

**MODELO PARA A ANÁLISE DE RISCO ECONÔMICO  
APLICADO AO PLANEJAMENTO DE PROJETOS DE  
IRRIGAÇÃO PARA CULTURA DO CAFEIEIRO**

**JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA**

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura  
“Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo,  
para obtenção do título de Doutor em Agronomia,  
Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

**PIRACICABA**  
**Estado de São Paulo – Brasil**  
**Março – 2001**

**MODELO PARA A ANÁLISE DE RISCO ECONÔMICO  
APLICADO AO PLANEJAMENTO DE PROJETOS DE  
IRRIGAÇÃO PARA CULTURA DO CAFEEIRO**

**JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA**

**Engenheiro Agrícola**

**Orientador: Prof. Dr. JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE**

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura  
“Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo,  
para obtenção do título de Doutor em Agronomia,  
Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

**PIRACICABA  
Estado de São Paulo – Brasil  
Março – 2001**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP**

Souza, Jorge Luiz Moretti de

Modelo para a análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro / Jorge Luiz Moretti de Souza. - - Piracicaba, 2001.  
253 p.

Tese (doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,  
2001.  
Bibliografia.

1. Análise de risco 2. Café 3. Irrigação 4. Modelo matemático 5. Tomada de decisão  
I. Título

CDD 633.73

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

Às minhas duas queridas meninas Helayne e  
Mariana, pelo amor e companheirismo,

**Dedico**

À minha mãe Onélia,  
irmãos, parentes e amigos

**Homenageio**

## AGRADECIMENTOS

- À Universidade Federal do Paraná pela liberação para cursar o doutorado.
- Ao Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/USP, pelo acolhimento e oportunidade de realização do curso de Doutorado.
- Ao Prof. Dr. José Antônio Frizzone, DER/ESALQ/USP, pela orientação, amizade e ensinamentos.
- Ao Programa Institucional de Capacitação de Docentes e Técnicos/CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.
- Aos professores do curso de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem pelo apoio e ensinamentos que contribuíram muito para minha formação.
- À todos os colegas do Depto. de Solos e Engenharia Agrícola e Depto. de Engenharia e Tecnologia Rurais, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, pela amizade, incentivo e liberação para realização deste curso.
- Aos Professores Antônio Augusto Alves Pereira, Masato Kobiyama, Paulo Cesar Sentelhas, Rubens Duarte Coelho e Tarlei Arriel Botrel, pelas correções e sugestões apresentadas para melhorar o trabalho desenvolvido.
- Aos colegas Eliezer Santurbano Gervásio, Luis Gustavo Barioni e Marco Antônio Fonseca Conceição, pela inestimável ajuda em algumas etapas do desenvolvimento desse trabalho.
- À todos os grandes colegas do curso pelo companheirismo, incentivo e cooperação.
- À bibliotecária Kátia M. Andrade de Ferraz, pelo auxílio na revisão bibliográfica.
- À todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para que este trabalho pudesse ser realizado, meu especial agradecimento.

## SUMÁRIO

	Página
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>xx</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xxii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.1 O café – considerações gerais .....	4
2.2 Irrigação .....	10
2.2.1 Considerações gerais sobre a irrigação .....	10
2.2.2 Irrigação do cafeeiro .....	10
2.2.3 Sistemas de irrigação e cafeicultura .....	11
2.2.4 Fertirrigação no cafeeiro .....	15
2.2.5 Deficiência hídrica nas fases de desenvolvimento do cafeeiro .....	15
2.2.6 Parâmetros de crescimento do cafeeiro irrigado .....	16
2.3 Espaçamento para o plantio do cafeeiro .....	17
2.4 Produtividade do cafeeiro e sua vida útil .....	19
2.5 Modelos de balanço hídrico .....	23
2.5.1 Precipitação .....	26
2.5.2 Evapotranspiração de referência .....	27
2.5.2.1 Coeficiente de cultivo do cafeeiro ( $K_c$ ) .....	29
2.5.3 Armazenamento de água no solo .....	32
2.5.3.1 Profundidade do sistema radicular do cafeeiro .....	33
2.6 Custos de produção .....	35
2.6.1 Custos fixos na cafeicultura e irrigação .....	37
2.6.1.1 Depreciação .....	38
2.6.1.2 Demais custos fixos .....	39
2.6.2 Custos variáveis na cafeicultura e irrigação .....	39
2.6.2.1 Comentário sobre alguns componentes dos custos variáveis .....	39
2.6.3 Custo do sistema de irrigação .....	42
2.6.4 Custo total da cafeicultura com irrigação .....	43

