BMM5729 – Análise Sistêmica e Engenharia do Metabolismo

Tratamento de dados + balanços (C e redox)

Parte 2: Bateladas Alimentadas

Rafael Nahat

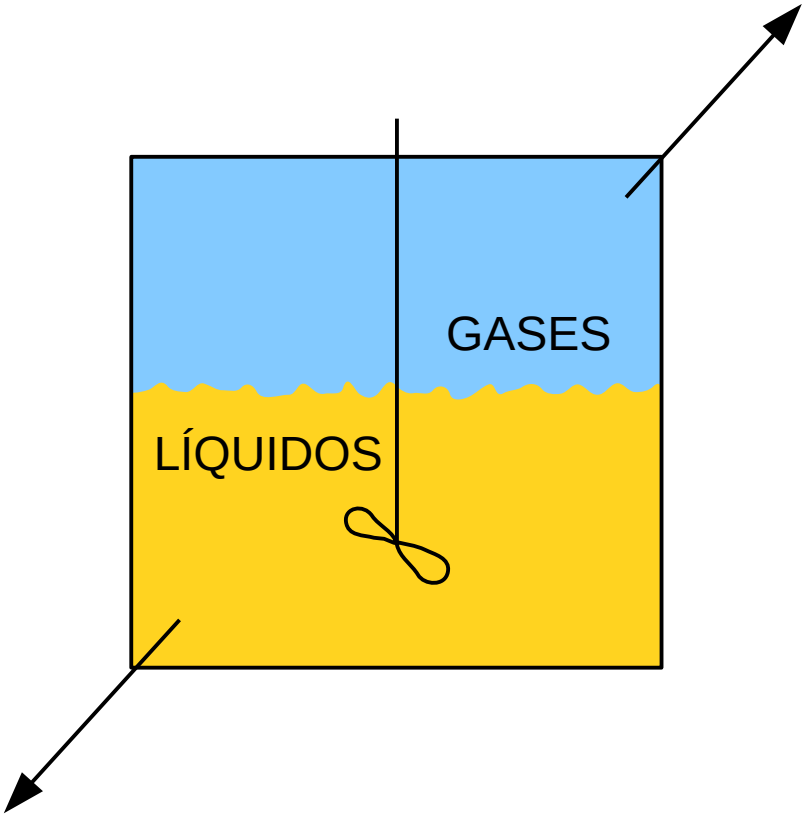
2018

Retomando a parte 1

Dados experimentais

Esquema de um biorreator:

Nesta aula, esta cor significa GÁS

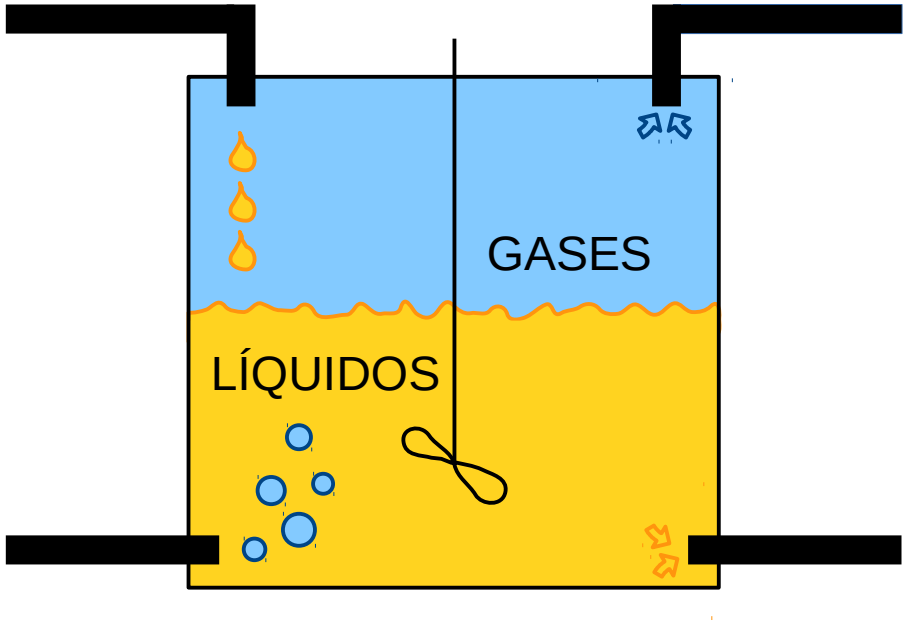


Nesta aula, esta cor significa LÍQUIDO

Dados experimentais

Esquema de um biorreator com correntes de entrada e saída:

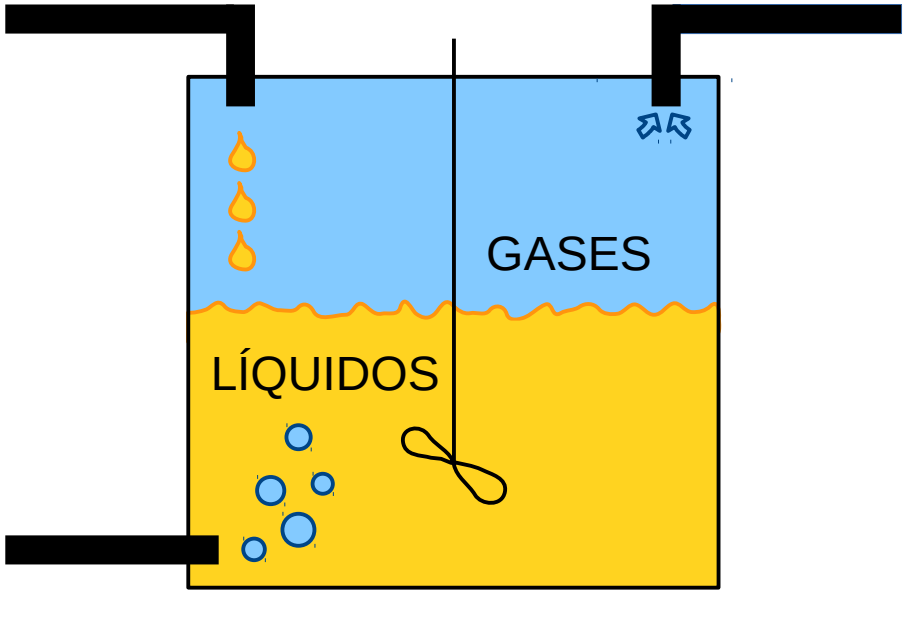
Experimento E1



QUIMIOSTATO

Estado
Estacionário

Experimento E2



BATELADA ALIMENTADA

Estado
Pseudo-estacionário

Dados experimentais

Esquema de um biorreator com correntes de entrada e saída:

