

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM COMBUSTÃO E PROPULSÃO

Coordenador Acadêmico do Curso e da área de Concentração PCP

Dr. Silvio Manea
silvio.manea@inpe.br

Docentes Permanentes

Fernando de Souza Costa do LABCP/INPE, Ph.D., University of Michigan, USA, 1995
fernando.costa@inpe.br

Fernando Fachini Filho do LABCP/INPE, Doutor, Universidad Politécnica de Madri, Espanha, 1992
fernando.fachini@inpe.br

Rodrigo Intini Marques do LABCP/INPE, Ph.D, University of Southampton, UK, 2009
rodrigo.intini@inpe.br

Wilson Fernando Nogueira dos Santos do LABCP/INPE, Ph.D., University of Maryland, USA, 2001
wilson.santos@inpe.br

Colaboradores Especiais

Adriana Maria da Silva, Doutora, UNICAMP, Brasil, 2004.
adriana.silva@inpe.br

Denize Kalempa, Doutora, UFPR, Brasil, 2009.
kalempa@usp.br

Márcio Teixeira de Mendonça, PhD, University of Pennsylvania, USA, 1997.
marcio_tm@yahoo.com

Roman Ivanovitch Savonov do LABCP/INPE, Doutor, ITA, Brasil, 2011.
roman.savonov@inpe.br

**CURSO DE
ENGENHARIA E TECNOLOGIA ESPACIAIS
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM COMBUSTÃO E PROPULSÃO**

Adaptação

Obrigatórias para o mestrado

PCP-020-0	Elementos de Matemática
PCP-021-0	Termodinâmica Clássica

1º Período Letivo

Obrigatórias para o mestrado

PCP-203-3	Matemática I
PCP-204-3	Mecânica dos Fluidos I
PCP-205-3	Combustão I

2º Período Letivo

Obrigatórias para o mestrado

PCP-306-3	Matemática II
PCP-307-3	Mecânica dos Fluidos II
PCP-311-3	Escoamento Compressível

3º Período Letivo e Seguintes

Obrigatória no curso de Mestrado para a linha de pesquisa: Combustão

Obrigatória no curso de Doutorado

PCP-400-3	Combustão II
-----------	--------------

Obrigatória no curso de Mestrado para a linha de pesquisa: Propulsão

Obrigatória no curso de Doutorado

PCP-401-3	Propulsão
-----------	-----------

Eletivas

PCP-310-3	Técnicas Exp. em Combustão e Propulsão
PCP-312-3	Chamas Laminares: Chamas de Difusão
PCP-314-3	Tópicos Avançados em Combustão
PCP-315-3	Tópicos Avançados em Propulsão
PCP-402-3	Teoria Cinética dos Gases
PCP-404-3	Instabilidade de Escoamentos Laminares
PCP-415-3	Métodos Computacionais em Combustão e Propulsão
PCP-206-3	Fundamentos de Catálise Heterogênea e Aplicações

No terceiro período o aluno de mestrado deverá escolher, de acordo com a sua linha de pesquisa, pelo menos uma das disciplinas eletivas oferecidas.

**EMENTAS DAS DISCIPLINAS DA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM
COMBUSTÃO E PROPULSÃO**

PERÍODO DE ADAPTAÇÃO

PCP-020-0	Elementos de Matemática
------------------	--------------------------------

Obrigatória

Pré-requisito: não há

Carga horária: 60 horas

Álgebra linear: matrizes, autovalores e autovetores. Equações diferenciais ordinárias: propriedades das equações lineares; soluções linearmente independentes, Wronskiano; soluções de equações com coeficientes constantes; soluções com coeficientes variáveis; método de Frobenius. Equações diferenciais parciais. Problema do valor inicial e de contorno. Equações diferenciais elípticas, parabólicas e hiperbólicas. Análise vetorial. Aplicações na mecânica dos fluidos. Gradiente, divergente e rotacional.

Bibliografia

KAPLAN, W. Advanced Calculus. Addison Wesley, 1959.

