

Laboratório de Engenharia Química I



Determinação do coeficiente de difusão binária em gases

Fernanda Vale	1113460
Gerson Junior	1021858
Jéssica Teodosio	1013151
Rayssa Helcias	1013462
Rafaella Rossi	1111510

Professora responsável: Maria Isabel



Determinação do coeficiente de difusão binária em gases

Fernanda Vale

Gerson Junior

Jéssica Teodosio

Rayssa Sousa Helcias

Rafaella Rossi

Relatório apresentado como parte da avaliação do
Laboratório de Engenharia Química.

Professora: Maria Isabel

Rio de Janeiro, 25 de Setembro de 2015

RESUMO

A transferência de massa por difusão baseia-se na diferença de potenciais químicos de duas espécies, quando existe um gradiente de concentração que fornecerá a força motriz necessária para que possa acontecer o fluxo das espécies. O coeficiente de difusividade (DAB) é um dos parâmetros mais importantes para caracterizar o fenômeno de transferência de massa por difusão molecular.

O objetivo deste experimento é a determinação dos coeficientes de difusividade da acetona e do álcool etílico e então compará-los com os valores encontrados na literatura.

O método utilizado para determinação dos DAB experimentais é a célula de Stefan-Arnold.

Os valores encontrados para o DAB experimental foram de 0,00591 cm²/min para o etanol e 0,0838 m²/s para a acetona, e os valores encontrados para os DAB teóricos foram 0,127 cm²/min para o etanol e 0,100 cm²/min para a acetona. E o erro do experimental em relação ao teórico foi de 16% para a acetona, e 95% para a acetona.

As divergências com os valores disponíveis tabelados devem-se pelo fato de que as considerações teóricas não foram satisfeitas a rigor, como por exemplo, houve variação de temperatura, fluxo de ar no ambiente, além do erro no tempo utilizado para as análises.

Sumário

1.Introdução	4
2.Procedimento Experimental	8
3.Resultados e Discussão	10
4.Conclusão	16
5.Respostas às questões propostas	16
6.Bibliografia.....	18

1. Introdução

A transferência de massa é o processo de transporte onde existe a migração de uma ou mais espécies químicas em um dado meio, podendo esse ser sólido, líquido ou gasoso. O transporte das espécies químicas pode ser feito por dois mecanismos: difusão e/ou convecção.

A difusão deve-se à diferença de potenciais químicos das espécies, ou seja, à diferença de concentrações entre dois locais num dado sistema. A diferença de concentração se traduz em força motriz necessária ao movimento da espécie considerada de uma região a outra. Esse processo de difusão baseia-se então em um gradiente de concentração, que fornece o potencial motriz para que ocorra um fluxo espontâneo entre as espécies. Uma espécie química move-se de áreas de alto potencial químico para áreas de baixo potencial químico, deste modo, a extensão máxima teórica de uma determinada transferência de massa é tipicamente determinada pelo ponto em que o potencial químico seja uniforme [1].

Geralmente, espécies químicas distintas apresentam uma difusividade mássica diferente quando submetidas a uma mesma temperatura e pressão constantes. Entretanto, se forem alteradas constantemente as condições de pressão e temperatura para uma determinada espécie química, então terá variações em sua difusividade mássica. Normalmente a difusividade mássica é mais alta nos gases do que em substâncias líquidas e sólidas, assim como é maior nos líquidos do que nos sólidos.

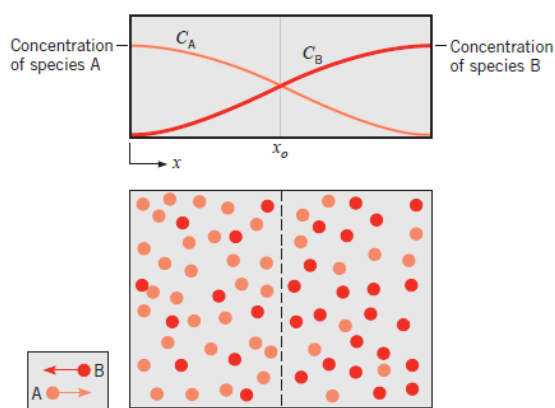


Figura 1: Esquema representativo da difusão de dois gases.

