

# ESTATÍSTICA COMPUTACIONAL EM JAVA

DANIEL FURTADO FERREIRA



# ESTATÍSTICA COMPUTACIONAL EM JAVA

DANIEL FURTADO FERREIRA



Lavras - MG  
2013

© 2013 by Daniel Furtado Ferreira, 1ª edição: 2013.

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, por qualquer meio ou forma, sem a autorização escrita e prévia dos detentores do copyright.

Direitos de publicação reservados à Editora UFLA.

Impresso no Brasil - ISBN: 978-85-8127-013-5

#### UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

**REITOR:** José Roberto Soares Scolforo

**VICE-REITORA:** Édila Vilela de Resende Von Pinho



#### Editora UFLA

Campus UFLA - Pavilhão 5

Caixa Postal 3037 - 37200-000 - Lavras - MG

Tel: (35) 3829-1532 - Fax: (35) 3829-1551

E-mail: [editora@editora.ufla.br](mailto:editora@editora.ufla.br)

Homepage: [www.editora.ufla.br](http://www.editora.ufla.br)

**Diretoria Executiva:** Renato Paiva (Diretor)

**Conselho Editorial:** Renato Paiva (Presidente), Brígida de Souza, Flávio Meira Borém, Joelma Pereira, Luiz Antônio Augusto Gomes

**Administração:** Sebastião Gonçalves Filho

**Secretaria:** Késia Portela de Assis

**Comercial/Financeiro:** Emanuelle Roberta Silva de Castro, Glaucyane Paula Araujo Ramos, Quele Pereira de Gois

**Revisão de Texto:** Rose Mary Chalfoun Bertolucci

**Referências Bibliográficas:** Patrícia Carvalho de Moraes

**Editoração Eletrônica:** Daniel Furtado Ferreira. Apoio Editora UFLA.

**Capa:** Daniel Furtado Ferreira

#### Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca da UFLA

Ferreira, Daniel Furtado.

Estatística computacional em Java / Daniel Furtado Ferreira. – 1. ed.  
Lavras : Ed. UFLA, 2013.

695 p. : il.

Bibliografia.

ISBN 978-85-8127-013-5

1. Distribuições multivariadas. 2. Distribuições não-centrais. 3.  
Métodos Monte Carlo. I. Título

CDD - 519.50285

# Sumário

<b>Lista de Tabelas</b>	<b>10</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>12</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>15</b>
1.1 Estatística Computacional . . . . .	15
1.2 Simulação . . . . .	16
1.3 A Linguagem Java . . . . .	17
1.4 Exercícios . . . . .	17
<b>2 Geração de Amostras Aleatórias Uniformes</b>	<b>19</b>
2.1 Números Aleatórios Uniformes . . . . .	20
2.2 O Gerador Mersenne Twister . . . . .	28
2.3 Exercícios . . . . .	32
<b>3 Amostras de Variáveis Aleatórias Contínuas</b>	<b>33</b>
3.1 Teorema da Transformação de Probabilidades . . . . .	33
3.2 Distribuição Exponencial . . . . .	34
3.3 Distribuição Normal . . . . .	41
3.4 Distribuição Gama . . . . .	47
3.5 Distribuição Beta . . . . .	70
3.6 Outras Distribuições Contínuas . . . . .	101
3.7 Exercícios . . . . .	113
<b>4 Amostras de Variáveis Aleatórias Discretas</b>	<b>117</b>
4.1 Distribuição Binomial . . . . .	117
4.2 Distribuição Poisson . . . . .	129
4.3 Exercícios . . . . .	137
<b>5 Funções Especiais</b>	<b>139</b>
5.1 Função Gama . . . . .	139
5.1.1 Aproximações Numéricas . . . . .	142
5.1.2 Algoritmos em Java . . . . .	144
5.1.3 Relações com Outras Funções . . . . .	148
5.2 Função Digama . . . . .	149
5.3 Funções Poligama . . . . .	150
5.4 Função Gama Incompleta . . . . .	154