WYLIE, C.R. Advanced Engineering Mathematics. McGraw-Hill, 1961.

INCE, E.L. Ordinary Differential Equations. Dover, 1956.

ROSS, S.L. Differential Equations. Blaisdell, 1964.

PCP-021-0	Termodinâmica Clássica
------------------	-------------------------------

Obrigatória

Pré-requisito: não há

Carga horária: 60 horas

Resultados gerais da termodinâmica: leis da termodinâmica, funções termodinâmicas, potencial químico, função de Helmholtz, função de Gibbs, equações fundamentais da termodinâmica química; relações de Maxwell; Reações químicas: análise da primeira e da segunda leis com reações químicas, calor de formação, energia de combustão, combustíveis, poder calorífico, temperatura de chama adiabática. Introdução ao equilíbrio de fases e químico: equilíbrio entre duas fases de uma substância pura, equilíbrio de sistemas multi-componentes, regra das fases de Gibbs, equilíbrio químico, reações simultâneas e ionização.

Bibliografia

VAN WYLEN, G.; SONNTAG, R.; BORGNAKKE, C. Fundamentals of Classical Thermodynamics. Wiley, 4th Ed, 1993.

SEARS, F.W., SALINGER, G.L. Thermodynamics, Kinetic Theory and Statistical Thermodynamics, 3rd Ed, Addison Wesley, 1975.

ABOTT, M.M., VAN NESS, H. C. Termodinâmica, McGraw-Hill, Portugal 1992.

**EMENTAS DAS DISCIPLINAS DA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
EM COMBUSTÃO E PROPULSÃO**

1º PERÍODO LETIVO

PCP-203-3	Matemática I
------------------	---------------------

Obrigatória

Pré-requisito: não há

Carga horária: 45 horas

Análise vetorial: operador nabla, divergente, rotacional e gradiente. Teoremas integrais. Equações diferenciais ordinárias: equações lineares de ordem arbitrária, soluções por séries infinitas de potências, sistemas de equações de ordem 1, algumas equações e funções especiais (de Legendre, de Bessel, etc.). Introdução à análise tensorial.

Bibliografia

POWERS, D. L. Boundary-Value Problems. HBJ-Academic Press, 1987.
ARFKEN, G. Mathematical Methods for Physicists. Academic Press, 1970.
BRAND, L. Differential and Difference Equations. Wiley, 1966.
SOKOLNIKOFF & REDHEFFER Mathematics of Physics and Modern Engineering. McGraw-Hill, 1966.
KAPLAN, W. Advanced Calculus. Addison Wesley, 1959.

PCP-204-3	Mecânica dos Fluidos I
------------------	-------------------------------

Obrigatória

Pré-requisito: não há

Carga horária: 45 horas

Introdução: revisão de álgebra de vetores e tensores, cinemática do campo de escoamento, relações constitutivas, propriedades de transporte, equação de estado, propriedades termodinâmicas. Equações de conservação: introdução, teorema da divergência, conservação de massa, equação da continuidade, equações de quantidade de movimento, funções de fluxo, equação da vorticidade, conservação da energia, equação da entropia, condições em fronteiras, parâmetros adimensionais. Soluções exatas das equações de conservação: introdução e classificação das soluções, soluções exatas para escoamento potencial, escoamento de Poiseuille e Couette permanente, escoamento em cilindros rotativos, escoamento em tubos, Primeiro e Segundo problemas de Stokes, problema de Couette transiente, vórtice de Lamb, escoamento transiente em tubos, soluções por similaridade, soluções em escoamento compressível. Escoamentos com baixo número de Reynolds: equações simplificadas do movimento, escoamentos ao redor de corpos, transferência de calor.

