



## PLANO DE ENSINO

<b>CURSO</b>	<b>ENGENHARIA AMBIENTAL</b>	<b>MATRIZ</b>	03
--------------	-----------------------------	---------------	----

<b>FUNDAMENTAÇÃO LEGAL</b>	Resolução n.º 92/2007 – COEPP de 19 de outubro de 2007, Portaria de Autorização MEC n.º 393, de 20 DE ABRIL DE 2010. Portaria de Reconhecimento INEP/MEC, n.º 270, de 13 de dezembro de 2012.
----------------------------	---

DISCIPLINA/UNIDADE CURRICULAR	CÓDIGO	PERÍODO	CARGA HORÁRIA (horas)		
			AT	AP	Total
TERMODINÂMICA DE PROCESSOS IRREVERSÍVEIS	EB67E	7º	30	15	45

AT: Atividades Teóricas, AP: Atividades Práticas.

<b>PRÉ-REQUISITO</b>	QB62A, EB65F, EB66E
<b>EQUIVALÊNCIA</b>	Não há

### OBJETIVOS

Estender os conceitos de termodinâmica para abordagem de sistemas fora do equilíbrio, tanto nas situações onde prevalecem relações lineares entre os fluxos e as forças termodinâmicas, como em situações onde as relações são não lineares. Aplicar o formalismo da termodinâmica de sistemas fora de equilíbrio para descrição de fenômenos de transporte isolados e acoplados. Avaliar a eficiência de conversores de energia e máquinas térmicas operando em tempo e potência entregue finitos.

### EMENTA

Termodinâmica avançada. Direção dos processos naturais. Processos irreversíveis. Região linear: leis de Onsager, produção de entropia. A tendência à destruição de estruturas. Teorema da produção mínima de entropia. Estruturas dissipativas. Estabilidade.

### CONTEÚDO PROGRAMÁTICO

ITEM	EMENTA	CONTEÚDO
1	Termodinâmica avançada Direção dos processos naturais	Leis Fundamentais da Termodinâmica. Propriedades Básicas: Coeficiente de Expansão Térmica, Compressibilidade Isotérmica, Capacidade Calorífica. Transformações de Legendre e Potenciais Termodinâmicos. Equilíbrio Químico.
2	Processos irreversíveis	Termodinâmica Irreversível Clássica. Leis de Transporte (Fourier, Fick e Ohm). Equilíbrio Local e Balanço de Entropia. Aplicações em Condução de Calor, Transporte de Massa e Hidrodinâmica. Limitações da teoria Clássica. Termodinâmica de Tempo Finito. Ciclo de Carnot de Tempo Finito: Perdas Calóricas e por Atrito. Potência e Eficiência: Restrições Econômicas e Ecológicas. Aplicações no Estudo de Questões Ambientais. Atividades práticas de simulações de problemas de transporte e comportamento de máquinas irreversíveis.
3	Região linear: leis de Onsager	Relações de reciprocidade (Onsager-Casimir). Lei de Curie. Acoplamento dos Transportes de Calor e Massa. Acoplamento dos Transportes de Calor e Massa. Difusão em Membrana. Acoplamento de Reações Químicas com Transporte de Massa.
4	Produção de entropia Teorema da produção mínima de entropia	Princípio do Mínimo de Produção de Entropia e Estados Estacionários.

	A tendência à destruição de estruturas	
5	Estruturas dissipativas	Instabilidade de Hidrodinâmica e Turbulência. Instabilidade Química. Instabilidade em Sistemas Homogêneos e Heterogêneos – Formação de Padrão.
6	Estabilidade	Estabilidade dos Estados de Equilíbrio. Estabilidade do Equilíbrio Químico. Teoria de Estabilidade Linear e Abordagem não Linear. Atividades práticas de cálculos numéricos de regiões de estabilidade mecânica e química.

<b>PROFESSOR</b>	<b>TURMA</b>
PROF. DR. ALEXEI LORENZETTI NOVAES PINHEIRO	EA71

ANO/SEMESTRE	CARGA HORÁRIA (aulas)					
	AT	AP	APS	AD	APCC	Total
2017/02	38	19	03	-	-	60

AT: Atividades Teóricas, AP: Atividades Práticas, APS: Atividades Práticas Supervisionadas, AD: Atividades a Distância, APCC: Atividades Práticas como Componente Curricular.