5.4.1	Aproximações Numéricas . . . . .	154
5.4.2	Algoritmos em Java . . . . .	159
5.4.3	Propriedades da Função Gama Incompleta . . . . .	167
5.5	Função Beta Incompleta . . . . .	169
5.5.1	Aproximações Numéricas . . . . .	171
5.5.2	Propriedades da Função Beta Incompleta . . . . .	172
5.5.3	Algoritmos em Java . . . . .	173
5.6	Exercícios . . . . .	181
<b>6</b>	<b>Distribuições de Probabilidades Discretas</b>	<b>183</b>
6.1	Notação e Conceitos Básicos . . . . .	183
6.2	Distribuição Bernoulli . . . . .	184
6.3	Distribuição Uniforme . . . . .	186
6.4	Distribuição Binomial . . . . .	187
6.4.1	Algoritmos em Java . . . . .	188
6.4.2	Aproximações das Probabilidades Binomiais . . . . .	192
6.5	Distribuição Geométrica . . . . .	194
6.5.1	Algoritmos em Java . . . . .	195
6.6	Distribuição Binomial Negativa . . . . .	198
6.6.1	Algoritmos em Java . . . . .	200
6.7	Distribuição Betabinomial . . . . .	202
6.7.1	Algoritmos em Java . . . . .	203
6.8	Distribuição Hipergeométrica . . . . .	207
6.8.1	Algoritmos em Java . . . . .	209
6.9	Distribuição Poisson . . . . .	216
6.9.1	Algoritmos em Java . . . . .	217
6.10	Exercícios . . . . .	219
<b>7</b>	<b>Distribuições de Probabilidades Contínuas</b>	<b>221</b>
7.1	Distribuição Exponencial . . . . .	221
7.1.1	Algoritmos em Java . . . . .	223
7.1.2	Distribuição Exponencial Generalizada . . . . .	223
7.2	Distribuição Cauchy . . . . .	224
7.2.1	Algoritmos em Java . . . . .	224
7.2.2	Distribuição Cauchy Generalizada . . . . .	225
7.3	Distribuição Uniforme . . . . .	226
7.3.1	Algoritmos em Java . . . . .	227
7.4	Distribuição Normal . . . . .	228
7.4.1	Aproximações Numéricas . . . . .	229
7.4.2	Algoritmos em Java . . . . .	231
7.5	Distribuição Gama . . . . .	235
7.6	Distribuição Beta . . . . .	236
7.7	Distribuição Lognormal . . . . .	237
7.7.1	Algoritmos em Java . . . . .	238

7.8	Distribuição Weibull . . . . .	240
7.8.1	Algoritmos em Java . . . . .	241
7.9	Distribuição Quiquadrado . . . . .	244
7.9.1	Aproximações Numéricas . . . . .	245
7.9.2	Algoritmos em Java . . . . .	246
7.10	Distribuição F . . . . .	248
7.10.1	Aproximações Numéricas . . . . .	249
7.10.2	Algoritmos em Java . . . . .	250
7.11	Distribuição $t$ de <i>Student</i> . . . . .	251
7.11.1	Aproximações Numéricas . . . . .	253
7.11.2	Algoritmos em Java . . . . .	254
7.12	Exercícios . . . . .	255
<b>8</b>	<b>Distribuições de Probabilidades Não-Centrais</b>	<b>257</b>
8.1	Introdução . . . . .	257
8.2	Distribuição Beta Não-Central . . . . .	259
8.2.1	Algoritmo de Benton e Krishnamoorthy . . . . .	261
8.2.2	Algoritmo de Baharev e Kemény . . . . .	264
8.2.3	Inversa da Função de Distribuição e Parâmetro de Não-Centralidade . . . . .	267
8.3	Distribuição Gama Não-Central . . . . .	279
8.3.1	Adaptação do Algoritmo de Benton e Krishnamoorthy . . . . .	280
8.3.2	Inversa da Função de Distribuição e Parâmetro de Não-Centralidade . . . . .	283
8.4	Distribuição $F$ Não-Central . . . . .	295
8.4.1	Algoritmos em Java . . . . .	296
8.4.2	Exemplos de Uso . . . . .	297
8.5	Distribuição Quiquadrado Não-Central . . . . .	300
8.5.1	Algoritmos em Java . . . . .	300
8.6	Distribuição $t$ de <i>Student</i> Não-Central . . . . .	302
8.6.1	Função de Distribuição . . . . .	303
8.6.2	Função Densidade e Inversa da Função de Distribuição . . . . .	308
8.6.3	Parâmetro de não-centralidade . . . . .	317
8.7	Distribuição do Coeficiente de Determinação Não-Central . . . . .	323
8.7.1	Parâmetro de Não-centralidade . . . . .	328
8.7.2	Função Densidade e Inversa da Função de Distribuição . . . . .	332
8.8	Exercícios . . . . .	338
<b>9</b>	<b>Algebra Matricial e Vetorial</b>	<b>339</b>
9.1	Introdução . . . . .	339
9.2	Álgebra Vetorial . . . . .	340
9.3	Álgebra Matricial . . . . .	355
9.3.1	Operações Matriciais Básicas . . . . .	355
9.3.2	Matrizes Especiais e Operações Matriciais Fundamentais . . . . .	363
9.3.3	Fatoração LU . . . . .	382
9.3.4	Fatoração Cholesky . . . . .	391