2.7 Preços do café .....	44
2.8 Critérios de análise econômica .....	47
2.9 Modelos aplicados à análise de risco .....	48
<b>3 MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>51</b>
3.1 Etapas de desenvolvimento do trabalho .....	51
3.2 Modelo proposto .....	52
3.2.1 Simulação do balanço hídrico decendial .....	52
3.2.1.1 Valores decendiais de precipitação provável .....	53
3.2.1.2 Valores decendiais da evapotranspiração de referência .....	53
3.2.1.3 Valores dos coeficientes de cultivo .....	54
3.2.1.4 Armazenamento de água no solo .....	54
3.2.1.5 Manejo da irrigação .....	56
3.2.2 Volume bruto de água e tempo gasto anualmente nas irrigações .....	57
3.2.3 Cálculo do faturamento da energia elétrica .....	58
3.2.3.1 Tarifa convencional .....	60
3.2.3.2 Tarifa azul .....	62
3.2.3.3 Tarifa verde .....	64
3.2.3.4 Utilização das equações de tarifas horo-sazonais no trabalho .....	66
3.2.4 Estimativa do consumo de energia elétrica pelo sistema de irrigação .....	67
3.2.5 Cálculo do consumo e despesas com diesel .....	68
3.2.6 Cálculo das despesas com água .....	69
3.2.7 Custo de produção considerando risco .....	69
3.2.7.1 Custos variáveis .....	70
3.2.7.2 Custos fixos .....	74
3.2.7.3 Cálculo do custo total .....	77
3.2.7.4 Cálculo dos benefícios .....	77
3.2.7.5 Critérios de avaliação econômica .....	80
3.2.8 Análise estatística dos dados amostrados .....	81
3.2.9 Processo de simulação .....	83
3.2.9.1 Distribuições de probabilidade aplicadas ao método de Monte Carlo .....	83
3.3 Levantamento de dados para compor os “formulários ajuda” do modelo .....	86
3.4 Dados para aplicação do modelo .....	86
3.4.1 Local para realização das análises .....	86
3.4.1.1 Características climáticas das regiões onde estão as propriedades .....	87
3.4.1.2 Identificação e Especificação das duas propriedades .....	88
3.4.1.3 Sistema de irrigação e fonte de energia .....	88

3.4.2	Dados meteorológicos .....	89
3.4.2.1	Valores de evapotranspiração de referência e precipitação provável .....	90
3.4.2.2	Evapotranspiração da cultura ( <i>ETc</i> ) e coeficientes de cultivo ( <i>Kc</i> ) .....	92
3.4.2.3	Armazenamento de água no solo .....	93
3.4.2.4	Manejo da irrigação .....	94
3.4.3	Quantificação dos itens do custo fixo e variável .....	94
3.4.3.1	Dados para realização do teste de aderência e determinação dos parâmetros estatísticos .....	97
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>98</b>
4.1	Descrição da estrutura desenvolvida no modelo .....	98
4.1.1	Fluxograma dos principais arquivos de utilização do modelo .....	100
4.1.2	Arquivos de utilização .....	102
4.1.3	Identificação e especificação dos cenários .....	103
4.1.4	Balanço hídrico climatológico decendial .....	105
4.1.4.1	Valores decendiais de precipitação provável .....	105
4.1.4.2	Simulação dos valores decendiais da evapotranspiração de referência ....	106
4.1.4.3	Valores dos coeficientes de cultivo .....	108
4.1.4.4	Manejo da irrigação .....	109
4.1.4.5	Armazenamento de água no solo .....	110
4.1.4.6	Simulação do balanço hídrico decendial .....	111
4.1.5	Fonte de energia .....	114
4.1.5.1	Tarifas e taxas .....	114
4.1.5.2	Opções para o cálculo dos gastos com energia e água .....	115
4.1.5.3	Simulação dos gastos com energia e água nas irrigações .....	117
4.1.5.4	Linhas de transmissão .....	118
4.1.6	Parâmetros dos itens do custo de produção .....	119
4.1.6.1	Parâmetros estatísticos dos itens que participam do custo de produção ...	120
4.1.6.2	Tabelas auxiliares .....	122
4.1.7	Análise estatística dos dados amostrados .....	123
4.1.7.1	Frequência e teste de aderência dos dados amostrados .....	123
4.1.8	Custo de produção com análise de risco .....	127
4.1.8.1	Opções para análise dos itens do custo de produção .....	127
4.1.8.2	Resultado da análise de simulação do custo de produção .....	129
4.1.8.3	Frequência encontrada nas simulações .....	131
4.1.8.4	Resultados do custo de produção ao longo da vida útil da cultura .....	132
4.1.9	Módulos e formulários informativos .....	132