Um dos parâmetros que caracterizam a transferência de massa por difusão molecular é a difusividade mássica (D_{AB}), expressa na Primeira Lei de Fick (equação 1). Essa difusividade mássica é uma grandeza na qual representa uma constante de proporcionalidade e surgiu da derivação de expressões teóricas em função das propriedades moleculares da mistura, tabela 1, usando a teoria cinética dos gases, e pode ser definido como a mobilidade do soluto no meio, sendo governada pela interação soluto-meio. Esse parâmetro é dependente das propriedades do gás, como pressão, temperatura e concentração do sistema. O efeito da energia cinética, por exemplo, indica que quanto mais agitado o meio, melhor será a mobilidade do soluto, consequentemente, maior o D_{AB} . [4]. A difusividade é melhor expressa a partir de experimentos ao invés de correlações semi-empíricas apresentadas na literatura, uma vez que essas correlações utilizam uma ampla faixa para os parâmetros.

Correlações	Parâmetros	Autor
$D_{AB} = 1.10^{-3} \cdot \frac{T^{1.75}}{P \cdot d_{AB}^2} \cdot \left[\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right]^{1/2}$	Temperatura, pressão, massa molar e diâmetro (em função do volume de difusão).	Fuller, Schetter e Giddings
$D_{AB} = b \cdot 10^{-3} \cdot \frac{T^{3/2}}{P \cdot \sigma^2 \cdot \Omega_D} \cdot \left[\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right]^{1/2}$	Constante b (em função da massa molecular), pressão, temperatura, integral de colisão, diâmetro de colisão	Chapman-Enskog
$D_{AB} = \frac{0,01498 \cdot T^{1.81} \left[\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right]^{1/2}}{P \cdot (T_{cA} T_{cB})^{0.1405} \cdot (V_{cA}^{0.4} + V_{cB}^{0.4})^2}$	Temperatura, pressão, peso molecular, temperatura crítica, volume molar crítico	McCabe
$D_{AB} = \frac{\alpha \cdot T_r^b \cdot (P_{c1} P_{c2})^{1/3} (T_{c1} T_{c2})^{5/12} \left[\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right]^{1/2}}{P}$	α, b (constante para gases apolares), temperatura e pressão crítica e peso molecular.	Slatery-Bird

Tabela 1: Correlações semi-empíricas para o cálculo de D_{AB}

Continuando com a Primeira Lei de Fick, o fluxo (J) é definido como a quantidade de material que atravessa uma unidade de área do plano perpendicular à direção do fluxo num intervalo de tempo, e dC/dz que é a taxa de aumento da concentração com a distância medida na direção do fluxo. O sinal negativo indica que o fluxo ocorre na direção contrária à do gradiente de concentração [3].

Equação 1: $J_{A,z} = -D_{AB} * \frac{dC_A}{dz}$

Experimentalmente, um dos métodos para a determinação do coeficiente de difusão binária em gases é através da célula de Stefan-Arnold. Esse experimento, ilustrado na figura 2, consiste de um líquido volátil A confinado em um capilar que fica em contato com ar estagnado (gás puro B), e, por essa interface, ocorre o transporte de massa pelo movimento do

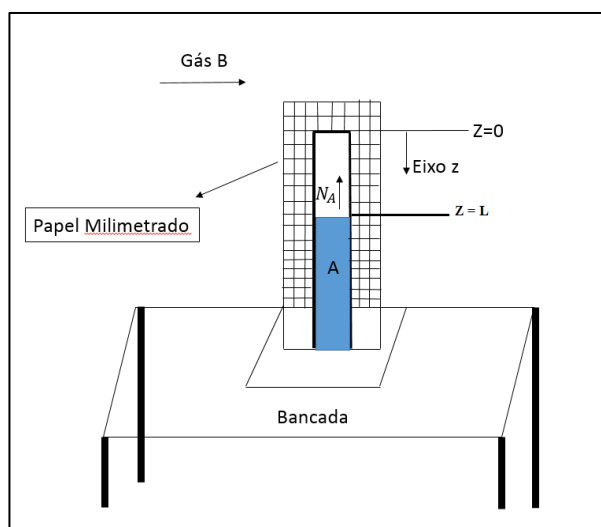


Figura 2 - Esquema da célula de Stefan-Arnold

vapor do líquido no sentido de sua diminuição de concentração.

