

## **CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA ESPACIAL**

### **Coordenador Acadêmico**

Marcelo Magalhães Fares Saba

### **Docentes Permanentes**

Alexandre Alvares Pimenta, Doutor, INPE, 2002- FISAT

Alícia Luiza Clua de Gonzalez Alarcon, Doutora, Univ. La Plata, 1973 -  
MAGHEL

Alisson Dal Lago, Doutor, INPE, 2003- MAGHEL

Antonio Lopes Padilha, Doutor, USP, 1989 - GEOMA

Clezio Marcos De Nardin, Doutor, INPE, 2003 - IONO

Cristiano Max Wrasse, Doutor, INPE, 2004 - LUME

Delano Gobbi, Doutor, INPE, 1993- LUME

Érico Luiz Rempel, Ph.D., Universidade de Cambridge (UK, 2009).

Esfhan Alam Kherani, Ph.D., Physical Research Laboratory, Índia, 2002 – IONO

Eurico Rodrigues de Paula, Doutor, INPE, 1986 - IONO

Ezequiel Echer, Doutor, INPE, 2004 - MAGHEL

Fernanda T. São Sabbas, Ph.D., Alaska Univ., 2003 - LUME

Hisao Takahashi, Doutor, INPE, 1980- LUME

Iara Regina Cardoso de Almeida Pinto, Doutora, INPE, 1987 - ELAT

Inez Staciarini Batista, Doutora, INPE, 1985- IONO

Jonas Rodrigues de Souza, Doutor, INPE, 1997- IONO

José Humberto Andrade Sobral, Ph.D., Cornell Univ., 1973 - IONO

Kleber Pinheiro Naccarato, Doutor, INPE, 2007 – ELAT

Lívia Ribeiro Alves, Doutor, INPE, 2011 - GEOMA

Mangalathayil Ali Abdu, Ph.D., Gujarat Univ., 1967 - IONO

Marcelo Magalhães Fares Saba, Doutor, INPE, 1997- ELAT

Maria Virgínia Alves, Doutora, INPE, 1990 - MAGHEL

Odim Mendes Júnior, Doutor, INPE, 1992 - MAGHEL

Osmar Pinto Júnior, Doutor, INPE, 1984 - ELAT

Paulo Prado Batista, Doutor, INPE, 1983 - FISAT

Plínio Carlos Alvalá, Doutor, INPE, 1995 - QUIATM

Polinaya Muralikrishna, Ph.D., Gujarat Univ., 1975 - IONO

Renato Sérgio Dallaqua, Doutor, USP, 1994 - MAGHEL

Walter D. Gonzalez Alarcon, Ph.D., Univ. Cal. Berkeley, 1973 - MAGHEL

### **Docentes Colaboradores**

Abraham Chian Long Chian, Ph.D., Cambridge Univ., 1977 - MAGHEL

Fábio Becker Guedes, Ph.D., USP, São Carlos, 2001 - IONO

Ivan Jelinek Kantor, Ph.D., Rice Univ., 1973 - IONO

Luis Eduardo Antunes Vieira, Doutor, INPE, 2002 - MAGHEL

Severino Luiz Guimarães Dutra, Doutor, INPE, 1982- GEOMA

## **CURSO DE GEOFÍSICA ESPACIAL**

### **Programação anual para o Mestrado:**

**\*1-Área de Concentração em Ciências do Ambiente Solar-Terrestre - AST**

**\*2-Área de Concentração em Ciências Atmosféricas - ATM**

### **1º Período**

#### **Obrigatórias para as duas Áreas**

GES-200-4 Geofísica Espacial \*

GES-203-1 Instrumentação de Geofísica Espacial\*

GES-207-4 Métodos Matemáticos da Física

GES-502-0 Seminário de Geofísica Espacial I

### **2º Período**

#### **Obrigatórias**

GES-205-4 Eletrodinâmica I

GES-300-4 Física Solar-Terrestre\* (Área 1)

GES-305-4 Física da Atmosfera\* (Área 2)