Experimento E1

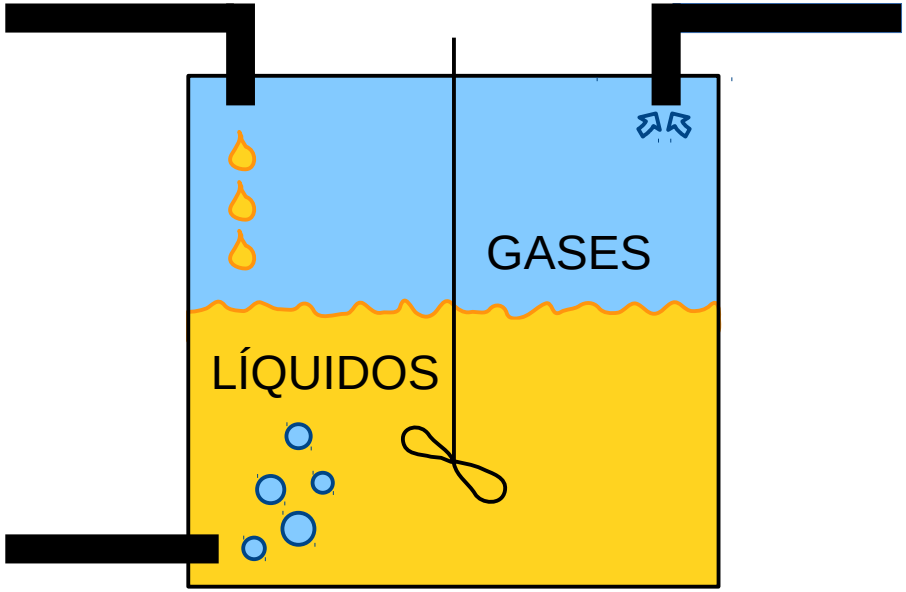
QUIMIOSTATO

Estado Estacionário

Parte 1

Parte 2

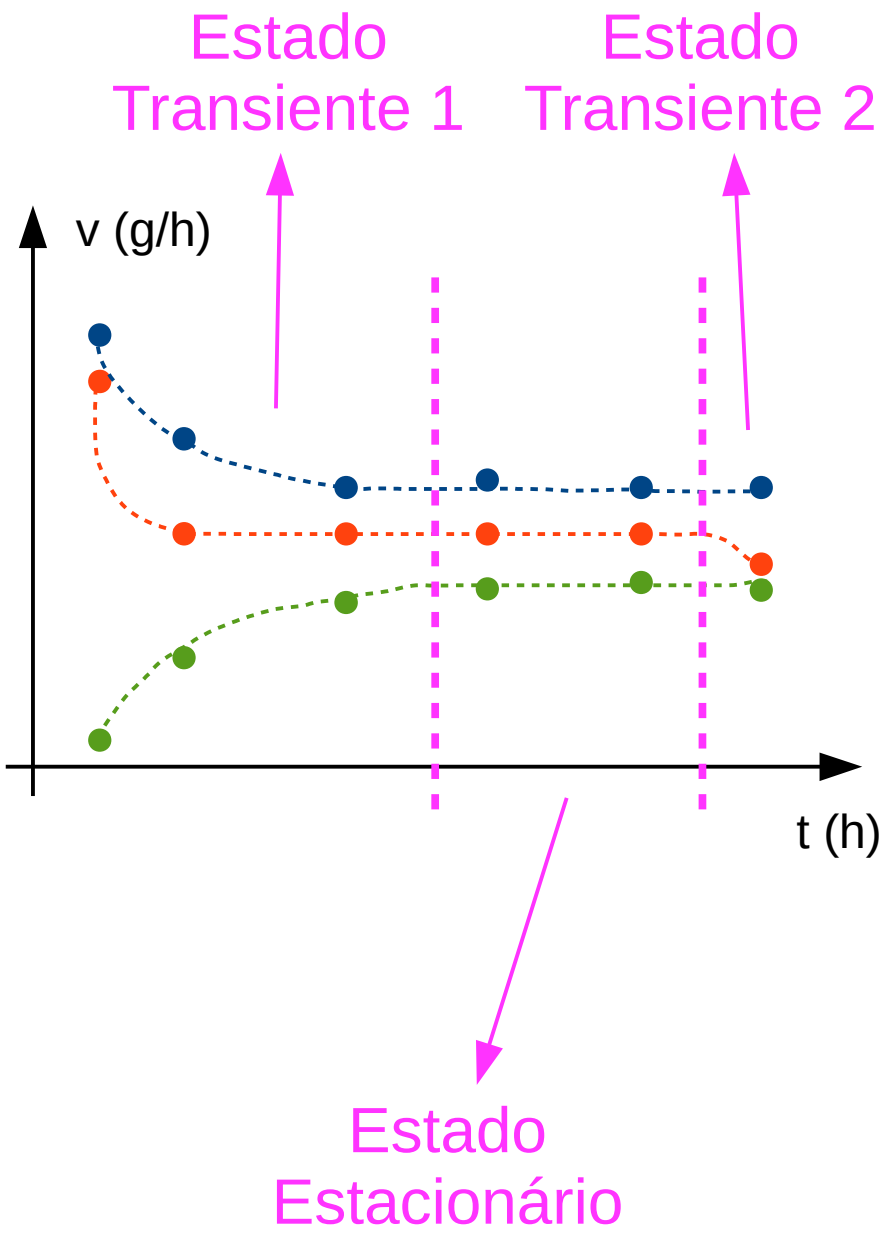
Experimento E2



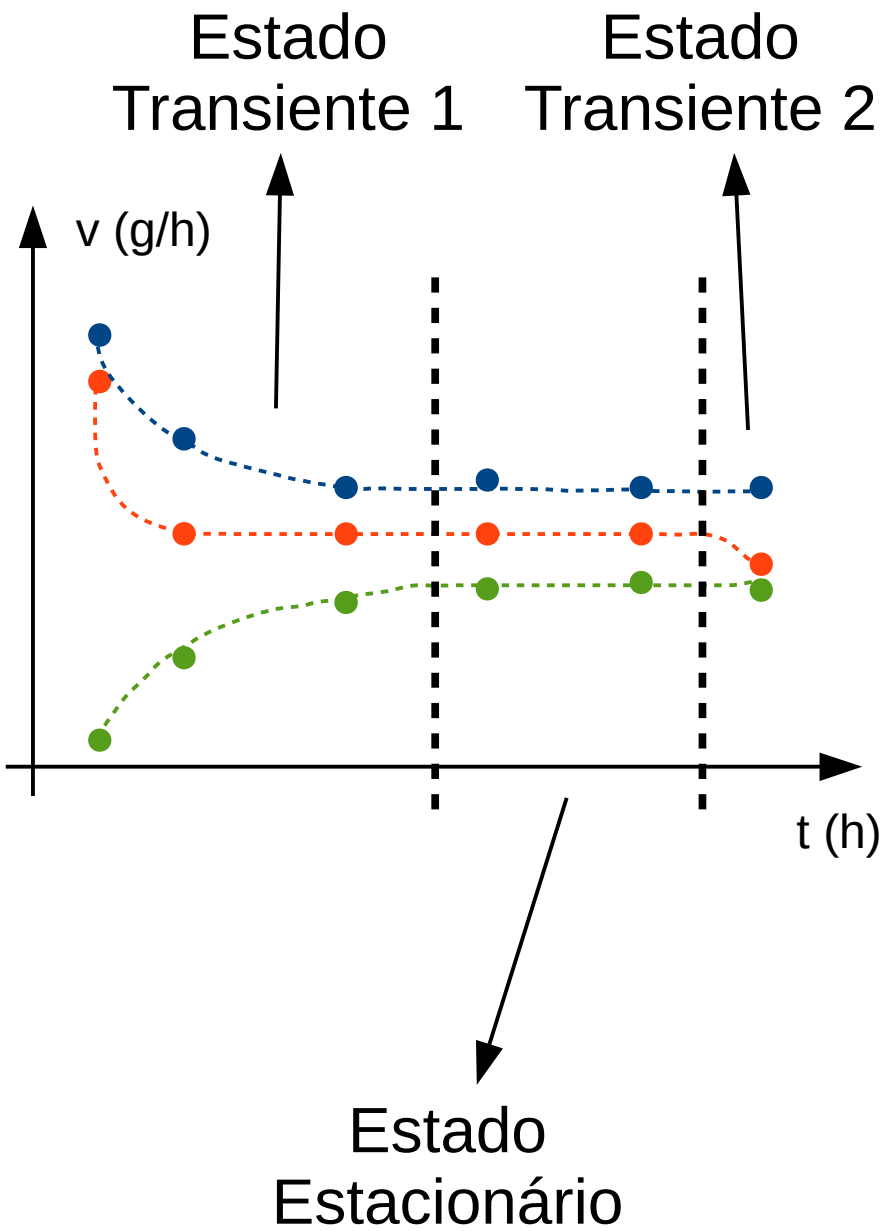
BATELADA ALIMENTADA

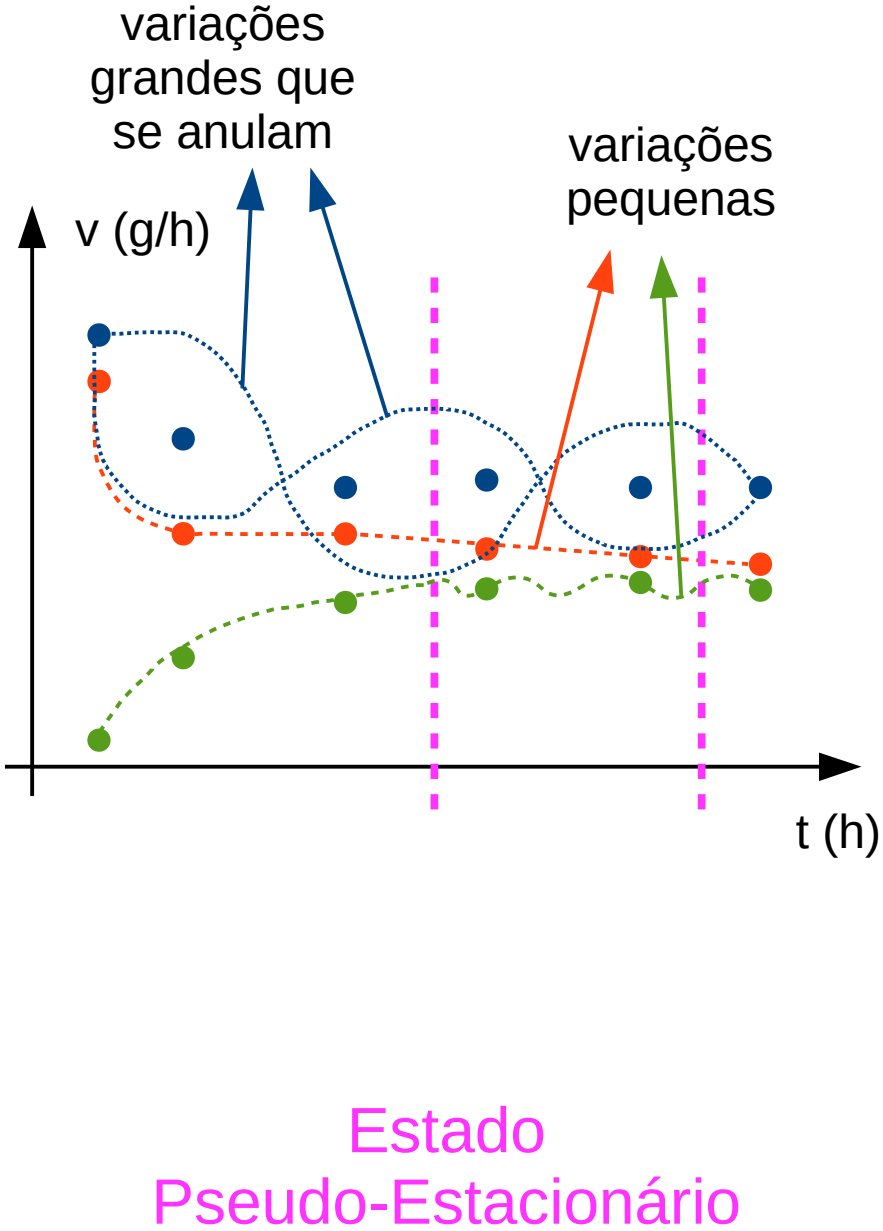
Estado Pseudo-estacionário

Cálculos experimentais



Cálculos experimentais





Cálculos experimentais

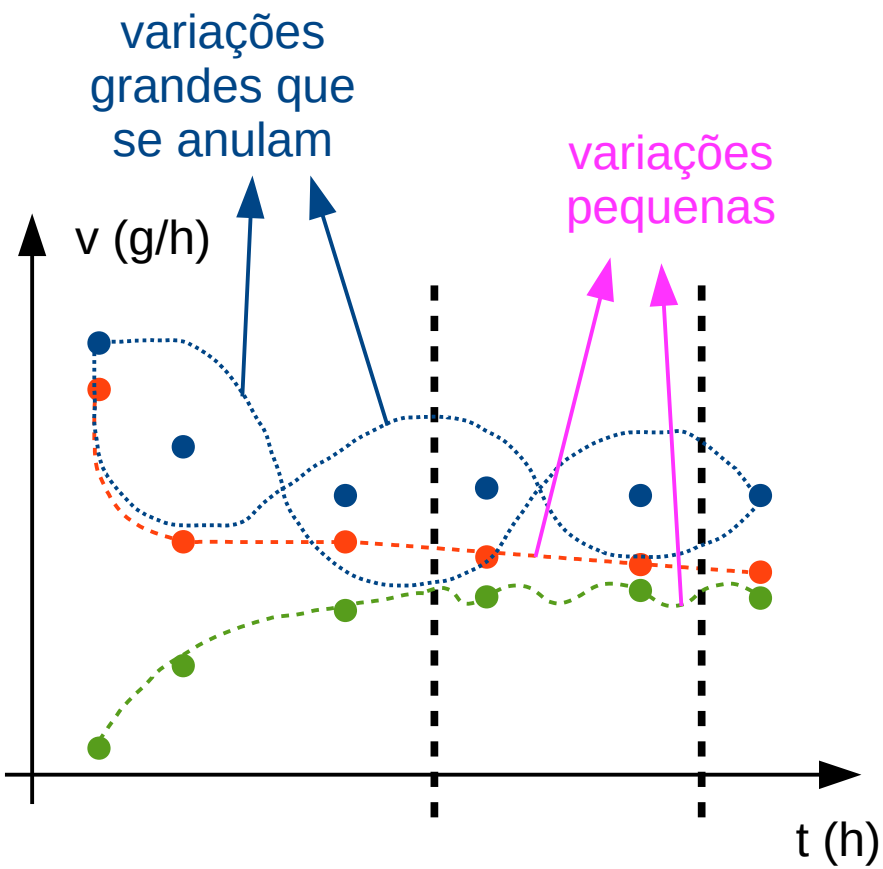
Analogia:

Células são como lâmpadas piscando:

- 1 indivíduo jamais entra em estado estacionário (ciclo de vida)

- 1 indivíduo variando muito rápido => lâmpada fluorescente pisca a 60hz (zoom-out no tempo)

- 10^9 indivíduos piscando lentamente mas sempre com cerca de metade apagada e cerca de metade acesa => árvore de natal a 100km (zoom-out no espaço)

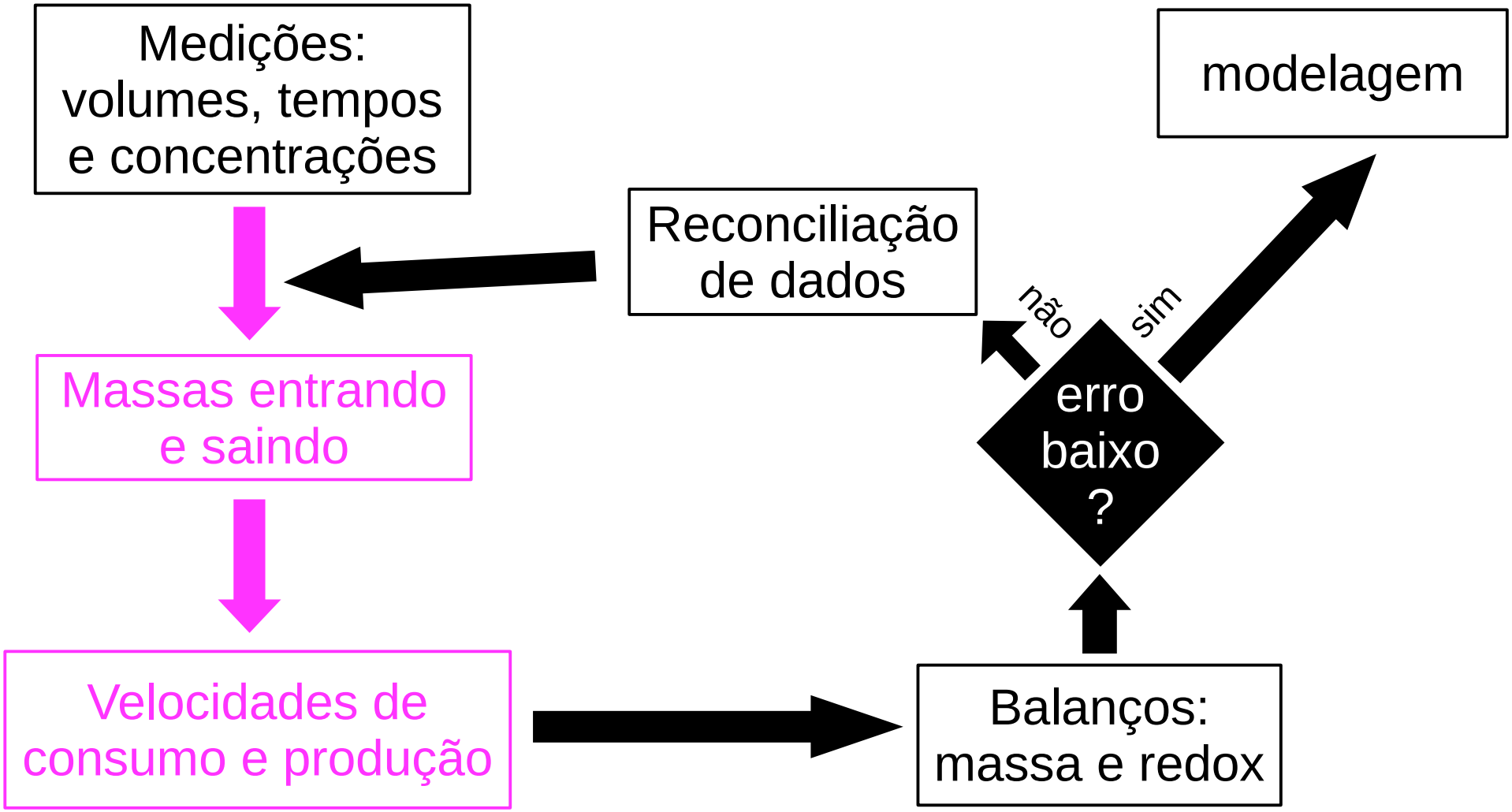


Estado Pseudo-Estacionário

Vamos começar a parte 2:
Bateladas alimentadas

Processo de tratamento de dados

Mesmo da aula passada, mas agora para batelada alimentada

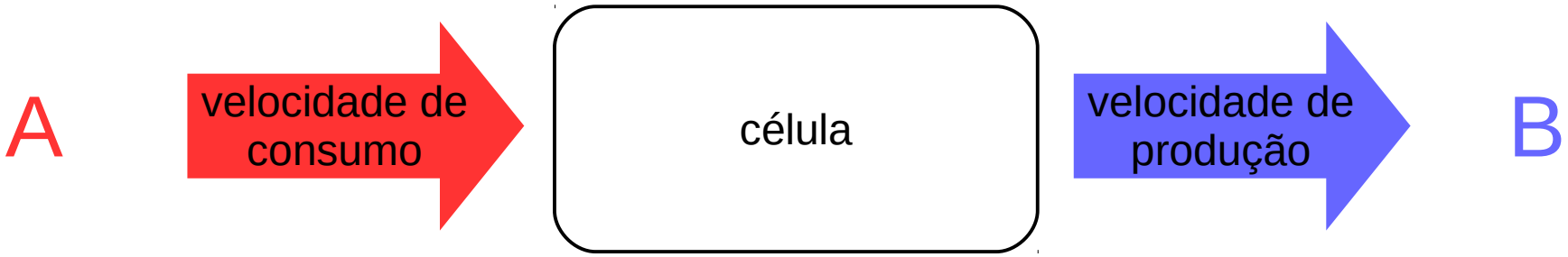


Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta\,\text{massa}_A}{\Delta\,\text{tempo}}$$

$$Y_{B/A} = \frac{v_B}{v_A}$$



Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta \text{massa}_A}{\Delta \text{tempo}}$$

Mas temos um problema!

Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta \text{massa}_A}{\Delta \text{tempo}}$$

As velocidades não são mais constantes, pois a concentração de células e o volume podem ambos variar!

Mas temos um problema!

Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta \text{massa}_A}{\Delta \text{tempo}}$$

Então precisamos desfazer as ambiguidades sobre a biomassa (X):

$$v_X = \frac{\Delta m_X}{\Delta t} \xrightarrow[\Delta t \to 0]{} v_X = \frac{d(m_X)}{dt}$$

Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta\,\text{massa}_A}{\Delta\,\text{tempo}}$$

Então precisamos desfazer as ambiguidades sobre a biomassa (X):

$$v_X = \frac{\Delta\,m_X}{\Delta\,t} \xrightarrow[\Delta\,t \to 0]{} v_X = \frac{d\left(m_X\right)}{dt}$$

Nos livros-texto, temos a definição de velocidade específica de crescimento:

$$\mu = \frac{1}{X} \cdot \frac{d\left(X\right)}{dt}$$

Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta\,\text{massa}_A}{\Delta\,\text{tempo}}$$

Então precisamos desfazer as ambiguidades sobre a biomassa (X):

$$v_X = \frac{\Delta m_X}{\Delta t} \xrightarrow[\Delta t \to 0]{} v_X = \frac{d(m_X)}{dt}$$

Nos livros-texto, temos a definição de velocidade específica de crescimento:

$$\mu = \frac{1}{X} \cdot \frac{d(X)}{dt}$$

Porém, nos livros X é CONCENTRAÇÃO (g/L) e aqui o nosso m_X é MASSA (g)!

Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta\,\text{massa}_A}{\Delta\,\text{tempo}}$$

Então precisamos desfazer as ambiguidades sobre a biomassa (X):

$$v_X = \frac{\Delta m_X}{\Delta t} \xrightarrow[\Delta t \to 0]{} v_X = \frac{d(m_X)}{dt}$$

Nos livros-texto, temos a definição de velocidade específica de crescimento:

$$\mu = \frac{1}{X} \cdot \frac{d(X)}{dt}$$

Essa equação veio do NÚMERO DE CÉLULAS considerando o VOLUME CONSTANTE. Mas em batelada alimentada o **volume não é constante**!

Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta\,\text{massa}_A}{\Delta\,\text{tempo}}$$

Então precisamos desfazer as ambiguidades sobre a biomassa (X):

$$v_X = \frac{\Delta m_X}{\Delta t} \xrightarrow[\Delta t \to 0]{} v_X = \frac{d(m_X)}{dt}$$

Nos livros-texto, temos a definição de velocidade específica de crescimento:

Esta é a equação sem assumir volume constante:

$$\mu = \frac{1}{m_X} \cdot \frac{d(m_X)}{dt}$$

Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta\,\text{massa}_A}{\Delta\,\text{tempo}}$$

Então precisamos desfazer as ambiguidades sobre a biomassa (X):

$$v_X = \frac{\Delta m_X}{\Delta t} \xrightarrow[\Delta t \to 0]{} v_X = \frac{d(m_X)}{dt}$$

Nos livros-texto, temos a definição de velocidade específica de crescimento:

Esta é a equação sem assumir volume constante:

$$\mu = \frac{1}{m_X} \cdot \frac{d(m_X)}{dt}$$

E esta é a razão de a equação ficar idêntica à original quando o volume é constante:

$$\mu = \frac{1}{(X \cdot V)} \cdot \frac{d(X \cdot V)}{dt} = \frac{1}{(X \cdot \cancel{V})} \cdot \frac{\cancel{V} \cdot d(X)}{dt}$$

Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta\,\text{massa}_A}{\Delta\,\text{tempo}}$$

Então precisamos desfazer as ambiguidades sobre a biomassa (X):

$$v_X = \frac{\Delta m_X}{\Delta t} \xrightarrow[\Delta t \to 0]{} v_X = \frac{d(m_X)}{dt}$$

Nos livros-texto, temos a definição de velocidade específica de crescimento:

Pergunta: a massa é a variável original deste fenômeno ou ao usar a massa já estamos assumindo algo?

$$\mu = \frac{1}{m_X} \cdot \frac{d(m_X)}{dt}$$

Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

velocidade de consumo/formação de A

$$\mu_A = q_A = \frac{1}{m_X} \times v_A$$

velocidade específica de consumo/formação de A

Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

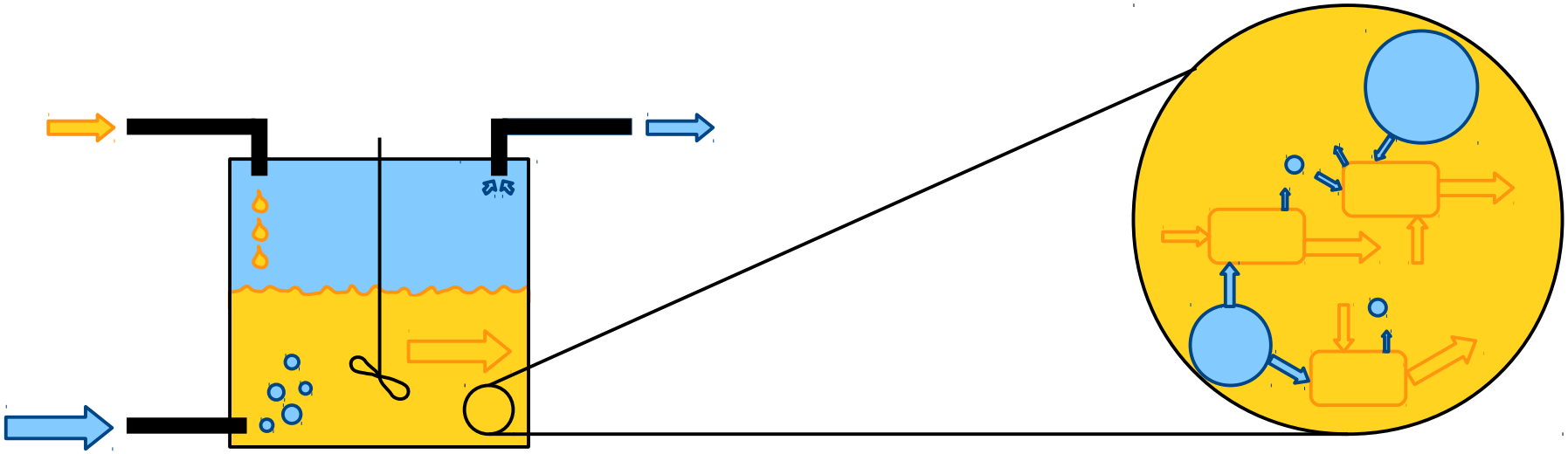
velocidade de consumo/produção de A

Isto é o que acontece no reator como um todo

$$\mu_A = q_A = \frac{1}{m_X} \times v_A$$

velocidade específica de consumo/produção de A

Isto é o que acontece dentro de cada célula



Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

velocidade de consumo/produção de A

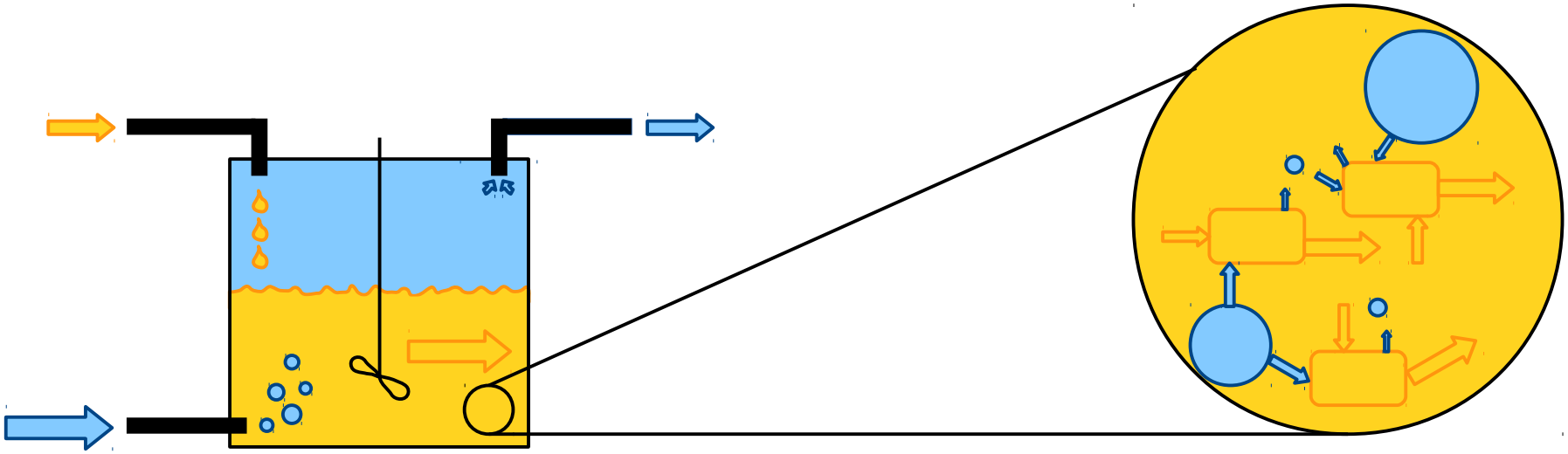
Isto é o que acontece no reator como um todo

$$\mu_A = q_A = \frac{1}{m_X} \times v_A$$

velocidade específica de consumo/produção de A

ASSUMINDO POPULAÇÃO UNIFORME!

Isto é o que acontece dentro de cada célula



Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada. Por que agora é μ em vez de v?

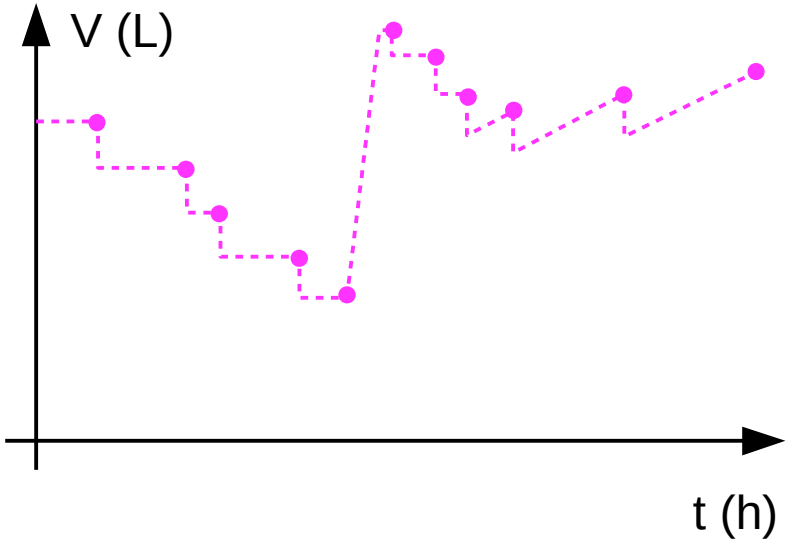
$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

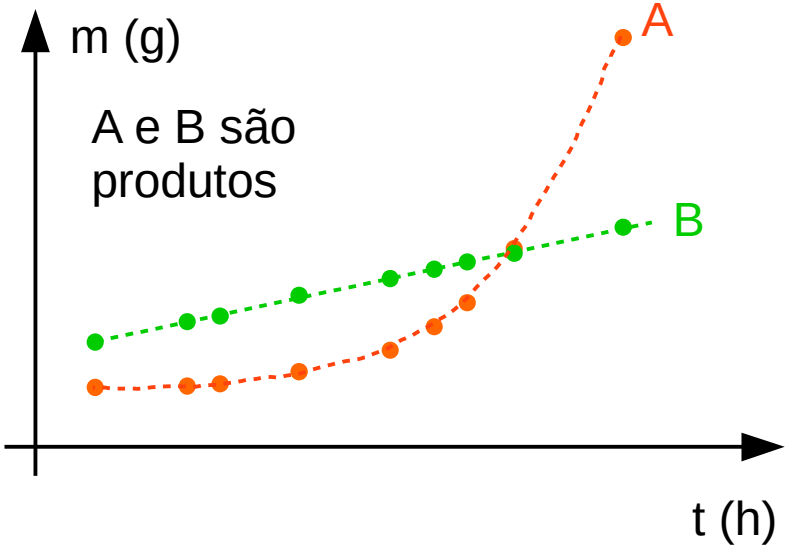
velocidade de consumo/produção de A

V e v_A nesses 2 gráficos não podem ser considerados pseudo-estacionários

$$\mu_A = q_A = \frac{1}{m_X} \times v_A$$

velocidade específica de consumo/produção de A





Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada. Por que agora é μ em vez de v?

$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

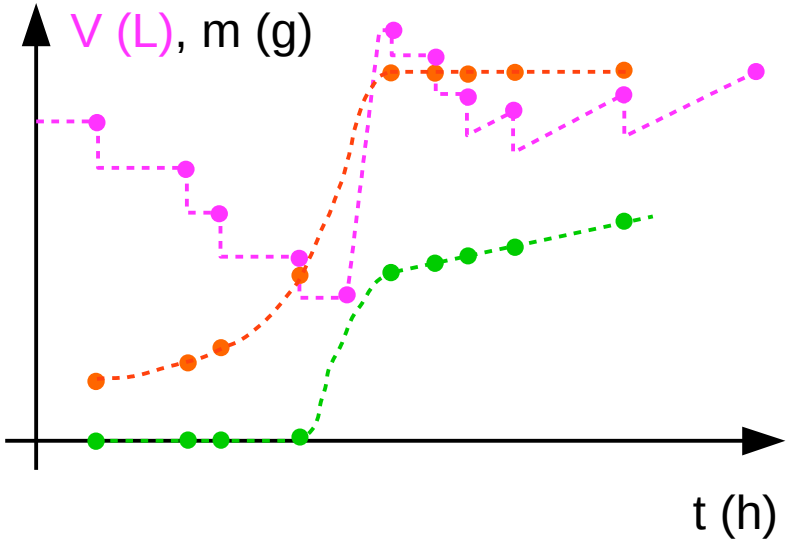
velocidade de consumo/produção de A

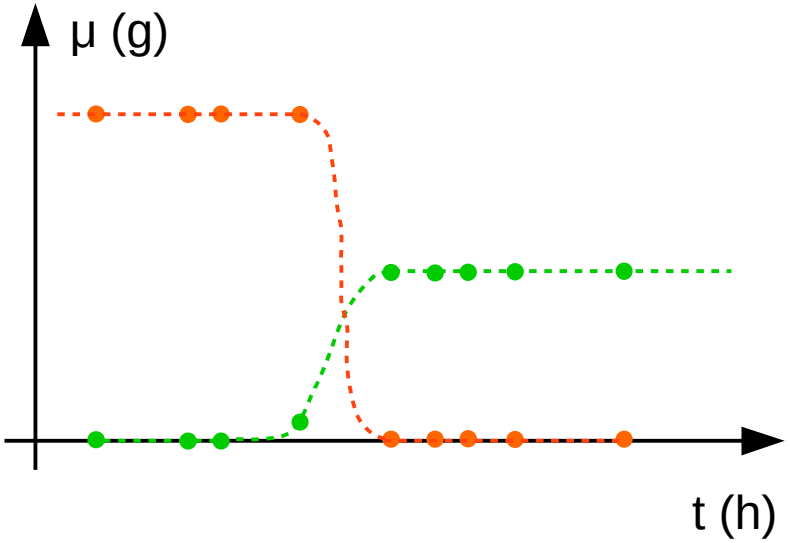
Mas os μ talvez possam!

Células + PHA

$$\mu_A = q_A = \frac{1}{m_X} \times v_A$$

velocidade específica de consumo/produção de A





curva laranja: A é a biomassa residual (somente células, sem PHA)
curva verde: A é o PHA, inversamente associado ao crescimento quando este é lento

Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada. Por que agora é μ em vez de v?

$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

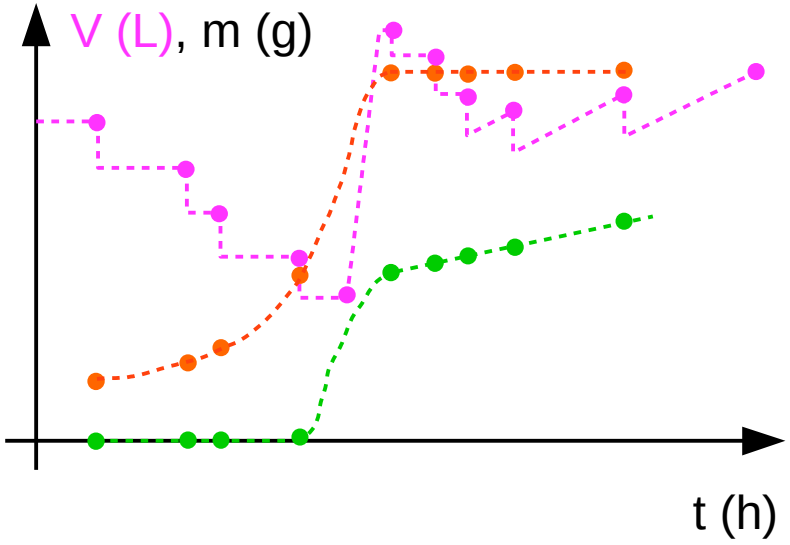
velocidade de consumo/produção de A

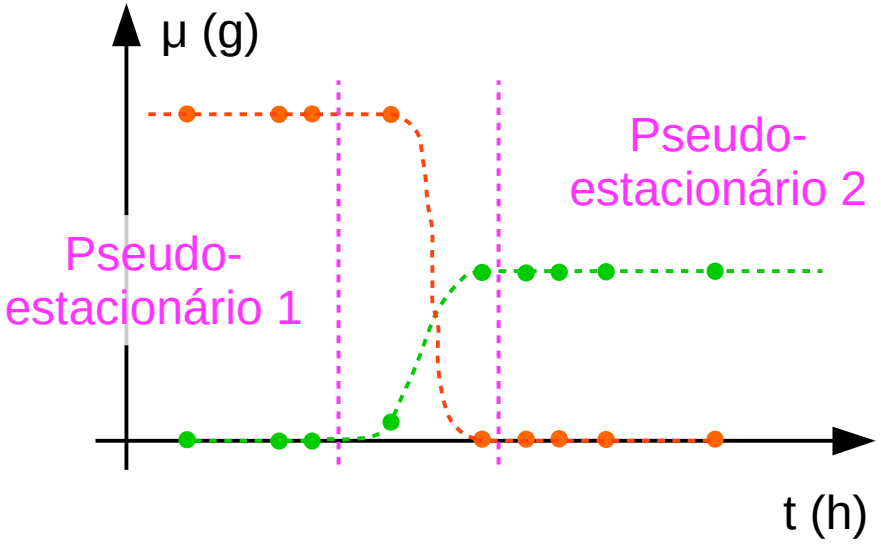
Mas os μ talvez possam!

