



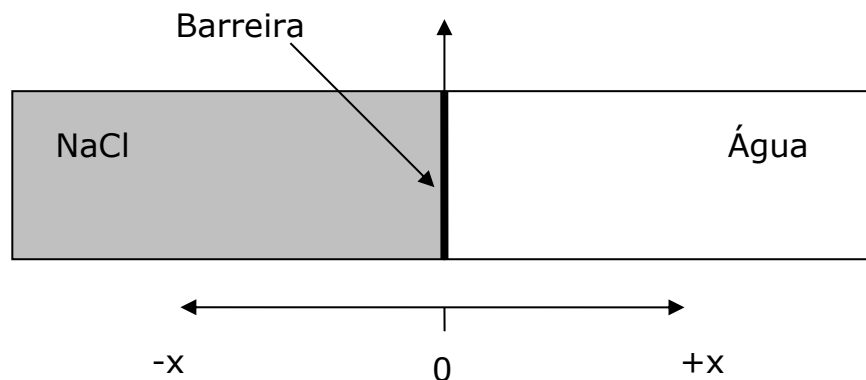
## Quiz #2 – Processos de Transporte no Ambiente

Prof. Michael Mannich

### Problema 1.

A difusão de uma solução salina de NaCl em água de igual densidade é medida em um estudo de difusão unidimensional sem advecção em um longo canal de laboratório. Nesses experimentos, a turbulência é gerada com a velocidade de escoamento média  $u=0$  ao longo da direção  $x$ . No ponto médio do canal,  $x=0$ , uma barreira separou o NaCl na direção negativa da solução aquosa na direção positiva. A barreira é removida no início do experimento,  $t=0$ , mantendo uma concentração constante  $C_0$  de NaCl em  $x=0$ . Concentrações discretas  $C(x,t)$  de NaCl, ao longo da direção positiva  $x$ , em relação à concentração inicial  $C_0$ , são dadas por:

|                  | t=100 s |      | t=200 s |      |      | t=600 s |      |      | t=1200 s |      |      |
|------------------|---------|------|---------|------|------|---------|------|------|----------|------|------|
| x (cm)           | 30      | 60   | 30      | 60   | 100  | 30      | 60   | 100  | 30       | 60   | 100  |
| C/C <sub>0</sub> | 0,52    | 0,22 | 0,65    | 0,36 | 0,15 | 0,78    | 0,52 | 0,36 | 0,81     | 0,68 | 0,43 |



Considere o NaCl como uma substância conservativa.

- Deduza a solução analítica para o problema da difusão.
- Estime o coeficiente de difusão turbulenta para esse teste resolvendo o problema por mínimos quadrados e faça um gráfico de  $C/C_0$  vs  $x/\sqrt{t}$  dos resultados do teste e da função analítica com o coeficiente estimado.

### Problema 2.

Um tubo infinitamente longo de diâmetro 10 cm está cheio de um fluido estacionário. A massa ( $M=0,1$  g CO<sub>2</sub>) é introduzida instantaneamente em  $t=0$  e uniformemente no centro do tubo ( $x=0$ ). Determine o tempo para que a concentração (massa/massa) de CO<sub>2</sub> seja de 1 ppm em  $x=50$  cm, para:

- Difusão molecular no ar.
- Difusão molecular na água.

Dados:

$$\rho_{AR} = 1,23 \text{ kg m}^{-3} \quad D_{CO_2,AR} = 0,14 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \quad \rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg m}^{-3} \quad D_{CO_2,H_2O} = 1,71 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

Obs.: Resolva o problema de forma iterativa e apresente o método de solução.