### **3º Período**

Para as duas Áreas

**Deverão ser cursadas duas disciplinas dentre as disciplinas eletivas**

#### **Eletiva - Na área de escolha do aluno** **Obrigatórias para o Doutorado**

GES-503-0 Seminário de Geofísica Espacial II

#### **Eletivas para o Mestrado e Doutorado**

GES-208-3 Métodos Estatísticos em Geofísica

GES-301-4 Geomagnetismo

GES-204-4 Física de Plasma I

GES-307-4 Aeronomia

GES-302-4 Indução Eletromagnética Terrestre

GES-303-4 Luminescência Atmosférica

GES-304-4 Física de Plasma II

GES-306-4 Análise de Sinais Aleatórios

GES-313-4 Química da Atmosfera

GES-314-4 Eletricidade Atmosférica

GES-315-4 Eletrodinâmica Atmosférica

GES-316-4 Simulação Numérica de Fenômenos de Plasmas Espaciais

GES-401-4 Física da Ionosfera

GES-402-4 Dinâmica da Alta Atmosfera

GES-403-4 Física da Plasmasfera e Cinturões de Radiação

GES-404-4 Processos não Lineares de Plasma

GES-405-4 Física da Magnetosfera Externa

GES-409-4 Tópicos Especiais em Alta Atmosfera

GES-410-4 Tópicos Especiais em Eletricidade Atmosférica

GES-411-4 Tópicos Especiais em Geomagnetismo

GES-412-4 Tópicos Especiais em Ionosfera

GES-413-4 Tópicos Especiais em Luminescência Atmosférica

GES-414-4 Tópicos Especiais em Magnetosfera-Heliosfera

GES-415-4 Tópicos Especiais em Média e Baixa Atmosfera

**\* Obrigatórias para doutorandos que não as tenham cursado.**

**EMENTAS DAS DISCIPLINAS DO  
CURSO DE GEOFÍSICA ESPACIAL**

**1º PERÍODO LETIVO**

**GES-200-4 Geofísica Espacial**

Obrigatória

Conceitos de ambiente espacial, de clima e tempo espaciais. Influências no Espaço Próximo, na atmosfera e na litosfera. A fonte solar, radiação eletromagnética e matéria corpuscular. Sol calmo e Sol ativo. Atmosfera: origem, evolução e constituição. Radiação, temperatura e ventos. Condensação de nuvens. Eletrificação da atmosfera. Ionosfera: Ionização, formação das camadas ionizadas, processos de transporte, campos elétricos, correntes, interferência em sinais eletromagnéticos. Fotoquímica e luminescência atmosférica. Magnetosfera e meio Interplanetário: campo magnético intrínseco, sistemas de correntes magnetosféricas, acoplamento Sol-Terra, fenômenos interplanetários, perturbações magnéticas, ondas de plasma. Introdução a atmosferas em outros planetas.

**Bibliografia**

CAMPBELL, W. H. Introduction to geomagnetic fields. Cambridge, Cambridge University, 1997.290p.

GOODY, R. M.; WALKER, J. C. G. Atmosferas planetárias. São Paulo, Edgar Blucher, 1975. 140p. (Série de textos básicos de Geociências).

HAYMES, R. C. Introduction to space science. New York, John Wiley & Sons, 1971. 555p. (Space science text series).

KIRCHHOFF, V. W. J. H. Introdução à Geofísica Espacial. São Paulo, Edusp, 1991.

KIVELSON, M. G.; RUSSELL, C. T. Introduction to space physics. Cambridge, Cambridge University, 1995. 568p.

LUTDGENS, F. K.; TARBUCK, E. J. The atmosphere. New Jersey, Prentice-Hall, 1998. 434p.

Magono, C. Thunderstorms. Amsterdam, Elsevier, 1980.

SALBY, M. L. Fundamentals of atmospheric physics. California, Academic Press, 1996. 627p.

PARKS, G. R. Physics of space plasmas: an introduction. California, Addison-Wesley, 1991. 538p.

VOLLAND, H. Handbook of Atmospheric Electrodynamics. Boca Raton, CRC-Press, Vol. 1 e 2, 1995. 408p.

## **GES-203- 1 Instrumentação de Geofísica Espacial**

Obrigatória

Introdução teórica e prática da aparelhagem e metodologia científica de Ciência Espacial em operação no INPE: Fotômetros, Radar de Laser, Espectrofotômetros Dobson, Medidores de Ozônio, Magnetômetros, Receptores de VLF, Polarímetros VHF, Riômetros, Ionossondas, cargas úteis (fotômetros, experimentos de plasma ionosférico) a bordo de foguetes, espectroscopia nuclear, medidas de campo elétrico, raios-X e ondas ELF na Atmosfera, instrumentação para simulação de plasmas espaciais. É necessário a apresentação de um trabalho de revisão atualizado sobre um dos instrumentos apresentados.

### **Bibliografia**

NORDEMANN, D.J.R.; PEREIRA, E.B. Elementos básicos de geofísica nuclear. São José dos Campos, INPE fev. 1984.(INPE-3002-PRE/452).

KIRCHHOFF, V.W.J.H. Elementos básicos sobre o Radar de Laser. São José dos Campos, INPE maio 1984 (INPE-3123-MD/025).

KIRCHHOFF, V.W.J.H. Elementos básicos sobre fotômetros de filtro inclinável. INPE-3124-MD/026, maio, 1984.

