



Introdução à Assimilação de Dados (MET 563-3)

Apresentação da Disciplina

Dr. Carlos Frederico Bastarz
Dr. Dirceu Luis Herdies

Programa de Pós-Graduação em Meteorologia
(PGMET) do INPE

22 de Setembro de 2025



Sumário

1. Finalidade
2. Instrutores
3. Pré-requisitos
4. Assuntos Abordados
5. Bibliografia Recomendada
6. Forma de avaliação
7. Grupo de Assimilação de Dados
8. Dúvidas





Finalidade

Objetivos

- Fornecer aos alunos uma visão geral sobre o que é a assimilação de dados, quais são os seus métodos principais e quais as técnicas utilizadas para a sua aplicação
 - Experimentar os esquemas principais de assimilação de dados por meio de **toy models** em ambiente controlado

Escopo

- Assimilação de Dados Atmosféricos
 - As mesmas técnicas podem ser pensadas para aplicações em outros fluídos, levando-se em consideração as peculiaridades e as especificidades de outros modelos

Instrutores

Dr. Carlos Frederico Bastarz

- Graduação em Licenciatura em Matemática (UNESP, 2005)
- Mestrado e Doutorado em Meteorologia (INPE, 2010 e 2017)
- *Assimilação de Dados Variacional e por Conjunto*



Dr. Dirceu Luis Herdies

- Graduação em Física (UFSM, 1983)
- Mestrado em Meteorologia (INPE, 1991)
- Doutorado em Meteorologia (USP, 2002)
- *Assimilação de Dados regional*



Pré-requisitos

Parte teórica

- Meteorologia Dinâmica I (MET 225-3)
- Métodos Matemáticos em Meteorologia (MET 560-3)
- Modelagem Numérica da Atmosfera (MET 576-4)

Parte prática

- Bash
- Fortran
- Python
- Containers

 Desejável



Assuntos Abordados

- 1. Motivação
- 2. O Sistema Global de Observações Meteorológicas
- 3. Métodos Clássicos (Esquemas de Interpolação Estatística)
- 4. Método Variacional
- 5. Métodos Baseados em Conjuntos (EnKF et al.)
- 6. Métodos Híbridos (Ensemble-Variacional)
- 7. Frameworks de Assimilação de Dados
- 8. Assimilação de Dados Regional
- 9. Impacto e Experimentos de Sistemas Observacionais
- 10. Assimilação de Dados de Superfície
- 11. Reanálises

♦ São 11 assuntos, incluindo as aulas práticas (sujeito a alterações e ajustes)