Bibliografia

WHITE, F. M. Viscous Fluid Flow. McGraw-Hill, 2a. Ed., 1991.
ARIS, Rutherford, Vectors, Tensors, and the Basic Equations of Fluid Mechanics, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1962.
PANTON, R. L. Incompressible Flow. John Wiley & Sons, 1984.
SCHLICHTING, H. Boundary Layer Theory. McGraw-Hill, 7a. Ed., 1979.
KUNDU, P. Fluid Mechanics. Academic Press, Inc, 1990
CURRIE, I. G. Fundamental Mechanics of Fluids. McGraw Hill, 2nd ed, 1993

PCP-205-3	Combustão I
------------------	--------------------

Obrigatória

Pré-requisito: não há

Carga horária: 45 horas

Revisão de termodinâmica química: leis da termodinâmica, conservação das espécies, calores de reação, combustão e formação. Temperatura de chama adiabática. Constante de equilíbrio. Energia livres de Gibbs e Helmholtz. Revisão de cinética química: taxas de reação, equações de Arrhenius, limites de explosão: sistemas H₂-O₂ e CO-O₂. Equações de transporte para misturas de gases perfeitos com reação, formulação de Schvab-Zeldovich, condições de conservação numa interface, relações de Rankine-Hugoniot (derivação das equações, a dificuldade da região de contorno fria, detonação e deflagração). Chamas pré-misturadas: teoria de Mallard e Le Chatelier, teoria de Semenov, análise assintótica para grandes energias de ativação, velocidade de chama, auto-valores, propriedades das chamas pré-misturadas, limites de flamabilidade.

Bibliografia

TURNES, S. R. An Introduction to Combustion, Concepts and Applications, McGraw-Hill, 1996.
 GLASSMANN, I. Combustion, 2nd Ed., Academic Press, 1987.
 WILLIAMS, F. A. Combustion Theory. 2nd ed., Addison-Wesley, 1988.
 KUO, K. K. Principles of Combustion. John Wiley & Sons, 1986.
 LEWIS B.; VON ELBE, G. Combustion, Flames and Explosions of Gases 2^aEd., Ass. Press, 1961.
 ZELDOVICH, Y. A.; BARENBLATT, G.I.; LIBROVICH, V.B.; MAKHVILADZE, G.M. The Mathematical Theory of Combustion and Explosions, Plenum Publishing Corporation, 1985.

**EMENTAS DAS DISCIPLINAS DA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM
 COMBUSTÃO E PROPULSÃO**

2º PERÍODO LETIVO

PCP-306-3	Matemática II
------------------	----------------------

Obrigatória

Pré-requisito: PCP-203-3

Carga horária: 45 horas

Séries de funções numa base ortogonal: problema de Sturm-Liouville. Equações diferenciais parciais. Classificação: equações elípticas, parabólicas e hiperbólicas. Algumas das propriedades e soluções, principalmente por separação de variáveis, das equações de Laplace, de onda e de difusão, aplicação de transformadas de Laplace e Fourier. Introdução aos métodos numéricos.

Bibliografia

POWERS, D. L. Boundary-Value Problems. HBJ-Academic Press, 1987.
 ARFKEN, G. Mathematical Methods for Physicists. Academic Press, 1970.
 BRAND, L. Differential and Difference Equations. Wiley, 1966.
 SOKOLNIKOFF & REDHEFFER Mathematics of Physics and Modern Engineering. McGraw-Hill, 1966.
 KAPLAN, W. Advanced Calculus. Addison Wesley, 1959.

PCP-307-3	Mecânica dos Fluidos II
------------------	--------------------------------

Obrigatória

Pré-requisito: PCP-204-3

Carga horária: 45 horas

Camadas limites laminares: introdução, equação da camada limite, soluções exatas por similaridade, soluções aproximadas, camadas limites térmicas, camada limite em convecção livre, camadas limites tri-dimensionais, camadas limites transientes. Estabilidade de escoamentos laminares: ondas em fluidos, aproximação de escoamento paralelo, teoria de estabilidade linear, efeitos paramétricos em estabilidade, transição para a turbulência. Escoamentos turbulentos incompressíveis: introdução, descrição de escoamentos turbulentos, decomposição de Reynolds, equações com médias de Reynolds, escoamento turbulento em tubos e canais, camada limite turbulenta, jatos e esteira turbulentas. Camada limite compressível: introdução, equações da camada limite compressível, soluções por similaridade.

