



Universidade de São Paulo  
Escola Politécnica  
Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos

# Dispositivos Eletrônicos Poliméricos

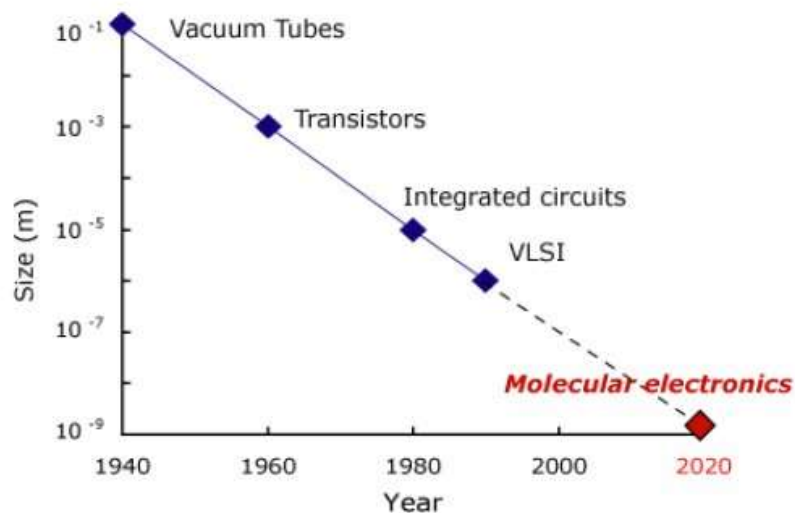
**Fernando Josepetti Fonseca**

Fernando.epusp@gmail.com

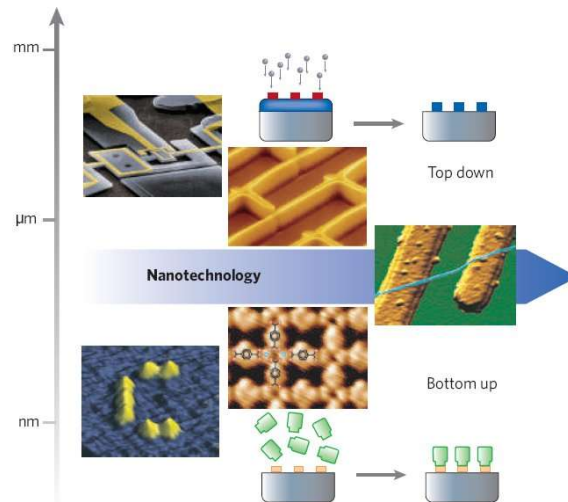
Com a colaboração de:

**Leonardo G. Paterno (UnB), Gerson dos Santos e  
Marco Roberto Cavallari**

## Lei de Moore

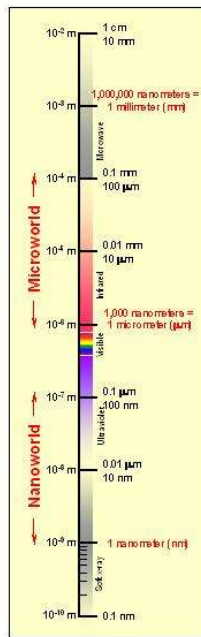
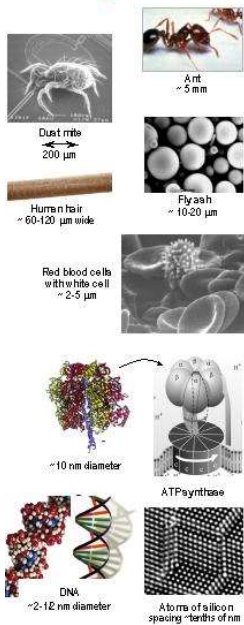


# Top-down x Bottom-up ?

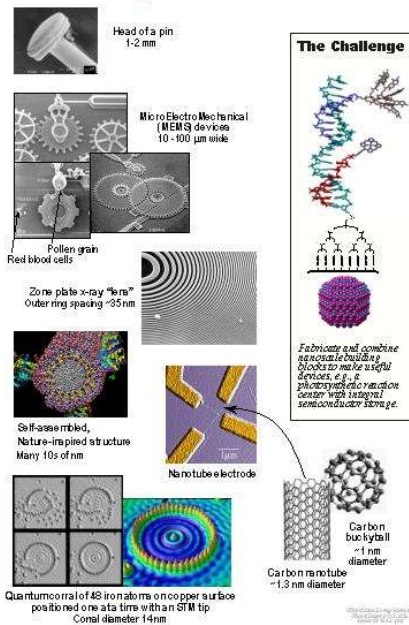


## The Scale of Things – Nanometers and More

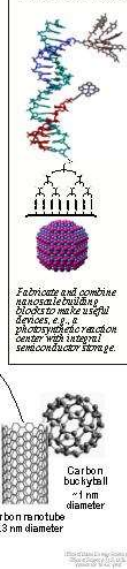
### Things Natural



### Things Manmade

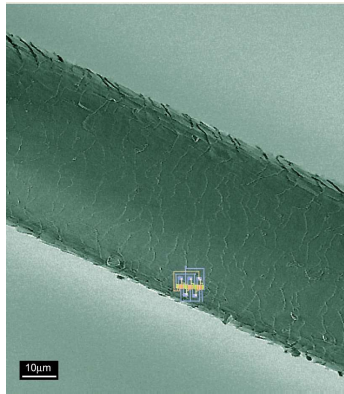


### The Challenge

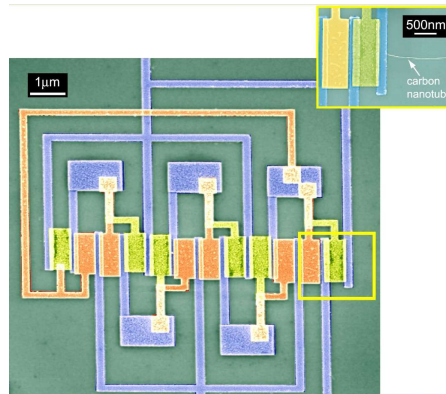


# Nanotubos de Carbono

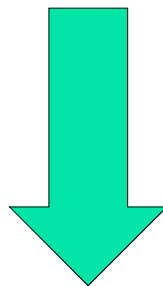
(CNT = Carbon NanoTube)



Source: IBM

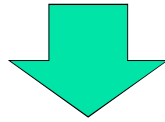


Como continuar a fabricar dispositivos cada vez menores?