DIAS DAS AULAS PRESENCIAIS						
Dia da semana	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
Número de aulas no semestre (ou ano)		57				

PROGRAMAÇÃO E CONTEÚDOS DAS AULAS (PREVISÃO)		
Dia/Mês ou Semana ou Período	Conteúdo das Aulas	Número de Aulas
08/08	Apresentação. Atribuição da APS. Leis Fundamentais da Termodinâmica de Equilíbrio. Relações de Euler e de Gibbs-Duhem	3
15/08	Definições Básicas: Coeficiente de expansão térmica, Compressibilidade Isotérmica, Capacidade Calorífica. Transformações de Legendre e Potenciais Termodinâmicos. Evolução de sistemas para o estado de equilíbrio.	3
22/08	Estabilidade dos Estados de Equilíbrio (um componente e multicomponente)	3
29/08	Equilíbrio Químico. Calor de Reação e Eq. de van't Hoff. Estabilidade do Equilíbrio Químico e Princípio de Le Chatelier.	3
05/09	Equilíbrio Local e Balanço de Entropia. Fluxo e Produção de Entropia. Lei de Curie.	3
12/09	Relações de reciprocidade (Onsager-Casimir). Estados Estacionários. Princípio do Mínimo de produção de Entropia.	3
19/09	Aplicações em Condução de Calor,	3
26/09	Transporte de Massa por difusão.	3
03/10	Aplicações em Hidrodinâmica. Limitações da teoria Clássica.	3
10/10	1a Avaliação. Entrega da APS.	3
17/10	Condução Elétrica. Acoplamento dos Transportes de Calor e Carga. Efeito Seebeck e Efeito Peltier. Eficiência de Geradores Termoelétricos.	3
24/10	Atividade Extra-Classe: SICITI-SEI	3
31/10	Acoplamento dos Transportes de Calor e Massa. Efeito Soret e Efeito Dufour. Difusão em Membrana. Coeficientes de ultrafiltração, permeabilidade e osmótico.	3
07/11	Balanço de Entropia em Reações Químicas Simples. Conversores Químicos de Energia.	3
14/11	Reações Químicas Acopladas: Transferência de Energia entre Reações Químicas. Acoplamento de Reações Químicas com Transporte de Massa: Máquina Moleculares.	3

<b>PROGRAMAÇÃO E CONTEÚDOS DAS AULAS (PREVISÃO)</b>		
<b>Dia/Mês ou Semana ou Período</b>	<b>Conteúdo das Aulas</b>	<b>Número de Aulas</b>
21/11	Ciclo de Carnot de Tempo Finito: Perdas por Transporte de Calor. Perdas por Atrito.	3
28/11	2a Avaliação.	3
05/12	Avaliação Substitutiva	3
12/12	Apresentação da nota final.	3

<b>PROCEDIMENTOS DE ENSINO</b>
<b>AULAS TEÓRICAS</b>
Aulas expositivas e resolução de exercícios.
A disciplina será apresentada através de aulas expositivas e resolução de exercícios.
<b>AULAS PRÁTICAS</b>
Simulações numéricas de modelos
Práticas de simulações numéricas de modelos de processos irreversíveis realizadas pelos discentes em grupos de 4 a 5 alunos, sob a supervisão do professor.
<b>ATIVIDADES PRÁTICAS SUPERVISIONADAS</b>
Trabalho sobre estabilidade do equilíbrio mecânico e equilíbrio químicos, em grupo em grupos de 5 alunos.
<b>ATIVIDADES À DISTÂNCIA</b>
Não há.
<b>ATIVIDADES PRÁTICAS COMO COMPONENTE CURRICULAR</b>
Não há.

<b>PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO</b>
A avaliação será feita através de provas objetivas e dissertativas e das APS.
As avaliações teóricas serão realizadas na forma escrita, por meio da aplicação de provas. A APS também fará parte do processo de avaliação da seguinte forma:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• A média aritmética das avaliações teóricas terá peso de 90 % na composição da nota final;</li> <li>• A nota da APS terá peso de 10% na composição da nota final;</li> </ul>
As avaliações teóricas consistirão de provas escritas com questões objetivas e dissertativas.
Recuperação: o aluno que não obtiver a nota final necessária para aprovação nas avaliações regulares poderá fazer uma prova escrita substitutiva de uma das avaliações teóricas com conteúdo igual ao da prova a ser substituída:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Só poderá fazer a prova substitutiva o aluno que tiver possibilidade de aprovação pela substituição da nota (máximo 10,0).</li> <li>• A prova a ser substituída deverá ser obrigatoriamente aquela na qual o aluno obteve a menor nota da prova escrita.</li> <li>• Só poderá fazer a prova substitutiva o aluno que tiver sido reprovado na avaliação regular.</li> </ul>