Bibliografia

WHITE, F. M. Viscous Fluid Flow. McGraw-Hill, 2a. Ed., 1991.
SHERMAN, F. S. Viscous Flow, McGrawHill, New York, 1990.
SCHETZ, J. Boundary Layer Analysis, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.
PANTON, R.L. Incompressible Flow. John Wiley & Sons, 1984.
SCHLICHTING, H. Boundary Layer Theory. McGraw-Hill, 7a. Ed., 1979.
CEBECI, T.; SMITH, A. M. O. Analysis of Turbulent Boundary Layers, Academic Press, Orlando, FL, 1974.

PCP-311-3	Escoamento Compressível
------------------	--------------------------------

Obrigatória

Pré-requisito: PCP-204-3

Carga horária: 45 horas

Definições e conceitos fundamentais. Equações de conservação. Escoamento isentrópico. Ondas de choque normais. Ondas de choque oblíquas. Ondas de expansão. Escoamento unidimensional com atrito. Escoamento unidimensional com troca de calor. Escoamento linearizado. Método das características.

Bibliografia

SAAD, M. A. CompressibleFluidFlow. Prentice-Hall Inc., 2a ed., 1993.
ANDERSON, J. D., Modern Compressible Flow, McGrawHill, New York, 1990.
ZUCROW, M.J., HOFFMAN, J.D., Gas Dynamics, Vols. I e II, Wiley, 1976.
OOSTHUIZEN, P. H., CARSCALLEN, W.E. Compressible Fluid Flow, McGraw Hill International Editions, 1997.
LIEPMANN, H. W., ROSHKO, A. Elements of Gas Dynamics. John Wiley & Sons, 1957.
SHAPIRO, A. H. The Dynamics and Thermo dynamics of Compressible Fluid Flow. Ronald Press, 1954.

**EMENTAS DAS DISCIPLINAS DA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM
COMBUSTÃO E PROPULSÃO**

3º PERÍODO LETIVO

PCP-310-3	Técnicas Experimentais em Combustão e Propulsão
------------------	--

Eletiva

Pré-requisito: não há

Carga horária: 45 horas

Medidas de vazão: placas de orifício, rotâmetros, medidores tipo turbina. Medidas de pressão: manômetros, sensores piezoelétricos. Medidas de temperatura: termopares, bulbos de resistência, métodos óticos (LIF, espalhamento Rayleigh, espectroscopia de emissão, espectroscopia de absorção com laser, CARS). Visualização de escoamentos: Schlieren, shadowgraph, interferometria. Medidas de Velocidade: espalhamento Rayleigh/Mie, lasers, fotodetetores, velocimetria laser doppler. Medidas de concentração de espécies: analisadores de gases, métodos óticos (espectroscopia, tomografia de chamas), incandescência induzida por laser. Medida de tamanho de gotas e particulados.

Bibliografia:

HOLMAN, J. P. Experimental Methods for Engineers, 7a ed., Mc-Graw-Hill, 2001.
KOHSE- HÖINGHAUS,), K.; JEFFRIES, J. Applied Combustion Diagnostics (Combustion: An International Series, Taylor and Francis, 2002.
ECKBRETH, A. Laser Diagnostics for Combustion, Temperature and Species (Energy and Engineering Science), Abacus Press, 1988.
Laser Applications in Combustion and Combustion Diagnostics, L.C. Liou; Ed. Proc. SPIE, vol. 1862, 1993.
HERZBERG, G. Molecular Spectra and Molecular Structure, vol. 1, Spectra of Diatomic Molecules, Van Nostrand, New York, 2a ed., 1950.