4.1.10	Considerações quanto a utilização do modelo .....	135
4.2	Aplicação do modelo .....	137
4.2.1	Avaliação do módulo “Balanço hídrico climatológico decendial” .....	137
4.2.1.1	Considerações quanto a evapotranspiração das duas regiões .....	137
4.2.1.2	Considerações quanto a precipitação provável nas duas regiões .....	139
4.2.1.3	Considerações quanto ao número adequado de simulações .....	141
4.2.1.4	Valores de evapotranspiração da cultura ( <i>ETc</i> ), observados e simulados nas duas regiões .....	144
4.2.1.5	Valores de irrigação, evapotranspiração real, deficiência e excedente hídrico simulados para as duas propriedades .....	149
4.2.1.6	Simulação do balanço hídrico climatológico para Fazenda Macaubas a partir da precipitação provável de Lavras .....	162
4.2.1.7	Resultados alcançados com o módulo “Balanço hídrico climatológico” .	164
4.2.2	Avaliação do módulo “Fonte de energia” .....	167
4.2.2.1	Considerações quanto a composição do “cenário fonte de energia” .....	167
4.2.2.2	Determinação do consumo e gasto anual com energia elétrica .....	167
4.2.2.3	Determinação do consumo e gasto com diesel .....	173
4.2.2.4	Determinação do consumo e gasto com água .....	176
4.2.2.5	Simulação dos gastos com energia e água na Fazenda Macaubas a partir da precipitação provável de Lavras .....	179
4.2.2.6	Resultados alcançados no módulo “Fonte de energia” .....	181
4.2.3	Avaliação do módulo “Análise estatística dos dados amostrados” .....	182
4.2.4	Avaliação do módulo “Custo de produção com análise de risco” .....	184
4.2.4.1	Avaliação das séries de preços do café .....	184
4.2.4.2	Porcentagem ótima de venda do café ao longo dos trimestres do ano .....	187
4.2.4.3	Função de produção do cafeeiro .....	190
4.2.5	Análise da cafeicultura irrigada sob condição de risco econômico .....	200
4.2.5.1	Análise da cafeicultura irrigada na propriedade Faria .....	203
4.2.5.2	Análise da cafeicultura irrigada na propriedade Macaubas .....	214
4.2.5.3	Consideração de eventualidades na cafeicultura irrigada .....	226
4.2.5.4	Considerações gerais sobre os resultados obtidos com o módulo “Custo de produção com análise de risco” .....	232
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>236</b>
6	<b>CONSIDERAÇÕES PARA O APERFEIÇOAMENTO DO MODELO ...</b>	<b>236</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>239</b>
	<b>ANEXO</b> .....	<b>249</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Zoneamento agroclimático para a cultura do café arábica no Estado de Minas Gerais, realizado por Antunes (1978) .....	8
2 Índice sazonal do preço pago ao produtor paulista pela saca de café de 60kg – 1980 a 1997 .....	45
3 Preço do café no Brasil: ano cívil 1969 a 1997 .....	46
4 Fluxo da depreciação linear, dentro de uma mesma simulação .....	75
5 Esquema do fluxo de caixa de um projeto .....	81
6 Tela inicial do “Modelo para a análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro” .....	99
7 Índice geral para acessar os “arquivos de utilização” do <i>MORETTI</i> .....	99
8 Exemplo de “formulário índice” que é aberto a partir dos botões de comando existentes no “formulário índice geral” do <i>MORETTI</i> .....	100
9 Fluxograma da estrutura principal do <i>MORETTI</i> .....	101
10 Formulário para introduzir as informações sobre a propriedade, no módulo “Identificação e especificação dos cenários” do <i>MORETTI</i> .....	104
11 Formulário para introduzir as especificações nas caixas de opção, no módulo “Identificação e especificação dos cenários do <i>MORETTI</i> .....	104
12 Formulário para introduzir o valor da precipitação provável de uma região, no módulo “Balanço hídrico climatológico decendial” do <i>MORETTI</i> .....	106
13 Formulário destinado à entrada dos valores de <i>ET<sub>o</sub></i> de uma região, no módulo “Balanço hídrico climatológico decendial” do <i>MORETTI</i> ...	107
14 Formulário destinado à entrada dos coeficientes de cultivo medido, no módulo “Balanço hídrico climatológico decendial” do <i>MORETTI</i> .....	108
15 Formulário destinado à entrada dos coeficientes de cultivo estimados, no módulo “Balanço hídrico climatológico decendial” do <i>MORETTI</i> .....	109
16 Formulário para a seleção e opção do manejo de irrigação, no módulo “Balanço hídrico climatológico decendial” do <i>MORETTI</i> .....	110
17 Formulário destinado à entrada dos dados necessários ao cálculo da <i>CAD</i> e <i>AD</i> , no módulo “Balanço hídrico climatológico decendial” do <i>MORETTI</i> ...	111
18 Formulário destinado às opções e cálculo do balanço hídrico climatológico decendial seqüencial, no <i>MORETTI</i> .....	112

19	Formulário que controla a saída dos parâmetros estatísticos do balanço hídrico climatológico decendial seqüencial, simulados no <i>MORETTI</i> .....	113
20	Formulário para introduzir as tarifas de energia elétrica e água, taxa de ICMS e preço do óleo diesel, no módulo “Fonte de Energia” do <i>MORETTI</i> .	115
21	Formulário destinado à entrada das opções para o cálculo dos gastos com energia e água, no módulo “Fonte de energia” do <i>MORETTI</i> .....	116
22	Formulário destinado à realização da simulação dos gastos com energia e água nas irrigações, no módulo “Fonte de energia” do <i>MORETTI</i> .....	117
23	Formulário para realizar a estimativa do preço de uma rede de distribuição em baixa tensão (< 75kVA), no módulo “Fonte de energia” do <i>MORETTI</i> ..	119
24	Formulário para introduzir os parâmetros estatísticos das distribuições de probabilidade, que representam os indicadores econômicos dos itens dos custos fixos e variáveis, no módulo “Parâmetros dos itens do custo de produção” do <i>MORETTI</i> .....	120
25	Formulário destinado ao cálculo da frequência e teste de aderência de uma amostra de dados, no módulo “Análise estatística dos dados amostrados” do <i>MORETTI</i> .....	124
26	Formulário para a saída dos resultado da análise do teste de aderência, no módulo “Análise estatística dos dados amostrados” do <i>MORETTI</i> .....	125
27	Formulário para identificação do cenário que irá armazenar os parâmetros das distribuições de probabilidade da análise estatística, no módulo “Análise estatística dos dados amostrados” do <i>MORETTI</i> .....	126
28	Formulário para realizar a atualização de valores monetários, no módulo “Análise estatística dos dados amostrados” do <i>MORETTI</i> .....	127
29	Formulário destinado à entrada das opções para a simulação da análise de custo de produção, no módulo “Custo de produção com análise de risco” do <i>MORETTI</i> .....	129
30	Formulário que controla a saída dos resultados da análise de custo, no módulo “Custo de produção com análise de risco” do <i>MORETTI</i> .....	130
31	Formulário que controla a saída dos resultados de frequência, encontrada nas análise de simulação, no módulo “Custo de produção com análise de risco” do <i>MORETTI</i> .....	131
32	Formulário destinado à saída dos resultados dos itens de custo, ao longo da vida útil da cultura, no módulo “Custo de produção com análise de risco” do <i>MORETTI</i> .....	132
33	Valores decendiais médios da evapotranspiração de referência ( <i>E<sub>to</sub></i> , mm/decêndio) para as regiões de Lavras e Araguari, MG .....	139

