

Luiz Henrique Guimarães de Macêdo

O Conceito de Inovação

**Uma Ferramenta para a Modelagem, Análise e Compreensão de
Fenômenos Climatológicos**

Tese de Doutorado

Tese apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientadores: Jacques Szczupak
Leontina Pinto

Rio de Janeiro, setembro de 2006

Luiz Henrique Guimarães de Macêdo

O Conceito de Inovação

Uma Ferramenta para a Modelagem, Análise e Compreensão de Fenômenos Climatológicos

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. PhD. Jacques Szczupak

Orientador
PUC-Rio

DSc. Leontina Pinto

Orientadora
Engenho

Prof. PhD. Tércio Ambrizzi

Universidade de São Paulo

Prof. DSc. Eder Cassola Molina

Universidade de São Paulo

Prof. Dr. João Marcos Romano

Universidade de Campinas

Prof. PhD. Mariane Rembold Petraglia

Universidade Federal do Rio de Janeiro

DSc. Bruno Cosenza de Carvalho

Centro Tecnológico do Exército

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador(a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 11 de setembro de 2006

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Luiz Henrique Guimarães de Macêdo

Graduou-se em Engenharia Elétrica, com ênfase em telecomunicações, na Universidade Federal de Goiás, em 2000. Kursou Mestrado no Centro de Telecomunicações da PUC-Rio, em 2002, no qual implementou técnica de Sondagem em Frequência para análise do Canal de Propagação Rádio Móvel. Atua no momento na área de Processamento de Sinais, com especial interesse em aplicações para detecção e análise de fenômenos climatológicos.

Ficha Catalográfica

Macêdo, Luiz Henrique Guimarães de

O conceito da inovação: uma ferramenta para a modelagem, análise e compreensão de fenômenos climatológicos / Luiz Henrique Guimarães de Macêdo ; orientador: Jacques Szczupak. – 2006.

111 f. : il. ; 30 cm

Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Sinais. 3. OLR. 4. Autovalor. 5. Inovação. I. Szczupak, Jacques. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD : 621.3

Aos meus pais.

Agradecimentos

No desenvolvimento deste trabalho tive a felicidade de conviver com a Leontina e o Jacques, aos quais sou imensamente grato. Nossas produtivas discussões sobre os mais diversos aspectos do Processamento de Sinais e dos processos Físicos/Climatológicos formaram a base deste trabalho e a minha formação como pesquisador.

Agradeço aos Profs. Tércio Ambrizzi e Eder Molina, que muito incentivaram o desenvolvimento deste trabalho.

À Engenho pela disponibilização dos recursos que possibilitaram o processamento do volume de dados climatológicos envolvidos.

Aos que direta ou indiretamente contribuíram e estimularam: Carol, Daniel, Fernando, Gustavo, Márcia, Robinson, Gláucio, Tiago, Sr. Ivo, Tio José, Vanda, Vieira, Tatiana, Zé Afonso, Leidiani, Relton, Renato, Paçô, Nhyro e Edmundo.

Ao CNPq e à PUC-Rio pelos auxílios concedidos.

Aos amigos de toda hora: Paulinho, Rafael, Eduardo e Robson.

À Cibeles, por todo carinho, e toda força.

Aos meus pais, Luiz e Lúcia, minhas maiores referências, meus maiores incentivadores. À Marina, minha irmãzinha querida.

A Deus, por tudo, e por ter tantos a agradecer.

Resumo

Macêdo, Luiz Henrique Guimarães de. **O Conceito de Inovação**. Rio de Janeiro, 2006. 111p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A modelagem de fenômenos climatológicos constitui um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade, impactando toda a vida do planeta. Muitos modelos têm sido propostos e muitas ferramentas têm sido construídas na tentativa de explicar a dinâmica destes processos e sua evolução espacial e temporal. Este trabalho visa oferecer uma contribuição para a modelagem, análise e compreensão dos fenômenos climatológicos com base no conceito da Inovação. Ao invés de procurar, como os modelos clássicos, a representação de comportamentos e relações com base em técnicas estatísticas, esta pesquisa apóia-se em um novo conceito: a Inovação, que busca o novo, e não o padrão, identificando a diferença e modelando o fenômeno a ela associado. O conceito da Inovação é capaz de caracterizar o fenômeno climatológico, reconhecendo seu surgimento, localização, intensidade e duração. A aplicação do Conceito da Inovação leva à identificação das conexões globais, definindo propagações espaciais e temporais, além de delinear caminhos que explicam as teleconexões entre regiões e sua variação ao longo do tempo. Os resultados obtidos são bastante promissores, uma vez que conseguem caracterizar os processos e sua evolução com uma precisão e eficiência até agora não obtidas pelos métodos disponíveis. Além disso, a descoberta e a individualização dos caminhos que explicam as teleconexões globais iniciam uma nova classe de ferramentas para um conhecimento mais profundo e abrangente de todo o processo climatológico.

