

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio-Norte
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

*Universidade de São Paulo – USP
Universidade Federal do Paraná – UFPR
Universidade Estadual Paulista – Unesp*

Planejamento de Irrigação

Análise de decisão de investimento

*José Antônio Frizzone
Aderson Soares de Andrade Júnior
Editores Técnicos*

*Embrapa Informação Tecnológica
Brasília, DF
2005*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na

Embrapa Informação Tecnológica

Parque Estação Biológica - PqEB - Av. W3 Norte (final)

CEP 70770-901 - Brasília, DF

Fone: (61) 3340-9999

Fax: (61) 3340-2753

vendas@sct.embrapa.br

www.sct.embrapa.br

Embrapa Meio-Norte

Av. Duque de Caxias, 5650, Bairro Buenos Aires

Caixa Postal 01, CEP 64006-220 Teresina, PI

Fone: (86) 225 1141, Fax: (86) 225 1142

www.cpamn.embrapa.br

sac@cpamn.embrapa.br

Universidade de São Paulo (USP)

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq)

Av. Pádua Dias, 11, Caixa Postal 9, CEP 13.418-900 Piracicaba, SP

Fone: (19) 3429 4100, Fax: (19) 3422 5925

www.esalq.usp.br

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Setor de Ciências Agrárias

Rua dos Funcionários, 1540, Bairro Juvevê, CEP 80.035-050 Curitiba, PR

PABX (41) 350 5600, Fax: (41) 350 5652

www.ufpr.br

Universidade Estadual Paulista (Unesp) - Campus de Ilha Solteira

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos

Área de Hidráulica e Irrigação

Av. Brasil Centro, 56, Caixa Postal 31

CEP 15.385-000 Ilha Solteira, SP

Fone: (18) 3743 1143, Fax: (18) 3742 1176

www.feis.unesp.br

Revisão Técnica: Edson Alves Bastos, João Carlos Cury Saad

Valdenir Queiroz Ribeiro, Milton José Cardoso

Supervisão editorial: Lígia Maria Rolim Bandeira

Revisão de textos: Francisco de Assis David da Silva e Francimary de M. e Silva

Normalização bibliográfica: Orlane da Silva Maia

Projeto gráfico: Cecílio Nunes

1ª edição

1ª impressão (2005): 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Informação Tecnológica

Planejamento de irrigação : análise de decisão de investimento / editores técnicos, José Antônio Frizzone, Anderson Soares de Andrade Júnior. Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626 p. ; 22 cm.

Na página de autores: José Antônio Frizzone, Anderson Soares de Andrade Júnior, Jorge Luiz Moretti de Souza e João Luiz Zocoler
ISBN: 85-7383-308-4

1. Irrigação. 2. Planejamento. 3. Investimento. I. Frizzone, José Antônio. II. Andrade Júnior, Anderson Soares. III. Souza, Jorge Luiz Moretti de. IV. Zocoler, João Luiz de. V. Embrapa Meio-Norte CDD 631.7 (21 ed)

© Embrapa, 2005

Apresentação

No processo de produção agrícola, em que os fatores de solo e planta são limitados pela falta de umidade, torna-se essencial o uso da irrigação. Embora seja de grande importância, principalmente em regiões onde a distribuição errática das chuvas é um fator constante, é necessário um planejamento para se estabelecer qualquer sistema produtivo com base em cultivo irrigado.

Assim, com este trabalho, pretende-se contribuir com informações relevantes no campo das análises de decisões de investimento, em que os fatores econômicos sociais e ambientais são preservados, com vistas à sustentabilidade dos ecossistemas e melhoria da qualidade de vida das populações.

