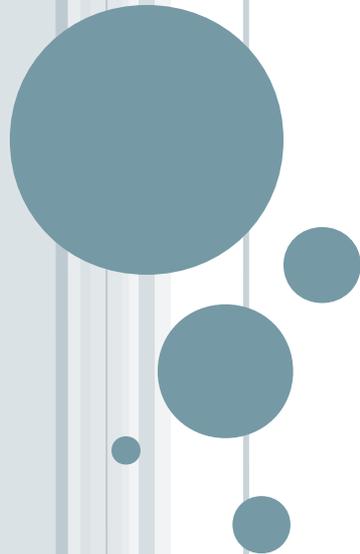




**Universidade Estadual de São Paulo**  
**Escola de Engenharia de Lorena**

---

# **Respiração Microbiana**



# RESPIRAÇÃO MICROBIANA

- Abordagem envolvendo o consumo (ou demanda) de oxigênio
- Inicialmente define-se a velocidade específica de respiração ( $Q_{O_2}$ ):

$$Q_{O_2} = \frac{1}{X} \cdot \frac{dO_2}{dt} \quad (1)$$

onde:  $Q_{O_2}$  = velocidade específica de respiração ( $gO_2/g_{cel} \cdot h$ )

$X$  = concentração celular ( $g_{cel}/m^3$ )

$(dO_2/dt)$  = velocidade de consumo de  $O_2$  ( $gO_2/m^3 \cdot h$ )



O valor de  $Q_{O_2}$ , para um dado microrganismo, pode ser relacionado com a concentração de oxigênio dissolvido no meio líquido ( $C$ ), de acordo com uma equação do tipo MONOD:

$$Q_{O_2} = Q_{O_2\max} \frac{C}{K_O + C} \quad (2)$$

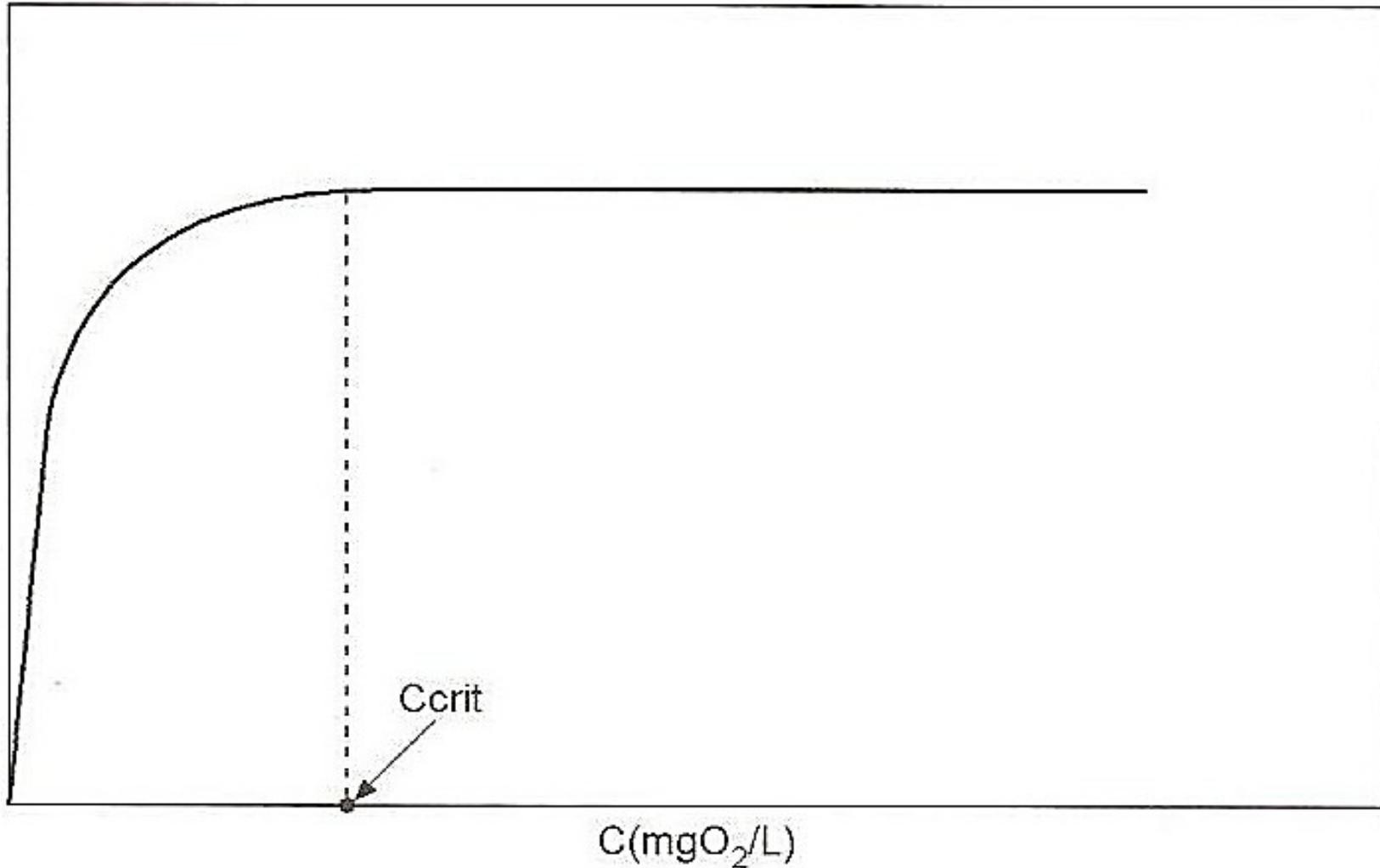
onde:

$Q_{O_2\max}$  = máximo valor de  $Q_{O_2}$  ( $gO_2/gcel.h$ )

$K_O$  = constante de saturação para o  $O_2$  ( $gO_2/m^3$ )



$QO_2(\text{gO}_2/\text{gcel.h})$



Representação esquemática da variação de  $Q_{O_2}$  em função de  $C$ , segundo a equação (2).

**Tabela 14.2** – Valores da concentração crítica de O<sub>2</sub> dissolvido para alguns microrganismos<sup>(3)</sup>.

Microorganismo	Temperatura (°C)	Ccrit (mg/L)
<i>Escherichia coli</i>	37,8	0,26
<i>Serratia marcescens</i>	31,0	0,48
<i>Levedura</i>	34,8	0,15
<i>P. chrysogenum</i>	24,0	0,70
	30,0	0,29
<i>Aspergillus oryzae</i>	30,0	0,64

**(3) Valores para células crescendo isoladamente.**

**Para células que crescem em forma de grumos ou *pellets*, os valores podem ser da ordem de 30 a 50% da saturação.**

- Além da concentração de OD, outros fatores interferem na velocidade de respiração.
- Dependendo das condições do meio, as células crescem em baixas velocidades ou em altas velocidades, e, consequentemente, apresentarão baixas ou altas velocidades de respiração.
- Assim, conclui-se que existe uma relação entre a velocidade específica de crescimento e a velocidade específica de respiração:

$$Q_{O_2} = m_O + \frac{1}{Y_O} \mu \quad (3)$$

onde:  $m_O$  = coeficiente de manutenção para o  $O_2$  ( $gO_2/g_{cel} \cdot h$ )

$Y_O$  = fator de conversão de  $O_2$  para células ( $g_{cel}/gO_2$ )

$\mu = (1/X)(dX/dt)$  = velocidade específica de crescimento ( $h^{-1}$ )