A volatilidade está ligada à facilidade que a substância tem em passar do estado líquido para o gasoso, dessa forma, substâncias mais voláteis evaporam mais facilmente. Nesse caso, a volatilidade do composto A permite que essas moléculas passem da fase líquida à fase gasosa. Dessa maneira, existe a formação de uma camada de espessura δ logo acima da superfície do líquido onde a pressão é igual à pressão de vapor de A, e onde a concentração de A na fase gasosa é máxima [2]. Porém, devido a difusão, as moléculas localizadas nesse filme de espessura δ irão sofrer processo de difusão e ser transportadas para fora do mesmo, como ilustrado na figura 3. Contudo, por causa dessa saída de A do filme e devido à volatilidade do líquido, mais moléculas de A serão levadas à fase gasosa para compensar essa saída, mantendo a concentração de A no filme constante e máxima. Porém, essa constante volatilização resulta na diminuição progressiva da altura do líquido.

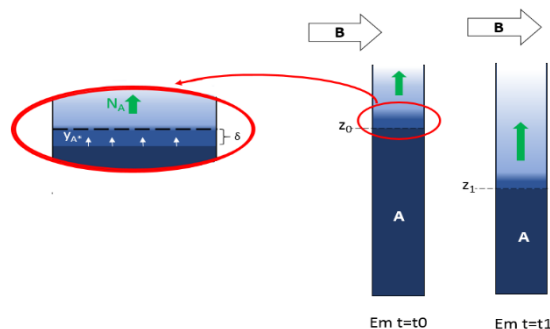


Figura 3 - Esquema representativo de uma célula de Arnold com altura variável

Pelo fato de ser considerado que esse filme tem uma certa espessura e a concentração de A nele ser constante, diz-se que é nessa camada que será encontrada toda a resistência à difusão. Apesar da redução da altura, como foi dito antes, as moléculas se volatilizam e mantêm a concentração de A no filme constante. Com isso, o gradiente de concentração entre o filme e o resto do gás B se mantém constante ao longo do tempo, configurando assim um regime pseudo-estacionário [2]. Para esse regime, pode-se calcular o coeficiente de difusão D_{AB} , obtido a partir de medidas da variação do nível de líquido.

A partir das considerações em relação ao experimento realizado, é possível determinar uma equação para o cálculo do coeficiente de difusão mássico experimental. Utilizando a equação 4 da continuidade, que rege a distribuição da concentração do vapor do componente A no meio estagnado como ponto de partida, tem-se a equação 2 descrita abaixo. A partir das hipóteses mencionadas ao final, conclui-se, da equação 2, que $N_A, z = \text{constante}$.

Equação 2:
$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla N_A = R_A$$

Adicionalmente, utiliza-se o fluxo global molar da espécie A, referenciado a um eixo estacionário, conforme indica a equação 3 abaixo. Novamente de acordo com as suposições já mencionadas, é possível encontrar uma equação na qual $N_A, z = f(D_{AB}, y_A, dC_A)$.

Equação 3 :
$$N_{A,z} = -C \cdot D_{AB} \cdot \frac{dy_A}{dz} + y_A (N_{A,z} + N_{B,z})$$

Admitindo-se que a difusividade e a concentração são constantes é possível realizar uma integral na qual o lado esquerdo será integrado na coordenada z, e, do lado direito, realiza-se a integração em y (fração molar). Para este cálculo, utilizam-se as seguintes condições de contorno (CC) que resultaram na equação 4:

CC1: $z = z_1$; $y_a = y_{a1}$

CC2: $z = z_2$; $y_a = y_{a2}$

Equação 4 :
$$N_{A,z} = + \frac{D_{AB}.C}{(z_2 - z_1)} \cdot \ln \left(\frac{1 - y_{a2}}{1 - y_{a1}} \right)$$

A partir da equação 4 e do balanço de massa para o vapor de A, integra-se novamente a equação. Nessa segunda integração, os termos diferenciais são o tempo e a coordenada z. Adicionalmente, utilizando a hipótese de equilíbrio termodinâmico na fronteira é possível empregar a lei de Raoult-Dalton. Dessa forma, chega-se à equação 5 descrita abaixo:

Equação 5:
$$z^2 = z_0^2 - \frac{2.D_{AB}.\ln.(1-y^*)}{C_{Aliq}}.t$$

Portanto, é possível encontrar uma relação entre o comprimento inicial e o comprimento em qualquer instante de tempo. O cálculo para a variação do comprimento do caminho de difusão L com o tempo t experimental pode ser calculada a partir da seguinte equação:

Equação 6 :
$$L^2 = L_0^2 - \frac{2.D_{AB}.\ln.(1-y^*)}{C_{Aliq}}.t$$

Experimentalmente, um problema pode surgir a partir da equação 6, pois, existe a possibilidade da origem, ou seja, L_0 , não ser bem definida para o sistema, uma vez que o espaço gasoso no topo do tubo é perturbado pelo escoamento de B e o menisco da interface líquida não é plano. Isso pode acarretar um erro à essa equação. Portanto, a fim de minimizar erros devido ao uso do valor absoluto de L_0 , a equação 6 pode ser rearranjada na seguinte forma:

Equação 7:

$$\frac{t}{L - L_0} = - \frac{C_{Aliq}}{2.C.D_{AB}.\ln.(1-y^*)} (L - L_0) - L_0 \cdot \frac{C_{Aliq}}{C.D_{AB}.\ln.(1-y^*)}$$

Onde,

L_0 = Comprimento do caminho de difusão inicial [m];

C_{Aliq} = Concentração de A no líquido $[mol/m^3]$;

y^* = Fração molar de A na mistura gasosa na condição de saturação $[-]$;

C = Concentração molar total na fase gasosa $[mol/m^3]$;

D_{AB} = Difusividade molecular binária de A em B $[m^2/s]$.

Portanto, esperamos um comportamento linear para as curvas de $t/L-L_0$ em função de $L-L_0$ e também a de $L^2-L_0^2$ em função de t .

Algumas hipóteses que foram utilizadas para a determinação das equações mostradas anteriormente, devem ser consideradas para a realização do experimento:

1. Difusão unidimensional \longrightarrow o processo de difusão é tridimensional, entretanto, nesse caso, pode ser considerado unidimensional, uma vez que o fluxo do soluto em duas direções (eixo x e y) é tão pequeno a ponto de ser desprezado diante de uma terceira dimensão (eixo z). Isso ocorre devido ao pequeno diâmetro do tubo capilar em relação ao seu comprimento. [4]
2. Supõe-se temperatura e pressão como constantes e, tendo como base a lei dos gases ideais, a difusividade e a concentração também podem ser consideradas constantes
3. Meio inerte \longrightarrow durante a evaporação do composto, não há geração ou consumo de matéria, uma vez que o ar é inerte. Desta forma, não há reação entre o meio e os componentes.
4. Ar estagnado \longrightarrow considera-se a hipótese de ar estagnado, uma vez que pretende-se estudar somente o efeito difusivo de um composto no ar. Dessa forma, não deve haver fluxos de ar, pois essas acarretariam em contribuições convectivas, impossibilitando a realização do cálculo do D_{AB} .
5. Regime pseudo-estacionário \longrightarrow essa hipótese permite relacionar o fluxo molar com o abaixamento do nível de líquido em relação ao tempo. Apesar dos cálculos serem válidos para o estado estacionário, a realidade é que o regime é transiente, pois a interface entre os componentes A e B não é fixa, uma vez que o componente líquido (volátil) vai evaporando fazendo com que a fronteira varie. A partir disso, o fato de que a velocidade com que a fronteira desce ser muito menor do que a difusão do componente permite supor um estado pseudo-estacionário.
6. Mistura gasosa ideal \longrightarrow próximo à interface líquido/gás, na fase gasosa, a concentração de A corresponde ao equilíbrio termodinâmico entre as fases. Estima-se

a concentração de A pela lei de Dalton (P_v do líquido A/ P_{total} do sistema).
Considera-se que a mistura dos gases A e B tenha um comportamento ideal. [2]

2. Procedimento Experimental

2.1. Materiais

- ✓ Célula de Stefan-Arnold;
- ✓ Termômetro;
- ✓ Pipetas Pasteur de vidro;
- ✓ Acetona;
- ✓ Álcool etílico;

2.2. Procedimento

Primeiramente a célula de Stefan-Arnold foi posicionada em um local que não houvesse tanta variação de temperatura. Em seguida, com o auxílio das pipetas de vidro colocou-se os líquidos escolhidos nas respectivas colunas, como mostra a figura 4.



Figura 4 - Marcação inicial dos líquidos álcool e acetona.

