



**Giovani Glaucio de Oliveira Costa**

**Um Procedimento Inferencial para Análise  
Fatorial Utilizando as Técnicas Bootstrap  
e Jackknife: Construção de Intervalos de  
Confiança e Testes de Hipóteses**

**Tese de Doutorado**

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

Orientador: Prof. Reinaldo Castro Souza  
Co-orientador: Vitor Hugo de Carvalho Gouvêa

Rio de Janeiro  
Junho de 2006



**Giovani Glaucio de Oliveira Costa**

**Um Procedimento Inferencial para Análise  
Fatorial Utilizando as Técnicas Bootstrap  
e Jackknife: Construção de Intervalos de  
Confiança e Testes de Hipóteses**

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

**Prof. Reinaldo Castro Souza**  
**Orientador**

Departamento de Engenharia Elétrica/PUC-Rio

**Prof. Victor Hugo de Carvalho Gouvêa**  
**Co-Orientador**  
UFF

**Prof. Wilton de Oliveira Bussab**  
FGV/SP

**Profa. Narcisa Maria Gonçalves dos Santos**  
UERJ

**Prof. Francisco Creso Junqueira Franco Júnior**  
EDU/PUC-Rio

**Prof. Luiz Flávio Autran Monteiro Gomes**  
IBMEC/RJ

**Prof. Antônio de Araújo Freitas Junior**  
FGV/RJ

**Prof. José Eugenio Leal**  
Coordenador Setorial do Centro  
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 09 de junho de 2006

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

## **Giovani Glaucio de Oliveira Costa**

Giovani Glaucio de Oliveira Costa é doutor em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense e graduado em estatística pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro. É Professor Assistente aprovado da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e atualmente exerce o cargo de Estatístico da Secretaria de Estado da Família e da Assistência Social, no Departamento Geral de Ações Sócio educativas.

Costa, Giovani Glaucio de Oliveira

Um procedimento inferencial para análise fatorial utilizando as técnicas Bootstrap e Jackknife: construção de intervalos de confiança e testes de hipóteses / Giovani Glaucio de Oliveira Costa ; orientador: Reinaldo Castro Souza ; co-orientador: Vitor Hugo de Carvalho Gouvêa. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2006.

196 f. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Análise fatorial. 3. Inferência estatística. 4. Bootstrap. 5. Jackknife. I. Berardinelli, Cleonice. II. Souza, Reinaldo Castro. III. Gouvêa, Vitor Hugo de Carvalho. IV. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. V. Título.

CDD: 621.3

“O pensamento lógico puro não pode nos proporcionar qualquer conhecimento do mundo empírico; todo conhecimento da realidade parte da experiência e nela termina”.

“As proposições a que se chegam por meios ilógicos exclusivamente são completamente desprovidas de realidade”.

-Albert Einstein-

Dedico esta tese com muito amor a minha mãe, Oneida Barreto de Campos Costa, aos meus irmãos e a minha sobrinha Juliana Paula da Costa Lima.

## Agradecimentos

### Meus agradecimentos

- Ao professor Reinaldo de Castro Souza, orientador da tese e meu grande amigo, pelo apoio, dedicação, atenção, motivação e confiança depositada;
- Ao professor Vitor Hugo de Carvalho Gouvêa, co-orientador da tese, pela inestimável colaboração no aprimoramento das metodologias e conclusões realizadas;
- Ao professor Basílio de Bragança Pereira pelas sugestões competentes dadas ao aprimoramento da qualidade metodológica desta tese de doutorado e pela atenção dispensada;
- Ao Departamento de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da PUC/Rio, por ter facilitado a execução deste trabalho e disseminado os conhecimentos necessários à execução do presente esforço intelectual.

## Agradecimentos Especiais

Meus agradecimentos especiais

- Ao professor Wilton O. Bussab, recente amigo, que emitiu importantes sugestões para a qualidade técnica da produção científica apresentada;
- Ao Luiz Flávio Autran Monteiro Gomes, grande amigo e orientador do mestrado, pelo grande incentivo que vem dado para que eu avance em meus conhecimentos científicos;
- Ao Wilson Lins Morgado, grande amigo, e colaborador na formulação dos programas SAS apresentados nesta tese de doutorado;
- À Maria Alcina Portes, Marcia Guerra e Ana Maria Pascoal, secretárias do Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, pela dedicação, atenção, carinho e amizade depositados em mim nestes quatro anos de doutorado.