## **GES-207 - 4 Métodos Matemáticos da Física I**

Obrigatória

Espaços lineares: operadores lineares, vetores, álgebra vetorial, gradiente, divergência, rotacional e laplaciano, aplicações na Física, matrizes, tensores, transformação de base vetorial, espaço dual, problemas de autovalor, diagonalização de matrizes, espaço de Hilbert. Funções de variável complexa: funções analíticas, combinação analítica, singularidades, resíduos, teorema dos resíduos, integração de funções unívocas, pólos sobre contorno, superfície de Riemann, integração de funções plurívocas. Equações diferenciais: equação diferencial linear com coeficientes constantes, equação diferencial linear com coeficientes variáveis, equações diferenciais lineares de Euler, solução de equações diferenciais lineares em série de potências, equação indicial, equações diferenciais conhecidas na Física. Funções Especiais: polinômio de Legendre, funções de Bessel, polinômios de Hermite. Transformadas Integrais: transformadas de Fourier, Fourier Seno e Fourier Cosseno, transformada de Laplace, teoremas de convolução. Equações diferenciais parciais: a) Classificação, equações de Navier-Stokes, de onda, de difusão e de Maxwell; b) Método da característica.

### **Bibliografia**

BYRON JR., F. W.; FULLER, R. W. Mathematics of Classical and Quantum Physics. Reading, MA, Addison-Wesley, 1970.

MACHADO, K. D. Equações diferenciais aplicadas à Física, Editora UEPG, 1990.

MEDRANO-B., R.A. Transformadas Integrais. São José dos Campos, INPE, abril, 1989. (INPE-4807-MD/40).

MEDRANO-B., R.A. Equações diferenciais ordinárias. São José dos Campos, INPE, maio, 1980. (INPE-1753-RPE/144).

MEDRANO-B., R.A. Campos vetoriais, espaços lineares e tensores na física. São José dos Campos, Transtec, 1994.

MEDRANO-B., R.A. Funções de variáveis complexas. São José dos Campos, INPE, maio 1979. (INPE-1494-RPE/038).

MEDRANO-B., R.A. Funções especiais. São José dos Campos, INPE, fev. 1985. (INPE-3479-RPE/472).

OCKENDON, J. R. , S. D. HOWISON, A. A. LACEY, A. B. MOVCHAN, Applied partial differential equations, Oxford Press, 2003.

### **GES-502 - 0 Seminário de Geofísica Espacial I**

Obrigatória para o Mestrado

Os seminários são quinzenais e abordam tópicos de pesquisas atuais, relacionados com a área de Geofísica Espacial.

### **GES-503 – 0 Seminário de Geofísica Espacial II**

Obrigatória para o Doutorado

Os seminários são quinzenais e abordam tópicos de pesquisas atuais, relacionados com a área de Geofísica Espacial.

## **EMENTAS DAS DISCIPLINAS DO CURSO DE GEOFÍSICA ESPACIAL 2º PERÍODO LETIVO**

### **GES-205 – 4 Eletrodinâmica I**

Obrigatória

Eletrostática: leis de Coulomb e Gauss. Potencial escalar. Equações de Laplace e Poisson, energia potencial. Expansão multipolar, dipolo elétrico. Magnetostática: lei de Biot-Savart, lei de Ampere, potencial vetorial e escalar, dipolo magnético. Equações de Maxwell: lei de Faraday, energia no campo magnético, corrente de deslocamento, potenciais vetorial e escalar, equação da onda, conservação de energia e momentum. Problemas com condições de contorno. Teoria de Green. Equações de Maxwell na matéria.

### **Bibliografia**

COOK, D.M. The Theory of the Electromagnetic Field. New York, Prentice-Hall, 1975.

JACKSON, J.D. Classical Electrodynamics. 3rd ed. New York, NY, Wiley, 1999.

LORRAIN, P.; CORSON, D.R. Eletromagnetic Fields and Waves. San Francisco, Freeman, 1970.

PANOFSKY, W.H.H.; PHILLIPS, M. Classical Electricity and Magnetism, Reading, MA, Addison Wesley, 1962

REITZ, J.R.; MILFORD, F.J.; CHRISTY, R.W. Fundamentos da Teoria Eletromagnética. Rio de Janeiro, RJ, Campus, 1982.

### **GES-208-3 Métodos Estatísticos em Geofísica**

Obrigatória

Introdução à análise de dados. Noções de Probabilidade e Estatística. Propagação de Erros. Variáveis aleatórias discretas e contínuas. Distribuições probabilísticas. Amostragem. Inferência estatística. Teste de hipóteses. Tópicos especiais: comparação de duas médias, testes para variância, regressão linear.

#### **Bibliografia**

BEVINGTON, P. R., Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences, McGraw-Hill Company, Inc. New York, 1969.

BUSSAB, W. O. E P. A. MORETTIN, Estatística Básica, Métodos Quantitativos, Atual Editora, S. Paulo, 1987.

HOEL, P. G., Introduction to Mathematical Statistics, John Wiley & Sons, New York, 1962.

JENKINS, G. M. AND D. G. WATTS, Spectral Analysis and its applications, Holden-Day, San Francisco, 1968.

MAGALHÃES, M. N. E A. C. P. DE LIMA, Noções de Probabilidade e Estatística, 3a Edição, IME – USP, São Paulo, 2001.

MEYER, P. L., Probabilidade, Aplicações a Estatística, 2a. Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1983.