Valdemício Ferreira de Sousa
Chefe-Geral da Embrapa Meio-Norte

Sumário

1

Análise de projetos de irrigação e drenagem

| | |
|--|----|
| Projetos e planos | 17 |
| Classificação dos projetos | 18 |
| Avaliação de projetos | 19 |
| Tipos de avaliação | 21 |
| Alternativas e decisões | 24 |
| Etapas da análise econômica | 25 |
| Princípios da análise econômica | 27 |
| Custos e benefícios em projetos de irrigação e drenagem | 29 |
| Considerações gerais sobre custos e benefícios de projetos de irrigação | 29 |
| Terminologia de custos | 32 |
| Custos do projeto de irrigação | 35 |
| Benefícios do projeto de irrigação | 38 |
| Aspectos sobre a estimativa de custos e benefícios | 40 |
| Preços | 40 |
| Considerações sobre as estimativas de custos nos projetos de irrigação | 43 |
| Considerações sobre estimativas de benefícios em projetos de irrigação | 53 |

2

Princípios das relações dinheiro-tempo

| | |
|--|----|
| Diagramas de fluxo de caixa | 59 |
| Convenções | 59 |
| Representações analítica e gráfica do fluxo de caixa | 60 |
| Formas de medir os fluxos de caixa | 63 |

| | |
|--|----|
| O capital, o juro e o montante | 64 |
| Conceitos | 64 |
| Regimes de capitalização | 67 |
| Taxas de juros efetiva e nominal | 67 |
| Juros simples | 70 |
| Fórmulas dos juros e do montante | 70 |
| Taxas equivalentes a juros simples | 72 |
| Juros compostos | 74 |
| Fórmulas dos juros compostos | 74 |
| Montante e valor presente | 74 |
| Taxas equivalentes | 76 |
| Equivalência de capitais e juros compostos | 77 |
| Taxas de inflação e desvalorização | 78 |
| Valor presente de um conjunto de capitais | 81 |
| Séries de pagamentos | 85 |
| Série uniforme de pagamentos | 86 |
| Série em gradiente uniforme | 89 |
| Amortização | 94 |
| Saldo devedor | 94 |
| Sistema de amortizações constantes (SAC) | 96 |
| Sistema de amortização francês (Sistema Price) | 96 |

3

Análise de alternativas econômicas

| | |
|--|-----|
| Contexto da análise de projetos | 101 |
| Taxa mínima de atratividade | 104 |
| Custo de oportunidade | 104 |
| Valor presente líquido | 105 |
| Benefício líquido anual uniforme | 112 |
| Custo anual uniforme | 113 |
| Custo capitalizado | 116 |
| Razão benefício–custo | 119 |
| Taxa interna de retorno | 125 |
| Aspectos sobre seleção de projetos | 130 |

4

Depreciação, imposto de renda e alternativas de investimento

| | |
|--|-----|
| Depreciação e imposto de renda | 135 |
| Cálculo da depreciação | 137 |
| Método linear de depreciação | 137 |
| Método das percentagens constantes (método de Matheson) | 140 |
| Método da soma dos dígitos periódicos (método de Cole) | 142 |

| | |
|---|-----|
| Método das unidades de produção | 143 |
| Método do fundo de formação de capital | 144 |
| Método das anuidades | 146 |
| Custos contábeis e lucros tributáveis | 148 |
| Avaliação de investimento considerando a inflação | 171 |

5 Análise de custos de sistemas de recalque de água

| | |
|---|-----|
| Introdução | 175 |
| Diâmetro econômico de uma instalação elevatória | 176 |
| Motores elétricos versus motores diesel | 177 |
| Avaliação econômica de uma instalação elevatória | 181 |
| Componentes básicos de um sistema de recalque | 181 |
| Principais custos envolvidos em um sistema de recalque | 181 |
| Custo anual fixo do sistema elevatório | 182 |
| Custo anual variável do sistema elevatório | 189 |
| Modalidades de aplicação de tarifas de energia elétrica | 192 |
| Tarifa convencional | 194 |
| Tarifa verde | 198 |
| Tarifa azul | 203 |
| Exemplo de simulação dos custos de um sistema elevatório .. | 207 |
| Seleção do diâmetro da tubulação de recalque e do tipo de acionamento de bomba hidráulica baseada no investimento inicial | 210 |
| Seleção do diâmetro da tubulação de recalque e do tipo de acionamento de bomba hidráulica baseada no custo anual total | 211 |