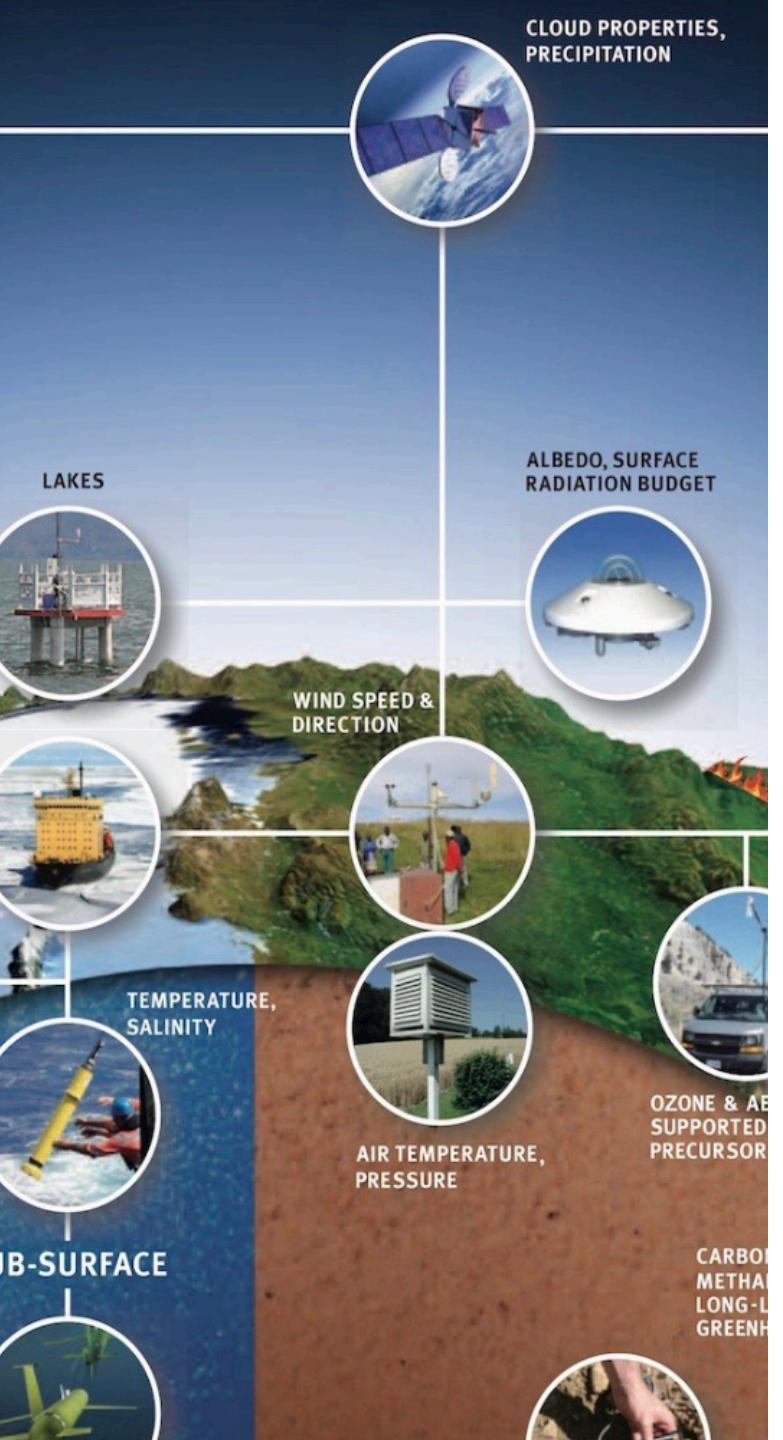


Assuntos Abordados

1. Motivação

- Por que a assimilação de dados fornece uma estimativa ótima?
- Histórico da Assimilação de Dados
 - Revisão do histórico da assimilação de dados e das motivações para o seu desenvolvimento, passando pelos métodos tradicionais/clássicos até o estabelecimento dos métodos operacionais para modelos massivamente paralelos





Assuntos Abordados

2. O Sistema Global de Observações Meteorológicas

- O que é o Sistema Global de Observações Meteorológicas
- Os diferentes tipos de observações (*in situ*, por sensoriamento remoto e plataformas oceânicas)
- O fluxo de dados operacional no CPTEC para a Assimilação de Dados
- Controle de Qualidade das Observações

Assuntos Abordados

3. Métodos Clássicos (Esquemas de Interpolação Estatística)

- Revisão dos métodos clássicos de assimilação de dados baseados em interpolação estatística
 - Análise de Cressman
 - Interpolação Ótima





Assuntos Abordados

4. Método Variacional

- Revisão de Álgebra Linear (Operações com Matrizes)
- Introdução do método 3DVar
 - Histórico e desenvolvimento
 - Características principais
 - PSAS *
 - FGAT *
- Componentes
 - Método de minimização da função custo do 3DVar
 - Matriz de Covariâncias dos Erros de Previsão
 - Modelo de Transferência Radiativa
 - Controle de Qualidade
- Visão geral sobre o método 4DVar
- Atividades realizadas no CPTEC com o método 3DVar

* PSAS: *Physical-space Statistical Analysis System*

* FGAT: *First Guess at Appropriate Time*





Assuntos Abordados

5. Métodos Baseados em Conjuntos (EnKF et al.)

- Introdução ao método EnKF ▶
- Histórico e desenvolvimento
- Características principais
- Inflation e Localization
- Visão geral sobre os esquemas derivados
- Atividades realizadas no CPTEC com o método LETKF ▶