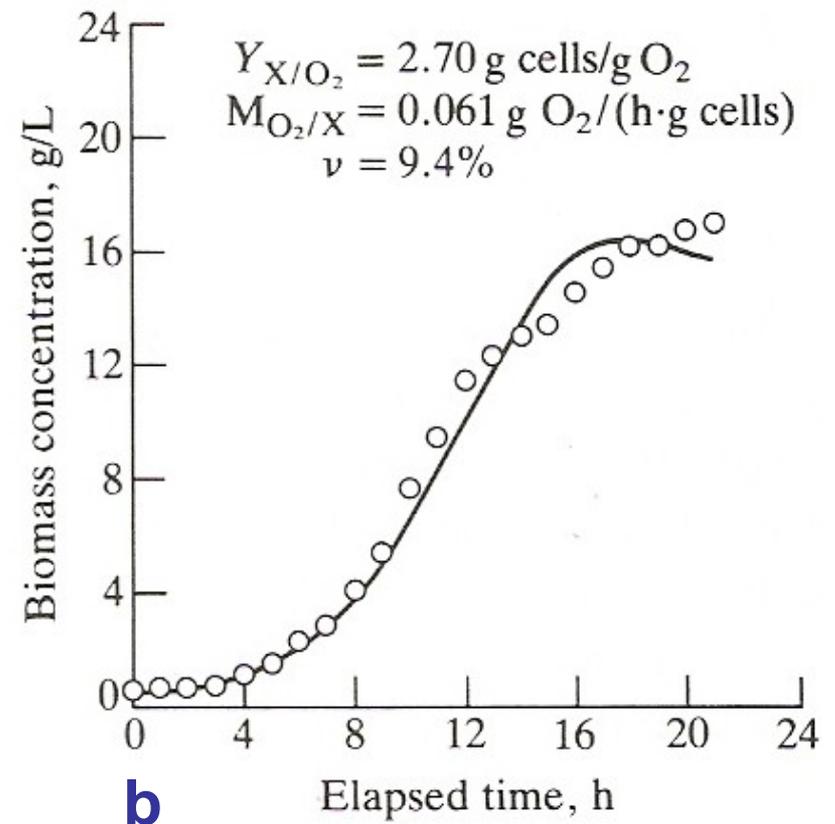
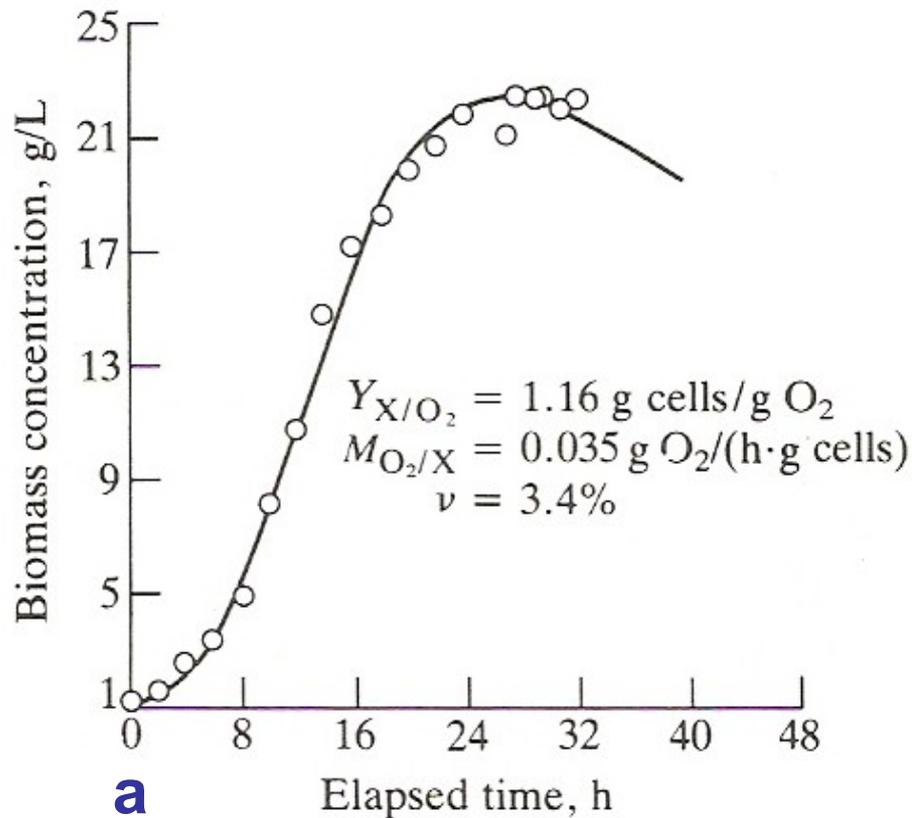
$X$  = concentração celular ( $g_{cel}/L$ )

