



Harold Jose Camargo Avila

**Desenvolvimento e caracterização de dispositivos
orgânicos eletroluminescentes (OLEDs) baseados em
novos complexos tetrakis 8-hidroxiquinolina de terras
raras.**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre pelo Programa
de Pós-Graduação em Física da PUC-Rio.

Orientador: Marco Cremona

Rio de Janeiro
Maio de 2012



Harold Jose Camargo Avila

**Desenvolvimento e caracterização de dispositivos
orgânicos eletroluminescentes (OLEDs) baseados em
novos complexos tetrakis 8-hidroxiquinolina de terras
raras.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Física da PUC-Rio. Aprovada pela
Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Marco Cremona

Orientador

Departamento de Física – PUC-Rio

Profa. Emy Niyama

Departamento de Física – PUC-Rio

Prof. Hermi Felinto Brito

USP

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 25 de maio de 2012.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Harold Jose Camargo Avila

Graduou-se em Física pela Universidad del Atlántico (Barranquilla, Colombia–2009). Possui experiência na área de espectroscopia óptica e matéria condensada.

Ficha Catalográfica

Avila, Harold Jose Camargo

Desenvolvimento e Caracterização de Dispositivos Orgânicos Eletroluminescentes (OLEDs) baseados em novos complexos tetrakis (8-Hidroxiquinolina) de Terras Raras/ Harold Jose Camargo Avila; orientador: Marco Cremona. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Física, 2012.

139: il.(color.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Física, 2012.

Inclui referências bibliográficas.

1. Física – Tese. 2. Semicondutores orgânicos. 3. Eletrônica orgânica. 4. Filmes finos. 5. Complexos de terras raras. 6. Eletroluminescência. 7. Fotoluminescência. I. Cremona, Marco. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Física. IV. Título.

CDD: 530

A minha Família e noiva por seu apoio incondicional ao longo destes anos.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela vida que me deu e pelas suas bençãos.

Aos meus pais Ermides e Francisca pelo apoio e incentivo constante, a meus irmãos Robert e Natalia pelo seu amor, a minha noiva Loren que sempre esteve a meu lado nos momentos difíceis e sobrinhas Maria Alejandra e Franchesca por chegar a minha vida e encher ela de muita felicidade.

Aos meus familiares por toda ajuda durante este período.

Ao meu orientador, Prof. Marco Cremona, por ter me dado a oportunidade de concluir mais esta etapa e pelas valiosas discussões que muito contribuíram à minha formação profissional.

Ao professor Hermi F. Brito e seu aluno Msc. Tiago pelos complexos orgânicos sintetizados, pelos trabalhos e discussões em conjunto.

Aos meus amigos do laboratório de Optoeletrônica Molecular (LOEM) Kelly, Vanessa, Yolanda, Juan, Gustavo, Rafael, Rian e Beatriz, pelas inúmeras discussões e sugestões que fortaleceram a minha formação.

Gostaria também de agradecer a Dr. Emy Niyama por sua enorme ajuda. Estarei sempre agradecido.

Aos professores, funcionários e técnicos do departamento de física que de forma direta o indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao INMETRO em especial Dr. Gabriela F. Moreira e Dr. Carol Arantes pela ajuda recebida.

A todos meus amigos (as) e colegas, em especial, Alex, Tiago, Johana, Jazmin, Josue e Fabio muito obrigado.

A Pontifícia Universidade católica de Rio de Janeiro (PUC-Rio) por proporcionar as condições necessárias para o bom andamento do trabalho.

À CAPES, CNPq, RENAMI (Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces) e FAPERJ pelo apoio financeiro, e à PUC-Rio, pela utilização das instalações e laboratórios.

