



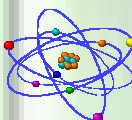

INSTITUTO  
SUPERIOR  
TÉCNICO

Departamento de Engenharia Química e Biológica

<http://dequim.ist.utl.pt/visitantes/>

# Laboratórios Abertos

14 - 22 de Fevereiro

2   8



## Palestras:

- Ambiente, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Helena Pinheiro
- Energia, que Futuro?, Prof. Dr. Clemente Pedro Nunes
- Divisão Celular no Tratamento do Cancro, Prof. Dr. Álvaro Tavares
- Que segurança?, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Fernanda Carvalho
- Qualidade dos Alimentos, Prof. Dr. José Empis
- O Laboratório de Análises do IST, Doutora Cândida Vaz
- Biotecnologia – fábricas celulares, Prof. Dr. José Cardoso Menezes
- Refinação de petróleo e produção de combustíveis, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Filipa Ribeiro
- Pózinhos milagrosos, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Paula Soares
- A Química e a Medicina na Rota das Novas Descobertas, Prof<sup>a</sup> Dra<sup>a</sup> Amélia Seabra



## Visitas a um Laboratório de Investigação



## Experiências no Laboratório

- Corrosão e Novos Materiais
- Análises Químicas, para quê?
- Novas tecnologias
- A Microbiologia na época da Genómica
- Produtos Biológicos, como se produzem e purificam?



## Show do Azoto



## O que fazem os Engenheiros?

### Patrocínios:





Departamento de Engenharia Química e Biológica

## Laboratórios Abertos 2008

### MÓDULO 1

- Quente ou frio
- Qual a cor da solução
- Agita-me que eu fico azul
- Visualização da corrosão
- Paleta de cores – a couve roxa
- Presença de amido em alimentos
- Análise de alimentos
- Actividade anti-oxidante
- Quimiluminescência do pirogalol e luminol
- Análise em investigação criminal
- Análise do ar
- Raposa
- Série de equipamentos
- Tecnologia



INSTITUTO  
SUPERIOR  
TÉCNICO

# Laboratórios Abertos

Departamento de Engenharia Química e Biológica

## *Química Visual* *Enigmas que a Química Explica*

*Descrição das experiências laboratoriais*

**1. *Agita-me que fico azul.***

*Uma reacção redox que explica o mistério de uma solução que fica azul sempre que se agita.*

**2. *Quente ou frio***

*A solução que muda de cor com a temperatura revela o equilíbrio químico em acção.*

**3. *Qual a cor da solução***

*Emissão e absorção de luz explicam o enigma de uma solução que tem cores diferentes consoante a forma como se olha para ela.*

## Quente ou Frio

### A solução que muda de cor com a temperatura

Esta experiência mostra como o equilíbrio químico pode ser alterado com a temperatura.

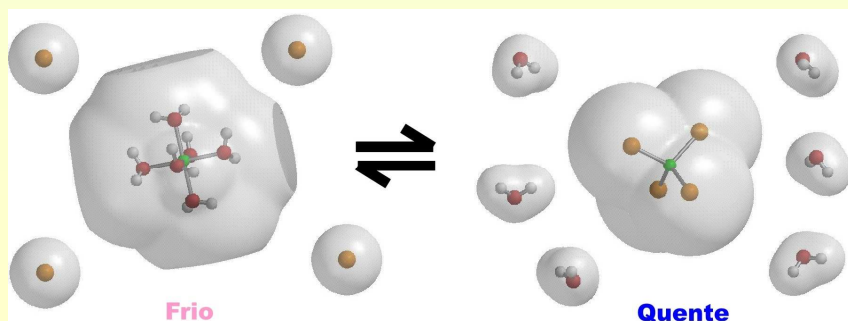
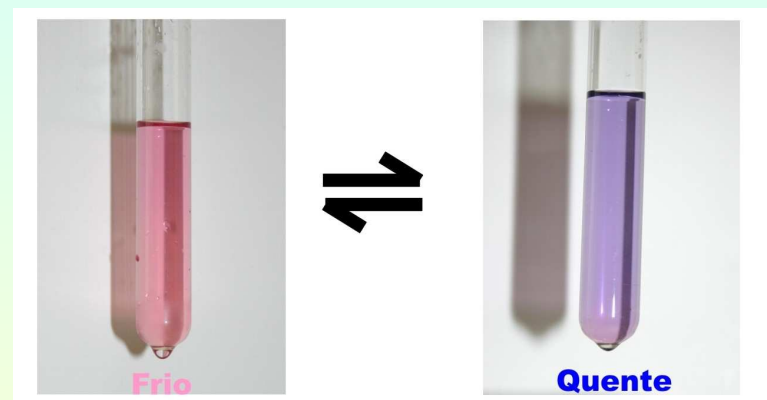
O balão que está na bancada contém uma solução que:

- Num banho de gelo apresenta uma coloração rosa pálido
- Em água a ferver apresenta uma coloração azul

Porquê?

O balão contém uma solução de cloreto de cobalto e cloreto de sódio. O cobalto, quando em solução aquosa:

- A baixa temperatura forma um complexo com seis moléculas de água. Complexo este que confere uma tonalidade rosa à solução
- Este complexo está em equilíbrio com um outro complexo com quatro cloretos, que confere à solução uma tonalidade azul.



- A reacção de formação do clorocomplexo a partir do aquocomplexo é endotérmica (consome energia). Quando se fornece energia à solução contendo o aquocomplexo este vai-se transformando gradualmente no clorocomplexo.

## Qual a Cor da Solução

### Um mistério colorido

Nesta experiência vemos como um mesmo objecto pode ter dois aspectos completamente diferentes, consoante o ângulo pelo qual o observamos.

O balão que está na bancada, quando iluminado de um dos lados com uma luz forte apresentará:

- um aspecto de uma solução límpida de um vermelho profundo, se o olharmos do lado contrário ao da iluminação
- ou um aspecto verde brilhante, se o olharmos do lado em que incide a luz.

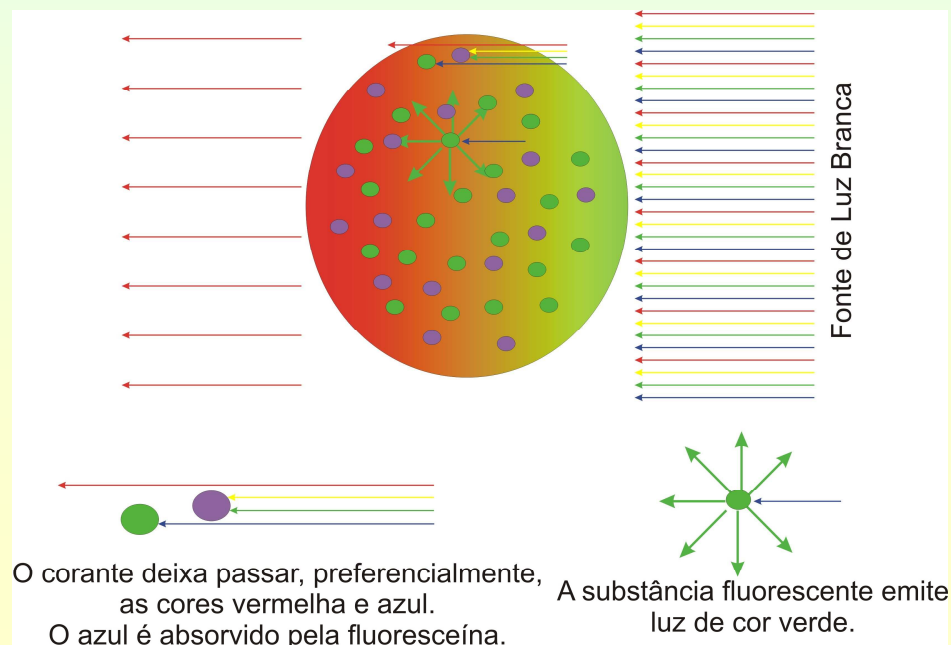
Porquê?