Palavras-chave

Sinais; clima; OLR; autovalor; inovação

Abstract

Macêdo, Luiz Henrique Guimarães de. **The Concept of Innovation: A Tool for Modeling, Analyzing and Understanding of Climatological Phenomena.** Rio de Janeiro, 2006. 111p. Doctor on Sciences Thesis - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Modeling climatological phenomena is one of the most intriguing challenges faced by mankind; the results impact on the whole planet life. Most existing models and tools search for the explanation of these process dynamics and associated spatial and temporal evolution. This work targets a contribution to the modeling, analysis and understanding of climatological phenomena based on the Innovation concept. Instead of following the classical search for statistical behaviors, the aim is searching for the transient and the associated impacts. The Innovation concept is initially applied to the climatological phenomena, identifying its birth, location, duration and intensity. Next, global connections are identified, defining spatial and temporal propagations. Finally, global paths and corresponding variations in time are highlighted and used to explain global teleconnections between regions. The obtained results are promising, characterizing processes and corresponding evolution within a precision and efficiency not offered by existing models. Furthermore, uncovering the roots of global teleconnections permits a new class of tools for a more complete and deep understanding of the whole climatological environment.

Keywords

Signals; climate ; OLR; eigenvalue; innovation

Sumário

1	Motivação e Objetivos	16
1.1.	A Importância da Modelagem da Climatologia	16
1.2.	A Dinâmica Climatológica	17
1.3.	Objetivo	18
2	A Escolha do Indicador Climatológico	19
2.1.	Introdução	19
2.2.	O Sinal Estudado	19
2.3.	A <i>OLR</i> e a Caracterização dos Fenômenos Climatológicos	21
2.3.1.	As Oscilações <i>Madden-Julian</i>	21
2.3.2.	Os Ciclos <i>El Niño/La Niña</i>	24
2.4.	A Busca de Relações Climatológicas	26
2.5.	Conclusões	27
3	A Análise do Sinal	28
3.1.	Introdução	28
3.2.	Filtros de Lanczos	28
3.3.	Wavelets	30
3.4.	Funções Ortogonais Empíricas	32
3.5.	Análise Espectral Singular	35
3.6.	Conclusões	37
4	A Abordagem Proposta	38
4.1.	Introdução	38
4.2.	Os Dados Utilizados	38
4.3.	O Evento e a Inovação	39

4.4. Tratamento do Sinal	39
4.5. Modelagem Matemática – A Inovação	41
4.6. A Caracterização da Inovação	45
4.7. A Propagação da Inovação na Matriz	50
4.8. Estudo Comparativo	57
4.9. Possível Limitação e Proposta para a Solução	59
4.9.1. Limitação	59
4.9.2. A Dominância do Maior Autovalor	59
4.9.3. A semelhança entre a diagonal e o autovetor associado ao maior autovetor	60
4.9.4. Simplificações Propostas	62
4.10. Observação Final	66
4.11. Conclusões	66
5 Aplicações: Identificação de um Fenômeno Climatológico	68
5.1. Introdução	68
5.2. A Identificação da Inovação	68
5.3. A dinâmica do fenômeno	72
5.4. Conclusões	80
6 Aplicações: Inter-relações entre regiões	81
6.1. Introdução	81
6.2. A Identificação de Semelhanças	81
6.3. Aplicação ao Evento de 1985	82
6.4. Aplicação ao evento de 1982	84
6.5. A Escolha dos Níveis de Corte	86
6.6. Conclusões	87
7 Aplicações: Inter-relações entre pontos	88
7.1. Introdução	88
7.2. O Cálculo das Correlações	88
7.3. Aplicação ao Evento de 1985	89
7.4. Aplicação ao Evento de 1982	95
7.5. Conclusões	100