Resumo

Avila, Harold Jose Camargo; Cremona, Marco (orientador). **Desenvolvimento e caracterização de dispositivos orgânicos eletroluminescentes (OLEDs) baseados em novos complexos tetrakis 8-hidroxiquinolina de terras raras.** Rio de Janeiro, 2012. 139p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O Alq₃ é um dos mais importantes semicondutores orgânicos utilizados como transportador de elétrons e emissor em dispositivos eletroluminescentes (OLEDs). Este trabalho apresenta o estudo das propriedades ópticas, eletroquímicas, elétricas e morfológicas de três complexos baseados em íons de terras raras (TR) ligados à 8-hidroxiquinolina (q), Li[TR(q)₄] (TR = La³⁺, Y³⁺ e Lu³⁺). Os espectros de absorção na região UV-Vis possuem máximos em 382nm para os complexos de Y³⁺/La³⁺ e em 388nm para o complexo de Lu³⁺. Os espectros de fotoluminescência dos complexos correspondem à emissão da (q) e não exibem as linhas características de emissão dos íons de terras raras. Os dados de análise térmica indicam que os complexos são termicamente estáveis até ~325°C e que apresentaram H₂O absorvida da atmosfera. Os OLEDs fabricados e caracterizados neste trabalho foram de dois tipos: bicamadas e multicamadas. 1)ITO/NPB(25nm)/Li[TR(q)₄](40nm)/Al(120nm); 2)ITO/NPB(25nm)/[Eu(DBM)₃phen](20nm)/BCP(10nm)/Li[TR(q)₄](20nm)/Al(120nm). Os OLEDs bicamadas apresentaram, em seus espectros de eletroluminescência, as bandas de emissão da (q) entre 520 ate 540nm. Os OLEDs multicamadas foram fabricados para testar a eficácia dos complexos Li[TR(q)₄] como camadas transportadoras. Este trabalho evidenciou uma interessante dependência entre o pico máximo da emissão eletroluminescente e o raio iônico dos íons de TR. Os OLEDs baseados nos complexos Li[TR(q)₄] apresentaram boas características quando comparadas com os OLEDs baseados Alq₃, mostrando-se compostos promissores para o desenvolvimento de dispositivos orgânicos.

Palavras-chave

Semicondutores orgânicos; eletrônica orgânica; filmes finos; transferência de energia; Complexos de terras raras; eletroluminescência; fotoluminescência.

Abstract

Avila, Harold Jose Camargo; Cremona, Marco (Advisor). **Development and characterization of organic electroluminescent devices (OLEDs) based on new tetrakis 8-hydroxyquinoline of rare-earth complexes.** Rio de Janeiro, 2012. 139p. MSc. Dissertation – Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The Alq₃ is one of the most important organic semiconductors used as electron transporting and emitting material in organic electroluminescent devices (OLEDs). This work presents the investigation of the optical, electrochemical, electrical and morphological properties of three complexes based in ions of rare earth (RE) coordinated to 8-hydroxyquinoline (q), Li[RE(q)₄] (RE = La³⁺, Y³⁺ and Lu³⁺). The UV-Vis absorption spectrum present the maximum absorption at: 382nm for Y³⁺/La³⁺ complexes and 388nm for the Lu³⁺ complex. The photoluminescence spectra of the complexes correspond to the emission of the (q) and does not exhibit characteristic lines of the rare earths ions. The thermal analysis data indicate that the complexes are thermally stable until ~325⁰C and that showed H₂O molecules absorbed from the atmosphere. The fabricated and characterized OLEDs in this work were of two types: bilayer and multilayer. 1)ITO/NPB(25nm)/Li[TR(q)₄](40nm)/Al(120nm); 2)ITO/NPB(25nm)/[Eu(DBM)₃phen](20nm)/BCP(10nm)/Li[TR(q)₄](20nm)/Al(120nm). The bilayer OLEDs showed, in their electroluminescence spectra, the emission bands of the (q) between 520 until 540nm. The multilayer OLEDs were fabricated to test the efficiency of the complexes Li[TR(q)₄] as transport layers. This work showed an interesting dependence between the EL emission peak and the ionic radius of the RE ions. The OLEDs based on the Li[RE(q)₄] complexes presented good characteristics when compared to the OLEDs based on Alq₃, showing as promising compounds to the organic devices development.

Keywords

Organic semiconductors; organics electronic; thin films; energy transfer; rare earth complexes; electroluminescence; photoluminescence.

