



PLANO DE ENSINO – 2023/1

I. IDENTIFICAÇÃO DA DISCIPLINA				
CÓDIGO	NOME DA DISCIPLINA	TURMA	Nº DE HORAS-AULA SEMANAIS	TOTAL DE HORAS-AULA SEMESTRAIS
EQA5409	Cálculo de Reatores II	7216	4	72

II. PROFESSOR MINISTRANTE	CONTATO
Prof. Dr. Natan Padoin	natan.padoin@ufsc.br Ramal: 2532

III. PRÉ-REQUISITO(S)	
CÓDIGO	NOME DA DISCIPLINA
EQA5408	Cálculo de Reatores I

IV. EQUIVALENTES
ENQ1409 ou ENQ5409

V. CURSO(S) PARA O(S) QUAL(IS) A DISCIPLINA É OFERECIDA
Engenharia Química

VI. EMENTA
Reatores multifásicos. Catálise heterogênea. Reatores catalíticos heterogêneos. Reatores fluido-fluido. Reatores sólido-fluido. Análise de reatores.

VII. OBJETIVOS
<p>Reatores heterogêneos são equipamentos fundamentais na indústria química, encontrados na síntese de compostos de alto valor agregado, na degradação de poluentes, na produção de combustíveis, dentre inúmeras outras áreas.</p> <p>A análise, o projeto, a otimização e o escalonamento destes equipamentos são responsabilidades de engenheiros químicos. Para tanto, conhecimentos acerca de balanços (de quantidade de movimento, massa, energia e espécie química), fenômenos de superfície, cinética química e fenômenos de transporte são necessários.</p> <p>Nesta disciplina, você desenvolverá habilidades para calcular reatores químicos heterogêneos, integrando conhecimentos adquiridos em outras disciplinas do curso e assimilando novos conceitos específicos que o(a) capacitarão para projetar e analisar esses equipamentos.</p> <p>Portanto, esta disciplina tem os seguintes objetivos:</p> <p>GERAL Capacitar o(a) aluno(a) para projetar e analisar reatores químicos heterogêneos.</p> <p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none">• Ensinar os princípios da catálise heterogênea, com ênfase no entendimento sobre propriedades e classificação de catalisadores e na obtenção de leis de velocidade para diferentes mecanismos reacionais.• Discutir e aplicar conceitos sobre a desativação de catalisadores e meios para contorná-la.• Explicar o efeito do transporte externo e interno de massa em reatores catalíticos heterogêneos,

buscando o entendimento fenomenológico e a assimilação de estratégias para contornar limitações de desempenho.

- Apresentar os princípios de projeto e operação de reatores multifásicos, com ênfase em reatores de leito de lama, reatores de leito gotejante e reatores de leito fluidizado.

VIII. CONTEÚDO PROGRAMÁTICO	HORAS-AULA
<p>Apresentação e Discussão do Plano de Ensino-Aprendizagem da Disciplina</p> <p>1. Introdução aos Reatores Catalíticos Heterogêneos</p> <p>1.1. Reatores Gás-Sólido, Líquido-Sólido e Gás-Líquido-Sólido 1.2. Transporte Externo e Interno de Massa e Fenômenos de Superfície 1.3. Múltiplas Escalas de Análise em Reatores Catalíticos Heterogêneos 1.4. Catalisadores Sólidos Porosos 1.5. Mecanismos Reacionais em Processos Catalíticos Heterogêneos</p>	4
<p>2. Catálise Heterogênea</p> <p>2.1. Catalisadores: Definições, Propriedades e Classificação 2.2. Cinética de Processos Catalíticos Heterogêneos 2.2.1. Etapas da Catálise Heterogênea 2.2.2. Mecanismos, Etapa Limitante e Leis de Velocidade 2.2.3. Hipótese do Estado Pseudo-Estacionário 2.2.4. Análise de Dados – Obtenção de Leis de Velocidade 2.2.5. Projeto de Reatores Catalíticos Heterogêneos 2.2.6. Deposição Química a Vapor</p>	14
<p>3. Desativação de Catalisadores</p> <p>3.1. Tipos de Desativação Catalítica 3.2. Estratégias para a Operação de Reatores com Desativação Catalítica</p>	8
<p>4. Efeito do Transporte Externo de Massa em Reações Heterogêneas</p> <p>4.1. Fundamentos da Difusão 4.2. Coeficiente de Transferência de Massa 4.3. Transferência de Massa para uma Única Partícula 4.4. Reações Limitadas por Transferência de Massa em Reatores de Leito Fixo 4.5. Modelo do Núcleo Não Reagido</p>	14
<p>5. Efeito do Transporte Interno de Massa em Reações Heterogêneas</p> <p>5.1. Difusão e Reação em um Catalisador Esférico 5.2. Fator de Efetividade Interna 5.3. Fator de Efetividade Global 5.4. Estimativa de Regimes Controlados por Difusão e/ou Reação 5.4.1. Critério de Weisz-Prater 5.4.1. Critério de Mears 5.5. Transferência de Massa e Reação em Reatores de Leito Fixo 5.6. Determinação de Situações Limites por Análise de Dados</p>	14
<p>6. Reatores Multifásicos</p> <p>6.1. Reator de Leito de Lama 6.2. Reator de Leito Gotejante 6.3. Reator de Leito Fluidizado</p>	8

