

## **Documentos 73**

# **Avaliação de Estratégias de Produção em Agricultura Irrigada no Perímetro de Irrigação do Gorutuba**

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade  
João Carlos Ferreira Borges Júnior  
Renata Braga Medrado Lima  
Flávio Gonçalves de Oliveira  
Paulo Afonso Ferreira  
Marcos Antônio Rigueira Egídio  
Lize de Moraes Vieira da Cunha  
Mônica Pereira Dykstra

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Milho e Sorgo**

Rod. MG 424 Km 45

Caixa Postal 151

CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone:(31) 3027 1100

Fax: (31) 3027 1188

Home page: [www.cnpms.embrapa.br](http://www.cnpms.embrapa.br)

E-mail: [sac@cnpms.embrpa.br](mailto:sac@cnpms.embrpa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Antônio Álvaro Corsetti Purcino

Secretário-Executivo: Paulo César Magalhães

Membros: Camilo de Lélis Teixeira de Andrade, Carlos Roberto Casela, Cláudia Teixeira Guimarães, Flávia França Teixeira, Clenio Araujo e Jurandir Vieira Magalhães

Revisor de texto: Clenio Araujo

Normalização bibliográfica: Maria Tereza Rocha Ferreira

Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa

**1ª edição**

1ª impressão (2008): 200 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).

---

Andrade, Camilo de Lelis Teixeira de

Avaliação de estratégias de produção em agricultura irrigada em perímetro de irrigação do Gorotuba / Camilo de Lelis Teixeira de Andrade... [et al]. – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.

105 p. : 14,8 x 21,0 cm. (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277, 73)

1. Irrigação – Manejo - Gorotuba. 2. Planejamento. 3. Rentabilidade. I. Borges Júnior, João Carlos Ferreira. II. Lima, Renata Braga Medrado. III. Oliveira, Flávio Gonçalves de V. IV. Ferreira, Paulo Afonso. V. Egídio, Marcos Antônio Rigueira. VI. Cunha, Lize de Moraes Vieira da. VII Dykstra, Mônica Pereira. VIII. Título. IX. Série.

---

# **Autores**

Camilo de Lelis Teixeira de Andrade

Eng. Agrícola, Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo,  
Rod. MG 424, Km 65, Zona Rural, Caixa Postal 151,  
35701-970, Sete Lagoas, MG, Tel 31 3779 1235

João Carlos Ferreira Borges Júnior

Eng. Agrícola, Professor, Univ. Federal Rural do Pernambu-  
co, Unidade Acadêmica de Garanhuns, Garanhuns,  
PE.

Renata Braga Medrado Lima

Eng. Agrônoma, Extensionista, Emater-MG, Perímetro  
Irrigado Gorutuba, Nova Porteirinha, MG.

Flávio Gonçalves de Oliveira

Eng. Agrícola, Professor, Univ. Federal de Minas Gerais,  
Montes Claros, MG.

Paulo Afonso Ferreira

Eng. Agrônomo, Professor, Univ. Federal de Viçosa,  
Viçosa, MG.

Marcos Antônio Rigueira Egídio

Eng. Agrícola, Codevasf, 1ª SR, Montes Claros, MG.  
Lize de Moraes Vieira da Cunha

Eng. Agrônoma, Extensionista, Emater-MG, Perímetro Irrigado Gorutuba, Nova Porteirinha, MG.

Mônica Pereira Dykstra

Eng. Agrônoma, Extensionista, Emater-MG, Perímetro Irrigado Gorutuba, Nova Porteirinha, MG.

# Sumário

Resumo .....	07
1. Introdução .....	08
2. Levantamento de dados relativos a culturas, clima, solo e parâmetros econômicos .....	09
2.1. Dados de cultura .....	09
2.2. Dados de clima .....	16
2.3. Dados de solo.....	16
2.4. Parâmetros econômico-financeiros.....	24
2.5. Dados de requerimento de irrigação e produtividade relativa .....	28
3. Estudos de otimização de padrão de cultivo e estratégia de produção .....	34
4. Modelo de programação linear para propriedade 2 no perímetro de irrigação do Gorutuba .....	39
5. Análise de risco para propriedade 2 no perímetro de irrigação do Gorutuba .....	54
6. Modelo de programação linear para propriedade 4 no perímetro de irrigação do Gorutuba .....	61
7. Análise de risco para propriedade 4 no perímetro de irrigação do Gorutuba .....	69

8. Referência Bibliográfica .....	75
Lista de Anexos .....	80
Anexo 1 .....	81
Anexo 2 .....	85
Anexo 3 .....	93
Anexo 4 .....	98
Anexo 5 .....	101

# Avaliação de Estratégias de Produção em Agricultura Irrigada no Perímetro de Irrigação do Gorutuba

---

*Camilo de Lelis Teixeira de Andrade*

*João Carlos Ferreira Borges Júnior*

*Renata Braga Medrado Lima*

*Flávio Gonçalves de Oliveira*

*Paulo Afonso Ferreira*

*Marcos Antônio Rigueira Egídio*

*Lize de Moraes Vieira da Cunha*

*Mônica Pereira Dykstra*

## Resumo

Apresenta-se aqui o relatório de projeto de pesquisa, parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, que teve como objetivo gerar uma base de informações para dar suporte a decisões relativas ao manejo da irrigação e ao planejamento para o perímetro de irrigação do Gorutuba. O relatório compreende o período de 10 de agosto de 2005 a 10 de agosto de 2007. Informações técnicas e econômicas de cinco culturas perenes e quinze anuais foram levantadas na literatura internacional, nacional e local e em relatórios do distrito de irrigação Gorutuba e da Codevasf. Séries históricas de dados de clima foram obtidas na Embrapa Milho e Sorgo. Amostras de solo foram coletadas em quatro propriedades representativas de pequeno e grande produtor e as análises físicas e químicas realizadas nos laboratórios da Embrapa. Os coeficientes técnicos dos custos de produção foram obtidos junto ao distrito de irrigação Jaíba, sendo considerados similares aos verificados no perímetro Gorutuba. Consideraram-se valores médios para os custos dos fatores de produção para o Norte

de Minas Gerais, atualizados para dezembro de 2006. Consideraram-se os custos de água de irrigação praticados no perímetro e os preços de venda dos produtos foram ajustados com base em uma série histórica, corrigida pelo IPCA, obtida junto aos distritos de irrigação, Emater-MG e Codevasf e preços recebidos no Ceasa-MG, em diferentes épocas do ano. Os requerimentos totais de irrigação (RIT) e as produtividades relativas totais (YRT) foram obtidos mediante simulações com o modelo MCID. Posteriormente, essas informações foram empregadas nos estudos de otimização de padrão de cultivo, associados à análise de risco, na definição de coeficientes técnicos relativos à função objetivo e na definição de restrições no modelo de programação linear. Visando demonstrar a aplicação das ferramentas de otimização de padrão de cultivo e de requerimento de água, foram construídos dois modelos de programação linear (MPL), sendo que a cada um destes MPL's foi associada uma análise de risco. Para proceder as análises de risco empregou-se o programa P-Risco, no qual algumas variáveis de entrada e de saída são estocásticas, tendo a elas associada uma distribuição de probabilidade. Duas propriedades, uma de 200 ha e outra de 11 ha, foram utilizadas como estudos de caso, com base em cenários de produção hipotéticos. As análises demonstraram a capacidade das ferramentas propostas para o planejamento e para o auxílio à tomada de decisões em propriedades de perímetros irrigados.

## **1. Introdução**

Este relatório é relativo às atividades desenvolvidas no escopo do projeto “Avaliação de estratégias de produção em agricultura irrigada nos perímetros de irrigação do Jaíba e do Gorutuba”, parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, processo número 481335/2004-8. Aqui serão apresentadas informações relacionadas o perímetro de irrigação Gorutuba, no período transcorrido de 10/08/2005 a



10/08/2007. Informações complementares, incluindo a base de dados empregada, são apresentadas nos anexos.

## **2. Levantamento de dados relativos a culturas, clima, solo e parâmetros econômicos**

### **2.1. Dados de cultura**

No estudo aqui apresentado foram consideradas quinze culturas no total, sendo cinco perenes e quinze anuais, listadas a seguir.

- Culturas perenes: banana prata-anã, limão, mamão papaya, maracujá, pinha;
- Culturas anuais: abóbora japonesa, alface semente, algodão, cebola inverno, cebola verão, cenoura, feijão, melancia, melancia semente, melão, milho, pepino conserva, quiabo, quiabo semente, tomate mesa.

Foram levantados os seguintes dados relativos às culturas consideradas no estudo: duração de estádios fenológicos e ciclos, coeficientes de cultura ( $K_c$ ), fatores de resposta ( $K_v$ ), fatores de disponibilidade de água ( $f$ ), profundidade efetiva do sistema radicular ( $profr$ ), e produtividade potencial ( $Y_p$ ). Estes dados foram obtidos da literatura especializada, em diferentes estudos, como nos boletins 56 (Allen et al., 1998) e 33 (Doorenbos e Kassam, 1979) da FAO. Contudo, em alguns casos, ajustes foram feitos visando à adequação às condições locais. Os dados de cultura são apresentados nas tabelas 1 a 6.

Os dados de produtividade potencial (Tabela 2) foram definidos com base em relatórios técnicos do Distrito de Irrigação Jaíba (DIJ), de 1999 a 2006, e na literatura especializada. Estes dados poderão ser revistos futuramente com base em dados obtidos junto ao Distrito de Irrigação Gorutuba (DIG), inclusive com refinamento para as diferentes unidades de solo do perímetro.