As células de Stefan-Arnold possuem marcações de altura que se iniciam no topo e isso permite a leitura da altura na qual se encontra o líquido. Utilizando uma pipeta Pasteur de vidro, preencheu-se a primeira célula com etanol até que a interface líquido-ar estivesse sobre a marcação equivalente a 2,7 cm, ou seja, entre interface líquido-ar e o topo da célula havia um espaço de 2,7 cm de altura não preenchido. Realizou-se a leitura da altura L0 a 2,7 cm. O mesmo procedimento foi realizado para acetona utilizando a outra células de Stefan-Arnold e pipetas Pasteur de vidro, obtendo L0 igual a 2,8 cm. Contando a partir do dia da montagem do experimento, anotou-se as novas alturas da interface líquido-ar durante uma semana. As medidas foram tomada duas ou três vezes por dia, pelo técnico e pelos integrantes dos grupos. O intervalo de leitura garantia o tempo necessário pra que houvesse a difusão. A temperatura ambiente também foi anotada.

3. Resultados e Discussão

O método de Stefan-Arnold é caracterizado pelo preenchido de seu corpo capilar por líquidos voláteis, etanol e acetona neste experimento, até um determinado nível. Após determinado tempo, é perceptível a variação da altura do fluido na célula em questão.

Durante sete dias foram aferidas as alturas nas células de Stefan-Arnold, os resultados obtidos podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2: Dados experimentais que mostram a variação e altura de Etanol e Acetona com o tempo.

Dia	Hora	t (min)	T (°C)	Etanol	Acetona
11/set	13:35	0	25	2,7	2,8
	17:00	205	25	2,7	3,3
12/set	16:50	1635	24	3,2	5,4
13/set	14:50	2955	23	3,6	11,5
	18:06	3151	23	3,6	11,7
14/set	08:00	3985	23	3,9	11,9
	13:28	4313	23	3,9	14,2
	14:57	4402	23	4	14,3
	17:00	4525	23	4	14,3

15/set	08:00	5425	22	4,2	15,3
	11:18	5623	23	4,3	16,9
	14:46	5831	23	4,3	17,3
	17:00	5965	23	4,3	17,6
16/set	08:00	6865	23	4,5	19,2
	16:00	7345	23	4,7	19,6
17/set	08:00	8305	23	4,9	21,9
	12:15	8560	24	4,9	22
18/set	08:00	9745	23	5,1	24,3
	14:05	10110	24	5,1	25,1
	16:42	10267	24	5,2	25,9

Com os valores obtidos foi possível a construção de um gráfico (figura 4) que relaciona a variação de altura com o tempo.

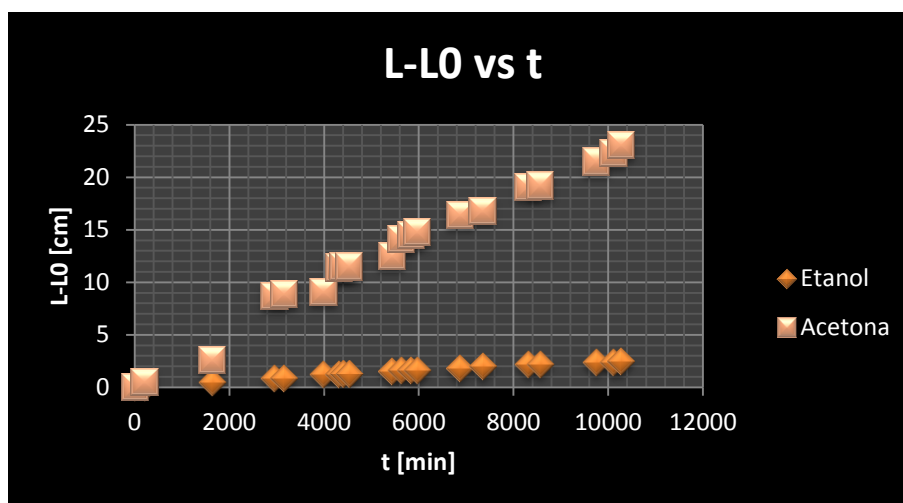


Figura 4: Variação de altura com o tempo.

A figura 4 nos mostra que o etanol foi a substância com menor variação durante os sete dias. Uma possível causa deste fenômeno poder ser a diferença de características química das mesmas.

O grupamento hidroxila na molécula de etanol, representa a mais forte interação intermolecular, interações de hidrogênio. Esta confere ao álcool em questão uma grande estabilidade no estado líquido, apesar de sua massa molecular reletivamente baixa. Com isso, podemos dizer que este líquido possui uma baixa pressão de saturação nas condições estudadas.

