

## 4 Considerações finais

Dentro de cerca de quatro anos a eletrônica orgânica (EO) completará somente 50 anos de existência. Surpreendentemente é uma área de pesquisa e desenvolvimento tecnológico que cada vez mais ganha o status de tecnologia do futuro, sobretudo pelos seus avanços alcançados nas duas últimas décadas. Ao mesmo tempo em que EO abre um vasto e novo campo de pesquisa em por exemplo: dispositivos eletrônicos, sensores, telas, energia renovável, armazenamento de informação, etc., muitas novas interrogações são criadas pelo meio do caminho. Por outro lado, desde os anos 2000 onde se acreditava que a EO revolucionaria o mercado com dispositivos impressos em roupas e sensores implantados diretamente em seres humanos, até o presente momento o mercado global de investimentos vem sofrendo um contínuo choque de realidade (figura 4.1). Possivelmente também por isso o mercado de investimentos em EO não seja comparável ao mercado de eletrônica atual. Apesar de tudo, é válida a afirmativa de que os investimentos em EO são estratégicos e de grande potencial para o curto e longo prazo (figura 4.2). Mais de treze países na Europa incluindo EUA, Japão e alguns países do leste asiático atualmente veem a EO como fonte para suas economias. Atualmente grandes empresas como BASF, Corning, Kodak, Merck, OSRAM, Philips, Samsung, Seiko, TDK, Pioneer desenvolvem atividades relacionadas com a EO. A EO possibilita processo de produção contínua, revolucionando a escala. Estamos falando desde uma das tecnologias que mais deu certo na EO até o presente momento que são as telas em OLED até circuitos e sistemas integrados, roupas, papéis, células solares, etc. Como discutido na introdução desta tese de doutorado, as principais aplicações da EO são: (i) fotovoltaico orgânico, (ii) telas em OLED, (iii) iluminação OLED, (iv) eletrônicos e componentes (ex.: baterias, transistores, circuitos) e (v) sistemas inteligentes integrados.

Aplicações	Existentes (2013)	Em desenvolvimento (2014-2020)	Planejados (2021+)
Fotovoltaico orgânico	Carregadores Portátics	Eletrônicos de consumo, fontes móveis de energia, integração predial para consumo	Integração predial conectada à rede
Displays OLED	Displays em pequenas aplicações	Displays OLED dobráveis, LCD plástico, outdoors, displays OLED enroláveis e (semi)transparentes	TVs OLED enroláveis e telemedicina
Iluminação OLED	Projetos <i>design</i>	Baterias recarregáveis de célula única, <i>displays</i> impressos, baterias multicélulas impressas, <i>chip</i> impresso flexível	Iluminação em geral
Eletrônicos e componentes	Baterias de célula única, pequenas memórias	Módulos de iluminação decorativos, módulos flexíveis de iluminação	Baterias impressas, etiquetas inteligentes
Sistemas Integrados Inteligentes	Roupas com sensores antifurto, sensores	Rede de sensores, empacotamento inteligente, sensores sobre tecidos, pequenos <i>displays</i> , RFID impresso	OLED sobre tecidos, BIPV

Figura 4.1- Roadmap para as aplicações em EO. Fonte: BNDES – “Perspectivas para a eletrônica orgânica no Brasil.” Adaptado de (OE-A) (2013)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112922/CA