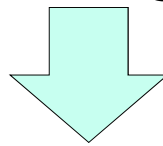


Eletrônica Molecular

Como continuar a fabricar dispositivos cada vez menores?



Eletrônica Orgânica



Eletrônica Molecular

## Eletrônica Orgânica

Nova oportunidade para a fabricação de dispositivos eletrônicos de filmes finos.

Os materiais orgânicos conjugados podem apresentar características isolantes, **semicondutoras e condutoras** muito interessantes.

Com condições de processamento muito mais simples, fáceis e baratas de serem utilizadas.

Possuem também as vantagens de serem processadas

- à temperatura ambiente,
- com maior velocidade,
- com custos potencialmente menores.

O FUTURO é FLEXÍVEL

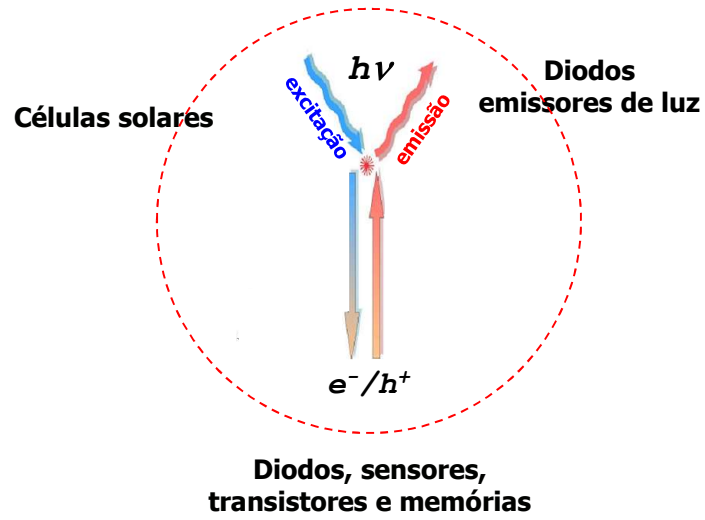


## Aplicações da Eletrônica Orgânica

- As principais aplicações desenvolvidas são:
  - *Organic light emitting diodes (OLED)*
  - *Organic thin-film transistors (OTFT)*
  - *Organic photovoltaics (OPV)*
- Além de
  - *Sensores*
  - *Memórias*
  - *RFID*

<http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=4548>

# Eletrônica Orgânica



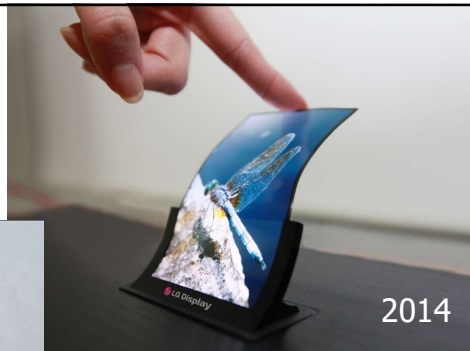
## Alguns exemplos de displays finos, leves e flexíveis



# Eletrônica Flexível



Samsung to launch flexible display, cut smartphone models in 2015.....



Displays enroláveis



## A Samsung poderia começar a comercializar telas dobráveis em 2019

4 de abril de 2017



A promessa de smartphones e tablets com **displays dobráveis** existe há algum tempo, mas, até agora, não vimos realmente essas telas no centro das atenções. Isso poderia mudar em breve, com a sinalização da **Samsung** apresentando hoje que talvez esteja pronto para lançar displays dobráveis em grande escala em **2019**.

LG Display: OLED's future promise

*"There is nothing like a dream to create the future."*  
- Victor Hugo, *Les Misérables*

0:07 / 5:06

<https://youtu.be/KSF3I-BqwVk>

Samsung Amazing Flexible Display  
[CES 2013]  
<https://youtu.be/pU0hb-2Srj4>



Motivação: Painéis grandes, externos e flexíveis



## Aplicações de OLED

TV OLED Sony 11"  
dez 2007  
US\$ 2.500,00



Como tudo começou?

# 1977: o nascimento dos polímeros eletrônicos

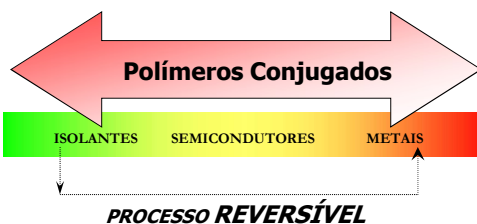
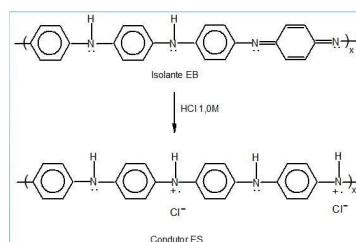


2000 - Prêmio Nobel em Química  
(A. J. Heeger, H. Shirakawa e A. G. MacDiarmid)

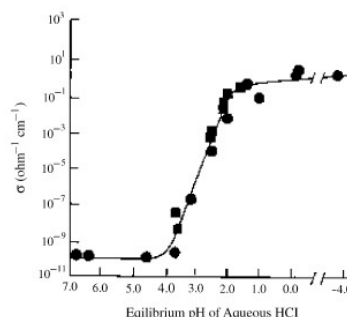
"for the discovery and development of conductive polymers"

## Polímeros condutores

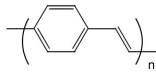
Materiais cuja condutividade elétrica depende das características físico-químicas do ambiente que os cerca  
→ transdutores em sensores químicos



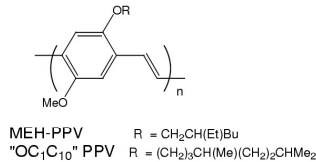
A condutividade depende do meio e é reversível!