▪ EnKF: *Ensemble Kalman Filter*

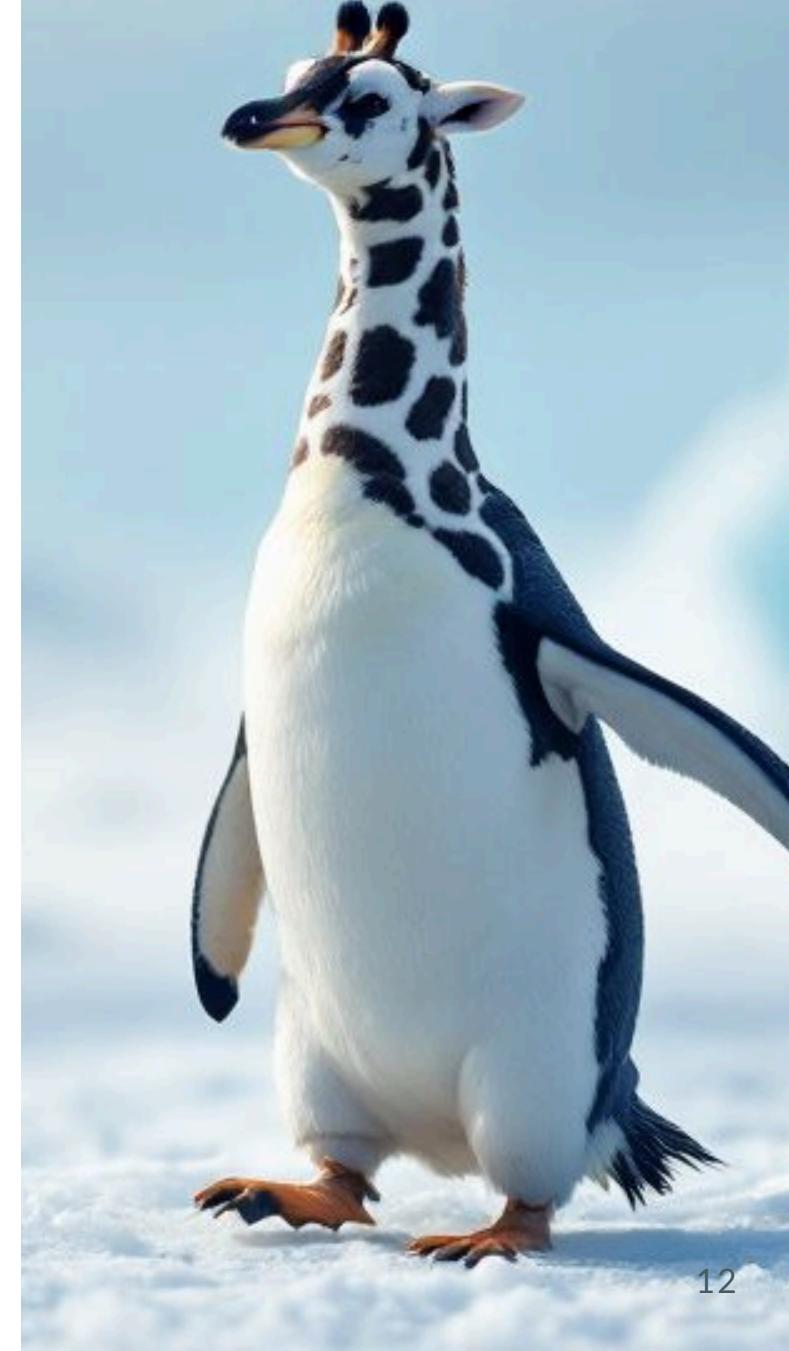
▪ LETKF: *Local Ensemble Transform Kalman Filter*



Assuntos Abordados

6. Métodos Híbridos (Ensemble-Variacional)

- Introdução ao método híbrido ensemble-variacional 3DEnVar
- Histórico e desenvolvimento
- Características principais
- Atividades realizadas no CPTEC com o método ensemble-variacional 3DEnVar





Assuntos Abordados

7. Frameworks de Assimilação de Dados

- Apresentação dos principais frameworks abertos para a assimilação de dados operacional: GSI e JEDI
- Paradigmas de desenvolvimento do JEDI
- Atividades realizadas no CPTEC com o GSI e JEDI



Assuntos Abordados

8. Assimilação de Dados Regional

- Apresentação sobre as particularidades de um sistema de assimilação de dados regional
- Assimilação de Dados de Radar
- Desenvolvimentos realizados no CPTEC





