


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

Faculdade de Engenharia Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br


**PLANO DE ENSINO**
**1. IDENTIFICAÇÃO**

Componente Curricular:	Operações Unitárias IV				
Unidade Ofertante:	Faculdade de Engenharia Química				
Código:	FEQUI31027	Período/Série:	8º	Turma:	Q
Carga Horária:			Natureza:		
Teórica:	30 h	Prática:	-	Total:	30 h
				Obrigatória:	(X)
				Optativa:	( )
Professor(A):	Ricardo Amâncio Malagoni			Ano/Semestre:	2021/1
Observações:	-				

**2. EMENTA**

Operações de umidificação e desumidificação; secagem de materiais granulares; adsorção e processos de separação por membranas.

**3. JUSTIFICATIVA**

Esta disciplina permite ao aluno estudar os fundamentos teóricos e operacionais de equipamentos presentes em operações industriais de umidificação e desumidificação, secagem de materiais granulares, adsorção e processos de separação por membranas. A relação direta desta disciplina na formação do profissional de engenharia química está ligada ao conhecimento de operações unitárias ligadas à separação de fases, ao desenvolvimento de seu senso crítico como profissional e ao dimensionamento e análise de equipamentos industriais. Dentre tais conhecimentos, pode-se ressaltar a aplicação de conceitos de balanço material e de energia, o equilíbrio de fases e os fenômenos simultâneos de transferência de calor e massa.

**4. OBJETIVO**
**Objetivo Geral:**

Introduzir os conceitos e os cálculos envolvidos em várias operações unitárias utilizadas nas indústrias químicas e correlatas. Estudo das operações unitárias de Transferência de Massa e Calor simultâneo: dimensionamento e análise de desempenho de equipamentos.

**Objetivos Específicos:**

Apresentar algumas das principais operações unitárias da indústria química, buscando destacar os vários aspectos interdisciplinares. Descrição, princípio de funcionamento, operação e identificação das principais variáveis operacionais dos equipamentos utilizados para separação de fases.

**5. PROGRAMA**
**1. Operações de Umidificação/Resfriamento**

1.1 Definições (umidade, fração molar, umidade de saturação, umidade relativa, umidade percentual, calor úmido, volume úmido, etc.)

1.2 Equilíbrio de fases

**1.3 Saturador adiabático****1.4 Diagrama de umidade ou diagrama psicrométrico****1.5 Cartas de umidade para sistemas que não sejam ar-água.****1.6 Teoria da temperatura de bulbo úmido****1.7 Equipamentos para a operação de umidificação/desumidificação****1.8 Torres de resfriamento de água contracorrente****1.9 Equações para análise da torre de resfriamento****2. Secagem de Sólidos****2.1 Classificação dos secadores****2.2 Interação gás-sólido nos secadores industriais****2.3 Comportamento da temperatura nos secadores****2.4 Transferência de calor em secadores****2.5 Unidades de transferência de calor****2.6 Equilíbrio de fases****2.7 Umidade de Equilíbrio e Umidade Livre****2.8 Água “ligada” e Água “não ligada”****2.9 Taxas de secagem****2.10 Teor de umidade crítica****2.11 Cálculo do tempo de secagem sob condições constantes de secagem****2.12 Equipamentos para secagem: Secador de bandejas, Secador em Torre (turbodryer), Secador Rotativo, Secador em leito vibro-fluidizado, Secador em leito fluidizado e Spray Dryer****3. Adsorção e Processos de Separação por Membranas****3.1 Equipamentos de adsorção****3.2 Equilíbrio: isotermas de adsorção****3.3 Princípios da adsorção****3.4 Projeto de adsorvedor****3.5 Separação de gases usando membranas porosas e poliméricas****3.6 Pureza e rendimento do produto na separação de gases****3.7 Escoamento num separador com membranas****3.8 Separação de líquidos****3.9 Membranas para extração líquido-líquido****3.10 Pervaporação e osmose reversa****6. METODOLOGIA****Atividades Síncronas (CH = 30 horas)**

As atividades síncronas (aulas ao vivo) serão desenvolvidas no horário da disciplina: segunda-feira - 16h50 - 18h30, utilizando o Microsoft Teams, a partir da equipe denominada "Operações Unitárias IV - 2021/1 - Turma Q".