**Tabela 1.** Duração dos estádios e dos ciclos das culturas consideradas no estudo.

Cultura	Duração (dias) – estádios e ciclo					Fonte e OBS
	I	II	III	IV	Ciclo	
Abóbora japonesa	25	35	25	15	100	FAO 56 <sup>1</sup> (Squash)
Alface semente	20	30	15	10	75	FAO 56 tab 11 cap 6 - abril mediterraneo
Algodão	15	20	45	20	100	EMBRAPA, aumentado ligeiramente para atingir 100
Banana prata-anã - ano 1	120	90	120	34	364	FAO 56, ajustado para 364 dias
Cebola inverno	15	25	45	35	120	Com base no FAO 56 e programa SISDA <sup>2</sup>
Cebola verão	15	25	45	35	120	Com base no FAO 56 e programa SISDA
Cenoura	18	24	36	12	90	Adaptado do FAO 56 (table 11, Mediterranean, cap6), ajustando para ciclo de 90 dias
Feijão	20	30	30	10	90	Cropwat <sup>3</sup>
Limão - ano 1	60	90	120	94	364	FAO 56 Citrus
Mamão papaya - ano 1	40	90	145	89	364	Com base em informações do programa SISDA, mas ajustando-se para 365 dias
Maracujá - ano 1	50	41	0	0		Considerando-se plantio em 01/outubro
Maracujá - ano 2	60	0	120	184		Os valores aqui para duração de estádios visam adequação aos valores de K <sub>c</sub> utilizados.
Maracujá - ano 3	30	30	100	70		Os valores aqui para duração de estádios visam adequação aos valores de K <sub>c</sub> utilizados e ao final do ciclo em agosto.
Melancia	10	20	20	30	80	FAO 56
Melancia semente	10	20	20	30	80	FAO 56
Melão	18	26	31	15	90	Com base no FAO 56, reduzindo de 120 para 90 dias
Milho	20	34	40	26	120	
Pepino conserva	15	25	25	10	75	FAO 56, diminuindo para 75 dias conforme EMBRAPA Semi-arido
Pinha - ano 1	26	50	144	144	364	Estimado com base em Lima et al. (2001), visando exclusivamente ajustes ao requerimento de irrigação e a valores de K <sub>c</sub> empregados
Quiabo fruto	30	30	90	30	180	Paes et al. (2003)
Quiabo semente	30	30	90	30	180	Paes et al. (2003)
Tomate de mesa	15	30	40	30	115	EMBRAPA - CNPTIA <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Allen et al. (1998); <sup>2</sup> Mantovani et al. (2003); <sup>3</sup> Programa computacional desenvolvido pela Land and Water Development Division - FAO; <sup>4</sup> <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>

**Tabela 2.** Valores de produtividade potencial,  $Y_p$ , considerados no estudo.

<b>Culturas</b>	<b><math>Y_p</math> (ton/ha)<sup>1</sup></b>
Abóbora japonesa	15,00
Alface semente	1,76
Algodão	2,00
Banana prata-anã ano 1	0,00
Banana prata-anã anos 2 a 4	27,00
Cebola inverno	25,60
Cebola verão	32,00
Cenoura	27,00
Feijão	2,30
Limão ano 1	0,00
Limão ano 2	5,00
Limão ano 3	10,00
Limão ano 4	20,00
Limão anos 5 e 6 <sup>1</sup>	25,00
Mamão papaya ano 1	12,00
Mamão papaya ano 2	51,00
Mamão papaya ano 3	27,00
Maracujá ano 1 (plantio em outubro)	0,00
Maracujá ano 2	15,00
Maracujá ano 3 (final do ciclo em agosto)	20,00
Melancia	25,00
Melancia semente	0,68
Melão	27,00
Milho	5,00
Pepino conserva	23,00
Pinha anos 1 e 2	0,00
Pinha ano 3	6,80
Pinha ano 4	10,20
Pinha ano 5 e 6 <sup>1</sup>	12,80
Quiabo fruto	10,00
Quiabo semente	1,10
Tomate de mesa	70,00

<sup>1</sup> Valores definidos com base em relatórios técnicos do Distrito de Irrigação do Jalba, DIJ, de 1999 a 2006, e na literatura especializada;

<sup>2</sup> Empregado no cálculo de resíduos além do horizonte de quatro anos.

**Tabela 3.** Valores de fator de resposta,  $K_y$ , dos estádios e ciclos das culturas consideradas.

Cultura	$K_y$ – estádios e ciclo					Fonte e OBS
	I	II	III	IV	Ciclo	
Abóbora japonesa					1,00	Sem fonte
Alface semente					1,00	Sem fonte
Algodão	0,40	0,40	0,50	0,40	0,90	Cropwat <sup>1</sup>
Banana prata-anã	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	Cropwat
Cebola inverno	0,45	0,45	0,80	0,30	1,10	FAO 33 <sup>2</sup>
Cebola verão	0,45	0,45	0,80	0,30	1,10	FAO 33
Cenoura					1,00	Sem fonte
Feijão	0,20	0,60	1,00	0,40	1,15	Cropwat
Limão					1,00	FAO 33 Citrus
Mamão papaya					1,00	Sem fonte
Maracujá					1,00	Sem fonte
Melancia	0,60	0,80	0,80	0,30	1,10	FAO 33
Melancia semente	0,60	0,80	0,80	0,30	1,10	FAO 33
Melão					1,10	Sem fonte; considerado igual ao da melancia
Milho	0,40	0,40	1,30	0,50	1,25	Cropwat
Pepino conserva					1,00	Sem fonte
Pinha					1,00	Sem fonte
Quiabo fruto	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	Sem fonte
Quiabo semente	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	Sem fonte
Tomate de mesa	0,50	0,60	1,10	0,80	1,05	FAO 56 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa desenvolvido pela Land and Water Development Division - FAO;<sup>2</sup> Doorenbos e Kassam (1979);<sup>3</sup> Allen et al. (1998).

**Tabela 4.** Valores de fator de disponibilidade de água, f, considerados no estudo.

Cultura	f - estádios e ciclo				Ciclo	Fonte e OBS
	I	II <sup>1</sup>	III	IV		
Abóbora japonesa					0,35	FAO 56 <sup>2</sup> (Squash)
Alface semente					0,20	FAO 56 Tab22 (lettuce): 0,3; considerou-se um valor menor por se trabalhar com semente
Algodão	0,60		0,60	0,90		Cropwat <sup>3</sup>
Banana prata-anã	0,35		0,35	0,35		Cropwat
Cebola inverno	0,35		0,35	0,40		Sem fonte
Cebola verão	0,35		0,35	0,40		Sem fonte
Cenoura					0,35	FAO 56 tabela 22 ETo ~ = 5 mm/dia
Feijão	0,45		0,45	0,60		Cropwat
Limão					0,50	FAO 56 Citrus
Mamão papaya	0,40		0,40	0,45		Sem fonte
Maracujá					0,50	Sem fonte
Melancia					0,40	FAO 56
Melancia semente					0,40	FAO 56
Melão					0,40	Sem fonte; considerado igual ao da melancia
Milho	0,50		0,50	0,80		Cropwat
Pepino conserva					0,50	FAO 56
Pinha					0,40	Sem fonte
Quiabo fruto					0,50	Sem fonte
Quiabo semente					0,50	Sem fonte
Tomate de mesa	0,30	0,50	0,30	0,40	0,40	FAO 56 - valor para o ciclo;

<sup>1</sup> O valor de f no estádio II é calculado interpolando-se os valores dos estádios I e III, ponderando-se com base no número de dias após plantio ou semeadura;

<sup>2</sup> Allen et al., (1998);

<sup>3</sup> Programa computacional desenvolvido pela Land and Water Development Division - FAO.

**Tabela 5.** Valores de profundidade efetiva do sistema radicular, profr, utilizados no estudo.

Cultura	profr (m) – estádios				Fonte e OBS
	I	II <sup>1</sup>	III	IV	
Abóbora japonesa	0,10	0,50	0,50		Com base no FAO 56 <sup>2</sup> , reduzindo para 0,5 nos estádios finais
Alface semente	0,10	0,30	0,30		FAO 56 Tab22 (lettuce): 0,3-0,5
Algodão	0,20	0,60	0,60		Profundidade final com base na EMBRAPA;
Banana prata-anã - ano 1	0,20	0,60	0,60		SISDA <sup>3</sup> e FAO 56
Cebola inverno	0,20	0,40	0,40		SISDA
Cebola verão	0,20	0,40	0,40		SISDA
Cenoura	0,10	0,40	0,40		
Feijão	0,15	0,40	0,40		SISDA
Limão - ano 1	0,30	0,70	0,70		Com base no FAO 56, mas reduzindo a profundidade máxima para ajuste à realidade local
Mamão papaya	0,20	0,60	0,60		Com base em informações no SISDA
Maracujá	0,20	0,60	0,60		SISDA
Melancia	0,20	0,50	0,50		
Melancia semente	0,20	0,50	0,50		
Melão	0,50	1,00	0,70		Sem fonte; considerado igual ao da melancia
Milho	0,15	0,50	0,50		
Pepino conserva	0,20	0,50	0,50		Inferior à 50% do indicado no FAO 56
Pinha - ano 1	0,20	0,60	0,60		Sem fonte
Quiabo	0,20	0,50	0,50		Sem fonte
Quiabo semente	0,20	0,50	0,50		Sem fonte
Tomate de mesa	0,20	0,40	0,40		

<sup>1</sup> A profr é calculada no estágio II interpolando-se os valores dos estádios I e III, ponderando-se com base no número de dias após plantio ou semeadura;

<sup>2</sup> Allen et al. (1998);

<sup>3</sup> Mantovani et al. (2003).