O balão contém dois componentes distintos:

- um corante (o azul de bromofenol em meio alcalino) que, em combinação com a fluoresceína, faz com que a solução deixe passar unicamente a radiação de cor vermelha
- uma substância fluorescente (a fluoresceína de sódio) - absorve uma parte da radiação que sobre ela incide e emite luz com uma tonalidade verde.

Assim, do lado do balão em que incide a luz, o efeito preponderante será a emissão provocada pela fluoresceína, dando à solução um aspecto verde brilhante. Do lado oposto à incidência da luz, a solução apresenta o aspecto de solução límpida de cor vermelha.

Esta experiência permite ainda demonstrar a diferença entre luz emitida e luz absorvida. A cor da solução que se observa do “lado vermelho” deve-se à absorção de componentes da luz branca incidente por parte do corante. Esta é a forma como, por exemplo, os óculos escuros alteram a cor do ambiente de quem olha através deles. Pelo contrário, a cor da solução que se observa do “lado verde” deve-se à emissão de luz por parte da fluoresceína. A emissão é a forma pela qual, por exemplo, as imagens são construídas numa televisão.



## Agita-me que eu fico azul

Esta experiência mostra como a transferência de matéria pode ser importante para uma reacção química.

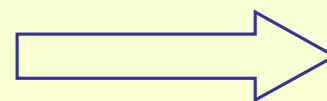
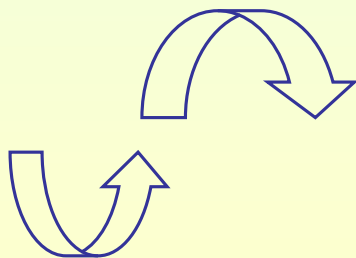
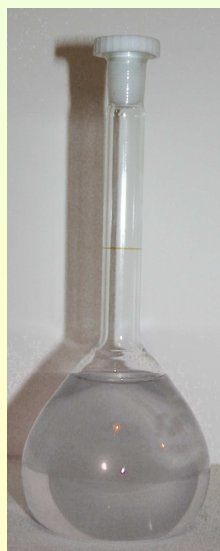
O balão que está na bancada tem uma solução que:

- Quando em repouso se apresenta incolor
- Quando se agita apresenta uma coloração azul

Porquê?

O balão contém uma solução básica de glucose com azul de metileno:

- O azul de metileno é reduzido pela glucose - incolor
- Quando a solução é agitada o azul de metileno é oxidado pelo oxigénio do ar - tonalidade azul
- Quando a solução volta ao estado de repouso o azul de metileno é novamente reduzido pela glucose, fazendo com que a solução volte a ficar incolor.



## Visualização da corrosão

### Como se forma a ferrugem ?

1. Pregos de ferro (Fe) que se “transformam” em iões  $\text{Fe}^{2+}$ .  
Visualização - cor azul do composto  $\text{Na} \{ \text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \}$
2. Quando os iões de  $\text{Fe}^{2+}$  se formam,  
 $\text{H}^+$  passa a  $\text{H}_2$   
ou  
 $\text{O}_2$  passa à forma de  $\text{H}_2\text{O}$   
com a consequente aumento do pH - **côr rosa da fenolftaleína.**  
  
Onde ocorre a corrosão ?  
  
Pode evitar-se ?

O Grupo de Estudos de Corrosão do IST esteve envolvido na escolha das ligas a utilizar nas moedas de 100\$00 e 200\$00.

Pretendia-se um par constituído por ligas de cor diferente, com preço aceitável e que fossem compatíveis entre si.



- As ligas deveriam ter potenciais electroquímicos semelhantes, para evitar fenómenos de corrosão galvânica que degradariam o aspecto e poderiam levar à separação entre as duas partes.

- Os testes foram feitos em vários pares de ligas, num meio que simulava o suor das mãos
- Escolheu-se o par onde a corrente galvânica fluindo entre as duas ligas metálicas era menor



## Corrosão de próteses em contacto com os tecidos vivos:

Aço inoxidável 316L  $\rightarrow$  Fe / Cr18 / **Ni10** / Mo 3 Corrosão  $\rightarrow$  Libertação de iões Ni



Próteses contendo Ni

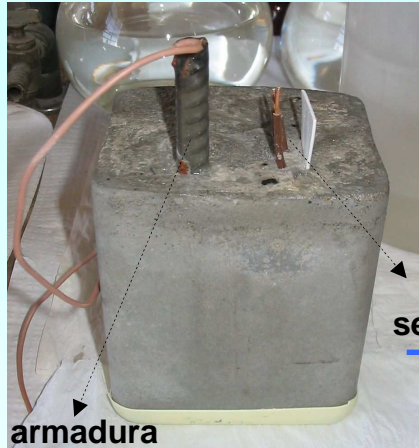
- Cerca de 10% da população feminina e 6% da população masculina são alérgicos ao **Níquel**.



Dermatite por contacto com Ni



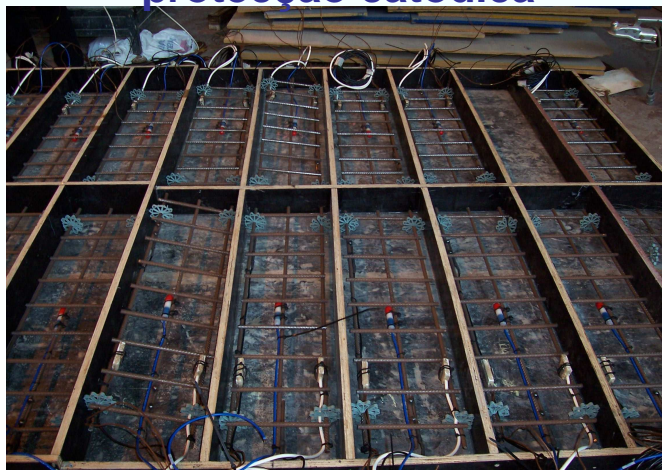
## CONTROLE DA CORROSÃO DAS ARMADURAS EM ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO POR PROTECÇÃO CATÓDICA



Estudos de laboratório:  
- Mecanismos de corrosão.  
- Desenvolver metodologias de protecção.

Testes piloto para quantificar o desempenho da técnica de protecção catódica

Provetes de betão armado



Estrutura real  
Protecção catódica



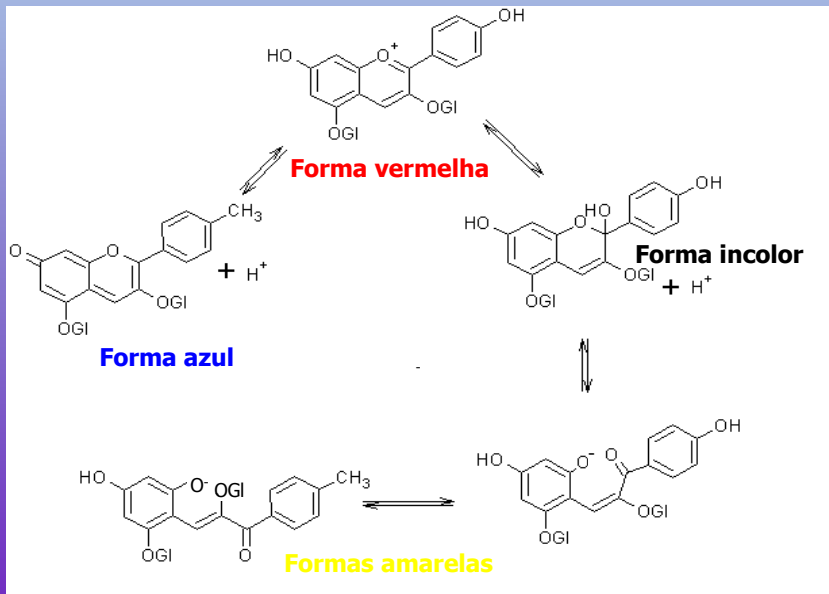
Ligação às armaduras e eléctrodos

Unidade de controle e monitorização



## Paleta de cores – a couve roxa

A couve roxa contém **antocianinas**, que são pigmentos responsáveis por uma variedade de cores de frutas, flores e folhas. As suas cores variam do vermelho ao amarelo em função do pH da solução em que se encontram.



pH	Cor das antocianinas
1 – 5	vermelho / rosa
6 – 7	violeta
8 – 10	azul
11 - 12	verde
> 13	amarelo



## Presença de amido em alimentos

Os hidratos de carbono são a principal fonte de energia para o corpo, mas também desempenham um papel importante no prazer que sentimos quando nos alimentamos visto que adicionam sabor doce, aroma e textura a uma larga variedade de alimentos que de outra forma não conseguiríamos ingerir.



