

HUDSON VENTURA RAMOS

**ESTUDO COM CAMADAS DE PFTB, AZO E ZNO:MG EM ESTRUTURAS DE
DISPOSITIVOS OLEDs**

SÃO PAULO – SP

2019

HUDSON VENTURA RAMOS

**ESTUDO COM CAMADAS DE PFTB, AZO E ZNO:MG EM ESTRUTURAS DE
DISPOSITIVOS OLEDs**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de Tecnologia de
São Paulo, como exigência parcial para
obtenção do grau de Tecnólogo em
Microeletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Roberto Santos

SÃO PAULO – SP

2019

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desse trabalho contou com a ajuda de diversas pessoas, entre as quais estão familiares, professores e colegas, portanto, agradeço:

A minha mãe Viviane Ventura dos Santos por me ajudar durante toda a minha jornada de estudos, sempre me apoiando e me incentivando a melhorar meu desempenho.

A minha namorada Natalia Rodrigues Takahashi por estar ao meu lado ao todos os momentos bons e ruins durante o curso, me ajudando sempre que possível.

Ao Prof. Dr. Emerson Roberto Santos pela confiança, paciência, apoio, dedicação e total orientação durante esses meses de persistência neste tema de trabalho.

Gostaria também de expressar meus sinceros e grandiosos agradecimentos à Prof^ª. Dr^ª. Wang Shu Hui, pela utilização dos materiais e infraestrutura do Laboratório de Engenharia de Macromoléculas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Agradecimentos também à Dr^ª. Glécia Virgolino da Silva Luz e à Prof^ª. Dr^ª. Leila Aparecida Chiavacci pelo fornecimento do material ZnO:Mg e também ao Eng. Eric Tsuneki Yoshiura Ono, pelo fornecimento do material PFTB.

Ao Prof. Dr. Roberto Koji Onmori, do Laboratório de Microeletrônica da EPUSP, pela realização das metalizações de alumínio como catodo nos dispositivos OLEDs.

A todos os meus colegas que me ajudaram diretamente e indiretamente no decorrer do curso. Agradecimentos especiais ao Renan e Thiago, cujas notas, esforço e parceria durante esses três anos me motivaram sempre a melhorar meu desempenho.

“Existem muitas hipóteses na ciência que são erradas. Isso é perfeitamente correto; elas são a abertura para descobrir o que é certo. A ciência é um processo autocorretivo. Para serem aceitas, novas ideias devem sobreviver aos mais rigorosos padrões de evidência e escrutínio”.

(Carl Sagan)

RESUMO

Para melhor entendimento deste trabalho, o mesmo foi dividido em três partes distintas. Na primeira parte foram realizadas caracterizações elétricas e ópticas em lâminas de vidro com filmes finos de AZO (óxido de zinco dopado com alumínio, comercial) e ZnO:Mg (óxido de zinco dopado com magnésio, sintetizado em laboratório). Após as caracterizações foram montados dispositivos OLEDs com as estruturas: vidro (substrato)/ ITO (eletrodo anodo) / PEDOT:PSS(camada HTL)/ PFTB (polímero emissor de luz)/ AZO ou ZnO:Mg (camada ETL)/ Al (eletrodo catodo). Pelas caracterizações elétrica e óptica dos filmes finos de AZO e ZnO:Mg analisados separadamente sobre lâminas de vidro, conclui-se que os dois materiais podem ser utilizados como camadas ETL, devido possuírem características elétricas e ópticas semelhantes, mas quando aplicados em dispositivos OLEDs, verifica-se que o filme fino de ZnO:Mg provoca o ataque químico no polímero emissor de luz PFTB (que é depositado na etapa anterior) piorando o desempenho do dispositivo OLED.

Na segunda parte, a camada emissora de luz foi diluída em diferentes solventes orgânicos como o clorofórmio (comumente utilizado) e triclorobenzeno. Verificou-se que o triclorobenzeno apresentou melhores resultados na polarização dos OLEDs. Uma hipótese para a obtenção destes resultados, é que o ponto de ebulição do solvente triclorobenzeno ($\approx 214,4\text{ }^{\circ}\text{C}$), seja bem maior que o do clorofórmio ($\approx 61,1\text{ }^{\circ}\text{C}$), favorecendo melhor rearranjo das camadas poliméricas, e portanto, facilitando a locomoção dos portadores de carga.

Na terceira parte foram analisadas quatro (04) estruturas com filmes finos em diferentes arranjos: ITO/PEDOT:PSS; ITO/PEDOT:PSS/ZnO:Mg; ITO/ZnO:Mg e ITO/ZnO:Mg/PEDOT:PSS, como tentativa de utilizar a camada de ZnO:Mg como HTL. Análises de efeito *Hall* revelaram valores de resistências de folha e resistividades superiores aos filmes finos de PEDOT:PSS, na concentração de portadores, que foi de duas ordens de grandeza menores, em comparação as amostras com de PEDOT:PSS. Em análises de UV-Vis com ambos materiais, verificou-se uma diminuição nos valores de transmitâncias, quando se deposita a camada fina de ZnO:Mg sobre o filme fino de PEDOT:PSS, o que não ocorre com o processo inverso.

Palavras Chave: ZnO:Mg, AZO, PEDOT:PSS, PFTB, ETL, HTL, Solventes, OLED.

ABSTRACT

To better understand this work, it was divided into three distinct parts.

In the first part, electrical and optical characterizations were performed on glass slides with thin films of AZO (commercially available aluminum oxide zinc oxide) and ZnO: Mg (magnesium-doped zinc oxide, synthesized in the laboratory). After the characterizations, OLED devices with the structures: glass (substrate) / ITO (anode electrode) / PEDOT: PSS (HTL layer) / PFTB (light emitting polymer) / AZO or ZnO: Mg (ETL layer) / Al cathode electrode). It is concluded that the two materials can be used as ETL layers because they have similar electrical and optical characteristics, but when applied to OLED devices, it will be seen that the ZnO: Mg thin film causes etching on the light emitting polymer PFTB (which is deposited in the previous step) worsening the performance of the OLED device.

In the second part, the light emitting layer was diluted in different organic solvents such as chloroform (commonly used) and trichlorobenzene. It was verified that the trichlorobenzene presented better results in the polarization of OLEDs. A hypothesis to obtain these results is that the boiling point of the solvent trichlorobenzene ($\approx 214,4\text{ }^{\circ}\text{C}$), is much higher than that of chloroform ($\approx 61,1\text{ }^{\circ}\text{C}$), favoring a better rearrangement of the polymer layers, facilitating the movement of cargo carriers.

In the third part, four (04) structures with thin films were analyzed in different arrangements: ITO / PEDOT: PSS; ITO / PEDOT: PSS / ZnO: Mg; ITO / ZnO: Mg and ITO / ZnO: Mg / PEDOT: PSS, as an attempt to use the ZnO: Mg layer as HTL. Hall Effect analysis revealed values of sheet strengths and resistivity higher than the PEDOT: PSS thin films at the carrier concentration, which was two orders of magnitude smaller, compared to the samples with PEDOT: PSS. In UV-Vis analyzes with both materials, a decrease in the transmittance values was observed when the thin layer of ZnO: Mg was deposited on the PEDOT: PSS thin film, which does not occur with the inverse process.

Keywords: ZnO: Mg, AZO, PEDOT: PSS, PFTB, ETL, HTL, Solvents, OLED.

SUMÁRIO

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	9
1.1 – Características dos dispositivos OLEDs	9
1.2 – Princípio de funcionamento do dispositivo OLED	10
1.3 – Estrutura de um dispositivo OLED	12
1.4 – Objetivo	14
1.5 – Justificativa	15
2 - MATERIAIS E MÉTODOS	17
2.1 – Diferentes estruturas de dispositivos OLEDs	17
2.1.1 – Primeira parte – Comparação de filmes finos de ZnO:Mg e AZO como ETL em dispositivos OLEDs	17
2.1.2 – Segunda parte – Variação do solvente orgânico na camada emissora de luz PFTB	18
2.1.3 – Terceira parte – Comparação de filmes finos de PEDOT:PSS e ZnO:Mg como camada HTL	19
2.2 – Preparação das lâminas de vidro e vidro/ITO para a montagem de dispositivos OLEDs e testes elétricos e ópticos em filmes fino de ZnO:Mg e AZO	20
2.2.1 – Corte e marcação das lâminas de vidro e vidro/ITO	20
2.2.2 – Definição das trilhas de ITO para montagem de dispositivos OLEDs	21
2.2.3 – Corrosão dos filmes de ITO	23
2.2.4 – Limpeza das lâminas de vidro e de ITO/vidro	24
2.3 – Montagens dos dispositivos OLEDs – Primeira e Segunda partes	25
2.3.1 – Preparação da solução de PFTB como material emissor de luz	25
2.3.2 – Deposição de PEDOT:PSS como HTL	27
2.3.3 – Deposição de PFTB como polímero emissor de luz	28
2.3.4 – Deposição das camadas ETLs	29
2.3.4.1 – Deposição da camada de AZO como ETL	29
2.3.4.2 – Deposição da camada de ZnO:Mg como ETL	29
2.3.5 – Deposição de alumínio como catodo	30
2.4 – Polarização dos dispositivos - Primeira e Segunda Partes	30
2.5 – Análises dos Filmes de AZO e ZnO:Mg – Primeira e Terceiras Partes	31
2.5.1 – Espectroscopia de UV-Visível	31
2.5.2 – Efeito Hall	32

3 - RESULTADOS	34
3.1 – Primeira parte – caracterizações elétricas e ópticas nas lâminas com filmes de AZO e ZnO:Mg	34
3.1.1 – Efeito Hall.....	34
3.1.2 – Espectroscopia de UV-Vis. – Análises logo após a deposição	36
3.1.3 – Espectroscopia de UV-Vis. – Análises 14 dias após a deposição.....	37
3.1.4 – Dispositivos com camada ETL utilizando ZnO:Mg e AZO	38
3.1.4.1 – Camada de AZO atuando como ETL nas estruturas de dispositivos OLEDs..	38
3.1.4.2 – Camada de ZnO:Mg atuando como ETL nas estruturas de dispositivos OLEDs	39
3.2 – Segunda parte – Estudo do solvente na camada emissora de luz PFTB	41
3.2.1 – Utilização de solvente orgânico clorofórmio para a diluição do polímero emissor PFTB	41
3.2.2 – Utilização de solvente orgânico triclorobenzeno para a diluição do polímero emissor PFTB	43
3.3 – Terceira parte – materiais para análise como camada HTL com ZnO:Mg e PEDOT:PSS	45
3.3.1 – Análise de Efeito Hall	45
3.3.2 – Análise de Espectroscopia de UV-Vis.....	46
4 - CONCLUSÃO	48
4.1 – Primeira parte – Caracterizações elétricas e ópticas nas lâminas com filmes de AZO e ZnO:Mg	48
4.2 – Segunda parte – Estudo do solvente na camada emissora de luz PFTB	48
4.3 – Terceira parte – Estudo do solvente na camada emissora de luz PFTB	49
REFERÊNCIAS	50

1 - INTRODUÇÃO

1.1 – Características dos dispositivos OLEDs

OLED é um dispositivo semicondutor de estado sólido montado com a sobreposição de múltiplos e diferentes filmes finos para a emissão de diferentes cores de luz [1]. A camada constituída do material emissor de luz é orgânica e situa-se entre dois filmes finos inorgânicos, o anodo (material transparente e semicondutor) e catodo (condutor metálico), além disso, é ele que emite luz na faixa do comprimento de onda da luz visível, quando o dispositivo é polarizado [2].

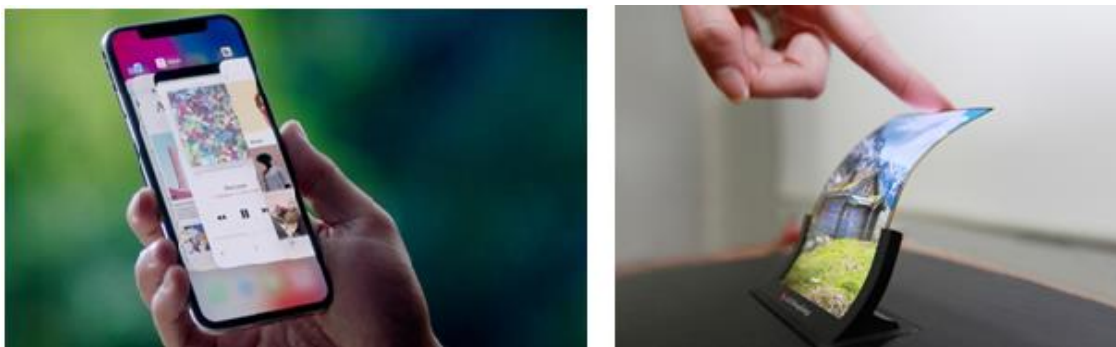
Pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de encontrar materiais que ofereçam estruturas cada vez mais eficientes, do ponto de vista de obter maior quantidade de luz consumindo menor potência, uma vez que nestes dispositivos, a tensão de operação ainda é elevada, quando comparada com dispositivos LEDs [3].

Quanto à classificação, os OLEDs podem ser destacados em dois segmentos: aqueles baseados em polímeros conjugados (PLEDs) e os que são constituídos de pequenas moléculas (SMOLEDs) [4]. Atualmente, a maior parte das aplicações dos OLEDs encontra-se em mostradores (displays) de: aparelhos celulares, TVs, monitores, smartwatches, entre outros. Em comparação com as outras estruturas e que utilizam semicondutores inorgânicos para emissão de luz, como o LCD (Liquid Crystal Display), plasma ou até mesmo o LED (diodo emissor de luz); o OLED se destaca com algumas vantagens, como [5]:

- (a) emissão de cor mais nítida;
- (b) pode ser montado sobre substratos flexíveis;
- (c) apresenta ângulo de visão de 180°;
- (d) não emite raios ultravioleta ou infravermelho;
- (e) é mais fácil de ser montado.

Por estes motivos, diversas empresas de produtos de eletrônicos de consumo, como: *Kodak*, *Sony*, *Samsung*, *Apple* e *LG* têm apresentando grande interesse no desenvolvido destes tipos de dispositivos OLEDs [6].

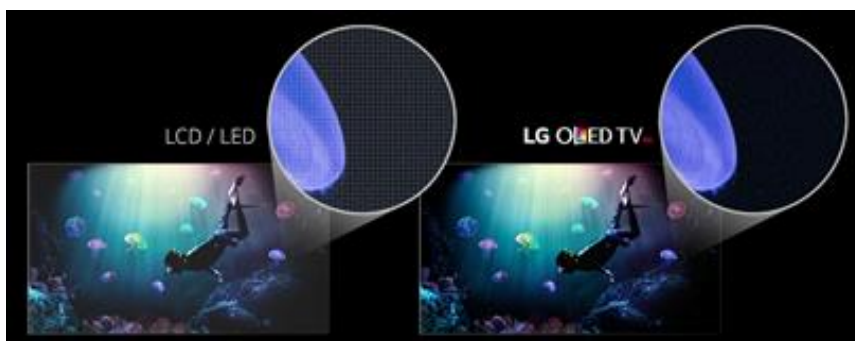
Figura 1 – Displays que utilizam a tecnologia OLED.



Basicamente, as TVs LED produzem imagens a partir da utilização de luzes de fundo (ou *backlights*), ou seja, LEDs para iluminarem uma tela de cristal líquido [7].

Já na tecnologia de OLED, o próprio dispositivo emite a luz, o que propicia ao *display*, cores mais vibrantes, além de deixar o *display* mais fino [8]. Na Figura 2, temos uma comparação entre TVs da marca LG, produzindo a mesma imagem, mas com tecnologias distintas, LED (à esquerda) e OLED (à direita) [8].