PRESS, W. H., B. P. FLANNERY, S. A. TEUKOLSKY, AND W. T. VETTERLING, Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, 2nd. ed., 2002.

### **GES-300-4 Física Solar-Terrestre**

Obrigatória Área 1

Conceitos básicos de plasmas espaciais. Origem e evolução do campo geomagnético. Anomalia magnética do Atlântico Sul. Conceitos da física solar, atividade solar, vento solar e do meio interplanetário. Magnetosferas planetárias. Regiões da magnetosfera. Processos físicos e químicos da ionosfera. Raios cósmicos. Acoplamento sol-magnetosfera-ionosfera-atmosfera. Atividades geomagnéticas, tempestades e subtempestades geomagnéticas.

#### **Bibliografia:**

HARGREAVES, J. K. The solar-terrestrial environment. Cambridge, Cambridge University, 1992. 420p. (Cambridge atmospheric and space science series).

KIVELSON, M. G.; RUSSELL, C. T. Introduction to space physics. Cambridge, Cambridge University, 1995. 568p.



LYONS, L. R.; WILLIAMS, D. J. Quantitative aspects of magnetospheric Physics. Boston, Reidel, 1984.

MERRIL, R. T.; MCELHINNY, M. W. The Earth's magnetic field: its history, origin and planetary perspective. London, Academic Press, 1983.

PARKISON, W. D. Introduction to geomagnetism. Edinburgh, Scottish Academic Press, 1983.  
PARKS, G. R. Physics of space plasmas: an introduction. California, Addison-Wesley, 1991. 538p.

VOLLAND, H. Atmospheric electrodynamics. New York, Springer-Verlag, (Physics and Chemistry in Space), 1984. 105p.

BAUMJOHAN, W.; TREUMAN, R. A. Basic Space Plasma Physics, London, Imperial College, 2004. 329p.

### **GES-305-4 Física da Atmosfera**

#### Obrigatória Área 2

Atmosfera: Composição da atmosfera. Estrutura térmica. Equilíbrio hidrostático. Equações que regem o estado da atmosfera. Modelo unidimensional. Estabilidade atmosférica. Desvios do equilíbrio: balanço geostrofico, ventos médios, ondas atmosféricas.

Aeroluminescência: Processos químicos e iônicos. Difusão molecular e turbulenta. Elementos de cinética química. Composição e distribuição das espécies químicas. Formação de camadas. Reações quimioluminescentes. A aeroluminescência do O, O<sub>2</sub>, OH e Na. Radiação: princípios fundamentais, espectro eletromagnético, processos radiativos. Leis fundamentais. Transferência Radiativa.

Eletricidade Atmosférica: Processos de ionização na atmosfera. Campo elétrico atmosférico. Circuito elétrico atmosférico. Processos de eletrificação em nuvens de tempestade. Descargas atmosféricas. Eletrodinâmica atmosférica

#### **Bibliografia:**

SALBY, M. L. Fundamentals of Atmospheric Physics. Academic Press, London, 1996. 627p.

FLEAGE, R. G. Introduction to Atmospheric Physics. Academic Press, New York, 1963. 346p.

JOHNSON, J. C. Physical Meteorology. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1963, 393p.

KIRCHHOFF, V. W. H. Introdução a Geofísica Espacial, Ed. Universidade de São Paulo, SP, 1991, 149p.

VAREJA-SILVA, M. A., Meteorologia e Climatologia.. INMET, Brasília, 2000, 532p.

VIANELLO, R. L.; RAINIER ALVES, A., Meteorologia Básica e Aplicações. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991, 449p.

BRASSEUR, G.; SOLOMON, S. Aeronomy of the Middle Atmosphere, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1986, 452p.

REES, M. H. Physics and Chemistry of the Upper atmosphere, Cambridge atmospheric and Space Science Series, 1989, 289p.

UMAN, M. The lightning discharge, Academic Press, 1997.

RAKOV, V. AND UMAN, M. Lightning: physics and effects, Cambridge, 2003.

**EMENTAS DAS DISCIPLINAS DO  
CURSO DE GEOFÍSICA ESPACIAL  
3º PERÍODO LETIVO**

**Mestrado: Deverão ser cursadas duas disciplinas dentre as disciplinas eletivas**

**EMENTAS DAS DISCIPLINAS DO  
CURSO DE GEOFÍSICA ESPACIAL  
ELETIVAS PARA O MESTRADO E DOUTORADO**

**GES-204-4 Física de Plasma I**

Conceitos fundamentais de plasma. Teoria orbital e invariantes adiabáticos. Teoria magnetohidro-dinâmica. Teoria cinética. Conceitos fundamentais de ondas e instabilidades em plasma.

**Bibliografia**

BAUMJOHANN, W. & R. TREUMANN Basic Space Plasma Physics, Contemporary Physics Volume 54, Issue 3, 2013

BELLAN, P. M. Fundamentals of Plasma Physics, Cambridge Univ. Press, 2006

BITTENCOURT, J.A. Fundamentals of Plasma Physics. Oxford, Pergamon, 1986.