Exemplos\* de valores de  $m_{O_2}$  e  $Y_{O_2}$ :

$2 \text{ mmol}_{O_2}/\text{g}_{\text{cel}} \cdot \text{h}$  e  $1,55 \text{ g}_{\text{cel}}/\text{g}_{O_2}$

\*valores médios para *Aspergillus awamori* NRRL 3112 em diferentes condições de transferência de oxigênio





Comparação entre concentrações de biomassa medida (---o---) e estimada (-----) pela equação 2, durante cultivo descontínuo de (a) *Streptomyces* sp. e (b) *Saccharomyces cerevisiae*.

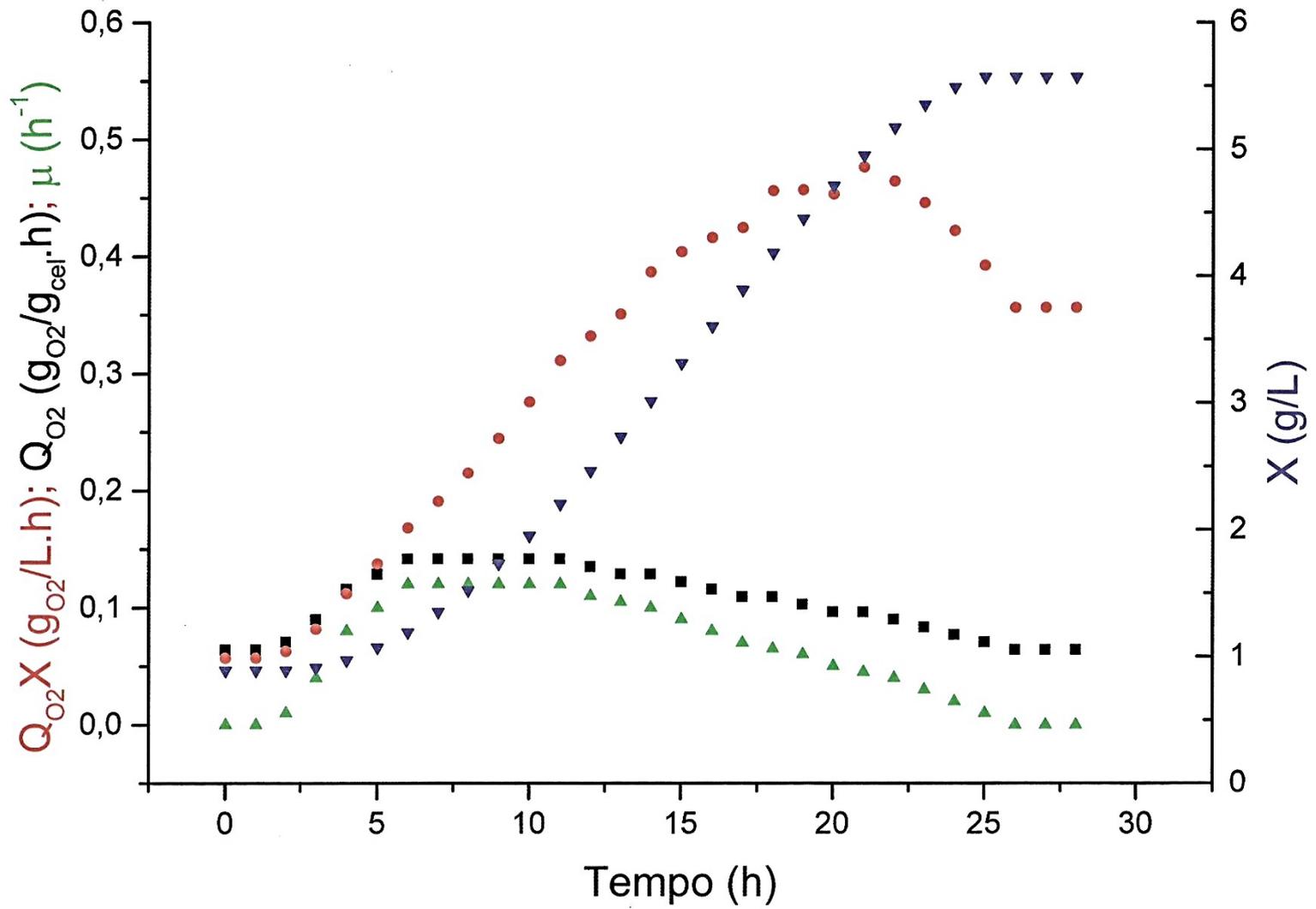
# TRANSFERÊNCIA E DO CONSUMO DE OXIGÊNIO