<b>REFERÊNCIAS</b>
<b>Referências Básicas:</b>
KONDEPUDI, D.; PRIGOGINE, I. <b>Termodinâmica: dos Motores Térmicos a Estruturas Dissipativas</b> , 1ª ed. Porto Alegre: Instituto Piaget Editora 1999. ISBN 9727712975 [18 exemplares]
LEVINE, I. N. <i>Physical Chemistry</i> , 5 <sup>th</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 2003. ISBN: 978-0072538625 [9 exemplares]
BEJAN, A.; TSATSARONIS, G.; MORAN, M. <b>Thermal Design and Optimization</b> . New York: J. Wiley, 1996. xv, 542 p. ISBN 0-471-58467-3. [6 exemplares]
<b>Referências Complementares:</b>
DE GROOT, S. R.; MAZUR, P. <b>Non-Equilibrium Thermodynamics</b> , 1 <sup>st</sup> ed. Toronto: Dover, 1984. ISBN: 978-0486647418 [2 exemplares]

LEBON, G.; JOU, D.; CASAS-VÁZQUEZ, J. **Understanding Non-equilibrium Thermodynamics. Foundations, Applications**, Frontiers, 1st ed. Berlin: Springer-Verlag, 2008. ISBN: 978-3-540-74251-7 [2 exemplares]  
SCOTT, S. K. **Oscillations, Waves and Chaos**, 1ª ed. New York: Oxford University Press, 1994. ISBN 0198556586 [3 exemplares]  
KLEIDON, A.; LORENZ, R. D. (ed) **Non-equilibrium Thermodynamics and the Production of Entropy: Life, Earth, and Beyond**, 1<sup>st</sup> ed. Berlin: Springer-Verlag, 2005. ISBN: 978-3540224952 [1 exemplar]  
BEJAN, A.; MAMUT, E (Ed.). **Thermodynamic optimization of complex energy systems**. Dordrecht: Kluwer, 1998. 465 p. ISBN 0-7923-5726-4.[3 exemplares]

#### **ORIENTAÇÕES GERAIS**

##### **Resolução Nº 060/16-COGEPE, de 27 de julho de 2016.**

Art. 35 - A aprovação nas disciplinas presenciais dar-se-á por Nota Final, proveniente de avaliações realizadas ao longo do semestre letivo, e por frequência.

§ 2.º - O número de avaliações, suas modalidades e critérios devem ser explicitados no Plano de Ensino da disciplina/unidade curricular.

§ 4.º - Para possibilitar a recuperação do aproveitamento acadêmico, o professor deverá proporcionar reavaliação ao longo e/ou ao final do semestre letivo.

§ 5.º - Considerar-se-á aprovado nas disciplinas presenciais, o aluno que tiver frequência/participação igual ou superior a 75% (setenta e cinco por cento) e Nota Final igual ou superior a 6,0 (seis), consideradas todas as avaliações previstas no Plano de Ensino.

Art. 36 - A nota de cada avaliação deverá ser divulgada pelo professor com antecedência mínima de 3 (três) dias úteis da data marcada para a próxima avaliação.

Art. 37 - No caso do aluno perder alguma avaliação presencial e escrita, por motivo de doença ou força maior, poderá requerer uma única segunda chamada por avaliação, no período letivo.

§ 1.º - O requerimento, com documentação comprobatória, deverá ser protocolado junto ao Departamento de Registros Acadêmicos até 5 (cinco) dias úteis após a realização da avaliação.

§ 2.º - A análise do requerimento será feita pela Coordenação do Curso ou Chefia do Departamento Acadêmico ao qual a disciplina está vinculada, cujo resultado será comunicado ao professor da disciplina, com homologação da Diretoria de Graduação e Educação Profissional.

§ 3.º - O professor definirá os conteúdos e a data da avaliação.

§ 4.º - A nota da segunda chamada das avaliações realizadas na última semana do período letivo e não lançadas até o fechamento do período letivo, deverão seguir procedimento definido pela Diretoria de Graduação e Educação Profissional.

Art. 39 - É assegurado ao aluno o direito à revisão das avaliações, por meio de requerimento, devidamente justificado, protocolado junto ao Departamento de Registros Acadêmicos em até 5 (cinco) dias úteis após a publicação do resultado.

---

Assinatura do Professor

---

Assinatura do Coordenador do Curso