Assuntos Abordados

9. Impacto e Experimentos de Sistemas Observacionais

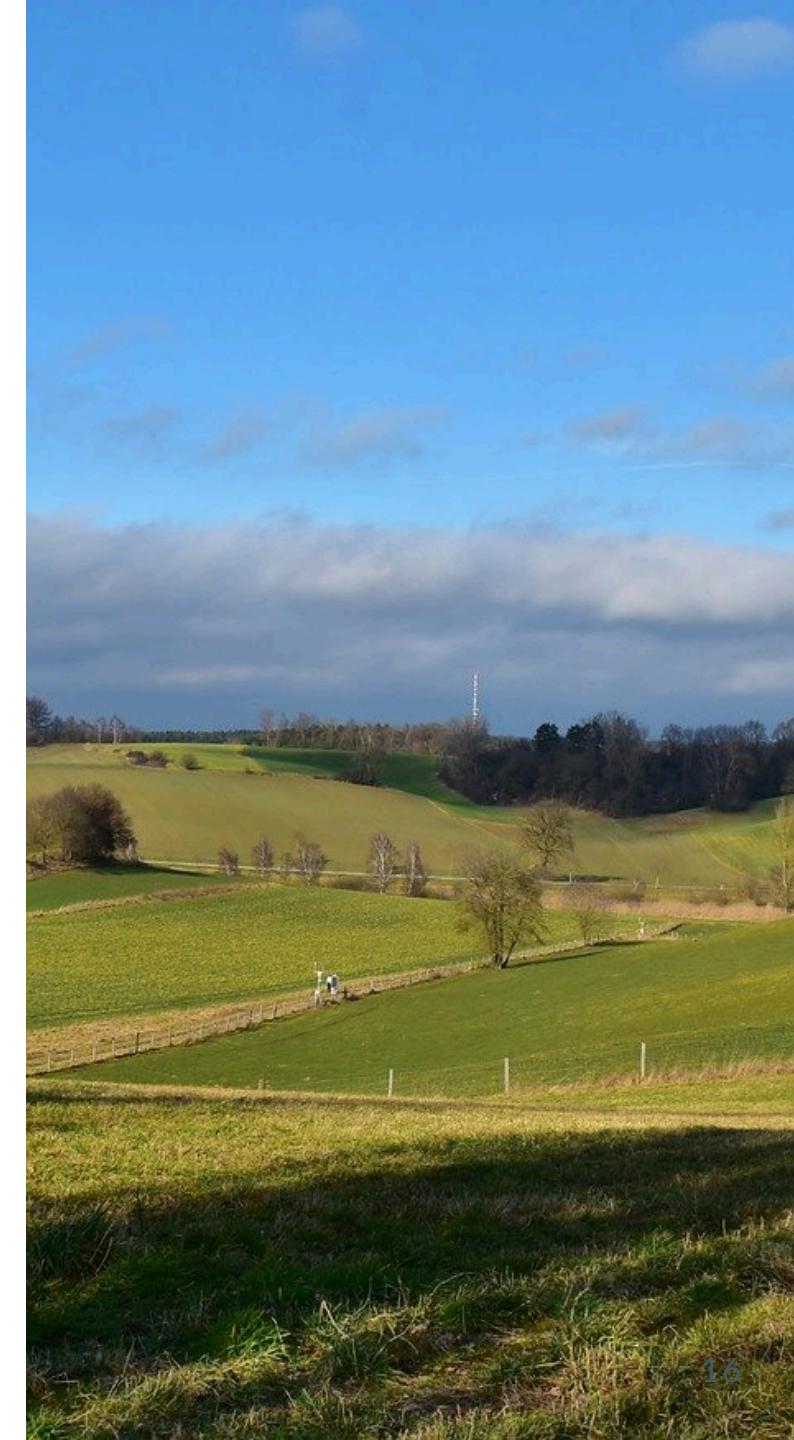
- Visão geral sobre a metodologia e a ferramenta para o estudo de impacto das observações empregada no sistema de assimilação de dados do CPTEC
- Impacto da Assimilação das Observações
- Observing System Experiment (OSE) e Observing System Simulation Experiment (OSSE)



Assuntos Abordados

10. Assimilação de Dados de Superfície

- Apresentação sobre a assimilação de dados de superfície, seus impactos e desafios
- Desenvolvimentos realizados no CPTEC



