



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ARQUITETURA DE BIG DATA PARA REPRESENTAÇÃO DE TELEMETRIAS DE SATÉLITES

Yuri Matheus Dias Pereira
Mauricio Vieira Ferreira Gonçalves
Rodrigo Rocha Silva

Relatório Técnico resultado do
Exame de Qualificação do Curso
de Pós-Graduação em Engenharia
e Gerenciamento de Sistemas Es-
paciais.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/>](http://urlib.net/)

INPE
São José dos Campos
2019

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6923/6921

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
(CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ARQUITETURA DE BIG DATA PARA REPRESENTAÇÃO DE TELEMETRIAS DE SATÉLITES

Yuri Matheus Dias Pereira
Mauricio Vieira Ferreira Gonçalves
Rodrigo Rocha Silva

Relatório Técnico resultado do
Exame de Qualificação do Curso
de Pós-Graduação em Engenharia
e Gerenciamento de Sistemas Es-
paciais.

URL do documento original:

[<http://urlib.net/>](http://urlib.net/)

INPE
São José dos Campos
2019



Esta obra foi licenciada sob uma [Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](#).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](#).

Informar aqui sobre marca registrada (a modificação desta linha deve ser feita no arquivo publicacao.tex).

RESUMO

Satélites são monitorados pelas equipes de solo via pacotes de telemetria, que informam o estado atual dos equipamentos e permitem avaliar a capacidade do satélite de continuar a sua missão. Esses pacotes de telemetria constituem um corpo de dados de tamanho e complexidade significativa, sendo que satélites que funcionam por vários anos geram dados históricos de grande volume, ainda úteis para a operação. Neste artigo apresentamos uma arquitetura baseada em conceitos de Big Data e Business Intelligence para criar uma representação de dados de telemetria pronta para a análise por operadores e engenheiros de satélite no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), bem como apresentamos o fluxo de dados utilizado pelos dados históricos de telemetria de um dos satélites operados pelo INPE.

Palavras-chave: Turbulência atmosférica. Campanha WETAMC. Projeto LBA. Comportamento caótico. Atrator caótico.

Revisão No. 0.1

BIG DATA ARCHITECTURE FOR THE REPRESENTATION OF SATELLITE TELEMETRY

ABSTRACT

Abstract

Keywords: Atmospheric turbulence. WETAMC campaign. LBA project. Chaotic behavior. Chaotic attractor.

Revisão No. 0.1

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Revisão No. 0.1

Revisão No. 0.1

LISTA DE TABELAS

Pág.

Revisão No. 0.1

Revisão No. 0.1

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

WETAMC	–	Campanha de Mesoescala Atmosférica na Estação Úmida
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MC	–	Método das Covariâncias
EDO	–	Equações Diferenciais Ordinárias
EDP	–	Equações Diferenciais Parciais
ECT	–	Energia Cinética Turbulenta
FDP	–	Função de Distribuição de Probabilidade
PR	–	Plot de Recorrência
FFT	–	Fast Fourier Transform
tS1200	–	Temperatura medida no nível superior às 12 horas
tS2300	–	Temperatura medida no nível superior às 23 horas
tM1200	–	Temperatura medida no nível médio às 12 horas
tM2300	–	Temperatura medida no nível médio às 23 horas
tI1200	–	Temperatura medida no nível inferior às 12 horas
tI2300	–	Temperatura medida no nível inferior às 23 horas
wS1200	–	Velocidade vertical do vento medida no nível superior às 12 horas

Revisão No. 0.1

LISTA DE SÍMBOLOS

a	–	primeira contante
b	–	segunda constante
ρ	–	densidade de um fluido
ν	–	viscosidade cinemática
R_e	–	número de Reynolds
α	–	constante de Kolmogorov
k	–	número de onda
K	–	curtose
D_0	–	dimensão de contagem de caixas
D_1	–	dimensão de informação
D_2	–	dimensão de correlação
λ_1	–	expoente de Lyapunov dominante

Revisão No. 0.1

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO	3
3 PROPOSTA	5
4 IMPLEMENTAÇÃO	7
5 CONCLUSÃO	9
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11

Revisão No. 0.1

1 INTRODUÇÃO

Hello?