Células + PHA

$$\mu_A = q_A = \frac{1}{m_X} \times v_A$$

velocidade específica de consumo/produção de A





curva laranja: A é a biomassa residual (somente células, sem PHA)
curva verde: A é o PHA, inversamente associado ao crescimento quando este é lento

Cálculos experimentais

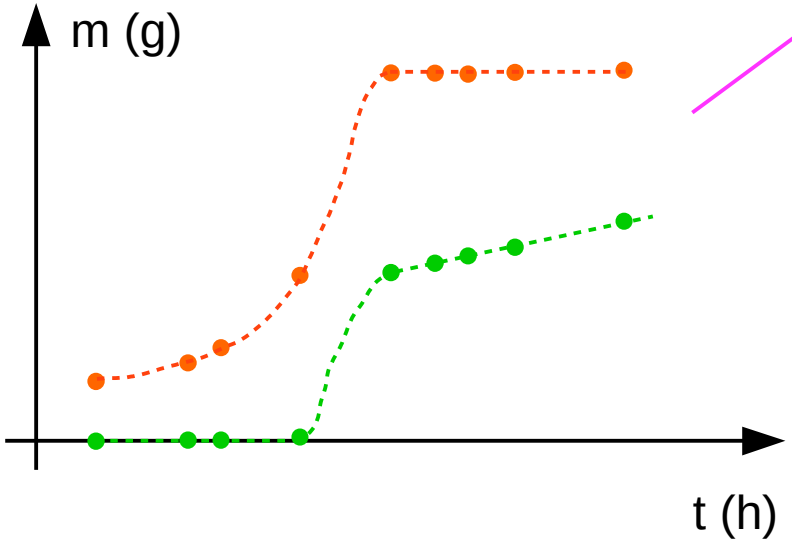
- Queremos calcular as velocidades específicas de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

velocidade de consumo/produção de A

Células + PHA

Na aula passada tivemos que estimar a vazão volumétrica de controle de pH usando pontos de volume em função do tempo. Ou seja: L → L/h



curva laranja: A é a biomassa residual (somente células, sem PHA)
curva verde: A é o PHA, inversamente associado ao crescimento quando este é lento

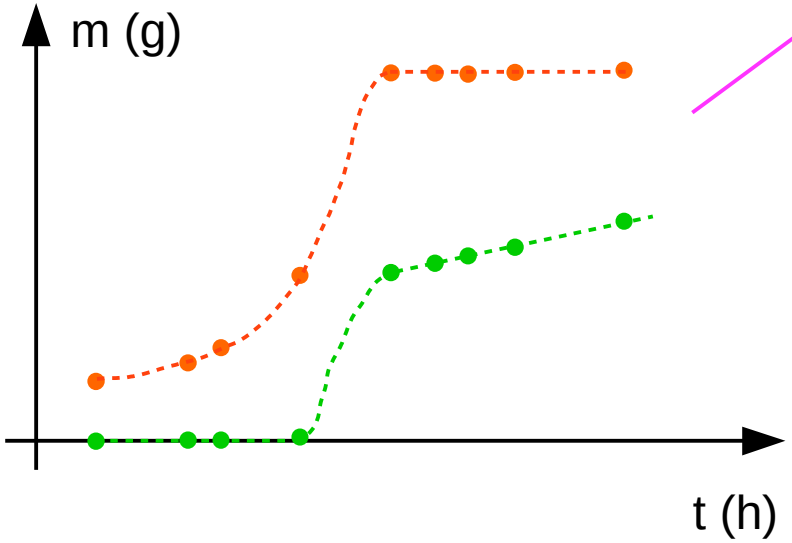
Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades específicas de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

velocidade de consumo/produção de A

Células + PHA



Na aula passada tivemos que estimar a vazão volumétrica de controle de pH usando pontos de volume em função do tempo. Ou seja: L → L/h

A grande maioria de vocês estimou a vazão em cada intervalo isoladamente:

$$F_{ponto\,1} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

curva laranja: A é a biomassa residual (somente células, sem PHA)
curva verde: A é o PHA, inversamente associado ao crescimento quando este é lento

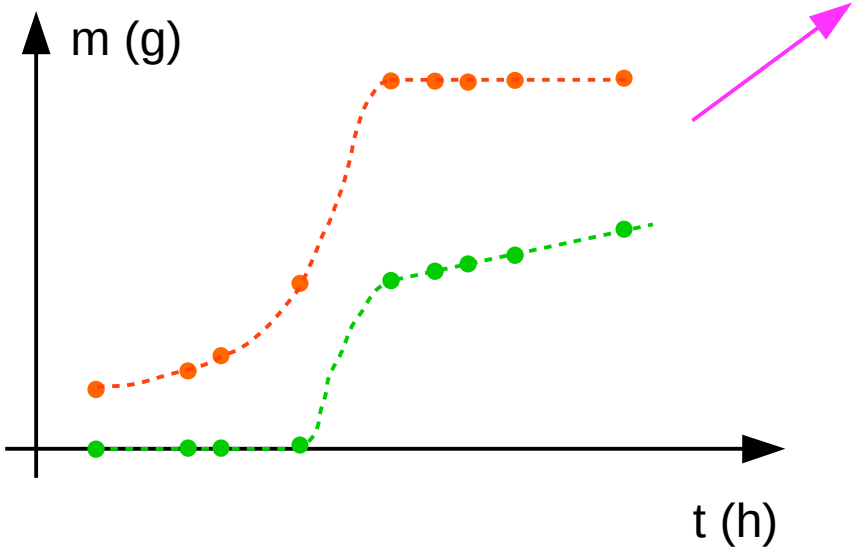
Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades específicas de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

velocidade de consumo/produção de A

Células + PHA



A grande maioria de vocês estimou a vazão em cada intervalo isoladamente:

$$F_{ponto\,1} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

E nos pontos iniciais, fora do estado estacionário, o resultado ficou estranho. Vejamos agora o porquê!

curva laranja: A é a biomassa residual (somente células, sem PHA)
curva verde: A é o PHA, inversamente associado ao crescimento quando este é lento

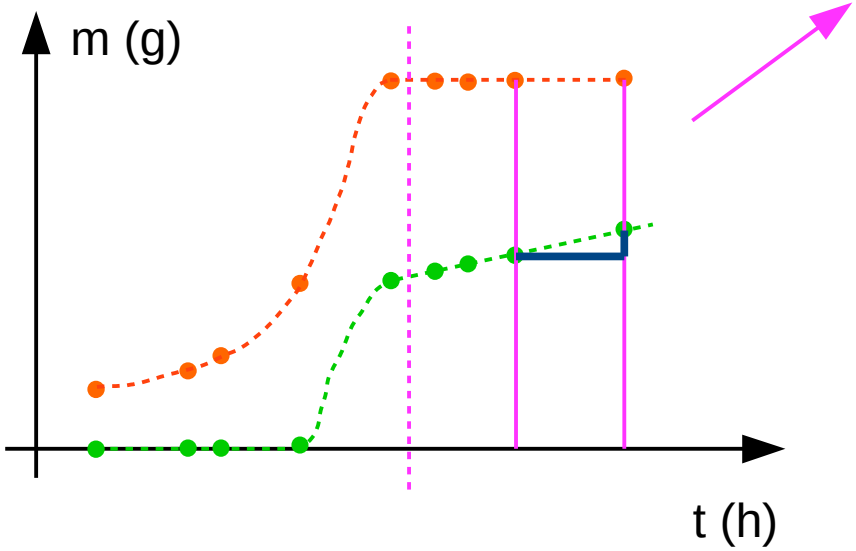
Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades específicas de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

velocidade de consumo/produção de A

Células + PHA



E nos pontos iniciais, fora do estado estacionário, o resultado ficou estranho. Vejamos agora o porquê!

laranja: $$v_8 = \frac{m_9 - m_8}{t_9 - t_8} = 0$$

verde: $$v_8 = \frac{m_9 - m_8}{t_9 - t_8} = k$$

curva laranja: A é a biomassa residual (somente células, sem PHA)
curva verde: A é o PHA, inversamente associado ao crescimento quando este é lento

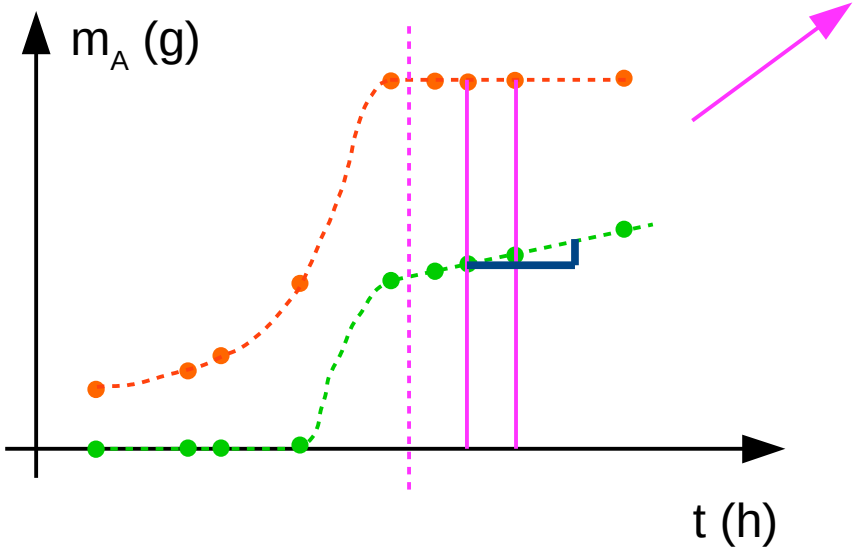
Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades específicas de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

velocidade de consumo/produção de A

Células + PHA



E nos pontos iniciais, fora do estado estacionário, o resultado ficou estranho. Vejamos agora o porquê!

laranja: $$v_7 = \frac{m_8 - m_7}{t_8 - t_7} = 0 = v_8$$

verde: $$v_7 = \frac{m_8 - m_7}{t_8 - t_7} = k = v_8$$

curva laranja: A é a biomassa residual (somente células, sem PHA)
curva verde: A é o PHA, inversamente associado ao crescimento quando este é lento

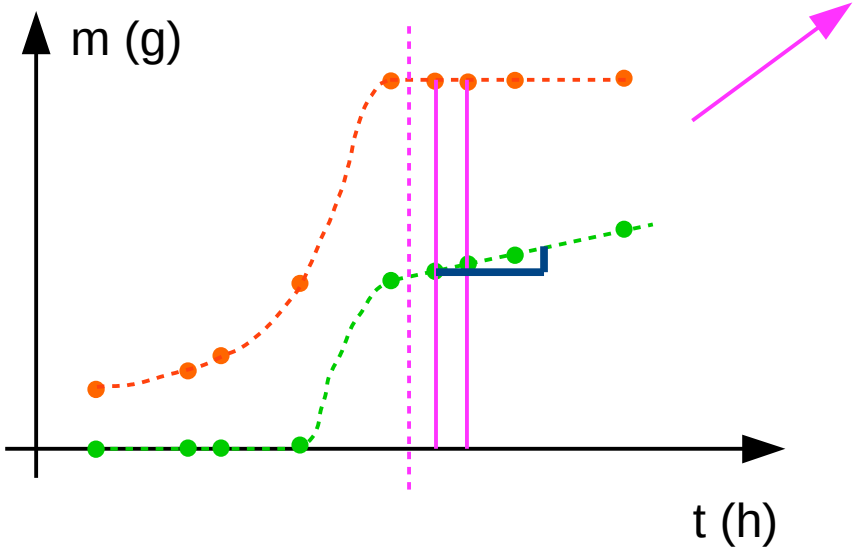
Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades específicas de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

velocidade de consumo/produção de A

Células + PHA



E nos pontos iniciais, fora do estado estacionário, o resultado ficou estranho. Vejamos agora o porquê!

laranja: $$v_6 = \frac{m_7 - m_6}{t_7 - t_6} = 0 = v_7 = v_8$$

verde: $$v_6 = \frac{m_7 - m_6}{t_7 - t_6} = k = v_7 = v_8$$

curva laranja: A é a biomassa residual (somente células, sem PHA)
curva verde: A é o PHA, inversamente associado ao crescimento quando este é lento

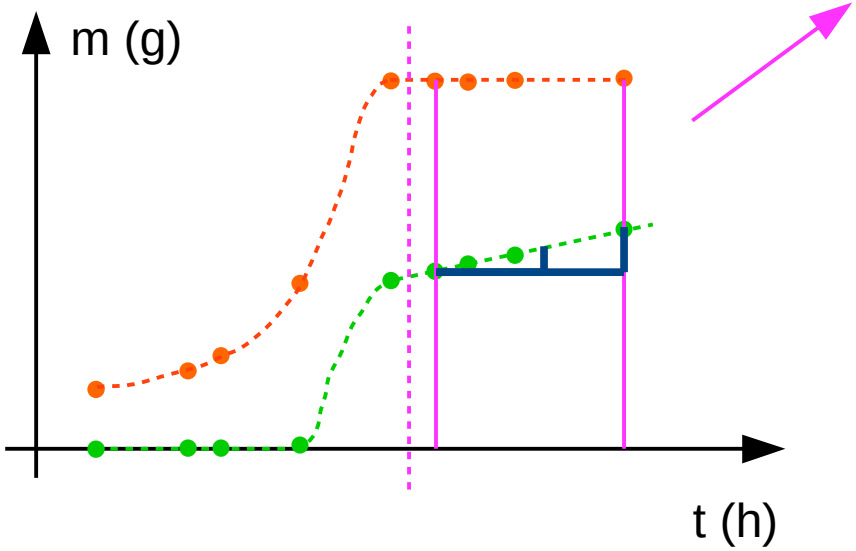
Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades específicas de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

Células + PHA

velocidade de consumo/produção de A



E nos pontos iniciais, fora do estado estacionário, o resultado ficou estranho. Vejamos agora o porquê!