8 O Estabelecimento dos Percursos de Propagação	101
8.1. Introdução	101
8.2. O Caminho do Máximo Gradiente Local	101
8.3. O Estabelecimento dos Caminhos Globais	102
8.3.1. A Análise Espacial	102
8.3.2. A Análise Temporal	104
8.4. Conclusões	104
9 Conclusões e Observações Finais	106
9.1. A Inovação	106
9.2. A Modelagem e Implementação	106
9.3. Os Resultados Obtidos	106
9.4. Observações Finais	107
9.5. Trabalhos Futuros	107
10 Referências Bibliográficas	108

Lista de figuras

Figura 1 - Sequência de imagens IR em 15/06/2003, a cada 3 horas.	20
Figura 2 - Região onde se originam as <i>MJOs</i> e possíveis caminhos de propagação [21].	22
Figura 3 - Mapa Global de <i>OLRs</i> . Sinal da <i>OLR</i> [wm^{-2}] na coordenada 12.5N, 55E para o ano de 1982.	23
Figura 4 - Mapa Global de <i>OLRs</i> . Sinal da <i>OLR</i> [wm^{-2}] na coordenada 5N, 60E para o ano de 1982.	24
Figura 5 – Anomalias de Temperaturas [$^{\circ}\text{C}$] na Superfície do Mar configurando o evento <i>El Nino</i> de 1982/1983 – Médias Mensais de Janeiro/1983 [30]	25
Figura 6 - Sinal da <i>OLR</i> [wm^{-2}] na coordenada 90W 0S	25
Figura 7 - Pontos de Análise para a Propagação do <i>El Niño</i> - 1982/1983	26
Figura 8 - Ilustração do evento <i>El Niño</i> 1982/1983 através do sinal da <i>OLR</i> [wm^{-2}].	26
Figura 9 - Resposta em frequência do Filtro de Laczos com 75 pesos, sintonizado para filtrar médias de 5 dias do sinal em uma banda passante de 90 a 25 dias.	29
Figura 10 - Séries normalizadas: <i>OLR</i> na coordenada 5N, 60W, ano de 1985, (em azul), pêntadas filtradas da mesma série (em vermelho).	30
Figura 11 -Transformada Wavelet de um sinal de <i>OLR</i> no Oceano ao Sul da China [35]	31
Figura 12 – Matriz <i>X</i> composta pelas diversas variáveis climatológicas (séries temporais de <i>OLR</i> associadas às diversas quadrículas)	33
Figura 13 – Análise de EOF das <i>OLRs</i> – espacial e temporal – retirado da referência [39]	34
Figura 14 – Série Temporal do Índice SOI (Southern Oscillation Index) [44]	36
Figura 15 – Aplicação da <i>SSA</i> (<i>Singular Spectrum Analysis</i>) à série temporal do índice SOI [44].	36
Figura 16 – Séries de <i>OLRs</i> [wm^{-2}] nas coordenadas: 12.5N – 55-60-65E,	

ano 1992, com indicações das maiores perturbações.	40
Figura 17 – Médias Móveis do sinal com uma janela de 19 dias.	41
Figura 18 – Médias Móveis da energia do sinal normalizado (para uma janela de 19 dias)	41
Figura 19 – Tomada de Dados: Janelas Deslizantes	42
Figura 20 – Formação da Matriz A	42
Figura 21 – Sinal da OLR [wm^{-2}] na coordenada: 12.5N –65E, ano 1992,	43
Figura 22 – Representação visual da Matriz A	44
Figura 23 – O sinal da OLR , intervalo de análise e matriz A associada	45
Figura 24 – Representação Gráfica da Matriz Q	45
Figura 25 – Autovalores e autovetores	46
Figura 26 – Autovalores indicando a existência de uma perturbação	47
Figura 27 – Séries normalizadas da OLR na coordenada 12.5N65E, ano 1992, e maior autovalor associado	47
Figura 28 – Início da Inovação, série da OLR na coordenada 12.5N65E, ano 1992,	48
Figura 29 – Detalhe da Inovação, série da OLR na coordenada 12.5N65E, ano 1992,	48
Figura 30 – Início da penetração da Inovação na matriz Q	49
Figura 31 – Matriz Q rotacionada	49
Figura 32 – Autovalores associados ao início da Inovação	50
Figura 33 – Autovetores associados ao início da Inovação	50
Figura 34 – Propagação da Inovação na Matriz Q ao longo do tempo (3 instantes)	51
Figura 35 – Evolução dos autovalores e autovetores ao longo do tempo (3 instantes)	52
Figura 36 – Evolução da Matriz, Autovalores e Autovetores ao longo de toda a Inovação	56
Figura 37 – Comparação ente o resultado da Inovação (maior autovalor) e a Média Móvel das energias para a série de $OLRs$ (w/m^{-2}) mostrada na segunda parte da figura.	57
Figura 38- Mapa de $OLRs$ do dia 01/01/1980 (primeiro mapa). Comparação entre os resultados: das Médias Móveis das energias e da	