Figura 2– Comparação da qualidade das imagens em TVs com tecnologias: LED e OLED



No entanto, como em qualquer tecnologia existem algumas desvantagens na tecnologia OLED, devido aos materiais orgânicos possuírem menor tempo de vida. No caso das TVs, comparando ambas as tecnologias, é verificado que a TV com OLED alcança até 14 mil horas, enquanto que a TV de LED vai muito além, alcançando pelo menos o dobro do tempo de vida [9].

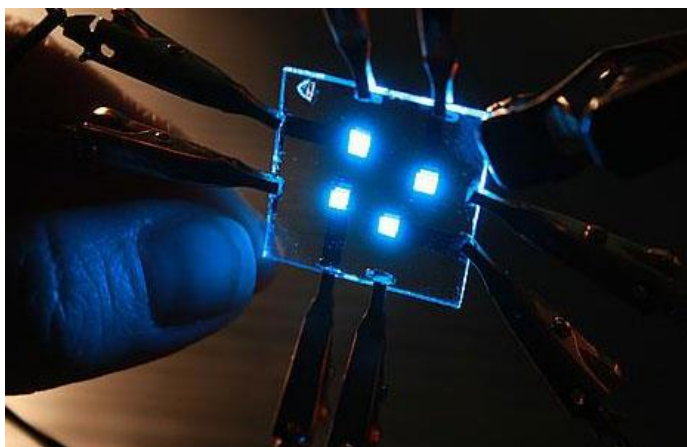
1.2 – Princípio de funcionamento do dispositivo OLED

O dispositivo OLED é montado utilizando o conceito de multicamadas e que funciona como um diodo, quando se aplica uma corrente elétrica, os elétrons fluem pelo

eletrodo catodo, enquanto lacunas fluem pelo eletrodo anodo. Quando os elétrons encontram as lacunas no interior da camada emissora de luz do dispositivo, ocorre a recombinação das cargas gerando assim, energia na forma de fótons.

Diferentes tipos de materiais emissores podem ser utilizados gerando diferentes emissões de cores [10]. A intensidade da luz é controlada pela quantidade de corrente aplicada ao dispositivo [11].

Figura 3– OLEDs monocromáticos em funcionamento.

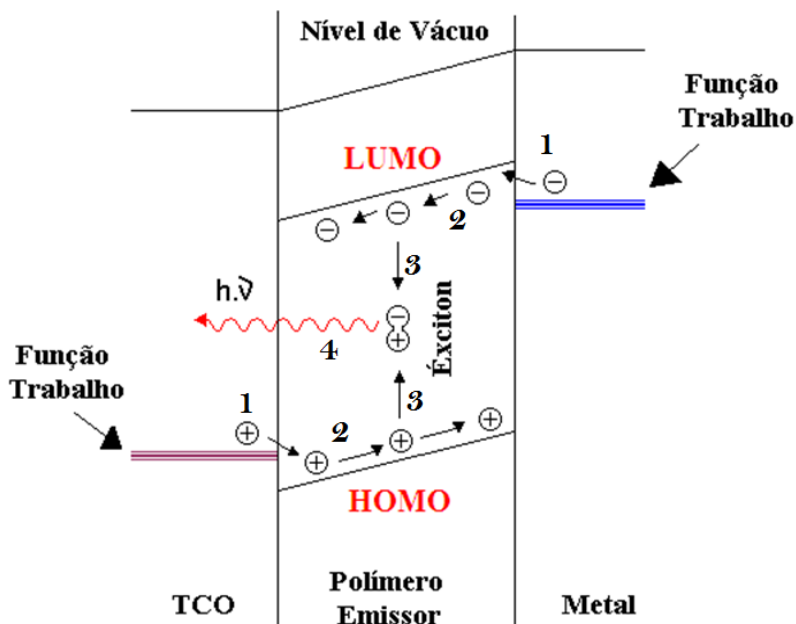


Como é esquematizado na figura 4, o funcionamento de um dispositivo eletroluminescente pode ser resumido em quatro etapas: injeção, transporte, formação de éxciton e emissão:

- 1) Injeção - Ocorre quando se aplica uma diferença de potencial entre os eletrodos, com isso as lacunas são injetadas pelo anodo e os elétrons são injetados pelo catodo.
- 2) Transporte – Tanto as lacunas quanto os elétrons são transportados pelas camadas presentes no dispositivo, desde o eletrodo correspondente até a camada eletroluminescente. O transporte das lacunas ocorre através de orbitais moleculares ocupados de maior energia o HOMO que é análogo à banda de valência. Enquanto isso, os elétrons são transportados através dos orbitais moleculares desocupados de menor energia, chamado de LUMO que é análogo à banda de condução.
- 3) Formação do éxciton - Ocorre na camada eletroluminescente onde deve estar a zona de recombinação. O éxciton é um estado ligado elétron-lacuna que transporta energia.
- 4) Emissão - A energia proveniente dos éxcitons, pode ser transferida para os estados excitados do material eletroluminescente. Com o decaimento destes estados excitados,

para estados de menor energia (estado fundamental), ocorre a emissão de luz que é definida pela diferença de energia entre o estado fundamental e o estado excitado.

Figura 4 – Princípio do funcionamento do OLED



1.3 – Estrutura de um dispositivo OLED

Basicamente, a montagem de um dispositivo OLED utiliza camada emissora de luz com material orgânico e que se situa no meio entre dois eletrodos, o anodo e o catodo.

Porém, esta estrutura básica não é completamente suficiente para gerar emissão de luz notável à visão humana. Então, existem outras estruturas de dispositivos que envolvem mais que a aplicação de três filmes finos nas estruturas destes dispositivos [12].

Por exemplo, no Laboratório de Engenharia de Macromoléculas da EPUSP, têm sido estudadas estruturas envolvendo cinco camadas (anodo/HTL-camada transportadora de lacunas/emissor/ETL-camada transportadora de elétrons/cátodo) e que tem apresentado bom desempenho elétrico e óptico [13,14,15]. Estes materiais são apresentados na estrutura, como [16,17,18]:

(1) Anodo: o material que tem sido mais utilizado como sustentação para todo o empilhamento das camadas do dispositivo OLED é uma lâmina de vidro, pois apresenta:

resistência mecânica, transparência e barreira à degradação. Sobre a lâmina de vidro é disposto um óxido transparente condutivo (ou *TCO*). Conhecido como *ITO* (ou óxido de índio e estanho), este material é geralmente importado (pois não existe fabricante no país) e disponível comercialmente em filmes finos, oferecendo diferentes resistências de folha, rugosidades e espessuras.

(2) HTL: sobre o filme fino de ITO é depositada uma camada constituída de material orgânico, semicondutor e transparente denominado como PEDOT:PSS [(poli(3,4-etilenodioxitiofeno):poli(4-estirenosulfonado)], que desempenha o papel de camada transportadora de lacuna (HTL), ou seja, contribui para facilitar a passagem de cargas do tipo lacunas para a camada emissora de luz. Este material é comercial e disponível para ser utilizado.

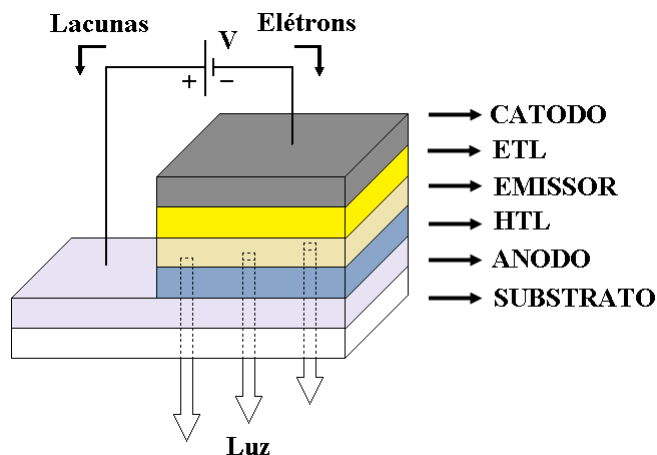
(3) Emissor de luz: sobre o filme fino de PEDOT:PSS é depositado outro material orgânico, mas com característica elétrica isolante e que tem a função de emitir luz. Neste trabalho será utilizado um material que foi desenvolvido em laboratório (porém, também existe de origem comercial) no trabalho de conclusão de curso do Eng. Eric Tsuneki Yoshiura Ono. Ele é denominado PFTB [poli(9,9-dioctifluoreno-alt-bis-tienileno(benzotiadiazol))] e foi diluído em um solvente orgânico previamente à montagem dos dispositivos. Ele emite luz na cor vermelha e já vem sendo utilizado com sucesso nas estruturas de dispositivos OLEDs.

(4) ETL: sobre a camada emissora de luz de PFTB, é depositada uma camada constituída de material orgânico e semicondutor, denominado AZO (óxido de zinco com alumínio), que desempenha o papel de camada transportadora de elétrons (ETL). Ou seja, contribui para facilitar a passagem de cargas do tipo elétrons para a camada emissora de luz. Assim como o PEDOT:PSS, ele também é comercial e disponível pronto para ser utilizado.

(5) Catodo: como última camada sobre todo o empilhamento é depositado um material metálico que atua como eletrodo catodo. Geralmente utiliza-se um filme fino de alumínio, que é termicamente evaporado.

A Figura 5 mostra a estrutura de dispositivo OLED com as 5 camadas que está sendo explorada neste trabalho.

Figura 5 – Estrutura de dispositivo OLED com 5 camadas explorada neste trabalho.



1.4 – Objetivo

Este trabalho possui três objetivos distintos.

O primeiro objetivo é comparar os resultados entre dois materiais distintos e isoladamente, que são: AZO (óxido de zinco dopado com alumínio, comercial) e ZnO:Mg (óxido de zinco dopado com magnésio, que foi elaborado em laboratório), ambos depositados sobre lâminas de vidro, analisando assim, suas características ópticas e elétricas, e após isso, com os mesmos materiais montar dispositivos OLEDs utilizando estes mesmos materiais como camada ETL, formando assim, as seguintes configurações:

- Vidro/ITO/PEDOT:PSS/PFTB/AZO/Al;
- Vidro/ITO/PEDOT:PSS/PFTB/ZnO:Mg/Al;

O segundo objetivo é realizar um estudo do desempenho de dispositivos OLEDs com material emissor de luz PFTB diluído em diferentes solventes orgânicos, formando as estruturas similares:

- Vidro/ITO/PEDOT:PSS/PFTB (diluído em clorofórmio)/AZO/Al;
- Vidro/ITO/PEDOT:PSS/PFTB (diluído em triclorobenzeno)/AZO/Al;

Após as montagens, estes dispositivos OLEDs foram analisados por caracterizações elétricas.

O terceiro objetivo tem como finalidade estudar o comportamento do material ZnO:Mg, como possível camada HTL, através de medidas das suas características ópticas

e elétricas sobre filmes finos de *ITO*/vidro, comparando com o material PEDOT:PSS (muito utilizado como camada HTL em dispositivos OLEDs). Então, as seguintes estruturas foram montadas:

- Vidro/ITO/PEDOT:PSS
- Vidro/ITO/PEDOT:PSS/ZnO:Mg
- Vidro/ITO/ZnO:Mg
- Vidro/ITO/ZnO:Mg/PEDOT:PSS

1.5 – Justificativa

A tentativa de montar um dispositivo OLED em laboratório objetivando aumento na intensidade de luz emitida e redução em sua tensão de limiar é a principal motivação deste trabalho. Então, foi necessário introduzir um novo material semiconductor nas estruturas dos dispositivos OLEDs e que ainda não havia sido testado anteriormente no Laboratório de Engenharia de Macromoléculas da EPUSP. Para isso, foi sugestionado o material ZnO:Mg [19], devido à sua semelhança com o AZO.

Como a introdução deste do ZnO:Mg trata-se de uma "novidade" para a montagem de estruturas de dispositivos OLEDs, um estudo para conhecer o seu comportamento como material ETL foi realizado.

No material PFTB, o solvente normalmente utilizado para à sua diluição tem sido o clorofórmio (grau eletrônico), que tem demonstrado bons resultados em trabalhos anteriores, tanto na emissão de luz, quanto na tensão de operação [20].

Porém, neste trabalho foi proposta uma nova possibilidade em utilizar o mesmo material, mas diluído em outro solvente, conhecido como triclorobenzeno (também grau eletrônico). Este solvente foi utilizado para a diluição da camada polimérica emissora de luz de outro material e realizado em outro estudo e mostrou um comportamento superior em dispositivos OLEDs, quando comparado ao clorofórmio e outros solventes orgânicos [21].

Neste trabalho utilizado como referência, verificou-se que os dispositivos OLEDs montados com o polímero emissor diluído em triclorobenzeno proporcionou uma redução drástica na tensão de limiar, de 16 V para o dispositivo com o solvente utilizado com

clorofórmio para diluição da camada emissora de luz, para 10 V utilizando triclorobenzeno.

Devido ao solvente utilizado no ZNO:Mg se tratar de um ácido oléico [19], pensou-se que poderia apresentar aspecto muito agressivo, quando utilizado como ETL, devido ser depositado sobre a camada emissora de luz, e por isso, poderia ser utilizado também como camada HTL, sendo depositado acima do filme fino de ITO que é mais estável fisicamente e quimicamente, ou como um reforço na injeção de lacunas, sendo depositado sobre anteriormente do filme fino de PEDOT:PSS. Neste sentido, se viu necessário realizar testes ópticos e elétricos nestes materiais, visando comparar os resultados dos filmes finos obtidos com PEDOT:PSS.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

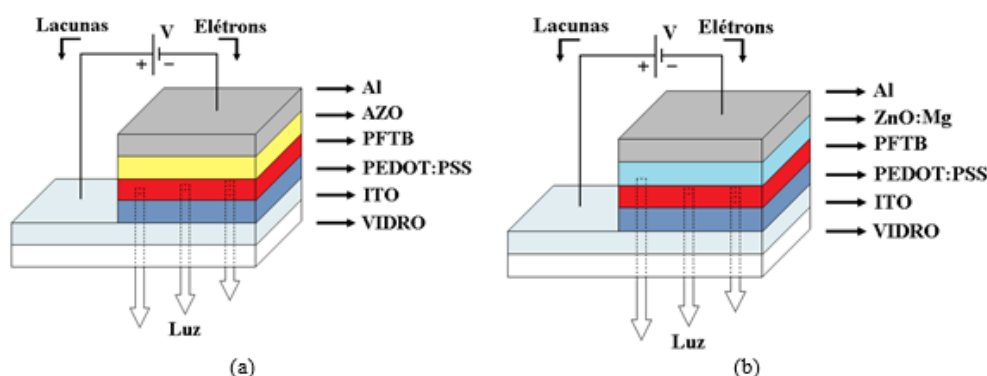
2.1 – Diferentes estruturas de dispositivos OLEDs

Uma vez que neste trabalho são estudados diferentes materiais, para melhor organização das ideias, o mesmo foi dividido em três partes completamente distintas.

2.1.1 – Primeira parte – Comparação de filmes finos de ZnO:Mg e AZO como ETL em dispositivos OLEDs

Nesta primeira parte foram montadas duas estruturas de dispositivos OLEDs, comparando diferentes camadas ETLs, mas mantendo os outros materiais restantes na estrutura, como mostra a Figura 6. Porém, antes de construir as estruturas dos dispositivos, foi proposto analisar as características dos filmes ETL utilizados isoladamente, ou seja, sobre lâminas de vidro.

Figura 6 - Estruturas de dispositivos OLEDs variando a camada de ETL com diferentes materiais, como:(a) AZO e (b) ZnO:Mg.



Para a montagem dos dispositivos OLEDs, a estrutura que é normalmente utilizada no laboratório utiliza como ETL, uma camada de fina de AZO, material que possui uma composição similar ao ZnO:Mg e que foi sintetizado em laboratório pela UNESP de Araraquara.

