de filmes uniformes. A viscosidade das tintas obtidas variou entre 1,2 Pa.s e 2,5 Pa.s, o que permitiu a deposição das tintas por serigrafia utilizando uma tela com lineaturas de 180 fios/cm².

A caracterização morfológica dos filmes mostrou a necessidade da utilização de antiespumante e coalescente para a preparação de filmes com boa uniformidade. Utilizando-se estes aditivos foi possível preparar filmes com condutividade elétrica de até (160 ± 60) S/cm e com coeficiente de absorção óptica de (2900 ± 900) cm⁻¹. Além disso, resultados de caracterização térmica demonstram que a temperatura de cura das tintas desenvolvidas deve ser superior a 100 °C e inferior a 120 °C para permitir boa evaporação do solvente sem haver degradação dos materiais.

Finalmente, foram realizadas três demonstrações de conceito de aplicação da tinta desenvolvida. Foram produzidas resistências aquecedoras transparentes para atuar como desembaçador de vidros. Neste caso, filmes obtidos com a tinta 2.2 permitiram aquecer um vidro com 2,5 mm de espessura até 100 °C com taxa máxima de aquecimento de 30 °C/min. A tinta 2.2 também foi empregada para a fabricação de eletrodo transparente de um dispositivo EL, que apresentou desempenho comparado ao de um dispositivo análogo produzido com eletrodo de ITO. Finalmente, foram produzidas antenas para identificadores RFID, as quais permitiram leituras confiáveis para distância de até 3,5 m com uma antena de 12 camadas.

Referências

- [1] GOZZI, G., *Fabricação e caracterização de dispositivos poliméricos emissores de luz com camada ativa de poli(2-metóxi, -(2'etil-hexilóxi)-1,4-fenileno vinileno) (MEH-PPV)*, **Dissertação de mestrado**, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2008.
- [2] GOZZI, G., *Estudo das propriedades elétricas de células eletroquímicas emissoras de luz de derivados de polifluoreno*, **Tese de doutorado**, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2011.
- [3] REBELLO, P. H. P., *Aplicação de técnicas de impressão a dispositivos eletrônicos orgânicos*, **Dissertação de mestrado**, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2014.
- [4] STEFANELO, J. C., *Estudo das Propriedades Eléctro-óptica de Dispositivos Eletroluminescentes confeccionados com um Compósito Híbrido*, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Departamento de Física, Outubro/2009.
- [5] KALYANI, T. N.; DHOBLE, S. J., “Organic light emitting diodes: Energy saving lighting technology”; **A Review: Renewable and Sustainable Energy**; R. 16; p. 2696-2723; 2012.
- [6] TANG, C. W.; VANSLYKE, S. A. (1987). “Organic electroluminescent diodes”, *Applied Physics Letters* 51(12): 913.
- [7] HUNG, L. S.; CHEN, C. H., “Recent progress of molecular organic electroluminescent materials and devices”; **A Review Journal: Materials Science and Engineering**; R 39; p. 143-222; 2002.
- [8] ARIAS, A. C. et al, *Materials and Applications for Large Area Electronics: Solution-Based Approaches*, *Chem. Rev.* 2010, v. 110, p. 3-10.
- [9] LEE D. H., CHOI J.S., CHAE H., CHUNG, C.-H., CHO S. M., *Highly efficient phosphorescent polymer OLEDs fabricated by screen printing*, **Department of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University, ELSEVIER**, 436-439, 2008.