Os conteúdos apresentados no Programa serão ministrados da seguinte forma:

Dia	Horário	Matéria

29/11/2021	16h50 - 18h30	Operações de Umidificação/Resfriamento. Introdução. Definições. Umidade relativa. Umidade percentual. Calor úmido. Volume úmido. Ponto de orvalho. Entalpia total. Equilíbrio de fases.
06/12/2021	16h50 - 18h30	Saturador adiabático. Exercício. Diagrama de umidade. Uso da carta de umidade.
13/12/2021	16h50 - 18h30	Uso da carta de umidade. Cartas de umidade para sistemas que não sejam ar-água. Exercício. Temperatura de bulbo úmido. Teoria da temperatura de bulbo úmido.
20/12/2021	16h50 - 18h30	Linha psicrométrica e relação de Lewis. Torres de resfriamento. Teoria de torres de resfriamento contracorrente. Equações para análise da torre de resfriamento.
27/12/2021	-	RECESSO.
03/01/2022	-	RECESSO.
10/01/2022	16h50 - 18h30	Exercícios.
11/01/2022	-	Aula extra (100 min) antes da 1ª prova em horário a combinar com a turma.
17/01/2022	16h50 - 18h30	1ª Prova (30,0 pontos). Entrega do 1º Estudo de Caso relacionado a Unidade 1.
24/01/2022	16h50 - 18h30	Secagem de sólidos. Introdução. Classificação dos Secadores. Interação gás-sólido nos secadores industriais. Comportamento da temperatura nos secadores.
31/01/2022	16h50 - 18h30	Transferência de calor em secador. Unidades de Transferência de calor. Equilíbrios de fases. Umidade de Equilíbrio e Umidade Livre. Água "ligada" e Água "não ligada". Taxas de secagem. Exercício.
07/02/2022	16h50 - 18h30	Exercício. Teor de umidade crítica. Períodos de secagem. Cálculo do tempo de secam sob condições constantes de secagem. Exercício.
14/02/2022	16h50 - 18h30	Tipos de secadores. Secador de bandejas. Secador em Torre (turbodryer). Secador Rotativo. Exercício.
15/02/2022	-	Aula extra (100 min) antes da 2ª prova em horário a combinar com a turma.
21/02/2022	16h50 - 18h30	Exercício. Secador em leito vibro-fluidizado. Secador em leito fluidizado. Spray Dryer. Eficiência Térmica. Exercício.
28/02/2022	-	RECESSO.
03/03/2022	-	Aula extra (100 min) antes da 1ª prova em horário a combinar com a turma.
07/03/2022	16h50 - 18h30	2ª Prova (30,0 pontos). Entrega do 2º Estudo de Caso relacionado a Unidade 2.
14/03/2022	16h50 - 18h30	Processos de separação com membranas. Aplicações. Principais materiais das membranas. Classificação das membranas baseada no tamanho dos poros. Força motriz/driving force nos processos com membranas. Morfologia. Microfiltração. Ultrafiltração. Nanofiltração. Osmose Inversa.
21/03/2022	16h50 - 18h30	Histerese. Fouling. Separação de gases usando membranas porosas. Separação de gases usando membranas poliméricas. Pureza e rendimento do produto na separação de gases. Exercício.
28/03/2022	16h50 - 18h30	Fluxos em um separador contracorrente. Exercícios. Entrega do 3º Estudo de Caso relacionado a Unidade 3.