O fornecimento de  $O_2$ , pelo sistema de transferência, e o consumo de  $O_2$ , pelas células, permite realizar o *balanço de oxigênio* no meio líquido, chegando-se ao seguinte equacionamento:

$$\frac{dC}{dt} = k_L a(C_s - C) - Q_{O_2} X \quad (4)$$

Lembrar que  $Q_{O_2}$  varia com  $\mu$  e  $X$  varia com o **tempo**.





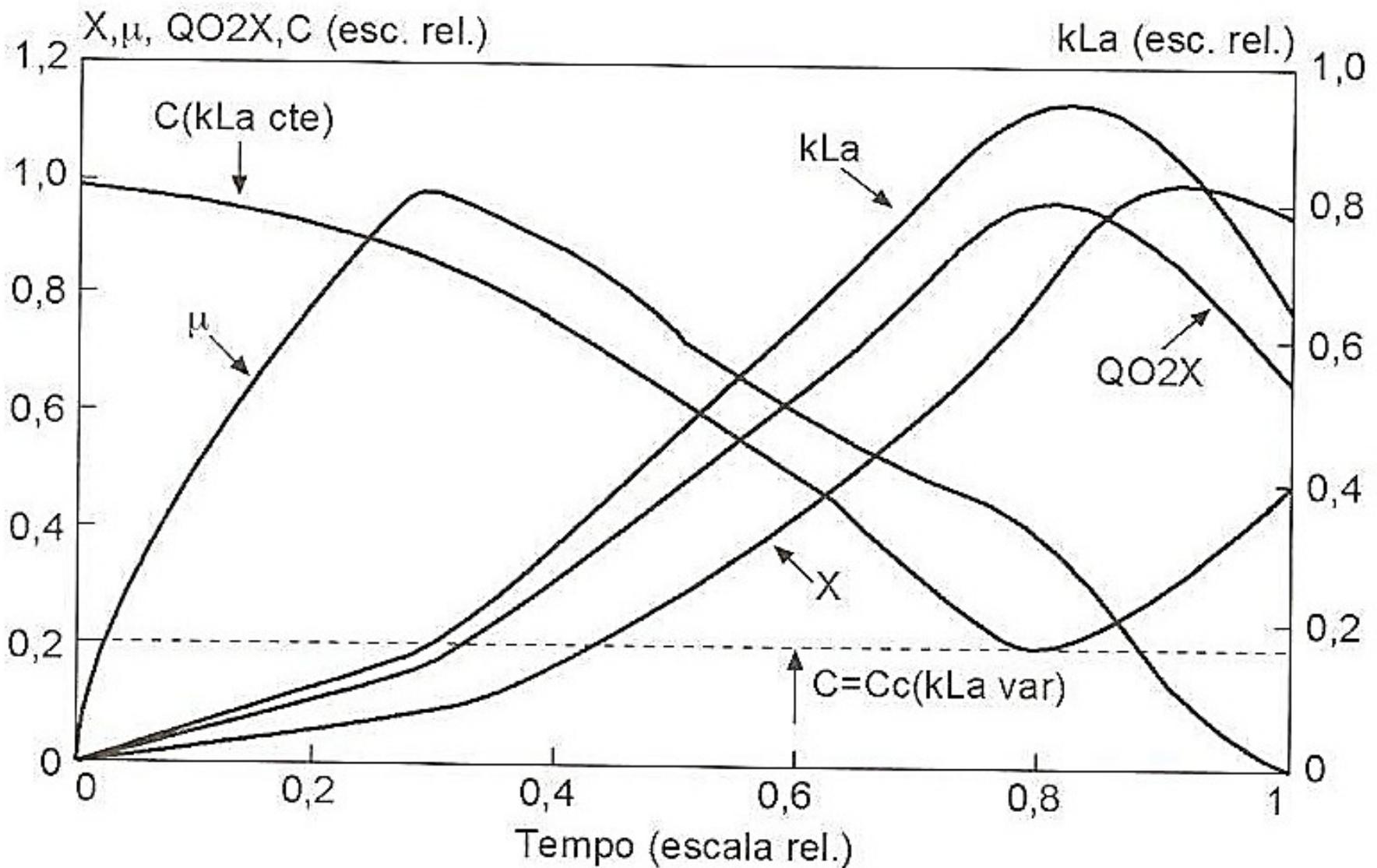
O sistema de transferência de oxigênio deverá ser dimensionado de forma a atender à **máxima demanda**, para se garantir a condição de não limitação de oxigênio.