**Tabela 6.** Coeficientes das culturas,  $K_c$ , utilizados no estudo.

Cultura	$K_c$			Fonte e OBS
	Inicial	Inter-mediário	Final	
Abóbora japonesa	0,50	0,95	0,75	FAO 56 <sup>1</sup> (Squash)
Alface semente	0,60	1,00	0,95	FAO 56 tab 12 cap 6, com redução para estádio I
Algodão	0,66	0,93	0,74	EMBRAPA <sup>2</sup>
Banana prata-anã	0,50	1,10	1,00	Com base no FAO 56 e base do programa SISDA <sup>3</sup>
Cebola inverno	0,70	1,05	0,80	FAO 56
Cebola verão	0,70	1,05	0,80	FAO 56
Cenoura	0,60	1,10	0,50	FAO 29 <sup>4</sup>
Feijão	0,60	1,10	0,85	
Limão	0,50	0,80	0,80	Com base no FAO 56 Citrus, mas reduzindo no período inicial
Mamão papaya	0,55	0,70	0,70	Com base no SISDA, mas com alterações
Maracujá - ano 1	0,65	1,18	0,80	Silva et al., 2006
Maracujá - anos 2 e 3	0,80	1,18	0,90	Silva et al., 2006
Melancia	0,40	1,00	0,75	FAO 56
Melancia semente	0,40	1,00	0,75	FAO 56
Melão	0,50	1,00	0,70	Souza et al. 1999
Milho	0,30	1,20	0,5	Cropwat
Pinha ano 1	0,45	0,75	0,75	Ajustando com base em informações da EMATER - PB <sup>5</sup>
Pinha a partir do ano 2	0,75	0,75	0,75	Ajustando com base em informações da EMATER - PB <sup>5</sup>
Pepino conserva	0,60	1,00	0,75	FAO 56
Quiabo	0,50	1,00	0,30	Paes et al., 2003
Quiabo semente	0,50	1,00	0,30	Paes et al., 2003
Tomate de mesa	0,55	1,05	0,65	FAO 33, com acréscimo de 0,05 para estádio inicial

<sup>1</sup> Allen et al., (1998);<sup>2</sup> <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>

FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado/irrigacaonecessidadeshidricas.htm

<sup>3</sup> Mantovani et al. (2003);<sup>4</sup> Doorenbos e Pruitt (1977);<sup>5</sup> <http://seghidro.lsd.ufcg.edu.br/twiki-public/bin/view/SegHidro/SegHidroEmaterCulturas?skin=print.pattern>

## 2.2. Dados de clima

Dados relativos aos elementos climáticos precipitação, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa média do ar, insolação e velocidade do vento, em base diária, para a estação climatológica de Nova Porteirinha, MG, foram obtidos junto à EMBRAPA Milho e Sorgo, em convênio com o INMET para uso desses dados. Foi empregado um período de 26 anos, de 1978 a 2003. A evapotranspiração de referência foi calculada por meio do programa REF-ET<sup>7</sup> (Window Version 2.0), pelo método FAO Penman-Monteith, cujos algoritmos (Allen et al., 1998) auxiliaram também no preenchimento de falhas de dados.

## 2.3. Dados de solo

Foram feitas amostragens de solo em quatro propriedades. A escolha das propriedades ocorreu em cooperação com a Emater-MG, em agosto de 2005, quando iniciava um contrato de prestação de serviços de extensão rural como o Distrito de Irrigação Gorutuba, DIG. Adotou-se o critério de se considerar propriedades de pequeno, médio e grande porte, para os padrões do perímetro. As áreas irrigadas eram 35, 310, 8 e 8 ha nas propriedades 1 (P1), 2, (P2), 3 (P3) e 4 (P4), respectivamente. As propriedades contavam ainda com alguma área de sequeiro.

Em cada propriedade foram amostrados dois locais, nas profundidades de 0,05, 0,2, 0,4 e 0,6 m. O procedimento de obtenção de amostras, por meio da escavação de trincheiras, é ilustrado na Figura 1. Na Tabela 7 são apresentadas informações obtidas com GPS relacionadas à localização dos pontos de amostragem.

<sup>7</sup><http://www.kimberly.uidaho.edu/ref-et/>





**Figura 1.** Trincheiras para retirada de amostras de solo no perímetro de irrigação do Gorutuba.

Análises físicas e químicas dos solos foram executadas nos laboratórios da EMBRAPA Milho e Sorgo. Os resultados dessas análises são apresentados no Anexo 1. Com base nas análises físicas dos solos do Gorutuba, foram determinados, pelo método dos mínimos quadrados, os parâmetros das curvas características dos solos, conforme modelo de Genuchten (1980), descrito na Equação 1. O procedimento foi implementado na planilha eletrônica Microsoft® Excel, sendo utilizada a ferramenta Solver para minimização dos quadrados dos erros. Para cada local, foram determinadas médias ponderadas para os valores observados da relação potencial matricial e teor de água ( $\Psi_m(\theta)$ ) nas diferentes profundidades. Os fatores de ponderação foram 0,4, 0,3, 0,2 e 0,1, para as profundidades de 0,05, 0,2, 0,4 e 0,6 m, respectivamente.

$$\theta(\Psi_m) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + |\alpha \Psi_m|^n\right]^{\frac{1}{n}}} \quad 1$$

em que

$\theta(\Psi_m)$  = relação funcional entre o teor de água ( $\theta$ ), em base volume, e o potencial matricial ( $\Psi_m$ )

$\theta_s$  = teor de água do solo na saturação (igual à porosidade)

$\theta_r$  = teor de água residual

$\alpha$  = parâmetro com dimensão igual ao inverso da dimensão do potencial

$n, m$  = parâmetros adimensionais

**Tabela 7.** Localização de pontos de amostragem de solo no perímetro de irrigação do Gorutuba.

Ponto	Propriedade	Código	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Obs
104	P1	P1	517	682.634	8.266.238	Casa de bomba
105	P1	P1L1	510	682.924	8.266.361	Quadra 7; solo franco siltoso; banana 1000 a 1100 cx/ha
106	P1	P1L2	508	682.890	8.266.413	Quadra 10; franco arenoso; banana 1000 cx/ha
107	P2	P2L2	554	685.879	8.257.225	manga
108	P2	P2L1	541	686.699	8.259.479	banana nanica
109	P2	P2	551	686.113	8.257.845	Sede Uvale
110	P3	P3L2	545	683.797	8.255.940	feijão
111	P3	P3L1	547	683.884	8.256.017	banana
112	P4	P4L1	513	686.967	8.264.075	feijão
113	P4	P4L2	521	686.992	8.264.246	banana
114			565	686.259	8.257.371	cruzamento do canal principal - BR Janaúba - Porteirinha
115			531	684.383	8.257.373	Sítio de fenotipagem - primeiro ponto
116			534	683.841	8.257.389	Sítio de fenotipagem - segundo ponto
117			536	684.031	8.257.387	Sítio de fenotipagem - bomba

Na Tabela 8 apresenta-se parâmetros do modelo de Genuchten (1980) relativos a curvas características de solos no perímetro de irrigação do Gorutuba. Nas figuras 2 a 6 são apresentadas curvas

características para os diferentes solos. Visando uma comparação entre modelos, apresenta-se nas Figuras 5 e 6 também a curva característica segundo o modelo de Brooks e Corey (1964), descrito por meio das equações 2 e 3. Observam-se nestas figuras diferenças nos desenhos das curvas, obtidas com os dois modelos, na região próxima à saturação.

**Tabela 8.** Parâmetros do modelo de Genuchten (1980) relativos a curvas características de solos no perímetro de irrigação do Gorutuba (P1L1 - propriedade 1, local 1; P2L1 - propriedade 2, local 1; P3L1 - propriedade 3, local 1; P4L1 - propriedade 4, local 1; P4L2 - propriedade 4, local 2).

	Solo P1L1	Solo P2L1	Solo P3L1	Solo P4L1	Solo P4L2
$\theta_s$	0,506	0,406	0,435	0,440	0,414
$\theta_r$	0,00000	0,17262	0,17530	0,13641	0,19187
$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	1,59355	1,79054	0,30778	0,11956	0,12245
N	0,03740	1,16247	1,33595	1,31353	1,30623
M	0,00032	0,13976	0,25147	0,23869	0,23444

Na equação 2 é apresentado o modelo de Brooks e Corey (1964), cujo ajuste aos dados de retenção de água do solo foi realizado empregando-se a ferramenta Solver da planilha eletrônica Excel.

$$\theta(\Psi_m) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left( \frac{\Psi_b}{\Psi_m} \right)^\lambda \quad \text{para } \Psi_m > \Psi_b \quad 2$$

e

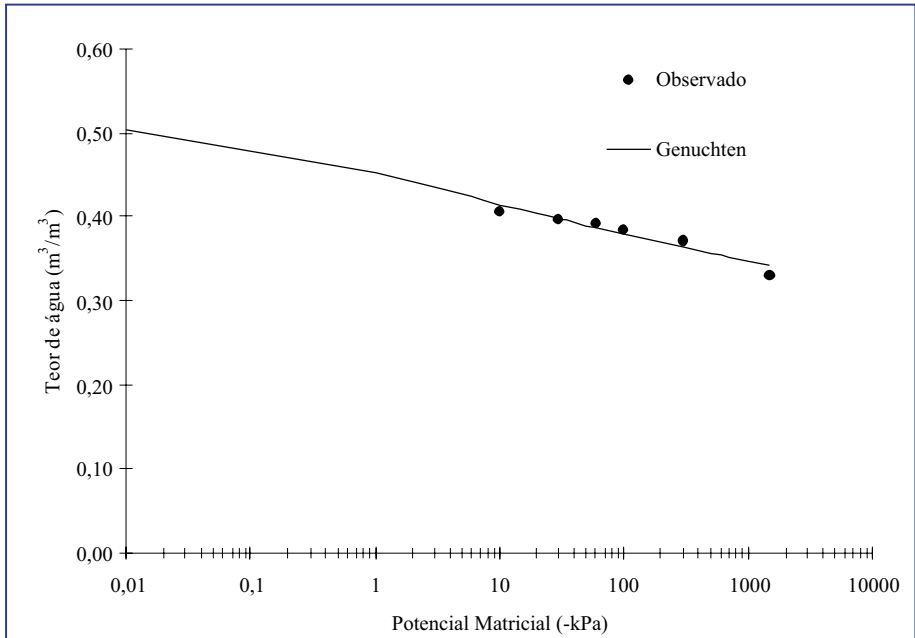
$$\theta = \theta_s \quad \text{para } \Psi_m \leq \Psi_b \quad 3$$