Os materiais utilizados nesta etapa foram:

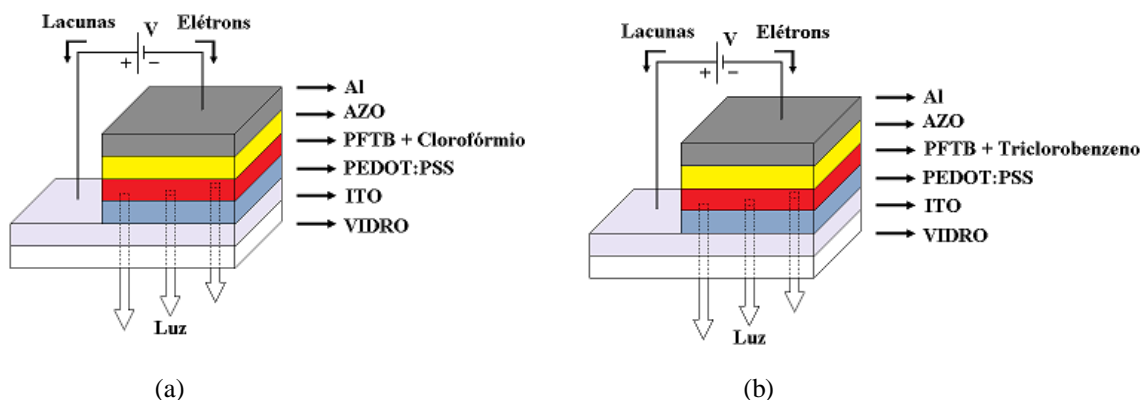
- Lâminas de vidro (como substrato) com filme fino de ITO (como anodo) da marca *Diamond Coatings Limited*, com resistência de folha de $15 \Omega/\square$ e que oferece transmitância acima de 70% no espectro da luz visível.

- PEDOT:PSS (como HTL) obtido da empresa *Sigma-Aldrich* (referência: 483095-250G). Este material é uma blenda polimérica diluído em água, ele possui o material PEDOT com 0,5% de peso em massa e PSS com 0,8% de peso em massa. Este material é disponível pronto para ser aplicado.
- PFTB (polímero emissor de luz) foi previamente sintetizado no trabalho de conclusão de curso de Eric T. Y. Ono e foi diluído em clorofórmio na concentração de 10 mg/mL. Este solvente possui grau espectrométrico e foi obtido da empresa *Tedia*.
- AZO ou ZnO:Mg utilizado como camada ETL. O primeiro material conhecido como AZO é comercial e foi obtido da empresa *Sigma-Aldrich* (referência: 793388-5mL) obtido pronto para ser aplicado. O segundo material é o ZnO:Mg dissolvido em ácido oleico e que foi sintetizado em laboratório, e, assim como o AZO e PEDOT:PSS, foi recebido pronto para ser aplicado.
- Como cátodo foi utilizado um material metálico, como o alumínio.

2.1.2 – Segunda parte – Variação do solvente orgânico na camada emissora de luz PFTB

Nesta segunda parte do trabalho foi montada a mesma estrutura de dispositivos da primeira parte, porém com o polímero PFTB emissor de luz diluído em dois diferentes solventes, como mostra a Figura 7.

Figura 7– Dispositivos OLEDs com a mesma estrutura, mas com o polímero PFTB diluído em diferentes solventes orgânicos, como: (a) clorofórmio e (b) triclorobenzeno.



Para a montagem dos dispositivos OLEDs foram utilizados os mesmos materiais da primeira parte deste trabalho, com exceção do material ZnO:Mg, pois decidiu-se que

os testes com os solventes orgânicos deveriam ser utilizados com a mesma estrutura de dispositivos OLEDs já estudada anteriormente.

Como polímero responsável pela emissão de luz foi utilizado o PFTB (previamente sintetizado no trabalho de conclusão de curso de Eric T. Y. Ono) [13] e que foi diluído em clorofórmio primeiramente e depois em triclorobenzeno em concentração de 10 mg/mL, sendo que ambos solventes possuem grau espectrométrico e foram obtidos da empresa *Tedia*.

As estruturas de dispositivos OLEDs desta parte segunda *parte* foram montadas sob duas amostras para cada condição, as lâminas foram enumeradas de 1 a 4, sendo as lâminas 1 e 3 montadas com a camada emissora composta por PFTB diluído em clorofórmio e às lâminas 2 e 4 montadas com a camada emissora composta por PFTB diluído em solvente orgânico como o triclorobenzeno. A partir das análises de corrente e tensão dos OLEDs, foi possível analisar o desempenho dos dispositivos levando em consideração a menor tensão de limiar e a maior injeção de corrente elétrica, e, com isso, foi possível obter a melhor escolha na configuração da estrutura comparando os dois solventes.

2.1.3 – Terceira parte – Comparação de filmes finos de PEDOT:PSS e ZnO:Mg como camada HTL

Com pensamento em trabalhos futuros, foi proposto o estudo isolado de materiais que possam ser utilizados como HTL em dispositivos OLEDs.

Da mesma forma como a camada de ZnO:Mg poderia ser utilizada como ETL e foi comparada com a camada de AZO, nesta última parte deste trabalho é proposta uma análise na camada de ZnO:Mg com a camada que tem sido utilizada como HTL, ou seja, o material PEDOT:PSS. A camada de ZnO:Mg foi proposta como sendo um material em potencial substituir a camada de PEDOT:PSS, devido apresentar propriedades de semicondutoras e transparência elevadas, principais características de um material HTL. Outro motivo, foi devido este material ser disperso em um ácido, imaginou-se que o mesmo poderia ser agressivo ao depositar-se sobre o polímero emissor PFTB, porém, devido à elevada estabilidade química e física da camada de ITO à corrosão, foi proposto que este material apresentasse melhor adaptação em comparação com a camada de PFTB.

Com os resultados desta terceira etapa, é possível obter uma ideia da compatibilidade na estrutura de dispositivos OLEDs como camada HTL.

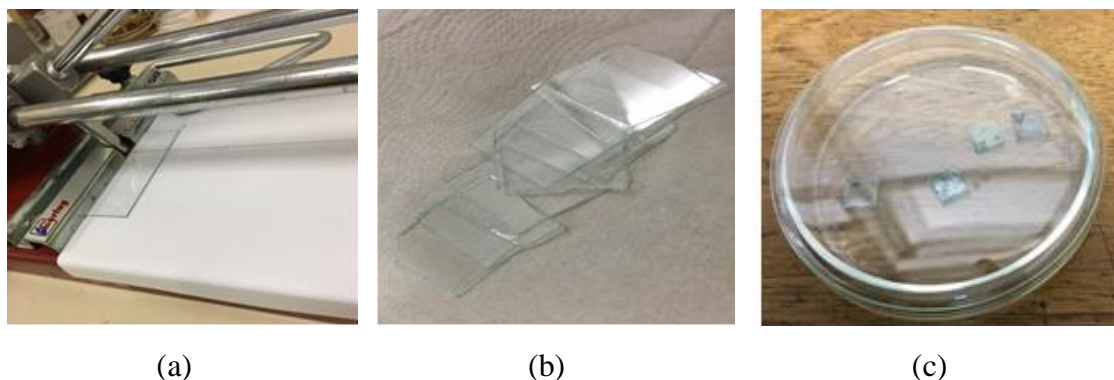
2.2 – Preparação das lâminas de vidro e vidro/ITO para a montagem de dispositivos OLEDs e testes elétricos e ópticos em filmes fino de ZnO:Mg e AZO

2.2.1 – Corte e marcação das lâminas de vidro e vidro/ITO

Antes de realizar qualquer procedimento, é necessário que as lâminas de vidro ou lâminas com camada de ITO depositado sobre vidro sejam cortadas em tamanhos diferentes, para as análises distintas, de acordo com a configurações dos porta amostras dos equipamentos. No caso, para avaliar os comportamentos óptico e elétrico dos filmes de AZO e ZnO:Mg utilizados como camadas ETLs nos dispositivos OLEDs, ambos materiais foram depositados em lâminas de vidro de microscopia, da marca *Precision Glass Line*. As lâminas foram cortadas em geometria quadrada de 2,0 x 2,0 cm. Para a montagem de dispositivos, foram utilizados filmes de ITO com $15 \Omega/\square$ depositados sobre vidro, da marca *Diamond Coatings* e foram repartidas em tamanhos de 2,5 x 2,5 cm. Para a montagem das estruturas para esta *terceira parte*, foram estes filmes de ITO/vidro com geometria de 1,0 x 1,0 cm.

Para obter-se a geometria desejada foi utilizado um cortador de azulejo, da marca Cortag [22].

Figura 8– (a) Cortador de azulejo, (b) lâminas utilizadas nas primeira e segunda partes e (c) lâminas utilizadas na terceira parte.



Após o corte da lâmina, com o auxílio de uma caneta com uma ponta de vídia foi realizada uma pequena marcação sendo identificadas por letras no lado do vidro e oposto a deposição dos filmes.

Figura 9 - Lâminas marcadas guardadas em placas de petri.



2.2.2 – Definição das trilhas de ITO para montagem de dispositivos OLEDs

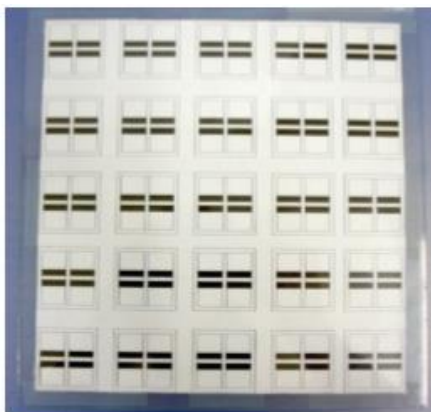
Primeiramente, foi necessário identificar o lado com o filme fino de ITO utilizando as duas pontas de prova de um multímetro digital (Minipa, modelo ET-2082A, na escala de resistência) e obtendo-se assim, a continuidade elétrica e a certeza de que o filme está neste lado da lâmina.

Figura 10 – Detecção do filme fino de ITO com ajuda de um multímetro.



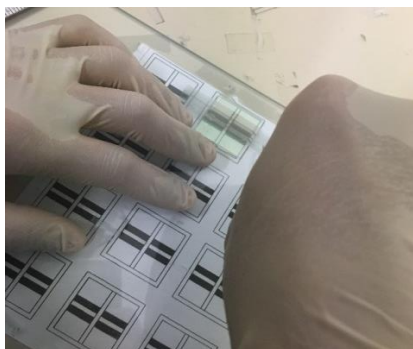
Em uma folha foi impresso o *layout* com a geometria das trilhas dos filmes de ITO e, então, esta folha permaneceu presa em uma placa de vidro, como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Layout com as trilhas do filme de ITO impressas em papel e coladas em uma placa de vidro.



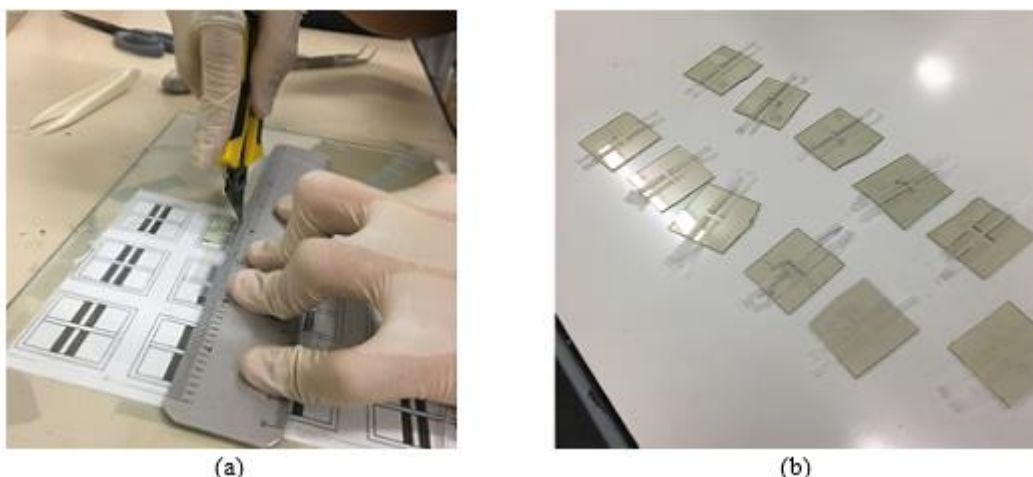
No lado oposto da placa de vidro, as lâminas com os filmes de ITO foram presas, seguindo a mesma geometria impressa no papel. Sobre cada lâmina foi colocada uma fita adesiva (fita mágica, da empresa *Scotch* 3M), recobrindo parcialmente o filme de ITO para posterior corrosão da parte desprotegida, como mostra a Figura 12.

Figura 12 – Fita adesiva sendo colada sobre o filme de ITO/vidro.



Com a ajuda de uma régua e um estilete, a fita adesiva foi cortada de acordo com o *layout* impresso, ou seja, cobrindo apenas as quatro trilhas [23]. A Figura 13(a) mostra o processo de corte da fita para realização da geometria das trilhas e a Figura 13(b) mostra as lâminas prontas para a etapa seguinte, que é a corrosão da parte expostas do filme de ITO.

Figura 13 – (a) obtenção do padrão das trilhas com a fita adesiva cobrindo parcialmente o filme de ITO e (b) trilhas de filmes de ITO cobertas com a fita adesiva.



2.2.3 – Corrosão dos filmes de ITO

Para obtenção das trilhas de ITO cobertas com a fita adesiva, parte do restante do filme de ITO descoberto foi corroído utilizando-se uma solução de HCL (ácido clorídrico com grau PA, obtido da marca Synth), algodão (cotonete) e zinco em pó (da marca Caal), este último material serve como catalisador, portanto, ele propicia a aceleração do processo de corrosão [24].

O processo foi realizado mergulhando-se a ponta do cotonete no HCL e, em seguida, no zinco em pó, e então, causando-se uma fricção sobre o filme de ITO desprotegido pela fita adesiva.

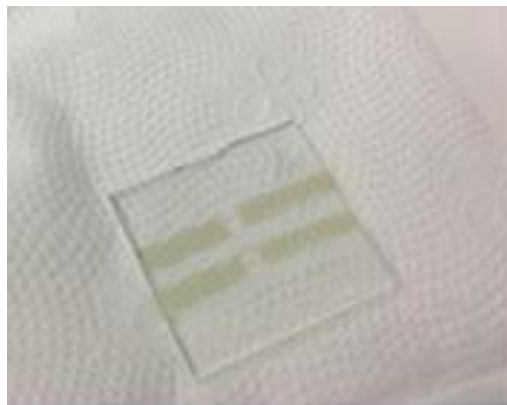
Após este procedimento, cada lâmina foi submersa em um béquer com água, para remoção de resquícios dos materiais anteriormente utilizados. Finalmente, com a corrosão da parte do filme de ITO desprotegido, foram retiradas as fitas adesivas (que serviram como proteção). É importante lembrar que todo este processo foi realizado utilizando-se luvas cirúrgicas e as lâminas foram manuseadas com pinças de teflon (para evitar que não haja corrosão, como ocorre em pinças de metal, por ação química do ácido clorídrico).

A Figura 14(a) mostra o processo de corrosão descrito anteriormente e a Figura 14(b) mostra a lâmina após o processo de corrosão.

Figura 14 – (a) Etapa de corrosão dos filmes de ITO utilizando: HCL, cotonete e zinco em pó e (b) lâmina após o processo de corrosão.



(a)



(b)

2.2.4 – Limpeza das lâminas de vidro e de ITO/vidro

Logo após o processo de corrosão parcial do filme de ITO e também após o corte das lâminas de vidro, as amostras foram limpas utilizando luvas cirúrgicas, água corrente e detergente doméstico neutro, esfregando as superfícies e enxaguando-as.

Então, foi utilizado o produto comercial conhecido pelo nome de Aqua Brilho - Restaurador de Superfície, obtido pela empresa Adespec (com composição química: água, óleo surfactante a base de polissiloxano, tensoativo não iônico, conservante, fragrância e corante).