9.3.5	Transformação de Matrizes e Fatoração QR . . . . .	398
9.3.6	Formas Quadráticas . . . . .	410
9.3.7	Decomposição do Valor Singular e Inversa de Moore-Penrose . . . . .	426
9.4	Exercícios . . . . .	438
<b>10</b>	<b>Amostras de Variáveis Aleatórias Multidimensionais</b>	<b>441</b>
10.1	Introdução . . . . .	441
10.2	Distribuição Uniforme Multivariada . . . . .	444
10.3	Distribuição Normal Multivariada . . . . .	454
10.4	Distribuição $t$ Multivariada . . . . .	457
10.5	Distribuições Wishart e Wishart Invertida . . . . .	460
10.6	Distribuição Dirichlet . . . . .	464
10.7	Distribuição Multinomial . . . . .	469
10.8	Outras Distribuições Multivariadas . . . . .	474
10.9	Exercícios . . . . .	474
<b>11</b>	<b>Estatísticas Descritivas</b>	<b>477</b>
11.1	Algoritmos Univariados . . . . .	477
11.2	Algoritmos para Vetores Médias e Matrizes de Covariâncias . . . . .	483
11.3	Exercícios . . . . .	488
<b>12</b>	<b>Métodos Estatísticos Computacionalmente Intensivos</b>	<b>491</b>
12.1	Introdução . . . . .	491
12.2	Visão Geral dos Métodos Computacionalmente Intensivos . . . . .	492
12.2.1	Métodos Monte Carlo . . . . .	492
12.2.2	Métodos <i>Bootstrap</i> . . . . .	495
12.2.3	Testes de Aleatorização . . . . .	496
12.2.4	Métodos <i>Jackknife</i> . . . . .	497
12.3	O Método Monte Carlo em Detalhe . . . . .	499
12.3.1	Teste Monte Carlo de Normalidade Univariada . . . . .	501
12.3.2	Teste Monte Carlo Para Normalidade Multivariada . . . . .	519
12.4	Exercícios . . . . .	535
<b>13</b>	<b>Métodos <i>Bootstrap</i></b>	<b>537</b>
13.1	Introdução . . . . .	537
13.2	<i>Bootstrap</i> Não-Paramétrico . . . . .	537
13.2.1	Estimação . . . . .	539
13.2.1.1	Intervalo de Confiança Padrão de <i>Bootstrap</i> . . . . .	540
13.2.1.2	Intervalo de Confiança Baseado em Percentis <i>Bootstrap</i> . . . . .	541
13.2.1.3	Intervalo de Confiança Básico de <i>Bootstrap</i> . . . . .	543
13.2.1.4	Intervalo de Confiança $t$ de <i>Bootstrap</i> . . . . .	543
13.2.1.5	Intervalo de Confiança <i>Bootstrap</i> com Correção de Viés Acelerado . . . . .	545
13.2.1.6	Intervalo de Confiança <i>Bootstrap</i> com Correção de Viés . . . . .	547
13.2.1.7	Algoritmos para Intervalos de Confiança <i>Bootstrap</i> . . . . .	547
13.2.2	Testes de Hipóteses . . . . .	556