6.4. Outros Modos de Operação	
Avaliações Escritas e Individuais (2). Avaliação de Recuperação.	6
Apresentação de Projeto Semestral em Equipe	4
Feriado. Fechamento e Publicação das Notas	4

IX. CRONOGRAMA

Data	Conteúdo
6 e 8 de março (4 h/a)	<p>Apresentação e Discussão do Plano de Ensino-Aprendizagem da Disciplina</p> <p>1. Introdução aos Reatores Catalíticos Heterogêneos</p> <p>1.1. Reatores Gás-Sólido, Líquido-Sólido e Gás-Líquido-Sólido 1.2. Transporte Externo e Interno de Massa e Fenômenos de Superfície 1.3. Múltiplas Escalas de Análise em Reatores Catalíticos Heterogêneos 1.4. Catalisadores Sólidos Porosos 1.5. Mecanismos Reacionais em Processos Catalíticos Heterogêneos</p>
13 de março a 3 de abril (14 h/a)	<p>2. Catálise Heterogênea</p> <p>2.1. Catalisadores: Definições, Propriedades e Classificação 2.2. Cinética de Processos Catalíticos Heterogêneos 2.2.1. Etapas da Catálise Heterogênea 2.2.2. Mecanismos, Etapa Limitante e Leis de Velocidade 2.2.3. Hipótese do Estado Pseudo-Estacionário 2.2.4. Análise de Dados – Obtenção de Leis de Velocidade 2.2.5. Projeto de Reatores Catalíticos Heterogêneos 2.2.6. Deposição Química a Vapor</p>
5 a 17 de abril (8 h/a)	<p>3. Desativação de Catalisadores</p> <p>3.1. Tipos de Desativação Catalítica 3.2. Estratégias para a Operação de Reatores com Desativação Catalítica</p>
19 de abril (2 h/a)	PRIMEIRA AVALIAÇÃO ESCRITA E INDIVIDUAL (P1)
24 de abril a 17 de maio (14 h/a)	<p>4. Efeito do Transporte Externo de Massa em Reações Heterogêneas</p> <p>4.1. Fundamentos da Difusão 4.2. Coeficiente de Transferência de Massa 4.3. Transferência de Massa para uma Única Partícula 4.4. Reações Limitadas por Transferência de Massa em Reatores de Leito Fixo 4.5. Modelo do Núcleo Não Reagido</p> <p>OBS.: 1/5 – Feriado (Dia do Trabalho) – 2 h/a</p>
22 de maio a 12 de junho (14 h/a)	<p>5. Efeito do Transporte Interno de Massa em Reações Heterogêneas</p> <p>5.1. Difusão e Reação em um Catalisador Esférico 5.2. Fator de Efetividade Interna</p>

	5.3. Fator de Efetividade Global 5.4. Estimativa de Regimes Controlados por Difusão e/ou Reação 5.4.1. Critério de Weisz-Prater 5.4.1. Critério de Mears 5.5. Transferência de Massa e Reação em Reatores de Leito Fixo 5.6. Determinação de Situações Limites por Análise de Dados
14 a 26 de junho (8 h/a)	6. Reatores Multifásicos 6.1. Reator de Leito de Lama 6.2. Reator de Leito Gotejante 6.3. Reator de Leito Fluidizado 6.4. Outros Modos de Operação
28 de junho (2 h/a)	SEGUNDA AVALIAÇÃO ESCRITA E INDIVIDUAL (P2)
3 e 5 de julho (4 h/a)	APRESENTAÇÃO DOS PROJETOS SEMESTRAIS EM EQUIPE (PS)
10 de julho (2 h/a)	AVALIAÇÃO DE RECUPERAÇÃO (REC)
12 de julho (2 h/a)	Data Reservada para Fechamento e Publicação das Notas

X. METODOLOGIA DE ENSINO / DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

- As aulas serão ministradas **presencialmente**, na sala de aula EQA022 do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, utilizando lousa e recursos audiovisuais.
- O ambiente virtual de ensino e aprendizagem (AVEA) **Moodle** (www.moodle.ufsc.br) consistirá na base de dados da disciplina e na ferramenta de comunicação entre o professor e os estudantes e vice-versa.
- Atendimentos aos alunos ocorrerão **presencialmente**, na sala do professor, nos seguintes horários:

TERÇA-FEIRA

8h30min – 9h30min
13h30min – 14h30min

QUINTA-FEIRA

8h30min – 9h30min
13h30min – 14h30min

OU POR AGENDAMENTO

- Também é possível solicitar atendimento através do **e-mail** disponibilizado na seção II.
- As frequências nas aulas serão registradas pelo professor em sala de aula e disponibilizadas no *Moodle*.
- Assuntos ministrados em outras disciplinas do curso, de semestres anteriores ou do atual, serão considerados conhecidos. Se você tem dificuldades com balanços de massa, de energia, de

quantidade de movimento, com cálculo diferencial e integral, cinética química, processos, etc., reserve algum tempo para revisar esses assuntos, pelo menos na medida de sua necessidade.