34	Valores decendiais de precipitação provável a 75% de probabilidade para as regiões de Lavras e Araguari, MG .....	140
35	Parâmetros estatísticos da $ET_c$ do cafeeiro adulto, simulados com a distribuição de probabilidade triangular, para a região de Lavras, MG .....	142
36	Parâmetros estatísticos da $ET_c$ do cafeeiro adulto, simulados com a distribuição de probabilidade normal, para a região de Lavras, MG .....	142
37	Menor valor (a), maior valor (b), moda (c) e média (d) da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), observada e simulada pela distribuição de probabilidade triangular e normal, nos anos de desenvolvimento do cafeeiro na região de Lavras, MG .....	146
38	Menor valor (a), maior valor (b), moda (c) e média (d) da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), observada e simulada pela distribuição de probabilidade triangular e normal, nos anos de desenvolvimento do cafeeiro na região de Araguari, MG .....	147
39	Valores médios de irrigação (mm/ano) no ano $X_n$ (cultura adulta) do cafeeiro, a partir da função exponencial e linear-exponencial, para a propriedade Faria, situada em Lavras, MG .....	150
40	Valores médios de irrigação (mm/ano) no ano $X_n$ (cultura adulta) do cafeeiro, a partir da função exponencial e linear-exponencial, para a propriedade Macaubas, situada em Araguari, MG .....	151
41	Valores médios de evapotranspiração real ( $ER$ , mm/ano) no ano $X_n$ (cultura adulta) do cafeeiro, a partir da função exponencial e linear-exponencial, para a propriedade Faria, situada em Lavras, MG .....	153
42	Valores médios de $ER$ (mm/ano) no ano $X_n$ (cultura adulta) do cafeeiro, com a função exponencial e linear-exponencial, para a propriedade Macaubas, situada em Araguari, MG .....	155
43	Valores médios de deficiência hídrica ( $DEF$ , mm/ano) no ano $X_n$ (cultura adulta) do cafeeiro, com as funções exponencial e linear-exponencial, para a propriedade Faria, situada em Lavras, MG .....	157
44	Valores médios de deficiência hídrica ( $DEF$ , mm/ano) no ano $X_n$ (cultura adulta) do cafeeiro, com as funções exponencial e linear-exponencial, para a propriedade Macaubas, situada em Araguari, MG .....	157
45	Valores médios de excedente hídrico ( $EXC$ , mm/ano) nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, obtidos a partir das funções exponencial e linear-exponencial, para a propriedade Faria, situada em Lavras, MG .....	161
46	Valores médios de excedente hídrico ( $EXC$ , mm/ano) nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, obtidos a partir das funções exponencial e linear-exponencial, para a propriedade Macaubas, situada em Araguari, MG .....	161
47	Valores médios da saca de café beneficiado, simulados com a série de preços da Cooparaíso, nos 18 anos de vida da cultura .....	185

48	Valores médios da saca de café beneficiado, simulados com a série de preços do Paraná, nos 18 anos de vida da cultura .....	186
49	Variação dos valores médios da saca de café beneficiado, simulados com a série de preços do café do Cerrado, Mogiana, Sul de Minas e Paulista, nos 18 anos de vida do cafeeiro .....	186
50	Produtividades médias do cafeeiro, em 18 anos, obtidos com a função de produção (Equação 52) e manejo 6 de irrigação, para as propriedades Faria e Macaubas, situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente .....	193
51	Produtividades médias do cafeeiro, em 18 anos, com a função de produção (Equação 52) e manejo 1 de irrigação, para as propriedades Faria e Macaubas, situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente .....	195
52	Produtividades médias nas simulações, obtidas com a Eventualidade 1, na propriedade Faria, situada em Lavras, MG .....	198
53	Produtividades médias nas simulações, obtidas com a Eventualidade 2, na propriedade Faria, situada em Lavras, MG .....	199
54	Produtividades médias nas simulações, obtidas com a Eventualidade 3, na propriedade Faria, situada em Lavras, MG .....	199
55	Produtividades médias nas simulações, obtidas com a Eventualidade 4, na propriedade Faria, situada em Lavras, MG .....	199
56	Fluxo de caixa (benefício – custo total) obtido para a Fazenda Faria (Lavras, MG), utilizando o pacote tecnológico 40sc/ha e manejos de irrigação 1 e 6 .....	205
57	Fluxo de caixa (benefício – custo total) obtido para a Fazenda Faria (Lavras, MG), utilizando o pacote tecnológico 60sc/ha e manejos de irrigação 1 e 6 .....	207
58	Fluxo de caixa (benefício – custo total) obtido para a Fazenda Faria (Lavras, MG), utilizando o pacote tecnológico 80sc/ha e manejos de irrigação 1 e 6 .....	209
59	Fluxo de caixa (benefício – custo total) obtido para a Fazenda Macaubas (Araguari, MG), utilizando o pacote tecnológico 40sc/ha e manejos de irrigação 1 e 6.	216
60	Fluxo de caixa (benefício – custo total) obtido para a Fazenda Macaubas (Araguari, MG), utilizando o pacote tecnológico 60sc/ha e manejos de irrigação 1 e 6 .....	218
61	Fluxo de caixa (benefício – custo total) obtido para a Fazenda Macaubas (Araguari, MG), utilizando o pacote tecnológico 80sc/ha e manejos de irrigação 1 e 6 .....	220

