



ESTUDO DA DIFUSÃO DE UMA GOTA DE VINHO EM MEIO AQUOSO UTILIZANDO O COMSOL MULTIPHYSICS

Matheus Teixeira de Camargo¹
Marco Antonio Cardoso de Souza²
Erickson Alex de Lima³

Resumo: Este trabalho apresenta a simulação do processo de difusão de uma gota de vinho em uma piscina de água, utilizando o software COMSOL Multiphysics. A modelagem foi realizada em um domínio bidimensional com condições de contorno sem fluxo, adotando o módulo "Transport of Diluted Species" para representar a dispersão do soluto ao longo do tempo. A gota inicial, com alta concentração, foi posicionada no centro do domínio, e seu comportamento difusivo foi analisado em diferentes intervalos de tempo. Os resultados demonstram a progressiva homogeneização da concentração por difusão molecular, evidenciando o papel do tempo e do coeficiente de difusão nesse processo. A simulação contribui para a compreensão do transporte de massa em meios líquidos e pode ser aplicada em contextos ambientais, industriais e educacionais.

Palavras-chave: Difusão; Transferência de Massa; Simulação computacional.

Abstract: This work presents the simulation of the diffusion process of a drop of wine in a pool of water, using the COMSOL Multiphysics software. The modeling was performed in a two-dimensional domain with boundary conditions without flow, adopting the "Transport of Diluted Species" module to represent the dispersion of the solute over time. The initial drop, with high concentration, was positioned in the center of the domain, and its diffusive behavior was analyzed at different time intervals. The results demonstrate the progressive homogenization of the concentration by molecular diffusion, evidencing the role of time and the diffusion coefficient in this process. The simulation contributes to the understanding of mass transport in liquid media and can be applied in environmental, industrial and educational contexts.

Key-words: Diffusion; Mass Transfer; Computational Simulation.

¹Gradando do curso de Engenharia Química da UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <matheusteixeira123camargo@gmail.com>.

² Professor dos cursos de Engenharia, pela UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <marco.souza@unifateb.edu.br>.

³ Professor dos cursos de Engenharia, pela UNIFATEB, campus Telêmaco Borba – e-mail: <erickson.lima@unifateb.edu.br>.



1. INTRODUÇÃO

Segundo Cremasco (2016) a difusão é um fenômeno físico-químico essencial, caracterizado pelo movimento espontâneo de partículas de regiões de maior para menor concentração até o equilíbrio. Esse processo ocorre em sistemas líquidos, gasosos e sólidos, sendo descrito por leis como as de Fick, e está presente em diversas aplicações na engenharia química, ambiental e biotecnológica, como na dispersão de poluentes, troca de gases e processos fermentativos.

Com o avanço da modelagem computacional, softwares como o COMSOL Multiphysics tornaram-se ferramentas eficazes para simular o transporte de massa em meios complexos, sendo esta uma excelente ferramenta para facilitar a compreensão de processo envolvendo fenômenos de transporte (LIMA; *et al*, 2024)

Neste trabalho, foi realizada a simulação da difusão de uma gota de vinho em meio aquoso, utilizando o módulo Transport of Diluted Species para analisar a evolução da concentração do soluto ao longo do tempo, buscando compreender o comportamento difusivo em sistemas líquidos estáticos

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. TRANSFERÊNCIA DE MASSA

Segundo Cremasco (2016) O processo de transferência de massa pode ser entendido como um dos mecanismos existentes através do qual um determinado sistema pode alcançar o equilíbrio. Neste caso em específico, o equilíbrio é alcançado analisando as variações existentes na concentração das espécies presentes em uma determinada região.

Desta forma este fenômeno de transporte ocorre devido ao gradiente de concentração existente entre as espécies químicas envolvidas, ocorrendo em escala atômica, entretanto é de suma importância que para que este fenômeno ocorra, a existência de espaços e meios por onde a matéria seja ela sólida, líquida ou gasosa possa se difundir (MORAIS; PEREIRA; OLIVEIRA, 2021)

A Figura 1 apresenta o processo de difusão de um corante em água com o passar do tempo.