- A disciplina poderá contar com a participação de profissional(is) da academia ou da indústria, com atuação na área de Catálise e Reatores Heterogêneos, para a ministração de palestras em data a ser divulgada em tempo hábil.
- Eventuais alterações nas datas propostas na seção IX serão possíveis apenas com a concordância de **todos(as)** os(as) alunos(as) matriculados na turma com frequência suficiente, através de enquete disponibilizada no *Moodle*.

XI. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

A análise da aprendizagem será realizada por meio de duas avaliações individuais (P1 e P2). A **primeira avaliação** escrita e individual versará sobre os **assuntos 1-3**, enquanto que a **segunda avaliação** escrita e individual será pautada nos **assuntos 4-6**.

Além disso, um **projeto semestral** (PS) em **equipe**, composta por **três** alunos(as), comporá a avaliação do desempenho. Neste projeto, os estudantes deverão escolher uma reação química conduzida em reator heterogêneo e apresentar para toda a turma, nas datas especificadas na seção IX, suas conclusões sobre o tema escolhido de acordo com os **critérios disponibilizados no Moodle** no início do semestre letivo.

A **ordem de apresentação** será definida por **sorteio** e as equipes deverão se organizar até a **segunda semana de aulas**. Os nomes com os integrantes de cada equipe deverão ser enviados para o **e-mail** disponível na seção II por um representante até o dia **17 de março** (impreterivelmente).

Além da apresentação oral, utilizando recursos audiovisuais, as equipes deverão entregar um relatório escrito (**até o dia 3 de julho, impreterivelmente**) sobre o projeto desenvolvido, seguindo as normas disponíveis em <https://portal.bu.ufsc.br/normalizacao/>. Embora apresentados em conjunto, os projetos serão avaliados individualmente. Ao relatório, entretanto, será atribuída uma nota única para a equipe.

A **nota final (NF)** será calculada de acordo com a equação:

$$NF = 0,75 \times \left(\frac{P1 + P2}{2} \right) + 0,25 \times PS$$

Se **NF** \geq **6,0**, o(a) aluno(a) estará aprovado(a). Se $3,0 \geq NF < 6,0$, será oferecida a possibilidade de realizar uma avaliação escrita e individual de recuperação (REC). Neste caso, a nota final corrigida (NF*) será calculada como segue:

$$NF^* = \frac{NF + REC}{2}$$

Será aprovado(a) o(a) aluno(a) que obtiver **NF*** \geq **6,0** e tiver **frequência suficiente** nas aulas.

XII. BIBLIOGRAFIA BÁSICA

FOGLER, H. Scott. Elementos de engenharia das reações químicas. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002, 892 p.

FOGLER, H. Scott. Elementos de engenharia das reações químicas. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009, 853 p.

FROMENT, Gilbert F.; BISCHOFF, Kenneth B. Chemical reactor analysis and design. 2. ed. New York: John Wiley, 1990, 664p.



LEVENSPIEL, Octave. Engenharia das reações químicas. São Paulo: Blucher, 2000, 563 p.

XIII. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

DORAISWAMY, L.K.; UNER, D. Chemical reaction engineering: beyond the fundamentals. Boca Raton: CRC Press, 2014.

HILL, Charles G. An introduction to chemical engineering kinetics & reactor design. New York: John Wiley & Sons, 1977, 594 p.

JAKOBSEN, Hugo A. Fixed bed reactors. Notas de aula. Norwegian University of Science and Technology (NTNU), 2011, 77 p.

RASE, Howard F. Chemical reactor design for process plants. New York: J. Wiley, 1977, 784 p.

RASE, Howard F. Fixed-bed reactor design and diagnostics: gas-phase reactions. Boston: Butterworths, 1990, 364 p.

ROBERTS, G.W. Reações químicas e reatores químicos. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 414 p. SCHMAL, Martin. Catálise heterogênea. Rio de Janeiro: Synergia, 2011, 358 p.

Material fornecido pelo professor no ambiente virtual de aprendizagem *Moodle*.

Sites para consulta de periódicos científicos (<http://www.sciencedirect.com/>, por exemplo).

Assinatura do Professor

Assinatura do Chefe do Departamento