Sumário

| | |
|---|-----------|
| 1. Introdução | 19 |
| 1.1. Estado da Arte | 22 |
| 1.2. Justificativa | 23 |
| 1.3. Objetivo | 24 |
| 1.4. Descrição do trabalho | 24 |
| Referências | 26 |
| | |
| 2 . Fundamentos Teóricos | 28 |
| 2.1. Luminescência em moléculas orgânicas | 28 |
| 2.2. Espectroscopia na região do Ultravioleta-Visível (UV-Vis) | 29 |
| 2.3. Espectroscopia de Fotoluminescência (FL) | 30 |
| 2.4. Eletroluminescência em OLEDs | 33 |
| 2.4.1. Estrutura básica OLEDs | 33 |
| 2.4.2. Funcionamento de OLEDs | 34 |
| 2.4.3. Mecanismos de Injeção de Cargas em OLEDs | 35 |
| 2.4.4. Transporte de Carga de materiais | 37 |
| 2.5. Eficiências dos OLEDs | 40 |
| 2.6. Diagrama de cromaticidade (CIE) | 41 |
| Referências | 44 |
| | |
| 3 . Terras Raras | 45 |
| 3.1. Propriedades dos íons de Terras Raras TR^{3+} | 45 |
| 3.2. Complexos baseados em Ligante 8-hidroxiquinolina (q) | 50 |
| 3.2.1. Ligante Hidroxiquinolina (q) | 51 |
| 3.2.2. Complexo tris (8-Hidroxiquinolina) de Alumínio Alq_3 | 53 |
| 3.2.3. Complexos Tetrakis (8-hidroxiquinolina) de TR^{3+} | 54 |
| 3.3. Transferência de energia em complexos de TR^{3+} | 58 |
| Referências | 60 |
| | |
| 4. Método Experimental | 63 |
| 4.1. Materiais Utilizados | 63 |
| 4.2. Preparação e limpeza dos substratos | 65 |

| | |
|--|--------|
| 4.3. Técnica de deposição de filmes finos | 67 |
| 4.4. Técnicas de caracterização física e química | 69 |
| 4.4.1. Perfilômetria | 69 |
| 4.4.2. Análise Termogravimétrica | 70 |
| 4.4.3. Voltametria cíclica | 70 |
| 4.5. Técnicas de caracterização óptica | 71 |
| 4.5.1. Espectroscopia de absorção na região do UV-Vis | 71 |
| 4.5.2. Espectroscopia de Fotoluminescência e Eletroluminescência | 72 |
| 4.5.3. Espectroscopia Resolvida no tempo | 74 |
| 4.5.4. Medidas de irradiância | 75 |
| 4.6. Técnica de caracterização elétrica | 75 |
| Referências | 76 |
| 5. Análise de Resultados | 77 |
| 5.1. Caracterização óptica dos complexos $M[TR(q)_4]$ | 77 |
| 5.1.1. Os complexos de $Li[TR(q)_4]$ | 77 |
| 5.1.2. Os complexos de $Na[TR(q)_4]$ | 80 |
| 5.1.3. Os complexos de $K[TR(q)_4]$ | 81 |
| 5.2. Análise Térmica dos complexos $Li[TR(q)_4]$ | 84 |
| 5.3. Análise eletroquímica dos complexos $Li[TR(q)_4]$ | 85 |
| 5.4. Espectroscopia de absorção dos complexos $Li[TR(q)_4]$ | 88 |
| 5.5. Espectroscopia de FL dos complexos $Li[TR(q)_4]$ | 90 |
| 5.5.1. Espectroscopia de FL do $Li[Y(q)_4]$ | 90 |
| 5.5.2. Espectroscopia de FL do $Li[La(q)_4]$ | 92 |
| 5.5.3. Espectroscopia de FL do $Li[Lu(q)_4]$ | 95 |
| 5.6. Eletroluminescência de dispositivos orgânicos nos complexos $Li[TR(q)_4]$ | 99 |
| 5.6.1. OLED baseado no complexo $Li[Y(q)_4]$ | 99 |
| 5.6.2. OLED baseado no complexo $Li[La(q)_4]$ | 101 |
| 5.6.3. OLED baseado no complexo $Li[Lu(q)_4]$ | 102 |
| 5.6.4. OLED baseado no complexo Alq_3 | 103 |
| 5.7. Propriedades elétricas dos OLEDs bicamadas | 107 |
| 5.7.1. OLEDs baseados em $Li[Y(q)_4]$ | 107 |
| 5.7.2. OLEDs baseados em $Li[La(q)_4]$ | 108 |
| 5.7.3. OLEDs baseados em $Li[Lu(q)_4]$ | 109 |
| 5.7.4. OLEDs baseados em Alq_3 | 111 |
| 5.8. Utilização dos complexos $Li[TR(q)_4]$ como camadas transportadoras | 116 |