em que

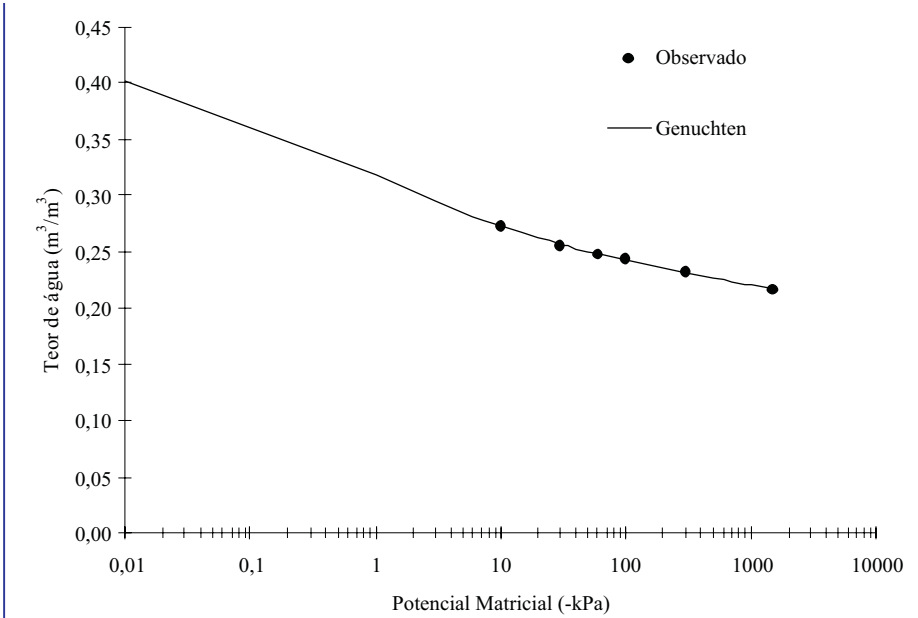
$\Psi_b$  = pressão de borbulhamento

$\lambda$  = índice de distribuição de tamanho de poros

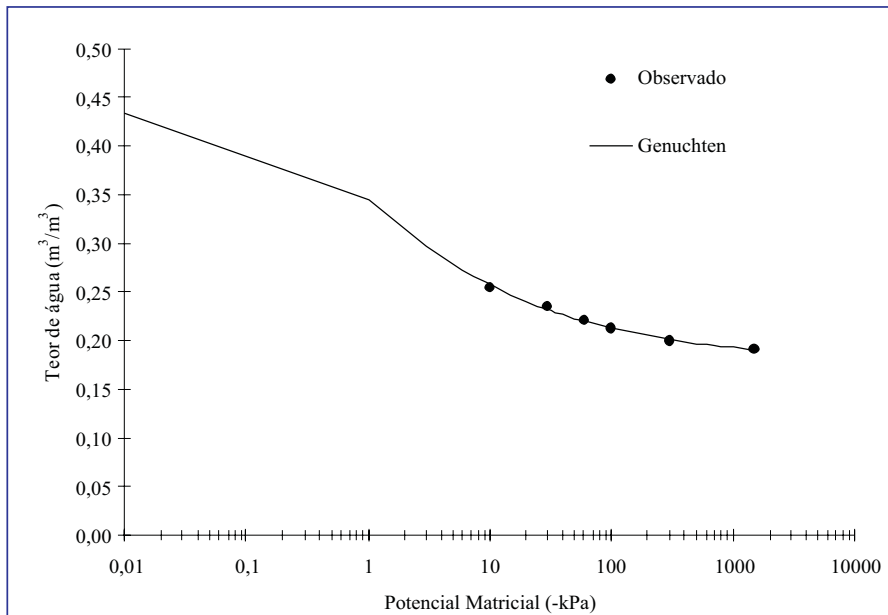
Pelas Figuras 2 a 6 observa-se que o modelo de Genutchten (1980) ajusta-se muito bem aos dados médios de retenção de água dos solos na faixa de -10 a -1500 kPa, sendo, portanto confiável para descrever os processos que dependem da relação teor de água-potencial matricial.



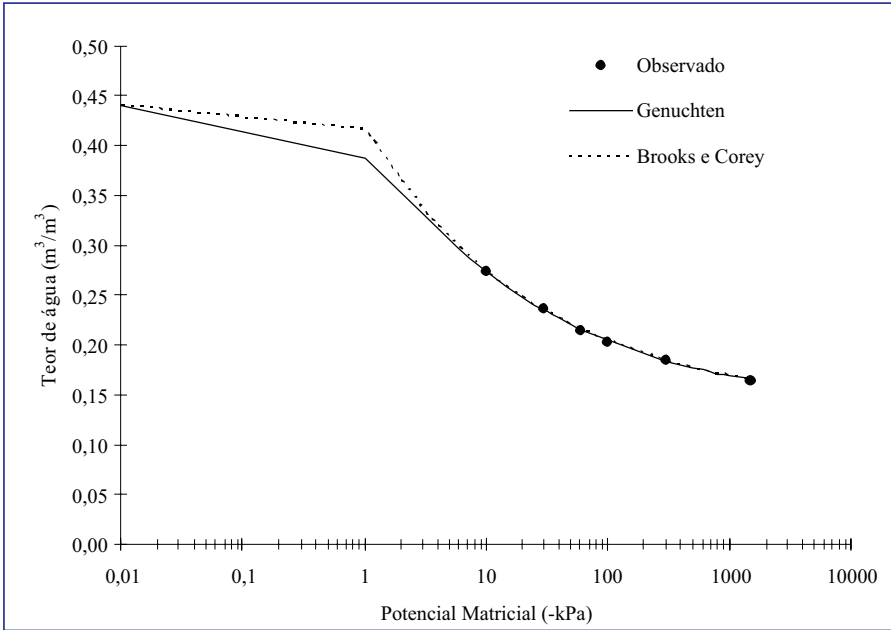
**Figura 2.** Curva característica para o solo da propriedade 1, local 1 (P1L1).



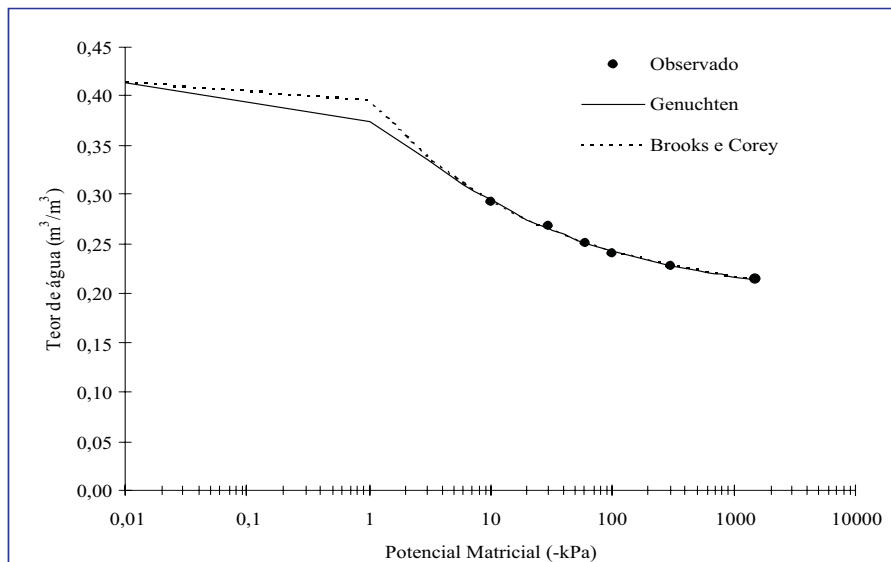
**Figura 3.** Curva característica para o solo da propriedade 2, local 1 (P2L1).



**Figura 4.** Curva característica para o solo da propriedade 3, local 1 (P3L1).



**Figura 5.** Curva característica para o solo da propriedade 4, local 1 (P4L1). São apresentadas curvas considerando os modelos de Genuchten (1980) e Brooks e Corey (1964).



**Figura 6.** Curva característica para o solo da propriedade 4, local 1 (P4L1). São apresentadas curvas considerando os modelos de Genuchten (1980) e Brooks e Corey (1964).

## 2.4. Parâmetros econômico-financeiros

Os coeficientes técnicos, relacionados aos custos de produção, de todas as culturas consideradas nos estudos foram obtidos junto ao Distrito de Irrigação do Jaíba, por não estarem disponíveis à época dados para o perímetro Gorutuba. Sabe-se, todavia que os preços praticados pelos fornecedores nas cidades próximas aos perímetros são muito similares. Os custos dos vários componentes de produção foram atualizados para dezembro de 2006, com base em valores de defensivos, fertilizantes, mão de obra, mudas, hora de máquina, água, energia, dentre outros, praticados no Norte de Minas, nas cidades de Montes Claros, Janaúba e Jaíba, e nos perímetros de irrigação do Jaíba e do Gorutuba.



Os custos de produção de culturas anuais são apresentados na Tabela 9 e na Tabela 10 são apresentados os custos de produção para culturas perenes.

**Tabela 9.** Custos de produção por hectare de culturas anuais.

Cultura	Sementes	Fertilizantes	Defensivos	Outros	Operação mecanizada	Mão de obra	Total
Abóbora híbrida	439,79	1.123,40	429,60	505,50	1.225,10	1.162,00	4.885,40
Alface semente	0,00	692,33	425,30	231,81	315,00	1.834,00	3.498,44
Algodão	71,50	560,08	355,32	169,29	377,50	560,00	2.093,69
Cebola inverno	1.798,67	4.503,30	2.159,34	4.248,07	1.397,50	2.441,60	16.548,48
Cebola verão	1.498,89	3.894,10	2.256,93	2.678,81	1.330,00	2.035,60	13.694,33
Cenouras diversas	372,38	2.123,84	1.512,40	3.437,08	292,50	1.988,00	9.726,20
Feijão	242,44	682,00	669,58	221,99	360,00	450,80	2.626,81
Melancia	72,50	1.798,90	567,79	1.544,31	225,00	1.022,00	5.230,50
Melancia semente	72,50	722,95	316,32	185,86	495,00	2.534,00	4.326,63
Melão	720,00	2.309,30	1.024,02	4.063,53	945,00	1.190,00	10.251,85
Milho	100,00	523,00	100,77	253,99	292,50	473,30	1.743,55
Pepino conserva	0,00	2.890,68	1.227,56	170,34	112,50	4.816,00	9.217,08
Quiabo fruto	209,30	1.758,20	356,52	1.929,56	247,50	2.604,00	7.105,08
Quiabo semente	0,00	620,40	389,93	249,67	495,00	1.120,00	2.875,00
Tomate mesa	115,55	6.979,00	4.123,87	7.816,46	4.342,50	7.826,00	31.203,38