Sobre cada lâmina foram adicionadas algumas gotas do produto e com a ajuda de um “cotonete”, cada superfície da lâmina foi friccionada até a remoção completa do produto comercial. Este procedimento foi utilizado no trabalho de Anderson Daniel Moreira do Nascimento e mostrou-se eficaz [25].

Figura 15 – Processo de limpeza das lâminas com ITO/vidro e vidro.



2.3 – Montagens dos dispositivos OLEDs – Primeira e Segunda partes

A montagem dos dispositivos OLEDs envolve o empilhamento de diferentes camadas que devem ser depositadas seguindo uma ordem lógica. Então, nesta *primeira parte* do trabalho, serão utilizados os mesmos materiais para a montagem de toda a estrutura do dispositivo OLED, diferenciando apenas a camada ETL utilizando o ZnO:Mg em duas lâminas, e na segunda *parte* diferenciando apenas a troca de solventes para a diluição do polímero emissor de luz PFTB, ou seja, comparando diferentes solventes orgânicos, como, o clorofórmio e o triclorobenzeno.

2.3.1 – Preparação da solução de PFTB como material emissor de luz

Antes de iniciar a montagem dos dispositivos OLEDs, foi necessário preparar previamente as soluções que serviriam como camada emissora de luz nos dispositivos.

Na primeira e segunda parte do trabalho foram utilizadas oito (08) lâminas contendo quatro dispositivos OLEDs em cada lâmina, ou seja, montadas simultaneamente. Seis lâminas foram montadas com solução de PFTB diluída em clorofórmio e as outras duas lâminas com solução de PFTB diluída em triclorobenzeno.

O material PFTB (camada emissora de luz nos dispositivos OLEDs) foi sintetizado em laboratório, no trabalho de Eric Tsuneki Yoshiura Ono [13] e foi diluído nos solventes orgânicos distintos (ambos com grau espectrométrico e obtidos da empresa *Tedia*) e ambos foram preparados com a concentração de 10 mg/mL, seguindo a equação dada pela fórmula [26]:

$$m = v.c \quad (1)$$

Onde: m é a massa total do polímero emissor a ser diluído, v é o volume total do solvente e c é a concentração.

A concentração de 10 mg/mL foi calculada para o volume total de 1 mL em cada uma das soluções (PFTB misturado com clorofórmio e PFTB misturado com triclorobenzeno) em frascos distintos.

Pensou-se na deposição de quatro (04) lâminas, depositando 250 μ L sobre cada amostra, porém foi preparado 500 μ L, para o caso necessário de demais deposições.

Então, por este motivo, foi utilizado 10 mg de PFTB em cada um dos frascos, sendo que essa massa do polímero foi pesada com a ajuda de uma balança analítica da marca *Ohaus*, modelo *Adventurer*. Lembrando que a primeira e segunda *partes* foram realizadas em dias distintos, portanto, dois (02) frascos de clorofórmio foram necessários para realizá-las, cada um deles com solução para a deposição de quatro (04) lâminas.

Figura 16 - Massa necessária do polímero de PFTB sendo pesada na balança analítica.



Após pesada, a massa de PFTB foi misturada em ambos frascos juntamente com os respectivos solventes e juntamente com uma cápsula magnética, que auxilia na mistura das soluções. Todo o conjunto foi submetido em agitação magnética pelo período de 60 minutos, para melhor mistura das soluções.

Figura 17 - Soluções com o polímero emissor em diferentes solventes sob agitação magnética



Após o período de agitação e com as lâminas prontas, foi iniciado o processo de montagem dos dispositivos OLEDs.

2.3.2 – Deposição de PEDOT:PSS como HTL

As oito (08) lâminas utilizadas nas primeira e segunda partes e o polímero PEDOT:PSS utilizado como HTL foram colocados no interior de uma câmara do tipo *glove box* sob atmosfera de nitrogênio e com umidade relativa do ar abaixo de 20 % (umidade detectada pelo termo higrômetro, da marca Minipa, modelo MT-241). Para a deposição do polímero PEDOT:PSS (*poly (3,4-ethylenedioxythiophene)-poly (styrenesulfonate)*, 1.3 % *dispersion* in H₂O) adquirido da empresa *Sigma-Aldrich*, referência 483095 - 250 G,) sobre as lâminas foi utilizado um pipetador da marca *Kasvi*, com volume regulado em 150 μ L e o aparato *spinner*, desenvolvido no trabalho de Christine Miwa Takahashi e que foi ajustado para obter-se a rotação de 3000 RPM por 60 segundos, [27].

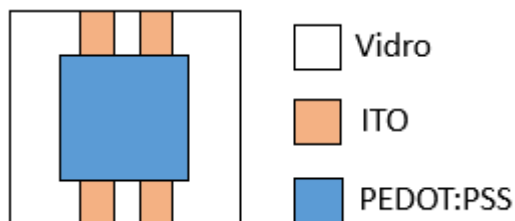
Figura 18 – Aparato spinner utilizado para a deposição dos filmes finos.



Após a formação do filme fino polimérico, foi realizada a corrosão da parte excedente que recobriu toda a lâmina. Nesta etapa utilizou-se "cotonete" e água destilada, removendo parte do filme ao redor das áreas ativas dos dispositivos OLEDs.

Após a deposição, nas lâminas realizou-se o tratamento térmico utilizando um assoprador de ar quente (secador de cabelo, marca *Taiiff*, modelo *Tourmaline* Ion Cerâmica) com aproximadamente 60 °C durante 5 minutos.

Figura 19 - Geometria após a corrosão parcial do filme fino com o polímero PEDOT:PSS.

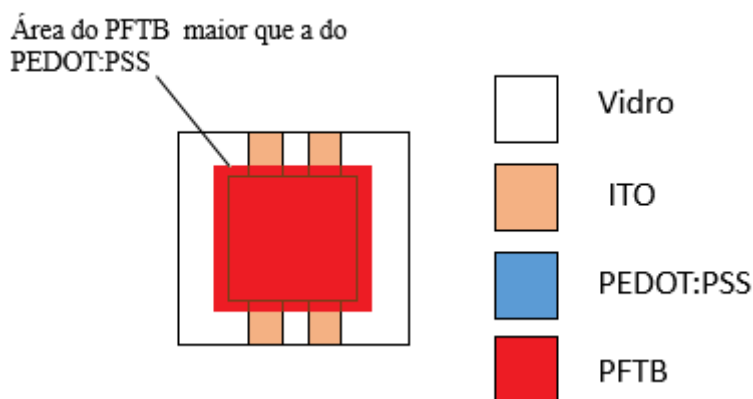


2.3.3 – Deposição de PFTB como polímero emissor de luz

Foram utilizadas duas soluções distintas com o polímero emissor PFTB: uma diluída em clorofórmio espectroscópico (*Chloroform (Amylene Stabilized)*, HPLC/Spectro, CS1332-001, UN 1888, 4L) e outra com triclorobenzene também espectroscópico (*1,2,4-Triclorobenzene* HPLC/Spectro, TS2141-001, 4L), ambos fornecidos pela empresa *Tedia*. Com a ajuda do pipetador, 250 μL foram depositados sobre cada lâmina e utilizando o *spinner* a 3000 RPM por 60 minutos o filme fino de PFTB com ambos solventes orgânicos foi formado.

Após a deposição, as lâminas tiveram o excesso de PFTB retirado das bordas do dispositivo com os solventes e "cotonete", permanecendo uma área um pouco maior, em comparação à formação do filme fino de PEDOT:PSS. Após a deposição do filme fino de PFTB, as lâminas foram colocadas no interior de um recipiente e foram submetidas ao mesmo fluxo de ar aquecido com aproximadamente 60 °C durante 5 minutos.

Figura 20 - Geometria após a corrosão parcial do filme fino com o polímero PFTB.



2.3.4 – Deposição das camadas ETLs

2.3.4.1 – Deposição da camada de AZO como ETL

Logo após a deposição do filme de PFTB, foi realizada a deposição da camada de AZO (óxido de zinco dopado com alumínio, adquirido da *Sigma-Aldrich*, referência 793388, 5 mL) atuando como camada ETL [28]. Para a deposição deste filme fino foi utilizado um pipetador com um volume em 150 μL . Após as deposições, o excesso do filme sobre a lâmina foi retirado das bordas, sendo removido com clorofórmio em ambos os casos e deixando o filme de AZO com uma área um pouco maior, em comparação à do filme de PFTB depositado na etapa anterior. Os parâmetros utilizados tanto no aparato *spinner*, quanto no assoprador de ar quente foram os mesmos como utilizados nas constituições das camadas de PEDOT:PSS e PFTB.

2.3.4.2 – Deposição da camada de ZnO:Mg como ETL

Logo após a deposição do filme de PFTB foi realizada a deposição da camada de ZnO:Mg (óxido de zinco dopado com magnésio, adquirido da UNESP de Araraquara).

Para a deposição deste filme foi utilizado o mesmo método e parâmetros de processos de formação das camadas de PEDOT:PSS, PFTB e AZO. Após a deposição do filme, o excesso foi retirado das bordas da lâmina, sendo removidas com clorofórmio e deixando o filme de ZnO:Mg com uma área um pouco maior, em comparação à área da camada de PFTB.

Figura 21 - Geometria após a corrosão parcial do filme fino com o material AZO.

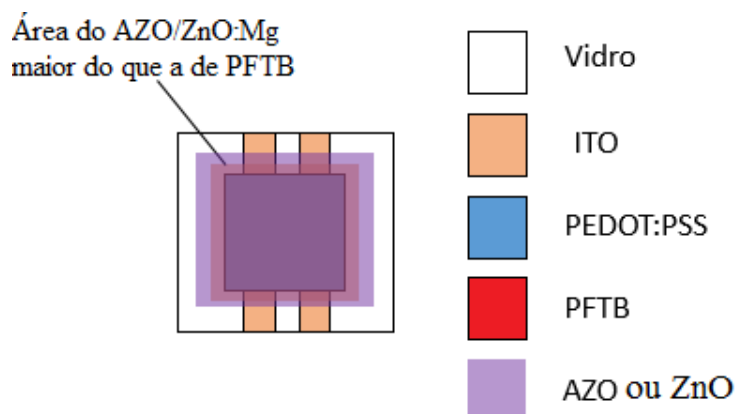


Figura 22 - Frascos de ZnO:Mg, PEDOT:PSS e AZO utilizados respectivamente



2.3.5 – Deposição de alumínio como catodo

Após as deposições dos filmes de AZO ou ZnO:Mg, as amostras foram colocadas em porta amostras contendo máscaras mecânicas para definição da geometria do catodo e todo o conjunto (lâminas e porta amostras) foi alocado no interior de um frasco hermético para posterior transporte até a Engenharia Elétrica da EPUSP, no Laboratório de Microeletrônica, no Grupo de Engenharia Molecular onde foi realizada a etapa de metalização.

Cada porta amostra foi posicionado no planetário (suporte para posicionamento dos portas-amostras com as lâminas) situado no interior da câmara de evaporação térmica.

Abaixo do planetário, existem dois eletrodos e conectando ambos, existe um fio de tungstênio, onde são pendurados pequenos filetes de alumínio. Após a realização de alto vácuo no interior da câmara, uma corrente elétrica de elevado valor foi percorrida pelo fio de tungstênio gerando calor excessivo e causando a evaporação dos filetes de alumínio, depositando assim, sobre as superfícies das lâminas [29].

2.4 – Polarização dos dispositivos - Primeira e Segunda Partes

Na polarização dos dispositivos foi utilizada uma fonte de energia da marca Keithley, modelo 2400 e o software *LabTracer'*, versão 2.0 estabelecendo os valores de: tensão inicial, tensão final, corrente máxima atingida, número de aquisições e tempo de aquisições.

2.5 – Análises dos Filmes de AZO e ZnO:Mg – Primeira e Terceira Partes

Para a análise isolada dos três materiais, ou seja, PEDOT:PSS, ZnO:Mg e AZO, estes filmes finos foram depositados da mesma maneira como realizada nas primeira e segunda etapas de montagem dos dispositivos OLEDs, utilizando *spin-coating* para a deposição do material.

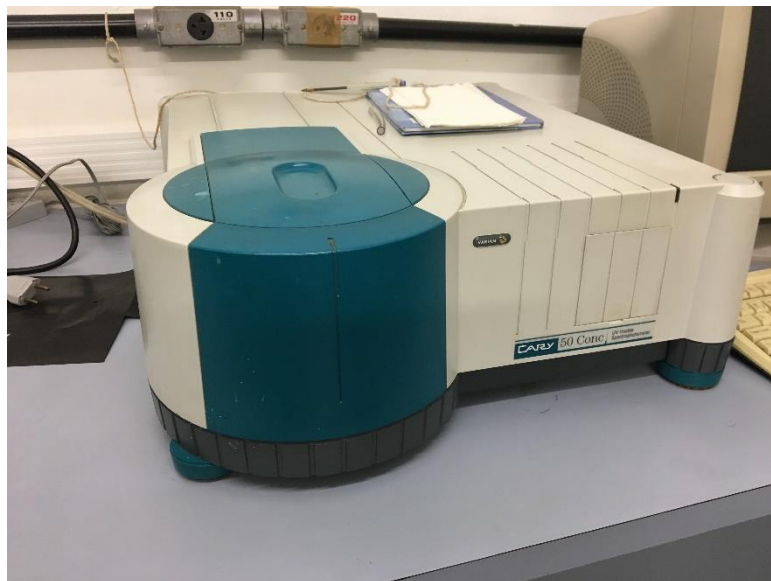
Porém, desta vez, foi utilizado um *hot plate* (chapa quente) ao invés do aparato feito em laboratório (assoprador com ar quente e recipiente plástico) para a evaporação dos solventes de cada material. Para as lâminas da primeira *parte* com filmes finos de AZO e ZnO:Mg, foram utilizados o *spinner* com rotação de 3000 RPM por 60 segundos e com 150 µL de volume para cada material sobre cada lâmina.

Já para as lâminas desta terceira *parte*, onde foram utilizados filmes finos de PEDOT:PSS e ZnO:Mg foram utilizados 3000 RPM por 60 segundos, porém com 100 µL para cada material e para cada lâmina.

2.5.1 – Espectroscopia de UV-Visível

Para verificar os valores de transmitâncias dos filmes finos de AZO e ZnO:Mg da primeira *parte*, foram utilizadas duas lâminas para cada material analisadas pela espectroscopia de UV-visível. Nesta técnica, utilizou-se o equipamento fabricado pela empresa *Varian*, modelo *Cary 50 Conc.* O equipamento foi ajustado para considerar apenas as transmitâncias dos filmes, desconsiderando as análises de transmitâncias dos vidros utilizados como substrato. Os valores de transmitância *vs.* comprimento de onda foram obtidos na faixa de 0 a 100% e na extensão de 200 a 800 nm. Para as amostras da terceira *parte*, com os filmes finos de ZnO:Mg e PEDOT:PSS, foram utilizadas quatro (04) 4 amostras, cada uma com sua respectiva estrutura, e submetidas a espectroscopia de UV-visível.

Figura 23 – Espectrofotômetro para análises de transmitâncias dos filmes de AZO, ZnO:Mg e PEDOT:PSS.



2.5.2 – Efeito Hall

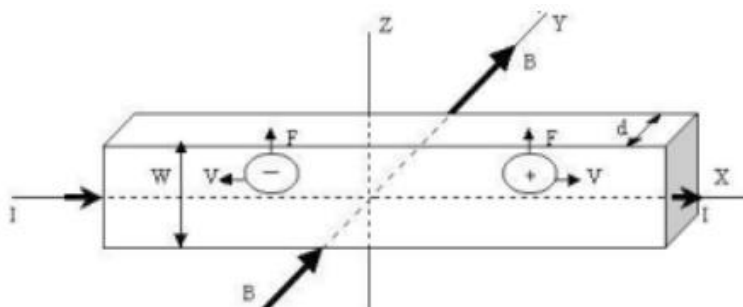
Para avaliar as características elétricas de cada filme depositado nas lâminas de vidro referente aos filmes finos de AZO e ZnO:Mg da primeira parte, a técnica de efeito *Hall* foi utilizada, para obtenção das grandezas, como: resistência de folha, concentração de portadores de carga, resistividade elétrica e mobilidade de portadores de carga.