### Identificação de amido

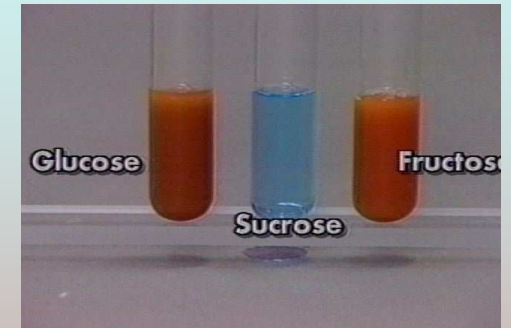
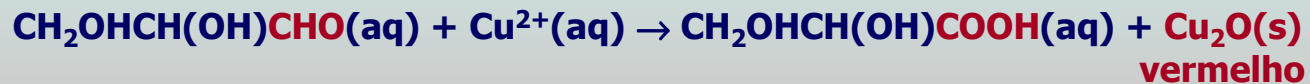
$\text{amilose} + \text{I}_2 \rightleftharpoons \text{complexo azul}$

$\text{amilopectina} + \text{I}_2 \rightleftharpoons \text{complexo púrpura}$

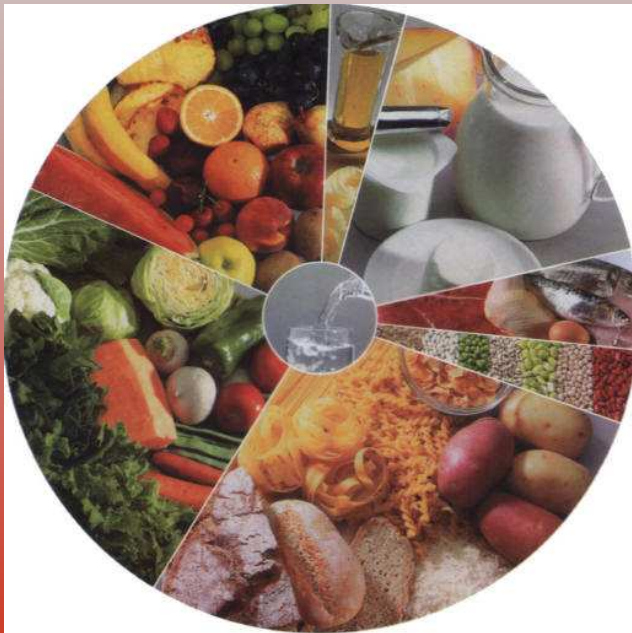
**Amido: 25% amilose + 75% amilopectina**

## ANÁLISE DE ALIMENTOS

### Identificação de açúcares redutores



Teste de Benedict



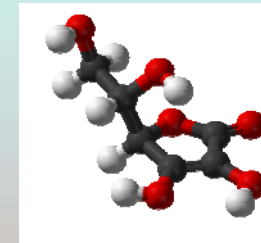
### Identificação de amido



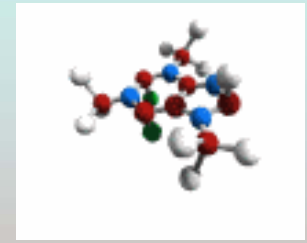
Amido: 25% amilose + 75% amilopectina

## ACTIVIDADE ANTI-OXIDANTE

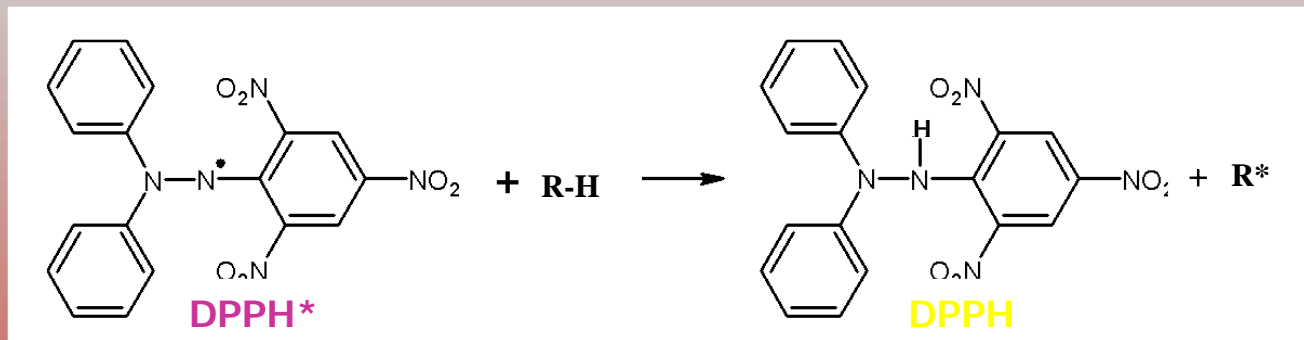
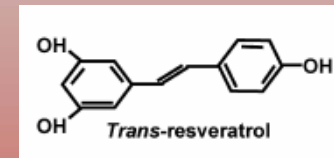
O nosso organismo produz radicais livres que são importantes no combate a inflamações. Porém, quando produzidos em excesso, são responsáveis por danos celulares e estão associados ao cancro e a processos degenerativos tais como o envelhecimento. Os anti-oxidantes interferem no processo de oxidação reagindo com os radicais livres.



vitamina C



cafeína



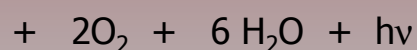
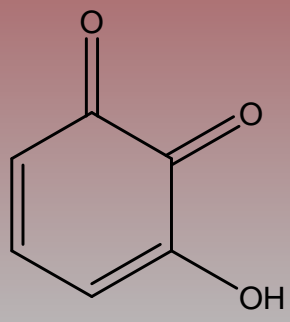
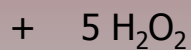
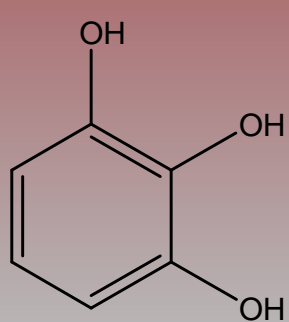
Conservação de cosméticos e anti-envelhecimento cutâneo

Anti-age para todas as idades e "gostos"

para ativos anti-age são a atender ao desejo dos consumidores, racionalidade e diversidade.