**Tabela 10.** Custos de produção por hectare de culturas perenes.

<b>Cultura</b>	<b>Mudas</b>	<b>Fertili- zantes</b>	<b>Defensivos</b>	<b>Outros</b>	<b>Operação mecanizada</b>	<b>Mão de obra</b>	<b>Total</b>
Banana prata- aná ano 1	1.526,14	4.678,60	1.038,59	743,32	445,00	1.610,00	10.041,65
Banana prata- aná ano 2 em diante		4.657,20	1.116,20	759,92	108,00	2.212,00	8.853,32
Limão ano 1	1.050,00	789,10	321,73	736,90	315,00	1.246,00	4.458,72
Limão ano 2		695,70	507,52	1.199,11	180,00	1.204,00	3.786,33
Limão ano 3		817,20	691,56	1.884,56	180,00	1.358,00	4.931,32
Limão ano 4		848,10	827,51	2.278,00	180,00	1.512,00	5.645,61
Limão ano 5		900,70	937,36	3.052,08	180,00	1.694,00	6.764,14
Mamão papaya ano 1	3.000,00	2.718,67	1.066,44	2.021,50	270,00	2.310,00	11.386,62
Mamão papaya ano 2		1.944,40	1.869,87	6.523,01		4.354,00	14.691,28
Mamão papaya ano 3			1.033,28	3.402,36		2.562,00	6.997,64
Maracujá ano 1	1.050,00	1.009,80	429,67	4.655,33	108,00	1.898,40	9.151,20
Maracujá ano 2		1.514,70	1.289,00	1.116,23	162,00	2.847,60	6.929,52
Maracujá ano 3		757,35	515,60	1.141,89	81,00	1.423,80	3.919,64
Pinha diversas ano 1	1.837,50	450,56	182,75	862,69	315,00	2.366,00	6.014,50
Pinha diversas ano 2		604,96	314,50	975,61	360,00	2.002,00	4.257,07
Pinha diversas ano 3		604,98	487,25	1.540,61	450,00	2.464,00	5.546,84
Pinha diversas ano 4		643,60	613,00	2.094,31	540,00	2.926,00	6.816,91
Pinha diversas ano 5		643,60	839,00	2.092,61	540,00	2.968,00	7.083,21

Foram considerados os seguintes valores cobrados dos irrigantes para as tarifas K1 (tarifa relativa ao investimento público no perímetro de irrigação) e K2 (tarifa referente aos gastos com operação e manutenção do sistema de irrigação do perímetro): K1 = R\$ 67,53 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e K2 = R\$ 26,74 por 1.000 m<sup>3</sup> de água, valores estes praticados em novembro de 2006. Utilizou-se uma tarifa de energia elétrica de R\$ 0,23 kWh<sup>-1</sup>. Essa tarifa foi verificada na página da Cemig na Internet em 10 de julho de 2007: Verde, A3a - 30 Kv a 44 Kv - Rural, já acrescida com 18% ICMS. Contudo, sabe-se que alguns produtores podem operar com tarifas menores quando aptos a praticarem irrigação noturna, sendo necessária a aquisição de “relógios noturnos” (dispositivo para contabilização de consumo em períodos específicos).

Os preços de venda dos produtos das várias culturas foram ajustados considerando a série histórica de preços recebidos por produtores nos perímetros de irrigação do Jaíba e Gortuba, no período de 1999 e 2006. A fonte desses dados foram relatórios da CODEVASF, DIJ, DIG e EMATER-MG. Os preços foram corrigidos com base no IPCA anual (Índice de Preços ao Consumidor Ampliado; Ipeadata<sup>8</sup>, Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Sistema Nacional de Índices de Preços ao Consumidor). A base de dados, contendo informações de área, produção, comercialização, produtividade, preço e preço corrigido é apresentada no Anexo . Ajustes de preços para culturas em diferentes épocas do ano foram feitos por meio de informações do CEASA-MG.

<sup>8</sup>Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - <http://www.ipeadata.gov.br/>.

## **2.5. Dados de requerimento de irrigação e produtividade relativa**

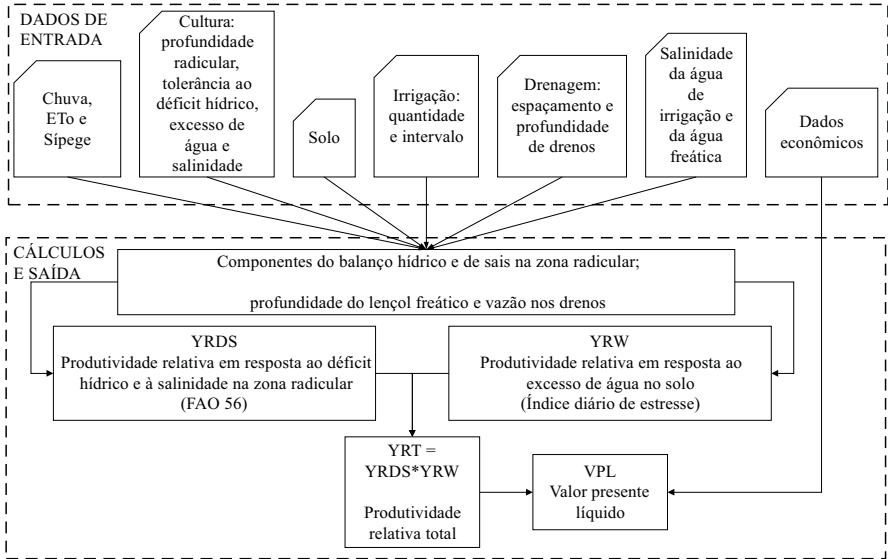
Conforme descrito no projeto, os dados de requerimento de irrigação, RIT, e produtividade relativa, YRT, foram obtidos com a aplicação do modelo MCID, desenvolvido por membros da equipe do projeto (Borges Júnior et al., 2008; Ferreira et al., 2006; Borges Júnior, 2004). Na obtenção de RIT, já se considera a eficiência de aplicação (Bernardo et al., 2005).

O modelo computacional MCID, aplicável em nível de unidade de produção, foi desenvolvido em Delphi (Borland Software Corporation). Presta-se para simular o balanço hídrico e de sais na zona radicular, estimar a profundidade do lençol freático (quando se considera sistema de drenagem), em base diária, e avaliar os efeitos do manejo da irrigação na produtividade da cultura, uso de água e retorno financeiro. Os dados de entrada e saída e os cálculos realizados são esquematizados na Figura 7.

A aplicação do MCID segue uma seqüência de entrada de dados, processamento de cálculos e acesso aos resultados. A entrada de dados é feita diretamente nos formulários do programa ou por arquivos texto criados a partir de planilhas eletrônicas (Excel, QuatroPro, Lotus, dentre outras). O acesso aos resultados é feito por meio dos formulários do programa.

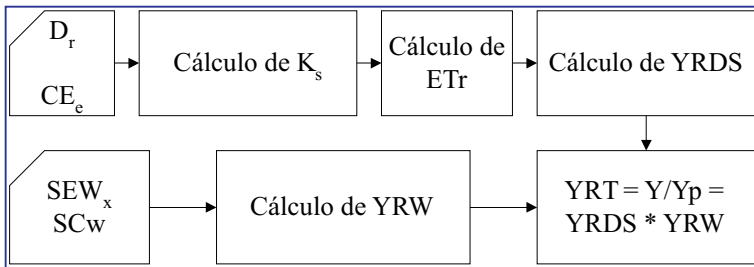
A aplicação prática do MCID visa o auxílio à tomada de decisão para:

- Planejamento (estudos de delineamento de projeto ou planejamento periódico) – diferentes estratégias de manejo de irrigação e, ou configurações do sistema de drenagem podem ser testadas.
- Tomada de decisão quanto ao manejo de irrigação – quando a simulação estiver sendo feita para um projeto já implantado, no ano corrente, poderão ser obtidas informações a respeito de quando e quanto irrigar.



**Figura 7.** Esquema de entrada de dados e cálculos do MCID.

A Figura 8 mostra o esquema para cálculo da produtividade relativa total.



**Figura 8.** Esquema de cálculo de produtividade relativa total – YRT.

Os termos indicados na Figura 8 são:

$D_r$  - depleção de água na zona radicular, mm

$CE_e$  - condutividade elétrica média do extrato da pasta saturada do solo na zona radicular,  $dS\ m^{-1}$

$K_s$  - coeficiente de estresse hídrico (engloba déficit hídrico e salinidade), adimensional [0 - 1]

Etr - evapotranspiração real, mm

YRDS - produtividade relativa, caso ocorra estresse devido somente ao déficit hídrico e à salinidade, decimal

$SEW_x$  - soma dos excessos diários de água a profundidades menores que X cm, cm-dia

SCw - fator de suscetibilidade da cultura ao excesso de água no solo na zona radicular, (cm-dia)<sup>-1</sup>

YRW - produtividade relativa, caso ocorra estresse devido somente ao excesso de água no solo, decimal

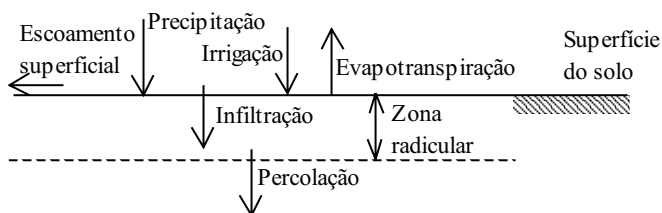
YRT - produtividade relativa total, decimal

Y - produtividade real, kg ha<sup>-1</sup>

Yp - produtividade potencial, kg ha<sup>-1</sup>

Nas situações predominantes no perímetro de irrigação Gorutuba, pode-se considerar YRW igual a 1. Não foram também considerados estresses devido à salinidade, o que também retrata a condição predominante no perímetro, com elevadas profundidades de lençol freático. Todavia, vale frisar que algumas áreas do perímetro apresentam propensão a um processo de salinização, devido a uma condição de perda de efetividade da rede de drenagem como consequência da manutenção deficitária, o que permitiu a proliferação de vegetação no leito e parede de drenos. Essa condição era observada no segundo semestre de 2005. Assim, nas simulações de balanço hídrico, não foi considerada a componente fluxo ascendente do lençol freático, adotando-se um esquema de modelagem

similar aos verificados nos programas computacionais Cropwat (FAO - Land and Water Development Division), SISDA (Mantovani et al., 2003) ou Irriplus<sup>9</sup>, ilustrado na Figura 9.



**Figura 9.** Representação esquemática do balanço hídrico na zona radicular, para situação com lençol freático profundo.

No estudo aqui relatado, o MCID foi aplicado visando à obtenção de informações quanto ao efeito de diferentes estratégias de manejo de irrigação sobre RIT e YRT. Essas informações foram então empregadas nos estudos de otimização de padrão de cultivo e estratégias de produção, associados à análise de risco, na definição de coeficientes técnicos relativos à função objetivo e equações de restrição do modelo de programação linear.

A base de dados utilizada está descrita nos itens 2.1, 2.2 e 2.3. Foram considerados, nas simulações com o MCID, os resultados da análise física dos solos amostrados na propriedade 2 e local 1 (P2L1) e propriedade 4 e local 2 (P4L2), apresentados na Tabela 11. Os valores de DTA em P2L1 e P4L1 foram os extremos mínimo e máximo, respectivamente, obtidos nas análises físicas para os solos amostrados no perímetro Gurutuba.