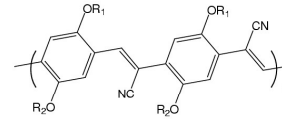
## Alguns Polímeros conjugados



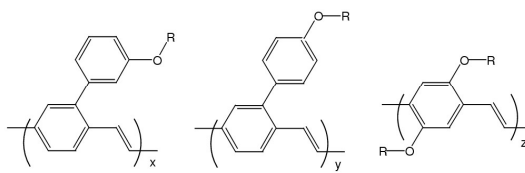
PPV



Soluble PPV's

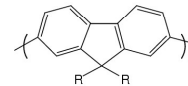


Cyano-PPV



$R = (\text{CH}_2)_3\text{CH}(\text{Me})(\text{CH}_2)_2\text{CHMe}_2$

Hoechst/Aventis/Covion PPV co-polymers



Polyfluorene

## Novos horizontes:

**Propriedades  
semicondutoras**



**Grande Potencial  
Tecnológico**

- Diodos e Transistores
- Sensores químicos e biológicos
- Dispositivos Emissores de Luz, Células solares, etc...

Eletrônica Flexível  
 Eletrônica Impressa  
 Eletrônica Vestível

*monitores finos,  
leves e flexíveis.*

**ELETRÔNICA DE "PLÁSTICO"**



## Equipamentos flexíveis!!!!



### Vantagens "potenciais"

Baixo custo e *fácil preparação*

*Baixo consumo de energia*

Grandes áreas de emissão

Flexibilidade / Espessura



Nova tecnologia

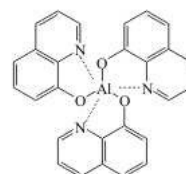
## Dispositivos de camadas finas de pequenas moléculas orgânicas ou polímeros conjugados

### Primeira demonstração de LED com pequena molécula orgânica

(camadas preparadas por evaporação térmica)

C.W. Tang, S.A. Vanslyke, Appl. Phys. Lett. 51 (1987) 913

**Alq<sub>3</sub>** = tris(8-hydroxyquinoline) aluminum (III)



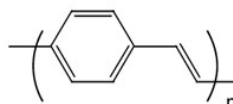
### Primeira demonstração de eletroluminescência de um polímero conjugado

(camadas preparadas por *spin-coating*)

J.H. Burroughes et al., Nature 347 (1990) 539

Patente USA 5.247.190

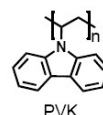
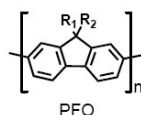
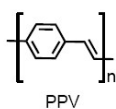
**PPV** = poly(para-phenylene vinylene)



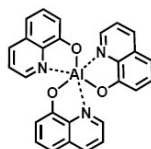
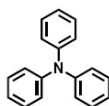
## Tipos de OLEDs

Atualmente, os tipos mais usuais de OLEDs são os poliméricos (PLEDs) e as pequenas moléculas organometálicas (OLEDs)

Polymer  
PLEDs



Organic  
OLEDs



S. Schrader, Proc. SPIE: Org. Photonic Mater. and Devices V 2003, 4991, 45.

O primeiro produto comercial usando um polímero luminescente  
(PLED monocromático)



Norelco 894XL Spectra  
"James Bond's Shaver of  
Choice" with Polymer  
Display

**\$179.99**

Lançado em 2002

Primeiro produto utilizando display de OLED

**OLED**

Organic Light-Emitting Diodes



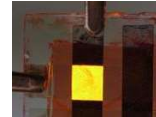
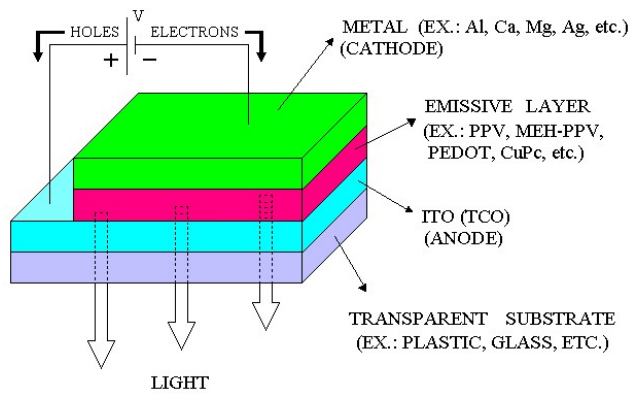
- Baixo consumo
- Alta Resolução
- Custo de Produção competitivo
- **Limitação** 15" de diâmetro

Lançamento KODAK 2003 !

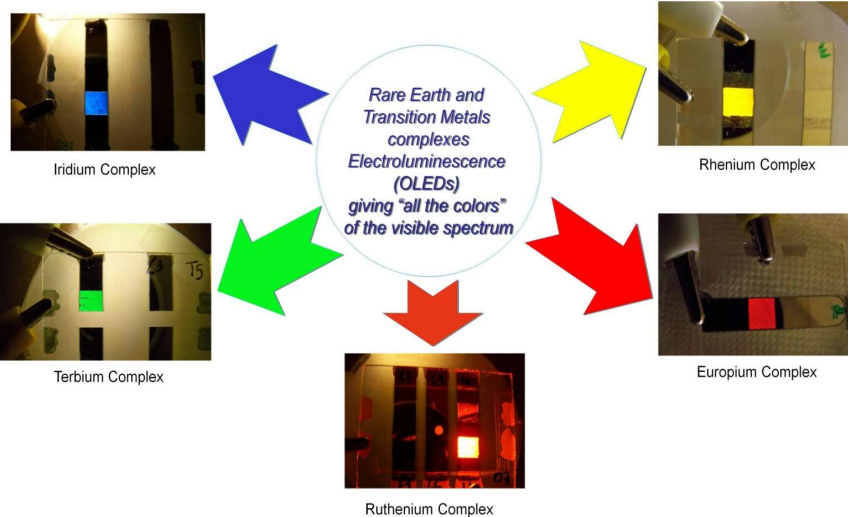


Samsung Série S utiliza AMOLEDs

# Polymeric Light-Emitting Diodes (PLED)

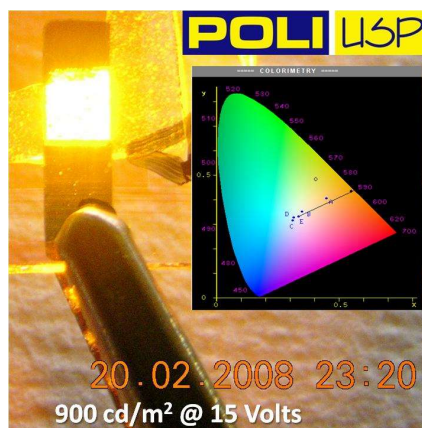
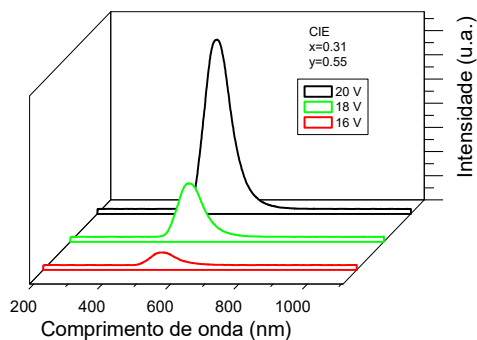