Os capítulos restantes desta dissertação estão organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 2: A Seção ?? aborda, por meio de sistemas-paradigma de comportamento caótico como o Mapa Logístico e as Equações de Lorenz, as principais características apresentadas por sistemas dinâmicos não-lineares caóticos. A Seção ?? é destinada, em grande parte, à descrição fenomenológica da turbulência. São ainda apresentadas alguns temas de grande relevância no estudo da turbulência, como o fenômeno da intermitência e as estruturas coerentes. Finalmente, a Seção ?? expõe uma perspectiva adicional para a compreensão do fenômeno turbulento com base na teoria de sistemas dinâmicos, mais especificamente por meio de atratores caóticos (RUELLE; TAKENS, 1971).
- Capítulo 3: Neste capítulo é feita uma descrição detalhada dos métodos e dos algoritmos disponíveis para a caracterização de caos determinístico presente em séries temporais experimentais. O tema é bastante extenso e especializado; como consequência, tal descrição será focada nos procedimentos mais utilizados para a reconstrução da dinâmica, para o cálculo de dimensão de atratores e do espectro de expoentes de Lyapunov. São abordados alguns problemas e limitações, do ponto de vista numérico, associados aos algoritmos utilizados, como também as dificuldades encontradas no tratamento de sinais experimentais.
- Capítulo 4: Neste capítulo é realizada uma breve descrição dos dados coletados pela campanha WETAMC do projeto LBA, bem como do sítio experimental.
- Capítulo 5: Neste capítulo são aplicadas diversas ferramentas (descritas no Capítulo ??) nas séries temporais em estudo, em busca de atratores caóticos de baixa dimensão na camada limite atmosférica.
- Capítulo 6: Com base nas análises realizadas no Capítulo ??, neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas, como também algumas sugestões para trabalhos futuros.

Revisão No. 0.1

2 FUNDAMENTAÇÃO

Os capítulos restantes desta dissertação estão organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 2: A Seção ?? aborda, por meio de sistemas-paradigma de comportamento caótico como o Mapa Logístico e as Equações de Lorenz, as principais características apresentadas por sistemas dinâmicos não-lineares caóticos. A Seção ?? é destinada, em grande parte, à descrição fenomenológica da turbulência. São ainda apresentadas alguns temas de grande relevância no estudo da turbulência, como o fenômeno da intermitência e as estruturas coerentes. Finalmente, a Seção ?? expõe uma perspectiva adicional para a compreensão do fenômeno turbulento com base na teoria de sistemas dinâmicos, mais especificamente por meio de atratores caóticos (RUELLE; TAKENS, 1971).
- Capítulo 3: Neste capítulo é feita uma descrição detalhada dos métodos e dos algoritmos disponíveis para a caracterização de caos determinístico presente em séries temporais experimentais. O tema é bastante extenso e especializado; como consequência, tal descrição será focada nos procedimentos mais utilizados para a reconstrução da dinâmica, para o cálculo de dimensão de atratores e do espectro de expoentes de Lyapunov. São abordados alguns problemas e limitações, do ponto de vista numérico, associados aos algoritmos utilizados, como também as dificuldades encontradas no tratamento de sinais experimentais.
- Capítulo 4: Neste capítulo é realizada uma breve descrição dos dados coletados pela campanha WETAMC do projeto LBA, bem como do sítio experimental.
- Capítulo 5: Neste capítulo são aplicadas diversas ferramentas (descritas no Capítulo ??) nas séries temporais em estudo, em busca de atratores caóticos de baixa dimensão na camada limite atmosférica.
- Capítulo 6: Com base nas análises realizadas no Capítulo ??, neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas, como também algumas sugestões para trabalhos futuros.

Revisão No. 0.1

3 PROPOSTA

Os capítulos restantes desta dissertação estão organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 2: A Seção ?? aborda, por meio de sistemas-paradigma de comportamento caótico como o Mapa Logístico e as Equações de Lorenz, as principais características apresentadas por sistemas dinâmicos não-lineares caóticos. A Seção ?? é destinada, em grande parte, à descrição fenomenológica da turbulência. São ainda apresentadas alguns temas de grande relevância no estudo da turbulência, como o fenômeno da intermitência e as estruturas coerentes. Finalmente, a Seção ?? expõe uma perspectiva adicional para a compreensão do fenômeno turbulento com base na teoria de sistemas dinâmicos, mais especificamente por meio de atratores caóticos (RUELLE; TAKENS, 1971).
- Capítulo 3: Neste capítulo é feita uma descrição detalhada dos métodos e dos algoritmos disponíveis para a caracterização de caos determinístico presente em séries temporais experimentais. O tema é bastante extenso e especializado; como consequência, tal descrição será focada nos procedimentos mais utilizados para a reconstrução da dinâmica, para o cálculo de dimensão de atratores e do espectro de expoentes de Lyapunov. São abordados alguns problemas e limitações, do ponto de vista numérico, associados aos algoritmos utilizados, como também as dificuldades encontradas no tratamento de sinais experimentais.
- Capítulo 4: Neste capítulo é realizada uma breve descrição dos dados coletados pela campanha WETAMC do projeto LBA, bem como do sítio experimental.
- Capítulo 5: Neste capítulo são aplicadas diversas ferramentas (descritas no Capítulo ??) nas séries temporais em estudo, em busca de atratores caóticos de baixa dimensão na camada limite atmosférica.
- Capítulo 6: Com base nas análises realizadas no Capítulo ??, neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas, como também algumas sugestões para trabalhos futuros.