Já a acetona, não realiza interações intermoleculares fortes, tendo como mais relevante interação a ligação dipolo-dipolo, que é muito menos intensa que as interações de hidrogênio. Devido a isto podemos explicar porque além de ser considera relativamente leve, a variação de altura da acetona se torna muito maior que a do etanol.

A difusão dos vapores dos compostos orgânicos ao longo do tudo, segue a lei de Fick. Este modelo matemático nos permite correlacionar o comprimento inicial e o comprimento em um dado instante de tempo, o que possibilita calcular uma estimativa para o valor do coeficiente de difusão D_{AB} , esta correspondência é representada pela equação 7.

A partir desta equação, podemos obter o D_{AB} experimental ao plotar o gráfico tendo $t/(L - L_0) = f(L - L_0)$. Estes gráficos estão demonstrados nas figuras 5 e 6.

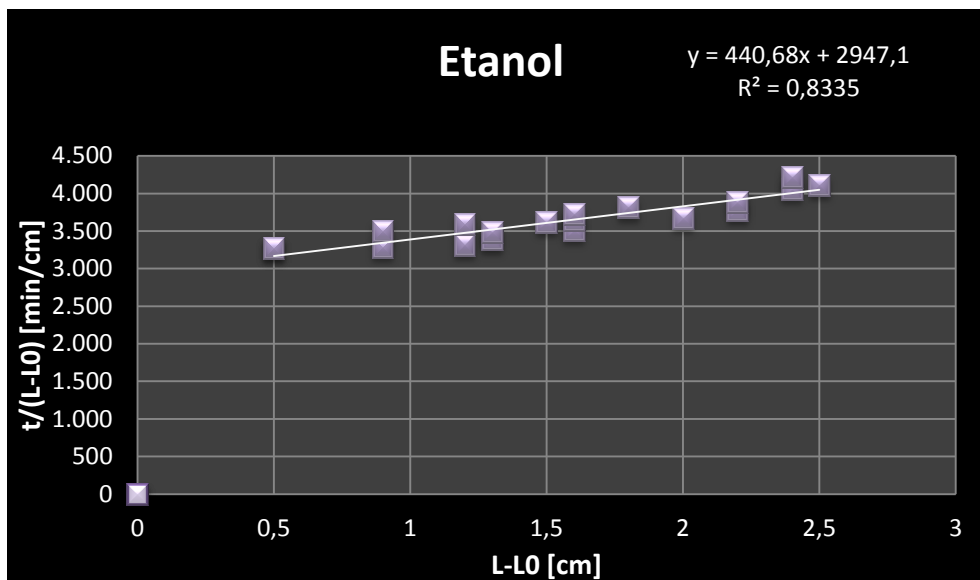


Figura 5: Etanol

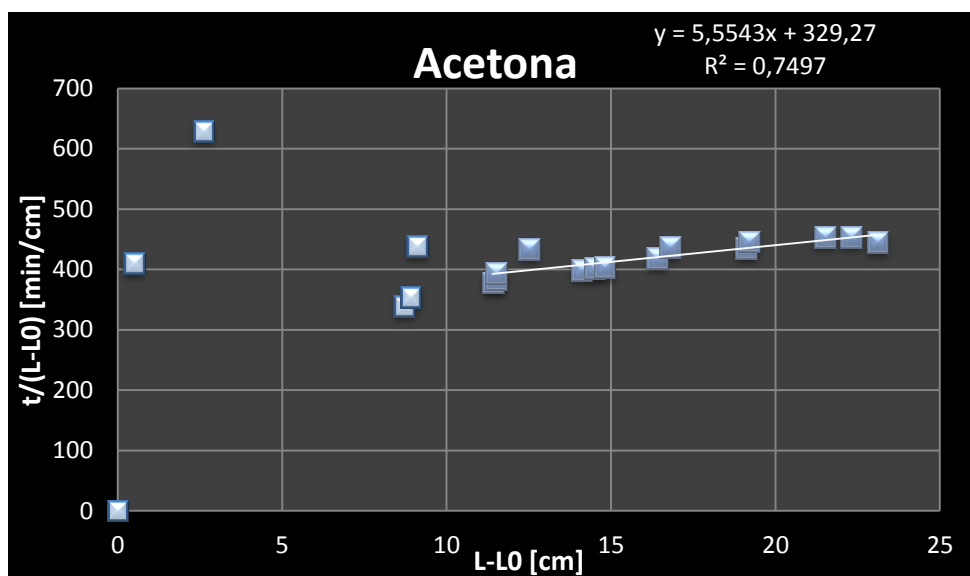


Figura 6: Acetona

Para se determinar o D_{AB} experimental, foi necessário realizar uma análise cuidadosa dos gráficos $t/(L - L_0) = f(L - L_0)$, levando em consideração o momento no qual a difusão dos compostos atingirá um estado pseudo-estacionário. Em seguida, foi feita uma aproximação linear do período de tempo no qual o composto permanece nesse estado, com o objetivo de obtermos o coeficiente angular da reta.