<sup>9</sup>GESAI - Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa - [www.irriplus.com.br](http://www.irriplus.com.br)

**Tabela 11.** Parâmetros físico-hídricos de solo do perímetro de irrigação do Gorutuba, considerados nas simulações com o programa MCID ( $\theta_s$  - teor de água do solo saturado ou porosidade;  $\theta_\mu$  - teor de água equivalente ao potencial de -6 kPa, utilizado para cálculo da porosidade drenável; CC - teor de água na capacidade de campo; PM - teor de água no ponto de murcha permanente,  $\theta_0$  - teor de água inicial; e DTA - disponibilidade total de água no solo).

	$\theta_s$ $m^3 m^{-3}$	$\theta_\mu$ $m^3 m^{-3}$	CC $m^3 m^{-3}$	PM $m^3 m^{-3}$	$\theta_0$ $m^3 m^{-3}$	DTA $mm m^{-1}$
P2L1	0,40630	0,28186	0,26394	0,21565	0,26394	48,2871
P4L1	0,44037	0,29748	0,25555	0,16447	0,25555	91,0843

Diferentes métodos e manejos de irrigação foram considerados para as diversas culturas, conforme apresentado na Tabela 12.



**Tabela 12.** Métodos de irrigação e parâmetros de manejo de irrigação considerados para diferentes culturas (eficiência de distribuição de projeto, EDad, decimal; eficiência potencial de aplicação de água, EPa, decimal, fração da superfície do solo molhada pela irrigação, fwi, decimal).

Cultura	Método de irrigação	Intervalo entre irrigações	EDad	EPa	fwi	Cessar irrigação (dafc)**
Abóbora japonesa	aspersão	*	0,85	0,90	1,00	2
Alface semente	gotejamento	*	0,80	1,00	0,40	5
Algodão	aspersão	3 dias	0,80	0,90	1,00	10
Banana	microaspersão	*	0,90	0,95	1,00	
Cebola	aspersão	*	0,80	0,90	1,00	10
Cenoura	aspersão	*	0,85	0,90	1,00	1
Feijão	aspersão	2 dias	0,85	0,90	1,00	3
Limão	microaspersão	*	0,90	0,95	0,70	
Mamão	microaspersão	*	0,90	0,95	0,90	
Maracujá	gotejamento	*	0,90	0,95	0,70	
Melancia	gotejamento	1 dia	0,85	1,00	0,40	1
Melancia semente	gotejamento	1 dia	0,85	1,00	0,40	1
Melão	gotejamento	1 dia	0,85	1,00	0,4	
Milho	aspersão	3 dias	0,80	0,90	1,00	7
Pepino para conserva	aspersão	3 dias	0,85	0,90	1,00	3
Pinha	microaspersão	*	0,90	0,95	0,90	
Quiabo	aspersão	3 dias	0,85	0,90	1,00	10
Quiabo semente	microaspersão	2 dias	0,90	0,95	1,00	10
Tomate de mesa	gotejamento	*	0,90	1,00	0,40	7,0

\* Irrigar quando ocorrer depleção de água na zona radicular equivalente a 100% da capacidade real de água do solo, CRA;

\*\* dafc = dias antes do final do ciclo.

Os requerimentos de irrigação, para as diferentes culturas e solos nos perímetros do Gorutuba são apresentados no Anexo .

### **3. Estudos de otimização de padrão de cultivo e estratégia de produção**

Os estudos de otimização de padrão de cultivo e estratégias de produção envolveram a aplicação de modelos de programação linear e análise de risco com base em simulações (Andrade et al., 2006; Borges Júnior et al., 2006; Borges Júnior, 2004; Borges Júnior et al., 2003). O modelo de programação linear, MPL, utilizado tem como objetivo inicial a otimização do padrão de cultivo para um horizonte de planejamento de quatro anos, maximizando o valor presente líquido total<sup>10</sup>. Obtido esse primeiro padrão ótimo, o modelo é reestruturado visando a minimização do requerimento de irrigação em períodos críticos quanto à disponibilidade de água. O conjunto de equações matemáticas empregadas nos MPLs é apresentado no projeto de pesquisa.

Visando exemplificar a aplicação do instrumental considerado no projeto para fins de planejamento, foram construídos dois MPLs. A cada MPL foi associada uma posterior análise de risco executada com o programa P-Risco (Borges Júnior et al., 2007; Borges Júnior, 2004). Nos modelos, descritos a seguir, são consideradas propriedades de pequeno a grande porte, conforme padrão latifundiário verificado nos perímetros de irrigação do Gorutuba.

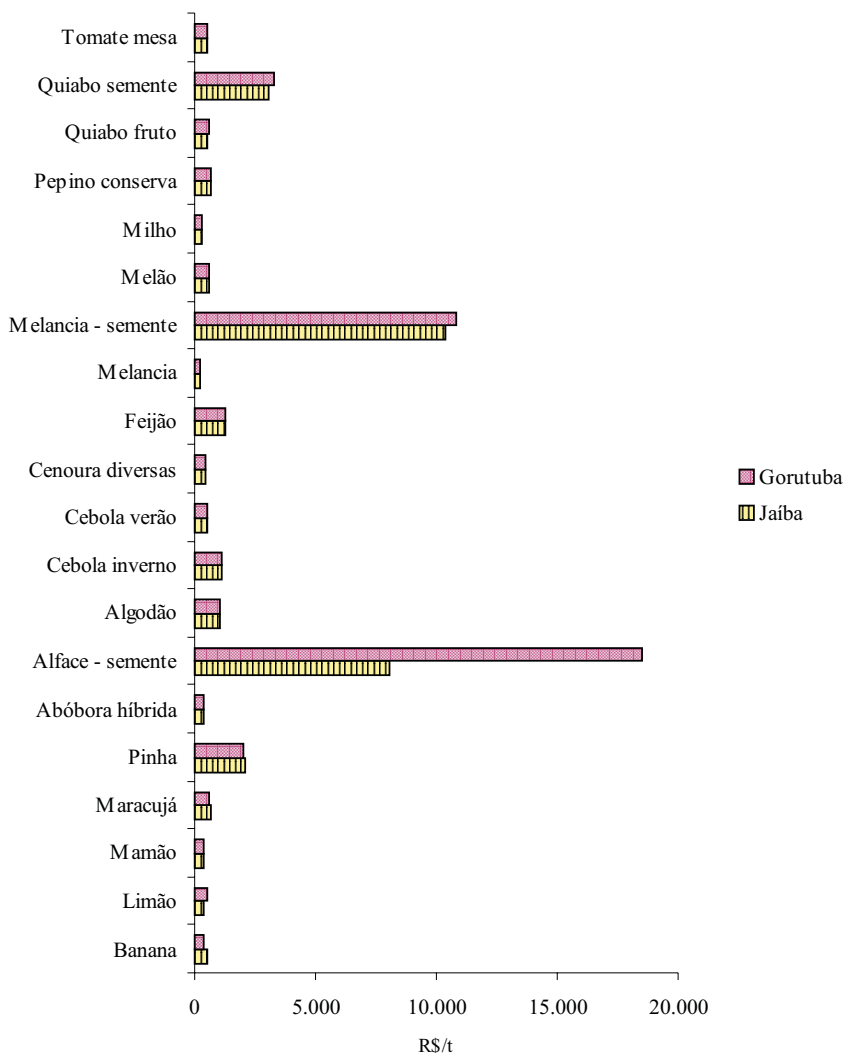
Os valores de produtividade empregados nos modelos foram gerados de aplicações do MCID, a partir da base de dados climáticos, de cultura, solo e requerimento de irrigação, descrita nos itens 2 e 2.5, Anexo e Anexo .

<sup>10</sup> Soma algébrica dos saldos de fluxo de caixa (ou margem líquida), corrigida pela taxa de desconto para o tempo zero (informações suplementares: Borges Júnior, 2004).

A definição dos preços dos produtos considerados nos MPLs baseou-se na série histórica de preços obtidos nos distritos (Anexo), sendo dado, porém, maior peso para os dados mais recentes. Ajustes nos valores de preços foram também feitos, quando percebida grande variação nos preços das séries históricas, bem como possíveis inconsistências. Tendo em vista a proximidade dos preços obtidos para a produção nos dois distritos, fora algumas maiores diferenças advindas de prováveis inconsistências nas séries de dados, conforme pode-se observar na Figura 10, adotou-se o mesmo conjunto de preços de produtos nos MPLs para os perímetros do Jaíba e do Gorutuba.

Já a definição dos requerimentos de mão de obra em base mensal, para os diferentes cultivos, foi baseada em planilhas de custos e coeficientes técnicos fornecidas pelo Distrito de Irrigação do Jaíba - DIJ, ou seja, as demandas de dias-homens para operações de plantio, tratamentos culturais, colheita, etc., informadas nas planilhas, foram divididas ao longo dos meses de cultivo. Os requerimentos de mão de obra, em base mensal, para culturas perenes e anuais, são apresentados no Anexo .

A taxa de desconto considerada foi de 8% ao ano. Esse valor foi obtido pela diferença entre a taxa Selic anual, para junho de 2007, igual a 12,43% ao ano, e a meta de inflação em 2007 do Conselho Monetário Nacional, igual a 4,5% ao ano.



**Figura 10.** Preços médios de diferentes culturas observados nos perímetros de irrigação do Gorutuba e do Jaíba.

A análise de risco, associada aos MPLs, utilizar as técnicas de análise de sensibilidade e simulações de risco (Frizzone e Silveira, 1996). A análise de sensibilidade é conduzida diretamente no MPL, alterando valores das variáveis de entrada requerimentos de irrigação, produtividade das culturas, preços de produtos, custos variáveis além da irrigação e taxa de desconto, conforme definido pelo usuário. Outra técnica de análise de risco, enfatizada neste projeto, baseia-se em simulações de risco, mais especificamente, simulações de Monte Carlo (Hardaker et al., 2004; Borges Júnior et al., 2003).