Figura 1 – Difusão de corante em água



Fonte: Elaborado pelos Autores (2025)

De acordo com Cremasco (2016) este processo é por sua vez descrito através da primeira lei de Fick, enquanto a Segunda Lei de Fick, por sua vez, trata da variação temporal desse fluxo de matéria, descrevendo assim como a concentração muda com o tempo em um dado ponto do meio

2.2. MODELAGEM MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

Destaca-se que setor das engenharias, em especial na engenharia química, a realização de processos e etapas de simulação computacional tornou-se uma ferramenta essencial para o cotidiano tanto dos engenheiros quanto dos mais variados processos produtivos, pois este recurso possibilita a análise e otimização de processos complexos sem a necessidade de criar protótipos físicos caros (LIMA; *et al*, 2024).

Lima *et al* (2024) ainda destaca que o emprego de softwares tais como o *COMSOL Multiphysics* por alunos e acadêmicos durante os anos da graduação atua de forma motivadora e auxilia na devida visualização e compreensão de fenômenos de transporte tais como os de massa, calor e fluido.

O uso de softwares como o *Comsol Multiphysics*, facilita na realização de previsão do comportamento de variados materiais em situações de fenômenos de transporte, pois este emprega a aplicação de Método Matemáticos como o Método dos Elementos Finitos (FEM), permitem simular processos com múltiplas interações



físicas, considerando geometrias complexas e materiais com propriedades variáveis (LIMA, et al, 2024).

2.3. SIMULAÇÃO DO PROCESSO

Desta maneira o presente estudo buscou analisar o processo de simulação para análise e estudo do processo de difusão de uma substância líquida quando esta é dispersa em outro meio líquido.

Para tanto esta análise foi realizada com o uso do software COMSOL *Multiphysics*, versão compatível para com o módulo *Transport of Diluted Species*, que resolve a equação geral de difusão de Fick (equação 1):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \nabla \cdot (D \nabla c) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- c é a concentração do soluto (mol/m^3),
- D é o coeficiente de difusão (m^2/s),
- t é o tempo (s),
- ∇c é o gradiente de concentração

Entretanto para a devida eficiência do modelo a ser estudo é de suma importância a devida elaboração deste no software, realizando as devidas configurações no modelo, que vão desde a definição dos valores das concentrações, a seleção ou adição das espécies químicas envolvidas, a delimitação das condições de contorno empregadas para a análise, e o tempo pelo qual o processo ocorre, visando assim a melhor otimização dos resultados obtidos

2.4. CONFIGURAÇÃO DO MODELO

Como para esta análise pretende-se verificar o processo de difusão de uma gota de vinho em uma piscina, visando uma melhor compreensão e visualização do fenômeno de transporte envolvido, para a devida configuração do modelo, realizou-se



uma definição e elaboração da geometria a ser analisada empregando um domínio bidimensional, com a finalidade de facilitar a modelagem.

Esta geometria foi padronizada na forma de um quadrado de dimensões: 0,15 m × 0,15 m, representando assim uma seção simplificada da superfície de uma piscina. No centro desse domínio realizou-se a inserção de uma região com formato circular com raio de 0,005 m, representando a gota de vinho. Para as condições iniciais foram colocados os seguintes parâmetros para as concentrações;

- Concentração inicial da gota de vinho: 10 mol/m³
- Concentração do restante da água: 0 mol/m³

Desta forma se realizou a definição do gradiente de concentração entre os meios para a devida simulação do processo de difusão mássica.

2.5. CONDIÇÕES DE CONTORNO E PARÂMETROS FÍSICOS

Para a devida elaboração da situação a ser modelada, torna-se necessário a definição do sistema em si a ser estudado, pois o mesmo pode ser com fluxo aberto onde pode ocorrer fluxo mássico para as regiões internas do sistema ou fechado, onde não ocorre fluxo de matéria e outras substâncias para o seu interior.

Desta maneira nas regiões de contorno do sistema, todas as bordas do domínio foram configuradas como condições de não fluxo (ou seja, não há entrada ou saída de massa pelas extremidades da geometria/sistema), simulando uma piscina fechada e sem fluxo externo.

