

Adrian Heringer Pizzinga

**Modelos em Espaço de Estado com
Restrições nas Componentes de Interesse:
Aplicações em Análise Dinâmica de Estilo
para Fundos de Investimento Brasileiros**

Dissertação de Mestrado

Departamento de Engenharia Elétrica
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica

Rio de Janeiro
Março de 2004

Adrian Heringer Pizzinga

**Modelos em Espaço de Estado com
Restrições nas Componentes de Interesse:
Aplicações em Análise Dinâmica de Estilo
para Fundos de Investimento Brasileiros**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Cristiano Augusto Fernandes

Rio de Janeiro
Março de 2004

Pizzinga, Adrian Heringer

Modelos em espaço de estado com restrições nas componentes de interesse: aplicações em análise dinâmica de estilo para fundos de investimento brasileiros / Adrian Heringer Pizzinga ; orientador: Cristiano Augusto C. Fernandes – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2004.

131 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Elétrica – Teses. 2. Modelos em espaço de estado. 3. Recursões de Kalman. 4. Metodologia de Doran. 5. Filtros não-lineares aproximados. 6. Análise dinâmica de estilo. I. Fernandes, Cristiano Augusto C. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Adrian Heringer Pizzinga

**Modelos em Espaço de Estado com
Restrições nas Componentes de Interesse:
Aplicações em Análise Dinâmica de Estilo
para Fundos de Investimento Brasileiros**

Dissertação de Mestrado

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

Cristiano Augusto Coelho Fernandes

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Álvaro Lima Veiga Filho

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Carlos S. Kubrusly

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Marcelo Cunha Medeiros

Departamento de Economia – PUC-Rio

Marcos Azevedo da Silveira

Suplente

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Nei Carlos dos Santos Rocha

Instituto de Matemática e Estatística – UFRJ

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 18 de março de 2004

Agradecimentos

Antes de tudo, gostaria de agradecer especialmente à minha família pela tolerância dedicada a mim e às minhas atividades acadêmicas no transcorrer desses últimos anos.

Agradeço também ao meu orientador, professor e amigo Cristiano Fernandes pelo apoio, confiança e reconhecimento de meu esforço como Mestrando deste departamento.

Dedico também um agradecimento à banca examinadora desta Dissertação. Sem entrar em detalhes, há membros nela compreendidos que foram, são e sempre serão meus eternos professores e amigos. Eu devo considerável parte de minha qualificação a estas pessoas tão especiais.

Quero agradecer também a André Gustavo Guimarães, a Sergio Contreras e a Washington Junger pela valiosíssima ajuda nas implementações dos modelos desta Dissertação.

Gostaria de agradecer aos colegas Raphael Cruz e Gustavo Raposo pelos valiosos comentários e pelas ricas discussões a respeito dos fundamentos teóricos referentes aos modelos propostos pela Dissertação.

Agradeço ao amigo Ezequiel Zibecchi, vulgo “Anbídim”, pelos conhecimentos transmitidos sobre o mercado brasileiro de fundos de investimentos durante o tempo em que fomos colegas de trabalho na Atlantic Rating. Este *knowhow*, por mim adquirido, foi imprescindível para as análises interpretativas das aplicações contempladas na Dissertação.

Um salve para o amigo Henri, o grande “rotacionador de eixos cartesianos”, pela torcida sincera e disposição para me ajudar. Henri, você não entendeu? Vou lhe explicar. x , y e z . Pegou, rodou...

Agradeço ao amigo Luiz Felipe (“Felipão”) pela ajuda na confecção da Dissertação, pelas orientações de como eu deveria proceder com minhas obrigações formais com o Departamento e, acima de tudo... pelas maravilhosas gestão e manutenção do Laboratório de Estatística Computacional (LEC), o qual vem sendo por ele gerenciado desde a renúncia de seu ex-presidente André Gustavo Guimarães.

Agradeço ao amigo “cidadão de bem” Savano Souza Pereira (nãããã...) pela ajuda na confecção dos artigos gerados da Dissertação.

Gostaria de agradecer também ao parceiro Rodrigo Lage, “cabeção” (assim como o Felipão) e atual estagiário de um importante político da Bahia, que sempre torceu pelo meu sucesso e que sabe da reciprocidade desta torcida. Agora não posso falar mais, pois estou... “naquele looonce...”.

Não posso me esquecer das torcidas dos meus amigos Rafael Martins, futuro governador do Estado do Rio de Janeiro, e Eduardo Campos, futuro presidente de honra da ENCE. Rafael e Eduardo, não se animem tanto, pois este futuro pode estar ainda muito distante!

