Escola de Engenharia de Lorena – USP

# POLARIZAÇÃO DE CONCENTRAÇÃO e FOULING !

## Os Vilões dos Processos com Membranas

Luís F. Figueiredo Faria

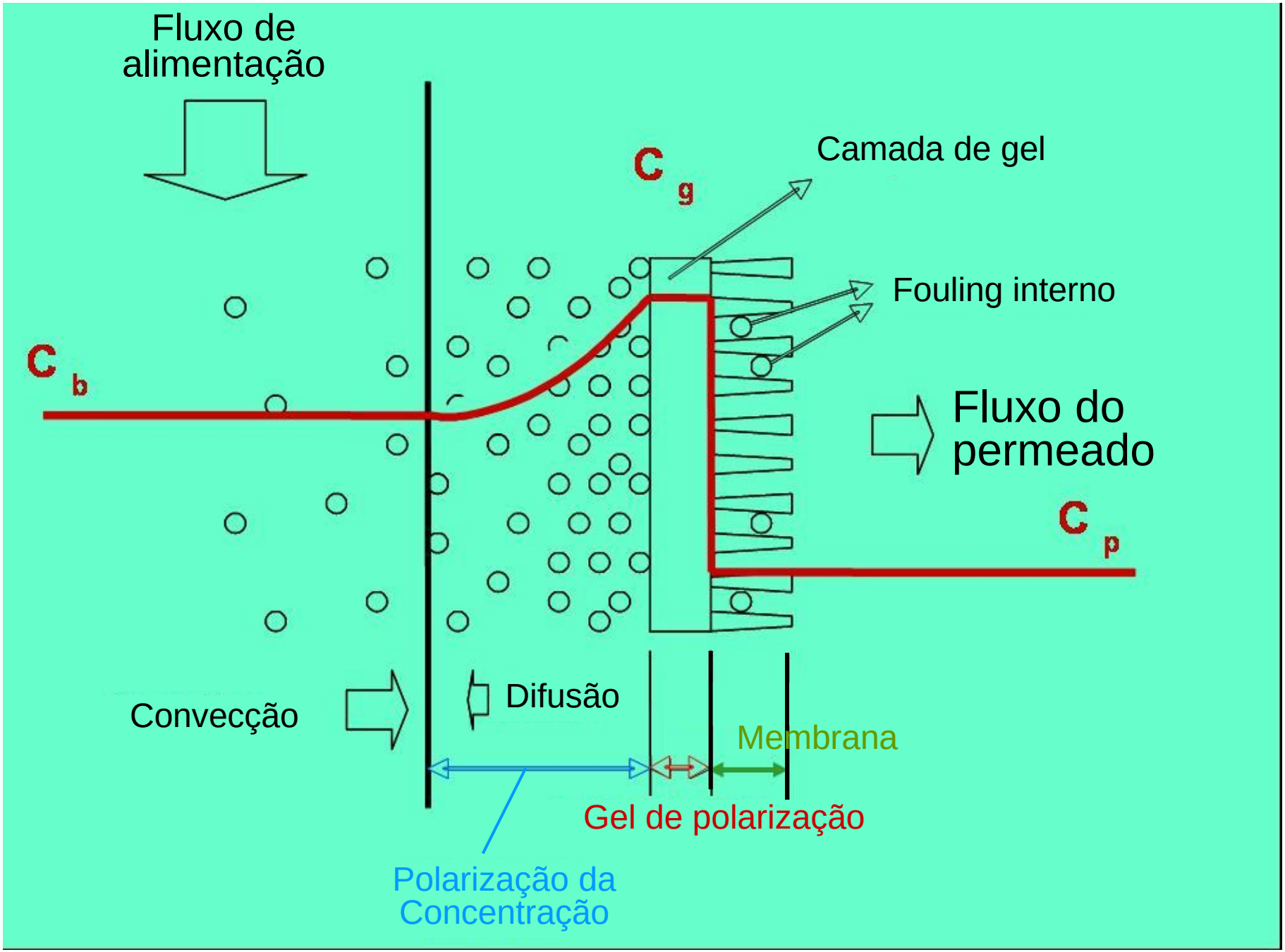
# Polarização da Concentração

- ✓ **Componentes da solução são rejeitados pela membrana e o movimento de retrodifusão não é suficiente para extiguir o problema.**
- ✓ **Aumento da concentração das espécies a serem removidas próximo a superfície da membrana.**
- ✓ **Fenômeno reversível, mas observa-se um declínio no fluxo.**