Assim trabalhou-se para uma situação descrita pela equação 2

$$-D \frac{\partial c}{\partial n} = 0 \quad (\text{equação 2})$$

Para tanto realizou-se a definição dos seguintes parâmetros físicos que foram adicionados no software para a devida realização da simulação do processo de difusão envolvido, onde:

- Coeficiente de difusão (D): 1×10⁻⁹ m²/s
- Tempo de simulação: de 0 min até 3×10⁵ min

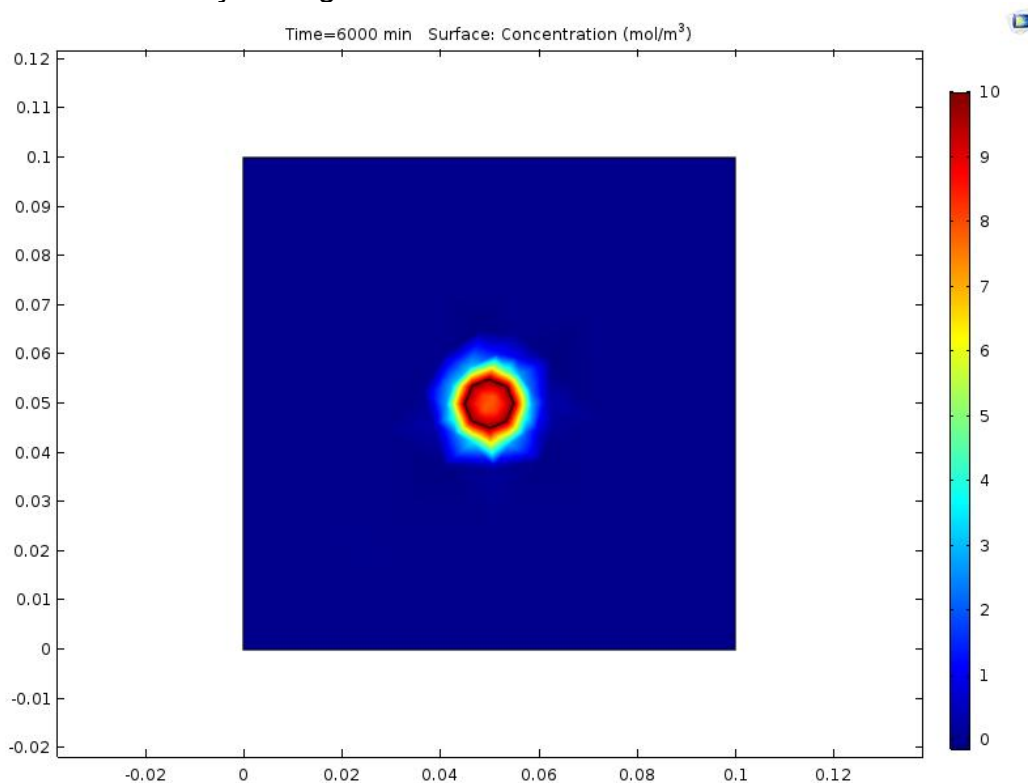


•Malha: malha refinada na região central, com adaptação automática do tempo.
Posteriormente são apresentados os principais resultados obtidos através da simulação do processo difusivo.

2.6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Destaca-se que após a realização da simulação, esta proporcionou a geração de mapas de concentração ao longo do tempo. Onde a Figura 2 apresenta os resultados obtidos para a concentração do vinho em um tempo inicial de 6000 minutos.

Figura 2 – Concentração da gota de vinho inicial 6000 minutos



Fonte: Autor (2025).

Através da análise dos resultados obtidos na Figura 1, podemos observar que a gota de vinho ainda está concentrada no centro do domínio, apresentando pouca difusão ao redor do mesmo.