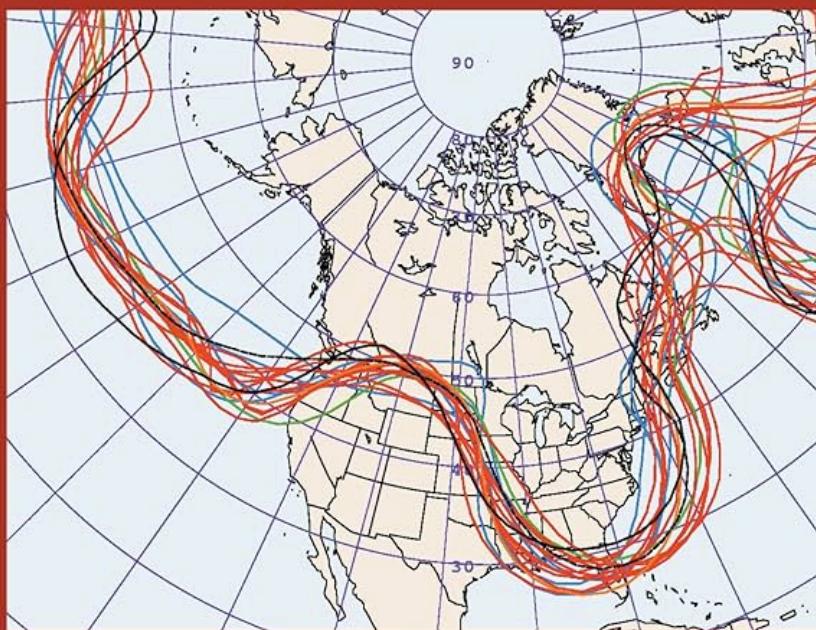


Assuntos Abordados

11. Reanálises

- O que é reanálise
- Reanálise como ferramenta de validação de modelos numéricos
- Desenvolvimentos realizados no CPTEC com reanálise regional

Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability



CAMBRIDGE



Bibliografia Recomendada

Livros

Kalnay, E. (2002). Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability. Cambridge: Cambridge University Press.

- <https://www.cambridge.org/highereducation/books/atmospheric-modeling-data-assimilation-and-predictability/C5FD207439132836E85027754CE9BC1A#overview>

Atmospheric Data Analysis

Roger Daley

CAMBRIDGE ATMOSPHERIC AND
SPACE SCIENCE SERIES



Bibliografia Recomendada

Livros

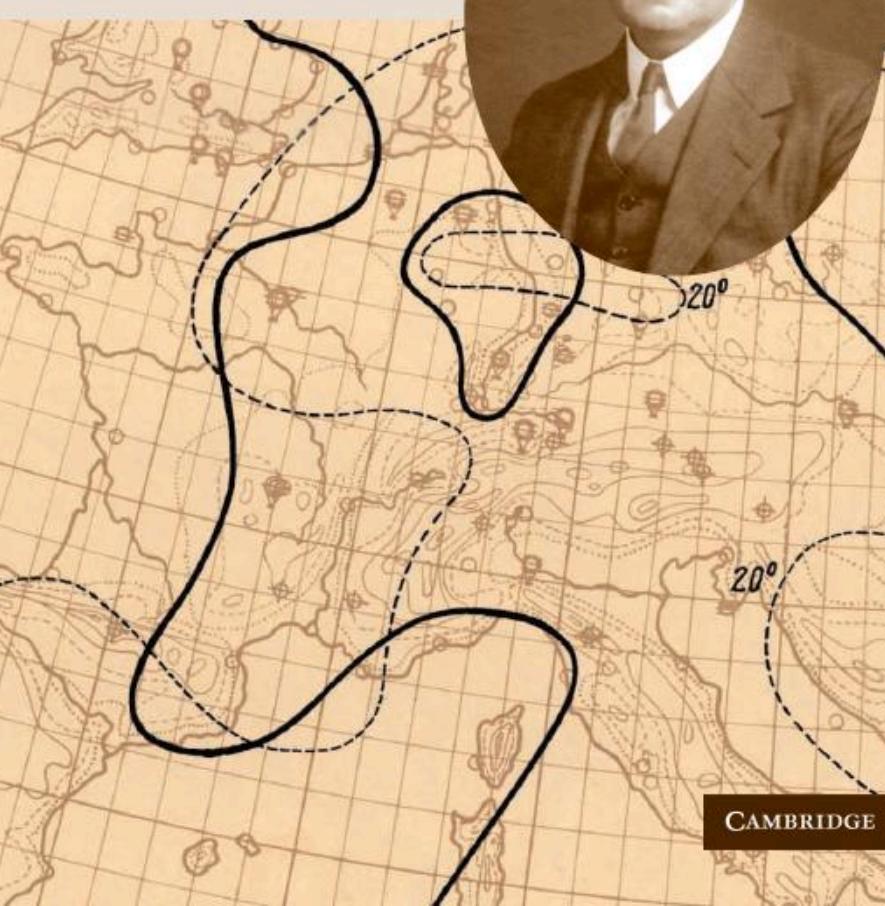
Daley, R. (1991). Atmospheric Data Analysis. Cambridge Atmospheric and Space Science Series, Cambridge University Press.