BOYD, T.J.M. & J. J. SANDERSON The Physics of Plasmas, Cambridge Univ. Press, 2003

CALLEN, J.D. Fundamentals of Plasma Physics, University of Wisconsin, 2006

CHEN, F.F. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion. New York, Plenum, 1984. vol.1

GOEDBLOED, J. P. & S. POEDTS, Principles of Magnetohydrodynamics: With Applications to Laboratory and Astrophysical Plasmas, Cambridge University Press, 2004 – 613p

GOLDSTON, R. J. & P. H. RUTHERFORD, Introduction to plasma physics, IOP Publishing LTD, 1995

GURNETT, D. A. & A. BHATTACHARJEE Introduction to Plasma Physics: With Space and Laboratory Applications, Cambridge University Press, 2005

KIVELSON, M. G.; RUSSELL, C. T. Introduction to space physics. Cambridge, Cambridge University, 1995. 568p.

KRALL, N. & A.W.TRAVELPIECE Principles of Plasma Physics, McGraw-Hill, 1973, 674p

SCHUNK, R. & A. NAGY Ionospheres: Physics, Plasma Physics, and Chemistry, Cambridge University Press, 2009

PARKS, G.K. Physics of Space Plasmas: an Introduction. Redwood City, California, Addison-Wesley, 1991.

PIEL, A. Plasma Physics: An Introduction to Laboratory, Space, and Fusion Plasmas, Springer, Germany, 2010

PRIEST, E. Magneto hydrodynamics of the sun, Cambridge University Press, 2014

### **GES-307- 4 Aeronomia**

A atmosfera neutra: Estrutura térmica; Absorção de radiação solar; Equações primitivas; Ventos médios; Ondas atmosféricas; Difusão molecular e turbulenta; Elementos de cinética química; Composição e distribuição das espécies químicas; Aeroluminescência; Entrada de energia da magnetosfera.

A atmosfera ionizada: A formação da ionosfera (teoria da camada de Chapman); Processos fotoquímicos e de transporte (difusão ambipolar); Regiões ionosféricas D, E, F1 e F2; Exosfera; Aeroluminescência; Variações diurnas e noturnas; Fundamentos de geomagnetismo; Mobilidade e condutividade elétrica; Sistemas de correntes elétricas; Fenômenos em média e baixa latitudes (anomalias, tempestades e irregularidades); Fenômenos em altas latitudes (tempestades, polar cap, aurora); Princípios de rádio propagação.

### **Bibliografia**

GUY BRASSEUR; SUSAN SOLOMON. Aeronomy of the Middle Atmosphere, Kluwer Academic Publishers, 1987.

JOHN KEITH HARGREAVES. The Solar-Terrestrial Environment : An Introduction to Geospace - the Science of the Terrestrial Upper Atmosphere, Ionosphere and Magnetosphere, Cambridge University Press, 1995.

M. H. REES. Physics and Chemistry of the Upper Atmosphere, Cambridge University Press, 1989.

JOSEPH W. CHAMBERLAIN. Physics of the Aurora and Airglow, American Geophysical Union, 1995.

H. RISHBETH; O. K. GARRIOTT. Introduction to Ionospheric Physics, Academic Press Inc., 1969.

MICHAEL C. KELLEY. The Earth's Ionosphere: Plasma Physics and Electrodynamics, Academic Press Inc., 1989.

EARL E GOSSARD; WILLIAM H. HOOKE. Waves in the atmosphere: Atmospheric infrasound and gravity waves - their generation and propagation, Elsevier Scientific Pub. Co., 1975.

## **GES-301-4 Geomagnetismo**

Introdução e história. Origem do campo geomagnético principal. Variação secular. Noções sobre paleomagnetismo. Variação Sq e L. Correntes ionosféricas. Variações geomagnéticas em baixas, médias e altas latitudes. Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Índices de atividade magnética. Representação do campo geomagnético em harmônicos esféricos. Magnetosfera e vento solar. Tempestades magnéticas. Variações rápidas do campo geomagnético. Pulsações geomagnéticas. Coordenadas B-L. Cinturões de radiação de Van Allen. Invariantes adiabáticos. Radiação eletromagnética terrestre (VLF, "Whistlers" etc.). Radiação eletromagnética terrestre. Correntes induzidas (*eddy currents*), condutividade.

### **Bibliografia**

AKASOFU, S.; CHAPMAN, S. Solar Terrestrial Physics. Oxford, Oxford University Press, 1972.

CHAPMAN, S.; BARTELS, J. Geomagnetism. Oxford, Clarendon Press, vols. 1–2, 1962.

JACOBS, J.A. (ed.) Geomagnetism. London, Academic Press, vols. 1–4, 1987–1991.

MERRIL, R.T.; MCELHINNY, M.W. The Earth's Magnetic Field: Its History, Origin and Planetary Perspective. London, Academic Press, 1983.