13.3	<i>Bootstrap</i> Paramétrico . . . . .	561
13.3.1	Estimação . . . . .	562
13.3.2	Testes de Hipóteses . . . . .	568
13.4	Exercícios . . . . .	577
<b>14</b>	<b>Estatísticas de Ordem e Comparações Múltiplas</b>	<b>579</b>
14.1	Estatística de Ordem . . . . .	579
14.2	Distribuição da <i>Midrange</i> e da Amplitude . . . . .	584
14.3	Quadraturas Gaussianas . . . . .	586
14.4	Algoritmos: Distribuições da <i>Midrange</i> e Amplitude Normais . . . . .	597
14.5	Distribuição da Amplitude Estudentizada Internamente . . . . .	614
14.6	Distribuição da <i>Midrange</i> Estudentizada . . . . .	615
14.7	Testes Baseados na Amplitude Estudentizada . . . . .	622
14.7.1	Distribuição da Amplitude Estudentizada . . . . .	623
14.7.2	Distribuição do Máximo de $c$ Amplitudes Estudentizadas . . . . .	628
14.7.3	Distribuição do Máximo Módulo Estudentizado . . . . .	634
14.8	Teste de Dunnett . . . . .	640
14.8.1	Distribuição da Estatística de Dunnett . . . . .	640
14.8.2	Funções Densidades das Estatísticas de Dunnett . . . . .	662
14.8.3	Quantis da Distribuição das Estatísticas de Dunnett . . . . .	675
14.9	Exercícios . . . . .	678
<b>15</b>	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>681</b>
	<b>Índice Remissivo</b>	<b>689</b>

# Lista de Tabelas

2.1	Tempo relativo requerido para gerar $10^8$ realizações de variáveis aleatórias uniformes, considerando os diversos métodos implementados em Java e os métodos <i>Math.random()</i> e <i>nextDouble()</i> da classe <i>Random</i> . . . . .	30
3.1	Tempo requerido para gerar uma realização de uma variável aleatória gama padrão em <i>ns</i> , considerando os diversos métodos implementados em Java e discutidos nessa seção. . . . .	70
4.1	Tempo requerido para gerar uma realização de uma variável aleatória Poisson em <i>ns</i> para a função KEMPOIS, se $\lambda > 10$ ou para <i>Pinv</i> , se $\lambda \leq 10$ . . . . .	137
5.1	Valores exatos e aproximados do logaritmo da função gama, utilizando os algoritmos <i>lnFunGamaLanczos</i> e <i>lnFunGamaWatson</i> e tempo médio de processamento para obter o valor da função em <i>ns</i> em 10.000.000 repetições. . . . .	147
12.1	Taxas de erro tipo I, observadas em 2.000 simulações Monte Carlo sob a hipótese nula $H_0$ de normalidade para os testes de normalidade univariada Monte Carlo (TNUMC) e Shapiro-Wilk (TNUSW) e valor- <i>p</i> , utilizando o teste binomial exato para a hipótese de que os tamanhos dos testes de normalidade sejam iguais ao valor nominal de significância de 5% ou de 1%, em função de diferentes tamanhos de amostras <i>n</i> . . . . .	516
12.2	Taxas de erro tipo I, observadas em 2.000 simulações Monte Carlo sob a hipótese nula $H_0$ de normalidade para os testes de normalidade univariada Monte Carlo (TNUMC) e Shapiro-Wilk (TNUSW) e valor- <i>p</i> , utilizando o teste binomial exato para a hipótese de que os tamanhos dos testes de normalidade sejam iguais ao valor nominal de significância de 5% ou de 1%, para $n = 100$ em função de diferentes número de simulações Monte Carlo <i>N</i> para aplicar o teste. . . . .	517
12.3	Poder para os testes de normalidade univariada Monte Carlo (TNUMC) e Shapiro-Wilk (TNUSW), observado em 2.000 simulações Monte Carlo sob a hipótese alternativa $H_1$ , considerando distribuições gama com $\alpha = 0,5$ G(0,5) e $\alpha = 1,5$ G(1,5), lognormal, LN, beta com parâmetros ( $\alpha = 1, \beta = 1$ ) B(1, 1) e ( $\alpha = 1,5, \beta = 2$ ) B(1,5, 2), fixado o valor nominal de significância em 5%. . . . .	518
12.4	Poder para os testes de normalidade univariada Monte Carlo (TNUMC) e Shapiro-Wilk (TNUSW), observado em 2.000 simulações Monte Carlo sob a hipótese alternativa $H_1$ , considerando distribuições gama com $\alpha = 0,5$ G(0,5) e $\alpha = 1,5$ G(1,5), lognormal, LN, beta com parâmetros ( $\alpha = 1, \beta = 1$ ) B(1, 1) e ( $\alpha = 1,5, \beta = 2$ ) B(1,5, 2), fixado o valor nominal de significância em 1%. . . . .	518