ANTI-OXIDANTES	ALIMENTOS
Vitamina A	Melão, pêra, abóbora, cenoura
Vitamina C	Laranja, kiwi, morango, espinafres
Vitamina E	Nozes, amêndoas, grão, lacticínios
Carotenóides	Tomate, pimento, goiaba, melancia
Flavenóides	Chá, vinho tinto, cebola, soja, maçã
Selénio	Frutos do mar, carne, vegetais, alho
Zinco	Carne vermelha, peixe, aves

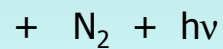
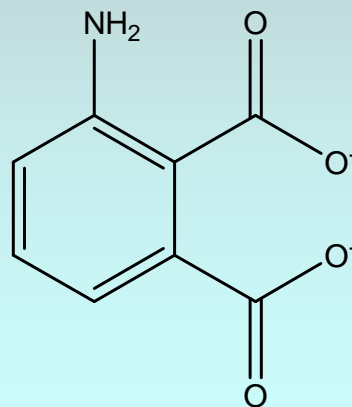
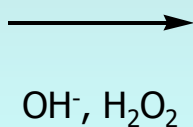
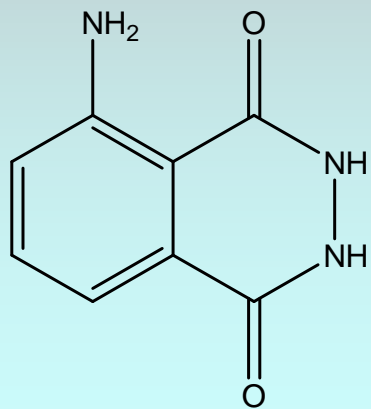
## Quimiluminescência do Pirogalol e do Luminol



$$\lambda = 633,703 \text{ nm}$$



**Pyrogallol**



$$\lambda = 431 \text{ nm}$$



**Luminol**

## ANÁLISE EM INVESTIGAÇÃO CRIMINAL

### Despiste da presença de mercúrio num preparado gástrico

**Teste de Reinsch** - Reacção de redução da espécie com formação de um depósito sólido sobre o fio de cobre.

Espécie	Depósito sobre fio cobre	Sensibilidade (mg/L)
As	Preto	5
Bi	Preto brilhante	2
Hg	Cor de prata	2
Sb	Púrpura escuro	2



## ANÁLISE DO AR

Decretos-Lei nº 78/2006 e 79/2006



Os analisadores de ar permitem dosar mais de 350 gases, vapores ou aerossóis. A quantificação realiza-se colorimetricamente de modo extremamente rápido.

### Qualidade do ar interior

Parâmetros	Concentração máxima
Partículas suspensas no ar	0,15 mg/m <sup>3</sup>
Dióxido de carbono	1800 mg/m <sup>3</sup>
Monóxido de carbono	12,5 mg/m <sup>3</sup>
Ozono	0,2 mg/m <sup>3</sup>
Formaldeído	0,1 mg/m <sup>3</sup>
Compostos orgânicos voláteis	0,6 mg/m <sup>3</sup>
Bactérias	500 UFC
Fungos	500 UFC
Legionella	100 UFC



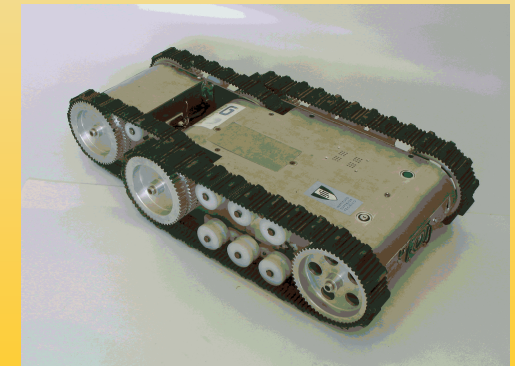
Canário



Analisador manual e tubos colorimétricos



Analisador com chips



Robot Raposa

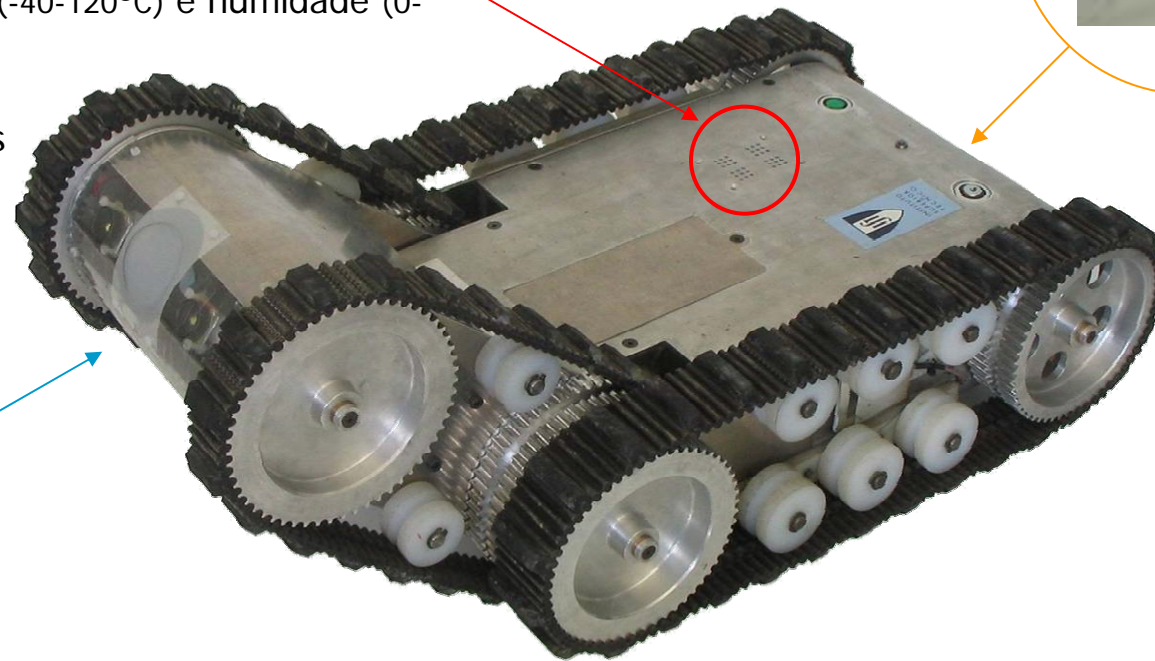
# Raposa

Robot de Busca e Salvamento, projectado para operar em ambientes hostis à presença humana

Sensores meio ambiente: gases explosivos (metano, propano, butano 500-10000 ppm), CO (20-1000 ppm), sulfureto de hidrogénio (5-100 ppm), temperatura (-40-120°C) e humidade (0-100%)

Webcams frontais LEDs  
iluminação  
Câmara térmica

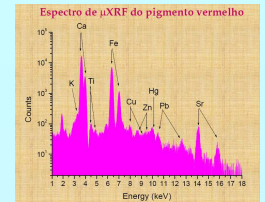
Cabo umbilical acoplável  
(alimentação, comunicações)



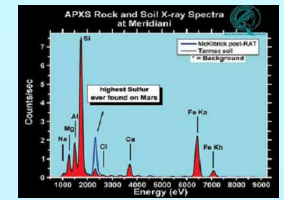
## OUTROS EQUIPAMENTOS NO IST

### • FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

Análise de pigmentos em fragmentos de cartonagem e amostras de linho de múmias egípcias

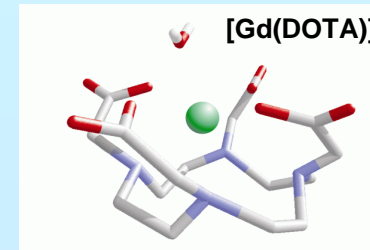


Enxofre em Marte



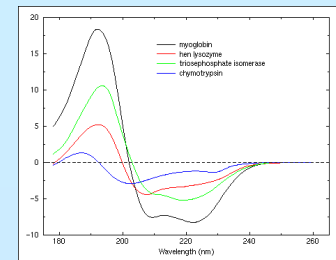
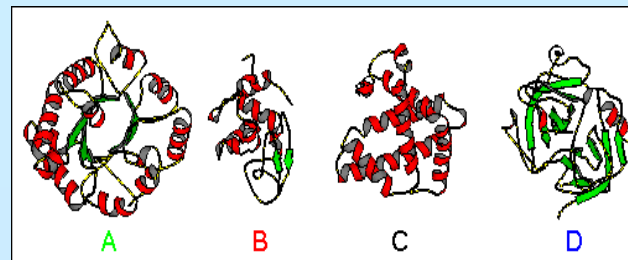
### • RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