# PLEDs, OLEDs e LECs



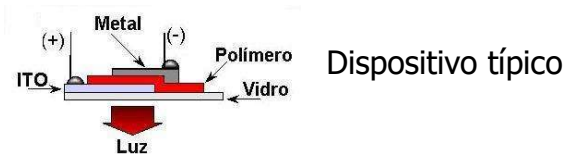


# Caracterização Óptica

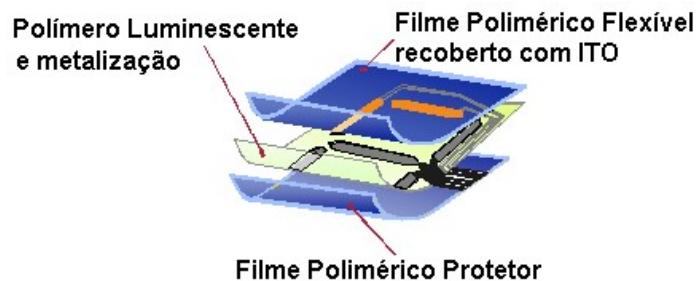


H. Gimaiel, G. Santos, E. T. A. Dirani, F. J. Fonseca,  
e A. M. Andrade

# Fabricação de dispositivos



Dispositivo típico



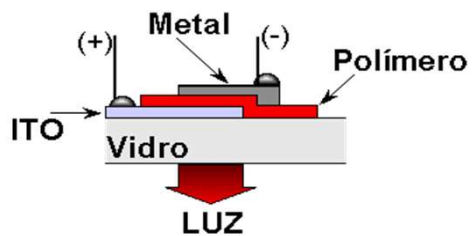
# Infraestrutura

**Glove Box com atmosfera controlada com spinner e evaporadora**

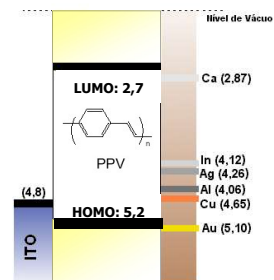


# Dispositivos Eletrônicos Poliméricos

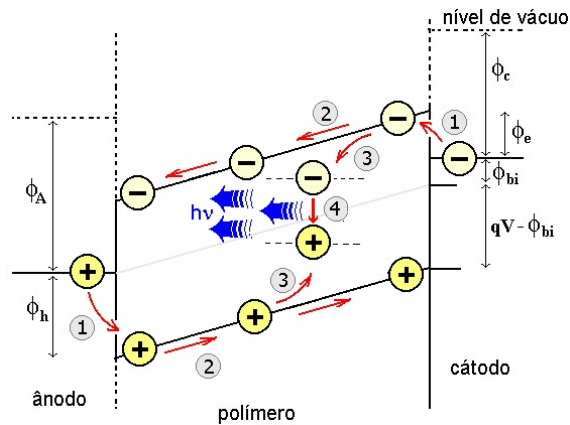
**Dispositivos Emissores de Luz**  
(PLEDs)



**Diagrama de Energias**



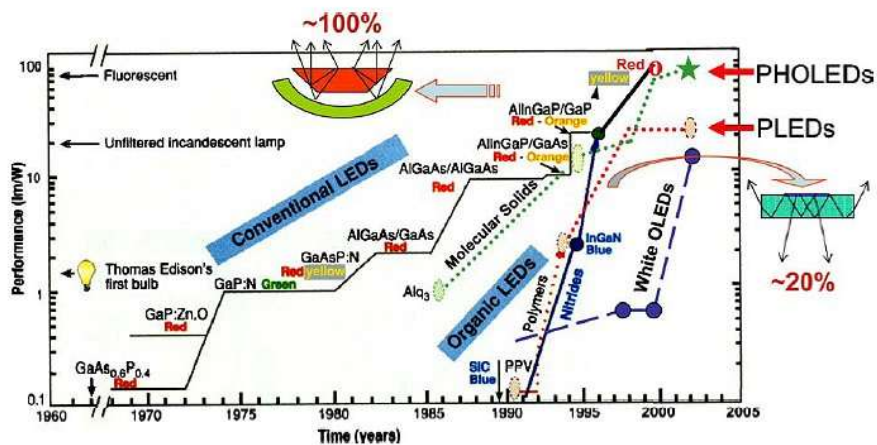
## Princípios de Funcionamento



### Passos básicos da eletroluminescência:

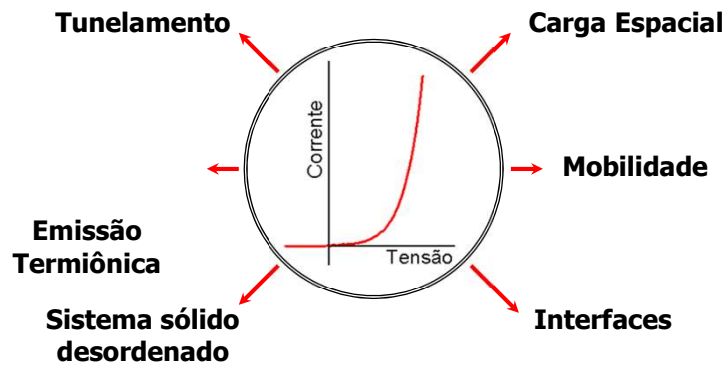
- (1) injeção dos portadores,
- (2) transporte dos portadores,
- (3) formação do éxciton e
- (4) processo de decaimento radiativo.

## Progresso do desempenho dos LEDs orgânicos e inorgânicos até 2005



Fonte: Stephen R. Forrest, The road to high efficiency organic light emitting devices, *Organic Electronics*, 4, p. 45-48, 2003.