**Resultados**

1)Formação de uma camada limite substancialmente concentrada

2)Permeado de qualidade inferior

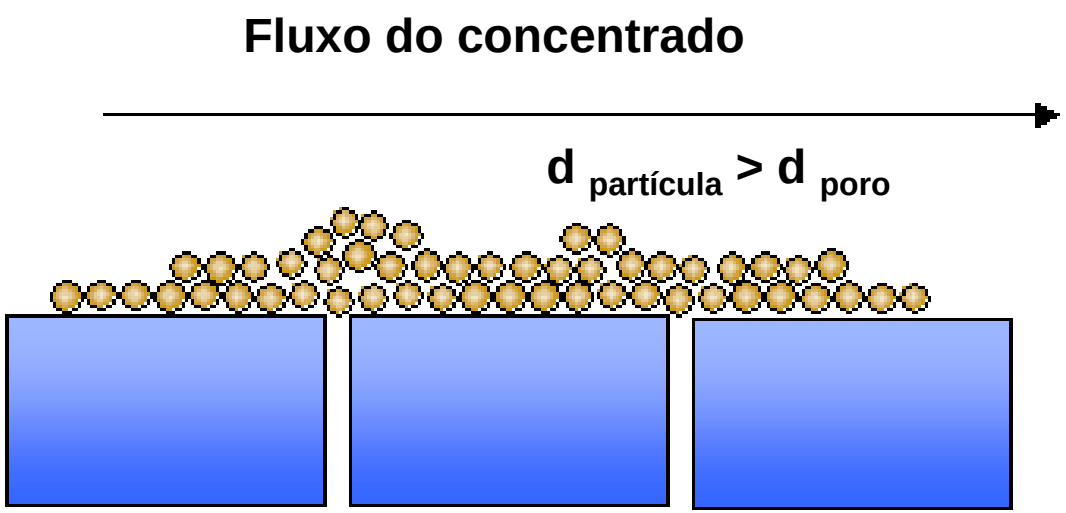

Fluxo de alimentação
Camada de gel
$C_g$
Fouling interno
$C_b$
Fluxo do permeado
$C_p$
Convecção
Difusão
Membrana
Gel de polarização
Polarização da Concentração

# Principais aspectos negativos associados com a Polarização de Concentração

- ✓ Queda do potencial químico do solvente na superfície da membrana.
- ✓ Possível ocorrência de precipitação ou formação de gel na superfície da membrana- maior resistência hidrostática.
- ✓ Possíveis alterações na composição inicial da membrana devido a ataques químicos.
- ✓ Possíveis alterações nas características de separação da membrana devido a formação de depósitos.
- ✓ Fenômeno reversível, mas observa-se um declínio no fluxo.

# Tipos de Fouling

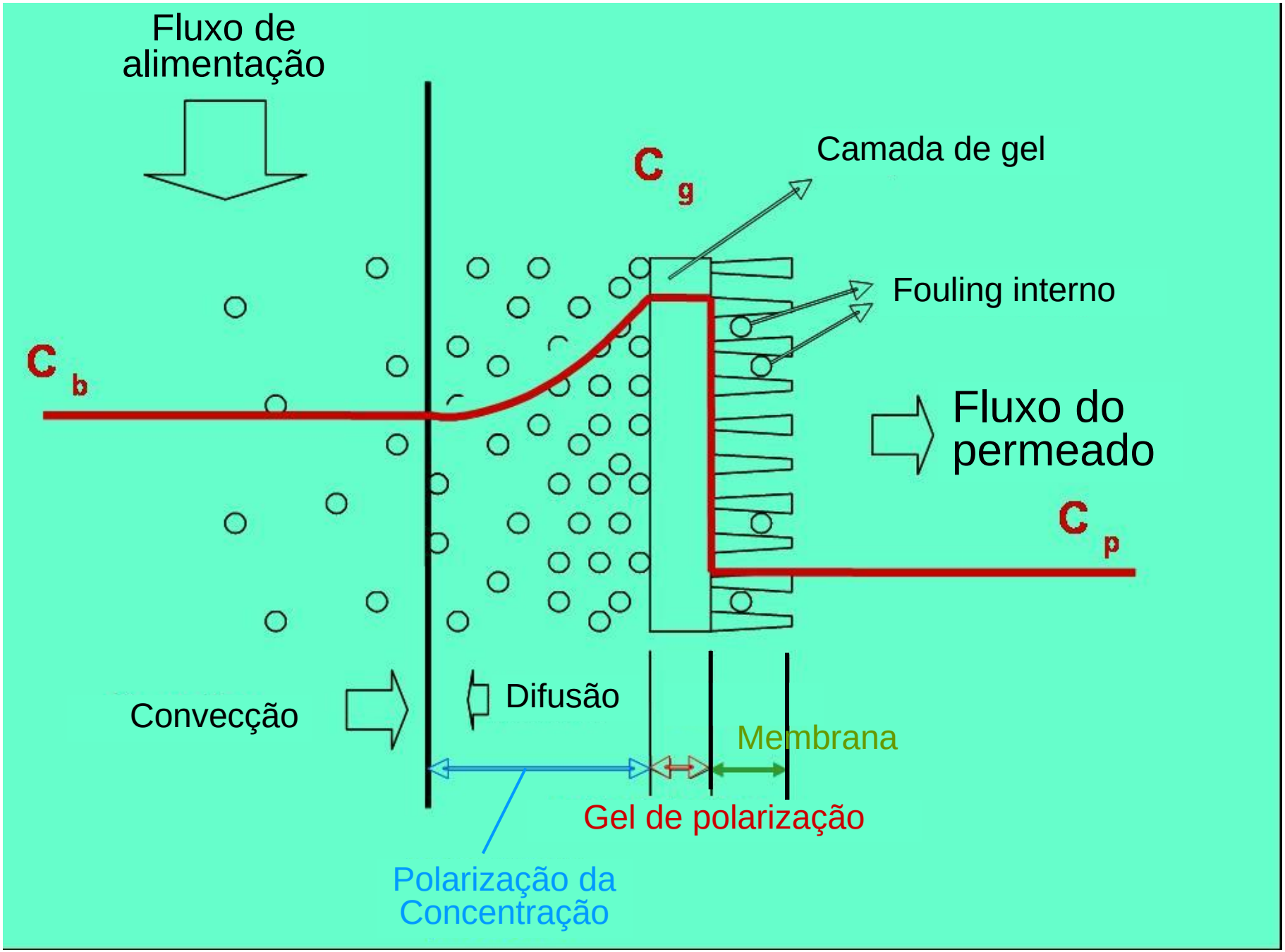
- ✓ Adsorção ou depósito de materiais nos poros e na superfície da membrana