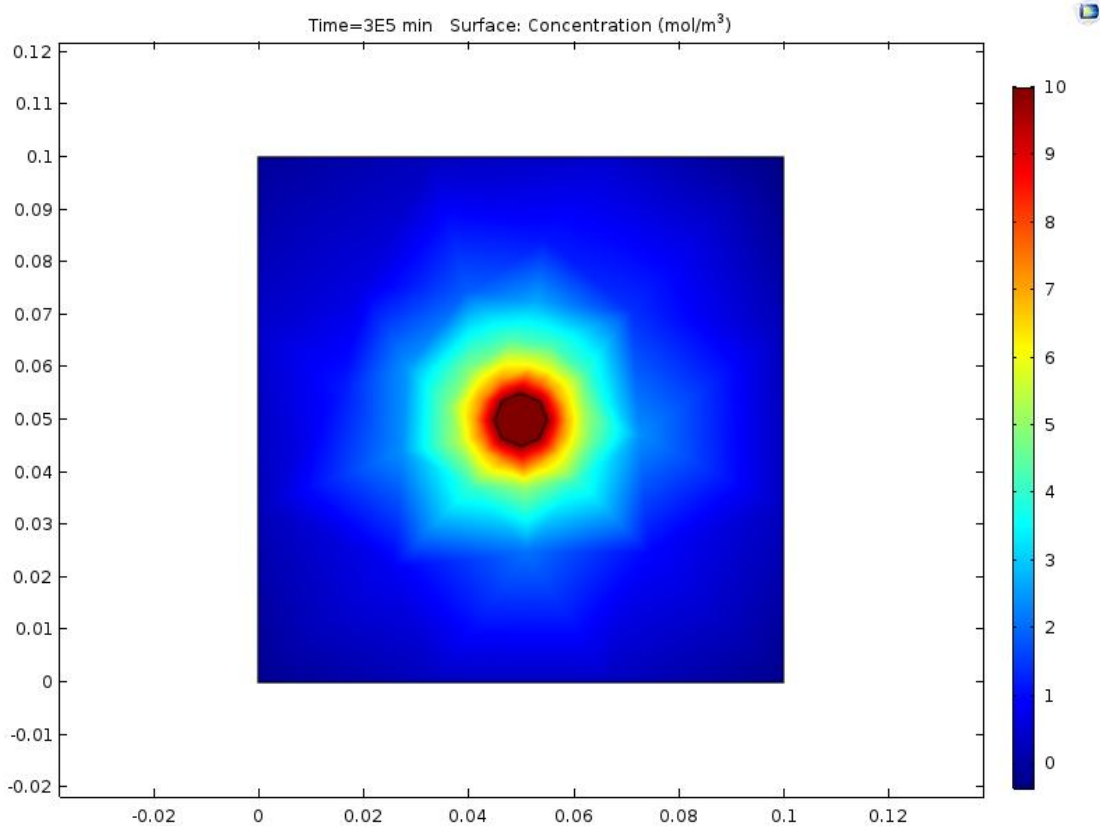
Assim destaca-se que a concentração máxima permanece próxima de valores de 10 mol/m³, indicando que o processo de dispersão está em fase inicial. Ressalta-



se ainda que a transição de cores (do vermelho ao azul) mostra a variação de um gradiente ainda suave que se estende para uma região muito limitada.

O processo de simulação foi continuado, promovendo a variação em um período maior de tempo até a situação de 300000 minutos conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Concentração da gota de vinho ao decorrer do tempo 300.000 minutos



Fonte: Autor (2025)

Através da análise da Figura 2, destaca-se que após um determinado período maior de tempo, a substância (vinho) se espalhou por praticamente todo o domínio da geometria em estudo. Destaca-se ainda que a concentração máxima localizada na região central se reduziu consideravelmente e as bordas do domínio já apresentam presença da substância (estas representadas em azul-claro). Assim o sistema em estudo tende à uma devida homogeneização, conforme esperado por um sistema puramente difusivo e isolado.



EPIC 2025

XII ENCONTRO DE PESQUISA, XVI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E
II ENCONTRO DE ENSINO E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



Analisa-se ainda que o comportamento observado através da simulação segue o padrão de difusão descrito por Fick. A concentração tende a igualar-se ao longo do domínio, partindo de um pico inicial localizado. Como não há convecção, a velocidade do processo é relativamente lenta, justificando o tempo elevado necessário para alcançar uma distribuição ampla e uniforme.