PARKINSON, W.D. Introduction to Geomagnetism. Edinburgh, Scottish Academic Press, 1983.

## **GES-302-4 Indução Eletromagnética Terrestre**

Métodos eletromagnéticos (EM): visão geral. Resistividade elétrica de rochas e minerais. Teoria da propagação de campos EM na Terra. Método magnetotelúrico (MT). Teoria MT para uma Terra unidimensional. Teoria MT para uma Terra bidimensional. Técnicas de campo. Origem dos sinais. Análise de séries temporais. Processamento e modelagem. Aplicações geofísicas.

### **Bibliografia**

BERDICHEVSKY M.N.; DMITRIEV, V.I. Models and Methods of Magnetotellurics. Berlin, Springer, 2008.

CHAVE, A.D.; JONES, A.J. (EDS.) The Magnetotelluric Method: Theory and Practice. Cambridge, 2012.

SIMPSON, F.; BAHR, K. Practical Magnetotellurics. Cambridge, 2005.

## **GES-303-4 Luminescência Atmosférica**

Conceitos básicos sobre o fenômeno de luminescência atmosférica. Sua história e primeiras observações. As emissões atmosféricas em geral. Os mecanismos de excitação e perda de energia nos processos fotoquímicos envolvidos na luminescência. Variações noturnas e sazonais. Variações espaciais e as propagações de ondas de gravidade. Temperaturas e ventos calculados pelos espectros da luminescência. Instrumentação: fotômetros e espectrômetros. Tópicos atuais.

## **Bibliografia**

ROACH, F.E. The Light of the Night Sky. D. Reidel, 1973.

CHAMBERLAIN, J.W. Physics of the Aurora and Airglow. New York, Academic, 1961.

McCORMAC, B.M. Aurora and Airglow. Londres, Reinhold, 1967.

REES, M.H. Physics and Chemistry of the Upper Atmosphere. Cambridge University Press, 1989.

## **GES-304-4 Física de Plasma II**

Pré-requisito: GES-204-4

Ondas MHD. Ondas em plasmas mornos. Ondas em plasmas quentes. Interações entre partículas carregadas. Equilíbrio e estabilidade. Amortecimento de Landau. Equações de Boltzmann e de Fokker-Planck. Fenômenos de transporte em plasmas.

## **Bibliografia**

BITTENCOURT, J.A. Fundamentals of Plasma Physics. Oxford, Pergamon Press, 1986.

KRALL, N.A.; TRIVELPIECE, A.W. Principles of Plasma Physics. New York, McGraw-Hill, 1973.

SCHMIDT, G. Physics of High Temperature Plasmas. New York, Academic, 1979.

## **GES-306-4 Análise de Sinais Aleatórios**

Pré-requisito: GES-208-3

Dados determinísticos e aleatórios. Introdução a séries temporais. Análise de Fourier. Transformada de Fourier. Sistemas lineares e convolução. Filtros digitais. Processos estocásticos. Funções de auto-covariância e auto-correlação. Introdução à análise espectral. Noções sobre processamento de sinais por Ondeletas

## **Bibliografia**

BENDAT, J. S. AND A. G. PIERSOL. Random Data: Analysis and measurement Procedures, Wiley-Interscience, New York, 1971.

DAUBECHIES, I., TEN. Lectures on Wavelets, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 1992.

JENKINS, G. M. AND D. G. WATTS. Spectral Analysis and its applications, Holden-Day, San Francisco, 1968.

KING, R., Digital Filtering in One and Two Dimensions: Design and Applications, Plenum Publishing Corporation, 1989.

MALLAT, S. A Wavelet tour of Signal Processing, Academic Press, San Diego, 1998.

### **GES-313- 4 Química da Atmosfera**

Introdução: atmosfera, oceano, terra sólida. Descrição geral da atmosfera; camadas, regiões, extensões. Radiação solar: espectro, características de emissão do sol e absorção na Terra, efeito estufa. Química da atmosfera: processos de produção e perda; constituintes minoritários; diferenças na alta e baixa atmosfera. Ciclos de constituintes majoritários: O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>. Ciclos de constituintes minoritários. Óxidos de N, H e S. Fotoquímica do ozônio: estratosfera e troposfera: ação de nitrogenados e hidrogenados. Efeitos poluentes e sua ação sobre o ozônio.

#### **Bibliografia**

KIRCHHOFF, V.W.J.H. Química da atmosfera. São José dos Campos, INPE, 1984. (INPE-3190-PRE/554).