Avaliação de lesões ósseas e dos tecidos moles



### • DICROÍSMO CIRCULAR

Estrutura das proteínas



## HPLC – CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA

- **Indústria Farmacêutica**

Controlo qualidade em formulações farmacêuticas

Ex: Ácido acetilsalicílico em comprimidos



- **Indústria Alimentar**

Vitaminas A, C e E

Cafeína em bebidas

Pesquisa de conservantes



- **Investigação Criminal e Arqueológica**

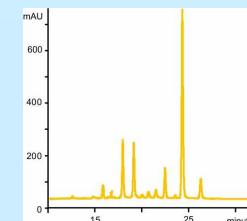
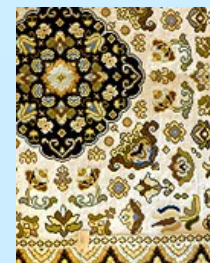
Datação de dentes

(relação D-/L- ácido aspártico em dentina)



- **Património Cultural**

Análise pigmentos em tapetes e pinturas



## CI – CROMATOGRAFIA IÓNICA

- **Prevenção e Controlo da Poluição Ambiental**

Controlo de qualidade (catiões e aniões) em águas de abastecimento e engarrafadas



Nitrato em resíduos (lixeiros)



- **Saúde**

Controlo de qualidade (catiões e aniões) em águas de hemodiálise



- **Património Cultural**

Composição das eflorescências em azulejos



## AA – ABSORÇÃO ATÓMICA COM CHAMA

- **Prevenção e Controlo da Poluição Ambiental**

Metais pesados em efluentes



Metais em plantas de solos contaminados



Digestão em micro-ondas

- **Indústria Alimentar**

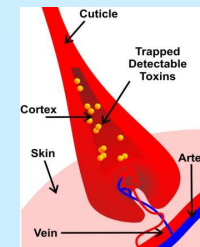
Cu e Fe em vinhos e aguardentes

Ca em produtos lácteos



- **Investigação Criminal**

Detecção de arsénio na pele, unhas e cabelo





INSTITUTO  
SUPERIOR  
TÉCNICO

# Laboratórios Abertos

Departamento de Engenharia Química e Biológica

## QUÍMICA E O AMBIENTE

### Trabalhos expostos

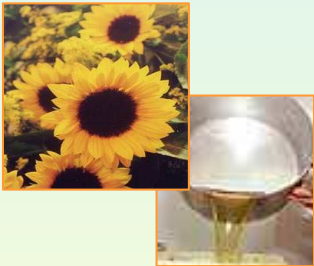
1. *Desenvolvimento de Catalisadores para Tratamento dos Gases de Combustão / Escape dos Automóveis*
2. *Produção de Biodiesel a partir de Óleos de Fritura Usados.*
3. *Processos com Membranas para Tratamento de Águas /Efluentes*
4. *Aplicação de Polímeros Super-Absorventes para Tratamento de Efluentes*
5. *Utilização de espumas de poliésteres de célula aberta com características hidrofóbicas capaz de conter e absorver derrames de petróleo no mar*
6. *Sistema de controle de nível*
7. *Máquina de refrigeração*



## Fontes de energia alternativas ao Petróleo

### Actuais

Biodiesel



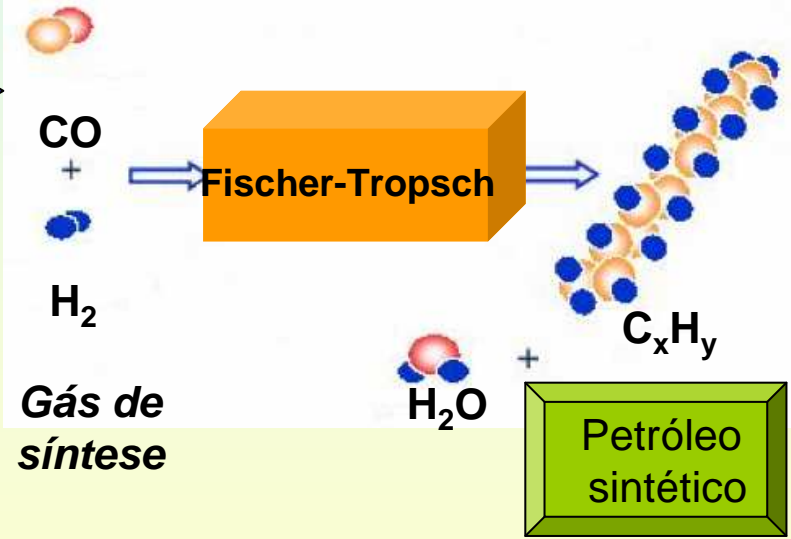
Bioetanol



Electricidade



### Futuras



Biocombustíveis 2ª geração

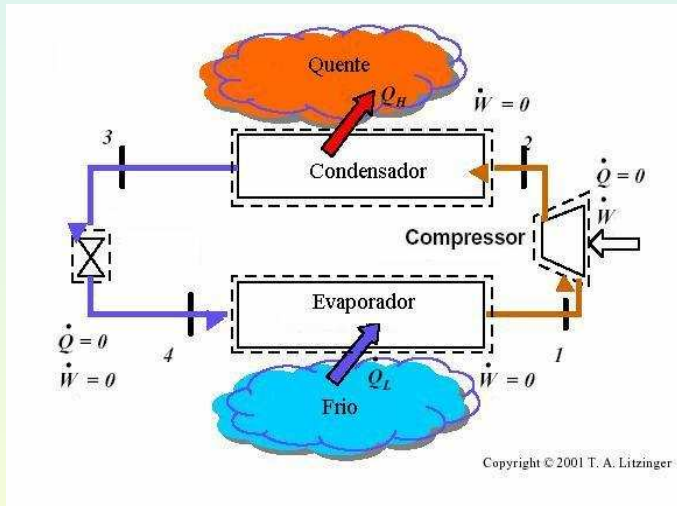
Hidrogénio





## Máquina de Refrigeração / Bomba de Calor

### Ciclo de Refrigeração



**Fluidos Refrigerantes → CFC; HCFC; HFC →**  
**Destruição da Camada de Ozono / Efeito de Estufa**



**R134 → C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>F<sub>6</sub> → sem Cl →**  
**→ Destruição Camada de O<sub>3</sub> - ✗ (não)**  
**Efeito de Estufa - ✓**



**Sistema de Condicionamento de Ar Deficiente**



**Má Qualidade do Ar interior →**  
**Síndrome do Edifício Doente**



Departamento de Engenharia Química e Biológica

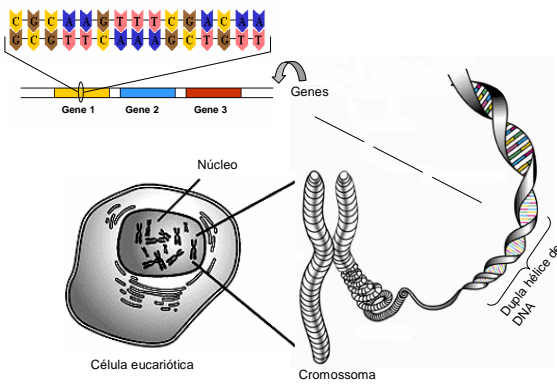
## Laboratórios Abertos 2008

### MÓDULO 2

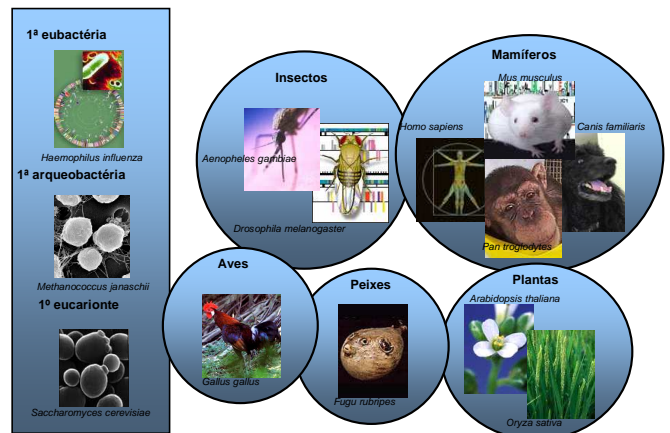
- Mecanismos de resistência a fármacos: estudos dinamizados pela sequenciação de genomas
- Mecanismos de infecção bacteriana: relação bactéria-hospedeiro na fatura e na doença
- Produção de gelano: um polissacárido extracelular de interesse industrial
- Produtos biológicos, como se produzem e purificam?