- [10] KIM, Y. KIM H. YOO, H. J., *Electrical Characterization of Screen-Printed Circuits on the Fabric*, **IEE Transactions on Advanced Packaging**, v. 33, n. 1, February 2010.
- [11] J. Katrlík, J. Svorc, M. Rosenberg, S. Miertus; *Whole cell amperometric biosensor based on Aspergillus Niger for determination of glucose with enhanced upper linearity limit*, **Analytica Chimica Acta**, p. 225-232, 1996.
- [12] SANTOS M. C., *et al.*, *Caracterização elétrica de filmes ultrafinos de PANI/PVS: Material potencial para detecção de amônia em galpões de criação avícola*, **Departamento de Física, Centro de Ciências Exatas e Tecnológica, Universidade Federal de Viçosa, Polímeros**, v. 20, p. 107-111, 2010.
- [13] ALONSO-LOMILLO, M. A.; DOMÍNGUEZ-REENDO, O.; ARCOS-MARÍNEZ, M. J., *Screen-printed biosensors in microbiology: a review*, **Departamento of Chemistry, Faculty of Sciences, University of Burgos**, *Talanta*, p. 1629-1636, 2010.
- [14] AOUAJ, M. A.; DIAZ, R.; BELAYACHI, A.; RUEDA, F.; ABD-LEFDIL, M., *Comparative study of ITO and FTO thin films grown by spray pyrolysis*, **Materials Research Bulletin**, V. 44, ISSUE 7, 1 July 2009, p. 1458-1461.
- [15] LEE, J.-Y.; CONNOR, S. T.; CUI, Y.; PEUMANS, P., *Solution-Processed Metal Nanowire Mesh Transparent Electrodes*, **NANO LETTERS**, 2008, v. 8, N. 2, p. 689-692.
- [16] NAM, H. M.; SEO, D. M.; YUN, H. D.; and et al, *Transparent Conducting Film Fabricated by Metal Mesh Method wit Ag and Cu@Ag Mixture Nanoparticle Pastes*, **Metals**, 2017.
- [17] QUADROS, M. H., *Propriedades Ópticas e Elétricas de Materiais Híbridos de Sílica/Orgânica à base de GPTS:TEOS preparados pelo método sol-gel*, **Trabalho de conclusão de curso**, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Rio Claro, 2015.
- [18] COLLUCI, R., *Desenvolvimento de um compósito contendo polímero condutor (PEDOT:PSS) e material ORMOSIL (GPTMS) com aplicação na fabricação de dispositivos eletroluminescentes*, **Dissertação de mestrado**, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Rio Claro, 2016.

- [19] KREBS, F. C., *Fabrication and processing of polymer solar cells: A review of printing and coating techniques*, **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 93, p. 394 – 412, 2009.
- [20] Søndergaard R., Hosel M., Angmo D., Larsen-Olsen T.T., Krebs F.C.; *Roll-to-roll fabrication of polymer solar cells*, **Department of Energy Conversion and Storage, Technical University of Denmark**, *Materialstoday*, v. 15, n. 1-2, Jan-Feb 2012.
- [21] Søndergaard R., Hosel M., Krebs F.C.; *Roll-to-roll Fabrication of Large Area Functional Organic Materials*, **Department of Energy Conversion and Storage, Technical University of Denmark**, *JOURNAL OF POLYMER SCIENCE*, p. 16-34, 2013.
- [22] Faddoul R., Reverdy-Bruas N., Blayo A.; *Formulation and screen printing of water based conductive flakes silver pastes onto green ceramic tapes for electronic applications*, **Laboratory of Paper Process Engineering, Saint-Martin-d'Hères, France**, *Materials Science and Engineering B*, p. 1053-1066, 2012.
- [23] Sebastião V., Canevarolo Jr., *Ciência dos Polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros*, **Artliber 2ª Edição**, 2006.
- [24] Wan E., Galembeck E., Galembeck F., *Polímeros Sintéticos*, **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, Maio 2001.
- [25] <http://cursodesilkscreen.com.br/qual-o-tamanho-da-lineatura-trama-do-tecido-que-escolho-para-fazer-minha-tela-de-serigrafia/>: Acessado 28 de julho de 2017.
- [26] FAEZ, R.; REIS, C.; FREITAS, P. S.; KOSIMA, O. K.; RUGGERI, G.; PAOLI, M. A., *Polímeros Condutores*, **Química Nova na Escola**, n. 11, Maio 2000.
- [27] TOMA, H. E., *Ligação Química: Abordagem Clássica ou Quântica?*, **Química Nova na Escola**, n. 6, Novembro 1997.
- [28] PIREAUX, J. J.; CAUDANO, R., *Experimental picture of the band structure formation in a solid*, **American Association of Physics Teachers**, *Facultés Universitaires, Laboratoire de Spectroscopie Electronique*, n. 52, September 1984.
- [29] NARDES, A., M., *On the conductivity of PEDOT:PSS thin films*, Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2007 – Proefschrift.