12.5	Poder para os testes de normalidade univariada Monte Carlo (TNUMC) e Shapiro-Wilk (TNUSW) observado em função de diferentes números de simulações Monte Carlo $N$ , sob a hipótese alternativa $H_1$ considerando a distribuição gama com $\alpha = 0,5$ $G(0,5)$ , para os valores nominais de significância de 1% e 5%, fixados os valores de $n$ e $N_{MC}$ em 30 e 2.000, respectivamente. . . . .	519
12.6	Taxas de erro tipo I observadas em 2.000 simulações Monte Carlo, sob a hipótese nula $H_0$ de normalidade multivariada, para os testes de normalidade multivariada Monte Carlo (TNMMC) e Shapiro-Wilk (TNMSW) e valor- $p$ , utilizando o teste binomial exato para a hipótese de que os tamanhos dos testes de normalidade sejam iguais ao valor nominal de significância de 5% ou de 1%, em função dos tamanhos de amostras $n$ e do número de variáveis. . . . .	533
12.7	Poder para os testes de normalidade multivariada Monte Carlo (TNMMC) e Shapiro-Wilk (TNMSW) observado em 2.000 simulações Monte Carlo sob a hipótese alternativa $H_1$ , considerando distribuições uniforme, $U$ , Dirichlet, $D$ , $t$ multivariada com $\nu = 1$ , $T(1)$ , e $\nu = 30$ , $T(30)$ , graus de liberdade, fixado o valor nominal de significância em 1%. . . . .	534
12.8	Poder para os testes de normalidade multivariada Monte Carlo (TNMMC) e Shapiro-Wilk (TNMSW) observado em 2.000 simulações Monte Carlo sob a hipótese alternativa $H_1$ , considerando distribuições uniforme, $U$ , Dirichlet, $D$ , $t$ multivariada com $\nu = 1$ , $T(1)$ , e $\nu = 30$ , $T(30)$ , graus de liberdade, fixado o valor nominal de significância em 5%. . . . .	534
13.1	Taxas de erro tipo I observadas em 2.000 simulações Monte Carlo sob a hipótese nula $H_0$ de normalidade multivariada para os testes de normalidade multivariada bootstrap paramétrico, usando o coeficiente de determinação médio (TNMBPMed) e máximo (TNMBPMax) e valor- $p$ utilizando o teste binomial exato para a hipótese de que os tamanhos dos testes de normalidade sejam iguais ao valor nominal de significância de 5% ou de 1%, em função dos tamanhos de amostras $n$ e do número de variáveis. . . . .	576
13.2	Poder para os testes de normalidade multivariada Monte Carlo (TNMBPMed) e Shapiro-Wilk (TNMBPMax), observado em 2.000 simulações Monte Carlo sob a hipótese alternativa $H_1$ , considerando distribuições uniforme, $U$ , Dirichlet, $D$ , $t$ multivariada com $\nu = 1$ , $T(1)$ , e $\nu = 30$ , $T(30)$ , graus de liberdade, fixado o valor nominal de significância em 5%. . . . .	577