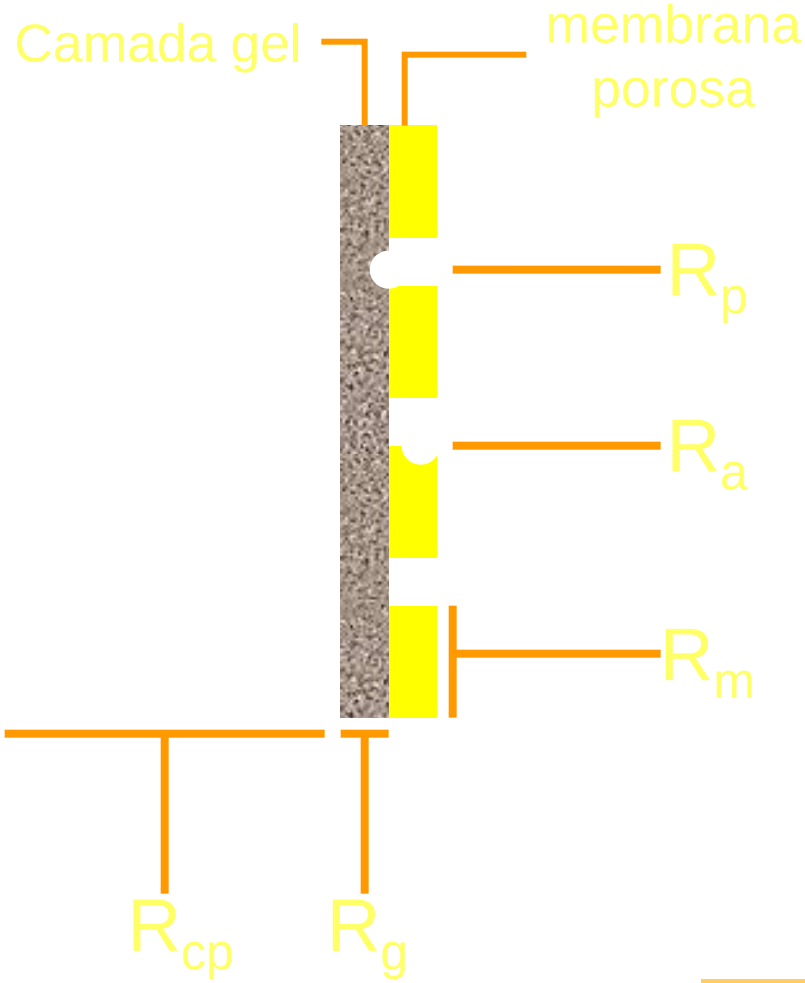

Bloqueio de poros

Formação de camada gel

Adsorção


Fluxo de alimentação
Camada de gel
$C_g$
Fouling interno
$C_b$
Fluxo do permeado
$C_p$
Convecção
Difusão
Membrana
Gel de polarização
Polarização da Concentração

# Fouling e Resistência




$R_p$ = poro bloqueado

$R_a$ = adsorção

$R_m$ = membrana

$R_g$ = formação da camada gel

$R_{cp}$ = polarização da concentração

$$R_{total}=R_m+R_{comp}$$

$$R_m= R_m(t=0)+R_a+R_p$$

$$R_{comp}=R_g+R_{cp}$$

# Fatores que Influenciam na Formação do Fouling

- Interações físico-químicas (membrana e solução);
- Morfologia da membrana (material, tamanho de poro);
- Parâmetros operacionais;
- Parâmetros físico-químicos da solução de alimentação (tamanho das partículas, concentração, etc.);
- Histórico operacional da membrana.