Este equipamento é fabricado pela empresa *Swin*, Modelo Hall 8800, contendo uma porta amostra com configuração de circuito elétrico do tipo *Van der Pauw*. Cada contato elétrico foi posicionado no vértice de cada amostra. Sobre cada par de contato elétrico aplica-se uma determinada corrente elétrica (sugestionada pelo usuário), sendo que nos outros dois contatos posteriores são analisados a tensão elétrica. Este método é seguido circundando por toda a amostra. Para a terceira parte as quatro (04) amostras de ZnO:Mg e PEDOT:PSS foram submetidas ao efeito *Hall* nas mesmas condições.

O efeito Hall foi descoberto em 1879 por Edwin H. Hall. Edwin descobriu que era possível desviar lateralmente os elétrons de condução em movimento em um fio de cobre por meio de um campo magnético.

Na figura 24, onde mostramos o princípio de funcionamento do Efeito Hall, é possível perceber que esse desvio da corrente elétrica I é causado por uma força F , quando um fio de cobre é imerso num campo magnético B .

Figura 24 - A corrente em um fio de cobre sofre o devido uma força quando submetido a um campo magnético



Considera-se uma força defletora magnética que agirá sobre cada elétron em movimento, empurrando-o para cima da tira.

Com o passar do tempo elétrons continuarão a se moverem para cima, acumulando-os sobre uma borda superior da tira, deixando a borda inferior com um excesso de carga positiva.

Consequentemente, um campo elétrico, denominado campo elétrico *Hall*, se desenvolverá dentro da tira no sentido contrário, tendendo a empurrar cada elétron para a parte inferior. [30].

Para as análises, mostras com geometria quadrada de tamanho 2,0 x 2,0 cm para as análises da primeira parte e de 1,0 x 1,0 cm para as análises da terceira *parte* foram colocadas no porta amostra que possui quatro contatos elétricos.

Sabendo-se previamente a quantidade de material a ser depositado sobre cada lâmina, a rotação e tempo desejados no aparato de *spin-coating*, parâmetros aos quais as lâminas foram submetidas, estimou-se em 500 μm de espessura nos filmes, que é um dos parâmetros necessários para ser utilizado no *software* do próprio equipamento de efeito *Hall*. Além dele, a corrente elétrica foi estabelecida em 100 mA e o campo magnético é fixado pelos ímãs permanentes em 6300 Gauss.

Figura 25 - Equipamento de efeito Hall, com porta amostra com circuito Van der Pauw.



3 - RESULTADOS

3.1 – Primeira parte – caracterizações elétricas e ópticas nas lâminas com filmes de AZO e ZnO:Mg

3.1.1 – Efeito Hall

Nesta técnica foram utilizadas duas (02) lâminas de vidro para cada filme fino de AZO (lâminas nomeadas como 3 e 4) e duas (02) lâminas de vidro para o material ZnO:Mg (lâminas nomeadas como 7 e 8) para obtenção de grandezas como: resistência de folha, concentração de portadores, resistividade e mobilidade de portadores, que são grandezas obtidas simultaneamente durante as análises pela técnica de efeito *Hall*. Para cada lâmina foi realizada uma medição de efeito *Hall*. Comparando ambos filmes, verifica-se maior dispersão nos resultados de concentração e mobilidade de portadores para os filmes de ZnO:Mg. A hipótese para explicação deste resultado, pode estar relacionada com a uniformidade do filme de ZnO:Mg ser muito diferente do filme de AZO. A Tabela 1 mostra os resultados de efeito *Hall* para ambos os filmes.

Tabela 1: Efeito Hall (resistência de folha, resistividade, concentração de portadores e mobilidade de portadores) para os filmes de AZO e ZnO:Mg.

Material	Lâmina	Resistência de folha ($10^6\Omega/\square$)	Resistividade ($10^2\Omega/\square$)	Concentração de portadores ($10^{20}/\text{cm}^3$)	Mobilidade de portadores ($10^{-3}.\text{cm}^2/\text{V.s}$)
AZO	3	1,11	5,55	0,39	2,81
	4	1,09	5,49	0,24	4,63
ZnO:Mg	7	1,09	5,45	1,23	0,92
	8	1,01	5,05	0,63	1,94

Para saber se os filmes finos preservam suas características elétricas ao longo do tempo de exposição ao ambiente (avaliação de possível degradação, enquanto as lâminas foram guarnecidas em placas de petri), foi realizada mais uma medição pela técnica de efeito *Hall* nas mesmas amostras após 14 dias.

Os resultados revelaram maior dispersão nos valores de concentração e mobilidade de portadores, indicando possíveis degradações pela ação do ambiente em ambos filmes finos. Dessa forma é sugestionável a utilização destes filmes nas estruturas dos OLEDs durante o processo de montagem dos dispositivos, sem haver interrupções durante o tempo, pois assim, diminuem possíveis influências externas que podem comprometer o comportamento elétrico dos filmes.

Tabela II: Efeito Hall (resistência de folha, resistividade, concentração de portadores e mobilidade de portadores) para os filmes de AZO e ZnO:Mg medidos nas mesmas amostras 14 dias após a deposição.

Material	Lâmina	Resistência de folha ($10^6 \Omega/\square$)	Resistividade ($10^2 \Omega/\square$)	Concentração de portadores ($10^{20}/\text{cm}^3$)	Mobilidade de portadores ($10^{-3} \cdot \text{cm}^2/\text{V.s}$)
AZO	3	1,33	5,31	0,72	0,65
	4	1,36	5,46	0,37	1,23
ZnO:Mg	7	1,30	5,42	0,12	0,77
	8	1,42	4,98	0,29	1,52

A hipótese para a explicação destes resultados apresentados na Tabela 2, é que os filmes de AZO e ZnO:Mg possuem portadores intrínsecos (elétrons, por serem semicondutores do tipo N), justificando assim, a utilização nas estruturas de dispositivos OLEDs. Uma vez que ambos materiais podem ser utilizados como injetores de elétrons, pode-se perceber também que ambos são muito resistivos e, consequentemente, possuem mobilidade de portadores muito baixa, ou seja, diferentemente dos filmes de ITO ou PEDOT:PSS [31].

Outro fato que possa ter ocorrido devido a diferença encontrada nos valores pela técnica de efeito *Hall*, é em relação a algum tipo de oxidação do ambiente atmosférico, o que fez aumentar também todos os valores de resistência de folha.

Pode-se concluir que o tempo em que as amostras foram expostas ao ar ambiente influenciou muito nas propriedades elétricas dos filmes, mostrando que os mesmos devem ser produzidos no momento de montagem dos dispositivos, diminuindo assim, as influências externas que causam mudanças nos comportamentos elétricos dos filmes.

3.1.2 – Espectroscopia de UV-Vis. – Análises logo após a deposição

Em relação às características óticas das quatro (04) lâminas com os filmes finos de AZO e ZnO:Mg, percebe-se características semelhantes: Verificando os gráficos, conclui-se que as duas qualidades de filmes representadas nas quatro (04) amostras possuem quase 100% de transmitância na faixa do espectro visível (750 a 400 nm) e também possui quase totalidade de transmitância na faixa do infravermelho. Em contrapartida, se tem uma transmitância baixíssima na faixa do UV (comprimentos de onda menores que 300 nm), porém, isso ocorre devido a uma interferência com o vidro (substrato).

Figura 26 – Transmitâncias vs. comprimento de onda das amostras de AZO (primeiro teste).

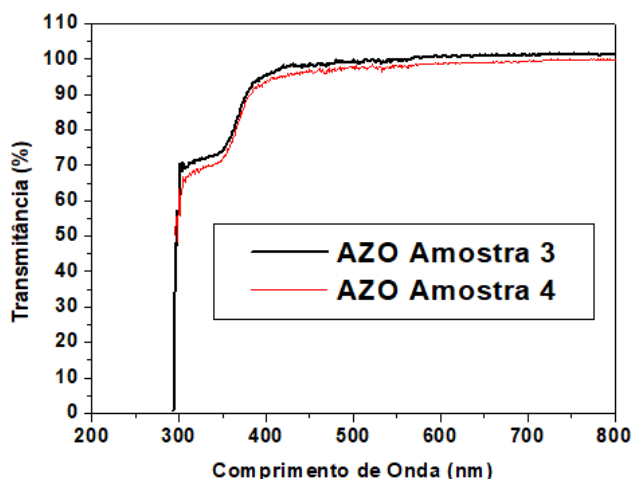
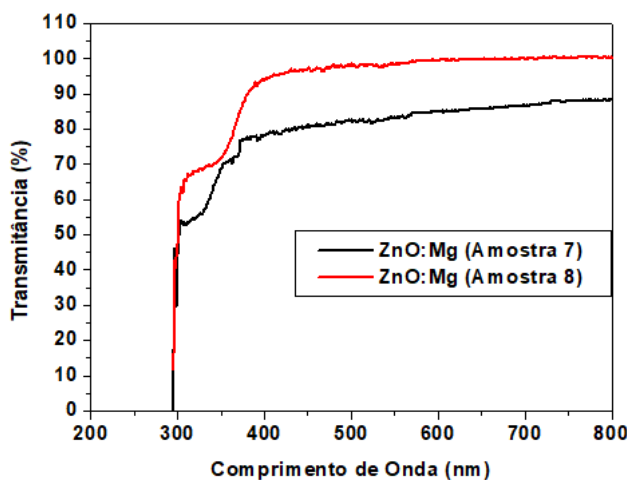


Figura 27 – Transmitâncias vs. comprimento de onda das amostras de ZnO:Mg (primeiro teste).



Verifica-se também pelos resultados apresentados no gráfico da Figura 27 que os filmes de ZnO:Mg também apresentaram grande variabilidade, muito diferente como

apresentadas na Figura 26, com os filmes finos de AZO. As análises de UV- Vis em todas as medidas deste trabalho foram feitas desconsiderando os valores do substrato (Vidro).

3.1.3 – Espectroscopia de UV-Vis. – Análises 14 dias após a deposição

Em relação as características óticas das quatro lâminas, se percebe que a mesma é muito semelhante:

Figura 28 – Transmitâncias vs. comprimento de onda das amostras de AZO (segundo teste).

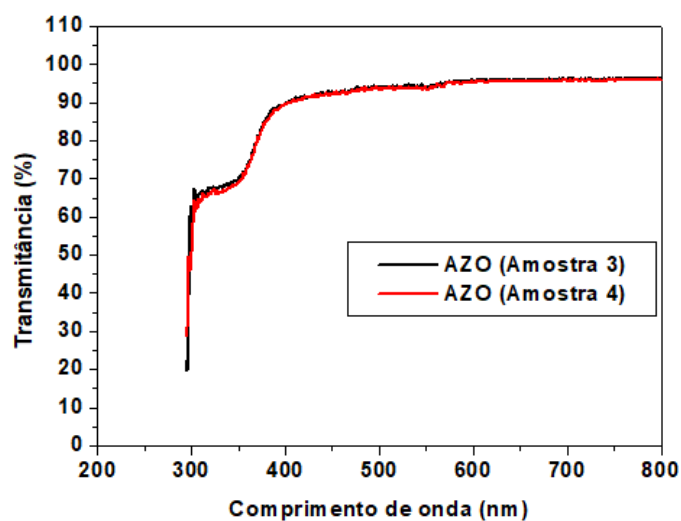
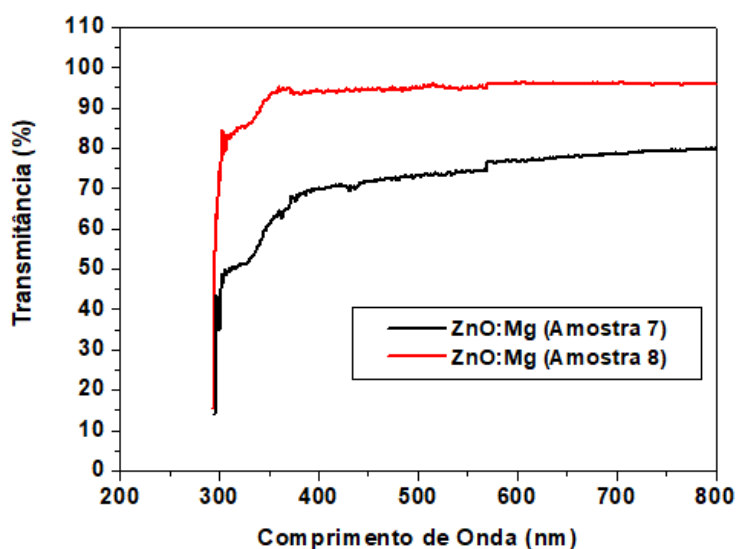


Figura 29 – Transmitância vs. comprimento de onda das amostras de ZnO:Mg (segundo teste).



Com o tempo de exposição ao ambiente, as amostras não mostraram muita diferença em suas características ópticas ao contrário das elétricas. Pode-se observar que os valores ainda estão próximos de 100% nos valores transmitância no espectro visível e também no infravermelho e com uma baixa transmitância na faixa do UV, devido a interferência do substrato.

3.1.4 – Dispositivos com camada ETL utilizando ZnO:Mg e AZO

3.1.4.1 – Camada de AZO atuando como ETL nas estruturas de dispositivos OLEDs

Analisando os resultados obtidos com as lâminas E e K com camada de AZO atuando como ETL nas estruturas de dispositivos OLEDs, observa-se pelas curvas de corrente-tensão, que os dispositivos atingiram valores de correntes muito baixos, tendo sido a maior delas apenas 6 mA. Por outro lado, as tensões de limiar (obtidas pela reta tangente às curvas) dos dispositivos estão na faixa de $\approx 4,5$ a $5,5$ V e foi possível visualizar também que os dispositivos OLEDs, número 2 da lâmina E e número 4 da lâmina K apresentando brilho elevado. As curvas e os OLEDs em funcionamento estão apresentados nas Figuras 30 e 31. Na Figura 32 são apresentados os dispositivos OLEDs, número 2 para a lâmina E e número 4 para a lâmina K, respectivamente.

Figura 30 - Curvas de corrente vs. tensão para a lâmina E dos OLEDs 1, 2 e 3 (ambas com camada de AZO atuando como ETL).

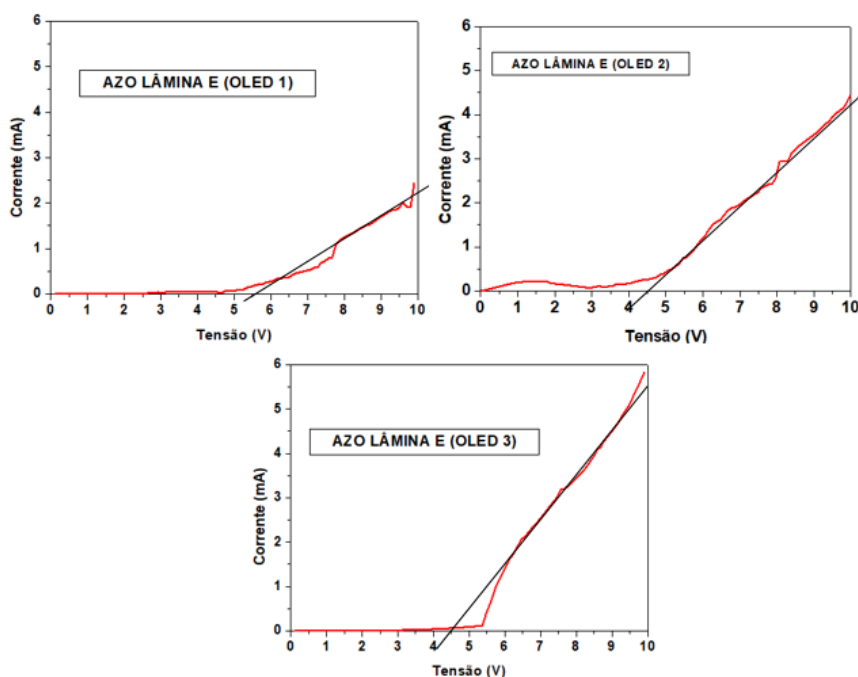


Figura 31 - Curvas de corrente vs. tensão para a lâmina K dos OLEDs 3 e 4 (ambas com camada de AZO atuando como ETL).