## MECANISMOS DE RESISTÊNCIA A FÁRMACOS: ESTUDOS DINAMIZADOS PELA SEQUENCIAÇÃO DE GENOMAS

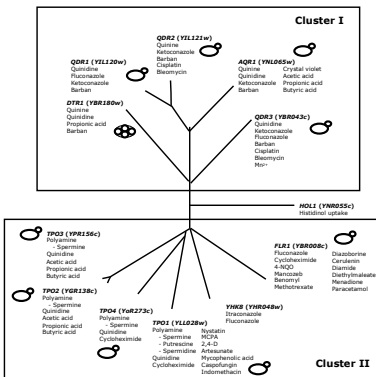
### Sequenciação de genomas



### Exemplos de organismos com o genoma sequenciado

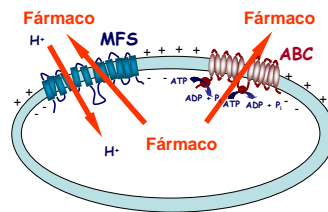


### Milhares de genes de função desconhecida Exemplo da família MFS-MDR da levedura *Saccharomyces cerevisiae*

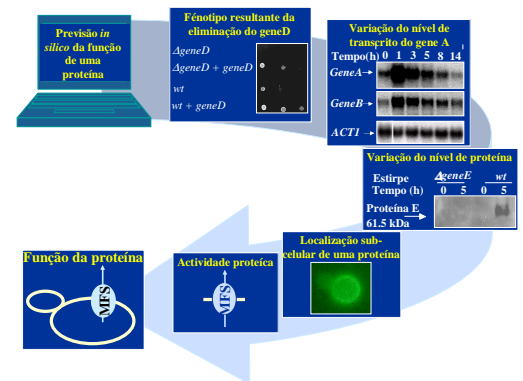


### Análise funcional: da ORF (grelha de leitura aberta) à função fisiológica

#### TRANSPORTADORES DE MÚLTIPLAS DROGAS NA LEVEDURA

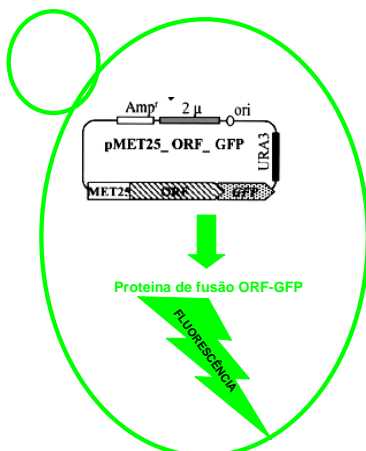


Estudos em levedura têm conduzido à identificação de determinantes e mecanismos de resistência a agentes antimaláricos, anticancerígenos e antifúngicos em eucariotas superiores



### Localização subcelular de uma proteína

GFP= Green Fluorescence Protein da alforreca *Aequoria victoria*

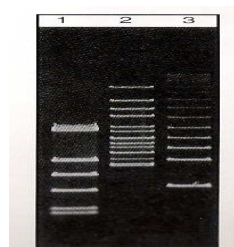


Extracção de DNA plasmídico

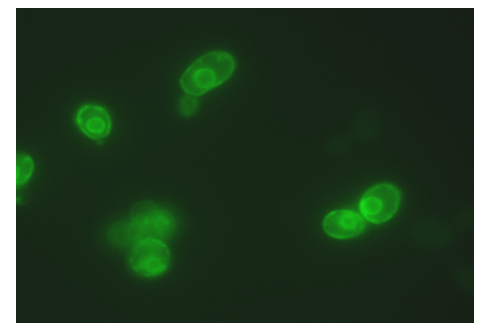
Hidrólise com endonucleases de restrição

Separação dos fragmentos de restrição por electroforese em gel de agarose

Visualização e fracionamento dos fragmentos por irradiação com luz ultravioleta



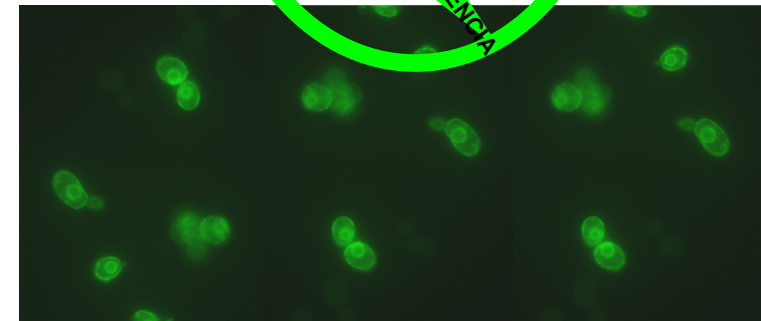
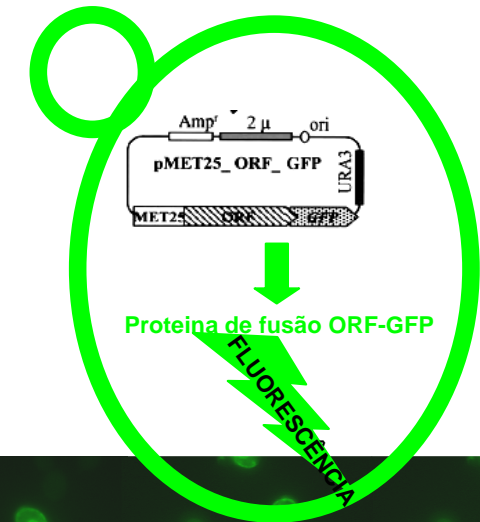
Visualização por microscopia de fluorescência da proteína em estudo



# LABORATÓRIOS ABERTOS

ACTIVIDADE **A1**  
MECANISMOS DE RESISTÊNCIA A FÁRMACOS

Microscópio de Epi-fluorescência



Visualização da localização sub-celular de uma proteína em células de levedura que sintetizam proteína híbrida resultante da fusão da proteína de interesse com a proteína GFP (Green Fluorescent Proteína de *Aequoria victoria*)