- [30] SACHDEV, V. K.; KUMAR, R.; SINGH, A.; KUMAR, S.; MEHRA, R., M., *Electrically Conducting Polymers: An Overview*, **Solid State Phenomena**, v. 55, p. 104-109, 1997.
- [31] BRINKER, C. J.; SCHERER, G. W., *SOL-GEL SCIENCE – The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*, **ACADEMIC PRESS, INC.**
- [32] DISLICH, H., *SOL-GEL 1984-2004*, Section VI. New glasses, **Journal of Non-Crystalline Solids**, p. 599-612, 1985.
- [33] FIGUEIRA, R. B.; SILVA, C. J. R.; PEREIRA, E. V., *Organic-inorganic hybrid sol-gel coatings for metal corrosion protection: a review of recente progress*, **J. Coat. Technol. Res.**, 12, p. 1-35, 2015.
- [34] COLLINSON, M. M., *Analytical Applications of Organically Modified Silicates*, **Fundamental Review**, *Mikrochimica Acta*, 129, p. 149-165, 1998.
- [35] SCHMIDT, H., *Chemistry of Material Preparation by the Sol-Gel Process*, **Journal of Non-Crystalline Solids**, 100, p. 51-64, 1988.
- [36] PAULA, K. T., *Preparação e Caracterização Óptica de Filmes de ORMOSIL Obtidos via Processo Sol-Gel Dopados com Azocorantes*, **Dissertação de Mestrado**, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Rio Claro, 2015.
- [37] ZANG, L.-M., *Cellulosic associative thickeners*, **Carbohydrate Polymers**, 45, 1-10, 2001.
- [38] BHEDA, J.; FELLERS, J. F.; WHITE, J. L.; *Phase behavior and structure of liquid crystalline solutions of celulose derivatives*, **Colloid & Polymer Sci**, 258, 1335-1342, 1980.
- [39] CORREA-DUARTE, M. A.; Salgueirino-Maceira, V. M., *Increasing the Complexity of Magnetic Core/Shell Structured Nanocomposites for Biological Applications*, **Adv. Mater**, V.19, P.4131- –4144, 2007.
- [40] KAMAT, P. V., *Carbon nanomaterials: Building blocks in energy conversion devices*, **Interface**, V.15, p.45-47, 2006.

- [41] VIEIRA, K. O.; BETTINI, J.; FERRARI, J. L.; SCHIAVON, M. A., *Homogeneous CdTe Quantum Dots Carbon Nanotubes Heterostructures*, **Materials Chemistry and Physics**. V.149150, p.405-412, 2015.
- [42] KYUNGHEE, K.; JEONGHOON, N.; SUNG-HYEON, B.; KANGSEOK, L.; SOO-JIN P.; SANG, E. S., *One-Step Coating of Silica onto Multi-Walled Carbon Nanotubes Using Polyethyleneimine for High Electrical Resistivity*, **Macromolecular Research**. V.23, p.422-427, 2015.
- [43] CHINAGLIA, D. L.; GOZZI, G.; SCHMIDT, T.F.; SANTOS, L. F.; BALOGH, D.T.; OLIVEIRA JR, O. N.; FARIA, R. M.; *Fabrication of novel light-emitting devices based on green-phosphor/conductive-polymer composites*, **Philosophical Magazine Letters**, v. 87, n. 6, p. 403-408, 2007.
- [44] GOZZI, G.; CHINAGLIA, D. L.; SCHMIDT, T. F.; OLIVEIRA JR, O. N., *Charge injection in an LED with a hybrid composite as the emissive layer*, **Materials Science and Engineering C**, 31, p. 969-974, 2011.
- [45] GOZZI, G.; CHINAGLIA, D. L.; SCHMIDT, T. F.; WALMSLEY, L.; CONSTANTINO, C. J. L.; JOB, A. E.; SANTOS, L. F.; OLIVEIRA JR, O. N., *Electric characterization of a hybrid composite based on POMA/P(VDF-TrFE)/Zn₂SiO₄:Mn using impedance spectroscopy*, **Journal of Physics D: APPLIED PHYSICS**, 39, p. 3888-3894, 2006.
- [46] Yangping Wen, jinkun Xu, *Scientific Importance of Water-Processable PEDOT-PSS and Preparation, Challenge and New Application in Sensors of Its Film Electrodes: A Review*, **Journal of Polymer Science, Polymer Chemistry**, 2017, 55, p. 1121-1150.
- [47] Kuan Sun, Shupeng Zhang, and *et al*, *Review on application of PEDOTs and PEDOT:PSS in energy conversion and storage devices*, **J Mater Sci: Mater Electron**, 2015, 4438-4462.
- [48] Jean Cláudio Balan; *Estudo da interação de Derivados Aquo-solúveis de Celulose com Tensoativos Catiônicos*; **Dissertação de Mestrado**; Universidade de São Paulo – Departamento de Química; 2006.