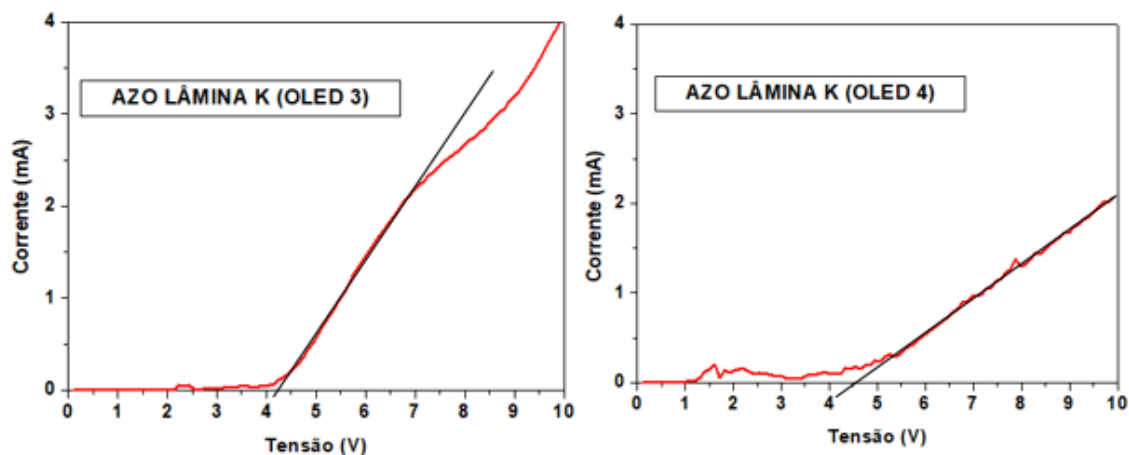
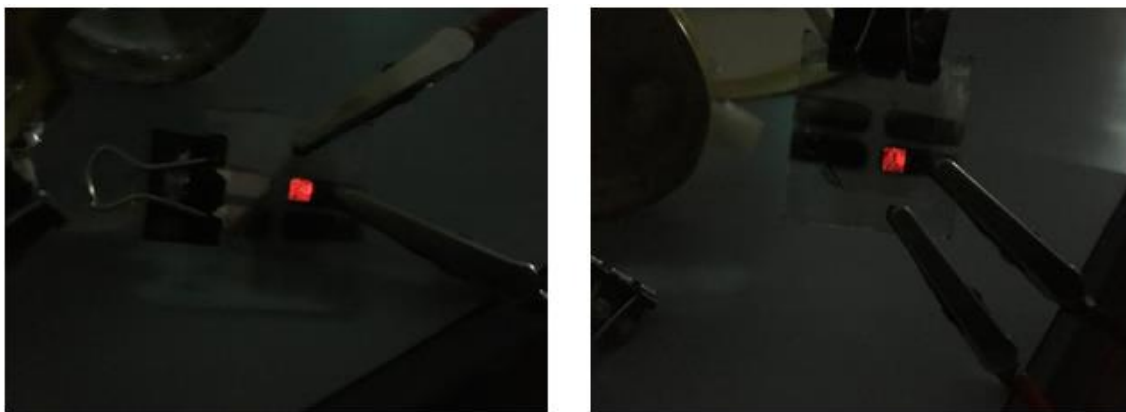


Figura 32 – Polarização: OLED 2 da lâmina E e OLED 4 da lâmina K (com camada de AZO atuando como ETL), respectivamente.



Os demais dispositivos não apresentaram curvas coerentes e nem emissão de luz, por esse motivo foram descartadas para apresentação dos resultados.

3.1.4.2 – Camada de ZnO:Mg atuando como ETL nas estruturas de dispositivos OLEDs

Analisando os resultados obtidos com as lâminas A e O com camada de ZnO:Mg atuando como ETL, foram observados resultados em dispositivos OLEDs com desempenhos ruins (comparado com camada de AZO atuando como ETL).

O solvente ácido oleico utilizado na solução do ZnO:Mg acabou corroendo a camada emissora de luz PFTB, removendo-a quase que totalmente (fato observado durante a deposição do ZnO:Mg sobre a camada de PFTB no processo de *spin-coating*), impedindo que o dispositivo emitisse luz. Os valores de corrente e tensão de limiar foram similares aos dos dispositivos com camada de AZO atuando como ETL e o OLED 3 obteve corrente máxima maior que estes dispositivos atingindo 3,5 V e 10 mA respectivamente e o OLED 1 obteve 5 V e 4 mA, porém, sem emissão alguma de luz. Esse fato inviabiliza a utilização do ZnO:Mg para ser utilizado usado como camada ETL. As Figuras 33 e 34 mostram as curvas dos dispositivos e os OLEDs 1 da lâmina A e o 3 da lâmina O sendo polarizados sem emissão de luz significativa.

Figura 33 - Curvas de corrente vs. tensão para a lâmina A do OLED 1 lâmina O do OLED 3 (ambas com camada de ZnO:Mg atuando como ETL).

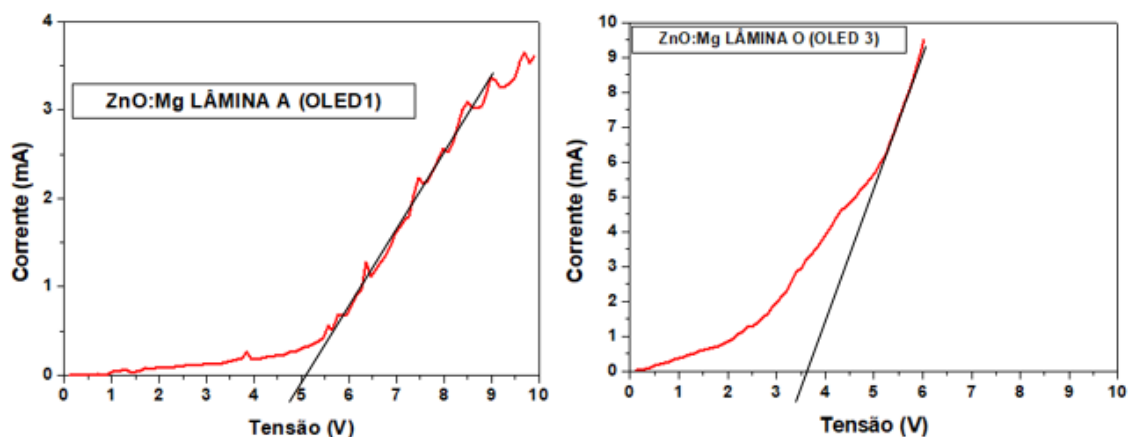
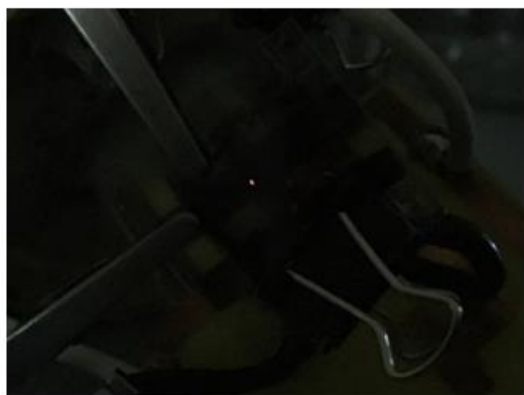


Figura 34 – Polarização: OLED 1 da lâmina A e OLED 3 da lâmina O (com camada de AZO atuando como ETL), respectivamente.



3.2 – Segunda parte – Estudo do solvente na camada emissora de luz PFTB

3.2.1 – Utilização de solvente orgânico clorofórmio para a diluição do polímero emissor PFTB

Analisando as curvas de corrente e tensão da lâmina 1 com camada PFTB diluída com solvente orgânico clorofórmio para os OLEDs 1 e 2, respectivamente, é possível observar que os dispositivos atingiram valores de correntes em ≈ 25 mA, para o OLED 1 e 50 mA para o OLED 2, com $\approx 7,2$ V e ≈ 4.5 V de tensão de limiar (obtidas pelas retas tangentes às curvas), respectivamente.

Ambos dispositivos OLEDs apresentaram emissão de luz na cor vermelha e com intensidade mais baixa que os dispositivos montados anteriormente na primeira parte (averiguados por constatação). Os OLEDs 3 e 4 desta lâmina não apresentaram resultados satisfatórios e por este motivo foram descartados dos resultados apresentados.

Figura 35 – Curvas de corrente vs. tensão para os OLEDs 1 e 2, respectivamente da lâmina 1 (com camada emissora de luz PFTB diluída em clorofórmio).

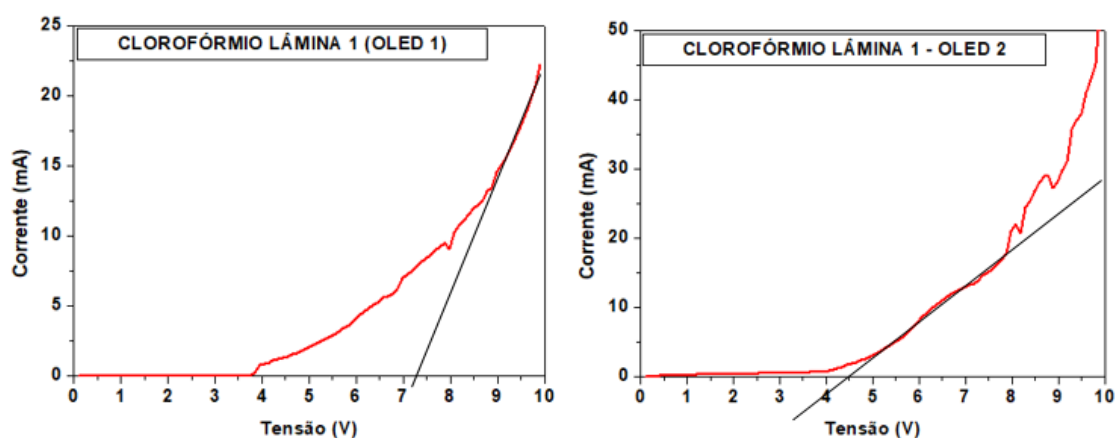
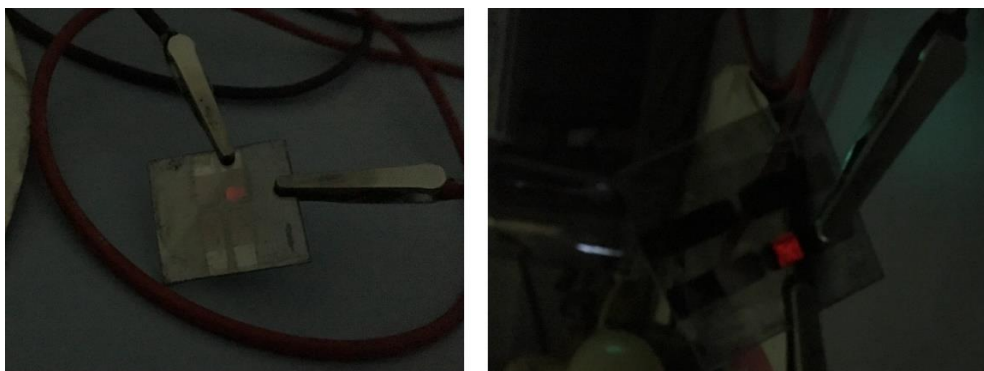


Figura 36 – Polarização: OLEDs 1 e 2, respectivamente da lâmina 1 (com camada emissora de luz PFTB diluída em clorofórmio).



Ainda, analisando o clorofórmio como solvente orgânico do polímero emissor PFTB na lâmina 3 da Figura 37, pode-se observar pela curva de corrente vs. tensão, que o dispositivo OLED conseguiu atingir corrente de ≈ 20 mA e tensão de limiar de $\approx 5,2$ V (obtido através da reta tangente a curva). Infelizmente somente este OLED apresentou valores coerentes de corrente e tensão, muito provavelmente pelo fato de o dispositivo não estar sendo polarizado em ambiente inerte (ou encapsulado) e degradando rapidamente na medida em que os valores de tensão e corrente aumentam.

Figura 37 – Curvas de corrente vs. tensão para os OLED 1 da lâmina 3 (com camada emissora de luz PFTB diluída em clorofórmio).

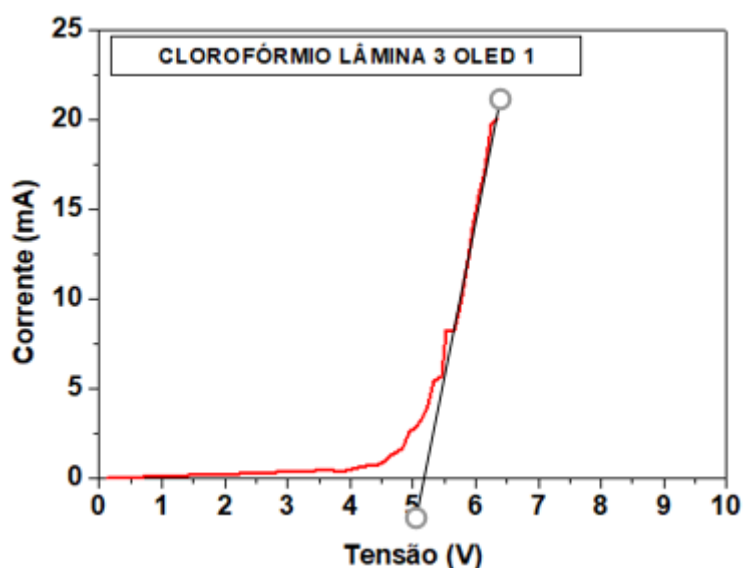
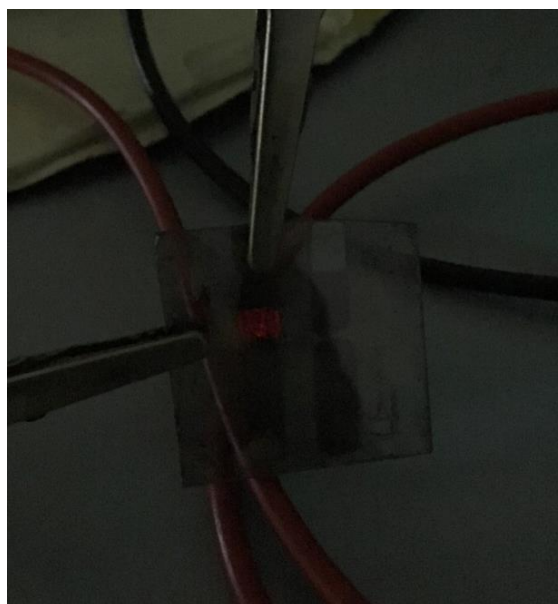


Figura 38 – Polarização: OLED 1 da lâmina 3 (com camada emissora de luz PFTB diluída em clorofórmio).



3.2.2 – Utilização de solvente orgânico triclorobenzeno para a diluição do polímero emissor PFTB

Analisando com base nas curvas de corrente vs. tensão da lâmina 2 com a camada PFTB diluída em solvente orgânico como o triclorobenzeno, verifica-se na Figura 39 as polarizações nos OLEDs 1, 2 e 4 respectivamente. É possível observar que os dispositivos apresentam um comportamento muito diferente, quando comparado aos dispositivos OLEDs com PFTB diluído em clorofórmio. Neste caso, estes dispositivos atingiram valores de corrente de ≈ 30 mA nos OLEDs 1 e 4 e 50 mA no OLED 2.