Considerando a necessidade de se atender à demanda máxima de  $O_2$  e de não permitir concentrações de  $O_2$  abaixo de  $C_{crit.}$ , existem duas formas de se operar um processo fermentativo, em relação ao fornecimento de oxigênio:

- (1) Manter uma **concentração** de oxigênio **constante**
- (2) Manter uma **transferência** de oxigênio **constante**

$$k_L a = \frac{Q_{O_2} X}{(C_s - C_c)} \quad (5)$$

$$\frac{C}{C_s} = 1 - \frac{Q_{O_2} X}{k_L a C_s} \quad (6)$$



**Ilustração de duas possíveis formas para se projetar um sistema de transferência de  $O_2$ : com  $C=cte.$  e  $k_La$  variável e com  $k_La=cte.$  e  $C$  variável, com mínimo fixado em  $0,2.C_s.$**

**Concentração constante (1):** necessita investimento em sistema de controle e proporciona economia de energia

**Transferência constante (2):** menos investimento em controle e maior gasto de energia.

**Obs.:** o  $k_L a$  dificilmente apresenta valores constantes ao longo de uma fermentação.

Tais fatos demonstram a necessidade de se determinar o  $k_L a$  e o  $Q_{O_2}$  durante o processo fermentativo, de modo a se dimensionar corretamente o sistema de transferência de oxigênio.

# Exercício

- Num sistema em que se deseja empregar um valor fixo de  $k_L a$  para todo o cultivo, sabe-se que a concentração celular máxima é de 5,0 g/L. Neste momento, o microrganismo apresenta uma velocidade específica de crescimento igual a  $0,32 \text{ h}^{-1}$ . Calcule o valor de  $k_L a$  a ser empregado, considerando que a concentração de oxigênio dissolvido não pode ser menor que 10% da saturação. Dados:  
 $Y_O = 1,0 \text{ g}_{\text{cel}}/\text{g}_{\text{O}_2}$ ;  $m_O = 0,1 \text{ g}_{\text{O}_2}/\text{g}_{\text{cel}} \cdot \text{h}$ ;  $C_S = 7,6 \text{ mg}_{\text{O}_2}/\text{L}$

# DETERMINAÇÃO DE $K_LA$ E $Q_{O_2}$ DURANTE O PROCESSO FERMENTATIVO

## A. Método dinâmico

1. Cessa-se a aeração num dado instante da fermentação ( $t_0$ ), correspondente a uma concentração de OD igual a  $C_0$

(pode-se diminuir também a agitação, porém, com cuidado)

2. Quando se atingir um certo valor  $C_{01}$  (maior que  $C_{crit.}$ ) (instante  $t_1$ ), retoma-se a aeração e a agitação iniciais, registrando-se o aumento da concentração de OD até seu retorno a  $C_0$