# Lista de Figuras

2.1	Esquema para eliminar a correlação serial do gerador padrão mínimo de números aleatórios, casualizando as 32 posições do vetor $iv$ . Em cada chamada do gerador, uma posição aleatória das 32 de $iv$ é determinada pelo número aleatório do passo anterior $iy$ , $oldSem$ . O valor da posição de $iv$ é substituído pelo novo número aleatório $sem$ , $actualSem$ , e o conteúdo anterior da posição de $iv$ será o número aleatório do passo $i + 1$ , qual seja, $iy_{i+1}$ . A sequência de passos é indicada no esquema pelas setas numeradas para a ordem de ocorrência dos eventos. . . . .	24
3.1	Ilustração do teorema fundamental da transformação de probabilidades para gerar uma realização de uma variável aleatória $X$ com função densidade $f(x) = F'(x)$ . A partir de um número aleatório uniforme $u_0$ , a função de distribuição é invertida nesse ponto para se obter $x_0$ , com densidade $f(x)$ . . . . .	35
3.2	Função densidade $f(x) = e^{-x}$ e de distribuição de probabilidade $F(x) = 1 - e^{-x}$ para uma exponencial com $\lambda = 1$ . . . . .	36
3.3	Círculo unitário mostrando um ponto aleatório $(u_1, u_2)$ com $R^2 = u_1^2 + u_2^2$ representando $x_1$ e $\theta$ o ângulo que o ponto $(u_1, u_2)$ determina em relação ao eixo 1. No exemplo, o ponto está situado no círculo unitário de raio $r = 1$ , conforme é exigido. . . . .	44
3.4	Método da rejeição para gerar um valor $x_0$ da variável aleatória $X$ com função densidade $f(x)$ que é menor do que $g(x)$ para todo $x$ . Nessa ilustração, $x_0$ deve ser aceito. . . . .	49
3.5	Tempo médio do número de iterações necessário para os geradores de realizações beta de Jöhnk e de Berman em função dos parâmetros $\alpha$ e $\beta$ . . . . .	74
5.1	Comportamento da função gama completa, $\Gamma(z)$ , para valores do argumento $z > 0$ , $z \in \mathbb{R}$ .	140
5.2	Exemplos da função gama incompleta para diferentes valores do argumento $\alpha > 0$ , $\alpha \in \mathbb{R}$ .	155
5.3	Exemplos da função beta incompleta para diferentes valores dos seus argumentos, $a > 0$ e $b > 0$ . . . . .	170
9.1	Efeito da multiplicação de um vetor $\mathbf{y}$ por diferentes escalares, como 2, $-1$ , $-3$ e 0,5. . . .	341
9.2	Regra do paralelogramo ilustrando a soma dos vetores $\mathbf{x}$ e $\mathbf{y}$ , resultando no vetor $\mathbf{z}$ . . . .	341
9.3	Rotação ortogonal por um ângulo $\theta$ do vetor $\mathbf{x}$ , resultando no vetor $\tilde{\mathbf{x}}$ , cujo comprimento é preservado. . . . .	399
9.4	Reflexão do vetor $\mathbf{x}$ em relação aos vetores ortonormais $\mathbf{u}$ e $\mathbf{v}$ que geram o espaço bidimensional, resultando nos vetores $\tilde{\mathbf{x}}$ e $\tilde{\tilde{\mathbf{x}}}$ , respectivamente. . . . .	400
12.1	Distribuição de frequências dos valores- $p$ considerando os testes de normalidade univariados Monte Carlo para $n = 5$ (a) e $n = 100$ (b) e Shapiro-Wilk para $n = 5$ (c) e $n = 100$ (d), utilizando 2.000 simulações Monte Carlo sob a hipótese nula. . . . .	515