## LISTA TABELAS

	Página
1 Produção Brasileira de café na safra 1998/99 .....	6
2 Cultivares e linhagens de café arábica indicadas para Minas Gerais .....	9
3 Distribuição percentual dos cento e noventa produtores, por classe de área cultivada com café, em função do tipo de sistema de irrigação .....	12
4 Dotação mensal de rega do cafeeiro, conforme o manejo, para o sistemas de irrigação pivô central, gotejamento, canhão e “tripa” .....	13
5 Turno de rega (TR), lâmina aplicada e lâmina diária, conforme o manejo e sistema de irrigação utilizado .....	14
6 Recomendação de espaçamento para o cafeeiro em dois tipos de sistema ..	18
7 Produtividade média de café beneficiado para algumas cultivares de café ..	21
8 Valores de coeficiente de cultivo do cafeeiro ( $Kc$ ) .....	31
9 Valores mensais do coeficiente de cultivo ( $Kc$ ) do cafeeiro .....	31
10 Composição de custos do sistema pivô central .....	42
11 Preços de mercado de alguns sistemas de irrigação na região de Lavras-MG (preços em dólar comercial de 10/09/2000) .....	43
12 Temperatura média nas regiões do Triângulo Mineiro e Sul de Minas .....	87
13 Especificação e identificação das propriedades Faria e Macaubas .....	88
14 Dados do sistema de irrigação e fonte de energia das duas propriedades ....	89
15 Valor mensal do coeficiente de cultivo do cafeeiro adulto .....	92
16 Propriedade físico-hídrica do solo .....	93
17 Fração da capacidade total de água disponível do solo .....	93
18 Manejos de irrigação suplementar utilizados nas análises de simulação .....	94
19 Pacotes tecnológicos com as especificações e quantificações dos materiais para formação e manutenção da lavoura cafeeira adensada, divulgados pela COOXUPÉ, e aplicado às propriedades Faria e Macaubas .....	95
20 Pacotes tecnológicos com as especificações e quantificações dos serviços para formação e manutenção da lavoura cafeeira adensada, divulgados pela COOXUPÉ, e aplicados às propriedades Faria e Macaubas, situadas na região de Lavras e Araguari, MG, respectivamente .....	96

21	Equações de regressão para a estimativa do custo, em dólar comercial, de uma linha de transmissão rural ( $X = \text{distância}$ e $Y = \text{custo da linha}$ ) .....	119
22	Parâmetros estatísticos da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ , mm/decêndio) nas regiões de Lavras e Araguari, MG .....	138
23	Valores decendiais (mm/decêndio) de precipitação provável a 75% de probabilidade nas regiões de Lavras e Araguari, MG .....	140
24	Parâmetros estatísticos da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ , mm/dia) observada, nos anos de desenvolvimento do cafeeiro nas regiões de Lavras e Araguari, MG .....	145
25	Parâmetros estatísticos dos valores de evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ , mm/ano), simulados a partir da distribuição de probabilidade triangular e normal para a região de Lavras, MG .....	145
26	Parâmetros estatísticos da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ , mm/ano), simulados a partir da distribuição de probabilidade triangular e normal para a região de Araguari, MG .....	147
27	Valores médios de irrigação (mm/ano) nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, a partir da função exponencial (exp) e linear-exponencial (lin-exp), para a propriedade Faria, situada em Lavras, MG .....	150
28	Valores médios de irrigação (mm/ano) nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, a partir da função exponencial (exp) e linear-exponencial (lin-exp), para a propriedade Macaubas, situada em Araguari, MG .....	151
29	Valores médios de $ER$ (mm/ano) nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, a partir da função exponencial (exp) e linear-exponencial (lin-exp), para a propriedade Faria, situada em Lavras, MG .....	153
30	Valores médios de $ER$ (mm/ano) nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, a partir da função exponencial (exp) e linear-exponencial (lin-exp), para a propriedade Macaubas, situada em Araguari, MG .....	154
31	Valores médios de deficiência hídrica ( $DEF$ , mm/ano) nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, com a função exponencial (exp) e linear-exponencial (lin-exp), na propriedade Faria, situada em Lavras, MG .....	156
32	Valores médios de deficiência hídrica ( $DEF$ , mm/ano) nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, com a função exponencial (exp) e linear-exponencial (lin-exp), para a propriedade Macaubas, situada em Araguari, MG .....	156

33	Valores médios de excedente hídrico ( <i>EXC</i> , mm/ano) nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, a partir da função exponencial (exp) e linear-exponencial (lin-exp), para a propriedade Faria, situada em Lavras, MG .....	160
34	Valores médios de excedente hídrico ( <i>EXC</i> , mm/ano) nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, a partir das função exponencial (exp) e linear-exponencial (lin-exp), para a propriedade Macaubas, situada em Araguari, MG .....	160
35	Valores anuais médios de irrigação, evapotranspiração real, deficiência e excedente hídrico, obtidos para a Fazenda Macaubas nas simulações do balanço hídrico, com a função linear-exponencial e as precipitação prováveis da região de Lavras, MG .....	163
36	Lâmina média de irrigação (mm/ano) necessária nos anos desenvolvimento da cultura do cafeeiro, nas propriedades Faria e Macaubas, situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente .....	168
37	Volume total médio de água (m <sup>3</sup> /ano) aplicado nas irrigações, nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, nas propriedades Faria (13,5ha) e Macaubas (98,4ha), situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente.	168
38	Tempo médio (horas/ano) para realizar as irrigações ao longo dos anos de desenvolvimento da cultura do cafeeiro, nas propriedades Faria e Macaubas, situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente .....	169
39	Consumo anual médio de energia elétrica (kWh/ano), obtido nas simulações para realizar as irrigações nos anos de desenvolvimento da cultura do cafeeiro, nas propriedades Faria e Macaubas, situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente .....	170
40	Despesas anuais médias com energia elétrica, para realizar as irrigações nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, nas propriedades Faria e Macaubas, situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente .....	170
41	Despesas anuais médias com energia elétrica (dólar/ano) na Fazenda Macaubas, situada em Araguari, MG, para realizar a irrigação do cafeeiro a partir de vários enquadramentos de tarifação horo-sazonais .....	172
42	Consumo anual médio de diesel (m <sup>3</sup> /ano) para realizar as irrigações, nos anos de desenvolvimento da cultura do cafeeiro, nas propriedades Faria e Macaubas, situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente .....	173