# Métodos para Reduzir o Fouling

1. Pré-tratamento da alimentação

2. Propriedades da Membrana

3. Módulo e condições de processo

4. Limpeza

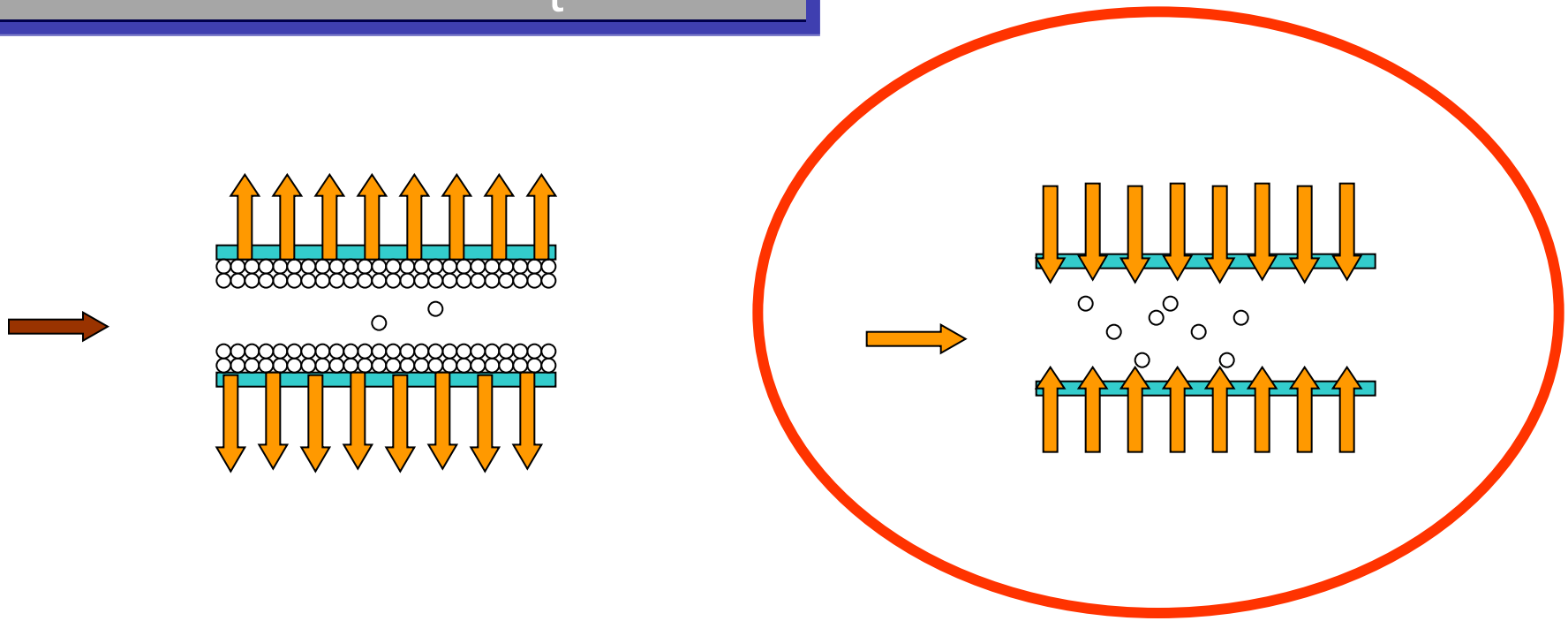
a. Tratamento térmico
b. Ajuste de pH
c. Adição de agentes

a. Redução da polarização da concentração
a1. Aumento da velocidade

Back-flushing

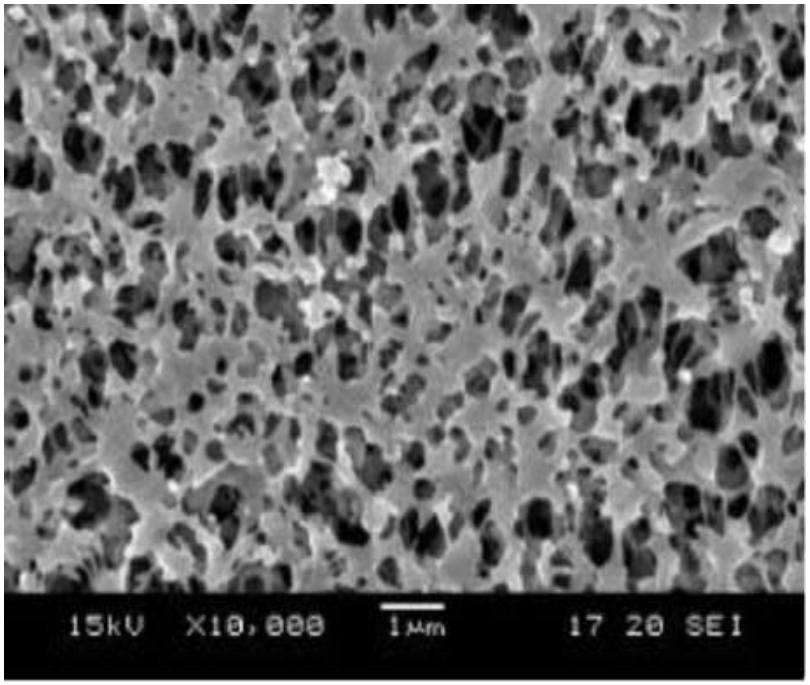
a. Limpeza hidráulica
b. Limpeza mecânica
c. Limpeza química
d. Limpeza elétrica