laranja: $$v_{69} = \frac{m_9 - m_6}{t_9 - t_6} = 0 = v_6 = v_7 = v_8$$

verde: $$v_{69} = \frac{m_9 - m_6}{t_9 - t_6} = k = v_6 = v_7 = v_8$$

curva laranja: A é a biomassa residual (somente células, sem PHA)
curva verde: A é o PHA, inversamente associado ao crescimento quando este é lento

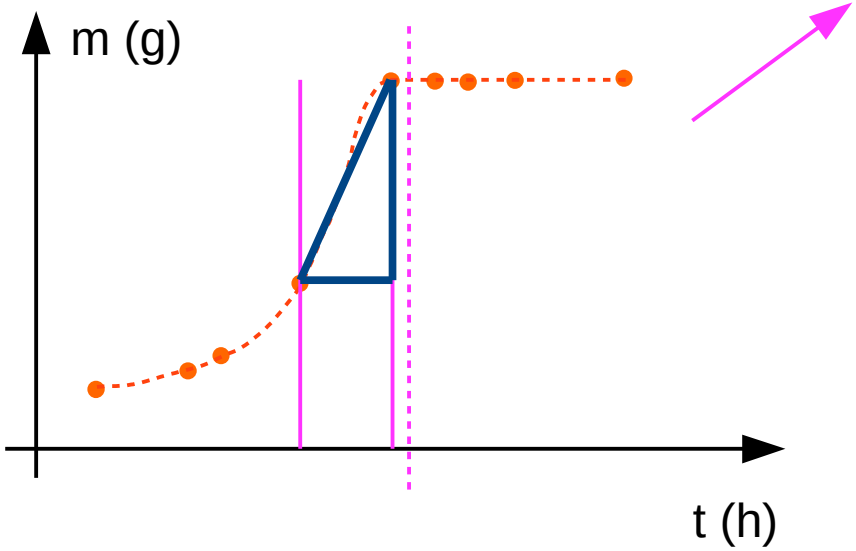
Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades específicas de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

Células + PHA

velocidade de consumo/produção de A



E nos pontos iniciais, fora do estado estacionário, o resultado ficou estranho. Vejamos agora o porquê!

laranja: $$v_4 = \frac{m_5 - m_4}{t_5 - t_4} = k_4$$

curva laranja: A é a biomassa residual (somente células, sem PHA)

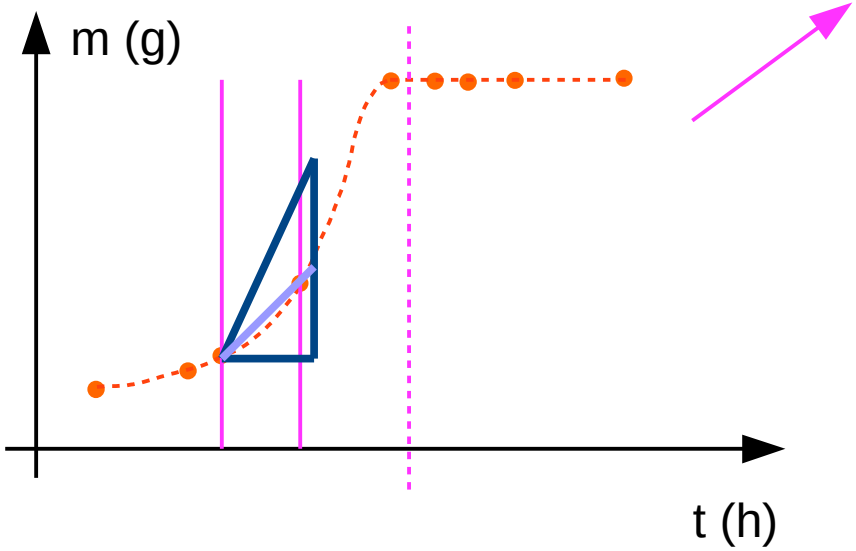
Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades específicas de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

velocidade de consumo/produção de A

Células + PHA



E nos pontos iniciais, fora do estado estacionário, o resultado ficou estranho. Vejamos agora o porquê!

laranja: $$v_3 = \frac{m_4 - m_3}{t_4 - t_3} = k_3 \neq k_4$$

curva laranja: A é a biomassa residual (somente células, sem PHA)

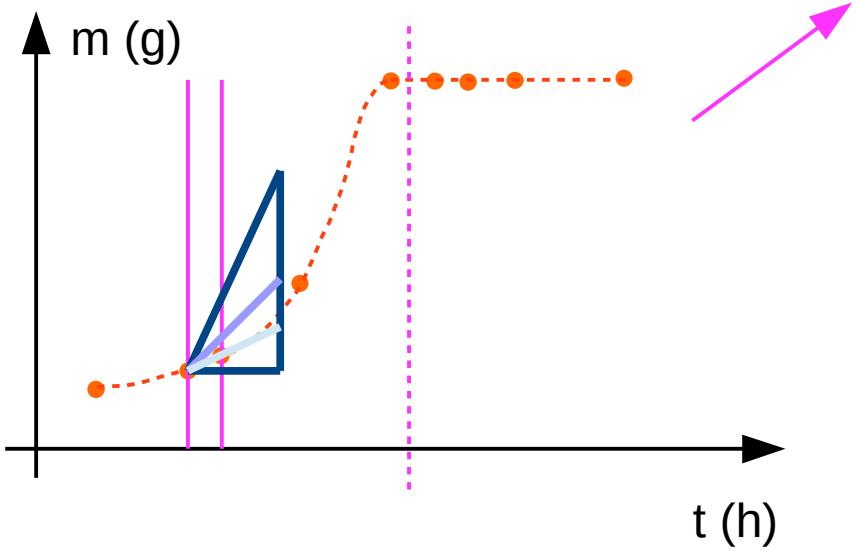
Cálculos experimentais

- Queremos calcular as velocidades específicas de consumo e produção, pelas mesmas razões da aula passada:

$$v_A = \frac{\Delta m_A}{\Delta t}$$

velocidade de consumo/produção de A

Células + PHA



E nos pontos iniciais, fora do estado estacionário, o resultado ficou estranho. Vejamos agora o porquê!

laranja: $$v_2 = \frac{m_3 - m_2}{t_3 - t_2} = k_2 \neq k_3 \neq k_4$$

curva laranja: A é a biomassa residual (somente células, sem PHA)

Cálculos experimentais

- Então, para calcular os μ, precisamos:

Para cada instante de tempo:

1) calcular as massas, em particular a de células

2) estimar os v como as derivadas das massas do item 1

3) dividir os v do item 2 pela massa de células do item 1

PERGUNTA SURPRESA

Imagine uma batelada alimentada:
- Os gases fluem pelo reator e saem, carregando o efeito do cultivo
- Os líquidos não saem, então o efeito do cultivo se acumula neles

Então:

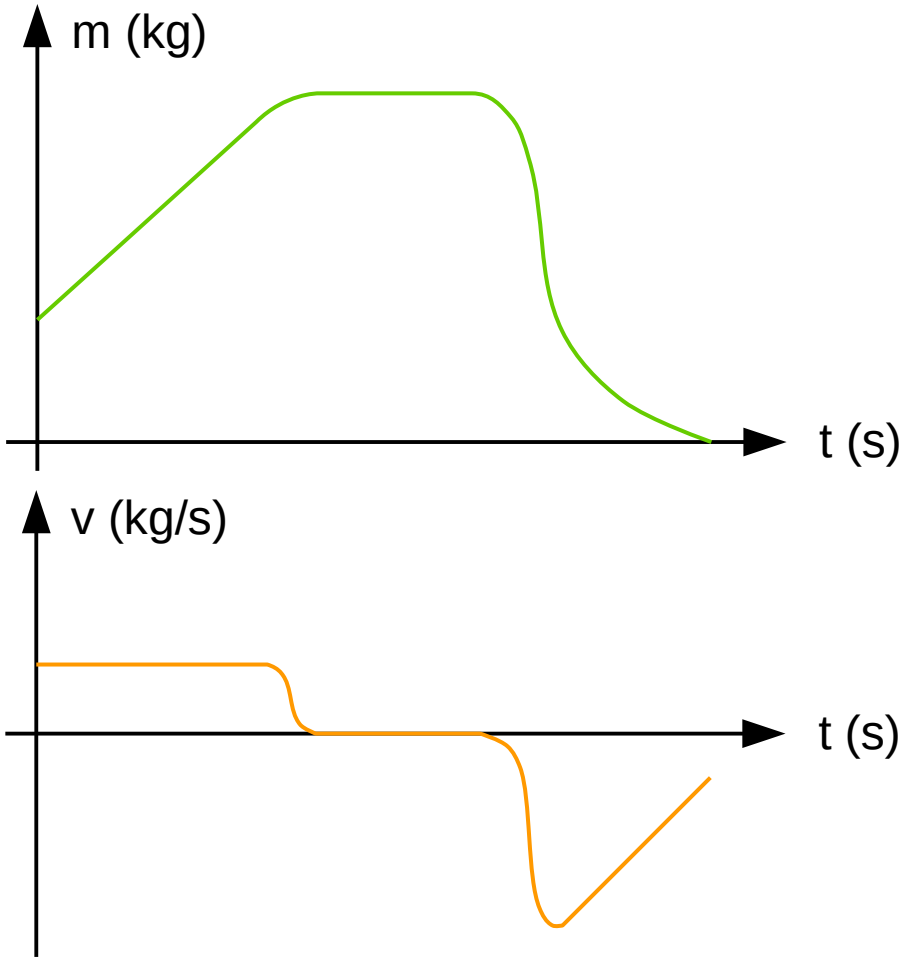
a) Qual das duas fases (líq. ou gás) é parecida com o quimiostato?

b) Considere os dois grupos de variáveis calculadas: as que usam medidas de concentrações e as que usam medidas de frações volumétricas. Qual a unidade de cada grupo no S.I.?

c) Qual é a relação entre os dois grupos do item b?

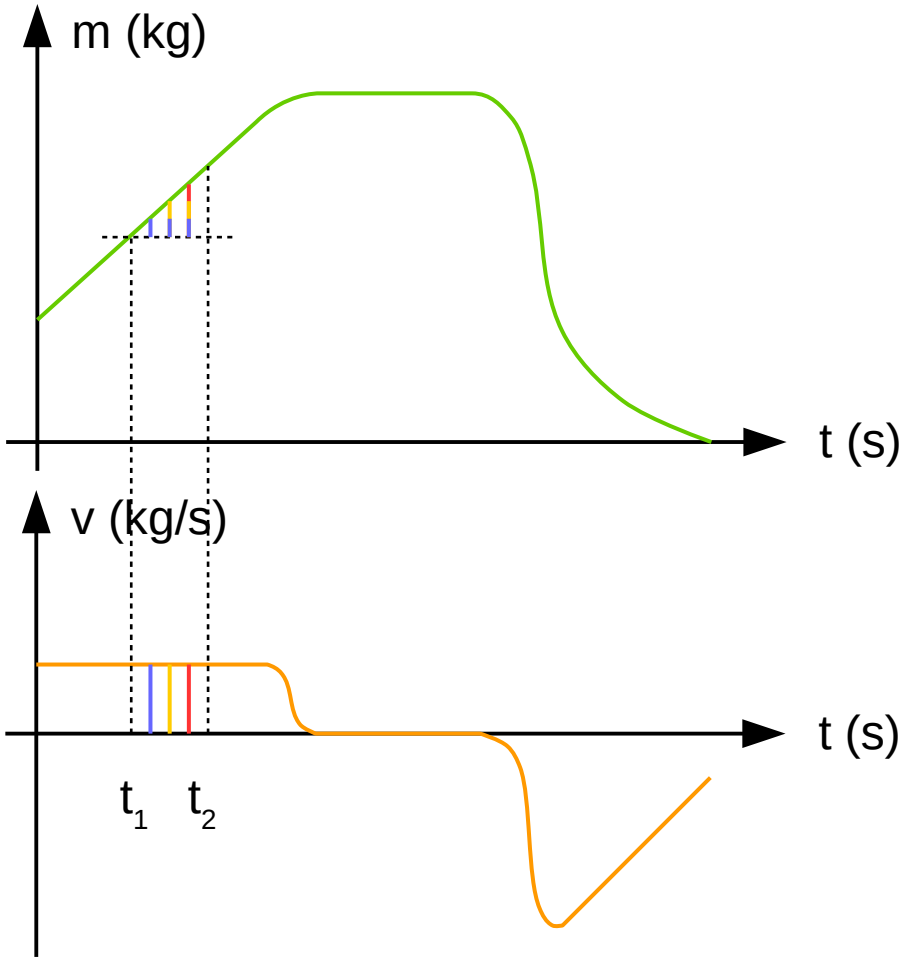
PERGUNTA SURPRESA

Imagine uma batelada alimentada:
- Os gases fluem pelo reator e saem, carregando o efeito do cultivo
- Os líquidos não saem, então o efeito do cultivo se acumula neles



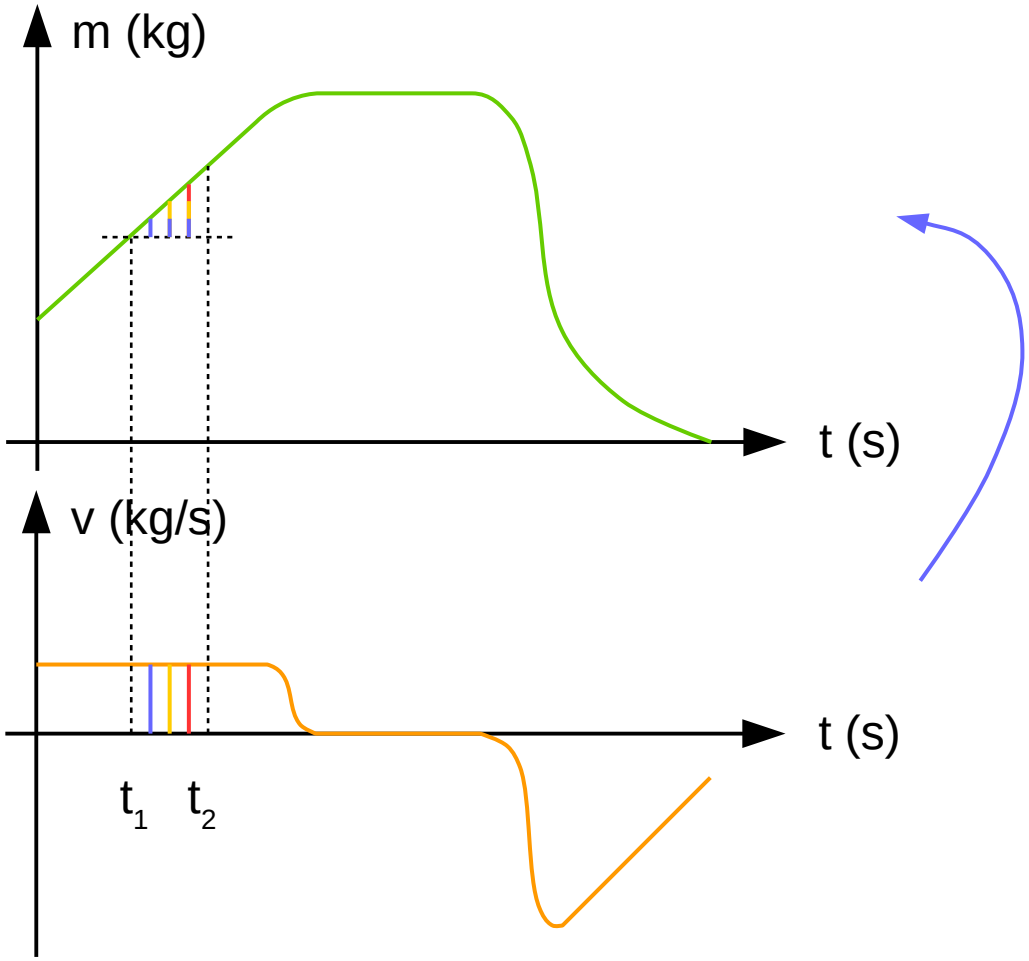
PERGUNTA SURPRESA

Imagine uma batelada alimentada:
- Os gases fluem pelo reator e saem, carregando o efeito do cultivo
- Os líquidos não saem, então o efeito do cultivo se acumula neles