- <https://www.cambridge.org/pm/universitypress/subjects/earth-and-environmental-science/atmospheric-science-and-meteorology/atmospheric-data-analysis>

The Emergence of Numerical Weather Prediction

Richardson's Dream

PETER LYNCH



Bibliografia Recomendada

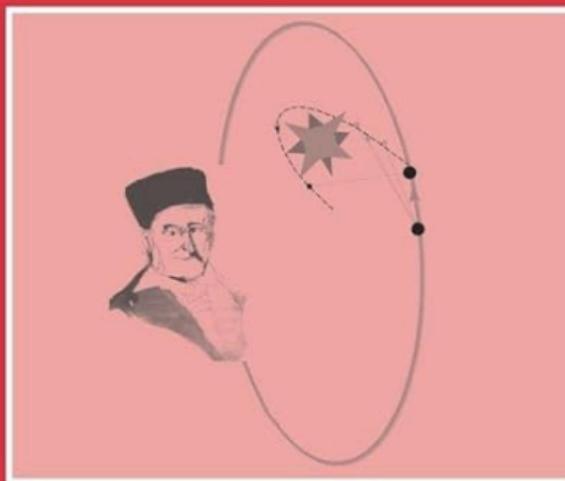
Livros

Lynch, P. (2006). *The Emergence of Numerical Weather Prediction: Richardson's Dream*, Cambridge University Press.