## Processos envolvidos



## Caracterizações

**Contribuições do volume e das interfaces**

- I vs. V
- Impedância Complexa
- Capacitância
- Tempo de voo

**Estrutura eletrônica**

- Fotoluminescência
- Eletroluminescência
- Radiância espectral

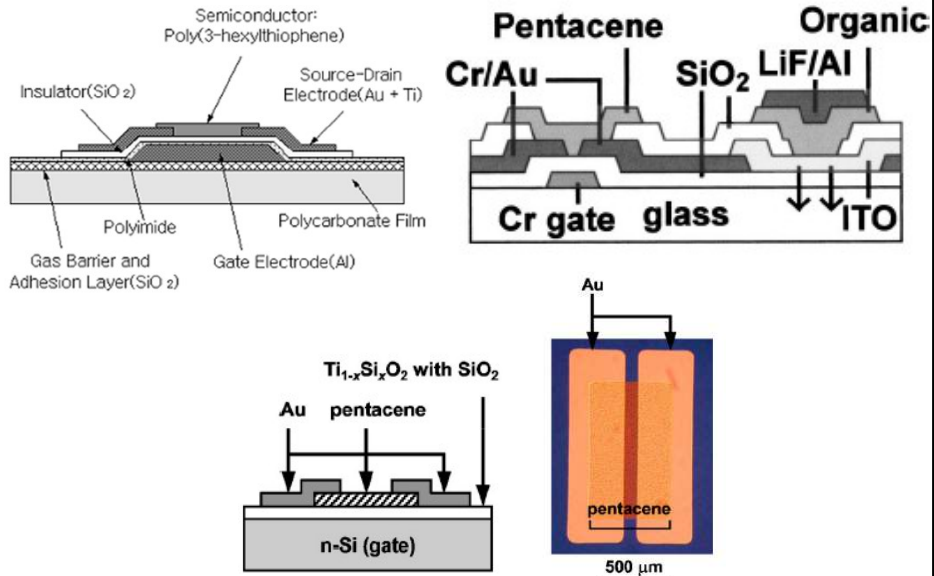
**Morfologia**

- Microscopia de Força Atômica
- Espectroscopia de Elipsometria

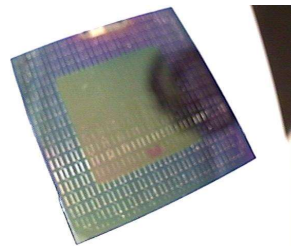
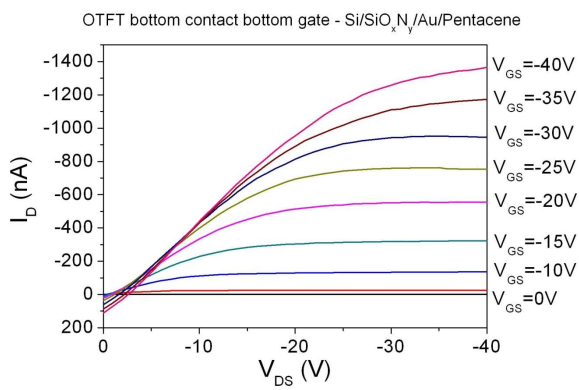
**Eficiência**

- Eficiência quântica
- Tempo de vida (*degradação*)

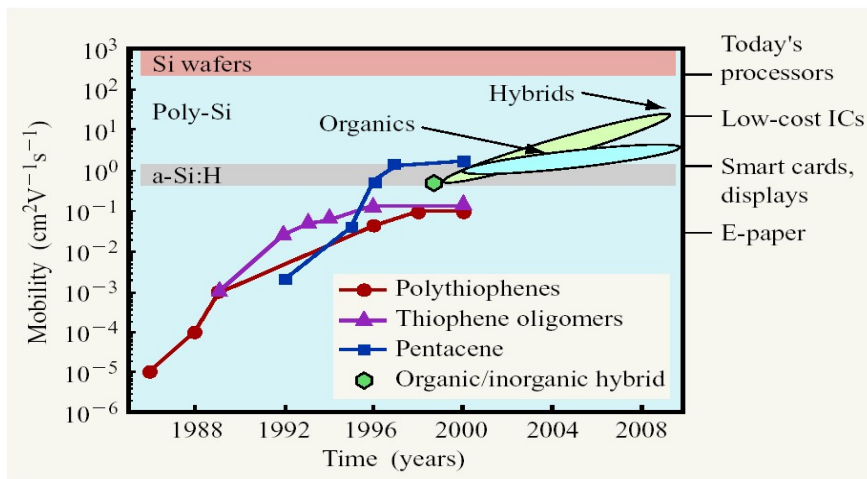
# Organic Thin Film Transistor (OTFT)



# OTFT



## Mobilidade de portadores



Mobilidades dos semicondutores orgânicos melhoraram cinco ordens de grandeza nos últimos 15 anos. Grandes esforços em pesquisa em novos materiais são responsáveis por este aumento.

## Sensores Químicos

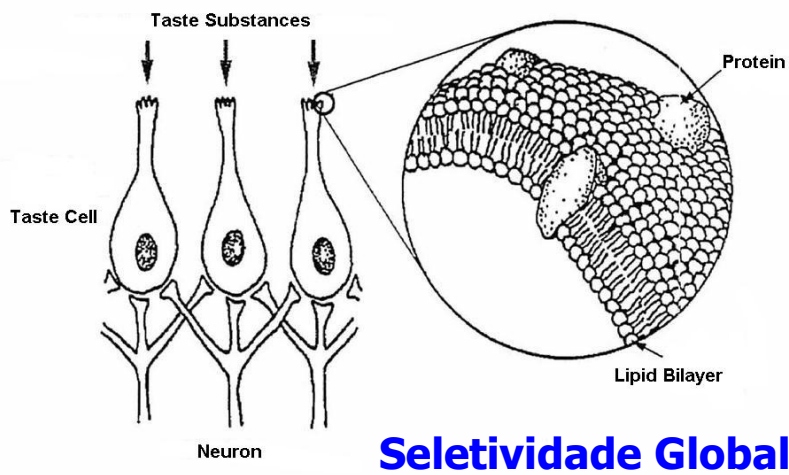
### Específico

- ✓ *Sensor específico*
- ✓ *Um único sensor*
- ✓ *Análise quantitativa*
  - Amônia
  - Radiação UV e Gamma