Inovação, segundo e terceiro mapas.	58
Figura 39 – Histograma cumulativo com a distribuição de valores gerados pelas Médias Móveis das energias (esquerda) e Inovação (direita), para os mapas ilustrados na Figura 38. As abscissas correspondem ao número de amostras e as ordenadas aos valores associados.	59
Figura 40 – Diagonal da matriz x autovetores associados aos máximos autovalores	61
Figura 41 – Comparação entre possíveis aproximações para o cálculo da Inovação da serie de <i>OLR</i> na coordenada 12.5N60E mostrada na parte inferior do gráfico.	63
Figura 42 - Histograma indicativo da validade da aproximação para o cálculo do máximo autovalor. Os valores do eixo vertical apresenta a percentagem do total de dados que corresponde aos eixos λ_1 e λ_1EQ/λ_1 .	64
Figura 43 - Avaliação da aproximação quando o máximo autovalor é maior que dez vezes o segundo maior ($d=10$).	65
Figura 44 – <i>OLRs</i> globais – 1 de fevereiro de 1985	69
Figura 45 - <i>OLRs</i> globais – 10 de fevereiro de 1985	69
Figura 46- <i>OLRs</i> globais – 19 de fevereiro de 1985	69
Figura 47 - <i>OLRs</i> médias globais – 1 a 19 de fevereiro de 1985	70
Figura 48 - Inovação da <i>OLR</i> – 1-19 de fevereiro de 1985	70
Figura 49 – Pontos Seleccionados para Comparação	71
Figura 50 – <i>OLRs</i> x Inovação – América do Sul (2.5S 72.5W)	71
Figura 51 – <i>OLRs</i> x Inovações – Madagascar (15S 55E)	72
Figura 52– Anomalias de Convecção modeladas por Jones [21] comparadas com as Inovações	75
Figura 53- Anomalias de Convecção segundo Jones [21]	76
Figura 54 – Propagação detalhada do Evento <i>MJO</i> – 30/04/1982 a 26/06/1982.	79
Figura 55 – Inovações identificadas na região—seta assinala o evento em estudo	82
Figura 56 – Curvas de nível das inovações globais associadas à região 10-20S, 50-60E	84
Figura 57 – Inovações na área 0-15N 50-60E	85
Figura 58 – Evolução do evento Maio/Junho de 1982	86
Figura 59 – Correlação da Inovação em 15S 55E, conforme algoritmo	

proposto, lag=0.	89
Figura 60 – Correlações da Inovação , conforme algoritmo proposto para os lags de 1 a 30.	91
Figura 61 – Correlação com o ponto-alvo (15S 55E), critério $d^*=3$, lag=0	93
Figura 62 – Correlação com o ponto-alvo (15S 55E), critério $d^*=3$, lags de 1 a 30	95
Figura 63 – Correlação da Inovação no ponto-alvo 6.5S 52.5E com o restante do Globo, critério $d^*=10$, lag=0.	96
Figura 64 – <i>OLRs</i> Globais de maio a agosto de 1982.	97
Figura 65 – Correlação da Inovação no Ponto alvo 6.5N 52.5E com todo o globo – $d^*=10$, lags 1-30	100
Figura 66 – Cálculo do Máximo Gradiente para todo o entorno na vizinhança do ponto	102
Figura 67 – Caminhos Globais análise espacial – maio/junho de 1985	103
Figura 68 – Caminhos Globais análise espacial – maio/junho de 1985 sub-região A	103
Figura 69– Caminhos Globais análise espacial – maio/junho de 1985 sub-região B	103
Figura 70 – Conexões Globais – Análise Temporal – Fevereiro de 1985	104

O sobrenatural não existe e não poderia existir. Tudo no Universo é regulado através das leis. Demonstrar a existência de um fenômeno é incluí-lo na ordem permanente das coisas, é submetê-lo à lei natural. No seio desse Universo onde tudo, seres e coisas, se encadeiam e se ligam numa estreita solidariedade, numa profunda e sublime harmonia, não há mais lugar nem para o sobrenatural, nem para o milagre. Leis tão rigorosas, tão inflexíveis quanto as que governam a matéria, regem o mundo invisível. Para conhecer-lhe o funcionamento admirável, só há um meio: estudar.

Léon Denis