- <https://maths.ucd.ie/~plynch/Dream/Dream.html>

DYNAMIC DATA ASSIMILATION: A LEAST SQUARES APPROACH

JOHN M. LEWIS, S. LAKSHMIVARAHAN,
AND S. K. DHALL



CAMBRIDGE



Bibliografia Recomendada

Livros

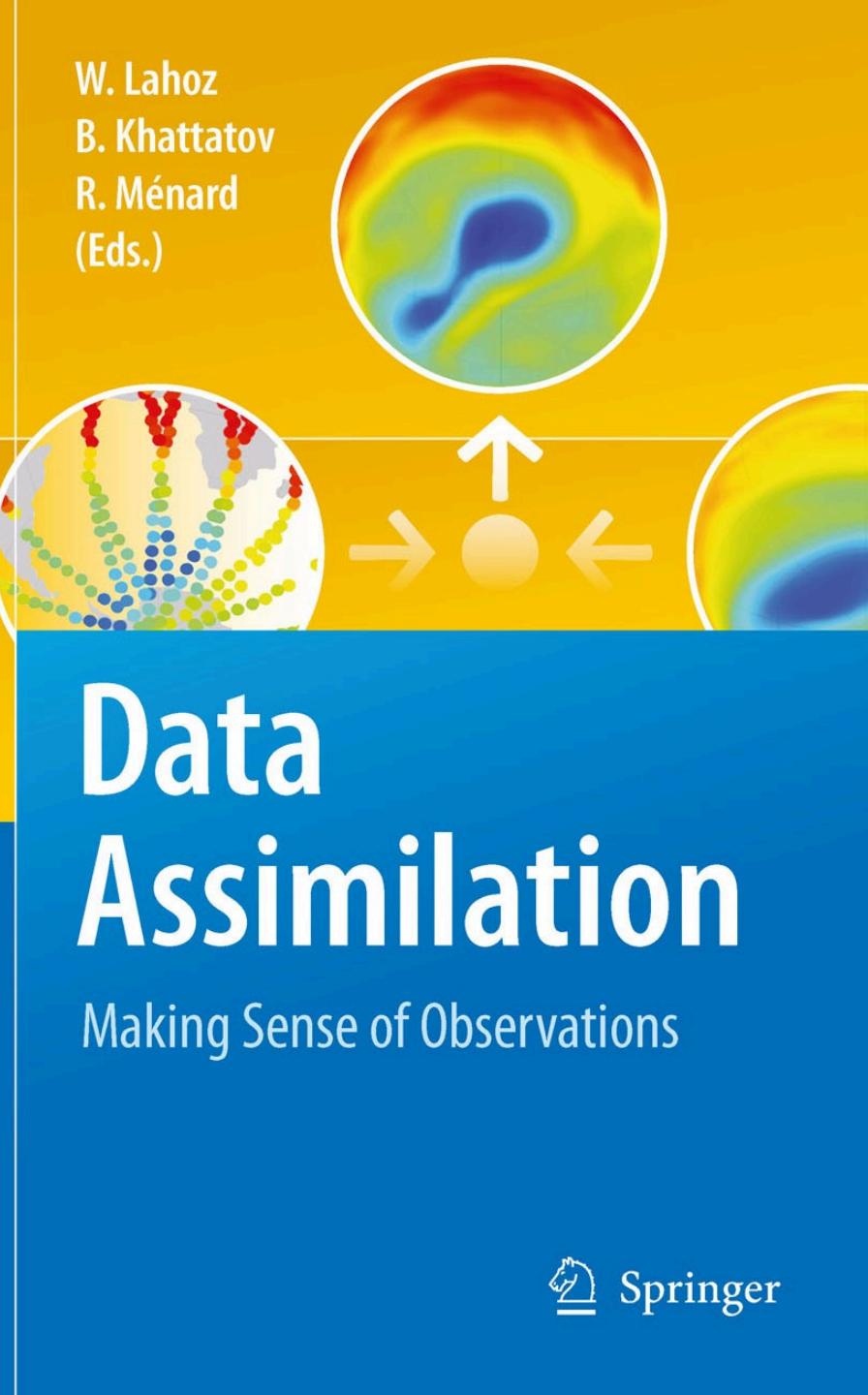
Lewis, J. M., Lakshmivarahan S., Dhall S. (2006). Dynamic Data Assimilation: A Least Squares Approach. Cambridge University Press.

- <https://www.cambridge.org/core/books/dynamic-data-assimilation/91BD4736A2CD99B575002A89518DB63C>

W. Lahoz
B. Khattatov
R. Ménard
(Eds.)

Data Assimilation

Making Sense of Observations



Bibliografia Recomendada

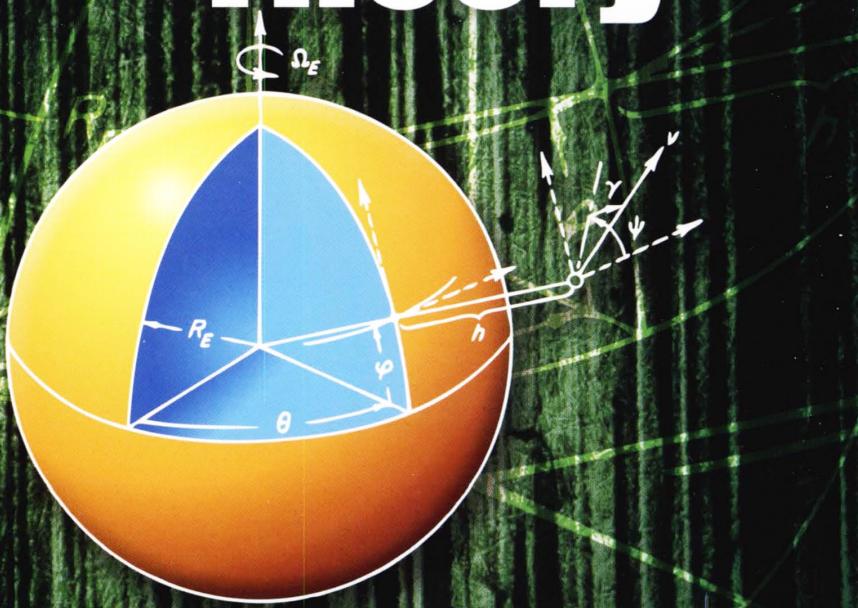
Livros

Lahoz, W., Khattatov, B., and Ménard, R. (2010). Data Assimilation: Making Sense of Observations. Springer-Verlag, Heidelberg.