| | |
|----------------------------|------------|
| Referências | 120 |
| 6. Conclusões | 122 |
| Referências Bibliográficas | |
| Apêndices | |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1-1 Protótipos de aparelhos baseados em materiais orgânicos a. Telefone Celular Samsung Galaxi Sc[7] b. TV LG ^[8] | 19 |
| Figura 1-2 Estrutura química de alguns compostos orgânicos a. polímeros polianilina e b. composto orgânico (TPD)..... | 20 |
| Figura 2-1 Espectro de absorção de um material e método para determinar o gap óptico ^[3] | 30 |
| Figura 2-2 Diagrama de Jablonski. | 31 |
| Figura 2-3 Estruturas básicas de OLEDs a. Bicamadas e b. Multicamadas. | 34 |
| Figura 2-4 Processo de eletroluminescência nos OLEDs. | 35 |
| Figura 2-5 Representação da injeção por tunelamento tipo Fowler-Nordheim e a injeção termiônica, em uma estrutura metal/semicondutor-intrínseco/ metal, onde corresponde a altura da barreira de potencial na interface metal/semicondutorse V ao potencial elétrico aplicado entre os eletrodos ^[10] | 36 |
| Figura 2-6 Comportamento elétrico da densidade de corrente versus campo elétrico $E=V/d$ aplicado a um dispositivo OLED ^[13] | 37 |
| Figura 2-7 Densidade de corrente versus campo elétrico aplicado $E=V/d$ para um dispositivo Mg/Alq ₃ /Mg. Para baixa tensão aplicada o comportamento é ôhmico (A) , com aumento da tensão o transporte limitado por cargas aprisionadas TCL (B) , seguido do regime SCLC (C) ^[17] | 39 |
| Figura 2-8 Diagrama esquemático do processo de eletroluminescências em um OLED..... | 40 |
| Figura 2-9 Tipos de éxcitons formados em materiais semicondutores orgânicos ou inorgânicos..... | 41 |
| Figura 2-10 Curvas das cores padrões CIE para $X(\lambda)$, $Y(\lambda)$ e $Z(\lambda)$ | 42 |
| Figura 2-11 Diagrama de cromaticidade CIE ilustrando as coordenadas de cores da região espectral visível. | 43 |
| Figura 3-1 Função de onda radical $r^2\psi^2$ em função do rádio atômico para elétrons de Nd ³⁺ em comparação a da distribuição de carga do Xe..... | 47 |