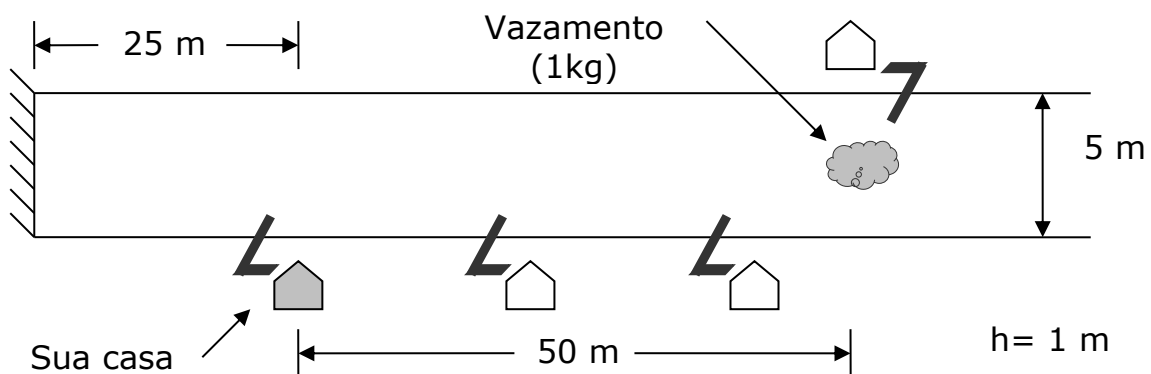


### Problema 3.

Você tem uma casa e um trapiche em um canal para barcos 25 m do fim do canal. Um dia seu vizinho teve um vazamento acidental de combustível (1 kg). A difusividade no canal é  $D=0,01 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ , valor elevado devido ao tráfego de embarcações no canal. A velocidade da corrente no canal é desprezível, de forma que o processo dominante de transporte é a difusão. Assuma que o combustível se espalha rapidamente ao longo da seção transversal.

- Qual a concentração na sua casa 10 hrs após o vazamento?
- Qual a concentração máxima na sua e quando ocorre?
- Supondo o limite de concentração segura de  $0,2 \text{ g/m}^3$  em que instante após o vazamento essa concentração é atingida?

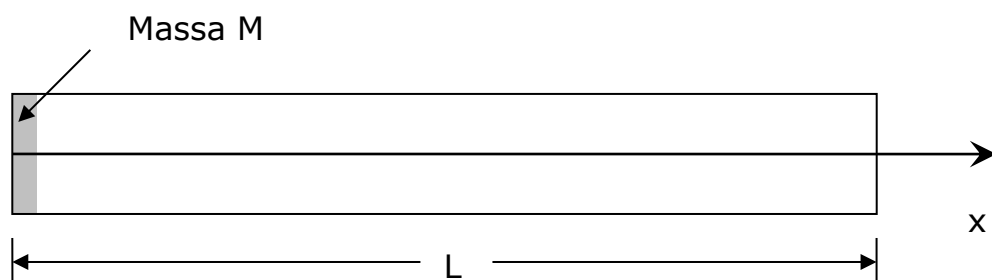
*Obs.: (a) Adote a condição de que o combustível atingiu sua casa quando a borda da pluma de dispersão for  $\pm 2\sigma$  do centro. (b) Resolva analiticamente e graficamente.*



### Problema 4.

Um corante,  $M=1 \text{ mg}$ , é lançado em uma extremidade de um tubo fechado de forma uniforme na seção transversal ( $yz$ ). Todas as fronteiras do tubo são impermeáveis. O tubo tem comprimento  $L=10 \text{ cm}$ , área da seção transversal  $A=1 \text{ cm}^2$  e difusividade molecular  $D=10^{-5} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ .

- Estime a escala de tempo,  $T$ , na qual o corante pode ser considerado uniformemente misturado em  $x$ .
- Elabore gráficos de  $C(x)$  para os tempos  $t=T/10$ ,  $T/4$ ,  $T/2$  e  $T$ , e discuta os resultados.





### Problema 5.

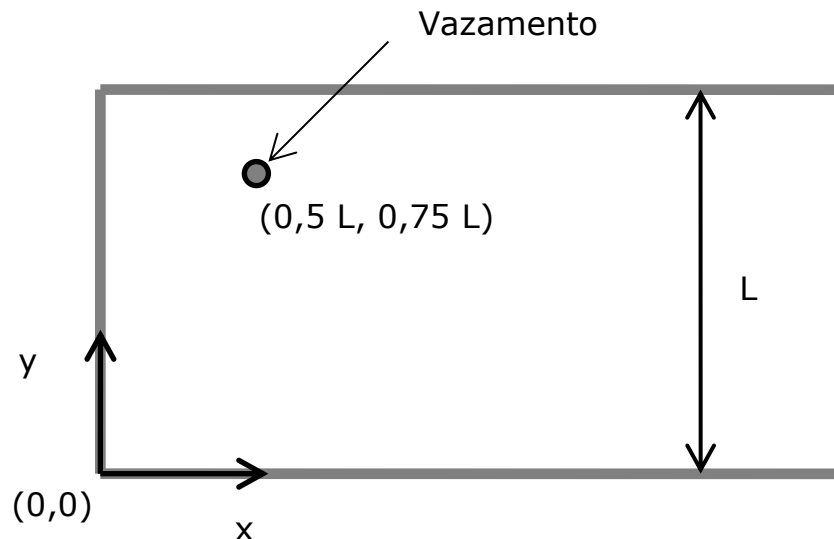
Os resultados de um experimento de difusão tridimensional para determinar o coeficiente de difusão de um composto químico são apresentados na tabela. As concentrações foram medidas a 5 cm da fonte de lançamento.