### **GES-314-4 Eletricidade Atmosférica**

Introdução: propriedades elétricas da atmosfera, campo elétrico de bom tempo, campo elétrico orográfico, íons atmosféricos e condutividade. Física de nuvens: classificação das nuvens, desenvolvimento de uma célula de tempestade, campos elétricos e cargas em nuvens de tempestade, identificação e classificação de nuvens em fotografias de satélites meteorológicos. Eletrificação de tempestades: separação de cargas em nuvens em escala molecular, separação de cargas em micro-escala, separação de cargas devido a força gravitacional. Relâmpagos: fenomenologia do relâmpago, mudanças do campo e neutralização das cargas por relâmpagos, pulsos elétricos produzidos por relâmpagos, consequências dos relâmpagos na Ionosfera e Magnetosfera. Circuito Elétrico Atmosférico Global. Campos Elétricos Atmosféricos.

#### **Bibliografia**

PIRIBARNE, J.V.; CHO, H.R. Atmospheric Physics. Dordrecht, Reidel, 1980.

MAGONO, C. Thunderstorms. Amsterdam, Elsevier, 1980. (Development in Atmospheric Science, 12).

The Earth's Electrical Environment Studies in Geophysics. Washington, DC, National Academic Press, 1986.

UMAN, M.A. All about Lightning. New York, Dover 1986.

### **GES-315-4 Eletrodinâmica Atmosférica**

Ondas eletromagnéticas. Equações de Maxwell. Geração e propagação de ondas na atmosfera. Componentes eletrostática, de indução e de radiação. Guia de ondas. Campos elétricos e magnéticos de grande escala na atmosfera. Mapeamento de campos. Campos eletromagnéticos gerados por relâmpagos. Modelos de correntes para descargas. Estrutura eletrodinâmica da atmosfera.

#### **Bibliografia**

JACKSON, J.D. Classical Electrodynamics. New York, Wiley, 1975.

VOLLAND, H. Atmospheric Electrodynamics. New York, Springer, 1984.

### **GES-316-4 Simulação Numérica de Fenômenos de Plasmas Espaciais**

Introdução a elementos de diferenças finitas. Métodos Euler. Métodos de "leapfrog". Esquema de LAX-Wendroff. Métodos de Runge-Kutta e implícito. Simulação por partículas: uma introdução. Grades espaciais. Função peso. Simulação MHD: uma introdução. Modelos Híbridos.

#### **Bibliografia**

BIRDSALL, C.K. and LANGDON, A.B. Plasma Physics via Computer Simulation. MacGraw-Hill, 1985.

DAWSON, J.M. Particles Simulations of Plasmas. Rev. Mod. Phys, 55:403-447, April, 1983.

MATSUMOTO, H. and OMURA, Y. Computer Space Plasma Physics, Simulation Techniques and Software, Terra Scientific Pub. Co., Tokio, 1993.

POTTER, D. Computational Physics. John Wiley & Sons., 1973.

### **GES-401-4 Física da Ionosfera**

Pré-requisito: GES-205-4

Formação da Ionosfera. Processos Ionosféricos. Processos Químicos: reações químicas mais importantes nas regiões E, F1 e F2; reações químicas da região D, íons negativos e íons aglomerados. Processos Físicos: processos de transporte, difusão e eletrodinâmica da ionosfera. Fenômenos ionosféricos: irregularidades, "spread-F", cintilação, TID's, E esporádica, efeitos de tempestades magnéticas na ionosfera.

#### **Bibliografia**

AKASOFU, S.; CHAPMAN, S. Solar Terrestrial Physics. Oxford, Oxford Univ. Press, 1972.

BANKS, P.M.; KOCKARTS, G. Aeronomy. New York, Academic, 1973. Parts A/B.

BRASSEUR, G., SOLOMON, S. Aeronomy of the Middle Atmosphere. Dordrecht, Reidel, 1984.

KELLEY, M.C. The Earth's Ionosphere: Plasma Physics and Electrodynamics. San Diego, Academic, 1989.

RISHBETH, H.; GARRIOTT, O.K. Introduction to Ionospheric Physics. New York, Academic, 1969.

### **GES-402-4 Dinâmica da Alta Atmosfera**

Pré-requisito: GES-200-4

Noções de Mecânica dos Fluidos. Descrição Lagrangeana e Euleriana do escoamento. Equações da continuidade, do movimento e da Energia aplicadas à atmosfera. Equações básicas. Frequência de Brunt-Vaissala. A estabilidade da atmosfera. Aproximações nas equações básicas: modelo quase-geostrófico, equações no plano  $\beta$ , modelo Euleriano médio, perturbações linearizadas. Ondas de Gravidade-Acústicas: desenvolvimento matemático, efeitos dissipativos, TID's, interação de Ondas de Gravidade com a Ionosfera, observações. Marés atmosféricas: Teoria Clássica, observações e progressos recentes. Ondas Planetárias. Eletrodinâmica da Alta Atmosfera. Efeitos de cisalhamento. Teoria do Dínamo. Dinâmica Termosférica.

### **Bibliografia**

ANDREWS, D.G.; HOLTON, J.R.; LEOVY, C.B. Middle Atmosphere Dynamics. New York Academic Press, 1987.

BEER, T. Atmospheric Waves. Adam Hilger, 1975.