INSTITUTO  
SUPERIOR  
TÉCNICO

# DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E BIOLÓGICA

## MECANISMOS DE RESISTÊNCIA A FÁRMACOS

### Análise transcritômica

Controlo

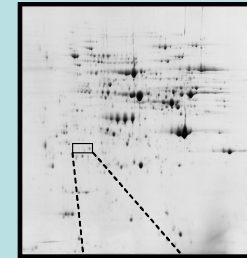


Stresse

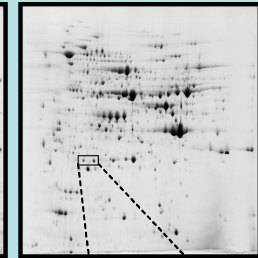


### Análise proteómica

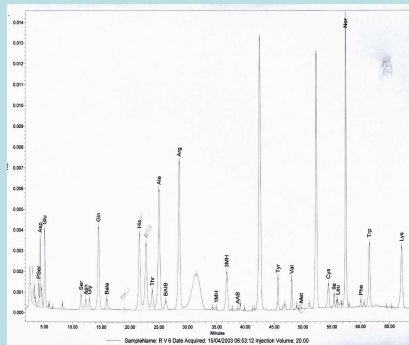
Controlo



Stresse

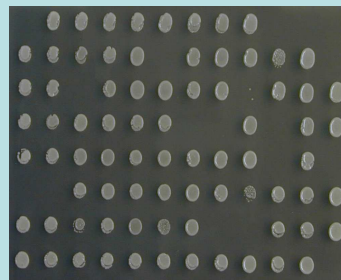


### Análise metabolómica

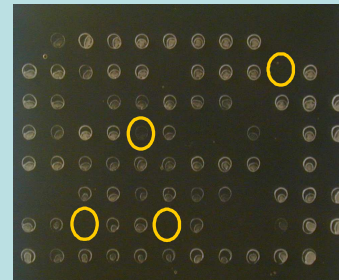


### Análise quimiogenómica

Controlo



Stresse

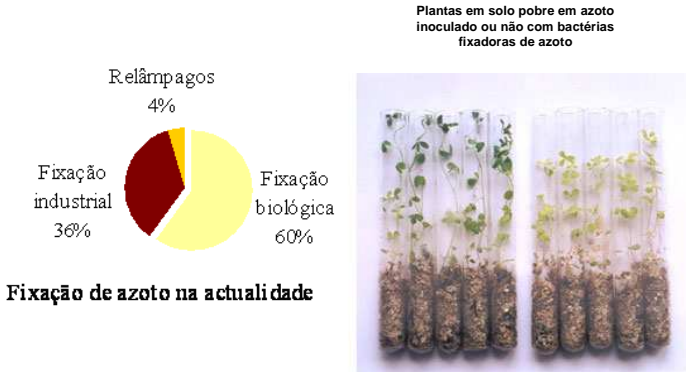


### Ferramentas computacionais para análise bioinformática

Base de dados  
**YEASTRACT**  
[www.yeasttract.com](http://www.yeasttract.com)

## MECANISMOS DE INFECCÃO BACTERIANA: RELAÇÃO BACTÉRIA-HOSPEDEIRO NA FARTURA E NA DOENÇA

### Infeção de raízes de plantas leguminosas com bactérias fixadoras de azoto do género *Rhizobium*



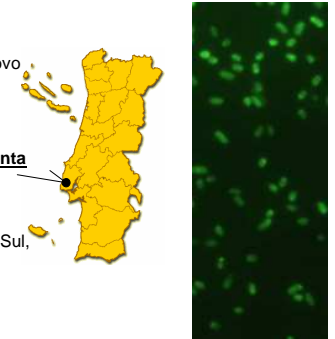
### Infeção de doentes de fibrose quística com bactérias do complexo *Burkholderia cepacia*

#### Fibrose Quística em Portugal

- 1 em cada 5000 recém-nascidos, 30 novo pacientes/ano
- Aproximadamente 300 pacientes

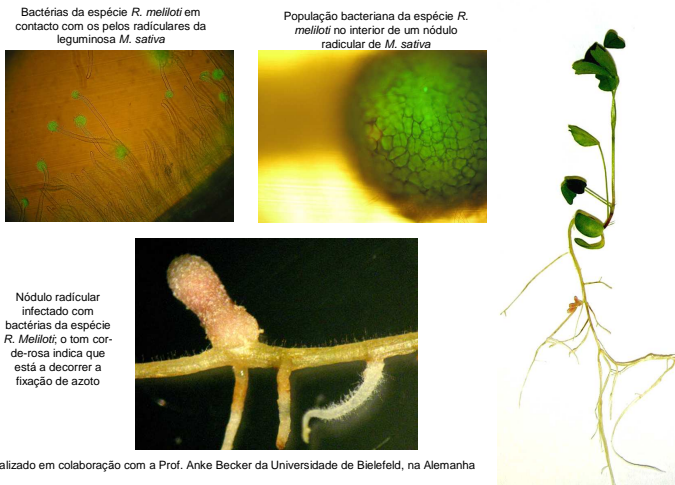
#### Centro de Fibrose Quística do Hospital de Santa Maria em Lisboa

- 100 pacientes com Fibrose Quística
- Acompanhamento de adultos e crianças
- Acompanha a população das zonas de Lisboa, Sul, Madeira e Açores



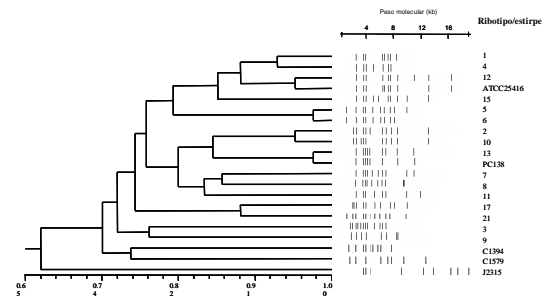
Estima-se que a colonização pulmonar dos doentes com FQ com bactérias do complexo *B. cepacia* reduza significativamente a sua sobrevivência e que cerca de 20% a 30% dos doentes sucumbam ao "síndrome da cepacia".

### Identificação dos mecanismos de infecção de raízes da planta *Medicago sativa* por *Rhizobium meliloti*



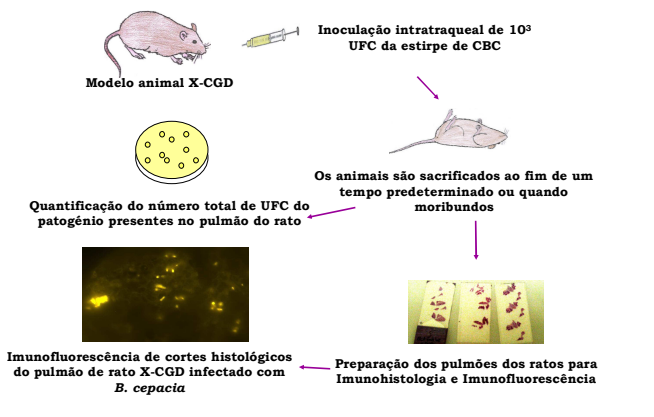
### Estudos epidemiológicos da população de bactérias do complexo *Burkholderia cepacia* em doentes com fibrose quística

#### IMPRESSÃO DIGITAL DE BACTÉRIAS



OBJECTIVO: Permite identificar clones infecciosos, avaliar a possibilidade de transmissão de estirpes entre pacientes e esclarecer a origem e a disseminação de estirpes causadoras de surtos infecciosos.

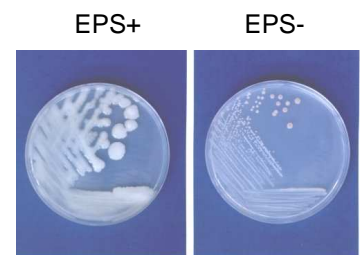
### Identificação de mecanismos de virulência e infecção usando como modelos o rato e o nemátodo *Caenorhabditis elegans*



O nemátodo *Caenorhabditis elegans* está a ser utilizado como modelo de infecção por bactérias do complexo *Burkholderia cepacia* com vista a identificar novos determinantes de virulência. Nesse sentido têm sido testada uma vasta coleção de mutantes.

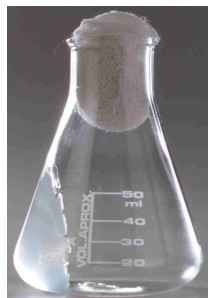


### Produção de Exopolissacárido: um dos factores que afectam a virulência, a resistência e a persistência de bactérias nos hospedeiros



## PRODUÇÃO DE GELANO: UM POLISSACÁRIDO EXTRACELULAR DE INTERESSE INDUSTRIAL

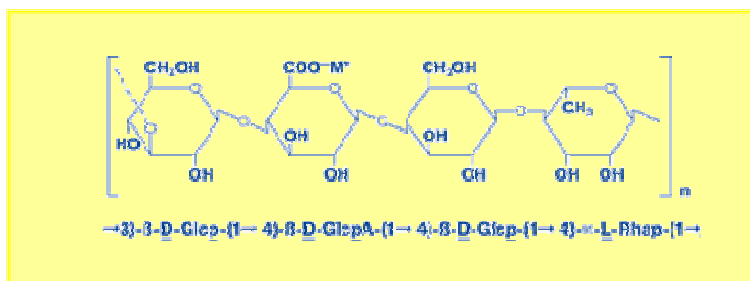
O **gelano** é um agente gelificante com interesse comercial, produzido com elevado rendimento pela estirpe bacteriana *Sphingomonas elodea* ATCC31461. É um polissacárido constituído por uma unidade tetrassacarídica linear repetitiva contendo duas moléculas de D-glucose, uma de ácido-D-glucurónico e uma de L-ramnose, na razão de 2:1:1 parcialmente esterificada com grupos glicerato e acetato.