PCP-312-3	Chamas Laminares: Chamas de Difusão
------------------	--

Eletiva

Pré-requisito: não há

Carga horária: 45 horas

Formulação Matemática na Ciência da Combustão. Modelo Generalizado de Shvab-Zeldovich para um Combustível. Modelo Generalizado de Shvab-Zeldovich para uma mistura de Combustíveis. Modelos Assimptóticos para a Estrutura das Chamas de Difusão. Simulação Numérica de Chamas com Cinética de Reação Simplificada. Alguns Problemas Transientes.

Bibliografia

WILLIAMS, F. A. Combustion Theory, The Benjamin. Cummings Publishing Company, Inc, 1985.
LIÑÁN, A .; WILLIAMS, F. A. Fundamental Aspects of Combustion. Oxford University Press, Oxford Engineering Sciences Series 34, 1993.
ZELDOVICH, YA. B.; BARENBLATT, G. I.; LIBROVICH, V. B.; MAKHILADZE, G. M. The Mathematical Theory of Combustion and Explosions. Consultants Bureau, 1985.
CHUNG, T. J. Numerical Modeling in Combustion, Taylor & Francis, 1993.
LIÑÁN, A. The Asymptotic Structure of Counterflow Diffusion Flame for Large Activation Energy, Acta Astronautica, 1, 1007-1039, 1975.

CRESPO, A.; LIÑÁN, A. Unsteady Effects in Droplet and Combustion, Droplet, Combustion Science and Technology, 11, 9-18, 1975.

LIÑÁN, A.; CRESPO, A. Asymptotic Analysis of Unsteady Flames for Large Activation Energy. Combustion Science and Technology, 14, 95-117, 1976.

LINAN, A. El Papel de la Mecánica de Fluidos em los Processos de Combustio. Discurso e a Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, Espanha, 1991.

PCP-314-3	Tópicos Avançados em Combustão
------------------	---------------------------------------

Eletiva

Pré-requisito: não há

Carga horária: 45 horas

Abordam-se tópicos avançados em Combustão.

Bibliografia

Artigos de revistas especializadas no assunto.

PCP-315-3	Tópicos Avançados em Propulsão
------------------	---------------------------------------

Eletiva

Pré-requisito: não há

Carga horária: 45 horas

Abordam-se tópicos avançados em Propulsão. Conteúdo variado, de acordo com o interesse do momento.

Bibliografia

Artigos de revistas especializadas no assunto.

PCP-400-3	Combustão II
------------------	---------------------

Obrigatória para linha de pesquisa de Combustão

Pré-requisito: PCP-205-3

Carga horária: 45 horas

Chamas de difusão: queima de jatos difusivos, teoria de Burke-Schumann, queima de gotas e de sprays. Queima de sólidos. Modelos computacionais simplificados de sistemas reativos. Camadas limites reativas, conceito de elementos de chama (flamelets), chamas de difusão em um ponto de estagnação, efeitos do número de Lewis em chamas difusivas. Chamas planas pré-misturadas, análise assintótica com alta energia de ativação. Escalas e regimes de combustão turbulenta em chamas pré-misturadas, mecanismos de instabilidade de chamas pré-misturadas, modelos estatísticos de chamas turbulentas.

Bibliografia

TURNER, S.R. An Introduction to Combustion, Concepts and Applications, McGraw-Hill, 1996.

GLASSMANN, I. Combustion, 2nd Ed., Academic Press, 1987.

WILLIAMS, F. A. Combustion Theory. 2nd ed., Addison-Wesley, 1988.

KUO, K.K. Principles of Combustion. John Wiley & Sons, 1986.

LEWIS B., VON ELBE, G. Combustion, Flames and Explosions of Gases 2^aEd., Ass. Press, 1961.

ZELDOVICH, Y.A., BARENBLATT, G.I., LIBROVICH, V.B., MAKHVILADZE, G.M. The Mathematical Theory of Combustion and Explosions, Plenum Publishing Corporation, 1985.