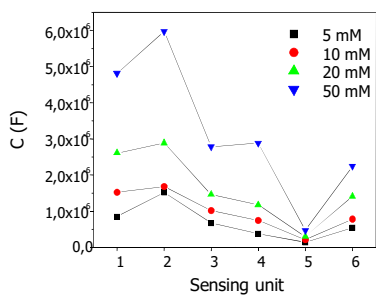
### Seletividade Global

- ✓ *Sensores NÃO específicos*
- ✓ *Arranjos de sensores*
- ✓ *Análise de dados multivariada*
- ✓ *Necessita "degustar/cheirar" analitos padrões*
- ✓ *Comparação de desempenhos*
- ✓ *Correlação com análise sensorial*
  - Língua Eletrônica
  - Nariz Eletrônico
  - LE + NE

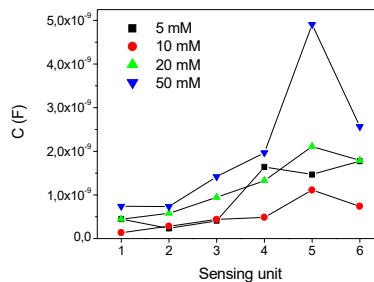
# Língua Humana



## "Impressão digital" dos líquidos



NaCl



sucrose

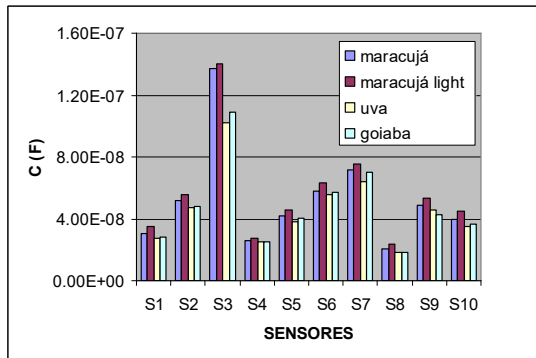
Língua Eletrônica e Seletividade Global



Arranjo de sensores não-específicos  
+ análise multivariada

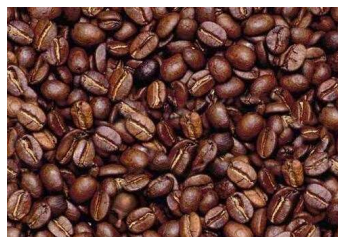


**Impressão digital** dos Líquidos



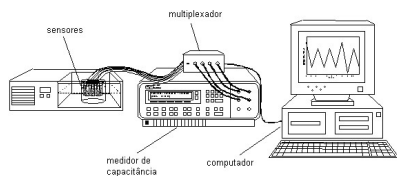
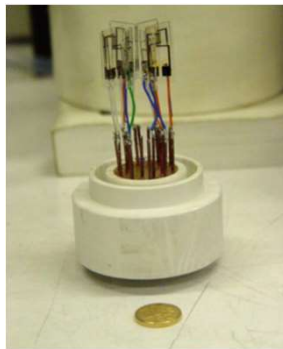
**Impressões  
digitais de sucos  
de diferentes  
frutas, obtidas  
com a LE**

Motivação





## Língua Eletrônica



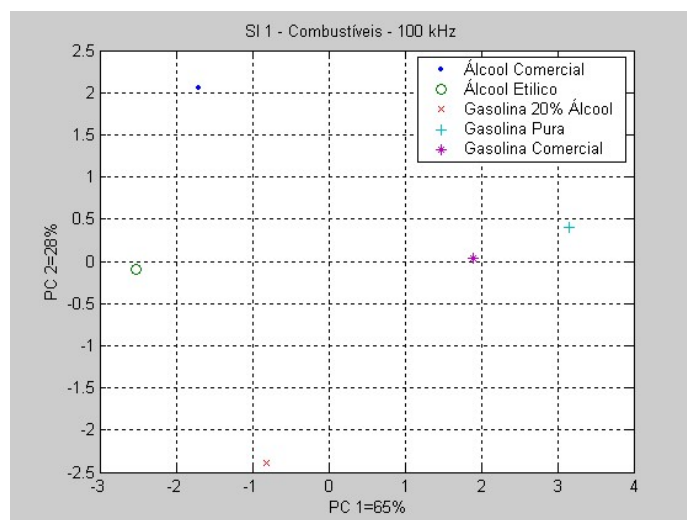
### Aplicações

✓ *Água*

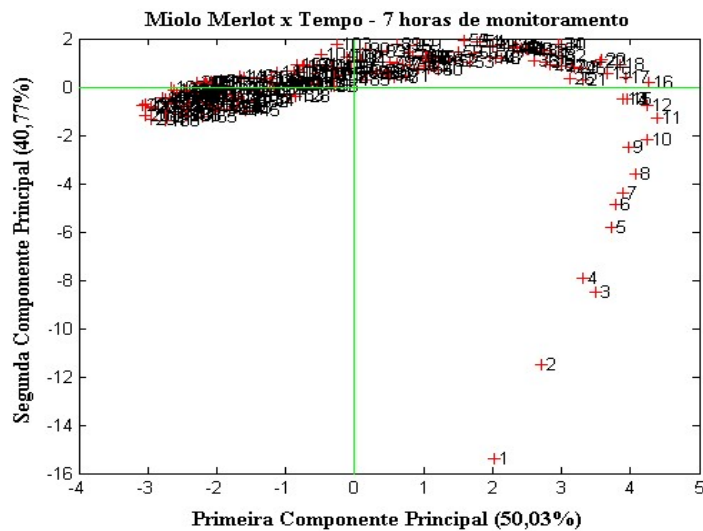
**Controle de contaminantes em reservatórios de água usados para consumo humano**

- Medida da qualidade da água em tempo real
- Baixo custo
- Aquisição de dados *in locu* e envio por sistema wireless