PERGUNTA SURPRESA

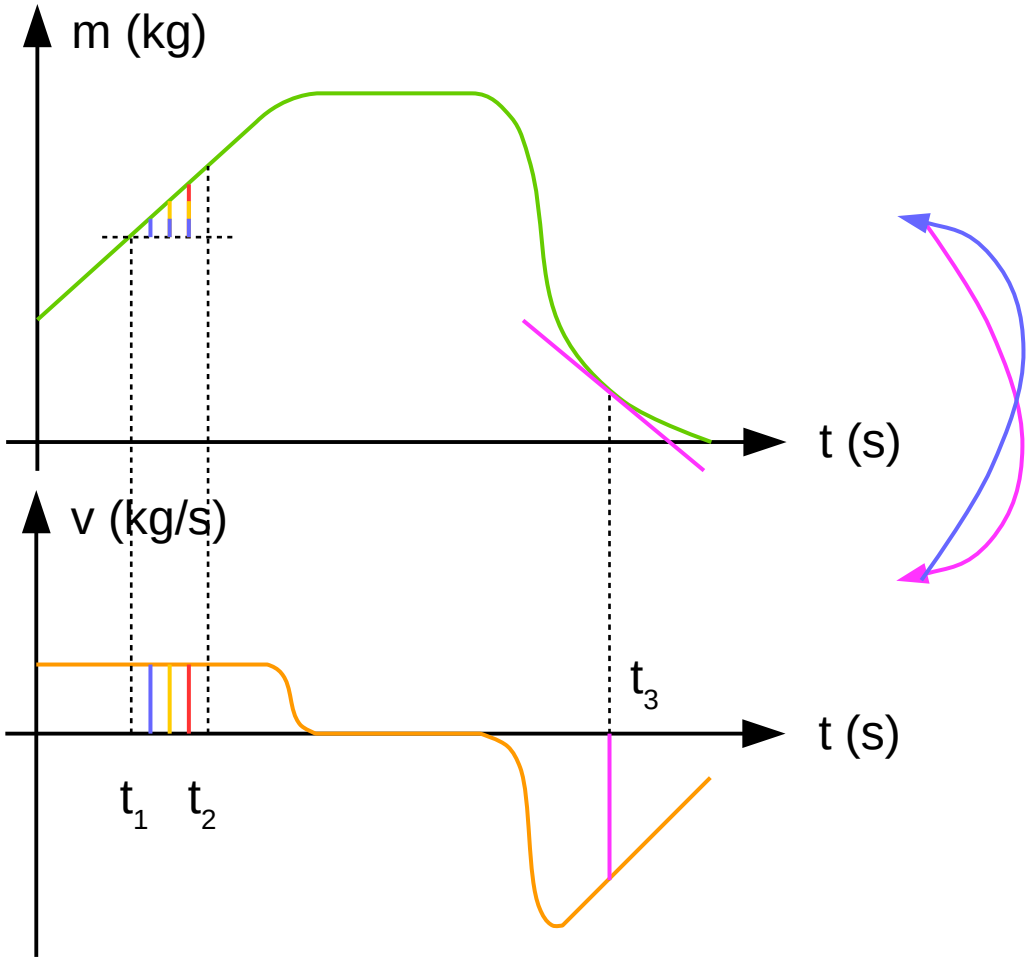
Imagine uma batelada alimentada:
- Os gases fluem pelo reator e saem, carregando o efeito do cultivo
- Os líquidos não saem, então o efeito do cultivo se acumula neles



$$m(t_2) - m(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} \left[v(t) \times dt \right]$$

PERGUNTA SURPRESA

Imagine uma batelada alimentada:
- Os gases fluem pelo reator e saem, carregando o efeito do cultivo
- Os líquidos não saem, então o efeito do cultivo se acumula neles



$$m(t_2) - m(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} \left[v(t) \times dt \right]$$

$$v(t_3) = \left. \frac{d\left[m(t)\right]}{dt} \right|_{t_3}$$

Cálculos experimentais

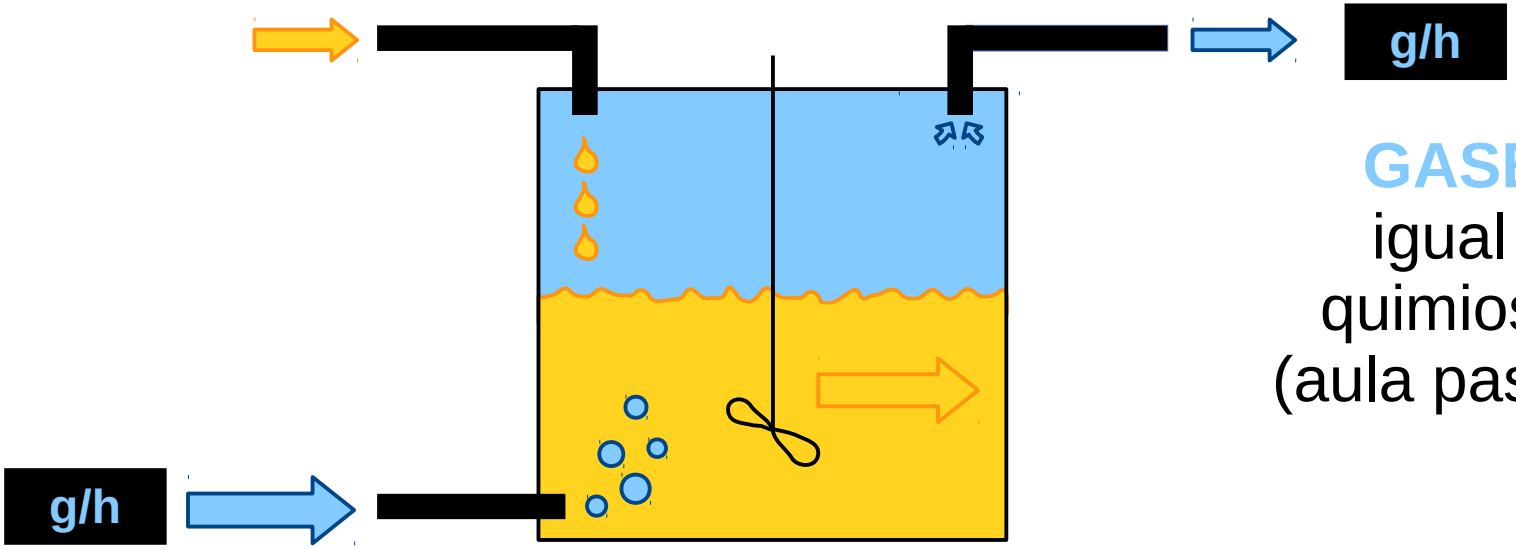
- Então, para calcular os μ, precisamos:

Para cada instante de tempo:

1) calcular as massas, em particular a de células

2) estimar os v como as derivadas das massas do item 1

3) dividir os v do item 2 pela massa de células do item 1



GASES
igual ao quimiostato (aula passada)

Cálculos experimentais

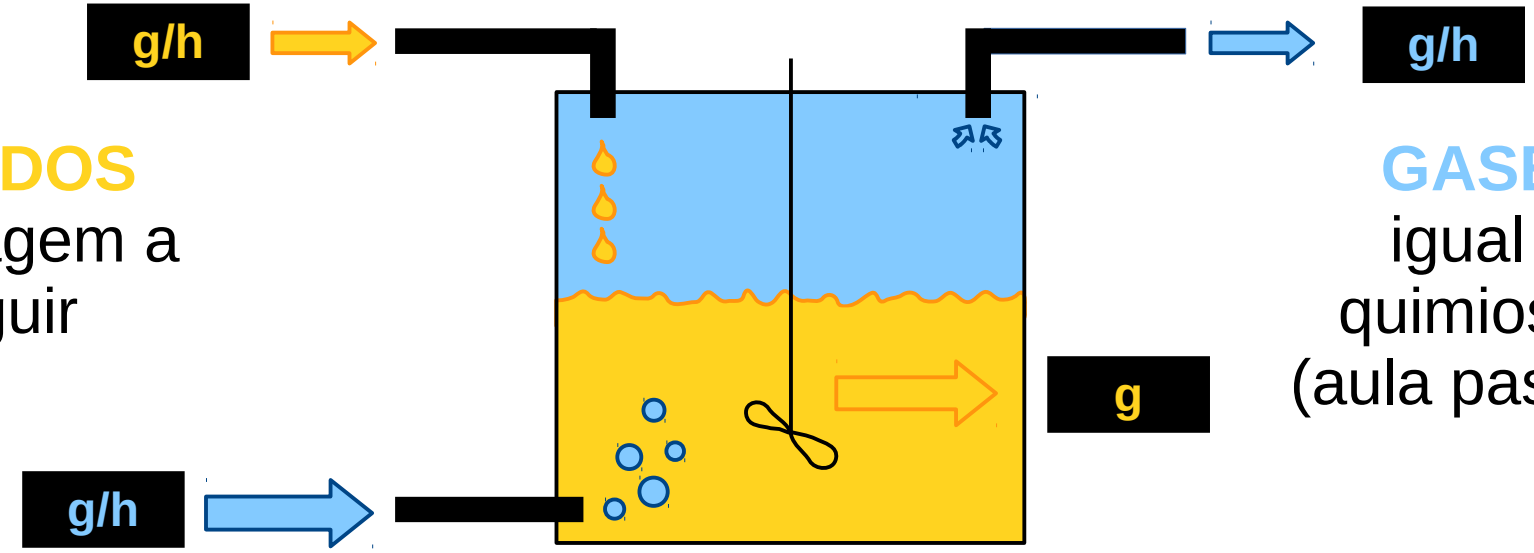
- Então, para calcular os μ, precisamos:

Para cada instante de tempo:

1) calcular as massas, em particular a de células

2) estimar os v como as derivadas das massas do item 1

3) dividir os v do item 2 pela massa de células do item 1



LÍQUIDOS
abordagem a seguir

GASES
igual ao quimiostato (aula passada)

Cálculos experimentais

Exercício 1: temos dados de uma batelada alimentada.

a) Usando a aba “batelada_alimentada_cru”, preencha as colunas de vazão mássica de entrada e saída de **gases** na aba “batelada_alimentada_tratado”. Dica: comece pelo $F_{G,out}$.

b) Na aba “batelada alimentada_tratado”, preencha as colunas v_{O2} e v_{CO2}, adotando a convenção de que negativo significa consumo e positivo significa formação

c) Ainda nessa aba, preencha as colunas μ_{O2} e μ_{CO2}

Cálculos experimentais

Exercício 1: temos dados de uma batelada alimentada.

a) Usando a aba “batelada_alimentada_cru”, preencha as colunas de vazão mássica de entrada e saída de **gases** na aba “batelada_alimentada_tratado”. Dica: comece pelo $F_{G,out}$.

b) Na aba “batelada alimentada_tratado”, preencha as colunas v_{O2} e v_{CO2}, adotando a convenção de que negativo significa consumo e positivo significa formação

c) Ainda nessa aba, preencha as colunas μ_{O2} e μ_{CO2}

Pegadinha! Você precisa dos m_x para calcular isso!

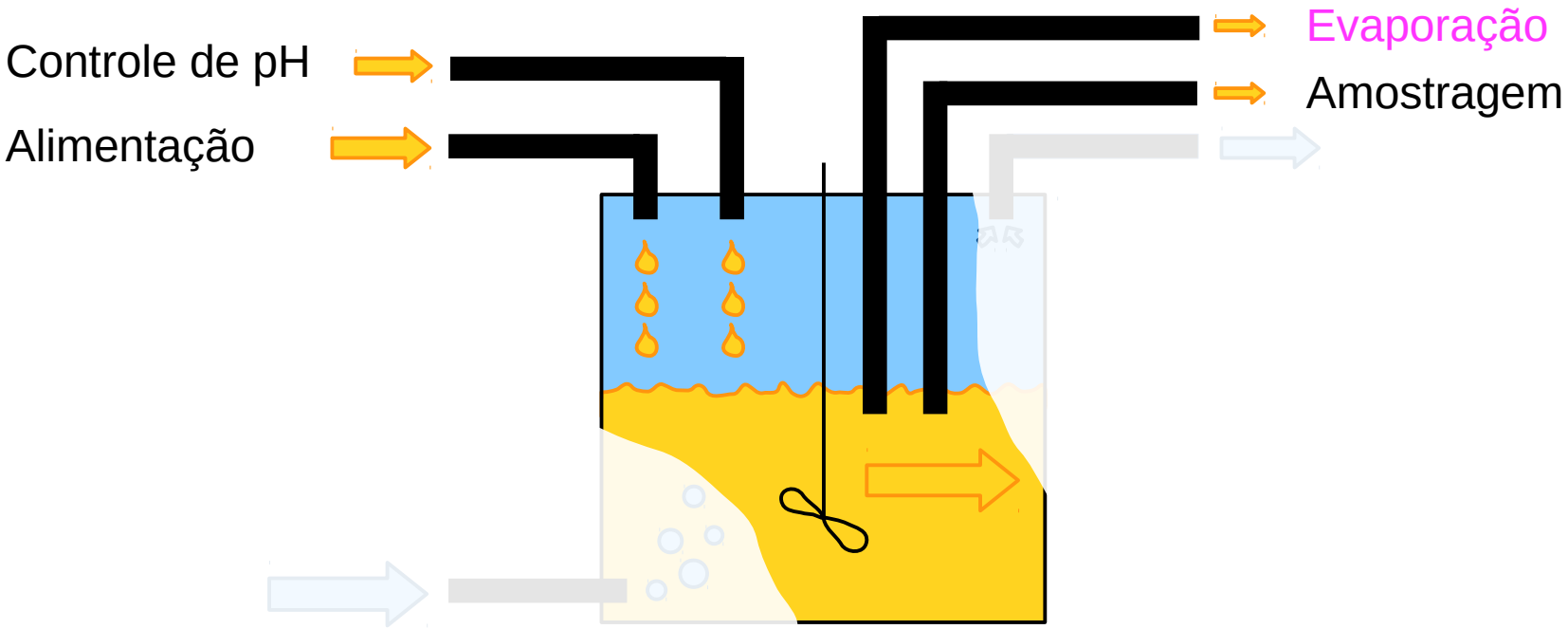
Cálculos experimentais

Agora vamos analisar os líquidos

Cálculos experimentais

Para os líquidos, o caso mais comum de batelada alimentada tem:
- 1 entrada de controle de pH
- 1 entrada de solução de alimentação, com substratos
- 1 saída correspondente à evaporação
- amostragem periódica, retirando o volume da amostra no menor intervalo de tempo possível