A escolha deste intervalo de tempo é uma etapa crucial para o cálculo do coeficiente de difusão, tendo em vista que as diferenças das estruturas químicas das substâncias farão com que cada uma leve um tempo característico para o atingimento do estado pseudo-estacionário. Com isso, as oscilações referentes ao estado transiente refletirão no resultado final, se os pontos utilizados na aproximação abragirem um espaço de tempo demasiadamente longo, a tabela 3 nos apresenta os valores de D_{AB} experimental e o L_0 efetivo, ambos obtidos a partir equação 7 e das propriedades dos compostos.

Tabela 3: Valores de L_0 efetivo e D_{AB} experimental

	L_0 efetivo	D_{AB} cm²/min
Etanol	3,3438	0,005915
Acetona	29,6410	0,083811

Para a realização dos cálculos teóricos, adotamos a correlação de Chapman-Enskog (tabela 1).

$$D_{AB} = 1,858 \times 10^{-3} \frac{T^{1,5}}{P \sigma_{AB}^2 \Omega_D} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}$$

Sendo Ω_D a integral de colisão, que caracteriza a energia máxima de atração entre as moléculas A e B, é dada pela equação:

$$\Omega_D = \frac{A}{T^{*B}} + \frac{C}{\exp(DT^*)} + \frac{E}{\exp(FT^*)} + \frac{G}{\exp(HT^*)}$$

Onde,

A	1,06036
B	0,1561
C	0,193
D	0,47635
E	1,03587
F	1,52996
G	1,76474
H	3,89411

E,

$$T^* = \frac{kT}{\varepsilon_{AB}}$$

Sendo,

$$\frac{\varepsilon_{AB}}{k} = 1,15 T_b$$

Onde T_b é a temperatura normal de ebulição em Kelvin e k é a constante de Boltzmann.

E por fim temos σ que é denominado diâmetro de colisão, este termo é característico de cada espécie química.

$$\sigma_{AB} = \frac{\sigma_A + \sigma_B}{2} = 1,18Vb^{1/3}$$

Sendo V_b o volume molar.

A partir dessa equação obtivemos o valor teórico de D_{AB} .

	Etanol	Acetona
$D_{AB}(\text{cm}^2/\text{min})$	0,12677	0,10032

	Etanol	Acetona
Erro	95,33%	16,46%

Ao comparar os valores experimentais com os valores teóricos, obtivemos certa discrepância nos resultados. Tendo em vista que as relações teóricas para o cálculo de D_{AB} são em grande parte empíricas, e baseadas em específicas hipóteses, nos dá uma confiabilidade maior nos valores obtidos no experimento, pois não se pode afirmar que as hipóteses utilizadas nas relações foram satisfeitas em nosso experimento.

Outro fator a se destacar é que esta correlação é mais utilizada para gases apolares, fazendo assim com que os resultados teóricos não sejam tão confiáveis.

Também podemos notar discrepâncias nos valores obtido para L0. No etanol o valor experimental e o valor efetivo não diferem tanto quanto na acetona, onde o valor de L0 efetivo é muito maior do que o valor calculado experimentalmente, o que não é compatível, visto que claramente a altura inicial da acetona estava no topo do tubo.

O coeficiente de difusividade ainda é um parâmetro de difícil mensuração, mesmo com o aparato tecnológico disponível nos dias de hoje. Portanto, um erro acentuado entre as distintas técnicas matemáticas usadas consiste em um prognóstico dentro da normalidade.

As possíveis fontes de erro podem estar associadas às mudanças relevantes de temperatura, uma vez que o cálculo do D_{AB} teórico é diretamente proporcional à temperatura. A lei de Fick também não leva em consideração as forças resistivas nas paredes do tubo, o que pode ter ocasionado pequenos desvios durante a difusão do soluto. Também podemos citar o erro do operador no momento da medição e alguma mínima variação de pressão do ambiente.