Agradeço também pelos incentivos de Blanca, Tereza, Isolina, Bruno e Vivian. Aliás, Tereza, para você que sempre perguntava: finalmente “convergiu”!

Dedico também um agradecimento especial (sem citar nomes, pois posso esquecer alguém...) aos meus amigos que estiveram presentes e me apoiaram, de alguma forma, durante meu Mestrado. Vocês sabem quem são.

Finalmente, quero agradecer à PUC por ter me acolhido (e ainda me acolher) tão bem durante este período de Mestrado e às instituições incentivadoras de pesquisa CAPES e FAPERJ pelo importante auxílio financeiro.

Resumo

PIZZINGA, Adrian Heringer; FERNANDES, Cristiano Augusto Coelho (Orientador). **Modelos em Espaço de Estado com Restrições nas Componentes de Interesse: Aplicações em Análise Dinâmica de Estilo para Fundos de Investimento Brasileiros**. Rio de Janeiro, Março, 2004. 131p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta Dissertação procura, sob um enfoque freqüentista, discutir tecnologias para que se imponham restrições no processo de estimação de componentes não observáveis associadas a um modelo em Espaço de Estado (EE) arbitrário. O escopo do texto abrange desde procedimentos propostos pioneiramente por Howard Doran para restrições de igualdade, lineares e/ou não lineares, invariantes ou variantes no tempo, em modelos em EE lineares, até a adoção e o ajuste de estruturas mais delicadas, como os modelos em EE não lineares. Entende-se que estes últimos se constituem em uma alternativa relevante, caso seja requerida, por exemplo, a imposição de restrições de desigualdade. Técnicas e estratégias de implementação são apresentadas, debatidas e comparadas, incluindo-se também o processo de estimação de parâmetros desconhecidos e a questão de diagnósticos. Ao final, são apresentados exercícios empíricos com base nas tecnologias discutidas. Os modelos propostos para esta ilustração visam à realização da análise *dinâmica* de estilo baseado no retorno para carteiras de investimento brasileiras (a versão *estática* desses modelos fora introduzida por William Sharpe, para carteiras norte-americanas), os quais devem, eventualmente, abranger dois tipos de restrições nas componentes de interesse, quais sejam, um de igualdade e outro de desigualdade.

Palavras-chave

Modelos em Espaço de Estado, Componentes de Interesse, Recursões de Kalman, Inicialização Exata, Metodologia de Doran, Filtros Não Lineares Aproximados, Análise Dinâmica de Estilo.

Abstract

PIZZINGA, Adrian Heringer; FERNANDES, Cristiano Augusto Coelho (Advisor). **State Space Models with Restrictions in Components of Interest: Applications in Dynamic Style Analysis for Brazilian Investment Funds**. Rio de Janeiro, March, 2004. 131p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This Dissertation aims, in a frequentist way, to discuss technologies for imposing restrictions in non-observable components associated with an arbitrary State Space (SS) model. The text scope ranges from procedures proposed originally by Howard Doran for equality, linear or non-linear, time invariant or time varying restrictions in a linear SS model, to adoption and estimation of more complicated structures like non-linear SS models. It is understood that these last ones are a relevant alternative, in cases of, for instance, inequality restrictions requirement. Implementation techniques and strategies are given, debated and compared, also including unknown parameters estimation and diagnostics analysis. At the end, empirical exercises are presented based on discussed methodologies. The proposed models for this illustration aim at *dynamic* return based style analysis for Brazilian investment portfolios (the static version of these models had been introduced by William Sharpe, for American portfolios), which shall eventually satisfy two kinds of restrictions on components of interest, namely one of equality and other of inequality.

Keywords

State Space Models, Components of Interest, Kalman Recursions, Exact Initialization, Doran's Methodology, Approximated Non-Linear Filters, Dynamic Style Analysis.