- <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-74703-1>

ANDREW H. JAZWINSKI

Stochastic Processes AND Filtering Theory



Bibliografia Recomendada

Livros

A. Jazwinski (1970). Stochastic Processes and Filtering Theory. Mathematics in Science and Engineering, Vol. 64, Academic Press.

- https://store.doverpublications.com/products/9780486462745?srsltid=AfmBOopDWzg5wKhLva9kk5dmEhQW0tH-aYP-jKL9_468Aj7UP8gNzEj



Forma de avaliação

Trabalhos práticos com relatórios ♦

- Experimentos com **toy models** e os sistemas de assimilação de dados com a produção de relatórios
 - Uso de containers Apptainer e Docker e notebooks do Jupyter

Apresentação de artigos para discussão em sala de aula ♦

- Cada aluno fará uma apresentação (explicação de um artigo em assimilação de dados)
 - Alunos podem escolher um artigo em assimilação de dados relacionado com a sua dissertação/tese

Interação durante as aulas

- Dúvidas, perguntas e respostas

[♦] Individual

Grupo de Assimilação de Dados

Atividades de Pesquisa e Desenvolvimento

- Desenvolvimento em assimilação de dados e técnicas de previsão por conjuntos para os modelos do CPTEC:
 - *Brazilian Atmospheric Model (BAM/GSI)* ^{*}
 - *Model for Ocean-LaNd-Atmosphere PredictionN (MONAN/JEDI)* ^{*}
- Pesquisas relacionadas com a assimilação de dados GNSS *Radio Occultation*, Radar e Radiâncias Hiperespectrais
- Desenvolvimento de software para o suporte às atividades de pesquisa
- Mais informações em  <https://github.com/GAD-DIMNT-CPTEC>

* GSI: *Gridpoint Statistical Interpolation*

* JEDI: *Joint Effort for Data Assimilation Integration*

Grupo de Assimilação de Dados

Dr. João Gerd Zell de Mattos

- Graduação em Meteorologia (UFPel, 2003)
- Mestrado e Doutorado em Meteorologia (INPE, 2006 e 2016)
- *Assimilação de Dados de Superfície*



Dr. Luiz Fernando Sapucci

- Graduação em Licenciatura em Matemática (UNESP, 1998)
- Mestrado e Doutorado em Ciências Cartográficas (UNESP, 2001 e 2005)
- *Assimilação de dados GNSS-RO*



 Coordenador do GAD

Grupo de Assimilação de Dados

Dr. Éder Paulo Vendrasco

- Graduação em Meteorologia (USP, 2003)
- Mestrado em Meteorologia (USP, 2006)
- Doutorado em Meteorologia (INPE, 2015)
- *Assimilação de Dados de Radar*



Dr. Sérgio Henrique Ferreira Soares

- Graduação em Física (UNITAU, 1984)
- Mestrado e Doutorado em Meteorologia (INPE, 2003 e 2013)
- *Observações Meteorológicas e Controle de Qualidade*



Grupo de Assimilação de Dados

Dra. Helena Barbieri de Azevedo

- Graduação em Meteorologia (UFPel, 2010)
- Mestrado e Doutorado em Meteorologia (INPE, 2014 e 2018)
- *Assimilação de Dados de Radiâncias*



Dra. Liviany Pereira Viana

- Graduação em Meteorologia (UEA, 2012)
- Mestrado e Doutorado em Meteorologia (INPE, 2015 e 2021)
- *Impacto das Observações na Assimilação de Dados*





Dúvidas

- 🔗 <https://cfbastianz.github.io/met563-3/>
- 🐙 <https://github.com/cfbastarz/MET563-3>
- ✉️ carlos.bastarz@inpe.br