# Back - Flushing

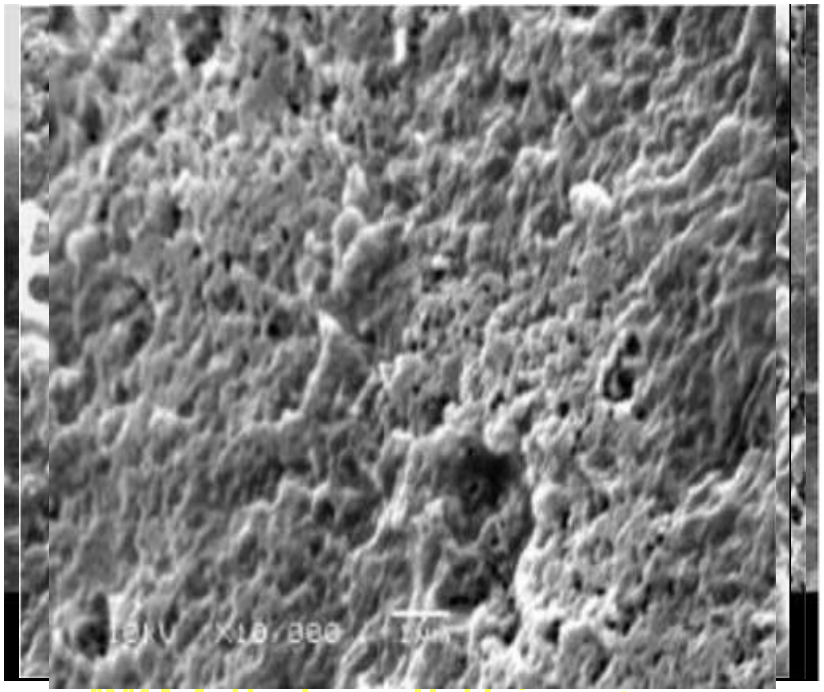


## ✓ *LIM e BAI, 2003:*

**Microfiltração de água de descarte de um biorreator utilizando uma membrana de fibra oca.**



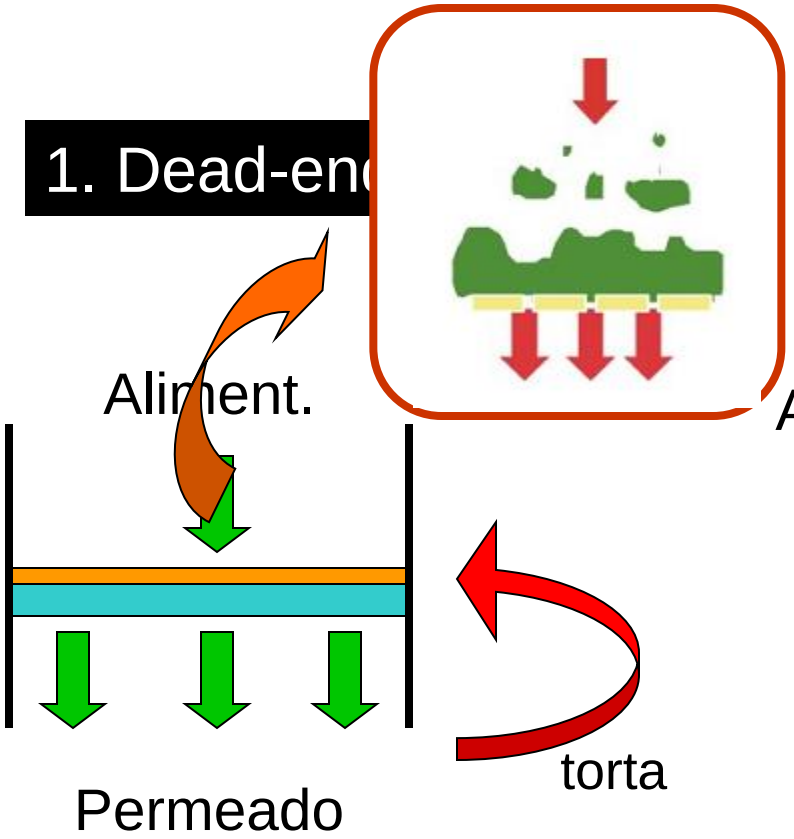