## SI-1 – Discriminação de combustíveis

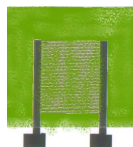


## Monitoramento de qualidade de alimentos

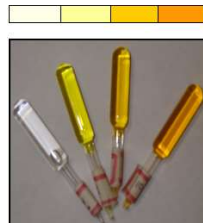


## Caracterização de sensores

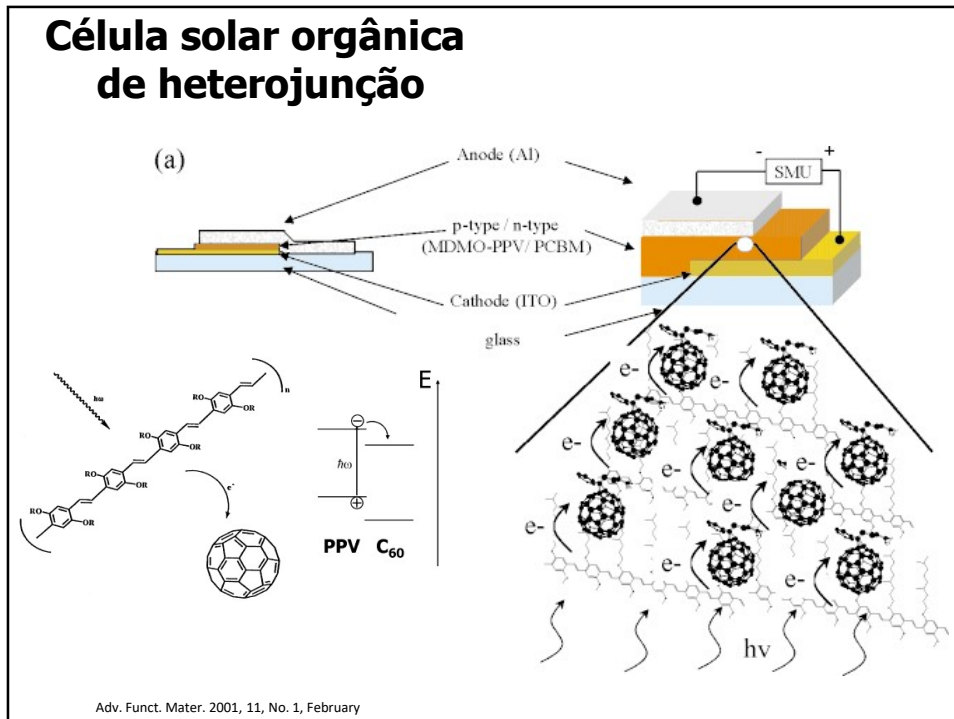
- Teste de:**
- Sensibilidade;
  - Reprodutibilidade;
  - Repetibilidade;
  - Life-time;
  - Response time;
  - Reset.



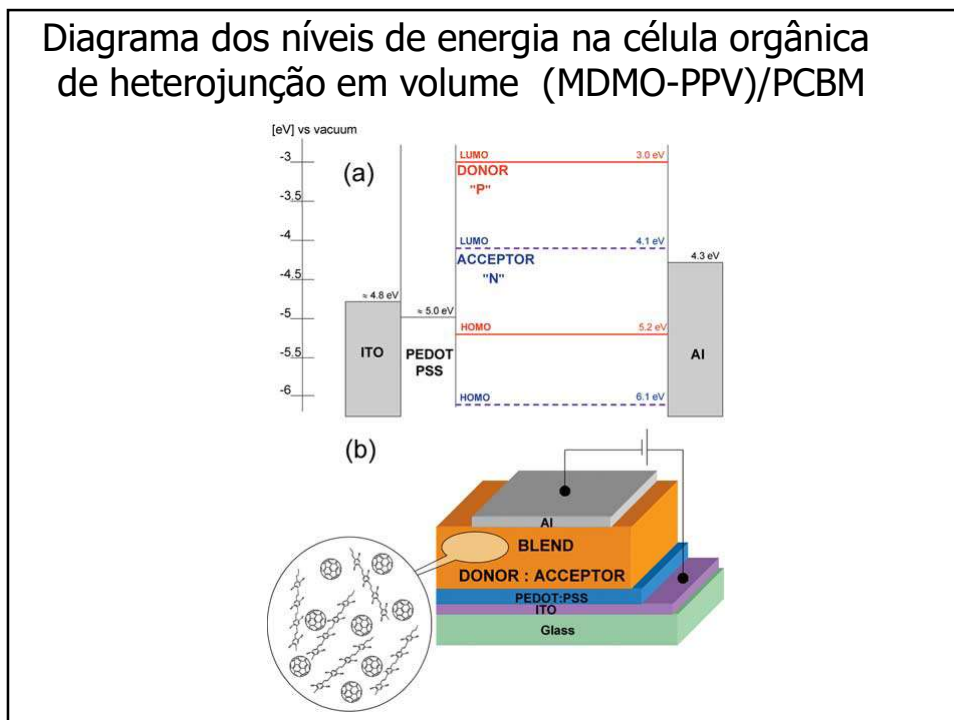
- Testes de Fabricação:**
- Microeletrodos
  - Envelhecimento
  - Monitoramento de Processos



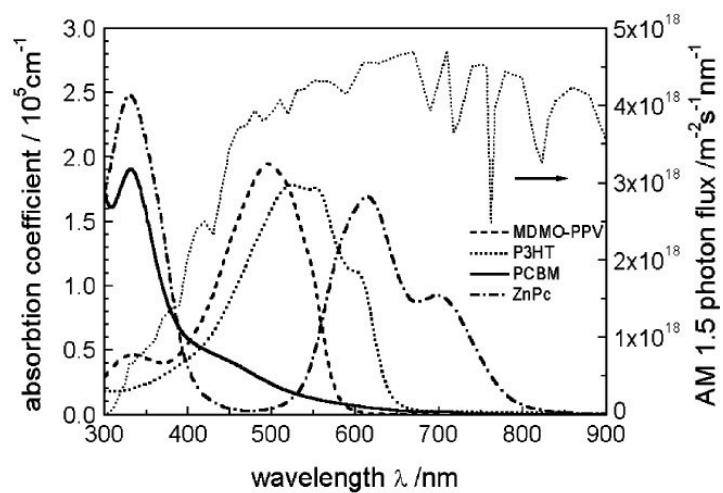
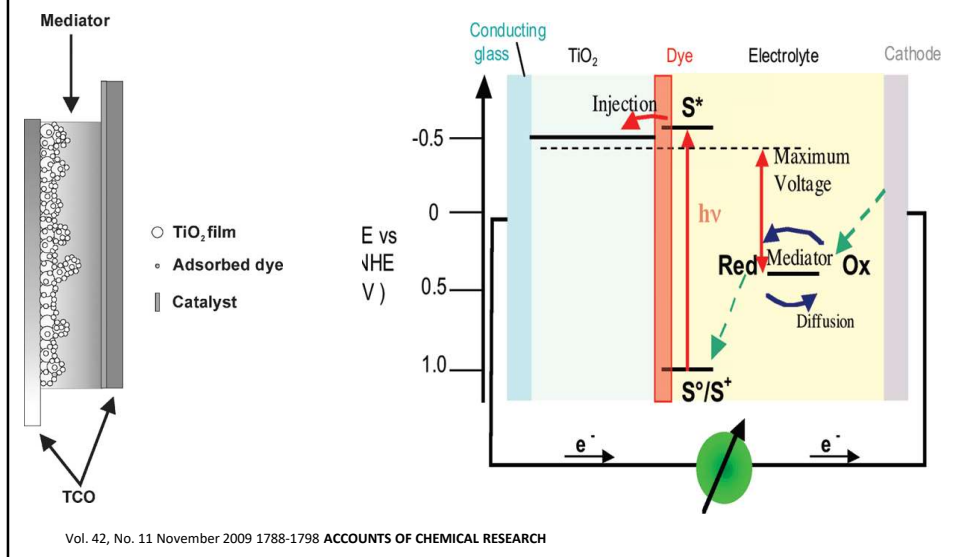
## Célula solar orgânica de heterojunção