Porém, estes dispositivos atingiram menores tensões de limiar com valores entre ≈ 2 V e $\approx 3,5$ V (obtidas pelas retas tangentes às curvas). Os três (03) dispositivos OLEDs apresentaram emissão de luz na cor vermelha com intensidade notória (assim como ocorreram com os dispositivos OLEDs com PFTB diluído em clorofórmio). O OLED de número 3 não apresentou bons resultados e foi descartado dos resultados apresentados.

Figura 39 – Curvas de corrente vs. tensão para os OLEDs 1, 2 e 4 da lâmina 2 (com camada emissora de luz PFTB diluída em triclorobenzeno).

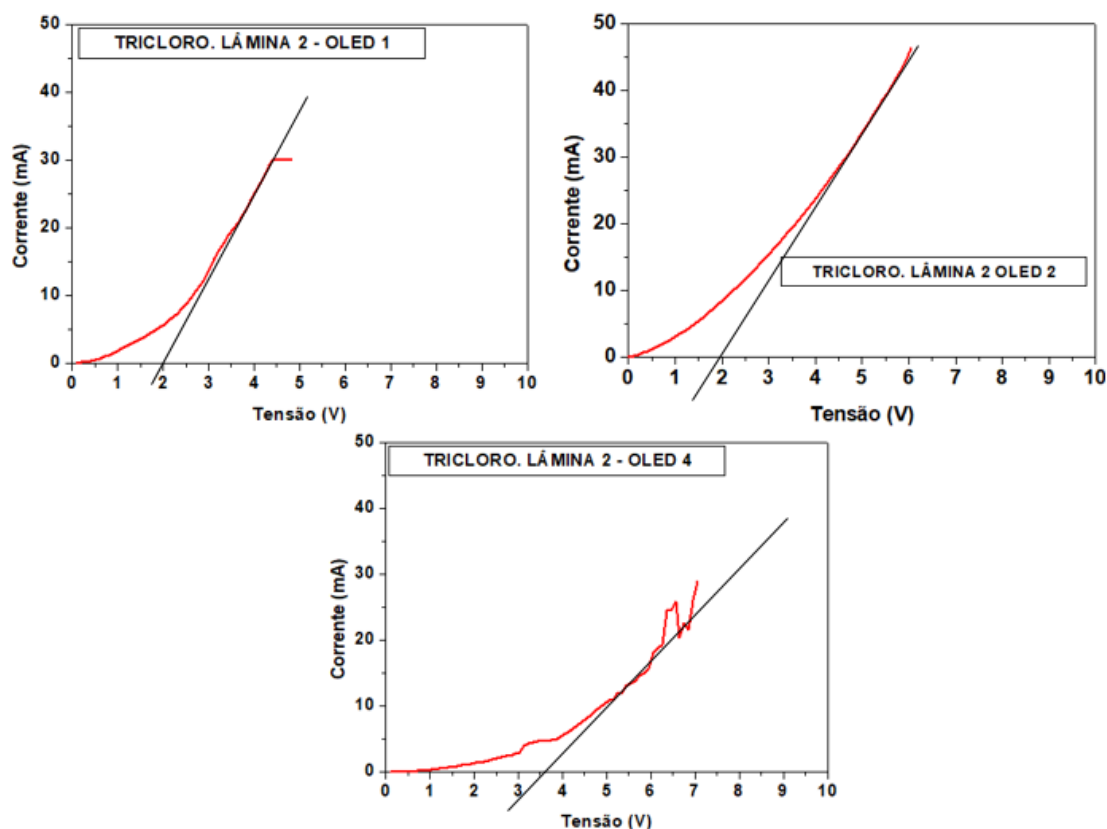
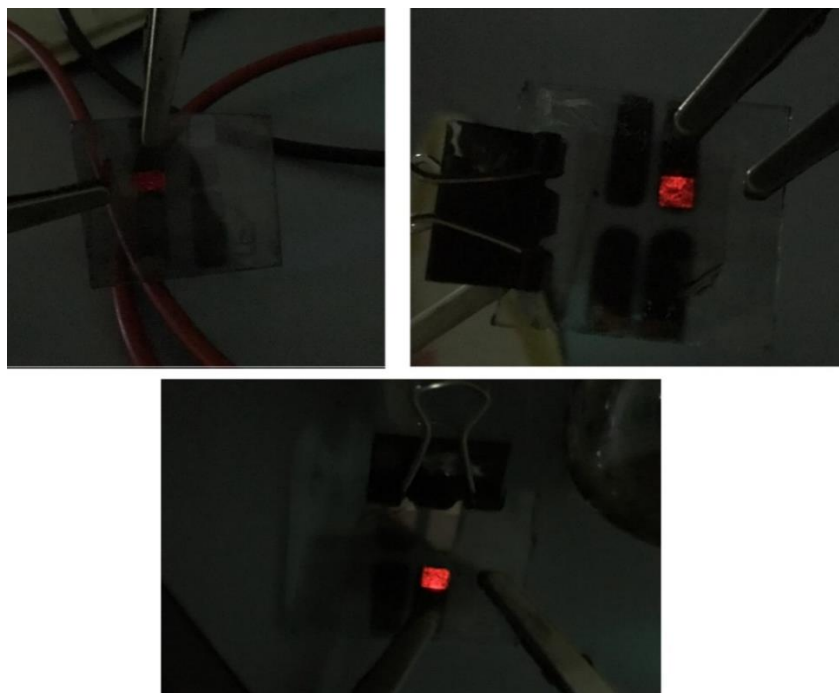


Figura 40 – Polarização: OLEDs 1, 2 e 4, respectivamente da lâmina 2 (com camada emissora de luz PFTB diluída em clorofórmio).



Ainda, analisando o triclorobenzeno como solvente orgânico do polímero emissor PFTB na lâmina 4, pode-se observar pelas curvas dos gráficos dos OLEDs 1 e 3, que estes conseguiram alcançar valores de corrente de ≈ 50 mA e ≈ 40 mA respectivamente, e com tensão de limiar entre $\approx 2,5$ e $\approx 4,5$ V (obtido através da reta tangente às curvas). Os OLEDs 2 e 4 desta lâmina não apresentaram resultados satisfatório e por isso foram descartados dos resultados apresentados.

Figura 41 – Curvas de corrente vs. tensão para os OLEDs 1 e 3 da lâmina 4 (com camada emissora de luz PFTB diluída em triclorobenzeno).

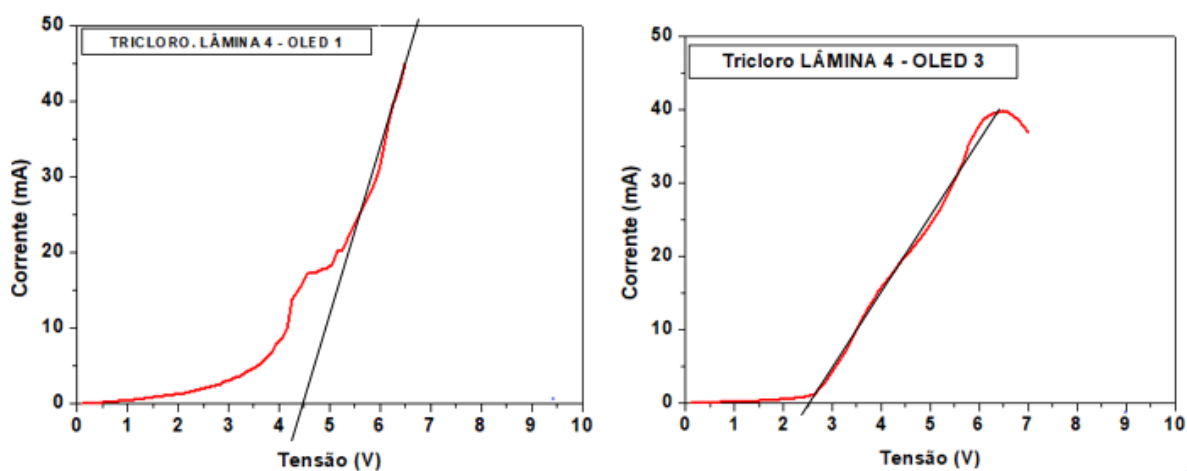
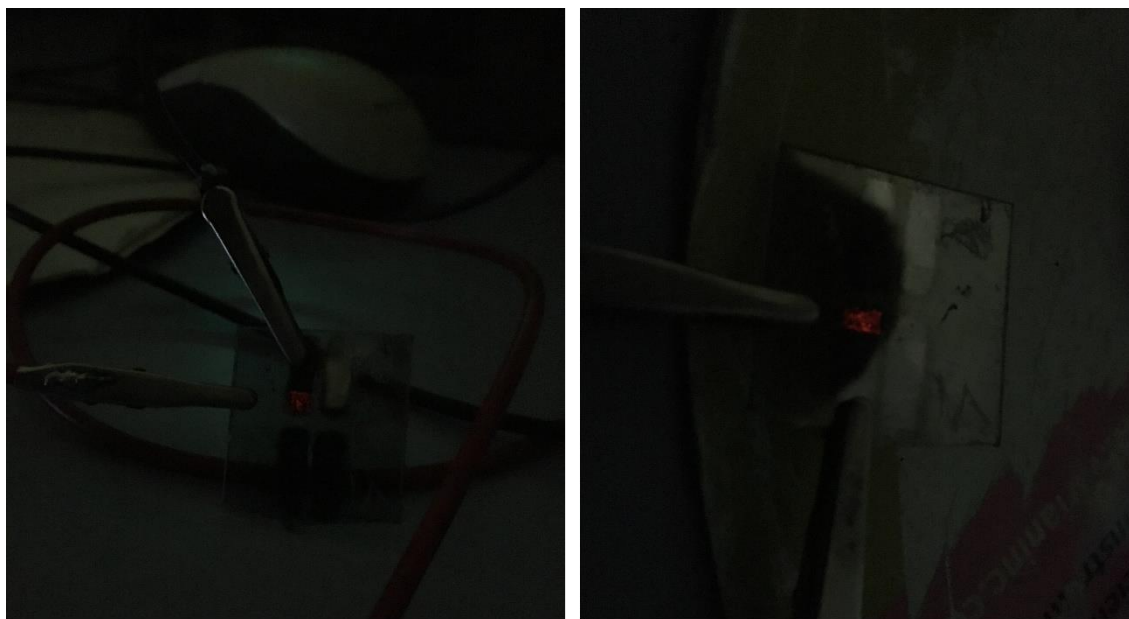


Figura 42 – Polarização: OLEDs 1 e 3, respectivamente da lâmina 4 (com camada emissora de luz PFTB diluída em triclorobenzeno).



3.3 – Terceira parte – materiais para análise como camada HTL com ZnO:Mg e PEDOT:PSS

3.3.1 – Análise de Efeito Hall

Nesta terceira parte foram utilizadas uma lâmina de vidro/ITO para cada composição de filmes depositados analisados (com estruturas nomeadas de 1 a 4).

Assim como na primeira parte, também foi utilizado a técnica de efeito *Hall* para obtenção de grandezas como: resistência de folha, concentração de portadores, resistividade e mobilidade de portadores, sendo realizadas duas medições. Comparando os filmes finos analisados de PEDOT:PSS e ZnO:Mg, é perceptível a diferença nos valores encontrados de resistências de folha das amostras utilizando ambos materiais. O filme fino de ZnO:Mg demonstra valores de resistência e resistividade elétrica mais elevadas comparadas com o filme fino de PEDOT:PSS, acarretando também na redução da concentração de portadores de carga. A hipótese deste resultado, pode ser devido à fina espessura da camada de ZnO:Mg. Como o solvente deste material que utiliza ácido oléico, é mais volátil, que o solvente utilizado no material PEDOT:PSS (água) e devido também viscosidade ser mais baixa, Quando depositado pelo processo de deposição de *spin-coating* este material não foi capaz de produzir um filme mais espesso, aumentando

assim, sua resistência elétrica. A Tabela 3 mostra quatro (04) tipos de estruturas com diferentes composição dos filmes:

- (1) vidro ITO/PEDOT:PSS, (2) vidro ITO/PEDOT:PSS/ZnO:Mg,
(3) vidro ITO/ZnO:Mg; (4) vidro ITO/ZnO:Mg/PEDOT:PSS.

Tabela 3: Efeito *Hall* (resistência de folha, resistividade, concentração de portadores e mobilidade de portadores) para cada estrutura.

Estruturas	Composição	Resistência de folha (Ω/\square)	Resistividade ($\Omega.cm$)	Concentração de portadores ($1/cm^3$)	Mobilidade de portadores ($cm^2/V.s$)
1	(a) ITO/PEDOT:PSS	14,09	0,014	$2,19.10^{20}$	16,45
2	(b) ITO/PEDOT:PSS/ZnO:Mg	12,1	0,012	$2,66.10^{20}$	19,42
3	(c) ITO/ZnO:Mg	157,93	0,16	$8,32.10^{18}$	13,92
4	(d) ITO/ZnO:Mg/PEDOT:PSS	257,82	0,25	$9,09.10^{18}$	26,74

3.3.2 – Análise de Espectroscopia de UV-Vis.

Utilizando a técnica de espectroscopia de UV-Visível, foi verificada os valores de transmitâncias vs. comprimento de onda das quatro (04) estruturas. No equipamento, primeiramente, foi colocada uma lâmina limpa de vidro, ou seja, sem quaisquer filmes finos depositados, para obter apenas os valores de transmitâncias dos dois materiais utilizados (ZnO:Mg e PEDOT:PSS). Nestas análises, os valores de transmitâncias vs. comprimento de onda dos vidros foram utilizados como referência, portanto, descontados dos valores obtidos de ambos materiais. Foi realizada uma (01) análise em cada lâmina.

Visualizando o gráfico da Figura 43 para valores de transmitância vs. comprimento de onda obtidos para os filmes de vidro/ITO/PEDOT:PSS e vidro/ITO/PEDOT:PSS/ZnO:Mg, respectivamente, verifica-se que a estrutura vidro/ITO/PEDOT:PSS apresenta valores de transmitância maiores que a estrutura vidro/ITO/PEDOT:PSS/ZnO:Mg, embora visualizando a olho nu, percebe-se que a solução do ZnO:Mg como recebido da Unesp-Araraquara apresenta aspecto totalmente transparente. Portanto, uma hipótese para diminuição dos valores de transmitâncias é que a solução de ZnO:Mg depositada sobre a estrutura vidro/PEDOT:PSS pode estar causando alguma influência de origem ainda desconhecida, pela ação do solvente ácido oleico diretamente sobre o filme fino de PEDOT:PSS, ou seja, interferindo nos valores

de transmitância da estrutura com ambos materiais. Essa característica pode ser melhor demonstrada na Figura 44, onde observa-se valores muito próximos dos valores de transmitâncias em ambas estruturas de vidro/ITO/ZnO:Mg e vidro/ITO/ZnO:Mg/PEDOT:PSS. Ou seja, os valores de transmitâncias diminuem, quando se deposita a camada fina de ZnO:Mg sobre o filme fino de PEDOT:PSS, mas quando ocorre o processo inverso, os valores praticamente não alteram. Esse fato demonstra de forma clara, que a água utilizada no solvente do filme fino de PEDOT:PSS pouco influência a camada anteriormente depositada com o material ZnO:Mg.

Figura 43 – Transmitância vs. comprimento de onda para os filmes finos de: vidro/PEDOT:PSS e vidro/PEDOT:PSS/ZnO:Mg, respectivamente.