## Resumo

Costa, Giovani Glaucio de Oliveira; Souza, Reinaldo Castro (Orientador). **Um Procedimento Inferencial para Análise Fatorial Utilizando as Técnicas Bootstrap e Jackknife: Construção de Intervalos de Confiança e Testes de Hipóteses.** Rio de Janeiro, 2005. 196p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A análise fatorial é a denominação atribuída às técnicas estatísticas paramétricas multivariadas utilizadas para estudar o inter-relacionamento entre um conjunto de variáveis observadas. É um processo destinado essencialmente à redução e à sumarização dos dados, tornando-se em vários campos da pesquisa científica uma boa opção para um melhor gerenciamento de informações reais, gerando variáveis remanescentes mais significativas e fáceis de serem trabalhadas. Ainda assim, uma possível limitação da análise fatorial é que não existem testes estatísticos conclusivos ou satisfatoriamente eficazes e que possam ser regularmente empregados, portanto, para a sua significância. Conseqüentemente, é difícil saber se os resultados são meramente acidentais, ou realmente refletem algo significativo. Por esse motivo, esta tese de doutorado visa estabelecer um procedimento inferencial para a análise fatorial utilizando-se de técnicas CIS (Computer Intensive Statistics), tais como o *bootstrap* e o *jackknife*, que permitam que a análise fatorial saia do terreno puramente descritivo e ladeando a insuficiência da teoria da distribuição de amostragem que se faz sentir em técnicas multivariadas.

## Palavras-chave

Análise fatorial, inferência estatística, bootstrap, jackknife

## Abstract

Costa, Giovani Glaucio de Oliveira; Souza, Reinaldo Castro (Advisor). **An Inferential Procedure for Factor Analysis Using Bootstrap and Jackknife Techniques: Construction of Confidence Intervals and Tests of Hypotheses**. Rio de Janeiro, 2005. 196p. Doctorate Thesis - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Factor analysis is the denomination attributed to the multivariate parametric statistical techniques used to study the inter-relationship between a set of observed variables. It is a process essentially intended to reduce and summarize data, thus becoming a good option for a better management of real information, generating remainder variables that are more significant and easier to work with, in various fields of scientific research. However, a possible limitation of factor analysis is that there are no conclusive statistical tests regularly employed in testing the hypotheses. Consequently, it is difficult to know if the results are merely accidents, or indeed, reflect something of significance. For this reason, this study intends to establish an inferential procedure for factor analysis, using *CIS* (*Computer Intensive Statistics*) techniques, such as the *bootstrap* and *jackknife*, which allow factor analysis to pass out of the purely descriptive, solving the problem of the insufficiency of sample distribution theory as seen in multivariate techniques.

## Keywords

Factor analysis, inference statistics, bootstrap, jackknife.

# Sumário

Introdução	13
1. Metodologia da Pesquisa	16
2. Revisão de Literatura	18
3. Análise Fatorial	22
3.1. Etapas de Realização da Análise Fatorial	24
3.2. As Estatísticas-Chaves Associadas a Análise Fatorial	27
3.3. Considerações Gerais	28
3.4. Aplicações na Internet e em Computadores	31
3.5. Uma Aplicação ao Modelo de Análise Fatorial Exploratória	32
3.5.1. Teste de Validade da Análise Fatorial	34
3.5.2. Análise Fatorial	35
4. Reamostragem	41
4.1. Conceitos Básicos em Reamostragem	42
4.2. Métodos de Reamostragem	42
4.3. <i>Jackknife</i> versus <i>Bootstrap</i>	42
4.4. Limitações	43
4.5. O Método <i>Jackknife</i>	44
4.5.1. O Procedimento para Obtenção da Amostra <i>Jackknife</i>	45
4.6. O Método <i>Bootstrap</i>	47
4.6.1. O Procedimento para Obtenção da Amostra <i>Bootstrap</i>	48
5. Teste Inferencial para a Análise Fatorial	50
5.1. Formalização do Teste Inferencial	50
5.2. Algoritmo <i>Bootstrap</i> para Realização do TIAF	57
5.3. Computação dos Algoritmos <i>Bootstrap</i> e <i>Jackknife</i>	59
5.4. O Método do TIAF	60
6. Teste de Normalidade das Cargas Fatoriais	63
6.1. Teste de Normalidade da “Base Busca de Fatores”	66
6.1.1. Teste de Normalidade das Variáveis no Método <i>Bootstrap</i>	66
6.1.2. Teste de Normalidade das Variáveis no Método <i>Jackknife</i>	68
6.2. Teste de Normalidade da “Base Creme Dental”	70
6.2.1. Teste de Normalidade das Variáveis no Método <i>Bootstrap</i>	70
6.2.2. Teste de Normalidade das Variáveis no Método <i>Jackknife</i>	71
6.3. Teste de Normalidade da Base “Modo de Vida”	72
6.3.1. Teste de Normalidade das Variáveis no Método <i>Bootstrap</i>	72
6.3.2. Teste de Normalidade das Variáveis no Método <i>Jackknife</i>	73
6.4. Procedimentos Metodológicos a serem seguidos com base nos Testes de Normalidades	75