As simulações conforme o Método de Monte Carlo foram desempenhadas por um programa desenvolvido em Delphi, denominado P-Risco (Borges Júnior et al., 2007; Borges Júnior, 2004<sup>11</sup>). As variáveis de entrada requerimento mensal de irrigação, produtividade, preços dos produtos, custos variáveis além da irrigação e taxa de desconto anual foram consideradas de forma estocástica. Com essas simulações obtêm-se informações sobre as distribuições de probabilidade das variáveis de saída valor presente líquido total e requerimentos totais de irrigação ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ), mensais e anuais. Estas informações permitem avaliar os riscos aos quais os padrões de cultivos estarão sujeitos, em termos de viabilidade financeira e de escassez de água, em situações em que os recursos hídricos para irrigação são limitados.

Conforme procedimentos descritos em Borges Júnior (2004), nas simulações com o P-Risco considera-se a correlação entre os requerimentos mensais de irrigação para as várias culturas, com um coeficiente de correlação igual a 1.

<sup>11</sup>Em Borges Júnior (2004), este modelo é denominado M2-R, sendo apresentados, detalhadamente, os procedimentos implementados.

Na análise de risco com base em simulações, envolvendo a aplicação do programa P-Risco, considerou-se como variáveis de entrada estocásticas a taxa de desconto anual, requerimento de irrigação, outros custos além de irrigação, produtividade e preço, seguindo as distribuições de probabilidade e parâmetro de distribuições apresentados na Tabela 13. No processo de simulação foram feitas 10.000 iterações.

**Tabela 13.** Variáveis consideradas estocásticas na análise de risco, com respectivas distribuições de probabilidade e os parâmetros das distribuições - valor mínimo (min), valor máximo (max) e moda (mo).

Variável	Simbologia	Distribuição	Parâmetros
Taxa de desconto anual	TD	Triangular	min = 7%; mo = 8%; max = 12%
Requerimento de irrigação	$W_{jym}$	Normal padrão Truncada	min = $z_{5\%} = -1,64485$ ; max = $z_{95\%} = 1,64485$
Outros custos além da irrigação	C	Triangular	min = 0,9C; mo = C; max = 1,1C
Produtividade	Y	Normal truncada	min = 0,85Y; mo = Y; max = 1,15Y;
Preço	P	Triangular	min = 0,6P; mo = P; max = 1,2P

Os estudos aqui apresentados relativos a propriedades no perímetro de irrigação do Gorutuba consideram os dados de solo e requerimento de irrigação para as propriedades 2 e 4 (itens 2 e 2.5). Contudo, ressalta-se que não se trata de proposta de reestruturação das atividades dessas propriedades, visto que os cenários de produção aqui considerados são tomados como hipotéticos, isto é, arbitrou-se um conjunto de possibilidades de cultivos e restrições relativas à disponibilidade hídrica, mão de obra e produção. Portanto, os estudos aqui têm caráter demonstrativo do potencial do instrumental utilizado no planejamento de propriedades, visando conciliar retorno financeiro e requerimento de irrigação otimizados.

#### 4. Modelo de programação linear para propriedade 2 no perímetro de irrigação do Gorutuba

A propriedade 2 pode ser considerada de grande porte, com base no padrão de distribuição de áreas no perímetro de irrigação do Gorutuba. O modelo de programação linear, MPL, foi implementado para um horizonte de planejamento de quatro anos. As restrições quanto a recursos, consideradas no MPL, são apresentadas na Tabela 14. Na Tabela 15 são apresentadas as restrições quanto à produção, consideradas neste MPL.

**Tabela 14.** Restrições quanto aos recursos, adotadas no modelo de programação linear.

<b>Restrição</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
Terra	(ha)	200
Mão-de-obra (mensal)	(dias-homem)	6.000
Água disponível para irrigação (mensal)	(m <sup>3</sup> )	155.000

O padrão de cultivo apontado como ótimo em termos de maximização do valor presente líquido total, U (R\$), é apresentado na Tabela 16. O valor ótimo obtido de U foi igual a R\$ 2.918.744,05 para os quatro anos de planejamento, representando o lucro, corrigido pela taxa de desconto para este período.

**Tabela 15.** Restrições quanto à produção, adotadas no modelo de programação linear.

<b>Cultura</b>	<b>Unidade</b>	<b>&gt;=</b>	<b>&lt;=</b>
Banana ano 2	t ano <sup>-1</sup>	525	
Limão ano 3	t ano <sup>-1</sup>	160	
Limão ano 4	t ano <sup>-1</sup>		420
Mamão ano 2	t ano <sup>-1</sup>	315	630
Maracujá ano 3	t ano <sup>-1</sup>	210	525
Pinha ano 3	t ano <sup>-1</sup>	50	
Pinha ano 4	t ano <sup>-1</sup>		315
Abóbora híbrida	t safra <sup>-1</sup>	50	520
Alface - semente	t safra <sup>-1</sup>	5	10
Algodão	t safra <sup>-1</sup>	15	
Cebola inverno	t safra <sup>-1</sup>		630
Cebola verão	t safra <sup>-1</sup>		630
Cenoura diversas	t safra <sup>-1</sup>	210	700
Feijão	t safra <sup>-1</sup>	10	80
Melancia	t safra <sup>-1</sup>	210	900
Melancia - semente	t safra <sup>-1</sup>		10
Melão	t safra <sup>-1</sup>		630
Milho	t safra <sup>-1</sup>	30	
Pepino conserva	t safra <sup>-1</sup>		
Quiabo fruto	t safra <sup>-1</sup>		
Quiabo semente	t safra <sup>-1</sup>	10	
Tomate mesa	t safra <sup>-1</sup>		



**Tabela 16.** Resultados do padrão de cultivo da propriedade 2 considerada no perímetro de irrigação do Gorutuba, considerando o valor presente líquido total maximizado.

Cultura	Ano inicial	Ano final	Nome	Valor final
Banana	1	4	B1 (ha)	19,45
Limão	1	4*	L1 (ha)	16,00
Mamão	1	3	MP1 (ha)	6,18
Maracujá 1	1	3	MA1 (ha)	10,51
Maracujá 2	2	4	MA2 (ha)	10,51
Pinha	1	4*	P1 (ha)	30,89
Abóbora híbrida	1	1	AB1 (ha)	24,46
Abóbora híbrida	2	2	AB2 (ha)	6,47
Abóbora híbrida	3	3	AB3 (ha)	3,34
Abóbora híbrida	4	4	AB4 (ha)	11,85
Alface - semente	1	1	AS1 (ha)	5,84
Alface - semente	2	2	AS2 (ha)	5,84
Alface - semente	3	3	AS3 (ha)	5,84
Alface - semente	4	4	AS4 (ha)	5,84
Algodão	1	1	AL1 (ha)	7,60
Algodão	2	2	AL2 (ha)	7,60
Algodão	3	3	AL3 (ha)	7,60
Algodão	4	4	AL4 (ha)	7,60
Cebola inverno	1	1	CI1 (ha)	25,69
Cebola inverno	2	2	CI2 (ha)	25,69
Cebola inverno	3	3	CI3 (ha)	23,57
Cebola inverno	4	4	CI4 (ha)	25,69
Cebola verão	1	2	CV2 (ha)	10,58
Cebola verão	2	3	CV3 (ha)	20,58
Cebola verão	3	4	CV4 (ha)	14,59
Cenoura diversas	1	1	CN1 (ha)	25,93
Cenoura diversas	2	2	CN2 (ha)	25,93
Cenoura diversas	3	3	CN3 (ha)	17,16
Cenoura diversas	4	4	CN4 (ha)	25,93
Feijão 1	1	1	F11 (ha)	4,40
Feijão 1	2	2	F12 (ha)	4,40
Feijão 1	3	3	F13 (ha)	4,40
Feijão 1	4	4	F14 (ha)	4,40
Feijão 2	1	1	F21 (ha)	4,38
Feijão 2	2	2	F22 (ha)	4,38
Feijão 2	3	3	F23 (ha)	4,38
Feijão 2	4	4	F24 (ha)	4,38
Feijão 3	1	1	F31 (ha)	23,84
Feijão 3	2	2	F32 (ha)	13,36
Feijão 3	3	3	F33 (ha)	25,36
Feijão 3	4	4	F34 (ha)	35,21
Melancia	1	1	ME1 (ha)	36,00
Melancia	2	2	ME2 (ha)	36,00
Melancia	3	3	ME3 (ha)	36,00
Melancia	4	4	ME4 (ha)	36,00
Melancia - semente	1	1	MS1 (ha)	14,71
Melancia - semente	2	2	MS2 (ha)	14,71
Melancia - semente	3	3	MS3 (ha)	14,71
Melancia - semente	4	4	MS4 (ha)	14,71

**Tabela 16 (continuação).** Resultados do padrão de cultivo da propriedade 2 considerada no perímetro de irrigação do Gorutuba, considerando valor presente líquido total maximizado.

Cultura	Ano inicial	Ano final	Nome	Valor final
Melão	1	1	ML1 (ha)	23,33
Melão	2	2	ML2 (ha)	23,33
Melão	3	3	ML3 (ha)	23,33
Melão	4	4	ML4 (ha)	23,33
Milho dezembro	1	2	MD2 (ha)	6,16
Milho dezembro	2	3	MD3 (ha)	6,16
Milho dezembro	3	4	MD4 (ha)	6,16
Milho fevereiro	1	1	MF1 (ha)	6,05
Milho fevereiro	2	2	MF2 (ha)	6,05
Milho fevereiro	3	3	MF3 (ha)	6,05
Milho fevereiro	4	4	MF4 (ha)	6,05
Pepino conserva	1	1	PP1 (ha)	0,00
Pepino conserva	2	2	PP2 (ha)	0,00
Pepino conserva	3	3	PP3 (ha)	0,00
Pepino conserva	4	4	PP4 (ha)	0,00
Quiabo fruto	1	1	QF1 (ha)	0,00
Quiabo fruto	2	2	QF2 (ha)	0,00
Quiabo fruto	3	3	QF3 (ha)	0,00
Quiabo fruto	4	4	QF4 (ha)	0,00
Quiabo semente	1	2	QS2 (ha)	9,27
Quiabo semente	2	3	QS3 (ha)	9,27
Quiabo semente	3	4	QS4 (ha)	9,27
Tomate mesa	1	1	TM1 (ha)	23,91
Tomate mesa	2	2	TM2 (ha)	15,78
Tomate mesa	3	3	TM3 (ha)	0,00
Tomate mesa	4	4	TM4 (ha)	13,15

\* Período total considerado igual a 6 anos.