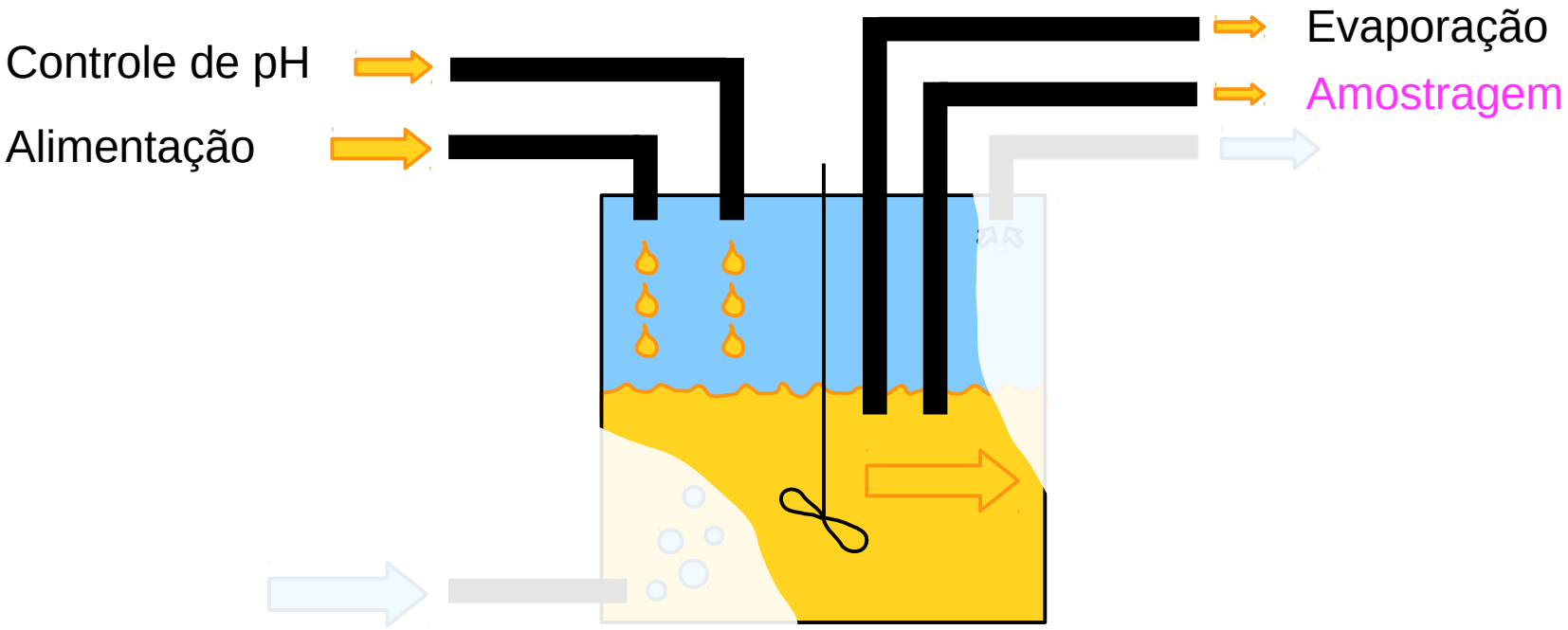
Pergunta: evaporação também acontece em quimiostatos. Por que não a consideramos lá?



Cálculos experimentais

Para os líquidos, o caso mais comum de batelada alimentada tem:
- 1 entrada de controle de pH
- 1 entrada de solução de alimentação, com substratos
- 1 saída correspondente à evaporação
- amostragem periódica, retirando o volume da amostra no menor intervalo de tempo possível

Pergunta: porque a amostragem tem que ser o mais rápido possível?

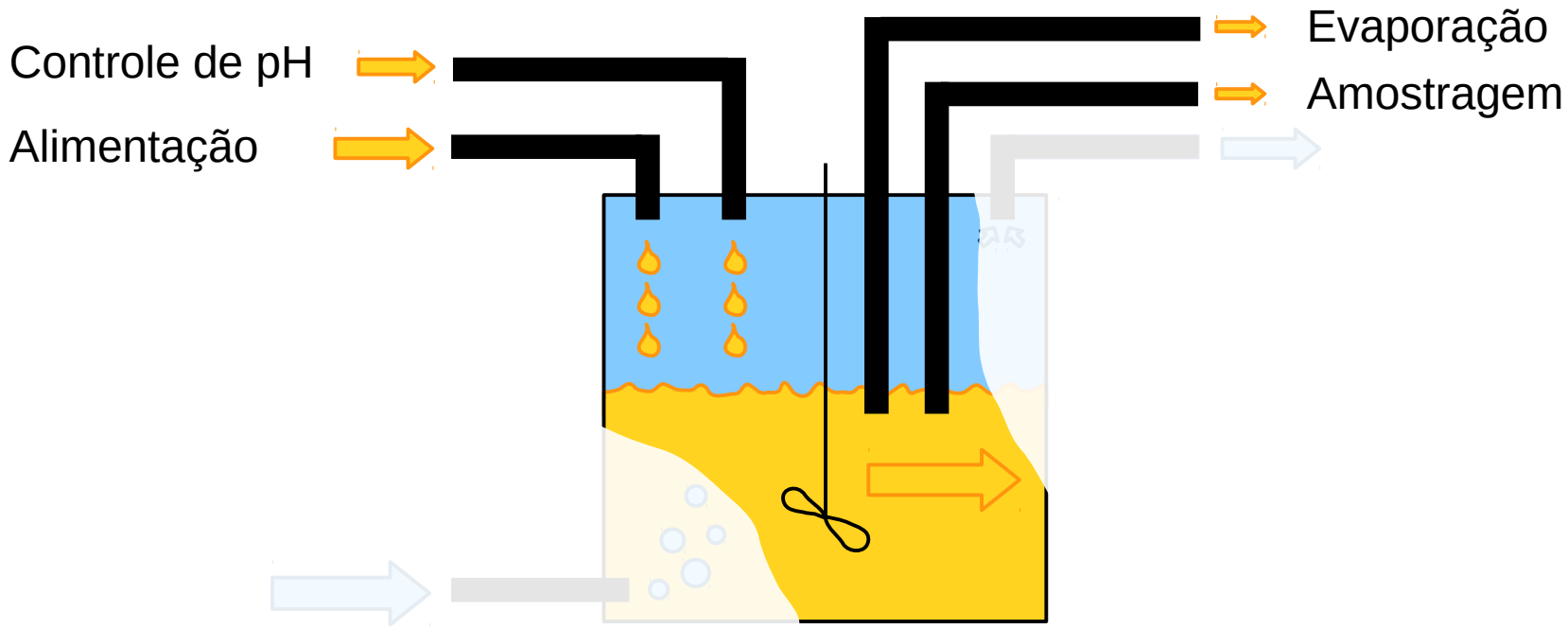


Cálculos experimentais

Passo 1 do cálculo dos μ (necessário somente para líquidos):

Para cada instante de tempo e todas as substâncias, calcular:

$$\underset{\left(\begin{array}{c}\text{massa de A}\\ \text{no reator}\end{array}\right)}{m_A} = \underset{\left(\begin{array}{c}\text{concentração de A}\\ \text{no reator}\end{array}\right)}{C_A} \times \underset{\left(\begin{array}{c}\text{volume de líquido}\\ \text{no reator}\end{array}\right)}{V_L}$$

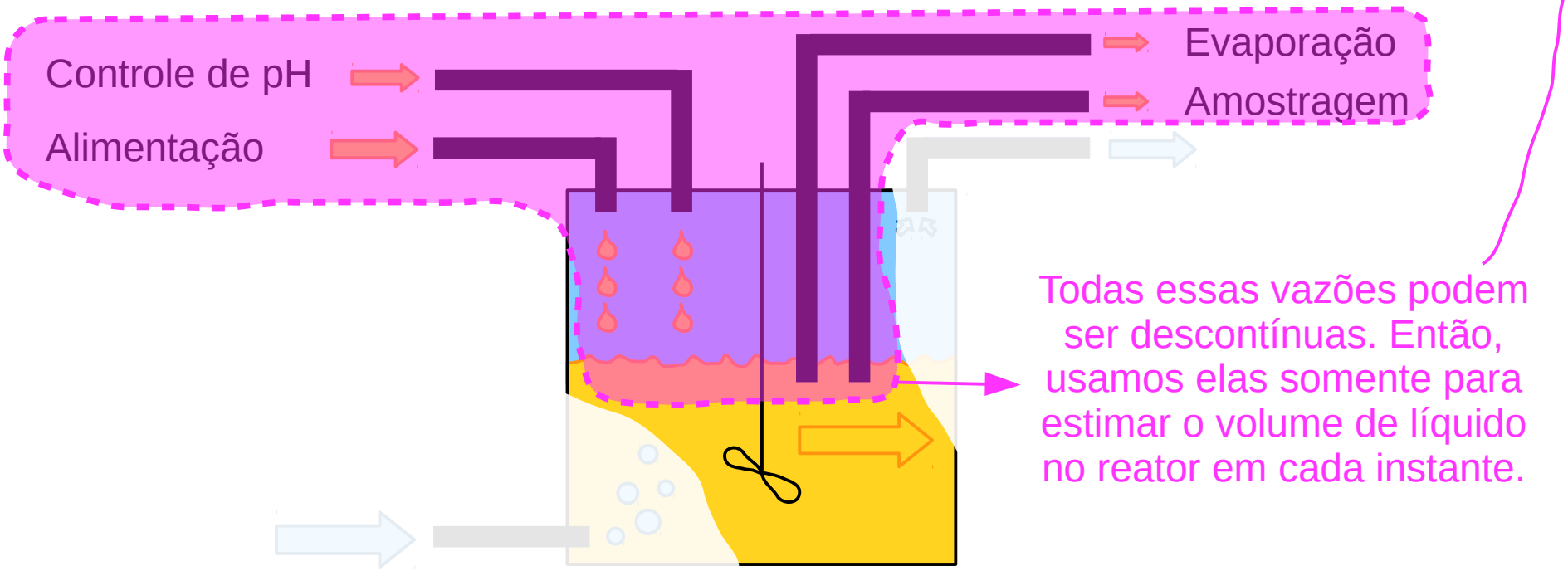


Cálculos experimentais

Passo 1 do cálculo dos μ (necessário somente para líquidos):

Para cada instante de tempo e todas as substâncias, calcular:

$$\underset{\left(\begin{array}{c}\text{massa de A}\\ \text{no reator}\end{array}\right)}{m_A} = \underset{\left(\begin{array}{c}\text{concentração de A}\\ \text{no reator}\end{array}\right)}{C_A} \times \underset{\left(\begin{array}{c}\text{volume de líquido}\\ \text{no reator}\end{array}\right)}{V_L}$$



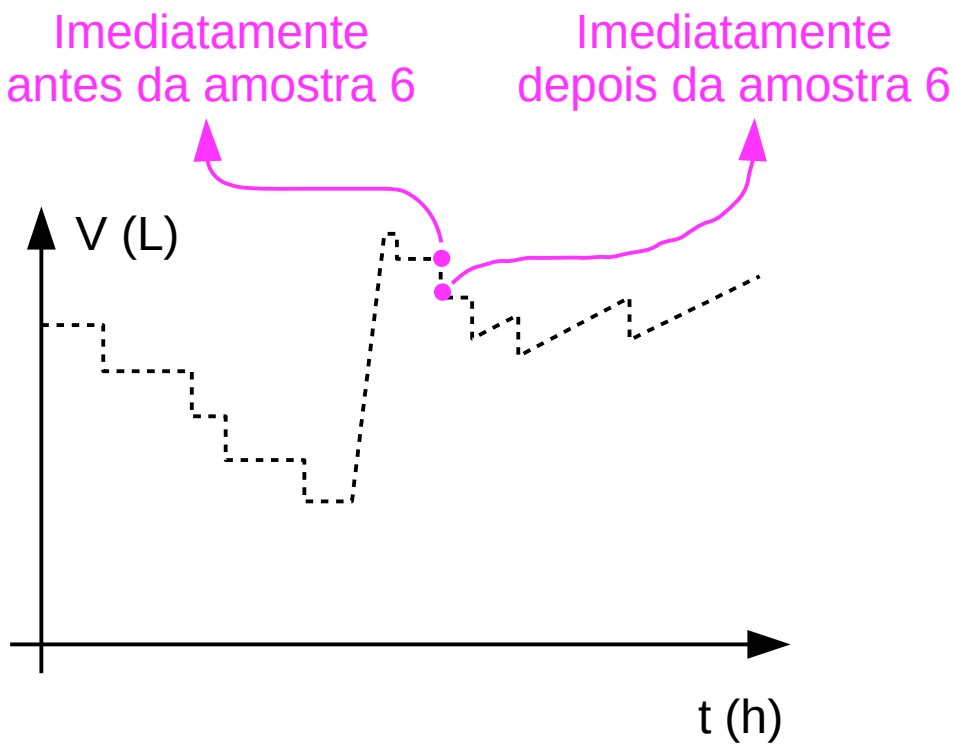
Cálculos experimentais

Exercício 2: Usando a aba “batelada_alimentada_cru”, preencha na aba “batelada alimentada_tratado” as colunas de massa acumulada de **líquidos** na entrada e saída do cultivo.

$$\underset{\left(\begin{array}{c}\text{massa de A}\\ \text{no reator}\end{array}\right)}{m_A} = \underset{\left(\begin{array}{c}\text{concentração de A}\\ \text{no reator}\end{array}\right)}{C_A} \times \underset{\left(\begin{array}{c}\text{volume de líquido}\\ \text{no reator}\end{array}\right)}{V_L}$$