6 Decisões de investimentos sob condições de incerteza e risco

| | |
|---|-----|
| Risco e incerteza | 219 |
| Conceitos | 219 |
| Fontes de incerteza | 221 |
| Medidas preliminares para reduzir a incerteza | 223 |
| Estimativas mais cuidadosas | 223 |
| Ajustes empíricos | 223 |
| Prêmio para o risco | 223 |
| Análise de sensibilidade | 224 |
| Análise não probabilística da incerteza | 224 |
| Análise do ponto de equilíbrio | 225 |
| Função de receita bruta (ou receita total) | 225 |
| Custo, volume e ponto de equilíbrio | 226 |
| Análise do ponto de equilíbrio entre múltiplas alternativas | 232 |

| | |
|---|-----|
| Análise de sensibilidade | 238 |
| Estimativa otimista-pessimista | 244 |
| Análise estatística do risco | 246 |
| Frequência relativa e probabilidade | 247 |
| Valor esperado | 248 |
| Variabilidade | 249 |
| Desvio médio absoluto | 250 |
| Variância e desvio-padrão | 252 |
| Valor da informação | 253 |
| Fluxo de caixa sob condição de risco | 255 |
| Valor esperado e variância das contribuições do fluxo de caixa | 256 |
| Algumas distribuições de probabilidades contínuas | 260 |
| Distribuição normal | 260 |
| Distribuição triangular | 262 |
| Distribuição uniforme | 263 |
| Distribuição exponencial | 264 |
| Distribuição gama | 265 |
| Probabilidade de viabilidade de um empreendimento | 266 |
| Técnicas especiais para análise do risco | 274 |
| Simulação de risco | 274 |
| Método de Hertz | 275 |
| Método de Monte Carlo | 280 |

7 Funções de produção água-cultura

| | |
|--|-----|
| Introdução | 283 |
| Os modelos de funções de produção | 285 |
| Funções de produção evapo(transpiração)-cultura | 288 |
| Funções de produção água aplicada-cultura | 297 |
| Análise econômica de funções de produção | 300 |
| Análise econômica de funções de produção água-cultura .. | 301 |

8 Modelos de programação linear para alocação de água

| | |
|--------------------------------------|-----|
| O modelo de programação linear | 315 |
| Exemplo protótipo | 317 |
| Formulação como um PPL | 318 |
| Solução gráfica | 319 |
| Solução algébrica | 320 |
| Preço-sombra | 327 |
| Análise de sensibilidade | 328 |

| | |
|--|-----|
| Aplicação a um projeto de irrigação | 332 |
| O modelo geral | 337 |
| Aplicação do modelo | 338 |
| Solução ótima | 340 |
| Casos especiais em problemas de programação linear | 347 |
| Empate para variável básica saindo | 347 |
| Empate para variável básica entrando | 348 |
| Variável básica saindo inexistente: Z ilimitado | 348 |
| Soluções ótimas múltiplas | 348 |
| Restrições de igualdade | 349 |
| Restrições de desigualdade " \geq " | 354 |
| Minimização | 355 |
| Restrições com lado direito negativo | 356 |
| O problema dual | 358 |
| Definição | 358 |
| Interpretação econômica do dual | 361 |
| Solução do problema dual | 362 |

9

Alocação de água utilizando modelos de programação linear separável

| | |
|--|-----|
| Programação separável | 369 |
| Considerações gerais | 369 |
| Aproximação de uma função contínua não linear por uma função linear por partes | 369 |
| Generalização de uma função linear por partes | 373 |
| Aproximação linear por partes de uma função contínua não linear, com mais de uma variável | 374 |
| Otimização com programação separável | 376 |
| Aplicações | 380 |
| Modelo de programação linear utilizando funções de produção água-cultura | 388 |

10

Modelos de programação linear para análise de risco

| | |
|---|-----|
| Considerações gerais | 395 |
| Conceito de esperança do custo da incerteza | 396 |
| Modelos de PL para análise de risco | 399 |
| Minimização do desvio absoluto total da margem bruta | 399 |
| Modelos alternativos para o MOTAD | 406 |



11 Simulação de elementos climáticos para planejamento de irrigação

| | |
|--|-----|
| Introdução | 411 |
| Metodologia | 412 |
| Dados meteorológicos | 412 |
| Cálculo da evapotranspiração de referência | 413 |
| Estimativa da precipitação pluviométrica e evapotranspiração de referência | 414 |
| Teste de aderência | 414 |
| Simulação da precipitação e evapotranspiração de referência | 415 |
| Simulação da precipitação pluviométrica | 415 |
| Simulação da evapotranspiração de referência | 423 |
| Avaliação de desempenho dos modelos de simulação | 425 |
| Resultados | 426 |
| Teste de aderência | 426 |
| Simulação da precipitação pluviométrica | 432 |
| Simulação da evapotranspiração de referência | 445 |
| Conclusão | 454 |