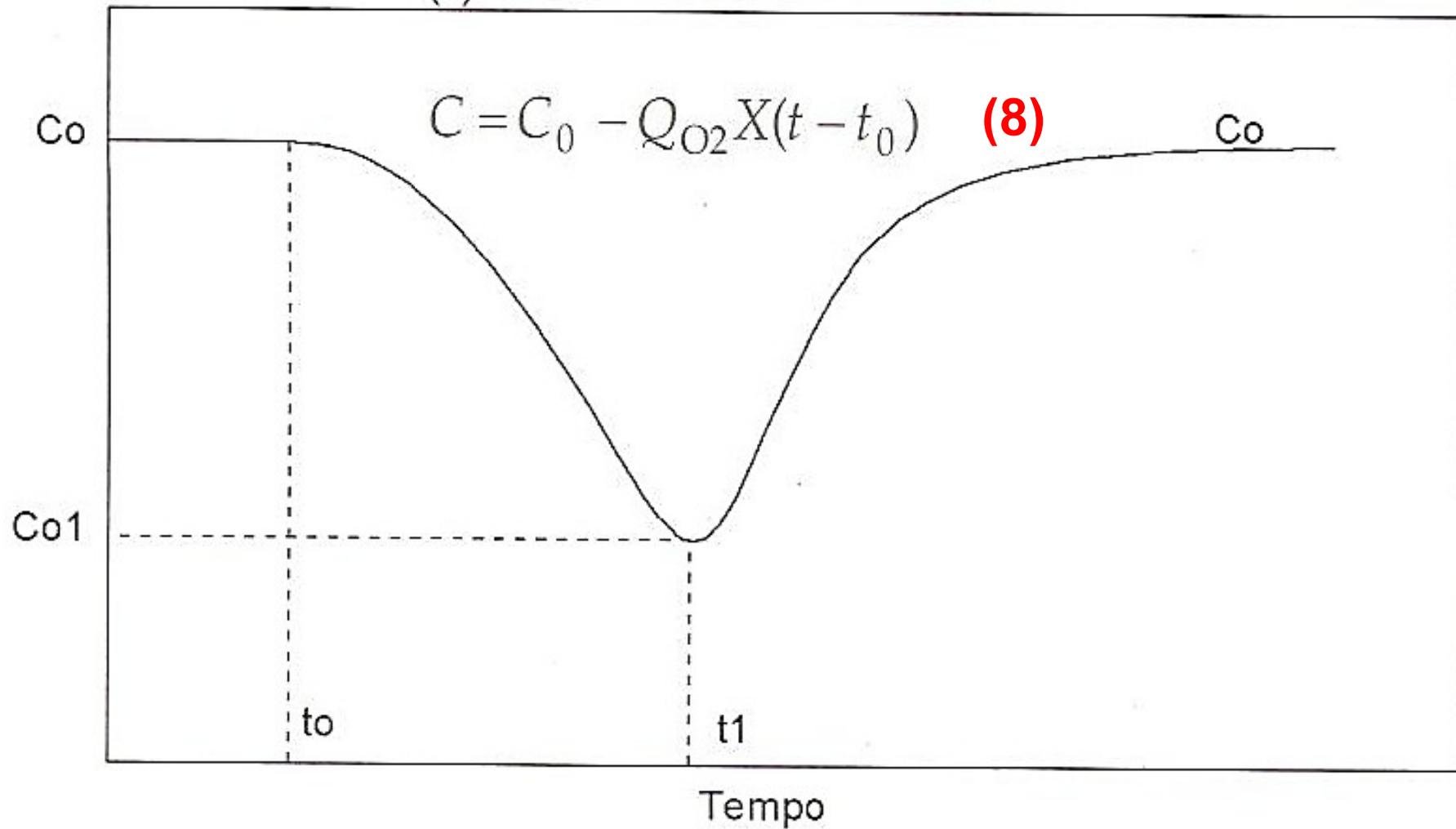
3. Assim, no trecho sem aeração tem-se a equação:  $\frac{dC}{dt} = -Q_{O_2}X$  (7)

Que, integrada, fornece:  $C = C_0 - Q_{O_2}X(t - t_0)$  (8)

Equação de uma reta cujo coeficiente angular é igual a  $-Q_{O_2}X$ .