# Prefácio

Neste livro tivemos a intenção de abordar o tema de estatística computacional que é tão importante para a comunidade científica e, principalmente, para os estudantes dos cursos de pós-graduação em estatística. Podemos afirmar sem medo de errar que a estatística computacional se tornou e é, hoje em dia, uma das principais áreas da estatística. Além do mais, os conhecimentos dessa área podem ser, e frequentemente são, utilizados em outras áreas da estatística, da engenharia e da física. A inferência bayesiana é um desses exemplos típicos em que geralmente utilizamos uma abordagem computacional. Quando pensamos neste livro tivemos muitas dúvidas do que tratar e como abordar cada tópico escolhido. Assim, optamos por escrever um livro que propiciasse ao leitor ir além de um simples receituário, mas que, no entanto, não o fizesse se perder em um emaranhado de demonstrações. Por outro lado buscamos apresentar os modelos e os métodos de uma forma bastante abrangente e não restritiva.

Uma outra motivação que nos conduziu e nos encorajou a desenvolver este projeto, foi a experiência que possuímos, adquirida em pesquisas que utilizam os conceitos e métodos da estatística computacional. Com um acúmulo de experiência e de conhecimento nessa área sentimos a necessidade de repassarmos e divulgarmos para nossos discípulos tudo que havíamos até então conseguido aprender, fugindo do hedonismo que, muitas vezes, assola os professores e pesquisadores. Também fizemos isso pensando no benefício pessoal, não podemos negar, que isso nos traria ao entrarmos em contato direto com a vasta publicação existente nesse ramo da estatística. Não temos, todavia, a intenção de estudar neste livro todos os assuntos e nem mesmo pretendemos para um determinado tópico, esgotar todas as possibilidades. Pelo contrário, esperamos que este livro seja uma introdução a estatística computacional e que sirva de motivação para que os estudantes dos cursos de graduação e pós-graduação em estatística possam se adentrar ainda mais nessa área.

Desejando aprofundar nos conhecimentos dessa maravilhosa linguagem de programação Java, buscamos escrever os inúmeros métodos e classes dos diferentes tópicos que tratamos nesta obra. Esperamos que este livro venha a ser uma boa opção para os profissionais da estatística computacional e que possa, ainda, ser adotado nos cursos de graduação e pós-graduação de estatística, como livro texto da disciplina estatística computacional. Dessa forma, nosso objetivo terá sido atingido.

Gostaríamos de agradecer inicialmente as agências de fomento à pesquisa CNPq, FAPEMIG e CAPES pelo suporte financeiro. Tivemos sempre bolsas de pesquisas, projetos aprovados nessas agências, bolsas para nossos orientados que colaboraram com a construção deste livro desenvolvendo alguns assuntos como parte de suas pesquisas de mestrado ou doutorado. Sempre fomos apoiados nas nossas participações em congresso. Muitas pessoas também nos apoiaram e merecem nosso agradecimento. Não mencionaremos nomes, pois incorreríamos fatalmente em algum lamentável e imperdoável esquecimento. Então, a todos

que apoiaram, ajudaram e contribuíram para este livro, nossos sinceros agradecimentos. Aos nossos familiares deixamos aqui registrada a mensagem de quão importante eles são e que sem eles essa obra jamais poderia ter sido construída. Aos estudantes, professores e pesquisadores que irão usar este livro, esperamos que suas expectativas sejam alcançadas e que essa obra venha a ser útil para seus aprendizados, suas aulas e suas pesquisas, respectivamente. As rotinas computacionais deste livro estão disponibilizadas em nossa página pessoal: [www.dex.ufla.br/~danielff](http://www.dex.ufla.br/~danielff).

*“Noli laetari nisi quum benefeceris”*

**Daniel Furtado Ferreira**

3 de julho de 2013