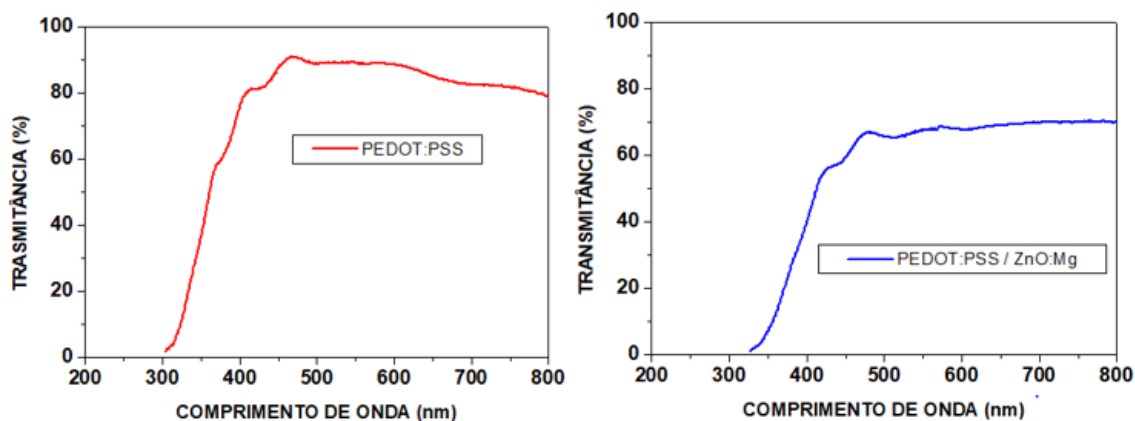
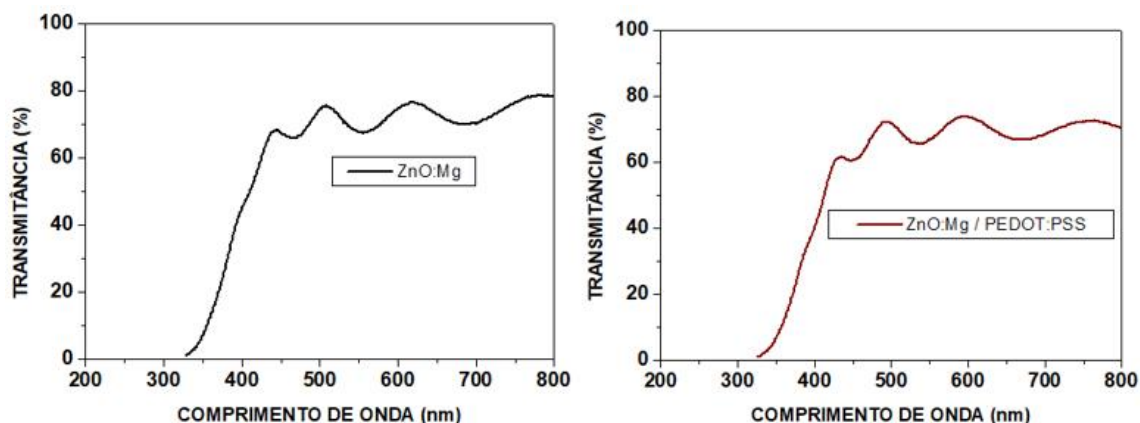


Figura 44 – Transmitância vs. comprimento de onda para os filmes finos de: vidro/ZnO:Mg e vidro/ZnO:Mg / PEDOT:PSS, respectivamente.



4 - CONCLUSÃO

4.1 – Primeira parte – Caracterizações elétricas e ópticas nas lâminas com filmes de AZO e ZnO:Mg

Pelas caracterizações elétrica e óptica dos filmes de AZO e ZnO:Mg nas lâminas de vidro, conclui-se que os dois materiais poderiam ser utilizados como camadas ETL, devido possuírem características elétricas semelhantes, porém na montagem de dispositivos OLEDs, verifica-se que o filme fino de ZnO:Mg provoca o ataque químico do polímero emissor de luz PFTB que é depositado anteriormente, impossibilitando o funcionamento de forma completa dos OLEDs, pois, nenhum dos dispositivos polarizados apresentou a emissão de luz. Devido a este motivo, conclui-se que o novo material proposto ZnO:Mg diluído em solvente como o ácido oleico não pode ser utilizado como camada ETL, quando utilizado o PFTB, como material luminescente. Uma proposta para trabalhos futuros, seria trocar o solvente deste material por algum outros menos agressivo e tentar novamente montar esta mesma estrutura de dispositivos OLEDs.

4.2 – Segunda parte – Estudo do solvente na camada emissora de luz PFTB

No estudo envolvendo o material emissor de luz PFTB em diferentes solventes orgânicos como o clorofórmio e o triclorobenzeno, pode-se afirmar que o triclorobenzeno propiciou maior quantidade de polarizações nos dispositivos OLEDs, além disso a corrente elétrica foi mais elevada e menor tensão de limiar foi atingida, porém, visualizando, os dois solventes propiciaram alguma luminância nos dispositivos OLEDs. Uma hipótese para a obtenção destes resultados, é que o ponto de ebulição do solvente triclorobenzeno ($\approx 214,4\text{ }^{\circ}\text{C}$), seja bem maior que o do clorofórmio ($\approx 61,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) e isso provoca maior e melhor rearranjo das camadas poliméricas, facilitando maior locomoção dos portadores de carga. Devido à grande degradação vista nos OLEDs durante as polarizações, uma sugestão em trabalhos futuros é utilizar a técnica de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), assim adquirindo a evolução da degradação ao longo do tempo dos filmes de PFTB (ou qualquer outro filme que compõe o OLED).

4.3 – Terceira parte – Estudo do solvente na camada emissora de luz PFTB

Analisando as caracterizações elétricas e óticas percebe-se que novamente o ZnO:Mg não foi uma boa opção como material para dispositivos OLED, visto que nas análises de efeito *Hall*, para as lâminas com filmes finos de ZnO:Mg depositado sobre as camadas de ITO mostraram resistências de folha e resistividades superiores aos filmes de PEDOT:PSS, influenciando também na concentração de portadores, que foi de duas ordens de grandeza menores, em comparação as amostras com de PEDOT:PSS.

Nas análises de UV-Vis. de ambos filmes, verificou-se uma diminuição nos valores de transmitâncias quando deposita-se a camada fina de ZnO:Mg sobre o filme fino de PEDOT:PSS, mas quando ocorre o processo inverso, os valores praticamente não alteraram.

Valores médios de transmitância acima de 70% são considerados bons resultados para a montagem de dispositivos OLEDs, assim como foram observados nos experimentos.

REFERÊNCIAS

1. NARUPAI, Zachariah ; PESTER, Christian ; ZERDAN, Raghida ; SOKOLOV, Anatoliy ; LAITAR, David ; MUKHOPADHYAY, Sukrit ; SPRAGUE, Scott ; MCGRATH, Alaina ; KRAMER, John ; TREFONAS, Peter ; HAWKER, Craig. **Novel Strategy for Photopatterning Emissive Polymer Brushes for Organic Light Emitting Diode Applications**. ACS Central Science; volume 3; páginas 654–66; 2017.
2. SANTOS, Emerson Roberto; ONO, Eric Tsuneki Yoshiura ; YOSHIDA, Satoru ; GONÇALVES, Renan; OIDE, Mariane Yuka Tsubaki; TAKIMOTO, Herick Garcia; JUNIOR, Elvo Calixto Burini; ONMORI, Roberto Koji; HUI, Wang Shu. **AZO em arquiteturas de OLEDs utilizando copolímero PFTB como emissor**. 14º Congresso Brasileiro de Polímeros; Águas de Lindoia; 2017.
3. Y. Karzazi; "**Organic Light Emitting Diodes: Devices and applications**"; Journal of Material Environment Science; volume 5; número 1; páginas; 1-12; 2014.
4. Kwong, R. C.; Nuggent, M. R.; Michalski, L.; Ngo, T.; Rajan, K.; Tung, Y.; Brown, J. J.. **Display Properties of High-efficiency Electrophosphorescent Diodes**. SID Symposium Digest of Technical Papers; volume 33; número 1; páginas 1365-1367; 2002.
5. SANTOS, Emerson Roberto. **Estudo de tratamentos superficiais em substratos de óxidos transparentes condutivos para fabricação de dispositivos poliméricos eletroluminescentes**. Tese de doutorado; Departamento de Sistemas Eletrônicos; Universidade de São Paulo; 238 páginas; 2009.
6. PASSOLONGO, Caíque Bueno; PARADA, Marcelo Gonzaga de Oliveira. **Display de LCD com backlight de LED dinâmico**. 4º SICFEI - Simpósio de Iniciação Científica, Didática e de Ações Sociais de Extensão da Faculdade de Engenharia Industrial; 1 páginas; 2014.
7. Srećko Kunić, Zoran Šego. **OLED technology and displays**. ELMAR Proceedings IEEE <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6338465/>>; p. 31-35; 2012.
8. **What makes it the best TV ever**. <<https://www.lg.com/us/experience-tvs/oled-tv/oled-vs-led>>;. Acessado em 28 de abril de 2019.
9. **Diferenças entre Led e OLED**. Qual a melhor tela? <<https://www.showmetech.com.br/led-oled-pontos-quanticos-qled-melhor-tela/>> Acessado em 26 de agosto de 2018
10. Halliday, Resnick; **Fundamentos de Física – Óptica e Física Moderna**. volume 4; Editora LTC; página 286-287; 2012.
11. Tech Tudo;<<http://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/09/o-que-e-oled.html>>. Acessado em 28 de abril de 2019.
12. SANTOS, Emerson Roberto; ONO, Eric Tsuneki Yoshiura; YOSHIDA, Satoru; OIDE, Mariane Yuka Tsubaki; JUNIOR Elvo Calixto Burini; ONMORI, Roberto Koji; HUI, Wang Shu. **Filmes finos de óxido de zinco dopado com alumínio (AZO)**

utilizados em estruturas de OLEDs. Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo; Vol. 37; número 3; p. 139-144; 2018.

13. ONO, Eric Tsuneki Yoshiura. **Síntese e caracterização de polímero PFTB e sua aplicação em dispositivos OLED e PSC.** Trabalho de Conclusão de Curso; Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; Engenharia Metalúrgica e de Materiais; 107 páginas; 2016.

14. TAKIMOTO, Herick Garcia; **Estudo de Polifluorenos como Camada Emissora de Dispositivos Eletroluminescentes Eficientes.** Dissertação de Mestrado; Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais; Escola Politécnica; Universidade de São Paulo; 118 páginas; 2013.

15. SILVA, Daniel José da. **Estudo de copolímeros à base de fluoreno e benzotidiazol em diodos emissores de luz e células fotovoltaicas poliméricas.** Dissertação de Mestrado; Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais; Escola Politécnica; Universidade de São Paulo; 176 páginas; 2016.

16. COSTA, Ivan Rodrigues. **Estudo da influência de diferentes solventes na formação da camada ativa utilizando PVK em dispositivos P-OLEDs.** Faculdade de Tecnologia de São Paulo; Materiais, Processos e Componentes Eletrônicos; 54 páginas; 2012.

17. YOSHIDA, Satoru. **Estudo de dispositivos P-OLEDs flexíveis.** Trabalho de conclusão de curso; Faculdade de Tecnologia de São Paulo; São Paulo; 56 páginas; 2012.

18. MORAES, José Igor Balbino de. **Estudo da Camada de TCO e de PVK em dispositivos OLEDs e Elaboração de um Reator de UV-Ozônio.** Trabalho de conclusão de curso; Curso de Tecnologia em Materiais, Processos e Componentes Eletrônicos da Faculdade de Tecnologia de São Paulo; FATEC-SP; 70 páginas; 2013.

19. MANAIA, Eloísa Berbel; KAMINSKI, Renata Cristina Kiatkoski; CAETANO, Bruno Leonardo; BRIOIS, Valérie; CHIAVACCI, Leila Aparecida; BOURGAU, Claudie. **Surface modified Mg-doped ZnO QDs for biological imaging.** European Journal Nanomedicine; volume 7; número; p. 109–12; 2015.

20. ONO, Eric Tsuneki Yoshiura; TAKIMOTO, Herick Garcia; SANTOS, Emerson Roberto; YOSHIDA, Satoru; ONMORI, Roberto Koji; FONSECA, Fernando Josepetti; HUI, Wang Shu. **PLED and PSC based in poly [9, 9-dioctylfluorene-alt-bis-thienylene (benzothiadiazole)].** In: XV SBPmat - Brazil MRS Meeting, 2016, Campinas.

21. SANTOS, Emerson Roberto; HUI, Wang Shu; CORREIA, Fabio Conte; COSTA, Ivan Rodrigues; SONNENBERG, Victor; JUNIOR, Elvo Calixto Burini; ONMORI, Roberto Koji. **Influência de Diferentes Solventes utilizados na deposição de filmes de poli(9-vinilcarbazol) em dispositivos OLEDs.** Química Nova; volume 37; número 1; páginas 1-5; 2014.

22. SANTOS, Emerson Roberto; MORAES, José Igor Balbino de; TAKAHASHI, Christine Miwa; SONNENBERG, Victor; BURINI, Elvo Calixto; YOSHIDA, Satoru; TAKIMOTO, Herick Garcia; ONMORI, Roberto Koji; HUI, Wang Shu. **Low cost UV-**

Ozone reactor mounted for treatment of electrode anodes used in P-OLEDs devices. Polímeros; volume 26; número 3; páginas 236-241; 2016.

23. ALMEIDA, Albano de. **Estudo de encapsulamento de dispositivos OLEDs.** Trabalho de Conclusão de Curso; Faculdade de Tecnologia de São Paulo; Materiais, Processos e Componentes Eletrônicos; 60 páginas; 2016.

24. SANTOS, Emerson Roberto; BURINI, Elvo Calixto; HUI, Wang Shu. **UV-Ozone Generation from Modified High Intensity Discharge Mercury Vapor Lamps for Treatment of Indium Tin Oxide Films.** Ozone: Science & Engineering, volume 34; páginas 129–135; 2012.

25. NASCIMENTO, Anderson Moreira do. **Melhorias nos processos de montagem e desempenho de dispositivos OLED.** Trabalho de Conclusão de Curso; Faculdade de Tecnologia de São Paulo; Materiais, Processos e Componentes Eletrônicos; 54 páginas; 2017.

26. Escola Estadual de Educação Profissional; Ensino Médio Integrado à Educação Profissional; Físico Química; Curso Técnico em Química; Governo do Estado do Ceará; Secretaria da Educação; 179 páginas.

27. TAKAHASHI, Christine Miwa. **Montagem de um spinner compacto e de baixo custo para a fabricação de dispositivos P-OLED.** Faculdade de Tecnologia de São Paulo; Materiais, Processos e Componentes Eletrônicos; 68 páginas; 2015.

28. SANTOS, Emerson Roberto; SILVA, Ana Neilde Rodrigues da; ONO, Eric Tsuneki Yoshiura; YOSHIDA, Satoru; OIDE, Mariane Yuka Tsubaki; JUNIOR, Elvo Calixto Burini; ONMORI, Roberto Koji; HUI, Wang Shu. **Bulbo utilizado como método de encapsulamento para dispositivos OLEDs.** Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo; volume 37; número 2; p. 95-99; 2018.

29. YUKI, Erik Yassuo. **Estudo de encapsulamento de dispositivos poliméricos-orgânicos eletroluminescentes.** Trabalho de Conclusão de Curso; Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais; 56 páginas; 2011.

30. NARDES, Alexandre Mantovani. **Propriedades elétricas de Películas finas de ligas de silício microcristalino hidrogenado depositadas por baixas temperaturas;** Dissertação de mestrado; USP - Universidade de São Paulo; São Paulo; (2001).

31. YUKI, Erik Yassuo. **Estudo de encapsulamento de dispositivos poliméricos-orgânicos eletroluminescentes.** Trabalho de Conclusão de Curso; Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais; 56 páginas; 2011.