Revisão No. 0.1

4 IMPLEMENTAÇÃO

Os capítulos restantes desta dissertação estão organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 2: A Seção ?? aborda, por meio de sistemas-paradigma de comportamento caótico como o Mapa Logístico e as Equações de Lorenz, as principais características apresentadas por sistemas dinâmicos não-lineares caóticos. A Seção ?? é destinada, em grande parte, à descrição fenomenológica da turbulência. São ainda apresentadas alguns temas de grande relevância no estudo da turbulência, como o fenômeno da intermitência e as estruturas coerentes. Finalmente, a Seção ?? expõe uma perspectiva adicional para a compreensão do fenômeno turbulento com base na teoria de sistemas dinâmicos, mais especificamente por meio de atratores caóticos (RUELLE; TAKENS, 1971).
- Capítulo 3: Neste capítulo é feita uma descrição detalhada dos métodos e dos algoritmos disponíveis para a caracterização de caos determinístico presente em séries temporais experimentais. O tema é bastante extenso e especializado; como consequência, tal descrição será focada nos procedimentos mais utilizados para a reconstrução da dinâmica, para o cálculo de dimensão de atratores e do espectro de expoentes de Lyapunov. São abordados alguns problemas e limitações, do ponto de vista numérico, associados aos algoritmos utilizados, como também as dificuldades encontradas no tratamento de sinais experimentais.
- Capítulo 4: Neste capítulo é realizada uma breve descrição dos dados coletados pela campanha WETAMC do projeto LBA, bem como do sítio experimental.
- Capítulo 5: Neste capítulo são aplicadas diversas ferramentas (descritas no Capítulo ??) nas séries temporais em estudo, em busca de atratores caóticos de baixa dimensão na camada limite atmosférica.
- Capítulo 6: Com base nas análises realizadas no Capítulo ??, neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas, como também algumas sugestões para trabalhos futuros.

Revisão No. 0.1

5 CONCLUSÃO

Os capítulos restantes desta dissertação estão organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 2: A Seção ?? aborda, por meio de sistemas-paradigma de comportamento caótico como o Mapa Logístico e as Equações de Lorenz, as principais características apresentadas por sistemas dinâmicos não-lineares caóticos. A Seção ?? é destinada, em grande parte, à descrição fenomenológica da turbulência. São ainda apresentadas alguns temas de grande relevância no estudo da turbulência, como o fenômeno da intermitência e as estruturas coerentes. Finalmente, a Seção ?? expõe uma perspectiva adicional para a compreensão do fenômeno turbulento com base na teoria de sistemas dinâmicos, mais especificamente por meio de atratores caóticos (RUELLE; TAKENS, 1971).
- Capítulo 3: Neste capítulo é feita uma descrição detalhada dos métodos e dos algoritmos disponíveis para a caracterização de caos determinístico presente em séries temporais experimentais. O tema é bastante extenso e especializado; como consequência, tal descrição será focada nos procedimentos mais utilizados para a reconstrução da dinâmica, para o cálculo de dimensão de atratores e do espectro de expoentes de Lyapunov. São abordados alguns problemas e limitações, do ponto de vista numérico, associados aos algoritmos utilizados, como também as dificuldades encontradas no tratamento de sinais experimentais.
- Capítulo 4: Neste capítulo é realizada uma breve descrição dos dados coletados pela campanha WETAMC do projeto LBA, bem como do sítio experimental.
- Capítulo 5: Neste capítulo são aplicadas diversas ferramentas (descritas no Capítulo ??) nas séries temporais em estudo, em busca de atratores caóticos de baixa dimensão na camada limite atmosférica.
- Capítulo 6: Com base nas análises realizadas no Capítulo ??, neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas, como também algumas sugestões para trabalhos futuros.

Revisão No. 0.1

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RUELLE, D.; TAKENS, F. On the nature of turbulence. **Communications in Mathematical Physics**, v. 20, n. 3, p. 167–192, 1971. 1, 3, 5, 7, 9

Revisão No. 0.1

Revisão No. 0.1

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programas de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.