4. Conclusão

A partir da metodologia e procedimento usado foi possível realizar os cálculos dos coeficientes de difusão para ambas as substâncias. A precisão dos valores de Dab apresentaram erros relativos altos para o etanol, 95%, e 16% para acetona; portanto, não puderam ser avaliados como confiáveis. Apesar disso, o método empregado se mostrou eficaz para estimar a ordem de grandeza do coeficiente de difusividade. A diferença dos valores do DAB empírico em relação ao teórico pode ser explicada pelo fato de que as considerações teóricas não foram satisfeitas a rigor; como por exemplo, as mudanças de temperatura no ambiente, uma vez que o cálculo do DAB teórico é diretamente proporcional à temperatura; o fluxo de ar no ambiente e a consideração do regime pseudo-estacionário, quando na verdade, está em regime transiente; além do erro do operador nas medições. É importante observar também que a lei de Flick, não leva em consideração as forças resistivas nas paredes do tubo, o que pode ter ocasionado pequenos desvios durante a difusão do soluto. Além disso, neste experimento, foi possível relacionar a facilidade de difusão das substâncias de acordo com suas estruturas químico-estruturais; pois no modelo empírico utilizado, o resultado obtido para o DAB da acetona foi maior do que para o etanol, concluindo que a acetona é mais volátil do que o etanol, como esperado. Essa maior volatilidade da acetona pode ser explicada por ter em sua estrutura química ligações dipolo-dipolo, que são mais fracas do que a do etanol, que possui ligações de hidrogênio.

5. Resposta às questões propostas

1) Como o tempo “ $t=0$ ” deve ser escolhido para a análise dos dados? Isto tem alguma importância?

Para determinar o tempo inicial de cada solução, observou-se o conjunto de pontos que apresentavam comportamento semelhante, indicando assim que a solução analisada está em um regime quase-estacionário. Deste modo, para se determinar o valor de T_0 com uma maior precisão, analisou-se os dados obtidos de cada solução separadamente.

2) O valor de Lo (efetivo) determinado experimentalmente concorda com o valor medido? Caso negativo sugira explicações para possíveis discrepâncias.

Não, pois existe a possibilidade de a origem, ou seja, L_0 , não ser bem definida para o sistema experimental, uma vez que o espaço gasoso no topo do tubo é perturbado pelo escoamento de B e o menisco da interface líquida não é plano.

3) Qual a confiabilidade, vantagens e desvantagens deste método experimental para a determinação genérica de difusividades binárias em fase gasosa para várias substâncias?

O método não é muito confiável, uma vez que apresenta erro de mais de 90% nos resultados do experimental em relação ao teórico. Porém, é importante lembrar que a difusividade ainda é um parâmetro de difícil mensuração, mesmo com aparatos tecnológicos hoje. Portanto, este experimento tem como vantagem principal a facilidade da técnica, e relativamente, dos cálculos; e o baixo custo com que pode ser feito. A desvantagem é que por não ser muito confiável, o valor encontrado no experimento pode ter um erro discrepante em relação ao verdadeiro valor da difusividade da substância.

4) O resultado obtido experimentalmente concorda com o valor obtido por correlações encontradas na literatura? Se for necessário a escolha de um valor de D_{AB} , qual seria a melhor escolha: o valor estimado a partir do experimento ou o uso da correlação na literatura?

A difusividade é melhor expressa a partir de experimentos ao invés de correlações semi-empíricas apresentadas na literatura, uma vez que essas correlações utilizam uma ampla faixa para os parâmetros.

5) Como este experimento poderia ser melhorado?

Este experimento poderia ser melhorado com o melhor controle da temperatura no ambiente, bem como o fluxo de ar.

6. Bibliografia

[1] INCROPERA, Frank P., DEWITT, David P., BERGMAN, Theodore L., LAVINE, Adrienne S., Fundamentos de Transferência de Calor e Massa. USA. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 2008.

[2] WELTY, J. R.; Wicks C.E. & Wilson, R.E. – Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer, John Wiley & Sons, 3th Edition, 1986.

[3] MEY P., MENDES P.R.S. Determinação do coeficiente de difusão de sais em líquidos não newtonianos pelo método de Taylor. Departamento de engenharia mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2010.

[4] SHERWOOD, T, REID, R. The Properties of Gases and Liquids. McGraw –Hill Inc, 2nded, 1966