A Unidade 1 será ministrada nas seis primeiras semanas letivas, sendo que a primeira avaliação será feita no horário de aula (dia 17/01/2022 - Prova utilizando o Microsoft Teams). A Unidade 2 será ministrada nas próximas sete semanas letivas e a segunda avaliação será feita também no horário de aula (dia 07/03/2022 - Prova utilizando o Microsoft Teams). A Unidade 3 será ministrada nas três últimas semanas letivas. No dia da prova ou ao final de cada unidade, os discentes entregarão (por e-mail) o estudo de caso proposto pelo grupo de discentes (máximo de 05 discentes), referente a cada uma das unidades estudadas.

## 7. AVALIAÇÃO

Utilizando o Microsoft Teams serão aplicadas duas avaliações (individual), valendo 30 pontos cada (dias 17/01/2022 e 07/03/2022). Os discentes farão três estudos de caso em grupo (máximo de 05 pessoas), valendo 13,33 pontos cada (a entrega, por e-mail, será no dia da prova ou ao final de cada unidade, ou seja, nos dias 17/01/2022, 07/03/2022 e 28/03/2022).

## 8. BIBLIOGRAFIA

### Básica

CRESPO, J. G.; BÖDDEKER, K. W. **Membrane Processes in Separation and Purification**. 1. ed. Dordrecht: Springer-Science+Business Media, 1994. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-94-015-8340-4.pdf>>.

KOWALSKI, S. J. **Thermomechanics of Drying Processes**. 1. ed. Berlin: Springer-Verlag, 2003. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez34.periodicos.capes.gov.br/content/pdf/10.1007%2F978-3-540-36405-4.pdf>>.

LEVAN, M. D. **Fundamentals of Adsorption: Proceedings of the Fifth International Conference on Fundamentals of Adsorption**. 1. ed. Boston/Dordrecht/London: Kluwer Academic Publishers, 1996. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez34.periodicos.capes.gov.br/content/pdf/bfm%3A978-1-4613-1375-5%2F1.pdf>>.

SILVA, A. F. **Otimização de torres de resfriamento**. 2015. 116 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://186.202.79.107/download/otimizacao-de-torres-de-resfriamento.pdf>>.

TOEI, R.; MUJUMDAR, A. S. **Drying'85**. 1. ed. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 1985. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez34.periodicos.capes.gov.br/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-21830-3.pdf>>.

### Complementar

BIER, M. **Membrane Processes in Industry and Biomedicine**. 1. ed. New York: Plenum Press, 1971. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez34.periodicos.capes.gov.br/content/pdf/10.1007%2F978-1-4684-1911-5.pdf>>.

BITTER, J. G. A. **Transport Mechanisms in Membrane Separation Processes**. 1. ed. New York: Springer Science+Business Media, 1991. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez34.periodicos.capes.gov.br/content/pdf/10.1007%2F978-1-4615-3682-6.pdf>>.

SHALLCROSS, D. C. **Handbook of psychrometric charts: Humidity diagrams for engineers**. 1. ed. London: Blackie Academic & Professional, 1997. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez34.periodicos.capes.gov.br/content/pdf/10.1007%2F978-94-009-0027-1.pdf>>.

VERGNAUD, J. M. **Drying of Polymeric and Solid Materials: Modelling and Industrial Applications**. 1. ed. London: Springer-Verlag, 1992. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez34.periodicos.capes.gov.br/content/pdf/10.1007%2F978-1-4471-1954-8.pdf>>.

VIANA, S. T. **Análise de viabilidade técnica para a recuperação de água em torres de resfriamento**. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/94569/289241.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

## 9. APROVAÇÃO

Aprovado em reunião do Colegiado realizada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Coordenação do Curso de Graduação: Engenharia Química.



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Amâncio Malagoni, Professor(a) do Magistério Superior**, em 11/11/2021, às 18:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3169504** e o código CRC **CDFC49F9**.

---

Referência: Processo nº 23117.073437/2021-93

SEI nº 3169504