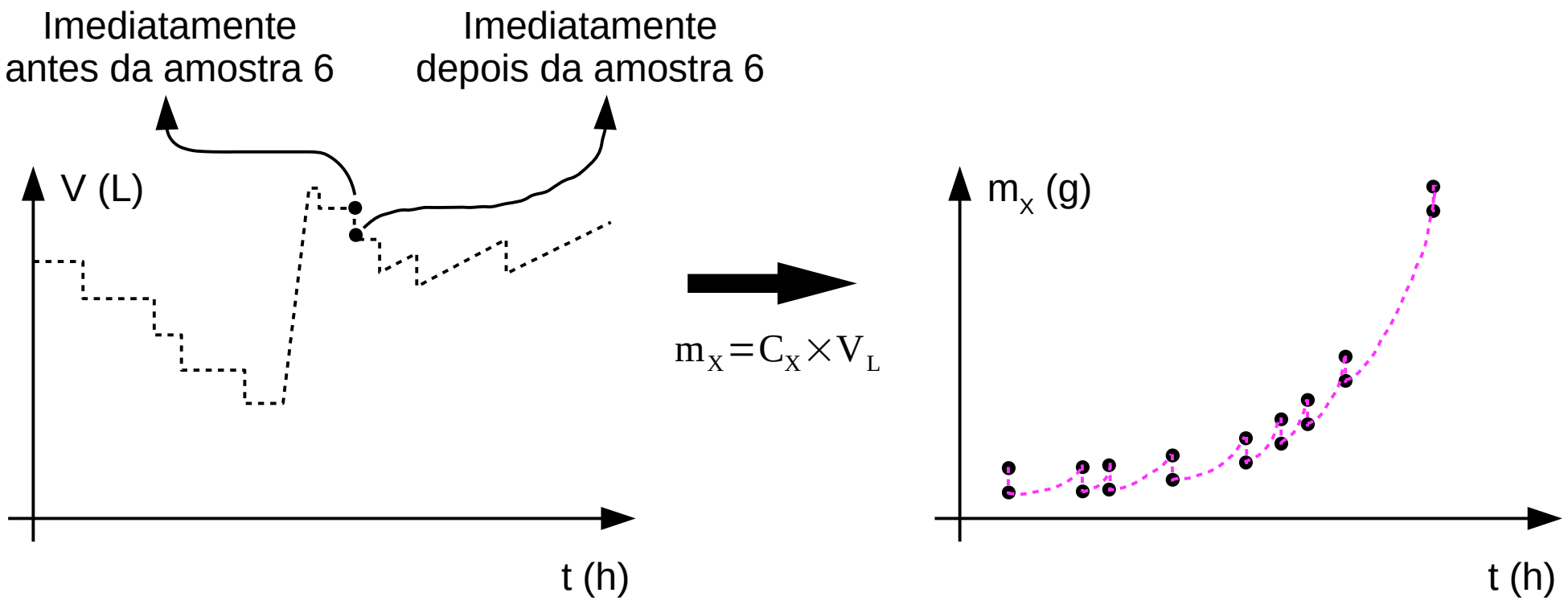
Cálculos experimentais

A curva de volume de líquido em função do tempo, $V_L(t)$, sempre terá um perfil serrilhado por causa da amostragem:



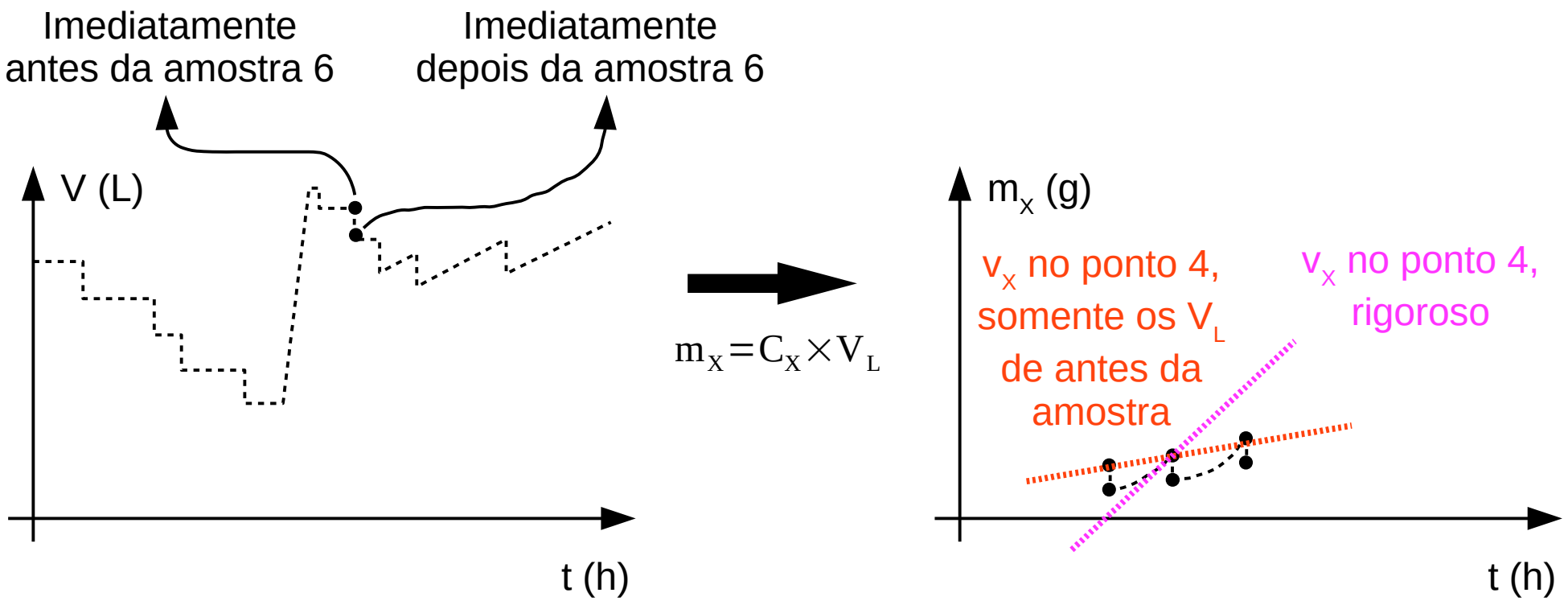
Cálculos experimentais

A curva de volume de líquido em função do tempo, $V_L(t)$, sempre terá um perfil serrilhado por causa da amostragem:



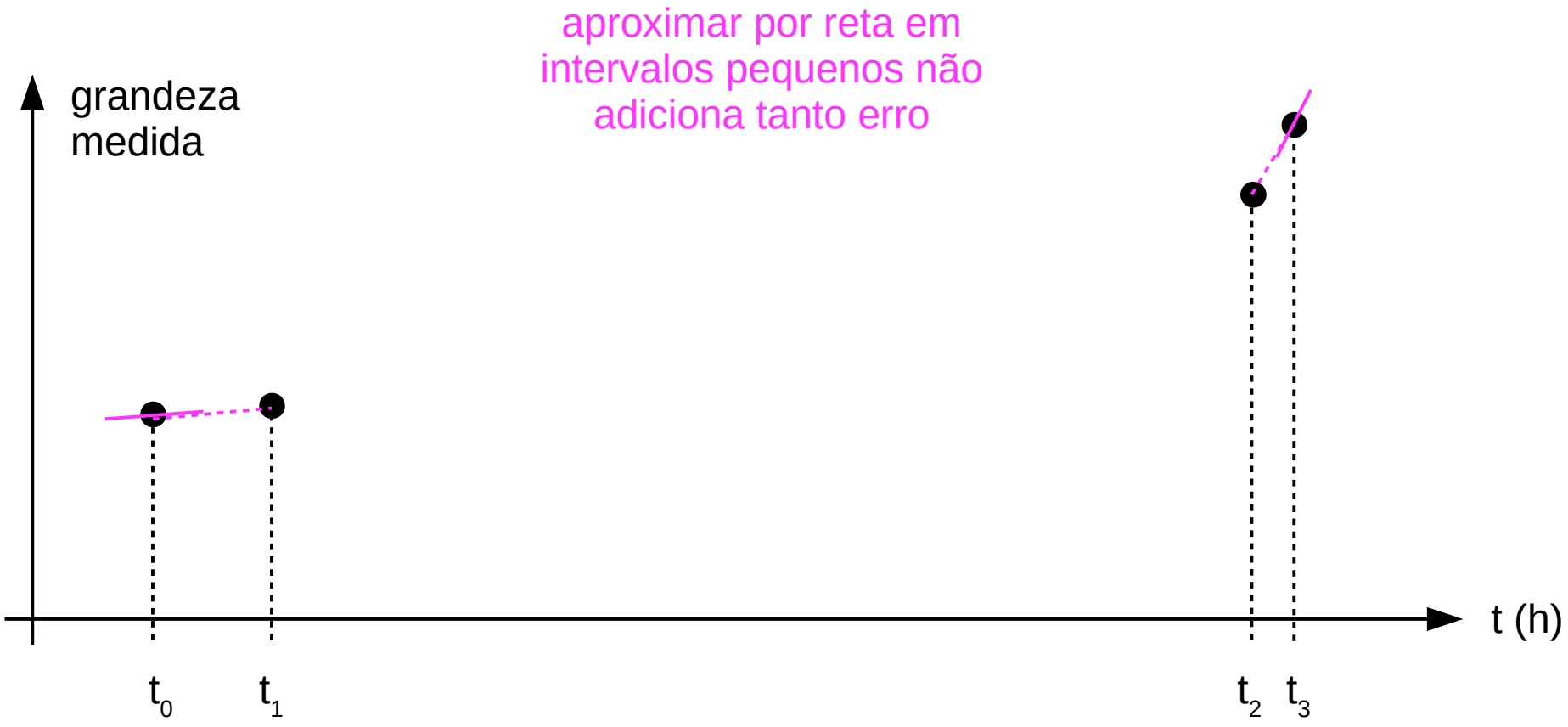
Cálculos experimentais

A curva de volume de líquido em função do tempo, $V_L(t)$, sempre terá um perfil serrilhado por causa da amostragem:



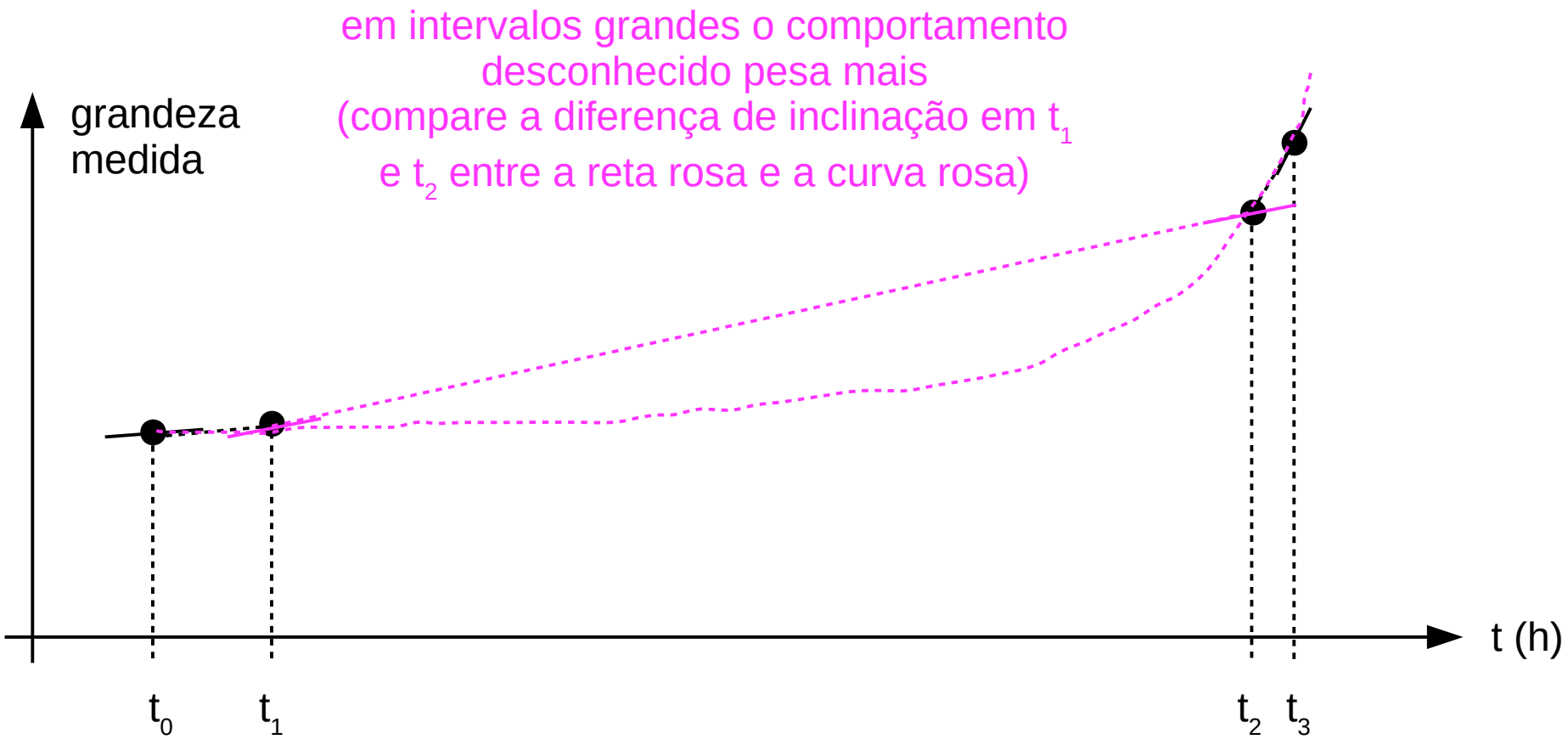
Cálculos experimentais

- Se as curvas de m variam bastante entre 2 instantes de tempo de amostragem t_1 e t_2, qualquer critério para aproximação de v nesses 2 instantes de tempo será impreciso:



Cálculos experimentais

- Se as curvas de m variam bastante entre 2 instantes de tempo de amostragem t_1 e t_2, qualquer critério para aproximação de v nesses 2 instantes de tempo será impreciso:



Cálculos experimentais

- Se as curvas de m variam bastante entre 2 instantes de tempo de amostragem t_1 e t_2, qualquer critério para aproximação de v nesses 2 instantes de tempo será impreciso

- Com informações sobre o comportamento esperado de m e/ou v, é possível melhorar as estimativas de v. Exemplos:

1) ajustar uma curva para os pontos e derivar essa curva. Por exemplo: se é esperado que formem uma reta e isso é de fato observado no gráfico, então a curva e a sua derivada são:

$$m(t) = a*t + b \qquad v(t) = a$$

2) mesmo que item 1 só que graficamente, por exemplo usando o EMERSON (que calcula derivadas numericamente)

3) amostrar com intervalos menores nos próximos experimentos

Cálculos experimentais

Exercício 2: Usando a aba “batelada_alimentada_cru”, preencha na aba “batelada_alimentada_tratado” as colunas de velocidades de consumo/produção de **líquidos** calculadas ponto-a-ponto (v_S,0 ; v_X,0 e v_P,0). Lembre-se da convenção de sinais.

$$v_A = \frac{\Delta\,\text{massa}_A}{\Delta\,\text{tempo}}$$

$$\mu_A = q_A = \frac{1}{m_X} \times v_A$$

Cálculos experimentais

Exercício 3: Na aba “batelada_alimentada_tratado”, preencha todas as colunas de μ. Depois, plote:

I) gráfico dos μ ponto-a-ponto em função do tempo

II) gráfico dos μ do ajuste 1 em função do tempo

III) gráfico dos μ do ajuste 2 em função do tempo

Comparando I, II e III, responda:

a) o cálculo ponto-a-ponto enviesa as medidas experimentais? Explique ou a origem do viés ou a garantia da falta dele.

b) este ensaio atingiu estado pseudo-estacionário? Se sim, em qual(is) intervalo(s) de tempo?