43 Despesas anuais médias com diesel (dólar/ano) para realizar as irrigações, nos anos de desenvolvimento da cultura do cafeeiro, nas propriedades Faria e Macaubas, situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente .....	174
44 Despesas anuais relativas com energia elétrica e diesel, para realizar a irrigação do cafeeiro adulto, na Fazenda Macaubas, situada em Araguari, MG, a partir de vários enquadramentos de tarifação horo-sazonais .....	175
45 Despesas anuais relativas com energia elétrica e diesel, para realizar a irrigação do cafeeiro adulto (ano $X_n$ ), na Fazenda Faria, situada em Lavras, MG .....	176
46 Despesas anuais médias com água (dólar/ano) para realizar as irrigações, nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, nas propriedades Faria e Macaubas, situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente .....	177
47 Despesas anuais médias com água (dólar/ano) para realizar as irrigações, nos anos de desenvolvimento da cultura do cafeeiro, aplicando as tarifas do Projeto Senador Nilo Coelho, nas propriedades Faria e Macaubas, situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente .....	178
48 Valores anuais médios de lâmina, volume, tempo, consumo e despesas com energia e água, obtidos nas simulações para a Fazenda Macaubas, situada na região de Araguari, MG, com as precipitações prováveis da região de Lavras, MG .....	180
49 Quantificação dos serviços para manutenção e operação dos sistemas de irrigação das Fazendas Faria e Macaubas (dia-homem por ha, no ano), situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente .....	182
50 Valores médios da saca de 60 kg de café beneficiado, simulados a partir de cinco séries de preço, nos 18 anos de vida da cultura do cafeeiro .....	185
51 Parâmetros estatísticos médios obtidos para o preço de venda do café beneficiado, em 18 anos, e em diferentes percentagens ao longo do ano ....	188
52 Parâmetros estatísticos da produtividade do cafeeiro, em 18 anos, obtidos com a função de produção (Equação 52) e manejo 6 de irrigação, para as propriedades Faria ( $F^*$ ) e Macaubas ( $M^{**}$ ), situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente .....	192
53 Parâmetros estatísticos da produtividade do cafeeiro, em 18 anos, obtidos com a função de produção (Equação 52) e manejo 1 de irrigação, para as propriedades Faria ( $F^*$ ) e Macaubas ( $M^*$ ), situadas nas regiões de Lavras e Araguari, MG, respectivamente .....	195

54	Produtividades médias nas simulações, obtidas com a função de produção (Equação 52) e manejo 1 de irrigação, em conformidade com as eventualidades 1 a 4, para a propriedade Faria, situada em Lavras, MG .....	198
55	Opções utilizadas no módulo “Custo de produção com análise de risco”, para realizar as análises de custo da cafeicultura irrigada nas Fazendas Faria e Macaubas, situadas em Lavras e Araguari, MG, respectivamente ...	201
56	Valor médio do custo de produção da propriedade Faria (Lavras, MG), com o pacote tecnológico de 40sc/ha e manejos de irrigação 1 a 6 .....	204
57	Produtividade média (Prod.) e preço médio da saca de café beneficiado da propriedade Faria (Lavras, MG), nos anos de vida do cafeeiro, com os manejos de irrigação 1 a 6 e pacote tecnológico de 40sc/ha .....	205
58	Valor médio do custo de produção da propriedade Faria (Lavras, MG), com o pacote tecnológico de 60sc/ha e manejos de irrigação 1 a 6 .....	206
59	Produtividade média (Prod.) e preço médio da saca de café beneficiado da propriedade Faria (Lavras, MG), nos anos de vida do cafeeiro, com os manejos de irrigação 1 a 6 e pacote tecnológico de 60sc/ha .....	207
60	Valor médio do custo de produção da propriedade Faria (Lavras, MG), com o pacote tecnológico de 80sc/ha e manejos de irrigação 1 a 6 .....	208
61	Produtividade média (Prod.) e preço médio da saca de café beneficiado da propriedade Faria (Lavras, MG), nos anos de vida do cafeeiro, com os manejos de irrigação 1 a 6 e pacote tecnológico de 80sc/ha .....	209
62	Parâmetros estatísticos dos valores presentes líquidos, obtidos para o projeto de irrigação do cafeeiro na Fazenda Faria (Lavras, MG), considerando os pacotes tecnológicos de 40, 60 e 80sc/ha e os manejos de irrigação 1 a 6 .....	210
63	Valor médio da taxa interna de retorno (TIR), obtida para o projeto de irrigação do cafeeiro na Fazenda Faria (Lavras, MG), considerando os pacotes tecnológicos 40, 60 e 80sc/ha e os manejos de irrigação 1 a 6 .....	210
64	Custos médios com o sistema de irrigação por gotejamento na propriedade Faria (Lavras, MG), adotando-se os manejos de irrigação 1 a 5 e pacotes tecnológicos de 40, 60 e 80sc/ha .....	212
65	Valores de VPL médio e TIR média, obtidos para a Fazenda Faria (Lavras, MG) com os pacotes tecnológicos de 40, 60 e 80sc/ha e manejos de irrigação 1 a 6, desconsiderando o custo alternativo do capital de giro e fixo .....	213