Sumário

1. Introdução	10
1.1 – Considerações Iniciais	10
1.2. – Problema Central	11
1.3 – Objetivos da Dissertação	12
1.4. – Estrutura da Dissertação	13
2. Modelos em Espaço de Estado Lineares: Formulação Geral	16
2.1 – Definição Geral de um Modelo Linear	16
2.2 – Definição de Componente	19
3. Filtro, Previsor e Suavizador de Kalman	21
3.1– As Três Formas Básicas de Estimação do Vetor de Estado	21
3.2 – Previsão	22
3.3 – Atualização	23
3.4 – Suavização	25
3.5 – Hierarquia de Previsão para as Três Formas de Estimação	27
3.6 – Inicialização do Filtro de Kalman	28
3.6.1 – Inicialização Difusa Aproximada	30
3.6.2 – Inicialização Difusa Exata	31
4. Imposição de Restrições Lineares: A Metodologia de Doran	33
4.1 – Restrições nos Filtrados	33
4.2 – Restrições nos Suavizados	35
4.3 – Restrição nos Previstos	38
4.4 – Eficiência da Metodologia de Doran em Relação à Estimação Irrestrita	38
5. Imposição de Restrições Não Lineares: A Metodologia de Doran Estimada	42
5.1 – O Algoritmo Original	42
5.2 – Proposta de Alteração no Algoritmo	43
5.3 – Restrições de Desigualdade	44
6. Modelos em Espaço de Estado Não Lineares e Filtros Não Lineares Aproximados	45
6.1 – Definição Geral de um Modelo Não Linear	45
6.2 – O Filtro de Kalman Estendido	49
6.2.1 – As Recursões do Filtro de Kalman Estendido	50
6.2.2 – Propriedades do Filtro de Kalman Estendido	51
6.2.2.1 – Vantagens	52
6.2.2.2 – Desvantagens	53
6.3 – O Filtro de Segunda Ordem	55
6.3.1 – Recursões do Filtro de Segunda Ordem	55
6.3.2 – Propriedades do Filtro de Segunda Ordem	56
6.4 – O Filtro de Simulação de Monte Carlo	56
6.4.1 – Recursões do Filtro de Simulação de Monte Carlo	57
6.4.2 – Propriedades do Filtro de Simulação de Monte Carlo	62
7. Estimação de Parâmetros Desconhecidos e a Questão dos Diagnósticos	65
7.1 – Função de Log Verossimilhança para Modelos Lineares	65
7.1.1 – Inicialização Não Difusa	65

7.1.2 – Inicialização Difusa	66
7.1.2.1 – Inicialização Difusa Aproximada	66
7.1.2.2 – Inicialização Difusa Exata	67
7.2 – Função de <i>Quasi</i> Log Verossimilhança para Modelos Lineares	68
7.3 – Propriedades Assintóticas dos Estimadores de (<i>Quasi</i>) Máxima Verossimilhança	69
7.4 – Função de Log Verossimilhança Aproximada para Modelos Não Lineares Via Tratamento Aproximado	69
7.5 – Diagnósticos	71
7.5.1 – Análise de Resíduos	71
7.5.2 – Análise do Poder Preditivo	73
8. Aplicações: Modelos Dinâmicos para Análise de Estilo Baseada no Retorno	74
8.1 – Análise de Estilo Baseada no Retorno	75
8.1.1 – Motivação da Técnica	75
8.1.2 – Modelo de Fatores para Classes de Ativos	77
8.1.3 – Implementação	80
8.1.4 – Defeitos Naturais da Técnica	80
8.2 – Uma Proposta para Análise Dinâmica de Estilo	81
8.2.1 – Formulação em EE: Equação do Estado	82
8.2.2 – Formulação em EE: Equação das Medidas	83
8.3 – Análises Dinâmicas de Estilo para Fundos de Investimento Brasileiros	86
8.3.1 – Primeiro Exercício: Fundo de Ações	88
8.3.1.1 – Análise Dinâmica de Estilo Fraca	88
8.3.1.2 – Análise Dinâmica de Estilo Semi-Forte	92
8.3.1.3 – Análise Dinâmica de Estilo Forte	94
8.3.2 – Segundo Exercício: Fundo Cambial	101
8.3.2.1 – Análise Dinâmica de Estilo Fraca	102
8.3.2.2 – Análise Dinâmica de Estilo Semi-Forte	104
8.3.2.3 – Análise Dinâmica de Estilo Forte	107
8.3.3 – Terceiro Exercício: Carteira Simulada	114
9. Considerações Finais sobre a Pesquisa	117
9.1 – Conclusões sobre as Metodologias Discutidas	117
9.2 – Conclusões sobre a Análise Dinâmica de Estilo	119
9.3 – Conclusões sobre Estudos Futuros	120
Bibliografia	123
Bibliografia complementar	128
Anexo 1 – Estimativas dos parâmetros desconhecidos para o fundo Bradesco II FIA	130
Anexo 2 – Estimativas dos parâmetros desconhecidos para o fundo HSBC FIF Cambial	131