Membrana Nova

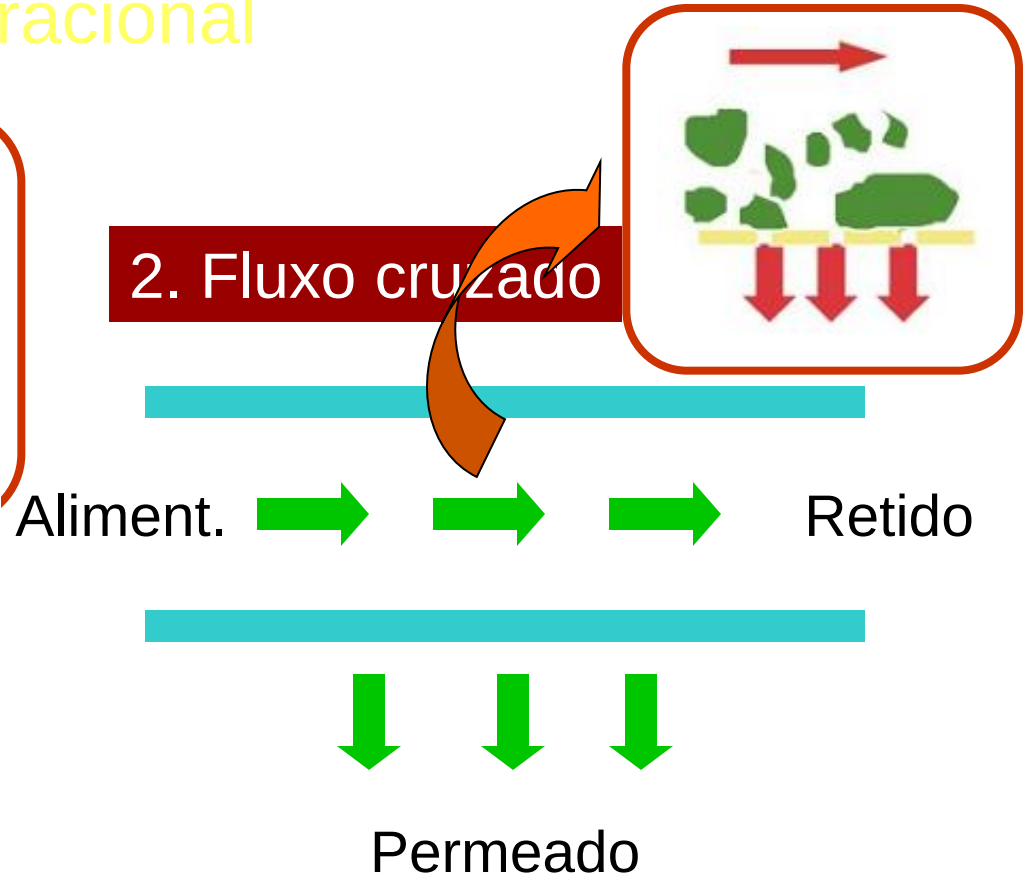


Membrana limpa com as Condições dos Métodos

# Dead End e Fluxo Cruzado

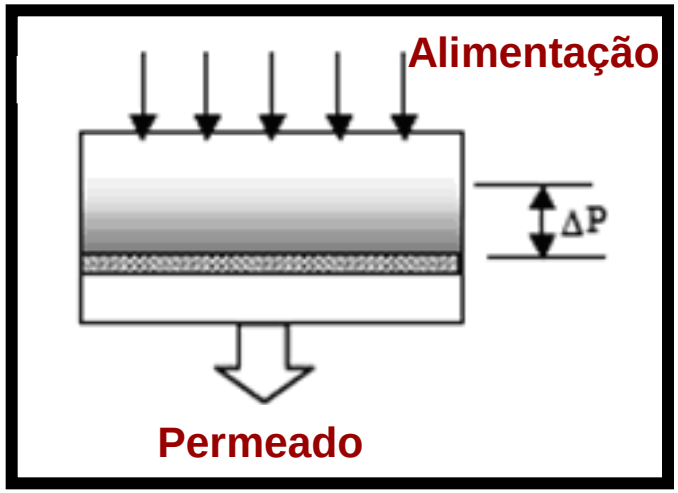
✓Redução do fouling em função do modo operacional