66	Valor presente líquido médio (VPL) e taxa interna de retorno média (TIR), obtidos para a Fazenda Faria (Lavras, MG) com os pacotes tecnológicos de 40, 60 e 80sc/ha e manejos de irrigação 1 a 6, considerando os custos operacionais .....	214
67	Valor médio do custo de produção da propriedade Macaubas (Araguari, MG), com o pacote tecnológico de 40sc/ha e manejos de irrigação 1 a 6 ...	215
68	Produtividade média (Prod.) e preço médio da saca de café beneficiado da propriedade Macaubas (Araguari, MG), nos anos de vida do cafeeiro, com os manejos de irrigação 1 a 6 e pacote tecnológico de 40sc/ha .....	216
69	Valor médio do custo de produção da propriedade Macaubas (Araguari, MG), com o pacote tecnológico de 60sc/ha e manejos de irrigação 1 a 6 ....	217
70	Produtividade média (Prod.) e preço médio da saca de café beneficiado da propriedade Macaubas (Araguari, MG), nos anos de vida do cafeeiro, com os manejos de irrigação 1 a 6 e pacote tecnológico de 60sc/ha .....	218
71	Valor médio do custo de produção da propriedade Macaubas (Araguari, MG), com o pacote tecnológico de 80sc/ha e manejos de irrigação 1 a 6 ....	219
72	Produtividade média (Prod.) e preço médio da saca de café beneficiado da propriedade Macaubas (Araguari, MG), nos anos de vida do cafeeiro, com os manejos de irrigação 1 a 6 e pacote tecnológico de 80sc/ha .....	220
73	Parâmetros estatísticos dos valores presentes líquidos (VPL), obtidos para o projeto de irrigação do cafeeiro na Fazenda Macaubas (Araguari, MG), considerando os pacotes tecnológicos 40, 60 e 80sc/ha e os manejos de irrigação 1 a 6 .....	221
74	Valor médio da taxa interna de retorno (TIR), obtida para o projeto de irrigação do cafeeiro na Fazenda Macaubas (Araguari, MG), considerando os pacotes tecnológicos 40, 60 e 80sc/ha e os manejos de irrigação 1 a 6 .....	221
75	Custo médio com o sistema de irrigação na propriedade Macaubas (Araguari, MG), adotando-se os manejos de irrigação 1 a 5 e pacotes tecnológicos de 40, 60 e 80sc/ha .....	223
76	Valores de VPL médio e TIR média, obtidos para a Fazenda Macaubas (Araguari, MG) com os pacotes tecnológicos de 40, 60 e 80sc/ha e manejos de irrigação 1 a 6, desconsiderando o custo alternativo do capital de giro e fixo .....	224
77	Valor presente líquido médio (VPL) e taxa interna de retorno média (TIR), obtidos para a Fazenda Macaubas (Araguari, MG) com os pacotes tecnológicos de 40, 60 e 80sc/ha e manejos de irrigação 1 a 6, considerando os custos operacionais .....	225

78	Valor médio do custo de produção da propriedade Faria (Lavras, MG), com o pacote tecnológico de 60sc/ha e manejo 1 de irrigação, de acordo com as eventualidades 1 a 5 .....	227
79	Produtividade média (Prod.) e preço médio da saca de café beneficiado da propriedade Faria (Lavras, MG), nos anos de vida do cafeeiro, com o pacote tecnológico de 60sc/ha, manejo 1 de irrigação e eventualidades 1 a 5 .....	228
80	Parâmetros estatísticos dos valores presentes líquidos (VPL) do projeto de irrigação do cafeeiro na Fazenda Faria (Lavras, MG), considerando o pacote tecnológicos 60sc/ha, manejo 1 de irrigação e eventualidades 1 a 5.	228
81	Parâmetros estatísticos das taxas internas de retorno (TIR), do projeto de irrigação do cafeeiro na Fazenda Faria (Lavras, MG), considerando o pacote tecnológico de 60sc/ha, manejo 1 de irrigação e eventualidades 1 a 5 .....	229
82	Valor médio do custo de produção da propriedade Macaubas (Araguari, MG), com o pacote tecnológico de 60sc/ha e manejo 1 de irrigação, de acordo com as eventualidades 1 a 5 .....	229
83	Produtividade média (Prod.) e preço médio da saca de café beneficiado da propriedade Macaubas (Araguari, MG), nos anos de vida do cafeeiro, com o pacote tecnológico de 60sc/ha, manejo 1 de irrigação e eventualidades 1 a 5 .....	230
84	Parâmetros estatísticos dos valores presentes líquidos (VPL) do projeto de irrigação do cafeeiro na Fazenda Macaubas (Araguari, MG), considerando o pacote tecnológicos 60sc/ha, manejo 1 de irrigação e eventualidades 1 a 5 .....	230
85	Parâmetros estatísticos das taxas internas de retorno (TIR), do projeto de irrigação do cafeeiro na Fazenda Macaubas (Araguari, MG), considerando o pacote tecnológico de 60sc/ha, manejo 1 de irrigação e eventualidades 1 a 5 .....	231
86	Parâmetros para representar os indicadores econômicos da estrutura física existente na Fazenda Faria, situada na região de Lavras, MG .....	250
87	Parâmetros para representar os indicadores econômicos da estrutura física existente na Fazenda Macaubas, situada na região de Araguari, MG .....	252
88	Parâmetros das distribuições de probabilidade triangular, normal e uniforme, que melhor se ajustaram para simular o valor/unidade dos materiais e serviços .....	253

# MODELO PARA A ANÁLISE DE RISCO ECONÔMICO APLICADO AO PLANEJAMENTO DE PROJETOS DE IRRIGAÇÃO PARA CULTURA DO CAFEIEIRO

Autor: JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE

## RESUMO

O presente trabalho consistiu no desenvolvimento e avaliação de um modelo de simulação voltado à análise de risco econômico, servindo de auxílio nas tomadas de decisão quanto ao planejamento e gerenciamento dos projetos de irrigação da cultura do cafeeiro. A linguagem de programação utilizada foi o *Visual Basic* aplicada ao *Excel* (Linguagem de *Macro*), e o processo de simulação baseou-se no método de “Monte Carlo”. Cuidados foram tomados para que a estrutura do modelo fosse versátil e servisse também para a solução de problemas frequentes na agricultura irrigada.