- [49] Ricardo Martins de Martins; *Estudo de Agregação de Surfactantes Aniônicos em Presença de (HIDROXIPROPIL) CELULOSE*; **Dissertação de Mestrado**; Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Química; Abril de 2002.
- [50] Rita S. Werbowyj, Derek G. Gray; *Ordered Phase Formation in Concentrated Hydroxypropylcellulose Solution*; **Pulp and Paper Research Institute of Canada, and the Department of Chemistry**; August 13, 1979.
- [51] ROCHA, F. R. P.; TEIXEIRA, L. S. G., *Estratégias para Aumento de Sensibilidade em Espectrofotometria UV-Vis*, **Química Nova**, v. 27, n. 5, 807-812, 2004.
- [52] MARQUES, A. H. F., *Desenvolvimento de um Sistema para Caracterização de Dispositivos Eletroluminescentes*, **Trabalho de Conclusão de Curso**, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Rio Claro, 2013.
- [53] CARR, O., *Caracterização e aplicação da Blenda PEDOT:PSS/PVA na construção de eletrodos transparentes e dispositivos eletroluminescentes*, **Dissertação de Mestrado**, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Rio Claro, 2015.
- [54] CHINAGLIA, D. L.; GOZZI, G.; ALFARO, R. A. M.; HESSEL, R., *Espectroscopia de impedância no laboratório de ensino*, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 4, 4504, 2008.
- [55] VENTURELLI, W. H., *Estudo da atividade antiespumante de ésteres etílicos derivados de óleos vegetais*, **Dissertação de Mestrado**, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo – USP, Ribeirão Preto, 2008.
- [56] DENKOV, N. D., *Mechanisms of Foam Destruction by Oil-Based Antifoams*, **Langmuir**, Laboratory of Chemical Physics & Engineering, Faculty of Chemistry, Sofia University, Bulgaria, v. 20, n. 22, p. 9463 – 9505, 2004.
- [57] VOJE, A., *Non-Ohmic Variable Range Hopping in Lightly Doped Semiconductors*, **Thesis Master of Science**, Faculty of Mathematics and Natural Sciences – University of Oslo, June 2009.
- [58] KIRKPATRICK, S., *Percolation and Conduction*, **Reviews of Modern Physics**, v. 45, n. 4, October 1973.

- [59] Patrick K. Gallagher; *Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry*; Volume 01 Principles and Practice; Department of Chemistry, Rhodes University, Grahamstown 6140, South Africa; **ELSEVIER**.
- [60] Azevedo, A. D.; *Síntese, Caracterização de Copolímeros Anfífilos e de Microencapsulados Biodegradáveis de L,L-Lactídeo e Glicol Etilênico*; **Dissertação de Doutorado**; Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
- [61] Ionashiro, M.; *Princípios Básicos da Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial/Calorimetria Exploratória Diferencial*; Araraquara, Setembro de 2004.
- [62] Mothé, C. G.; Azevedo, A. D.; *Análise térmica de materiais*; iEditora, 2002.
- [63] Vitoratos, E and et al; *Conductivity degradation study of PEDOT:PSS films under heat treatment in helium and atmospheric air*, **Open Journal of Organic Polymer Materials**, 2012, p. 07-11.
- [64] Rotta, J; Barreto, P. L. M.; Minatti, E., *Determinação das propriedades mecânicas, difratométrica e térmica de filmes de quitosina e hidroxipropilmetilcelulose*, **Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Química**, Outubro de 2019.
- [65] Rivnay, J. *et al.* Structural control of mixed ionic and electronic transport in conducting polymers. *Nat. Commun.* 7:11287 doi: 10.1038/ncomms11287 (2016).
- [66] Renan Colucci, Matheus Henrique Quadrosa, Flávio Henrique Feres, Francisco Barbosa Maiac, Fábio Simões de Vicente, Gregório Couto Fariab, Lucas Fugikawa Santosa, Giovani Gozzia; *Cross-linked PEDOT: PSS as an alternative for low-cost solution-processed electronic devices*; **Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho – Departamento de Física**; *Synthetic Metals*, 47-53, 2018.