CHAPMAN, S.; LINDZEN, R. Atmospheric Tides. Gordon and Breach, 1970.

KATO, S. Dynamics of the Upper Atmosphere. Dordrech, D.Reidel, 1980.

### **GES-403-4 Física da Plasmasfera e Cinturões de Radiação**

Pré-requisito: GES-202-4

Movimento de partículas carregadas no campo geomagnético, teoria do centro de guia. Invariantes adiabáticos. Dinâmica da plasmasfera. Fontes e perdas. Corrente de anel: geração, decaimento, estrutura e composição. Relação com o meio interplanetário. Cinturões de elétrons e prótons. Estrutura. Processos de difusão. Ondas, interação onda-partícula e onda-onda. Constituintes minoritários. Precipitação de partículas. Produção de raios-X e ionização. Região auroral e anomalia magnética do Atlântico Sul.

### **Bibliografia**

LYONS, L.R.; WILLIAMS, D.J. Quantitative Aspects of Magnetospheric Physics. Reidel, 1984.

NORTHROP, T.G. The Adiabatic Motion of Charged Particles. New York, Wiley, 1963.

ROEDERER, J.G. Dynamics of Geomagnetically Trapped Radiation. Berlin, Springer, 1970.

SCHULZ, M.; LANZEROTTI, L.J. Particle Diffusion in the Radiation Belts. Berlin, Springer, 1974

### **GES-404-4 Processos Não-Lineares de Plasma**

Pré-requisito: GES-204-4

Oscilações de Langmuir não-lineares. Sólitons e ondas de choque acústico-iônicas. Camadas duplas. Ondas eletromagnéticas não-lineares. Força ponderomotriz. Interações onda-onda não-lineares. Instabilidades paramétricas. Sólitons envoltórios e cávitons. Turbulência.

### **Bibliografia**

DAVIDSON, R. C. Methods in Nonlinear Plasma Theory. New York, Academic, 1972.



HASEGAWA, A. Plasma Instabilities and Nonlinear Effects. Berlin, Springer, 1975.

SAGDEEV, R. Z. and GALEEV, A. A. Nonlinear Plasma Theory. New York, Benjamin, 1969.

### **GES-405- 4 Física da Magnetosfera Externa**

Pré-requisito: GES-204-4

Interação do vento solar com o campo geomagnético. Magnetosfera aberta e fechada. Tempestades e sub-tempestades geomagnéticas. Onda de choque. Magnetopausa. Camada magnética. Cauda do campo geomagnético. Camada neutra e camada de plasma. Acoplamento Sol-meio interplanetário-magnetosfera. Magnetosferas planetárias.

#### **Bibliografia**

KAMIDE, Y.; SLAVIN, J.A. Solar Wind-Magnetosphere Coupling. Dordrech, Reidel, 1986.

KENNEL, C.; LANZEROTTI, L.J.; PARKER, E.N. Solar System Plasma Physics. North Holland, 1979.

LEMAIRE, J.; RYCROFT, M.J., ed. Solar System Plasmas and Fields. Advances in Space Research, 2(1): 01-87, 1982.

NISHIDA, A. Geomagnetic Diagnosis of the Magnetosphere. New York, Springer, 1978.

PARKS, G.K. Physics of Space Plasmas: an Introduction. Redwood City, California, Addison-Wesley, 1991.

### **GES-409-4 Tópicos Especiais em Alta Atmosfera**

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

#### **Bibliografia**

Artigos de Revistas Especializadas.

### **GES-410-4 Tópicos Especiais em Eletricidade Atmosférica**

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

#### **Bibliografia**

Artigos de Revistas Especializadas.

### **GES-411-4 Tópicos Especiais em Geomagnetismo**

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

#### **Bibliografia**

Artigos de Revistas Especializadas.

#### **GES-412-4 Tópicos Especiais em Ionosfera**

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

##### **Bibliografia**

Artigos de Revistas Especializadas.

#### **GES-413-4 Tópicos Especiais em Luminescência Atmosférica**

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

##### **Bibliografia**

Artigos de Revistas Especializadas.

#### **GES-414-4 Tópicos Especiais em Magnetosfera-Heliosfera**

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

##### **Bibliografia**

Artigos de Revistas Especializadas.

#### **GES-415-4 Tópicos Especiais em Média e Baixa Atmosfera**

Abordam-se tópicos avançados em Média e Baixa Atmosfera. Conteúdo variado, de acordo com o interesse do momento.

##### **Bibliografia**

Artigos de Revistas Especializadas.

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

#### **GES-730 Pesquisa de Mestrado em Geofísica Espacial\***

0 crédito

#### **GES-750 Dissertação de Mestrado em Geofísica Espacial**

12 créditos

#### **GES-780 Pesquisa de Doutorado em Geofísica Espacial\***

0 crédito

**GES-800 Tese de Doutorado em Geofísica Espacial**

36 créditos

\*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.

Catálogo aprovado pelo CPG em 16/11/2017.