PCP-401-3	Propulsão
------------------	------------------

Obrigatória para a linha de pesquisa em propulsão

Pré-requisito: não há

Carga horária: 45 horas

Classificação dos sistemas propulsivos. Definições e fundamentos. Teoria das tubeias e relações termodinâmicas . Transferência de calor na propulsão de foguetes. Definição de missões e desempenho em vôo. Análise do desempenho dos foguetes a propulsão química. Fundamentos dos foguetes a propulsão líquida. Propelentes líquidos e sua combustão. Motores de foguetes a propelentes líquidos. Fundamentos dos foguetes a propelente sólido. Propelentes sólidos e sua combustão. Componentes dos foguetes a propelentes sólidos. Testes de foguetes.

Bibliografia

SUTTON, G. P.; BIBLARZ, O. Rocket Propulsion Elements, 7ª ed., John Wiley & Sons, 2000.

BROWN, C. D. Spacecraft Propulsion, AIAA Education Series, 1995.

WILLIAMS, F. A. BARRERE, M.; HUANG, H.C. Fundamental Aspects of Solid Propellant Rockets. AGARDograph nº 116, 1969.

BARRERE, M.; JAUMOTTE, A.; DE VEUBEKE, B. D.; VAN DEN KERCKHOVE, J. Rocket Propulsion Elsevier Publishing, Company, 1960.

HUZEL, D. K.; HUANG, D. H. Modern Engineering for Design of Liquid-Propellant Rocket Engines. AIAA Progress in Astronautics and Aeronautics, vol 147, 1992.

PCP-402-3	Teoria Cinética dos Gases
------------------	----------------------------------

Eletiva

Pré-requisito: não há

Carga horária: 45 horas

Definições básicas. Função de distribuição. Valores médios e fluxos de grandezas extensivas. Efusão. Definição da pressão e da temperatura. Constante de Boltzmann. Número de Avogadro. Energia, entalpia e calores específicos. Estimativa do percurso livre médio e da frequência colisional. Teoria ultrasimplificada dos fenômenos de transporte. Distribuição de Maxwell. Dinâmica dos encontros entre partículas. Equação de Boltzmann. Equilíbrio e a tendência ao equilíbrio. Seção de espalhamento. Percurso livre médio e frequência colisional (abordagem perigosa). Obtenção das equações da gasdinâmica da equação de Boltzmann. Modelo BGK.

Bibliografia

VINCENT, W.G.; KRUGER, C. H. Introduction to Physical Gas Dynamics. John Wiley, 1965.

PRESENT, R. D. Kinetic Theory of Gases. McGraw-Hill, 1958.

SIELAWA, J. T. Teoria Cinética dos Gases e Plasmas. Apostila, ITA, 1983.

PCP-404-3	Instabilidade de Escoamentos Laminares
------------------	---

Eletiva

Pré-requisito: não há

Carga horária: 45 horas

Revisão de propagação de ondas. Números complexos. Conceito de instabilidade. Formulação. Classificação (convectiva e absoluta, temporal e espacial, local e global). Teoremas fundamentais (Rayleigh e Fjortoft). Equação de Rayleigh. Instabilidade de Kelvin-Helmholtz. Projeto número 1 – programa de cálculo de instabilidade inviscida. Equação de Orr-Sommerfeld e ondas de Tollmien-Schlichting. Orr-Sommerfeld tridimensional e teorema de Squires. Projeto número 2 – programa de cálculo de instabilidade de Tollmien-Schlichting. Instabilidade térmica e células de convecção de Bernard. Vórtices de Taylor – instabilidade de escoamento entre dois cilindros concêntricos. Vórtices de Görtler – instabilidade de camada limite sobre superfícies côncavas. Projeto número 2 – programa de cálculo de instabilidade sobre superfícies côncavas. Efeitos não lineares e não paralelos. Parabolized Stability Equations –PSE. Projeto número 3 – estudo de efeitos não lineares e não paralelos utilizando PSE. Transição para regime turbulento.