Assim, obtém-se  $Q_{O_2}$

Conc. O<sub>2</sub> dissolv.(c)



Com o valor de  $Q_{O_2}X$  é possível calcular o  $k_L a$  de duas formas distintas:

1. Considerar que a concentração de OD varia muito lentamente durante o processo e que ao final da aplicação do método esta retorna a  $C_0$ , obtendo-se o  $k_L a$  pela expressão:

$$k_L a = \frac{Q_{O_2}X}{(C_s - C_0)} \quad (9) \quad *$$

2. Empregar os dados do trecho ascendente da concentração de OD, em que vale a equação:

$$\frac{dC}{dt} = k_L a(C_s - C) - Q_{O_2}X \quad (10)$$

Que, rearranjada e integrada, fornece:

$$\ln\left(\frac{C_0 - C}{C_0 - C_{01}}\right) = -k_L a(t - t_1) \quad (11)$$

Equação de uma reta cujo coeficiente angular é igual a  $-k_L a$ .

Assim, obtém-se  $k_L a$

## B. Método do balanço gasoso

Envolve o monitoramento preciso das vazões de entrada e saída de gases no reator, e dos seus teores de  $O_2$

1. O balanço material para o oxigênio no gás fornece:

$$x_{O_2e} \phi_{ge} - x_{O_2s} \phi_{gs} = k_L a (C_s - C) V$$

onde:

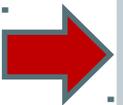
$x_{O_2e}$  = fração molar ou volumétrica de  $O_2$  no gás de entrada

$\phi_{ge}$  = vazão molar de gás na entrada (mol gás/h)

$x_{O_2s}$  = fração molar ou volumétrica de  $O_2$  no gás de saída

$\phi_{gs}$  = vazão molar de gás na saída (mol gás/h)

$V$  = volume de líquido no reator



2. O balanço material para o oxigênio no líquido fornece:

$$\frac{dC}{dt} V = k_L a (C_s - C)V - Q_{O_2} X V \quad \text{Equação (4) x V}$$

3. Combinando as duas equações chega-se a:

$$Q_{O_2} X = \frac{1}{RV} \left( \frac{Q_{ge} P_e}{T_e} x_{O_2e} - \frac{Q_{gs} P_s}{T_s} x_{O_2s} \right)$$

onde:

$P_e$  = pressão do gás na entrada do reator (atm)

$T_e$  = temperatura do gás na entrada do reator (K)

$Q_{ge}$  = vazão volumétrica de gás na entrada do reator (m<sup>3</sup>/h)

$P_s$  = pressão do gás na saída do reator (atm)

$T_s$  = temperatura do gás na saída do reator (K)

$Q_{gs}$  = vazão volumétrica de gás na saída do reator (m<sup>3</sup>/h)

$R$  = constante universal dos gases (m<sup>3</sup>.atm/mol.K)

$V$  = volume de líquido no reator (m<sup>3</sup>)



4. Com o valor de  $Q_{O_2}X$  obtém-se o  $k_L a$  como no método dinâmico.

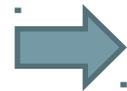
Obs.: Para reatores de pequeno porte, em que se pode considerar iguais as vazões de entrada e saída dos gases, assim como suas pressões e temperaturas de entrada e saída, pode-se calcular o  $Q_{O_2}X$ , alternativamente, pela expressão:

$$Q_{O_2}X = \frac{Q_g P}{RTV} (x_{O_2e} - x_{O_2s})$$

**O método do balanço gasoso é o mais conveniente, uma vez que é não invasivo, ou seja, não interfere no processo. Além disso, analisa-se o reator como um todo, e não em apenas um ponto.**

# EXERCÍCIO

Impresso.



$$x_{O_2e} \phi_{ge} - x_{O_2s} \phi_{gs} = k_L a (C_s - C) V$$

$$\frac{F_f c_{O_2,f} - F_e c_{O_2,e}}{V} \equiv Q_{O_2 \cdot x} = M_{O_2/X} x + \frac{1}{Y_{X/O_2}} \frac{dx}{dt} \quad \text{equação 1}$$

Onde  $f$  e  $e$  representam valores de entrada e saída, respectivamente;  $F$  é a vazão de gás;  $c_{O_2}$  é a concentração de  $O_2$  no gás

Medindo-se as linhas de entrada e saída de gás no processo, a velocidade de utilização de oxigênio ( $Q_{O_2 \cdot x}$ ) pode ser determinada experimentalmente