O modelo proposto, apesar de ser simples, oferece uma representação eficaz do fenômeno de difusão molecular em sistemas líquidos. As limitações do modelo envolvem a ausência de: Convecção natural ou forçada (como movimentação da água da piscina), Reações químicas (como degradação de componentes do vinho), Efeitos de densidade ou viscosidade variável, estes que serão analisados em estudos futuros, visando a análise da sua interferência no processo difusivo.

Entretanto, destaca-se ainda que essas simplificações são úteis para isolar o efeito da difusão pura. Este modelo pode ser expandido para incluir múltiplas fases, efeitos térmicos (Termo difusão), ou mesmo partículas suspensas para representar o vinho como uma dispersão coloidal.

Destaca-se ainda que conceitos correlacionado a processos convectivos serão analisados em trabalhos futuros, visando um melhor comparação deste modelo estudado para situações mais complexas

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou, através de simulação no consol multiphysics, o comportamento de difusão de uma gota de vinho em uma piscina, modelada como um meio aquoso estático e bidimensional.

Os resultados mostraram que, a concentração inicial se dispersa gradualmente de forma isotrópica. a taxa de difusão depende fortemente do tempo e do coeficiente de difusão, o processo completo de homogeneização é extremamente lento em um sistema sem fluxo, podendo durar meses.

Este estudo serve como base para análises mais complexas de dispersão de solutos em líquidos, sendo útil em áreas como engenharia ambiental, engenharia química e ciências dos materiais.



Para trabalhos futuros sugere-se a realização de análises com processos convectivos, influência de meio turbulento e situações envolvendo aquecimento e resfriamento da água onde se realiza a difusão.

REFERÊNCIAS

COMSOL. **What is diffusion?** Disponível em:
<https://www.comsol.com/multiphysics/what-is-diffusion>. Acesso em: 20 jun. 2025.

CREMASCO, Marco A.; BERTAN, Alessandra S. **Transferência de massa: difusão mássica em meios convencionais**. v.1. São Paulo: Editora Blucher, 2023. E-book. p.76. ISBN 9786555064575. Disponível em:
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786555064575/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

CREMASCO, Marco A. **Fundamentos de transferência de massa**. 3. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2016.

LIMA, ERICKSON ALEX DE *et al.*. **O USO DO COMSOL MULTIPHYSICS APLICADOS NO ENSINO PARA ENGENHEIROS**. In: Anais do EPIC 2024 - XI Encontro de Pesquisa, XV Encontro de Iniciação Científica e I Encontro de Ensino e Extensão da UNIFATEB. Anais...Telêmaco Borba(PR) Centro Universitário UNIFATEB, 2024. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/epic-2024/966783-O-USO-DO-COMSOL-MULTIPHYSICS-APLICADOS-NO-ENSINO-PARA-ENGENHEIROS>. Acesso em: 27/09/2025

MORAIS, A.L.S.; PEREIRA, R.S.F.; OLIVEIRA, T.M. Transferência de massa por meio de difusão em corpos porosos: aplicações industriais. **Journal of Exact Sciences – JES**. Vol.31,n.1,pp. 05-11 (Out - Dez 2021)

PIRES, Higor Carlos da Silva. Modelagem 3D MCSEM: **Simulações com COMSOL Multiphysics e emg3d**. 2022. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geofísica, Belém, 2022.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES (marcar com x a contribuição de cada autor)

Todos

Item de colaboração	Igual aos demais	Menor que os demais	Maior que os demais	Não participou deste item
Contextualização do trabalho	X			
Organização dos dados	X			

EPIC 2025

XII ENCONTRO DE PESQUISA, XVI ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E
II ENCONTRO DE ENSINO E EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA



Análise formal dos dados	X			
Análise formal do texto	X			
Financiamento para desenvolvimento do trabalho	NA			
Investigação e estudo	X			
Metodologia	X			
Administração de cronograma	X			
Administração de recursos	NA			
Gestão do projeto	NA			
Validação do projeto	NA			
Marketing	NA			
Escrita do trabalho	X			
Participação em reuniões	X			
Revisão do trabalho	X			
Participação na construção do protótipo	NA			