| | |
|---|----|
| Figura 3-2 Diagrama dos níveis de energia para os íons terras raras e actínídeos trivalentes baseado nas energias do campo cristalino para os TR ³⁺ dopados na matriz LaF ₃ ^[7] | 49 |
| Figura 3-3 Formula estrutural da a. 8-hidroxiquinolina e b. 2 metil 8-hidroxiquinolina c. 7-n-propil-8-hidroxiquinolina. | 51 |
| Figura 3-4 Fórmula estrutural do Alq ₃ a. Isômero Meridional b. Isômero Facial ^[32] | 53 |
| Figura 3-5 Formula estrutural dos complexos M[TR(q) ₄] | 56 |
| Figura 3-6 Efeito antena na luminescência de íons Terras Raras. | 57 |
| Figura 3-7 Níveis de energia do ligante (q). | 59 |
| Figura 4-1 Foto do equipamento de deposição Univex 300 | 68 |
| Figura 4-2 Diagrama das partes da câmara de alto vácuo..... | 69 |
| Figura 4-3 Equipamento para a medida de espessura Veeco Dektak 150..... | 69 |
| Figura 4-4 Espectrofluorímetro utilizado para as medidas de FL..... | 72 |
| Figura 4-5 Espectrofluorímetro+fonte Keithley utilizado para a medida de EL. ... | 73 |
| Figura 4-6 Diagrama utilizado para a realização das medidas elétricas..... | 75 |
| Figura 5-1 Fórmulas estruturais dos sais de Lítio a. Li[La(q) ₄], b. Li[Y(q) ₄] e c. Li[Lu(q) ₄] | 78 |
| Figura 5-2 Espectros de absorção e FL dos complexos a. Li[La(q) ₄], b. Li[Y(q) ₄] e c. Li[Lu(q) ₄]. | 79 |
| Figura 5-3 Fórmulas estruturais dos sais de Sódio a. Na[La(q) ₄], b. Na[Y(q) ₄] e c. Na[Lu(q) ₄]. | 80 |
| Figura 5-4 Espectros de absorção e FL dos complexos a. Na[La(q) ₄], b. Na[Y(q) ₄] e c. Na[Lu(q) ₄]. | 81 |
| Figura 5-5 Fórmulas estruturais dos sais de potássio a. K[Y(q) ₄] e b. K[Lu(q) ₄] | 82 |
| Figura 5-6 espectro de absorção e FL dos complexos a. K[Y(q) ₄] e b. K[Lu(q) ₄]..... | 83 |
| Figura 5-7 Curvas termogravimétricas dos complexos Li[TR(q) ₄] com íons TR = La ³⁺ , Y ³⁺ e Lu ³⁺ | 84 |
| Figura 5-8 Voltamograma do complexo Li[Y(q) ₄]. É indicado também o procedimento para obter o valor de HOMO, através das retas pontilhadas cuja interseção fornece o valor de HOMO do complexo. | 85 |
| Figura 5-9 Voltamograma do complexo Li[La(q) ₄]. É indicado também o procedimento para obter o valor de HOMO, através das retas pontilhadas cuja interseção fornece o valor de HOMO do complexo. | 86 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5-10 Voltamograma do complexo $\text{Li}[\text{Lu}(\text{q})_4]$. É indicado também o procedimento para obter o valor de HOMO, através das retas pontilhadas cuja interseção fornece o valor de HOMO do complexo. | 86 |
| Figura 5-11 Espectro de absorção dos diferentes complexos $\text{Li}[\text{TR}(\text{q})_4]$ em forma de filmes finos à temperatura ambiente. | 88 |
| Figura 5-12 Diagramas rígidos das bandas de energias para os complexos com contra cátions de Li. | 89 |
| Figura 5-13 Espectros de FL normalizado do complexo $\text{Li}[\text{Y}(\text{q})_4]$ na forma de pó e filme fino. | 91 |
| Figura 5-14 Espectro de excitação e emissão do complexo $\text{Li}[\text{Y}(\text{q})_4]$ | 91 |
| Figura 5-15 Comparação do espectro de fotoluminescência do complexo $\text{Li}[\text{La}(\text{q})_4]$ na forma de filme fino e pó | 92 |
| Figura 5-16 Comparação do espectro de fotoluminescência do complexo a. (q) na forma em pó. e b. $\text{Li}[\text{La}(\text{q})_4]$ na forma de filme. | 93 |
| Figura 5-17 Espectro de excitação e emissão do complexo $\text{Li}[\text{La}(\text{q})_4]$ | 95 |
| Figura 5-18 Espectro de fotoluminescência do complexo $\text{Li}[\text{Lu}(\text{q})_4]$ na forma de filme e pó. | 96 |
| Figura 5-19 Espectro de excitação e emissão do complexo $\text{Li}[\text{Lu}(\text{q})_4]$ | 97 |
| Figura 5-20 Diagrama rígido de bandas de energias para o Dispositivo 1 | 99 |
| Figura 5-21 Espectro de EL do complexo $\text{Li}[\text{Y}(\text{q})_4]$ | 100 |
| Figura 5-22 Diagrama rígido de bandas de energias para o Dispositivo 2. | 101 |
| Figura 5-23 Espectro de EL do complexo $\text{Li}[\text{La}(\text{q})_4]$ | 101 |
| Figura 5-24 Diagrama rígido de bandas de energias para o Dispositivo 3. | 102 |
| Figura 5-25 Espectro de EL do complexo $\text{Li}[\text{Lu}(\text{q})_4]$ | 102 |
| Figura 5-26 Diagrama rígido de bandas de energias para o Dispositivo 4. | 103 |
| Figura 5-27 Espectro de EL do complexo Alq_3 | 103 |
| Figura 5-28 Espectros de EL normalizados dos complexos $\text{Li}[\text{TR}(\text{q})_4]$ | 105 |
| Figura 5-29 Comportamento linear entre os raios iônicos versus máximo da banda de EL e semilargura. | 105 |
| Figura 5-30 Diagrama de cromaticidade do CIE para os OLEDs bicamada contendo os complexos com contra cations de Li e Alq_3 | 106 |
| Figura 5-31 Característica J-V para o Dispositivo 1 baseado de $\text{Li}[\text{Y}(\text{q})_4]$ | 107 |
| Figura 5-32 Características J-V do Dispositivo 1. | 108 |
| Figura 5-33 Característica J-V para o Dispositivo 2 baseado de $\text{Li}[\text{La}(\text{q})_4]$ | 108 |
| Figura 5-34 Características J-V do Dispositivo 2. | 109 |
| Figura 5-35 Característica J-V para o Dispositivo 3 baseado de $\text{Li}[\text{Lu}(\text{q})_4]$ | 110 |
| Figura 5-36 Características J-V do Dispositivo 3. | 110 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5-37 Característica J-V para o Dispositivo 4 baseado de Alq_3 | 111 |
| Figura 5-38 Características J-V do Dispositivo 4. | 112 |
| Figura 5-39 Características J-V dos dispositivos 1,2,3 e 4..... | 112 |
| Figura 5-40 Gráfico de Luminância - Densidade de corrente L-J..... | 114 |
| Figura 5-41 Gráfico de Eficiência de Corrente – Densidade de Corrente η_{EC} .. | 114 |
| Figura 5-42 Gráfico de Eficiência da Potência – Densidade de Corrente $\eta_{\text{lm/w}}$ | 115 |
| Figura 5-43 Diagrama rígido de bandas de energias dos dispositivos 5, 6 e 7 | 117 |
| Figura 5-44 Espectro de EL à temperatura ambiente do Dispositivo 5, gráfico inserido: curva (I-V). | 118 |
| Figura 5-45 Espectro de EL à temperatura ambiente do Dispositivo 6, gráfico inserido: curva (I-V). | 118 |
| Figura 5-46 Espectro de EL à temperatura ambiente do Dispositivo 7, gráficos inserido: curva (I-V). | 119 |