- Selecione um conjunto de coordenadas interessante, faça um gráfico dos dados e determine o valor de D por regressão linear.
- Considerando o problema, o que é mais importante para medir com precisão, o tempo ou a concentração? Discuta.
- Quais são suas recomendações para melhorar a precisão da estimativa de D neste tipo de experimento?

| Tempo<br>(d) | Concentração<br>( $\mu\text{g}/\text{cm}^3 \pm 0,03$ ) |
|--------------|--|
| 0,5          | 0,02   |
| 1,0          | 0,50   |
| 1,5          | 2,08   |
| 2,0          | 3,66   |
| 2,5          | 4,81   |
| 3,0          | 5,50   |
| 3,5          | 5,80   |
| 4,0          | 5,91   |
| 4,5          | 5,81   |
| 5,0          | 5,70   |
| 5,5          | 5,54   |
| 6,0          | 5,28   |
| 6,5          | 5,05   |
| 7,0          | 4,87   |
| 7,5          | 4,65   |
| 8,0          | 4,40   |
| 8,5          | 4,24   |
| 9,0          | 4,00   |
| 9,5          | 3,84   |
| 10,0         | 3,66   |

### Problema 6.

Um barco parado no final de um canal tem um vazamento repentino de gasolina. O canal é fechado em 3 lados e o ponto de vazamento é apresentado na figura. Determine as 11 principais imagens necessárias para incorporar os contornos na equação de lançamento instantâneo bidimensional. Desenhe também.



### Problema 7.

Uma usina possui uma chaminé de 75 m de altura e libera continuamente 0,01 kg/s de CO. A velocidade do vento é de 1,0 m/s e direção leste. O coeficiente de difusão transversal é 4,5 m<sup>2</sup>/s, enquanto a difusão no sentido longitudinal (do vento) pode ser desprezado.

- Escreva a solução para este problema.
- Adicione uma imagem para contemplar a ausência de fluxo na interface com o solo. Faça um gráfico da distribuição da concentração em um plano horizontal 2 m acima do solo.
- Se a concentração limite para o gás for de 1,0 µg/L qual a distância da fábrica a partir da qual a concentração não excede este limite em  $z=2$  m?
- Como seria a solução do problema caso a chaminé fosse rompida em  $z=0$ , descarregando a fumaça na superfície.

### Problema 8.

Para um processo 1-D, considere um lançamento pontual de  $M=1$ kg de um determinado constituinte passivo e conservativo em água, em  $x=0$ . O campo de velocidade é  $u=0,5$  ms<sup>-1</sup> e a difusividade é  $D=0,005$  m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>.

- Faça um gráfico da concentração máxima em mg/L ao longo de  $x$ .
- Faça um gráfico da distribuição de concentração ao longo de  $x$  em 3 instantes de tempo.
- Faça um gráfico da variação da concentração ao longo do tempo em 3 posições de medição.
- Discuta os resultados de b e c.



### Problema 9.

Elabore dois gráficos de  $C/C_{\text{pico}}$  vs.  $x$  e  $C/C_{\text{pico}}$  vs.  $t$  para 3 valores de número de Peclet (1000; 1; 0,001). Sobreponha os gráficos, compare e discuta os resultados com base no número de Peclet e na relação entre os transportes advectivo e difusivo.

### Problema 10.

A descarga contínua de uma usina química é realizada em um rio por meio de um difusor perpendicular ao escoamento localizado em toda sua extensão transversal. A velocidade é 0,15 m/s e a profundidade é de 1 m.

a) Determine a posição das 4 imagens mais importantes para cada fronteira (superfície e fundo) se não há fluxo através delas.

b) Determine a posição  $x$  em que a relação  $C(x,z=h)/C_{\text{MAX}}(x)$  é igual a 0,90, 0,95 e 0,98.

d) Se o tempo para ocorrer a mistura vertical,  $t_{\text{MIX}}$ , for:

$$t_{\text{MIX}} = \frac{x_{\text{MIX}}}{u} = \frac{h^2}{\alpha D}$$

Determine um valor de  $\alpha$  para o critério  $C_{\text{MIN}}/C_{\text{MAX}} = 0,95$