Quando desacidado, é capaz de formar géis rígidos na presença de iões metálicos divalentes, como é o caso do  $Mg^{2+}$ .

É usado como substituinte do agar e de outras gomas tradicionais, com **aplicações várias nas indústrias farmacêutica, cosmética e alimentar.**

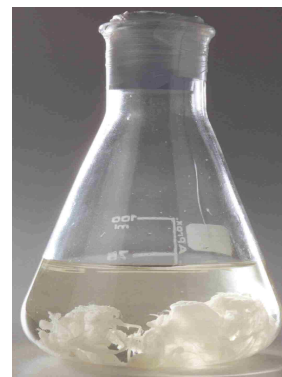
### Estrutura química do gelano



Aspecto do polissacárido gelano, após purificação e liofilização

### Recuperação do gelano de uma cultura em meio líquido de *S. elodea*

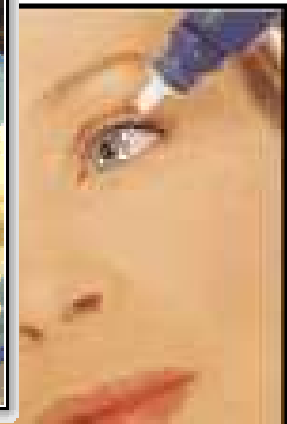
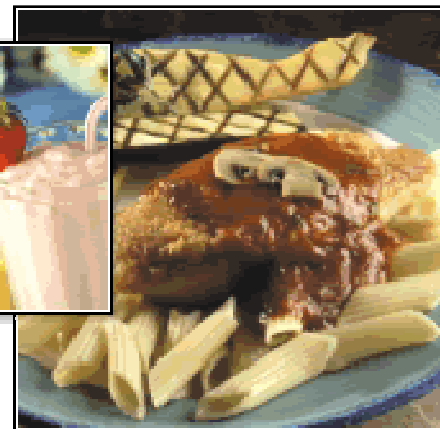
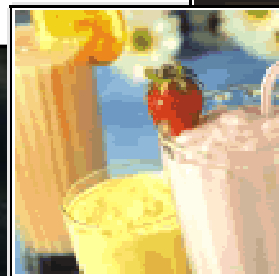
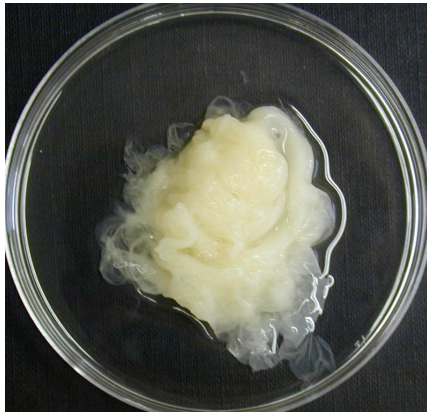
- 1 - Pipetar 2 ml de cultura para um tubo de ensaio.
- 2 – Adicionar 6 ml de etanol frio.
- 3 – Tapar o tubo com rolha de borracha ou parafilm
- 4 - Agitar até obter um precipitado de cor amarelada.
- 5 – Decantar o etanol e substituir por novo (3 ml).
- 6 – Com o auxílio de uma vareta de vidro, recolher o precipitado e deixar secar ao ar.



# *Sphingomonas elodea* e a produção de gelano



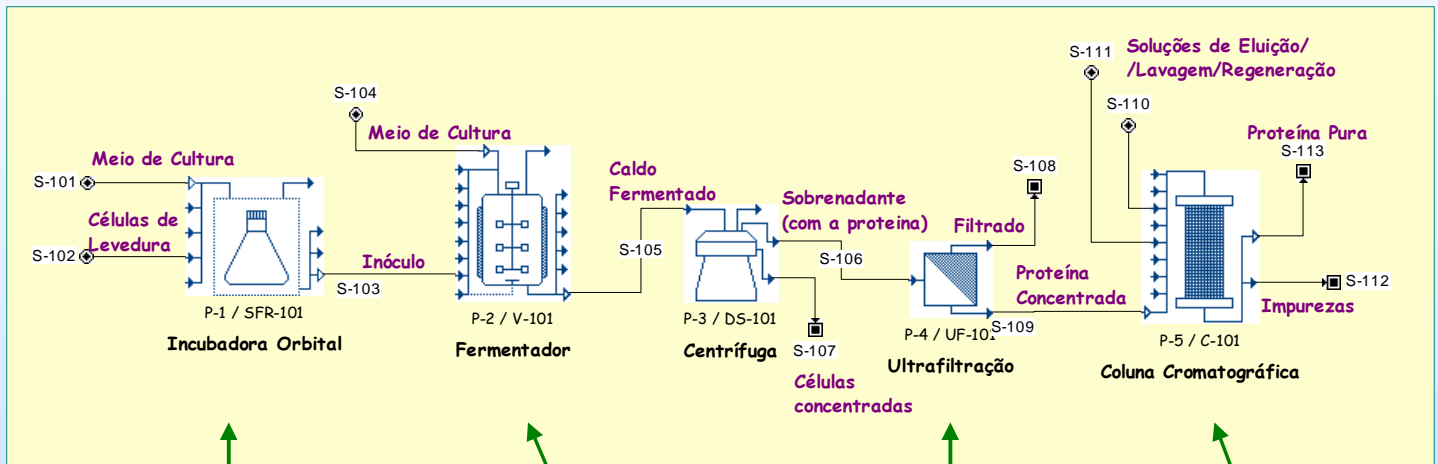
Quando multiplicada num meio de cultura apropriado, a bactéria *Sphingomonas elodea* produz o exopolissacárido **gelano**. Este exopolissacárido é um novo **gelificante comercial** que apresenta vantagens face aos convencionais. A utilização do gelano como agente gelificante, estabilizante e suspensor **nas indústrias alimentar e farmacêutica** foi aprovada inicialmente nos Estados Unidos (1992), pela Food and Drug Administration e, posteriormente, na União Europeia. O gelano é comercializado pela Kelco Comp. sob as designações Kelcogel e Gelrite.





Os **PRODUTOS BIOLÓGICOS** incluem células e seus derivados (etanol, cerveja, vinho, proteínas, enzimas, antibióticos, plasmídeos, hormonas de crescimento, etc.) com elevado interesse nas indústrias **alimentar, farmacêutica, e química.**

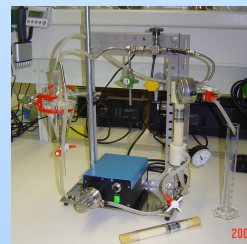
O processo de produção, separação e purificação de um produto biológico pode ser dividido várias etapas de acordo com o figura seguinte:



Incubadora Orbital



Fermentador



Sistema de Ultrafiltração



Coluna Cromatográfica

### PURIFICAÇÃO e CONCENTRAÇÃO da proteína por precipitação.

A solubilidade de uma proteína em solução aquosa depende de vários factores designadamente do tamanho, da carga superficial, do pH e da força iónica (concentração salina) da solução.

A proteína em estudo pode também ser purificada e concentrada por precipitação, aumentando a concentração de sal (sulfato de amónia) em solução, ou **baixando o pH** (adição de ácido clorídrico).