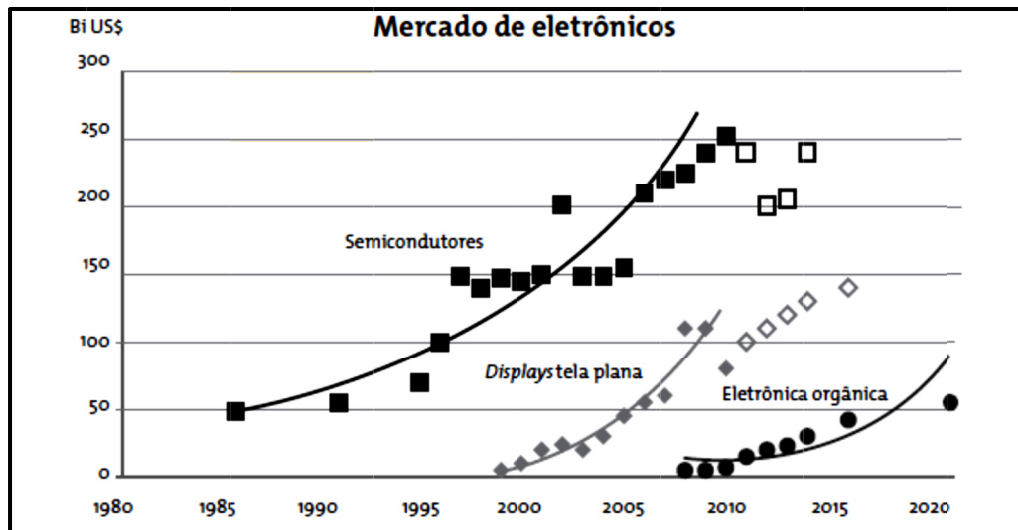


Figura 4.2 - Expectativa de crescimento do mercado de EO. Fonte: BNDES – “Perspectivas para a eletrônica orgânica no Brasil.”

Toda a tecnologia atual e futura produzida com a EO passa inicialmente pelo processo de compreensão dos fenômenos fundamentais ligados aos propósitos tecnológicos e conseqüente desenvolvimento científico. Um dos processos mais importantes e básicos desta cadeia tecnológica é o transporte de cargas nos semicondutores (SO).

Tendo em vista todo o cenário da EO apresentado aqui, este trabalho teve como principal objetivo contribuir para maior compreensão dos mecanismos de transporte de cargas nos SO a partir do estudo das principais características do efeito OMAR.

No primeiro estudo desta tese foram obtidas informações importantes a respeito do papel das interações hiperfinas no processo de condução de cargas nos semicondutores orgânicos. Ficou mais uma vez demonstrado experimentalmente que, de fato as interações hiperfinas são o principal mecanismo de mudança da corrente do dispositivo como função do campo magnético aplicado. Este estudo mostrou pela primeira vez que tais interações presentes nas camadas transportadoras de buracos também contribuem para o efeito OMAR.

No segundo estudo foi observada experimentalmente a dependência da magnetorresistência com as interações spin-órbita. Foi possível, por meio de um sistema físico adequado (complexos betadicionados de terras-raras) observar de forma clara e contundente que o transporte de cargas nos dispositivos orgânicos sofre influência das interações spin-órbita. A dependência dos valores de  $B_1$  obtidos pelo ajuste da Eq. 3.3, como função do número atômico dos íons TR estão em acordo com predições teóricas reportadas na literatura [33,39]. A colaboração com o Dr. Hermi F. Brito e seu grupo de pesquisa que sintetizaram os complexos utilizados foi de fundamental importância, bem como todos os diálogos e discussões a respeito dos resultados apresentados nesta tese.

Nos dois estudos a colaboração com o Dr. Professor Rodrigo Capaz e seus colaboradores foi imprescindível para a confirmação dos resultados obtidos. Em particular o primeiro estudo gerou uma publicação na revista *Physical Review B* e o segundo estudo deu origem a um trabalho submetido na revista *Applied Physics Letters* [101]

Por fim, vale destacar que:

(i) o sistema de medição do efeito OMAR utilizado neste trabalho está entre os poucos grupos no país que realizam investigações da influência de campos magnéticos externos sobre o transporte de cargas nos SO.

(ii) Um sistema capaz realizar medições do efeito OMAR sobre qualquer foi implementado durante o trabalho mestrado e foi gradativamente aprimorado. Além disso, vale destacar que durante todo o trabalho de doutoramento o sistema de medições nunca apresentou qualquer influência sobre as curvas do efeito OMAR. Este fato tem bastante relevância considerando o grau de dificuldade enfrentado por outros grupos fora do país em realizar estudos do efeito OMAR. Dificuldade esta causada tanto pelo sistema de medições como pela reprodutibilidade de efeito apresentada pelos dispositivos orgânicos fabricados.

(iii) A pesquisa experimental conduzida durante o doutorado permitiu desenvolver, também, um protótipo de sensor magnético utilizando o efeito OMAR (Apêndice 1). O protótipo, mesmo em sua simplicidade, constitui a nosso ver uma ação concreta na busca de produtos essencialmente nacionais e fruto de pesquisas científicas fomentadas pelo país.