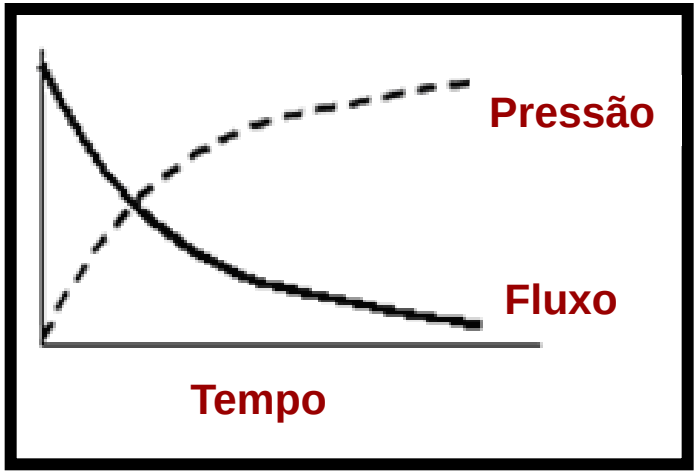


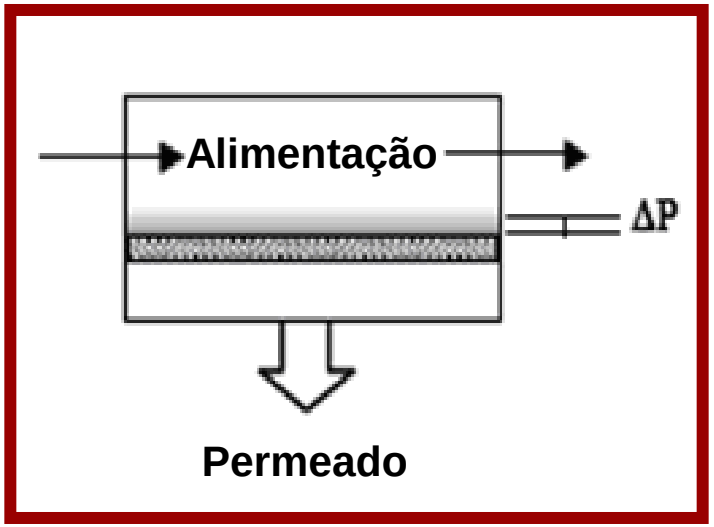
# Relação com a Pressão

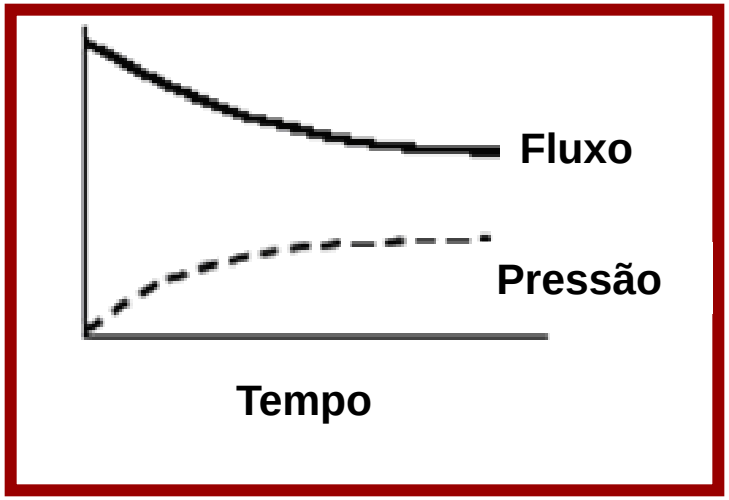
## 1. Dead-end




## 2. Fluxo cruzado



# Tratamentos Superficiais

- ✓ Modificação da superfície da membrana para reduzir o grau de fouling.
- ✓ Maior Problema ✡ Biofouling.
- ✓ Biofouling ✡ variedade de "b[illegible]s"
- ✓ "Biosolutos"