12 Viabilidade de irrigação da cultura de feijão-caupi sob risco climático e econômico

| | |
|---|-----|
| Introdução | 455 |
| Metodologia | 456 |
| Local do estudo | 456 |
| Simulação da precipitação pluviométrica e evapotranspiração de referência | 459 |
| Balanço hídrico diário | 459 |
| Elementos climáticos | 461 |
| Parâmetros de solo | 462 |
| Parâmetros de cultura | 467 |
| Cálculo do balanço hídrico diário | 469 |
| Déficit de evapotranspiração e produção relativa | 470 |
| Custo da água de irrigação e preço de venda dos produtos | 472 |
| Análise econômica sob condição de risco | 475 |
| Relação benefício-custo | 477 |
| Resultados | 478 |
| Simulação do balanço hídrico diário | 478 |
| Estimativas da lâmina de irrigação e produtividade | 499 |
| Preços do produto e das tarifas de energia elétrica | 513 |
| Análise econômica sob condição de risco | 515 |
| Relação benefício-custo | 542 |



Análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro

| | |
|--|-----|
| Considerações gerais | 561 |
| Análise econômica da atividade | 562 |
| Estimativa do custo de produção considerando risco | 564 |
| Estimativa dos benefícios ao longo do projeto | 565 |
| Estimativa da produtividade da cultura | 565 |
| Estimativa do preço do café no mercado | 567 |
| Critérios de análise econômica | 568 |
| Processo de simulação | 569 |
| Dados e informações de entrada no modelo | 570 |
| Local para realização das análises | 570 |
| Dados meteorológicos | 573 |
| Evapotranspiração da cultura (ETc) e coeficientes de cultivo (Kc) | 575 |
| Armazenamento de água no solo | 575 |
| Manejo da irrigação | 576 |
| Quantificação dos itens do custo fixo e variável | 578 |
| Análise da cafeicultura irrigada com o modelo | 586 |
| Considerações quanto ao número adequado de simulações | 586 |
| Determinação do consumo e do custo anual com energia elétrica e água | 588 |
| Porcentagem ótima de venda do café ao longo dos trimestres do ano | 589 |
| Função de produção do cafeeiro | 596 |
| Análise da cafeicultura irrigada sob condição de risco econômico | 600 |
| Consideração de eventualidades na cafeicultura irrigada | 602 |
| Considerações finais | 607 |
| Referências | 611 |
| Literatura complementar | 626 |

13 Análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro

| | |
|--|-----|
| Considerações gerais | 561 |
| Análise econômica da atividade | 562 |
| Estimativa do custo de produção considerando risco | 564 |
| Estimativa dos benefícios ao longo do projeto | 565 |
| Estimativa da produtividade da cultura..... | 565 |
| Estimativa do preço do café no mercado | 567 |
| Critérios de análise econômica | 568 |
| Processo de simulação | 569 |
| Dados e informações de entrada no modelo | 570 |
| Local para realização das análises | 570 |
| Dados meteorológicos | 573 |
| Evapotranspiração da cultura (ETc) e coeficientes de cultivo (Kc)..... | 575 |
| Armazenamento de água no solo | 575 |
| Manejo da irrigação | 576 |
| Quantificação dos itens do custo fixo e variável..... | 578 |
| Análise da cafeicultura irrigada com o modelo | 586 |
| Considerações quanto ao número adequado de simulações | 586 |
| Determinação do consumo e do custo anual com energia elétrica e água | 588 |
| Porcentagem ótima de venda do café ao longo dos trimestres do ano | 589 |
| Função de produção do cafeeiro | 596 |
| Análise da cafeicultura irrigada sob condição de risco econômico | 600 |
| Consideração de eventualidades na cafeicultura irrigada | 602 |
| Considerações finais | 607 |
| Referências | 611 |
| Literatura complementar | 626 |