#### 4.1. Participação em congressos e conferências

Durante este doutoramento os seguintes trabalhos foram apresentados:

- R.M.B. dos Santos, N.N. de Paula, B.S.P Rio and M. Cremona. Investigation of Organic Magnetoresistance dependence on Different Hole Transporting Layers. Encontro Nacional de Eletrônica Orgânica, 2011, Atibaia, SP.
- R.M.B. dos Santos, Paula N. N., B. S. P. Rio and M. Cremona. Organic Magnetoresistance Investigation on Different Thermal Deposited Hole Transporting Layers. XXXIV Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada, 2011, Foz do Iguaçu, PR.
- R. S. Carvalho, B. S. P. Rio and M. Cremona. Investigation of organic magnetoresistance effect on rare-earth complexes using the magnetic field modulation technique. Encontro Nacional de Eletrônica Orgânica, 2012, Atibaia, SP.
- R.M.B. dos Santos, B. S. P. Rio, J. D. F. Ferraz and M. Cremona. Organic Magnetoresistance measurements using the magnetic field modulation technique. XXXV Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada, 2012, Águas de Lindóia, SP.
- R.M.B. dos Santos, B. S. P. Rio and M. Cremona. Study of the Organic Magnetoresistance Effect in Rare-Earth complexes based OLEDs. XXXV Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada, 2012, Águas de Lindóia, SP.
- R.S. Carvalho, B. S. P. Rio, M. Cremona. Investigation of organic magnetoresistance effect using different hole transporting layer. XI Encontro da SBPMAT 2012, Florianópolis, SC.
- R. S. Carvalho and M. Cremona. New results of organic magnetoresistance effect on rare-earth organic complexes. Encontro Nacional de Eletrônica Orgânica, 2014, Atibaia, SP.
- R. S. Carvalho, H. C. Ávila, A. S. Marinho, P. B. Panisset, T. B. Paolini, H. F. Brito, M. Cremona. Electroluminescence and magnetoresistance tuning effect in rare-earth quinolate complexes based devices. XI Encontro da SBPMAT 2014, João Pessoa, PB.
- R. S. Carvalho, H. C. Ávila, A. S. Marinho, P. B. Panisset, T. B. Paolini, H. F. Brito, M. Cremona. Electroluminescence and magnetoresistance tuning effect in rare-earth quinolate complexes based devices. 17th International Conference on Solid Films and Surfaces 2014, Rio de Janeiro, RJ.

- R.S. Carvalho, H. C. Ávila, T. B. Paolini, H.F. Brito, M. Cremona. Investigation of organic magnetoresistance effect dependence on spin-orbit coupling using different rare-earth based organic molecules. European-Materials Research Society 2014 Spring Meeting, Lille, France.
- R.S. Carvalho, H.C. Ávila, T.B. Paolini, Deyse G. Costa, Rodrigo B. Capaz, H.F. Brito, M. Cremona. Influence of intramolecular spin-orbit coupling on organic magnetoresistance effect. XI Encontro da SBPMAT 2015, Rio de Janeiro, RJ.

Em especial este último trabalho apresentado foi premiado como melhor apresentação estudantil do respectivo simpósio.

## 4.2. Publicações

Durante este doutoramento os seguintes trabalhos foram publicados:

- Marulanda, J. I., Cremona, M., Santos, R., Carvalho, M. C. R., Demenicis, L. S. Characterization of SrTiO<sub>3</sub> thin films at microwave frequencies using coplanar waveguide linear resonator method. *Microwave and Optical Technology Letters*, v.53, p.2418 - 2422, 2011.
- Del Rosso, T., Sánchez, J. Edicson Hernández, Carvalho, R. Dos Santos, Pandoli, O., Cremona, M. Accurate and simultaneous measurement of thickness and refractive index of thermally evaporated thin organic films by surface plasmon resonance spectroscopy. *Optics Express*, v.22, p.18914 - 2014.
- Giro, Ronaldo, Rosselli, Flávia P., Dos Santos Carvalho, Rafael, Capaz, Rodrigo, Cremona, Marco, Achete, Carlos. Molecular hyperfine fields in organic magnetoresistance devices. *Physical Review. B, Condensed Matter and Materials Physics*, v.87, p.125204, 2013.
- R. S. Carvalho, D. G. Costa, H. C. Ávila, T. B. Paolini, H. F. Brito, Rodrigo B. Capaz, M. Cremona. Investigation of organic magnetoresistance dependence on spin-orbit coupling using 8-hydroxyquinolate rare-earth based complexes. *Applied Physics Letters*. (Em submissão)