Bibliografia

DRAZIN, P. G.; REID, W. H. Hydrodynamic Stability. Cambridge University Press, 1981.
BETCHOV, R.; CRIMINALE, W. O. Stability of Parallel Flows. Academic Press, 1967.
CHANDRASEKHAR, S. Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability. Oxford University Press, 1961.
KOSCHMIEDER, E. L. Bernard Cells and Taylor Vortices. Cambridge University Press, 1993.
HENNINGSON, D. S.; SCHMID, P. J. Stability and Transition in Shear Flows. Springer Verlag, Vol 142 – Applied Math. Sciences, 2001.

PCP-415-3	Métodos Computacionais em Combustão e Propulsão
------------------	--

Eletiva

Pré-requisito: não há

Carga horária: 45 horas

Determinação de raízes; Integração numérica; Solução de sistemas algébricos lineares; Solução de EDOs: diferenças finitas, estabilidade, consistência e convergência, método do “shooting”; Solução de EDPs: classificação (parabólicas, elípticas e hiperbólicas), diferenças finitas: ordem, série de Taylor, erro de dispersão e dissipação, métodos implícitos e explícitos, diferenças centradas e “upwind”; Volumes finitos: métodos de volumes finitos via diferenças finitas, volume de controle centrados no nó e na célula, esquemas centrados, esquemas “upwind”; Solução de equações de Laplace e Poisson; Aplicações a equações da mecânica dos fluidos.

Bibliografia

ANDERSON JR, J. D. Computational Fluid Dynamics. The Basics with Applications. McGraw-Hill, 1995.
CHUNG, T. J. Computational Fluid Dynamics. Cambridge University Press, 2002.
FORTUNA, A. O. Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos. Conceitos Básicos e Aplicações. Editora USP, ISBN 85-314-0526-2.
CUNHA.M. C. C. Métodos Numéricos. Editora da Unicamp, 2000.

PCP-206-3	Fundamentos de Catálise Heterogênea e Aplicações
------------------	---

Eletiva

Pré-requisito: não há

Carga horária: 45 horas

Introdução à catálise heterogênea; cálculo de reatores-revisão; fenômenos de adsorção (física e química); isotermas de adsorção; fenômenos de difusão; etapas de uma reação catalítica; tipos de catalisadores e metodologias de preparação; propriedades físico-químicas de catalisadores; caracterização de catalisadores; seletividade e rendimento; cinética de adsorção; mecanismo de reações catalíticas; exemplos de catalisadores nano estruturados; desativação de catalisadores; aplicações da catalise heterogênea na indústria química, automotiva e na tecnologia aeroespacial.

Bibliografia:

1. Martin Schmal, *Catálise Heterogênea*, Synergia, Rio de Janeiro, 2011.
2. G. A. Somorjai, *Introduction to Surface Chemistry and Catalysis*, John Wiley & Sons, Inc., 1994.
3. R. Ciola, *Fundamentos de Catálise*, Universidade de São Paulo, 1981.
4. J. R. H. Ross, *Heterogeneous Catalysis*, 2011.

Os trabalhos auxiliares ou finais do programa de Pós-Graduação serão identificados na forma abaixo indicada:

PCP-730	Pesquisa de Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/PCP*
----------------	---

Obrigatória
Créditos: 0

PCP-750	Dissertação de Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/PCP
----------------	---

Obrigatória
Créditos: 12

PCP-780	Pesquisa de Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/PCP *
----------------	---

Obrigatória
Créditos: 0

PCP-800	Tese de Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/PCP
----------------	---

Obrigatória
Créditos: 36

*Atividade *Obrigatória*, em cada período letivo, para todo aluno em fase de Pesquisa, definida pela oficialização de seu Orientador de Pesquisa que avaliará o desempenho do aluno nesta atividade. *Obrigatória*, também, antes da oficialização citada, para o aluno que não esteja matriculado em alguma disciplina; neste caso, a orientação e avaliação deverá ser feita por Docente aprovado pelo Coordenador Acadêmico do Curso.