7. Teste de Convergência dos Resultados Bootstrap	76
7.1. Procedimentos Metodológicos a serem seguidos com Base nos Testes de Convergências	77
8. Estudos de Casos: Aplicações do TIAF	78
8.1. Caso 1: Base Busca de Fatores	79
8.1.1. Apresentação dos Resultados Computacionais para o <i>TIAFIC</i>	79
8.1.2. Comparação das Distribuições Amostrais entre os Métodos <i>Bootstrap</i> e <i>Jackknife</i>	86
8.1.3. <i>TIAFIC</i>	87
8.1.4. <i>TIAFVP</i>	87
8.1.4.1. <i>TIAFVP Bootstrap</i>	89
8.1.4.2. <i>TIAFVP Jackknife</i>	89
8.2. Caso 2: Base Creme Dental	91
8.2.1. Apresentação dos Resultados Computacionais para o <i>TIAFIC</i>	92
8.2.2. Comparação das Distribuições Amostrais entre os Métodos <i>Bootstrap</i> e <i>Jackknife</i>	94
8.2.3. <i>TIAFIC</i>	95
8.2.4. <i>TIAFVP</i>	96
8.2.4.1. <i>TIAFVP Bootstrap</i>	96
8.2.4.2. <i>TIAFVP Jackknife</i>	97
8.3. Caso 3: Base Modo de Vida	98
8.3.1. Apresentação dos Resultados Computacionais para o <i>TIAFIC</i>	99
8.3.2. Comparação das Distribuições Amostrais entre os Métodos <i>Bootstrap</i> e <i>Jackknife</i>	102
8.3.3. <i>TIAFIC</i>	104
8.3.4. <i>TIAFVP</i>	105
8.3.4.1. <i>TIAFVP Bootstrap</i>	105
8.3.4.2. <i>TIAFVP Jackknife</i>	106
8.4. Caso 4: Base Qualidade Total	107
8.4.1. Análise dos Resultados <i>Bootstrap</i>	108
8.4.2. Análise dos Resultados <i>Jackknife</i>	110
8.5. Caso 5: Base Satisfação Body-Up	112
8.5.1. Análise dos Resultados <i>Bootstrap</i>	116
8.5.2. Análise dos Resultados <i>Jackknife</i>	118
8.6. Caso 6: Base População de Condatos Americanos	120
8.6.1. Análise dos Resultados <i>Bootstrap</i>	122
8.6.2. Análise dos Resultados <i>Jackknife</i>	124
8.7. Resumo dos Resultados dos Estudos de Caso	127
9. Comparação do TIAF com o Método Tradicional de Hair e Anderson	129
9.1. Estudo de Caso 6	129
9.1.1. Resultados pelo Método <i>Bootstrap</i>	130
9.1.2. Resultados pelo Método <i>Jackknife</i>	132
9.2. Estudo de Caso 3	134
9.2.1. Resultados pelo Método <i>Bootstrap</i>	134
9.2.2. Resultados pelo Método <i>Jackknife</i>	135

Conclusão	138
Referências Bibliográficas	142
Anexo 1 – Os Programas <i>Bootstrap</i> e <i>Jackknife</i> em R 2.1.1	146
Anexo 2 – O Programa <i>Bootstrap</i> em SAS V.8	155
Anexo 3 – O Programa <i>Jackknife</i> em SAS V.8	176
Anexo 4 – Tabelas dos Testes de Convergência	189