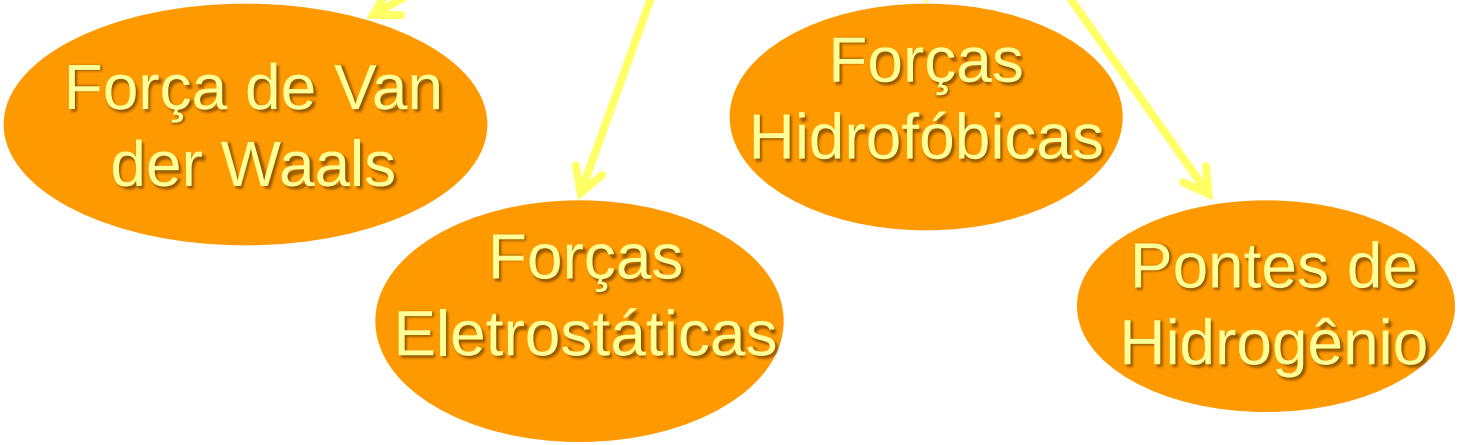
Macromoléculas

Microrganismos

ácidos húmicos, polissacarídeos, lipídios e glicoproteínas

Bactérias

- Macromoléculas interagem com a membrana




- Modificações superficiais:

1. Aumento da hidrofilicidade;
2. Introdução de cargas negativas;
3. Modificações biológicas;
4. Bloqueiamento Estérico.

# Aumento da Hidrofilicidade:

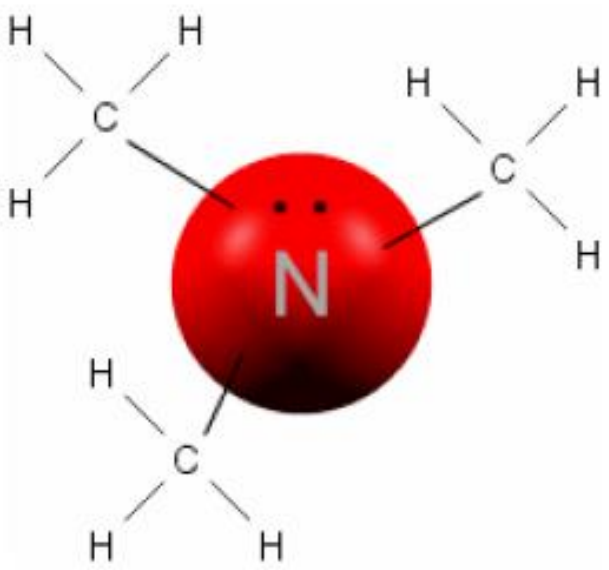
- ✓ Principal força de atração entre a proteína e a membrana é a interação hidrofóbica.
- ✓ Reduzir a adsorção da proteína ou célula à membrana.
- ✓ Elimina-se as moléculas de água que estão quimicamente ligadas à superfície de membrana.

# Introdução de Cargas Negativas:

- ✓ Proteínas e células são negativamente carregadas em solução aquosa.
- ✓ Com a introdução de cargas negativas sobre a superfície da membrana a repulsão eletrostática aumenta.
- ✓ Membranas são modificadas com surfactantes aniônicos.

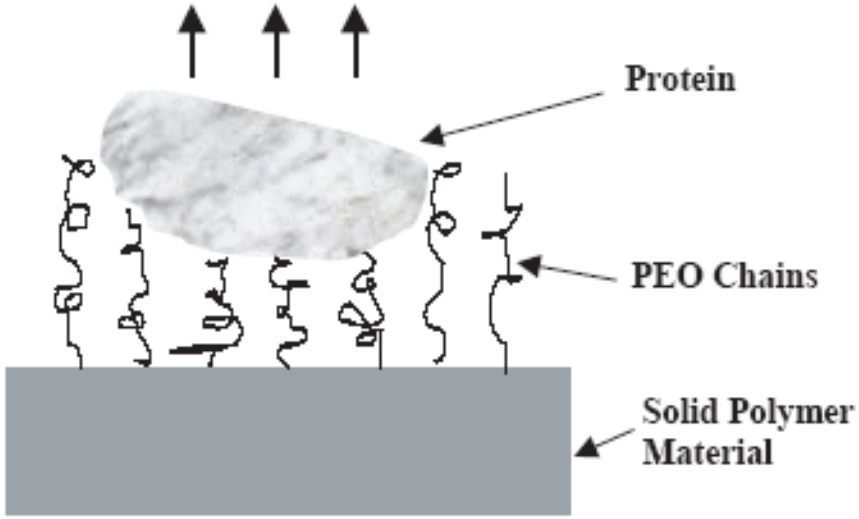
# Bloqueamento Estérico:

- ✓ Efeito Estérico ✡ dificulta a aproximação do próton ao par eletrônico.




Os átomos de hidrogênio dos radicais $-CH_3$ formam uma "rede" que dificulta muito a aproximação do próton $H^+$.

- Liga polímeros com cadeias longas à superfície da membrana, excluindo estericamente as células e proteínas.




*Bloqueamento estérico das cadeias de óxido de polietileno (PEO) imobilizado ao material polimérico.*