Lista de tabelas

| | |
|--|-----|
| Tabela 2-1 Tipos de luminescência..... | 28 |
| Tabela 3-1 Configurações eletrônicas dos íons terras raras trivalentes no estado fundamental, raio iônico, momento de spin (S), momento angular orbital (L), momento angular total (J) e níveis de energia $^{2S+1}L_J$. | 46 |
| Tabela 3-2 Valores das propriedades do $Alq_3^{[40]}$ | 54 |
| Tabela 4-1 Materiais utilizados nesta dissertação. | 63 |
| Tabela 4-2 Detalhes do processo de litografia do ITO | 66 |
| Tabela 4-3 Descrição detalhada das peças de EL..... | 73 |
| Tabela 5-1 Dados termooanalíticos para os complexos $Li[TR(q)_4]$ | 84 |
| Tabela 5-2 Valores de energia para os diferentes complexos de sais de Lítio... | 87 |
| Tabela 5-3 Valores da deconvolução do espectro de FL do complexo $Li[La(q)_4]$ e (q). | 94 |
| Tabela 5-4 Valores de tempos de vida para os diferentes complexos..... | 98 |
| Tabela 5-5 Valores do pico máximo de EL e semi-largura dos diversos Complexos usados. A ultima coluna apresenta os raios iônicos dos íons presentes nos complexos deste trabalho. | 104 |
| Tabela 5-6 Valores de mobilidade calculados para os diferentes dispositivos. . | 113 |
| Tabela 5-7 Valores característicos dos dispositivos. | 115 |

Lista de Equações

| | |
|--------------|----|
| Equação 2-1 | 29 |
| Equação 2-2 | 29 |
| Equação 2-3 | 30 |
| Equação 2-4 | 36 |
| Equação 2-5 | 36 |
| Equação 2-6 | 38 |
| Equação 2-7 | 38 |
| Equação 2-8 | 38 |
| Equação 2-9 | 42 |
| Equação 2-10 | 42 |
| Equação 4-1 | 71 |
| Equação 4-2 | 71 |

Símbolos e abreviaturas

Al = alumínio
Alq₃ = tris (8-hidroxiquinolina) de alumínio
CBB = camada bloqueadora de buracos
CBE = camada bloqueadora de elétrons
CDT = Cambridge displays Technology
CE = camada emissora
CIS = Cruzamento intersistema
CRT = Cathode Ray Tube
CTB = camada transportadora de buracos
CTE = camada transportadora de elétrons
EL = Eletroluminescência
Eu = Európio
FL = Fotoluminescência
HOMO = Orbital molecular mais alto ocupado
ITO = óxido de índio dopado com estanho
La = Lantânio
LCD = Liquid crystal display
LOEM = Laboratório de optoeletrônica molecular
Lu = Lutécio
LUMO = Orbital molecular mais baixo desocupado
LUMTEC = Luminescence Technology Corp.
MED = Micro Emissive Displays
MW = Mott-Wannier
OLED = Dispositivo orgânico emissor de Luz
Phen = phenanthroline
PLED = Polimers Light Emitting Diode
PVD = Physicall vapor deposition
q = 8-hidroxiquinolina
TCL = corrente limitada por cargas aprisionadas
TR³⁺ = Terras Raras
TGA= Termogravimétrica
SCLC = Corrente limitada por carga espacial
UV-Vis = Ultravioleta - visível
Y = Ítrio