## Diagrama dos níveis de energia na célula orgânica de heterojunção em volume (MDMO-PPV)/PCBM

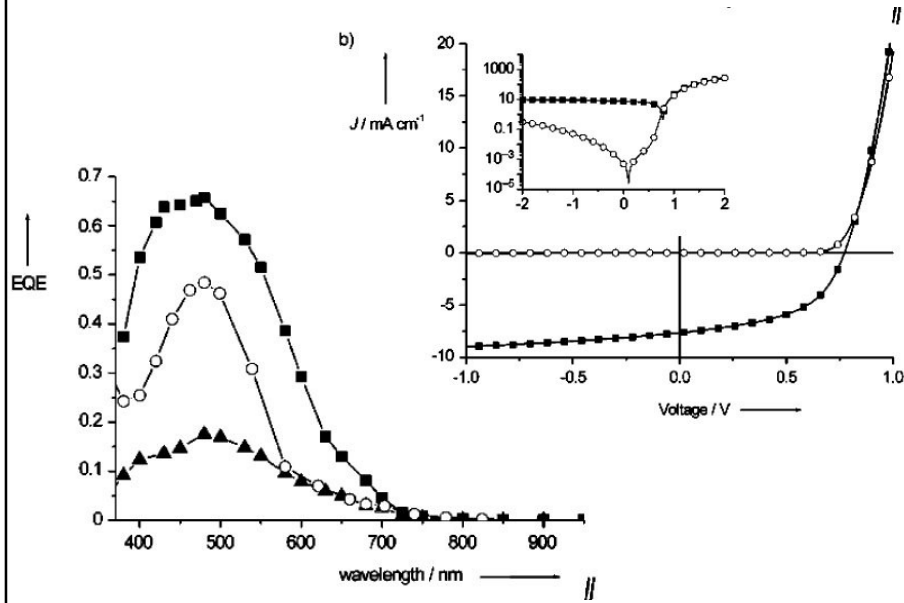


## Célula solar sensibilizada por corante ("dye-sensitized solar cell")



Coefficiente absorção de filmes de materiais comumente usados em CSO são apresentados comparativamente com o padrão AM 1.5 do espectro solar terrestre.

## Características elétricas de CSO



## Indústrias de CSO



## R2R – Roll to roll

The flexible electronics industry is advancing rapidly!



Flexible Circuitry  
(The Sonoco Institute)

**Techniques for R2R of vacuum-deposited materials are also being pursued!**



Solar Coating Machinery GmbH

# Edifícios Solares

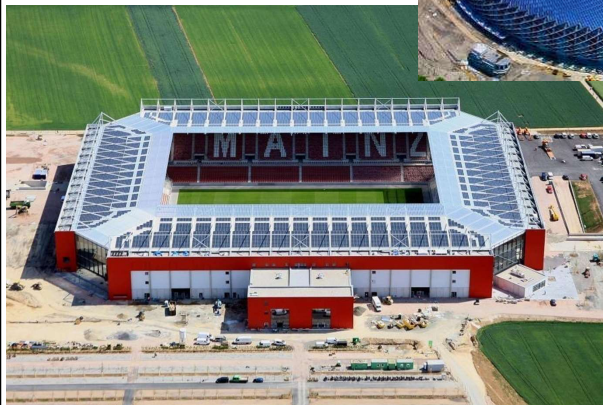


Dezhou, Província de Shangdong no nordeste da China.



# Estádios Solares

Taiwan



Alemanha

**csem** brasil

QUEM SOMOS | PRODUTOS E SERVIÇOS | TECNOLOGIA | MERCADOS

**Belo Horizonte, MG**

**Inovação e Progresso Sustentável**

O CSEM Brasil atua como ponte entre a pesquisa básica e a indústria, transformando o conhecimento científico em produtos e processos de alta tecnologia.

LUME  
Light, flexible Light.

LUME  
Lançamento Linha LUME  
de iluminação impressa

**LUME**  
Light, flexible Light.

A TECNOLOGIA ELETRÔNICA BRILHANTE IMPRESSA. Uma luzida que o Brasil não pode perder.

PRIMEIRO PRODUTO NACIONAL: A LINHA LUME. Resultados concretos de investimentos em pesquisa aplicada.

CSEM BRASIL. Ponte entre pesquisa, conhecimento e mercado: uma rede de oportunidades.

ONDE ENCONTRAR OS PRODUTOS DO CSEM BRASIL.

**Light, flexible Light.**

**csem** brasil

csembrasil.com.br | (51) 3326-1600

© 2012 CSEM Brasil. All Rights Reserved.

[csembrasil.com.br](http://csembrasil.com.br)





## Para a próxima aula

- Quim Nova 16 (1993) 560-569 De Paoli - Aplicações tecnológicas de polímeros intrinsecamente condutores - perspectivas atuais;
- Quim Nova 22 (1999) 358-368 De Paoli - Transporte de massa em polímeros intrinsecamente condutores - importância, técnicas e modelos teóricos;
- Quim Nova 24 (2001) 228-235 Leonardo G Paterno - Filmes poliméricos ultrafinos produzidos pela técnica de automontagem – preparação.