As análises de aplicação do modelo foram feitas com os dados levantados em duas propriedades que irrigam o cafeeiro: Faria e Macaubas. A propriedade Faria situa-se na cidade de Lavras-MG, região Sul de Minas, e possui sistema de irrigação por gotejamento de 13,5ha. A propriedade Macaubas situa-se na cidade de Araguari-MG, região do Triângulo Mineiro, e possui sistema de irrigação pivô central de 98,4ha. Três pacotes tecnológicos (40, 60 e 80sc/ha), seis manejos anuais de irrigação e a ocorrência de eventualidades na vida útil da cultura, foram analisados.

O modelo desenvolvido mostrou-se eficiente para realizar os cálculos voltados ao planejamento e determinação do risco econômico da cafeicultura irrigada e a estrutura modular proposta possibilita o acompanhamento de grande parte do processo de cálculo das análises de simulação. O equacionamento proposto para estimar a

evapotranspiração de referência (*ET<sub>o</sub>*), o armazenamento de água no solo, as despesas com água e energia, os benefícios e a produção, apresentaram resultados satisfatórios. As opções disponíveis, bem como os mecanismos de ajustes existentes, possibilitam a escolha das melhores alternativas e a composição de cenários para serem analisados. Com algumas modificações nas séries de preços e na função de produção, o modelo poderá ser adaptado futuramente para analisar economicamente outras culturas perenes de comportamento semelhante ao cafeeiro.

De maneira geral, as análises de risco econômico da cafeicultura irrigada, realizadas para as propriedades Faria e Macaubas, mostraram que:

– Não é viável economicamente produzir café no pacote tecnológico de 40sc/ha na propriedade Faria. Na propriedade Macaubas, o mesmo pacote tecnológico mostrou-se viável economicamente somente no manejo de irrigação suplementar durante todo o ano. Os demais manejos analisados apresentam risco de um valor presente líquido negativo.

– Os pacotes tecnológicos de 60sc/ha e 80sc/ha mostraram-se economicamente viáveis para as duas propriedades, adotando-se ou não a irrigação. O manejo de irrigação suplementar durante todo ano sempre mostrou-se a melhor alternativa econômica.

– A ocorrência de eventualidades não comprometeu a viabilidade dos dois projetos de irrigação, quando conduzidos no pacote tecnológico de 60sc/ha e manejo de irrigação suplementar durante todo o ano; apenas reduziram a lucratividade. A eventualidade, considerando o atraso de dois anos no início da produção da lavoura cafeeira, foi a mais prejudicial dentre aquelas analisadas.

– Em relação ao custo total de produção da cafeicultura irrigada nas duas propriedades, verificou-se nos anos de vida útil da cultura que: os serviços e os materiais foram os itens mais significativos no custo total, ficando entre 40,7% e 60,4% para os serviços, e entre 15,3% e 34,3% para os materiais; as despesas com energia elétrica e água são pequenas, considerando-se a irrigação suplementar durante todo o ano, as despesas nunca foram maiores que 3,8% para a Fazenda Faria, e 5,0% para a Fazenda Macaubas; os custos médios com o sistema de irrigação ficaram entre 10,3% e 29,7% para a Fazenda Faria, e entre 7,0% e 19,4% para a Fazenda Macaubas.

# ECONOMIC RISK ANALYSIS MODEL FOR COFFEE IRRIGATION PROJECT DESIGN

Author: JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA

Adviser: Prof. Dr. JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE

## SUMMARY

This study shows the application of an economic risk model to help the decision makers on planning process for coffee irrigation projects. The model was built in *Excel* sheet using *Visual Basic Macro* and the simulation process used *Monte Carlo* method.

It was used data from two irrigated coffee farms located at Lavras, MG (13.5ha) and Araguari, MG (98.4ha). Three different yield technology levels (2,500 , 3,600 , 4,800kg/ha), and six irrigation treatments were analyzed.

The model showed good efficiency in planning and economic risk determination. The methods used by the model to determine reference evapotranspiration (*ET<sub>o</sub>*), soil water balance, energy and water cost showed good results and enabled to determine the best economic option.

An application of the model permits the following conclusions:

- It was not economically viable to produce coffee using the 2,400kg/ha yield technology level at Lavras farm. The same technology level was viable when the coffee was irrigated all the year for Araguari farm;
- The 3,600kg/ha and 4,800kg/ha were economic viable for both farms and they were independent on irrigation;

- Different sceneries were analyzed and the worst scenerie was the yield loss for two following years. Even in the worst scenerie, the 3,600kg/ha yield technology level showed economical viability with irrigation along all the year;
- Variable cost was the most significant cost in the coffee production. The energy and water cost represented 3.8% for Lavras farm and 5.0% for Araguari farm. The irrigation cost was in a range 10.3% to 29.7% for Lavras farm and 7.0% to 19.4% for Araguari farm.