Na Tabela 17 apresenta-se a relação das restrições atuantes, preços sombra, acréscimos e decréscimos permissíveis. O preço sombra representa o máximo acréscimo sobre o valor otimizado da função objetivo (valor presente líquido total), para o aumento em uma unidade na correspondente restrição (Hazell e Norton, 1986). Os acréscimos e decréscimos permissíveis indicam o intervalo, no

qual pode-se variar o valor da restrição, mantendo o valor do preço sombra. Quando o valor da restrição limitante é alterado neste intervalo, os níveis das atividades serão alterados, mas não será alterada a base da solução ótima, ou seja, não será alterado o conjunto de atividades presentes na solução ótima.

As restrições mensais de irrigação foram atuantes (foi atingido o valor crítico) nos meses de maio nos anos 1 a 4, fevereiro nos anos 2 a 4 e outubro nos anos 1 a 3. Os valores de preços sombra variaram de R\$ 0,10 a R\$ 5,60 por metro cúbico, sendo o valor máximo relativo ao mês de maio no ano 3. Por exemplo, na primeira linha da Tabela 17 observa-se que o preço sombra relativo à disponibilidade de água no mês de maio do ano 1 foi R\$ 0,30/m<sup>3</sup>. Isto indica que, para cada metro cúbico a mais, disponível neste mês, seria obtido um acréscimo de R\$ 0,30 no lucro, ou seja, no valor presente líquido total igual a R\$ 2.918.744,05. Ainda em relação a esta linha da Tabela 17, verifica-se que os acréscimo e o decréscimo permitíveis foram, respectivamente, 7.272,08 e 22.857,35, indicando que o preço sombra igual a R\$ 0,30/m<sup>3</sup> no mês de maio do ano 1 seria mantido caso a restrição de água neste mês, igual a 155.000 m<sup>3</sup>, varie no intervalo de 132.142,65 a 162.272,08 m<sup>3</sup>.

As restrições quanto à mão de obra foram atuantes nos meses de fevereiro nos anos 1, 2 e 4 de planejamento, devido, principalmente, à demanda no cultivo de tomate de mesa. As restrições relativas à terra não foram atuantes no modelo, o que ocorreu devido ao efeito mais expressivo das restrições de água e mão de obra. As médias quanto à ocupação da área foram 72% nos anos 1 e 2, 75% no ano 3 e 73% no ano 4.

Vale notar na Tabela 17 alguns valores negativos de preço sombra relativos às restrições de produção mínima. Por exemplo, na linha relativa à restrição de produção mínima para a cultura do quiabo para semente, no ano 2, igual a 10 t (esta restrição é também

explicitada na Tabela 15), obteve-se um preço sombra negativo igual a R\$ - 472,88, indicando que para cada tonelada reduzida na restrição de produção mínima seria obtido um acréscimo de R\$ 472,88 no lucro, isto é, no valor presente líquido total igual a R\$ 2.918.744,05. Assim, se esta restrição fosse alterada para 9 t, seria obtido um valor presente líquido total igual a R\$ 2.919.216,93.

**Tabela 17.** Restrições atuantes no modelo de programação linear com maximização do valor presente líquido total para propriedade 2 no perímetro de irrigação do Gorutuba, preços sombra, acréscimos e decréscimos permissíveis.

Tipo de restrição	Nome e unidade da restrição	Valor da restrição	Preço sombra*	Acréscimo permissível	Decréscimo permissível
água	mai - ano 1 (m <sup>3</sup> )	155.000	0,3	7.272,08	22.857,35
água	out - ano 1 (m <sup>3</sup> )	155.000	0,2	11.884,93	20.317,71
água	fev - ano 2 (m <sup>3</sup> )	155.000	0,5	7.004,30	746,86
água	mai - ano 2 (m <sup>3</sup> )	155.000	0,3	10.017,22	3.386,42
água	out - ano 2 (m <sup>3</sup> )	155.000	0,2	13.124,80	9.370,81
água	fev - ano 3 (m <sup>3</sup> )	155.000	0,8	9.166,17	13.285,86
água	mai - ano 3 (m <sup>3</sup> )	155.000	5,6	3.213,32	35.761,42
água	out - ano 3 (m <sup>3</sup> )	155.000	0,1	10.290,04	21.912,61
água	fev - ano 4 (m <sup>3</sup> )	155.000	0,4	4.197,36	10.224,30
água	mai - ano 4 (m <sup>3</sup> )	155.000	0,2	13.270,61	9.211,30
mão de obra	fev - ano 1 (dias-homem)	6.000	10,2	123,14	4.374,67
mão de obra	fev - ano 2 (dias-homem)	6.000	8,7	80,15	2.386,77
mão de obra	fev - ano 4 (dias-homem)	6.000	7,4	1.528,32	1.989,25
produção	Quiabo semente - ano 2 (t)	10	-472,88	2,42	10,00
produção	Quiabo semente - ano 3 (t)	10	-448,38	8,34	10,00
produção	Quiabo semente - ano 4 (t)	10	-405,42	19,51	8,26
produção	Melão - ano 1 (t)	630	200,12	389,58	144,55
produção	Melão - ano 2 (t)	630	177,60	10,06	442,85
produção	Melão - ano 3 (t)	630	164,44	772,73	630,00
produção	Melão - ano 4 (t)	630	152,26	250,84	265,38
produção	Milho dezembro - ano 2 (t)	30	-250,57	0,69	22,06
produção	Milho dezembro - ano 3 (t)	30	-346,34	41,50	30,00
produção	Milho dezembro - ano 4 (t)	30	-214,83	17,15	13,22
produção	Milho fevereiro - ano 1 (t)	30	-163,20	87,58	30,00
produção	Milho fevereiro - ano 2 (t)	30	-202,63	0,82	30,00
produção	Milho fevereiro - ano 3 (t)	30	1.580,05	50,39	12,68
produção	Milho fevereiro - ano 4 (t)	30	-173,72	20,35	30,00
produção	Banana - ano 2 (t)	525	-399,15	4,03	0,00
produção	Mamão ano 2 (t)	315	-143,28	13,32	202,44
produção	Maracujá 1 - ano 3 (t)	210	-352,44	4,10	60,67
produção	Maracujá 2 - ano 4 (t)	210	-351,18	100,90	60,56
produção	Pinha - ano 4 (t)	315	2.501,11	2,37	37,91
produção	Abóbora híbrida - ano 3 (t)	50	-385,55	470,00	44,50
produção	Alface - semente - ano 1 (t)	10	2.633,48	9,22	5,00
produção	Alface - semente - ano 2 (t)	10	2.438,41	12,20	5,00
produção	Alface - semente - ano 3 (t)	10	776,18	128,89	5,00
produção	Alface - semente - ano 4 (t)	10	2.090,54	33,20	5,00
produção	Cebola inverno - ano 1 (t)	630	385,32	369,47	179,07
produção	Cebola inverno - ano 2 (t)	630	356,77	54,74	493,80
produção	Cebola inverno - ano 4 (t)	630	305,88	148,89	399,65
produção	Cebola verão - ano 3 (t)	630	12,85	384,40	330,95
produção	Cenoura - ano 1 (t)	700	45,52	93,76	195,51
produção	Cenoura - ano 2 (t)	700	17,12	3,55	136,08
produção	Cenoura - ano 4 (t)	700	14,68	88,59	81,55

\* A unidade do preço sombra é R\$ dividido pela unidade da restrição correspondente, isto é, R\$/m<sup>3</sup>, R\$/dias-homem ou R\$/t. Equivalente ao valor da restrição.

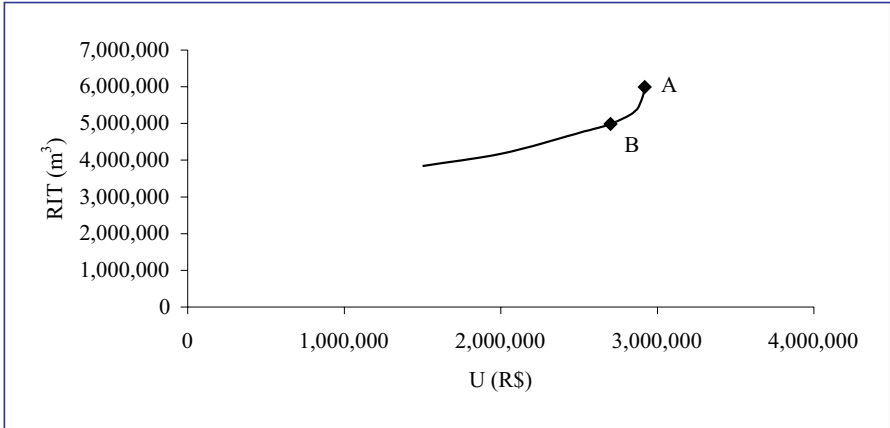
**Tabela 17 (continuação).** Restrições atuantes no modelo de programação linear com maximização do valor presente líquido total para propriedade 2 no perímetro de irrigação do Gorutuba, preços sombra, acréscimos e decréscimos permissíveis

Tipo de Restrição	Nome e unidade da restrição	Valor da restrição	Preço sombra*	Acréscimo permissível	Decréscimo permissível
Produção	Feijão 1 - ano 1 (t)	10	-5,08	53,26	10,00
Produção	Feijão 1 - ano 2 (t)	10	-288,16	0,31	10,00
Produção	Feijão 1 - ano 3 (t)	10	-441,64	22,31	10,00
Produção	Feijão 1 - ano 4 (t)	10	-247,05	7,62	7,20
Produção	Feijão 2 - ano 1 (t)	10	-48,12	53,74	10,00
Produção	Feijão 2 - ano 2 (t)	10	-44,56	7,96	10,00
Produção	Feijão 2 - ano 3 (t)	10	-2.312,25	70,00	7,56
Produção	Feijão 2 - ano 4 (t)	10	-38,20	21,66	10,00
Produção	Melancia - semente - ano 1 (t)	10	3.677,09	21,57	10,00
Produção	Melancia - semente - ano 2 (t)	10	3.404,71	9,95	10,00
Produção	Melancia - semente - ano 3 (t)	10	3.152,51	21,40	10,00
Produção	Melancia - semente - ano 4 (t)	10	3.044,42	12,39	10,00
Produção	Limão - ano 3 (t)	160	-739,36	2,85	45,28
Produção	Melancia - ano 1 (t)	900	2,61	793,15	463,96
Produção	Melancia - ano 2 (t)	900	2,42	365,81	690,00
Produção	Melancia - ano 3 (t)	900	2,24	855,41	401,70
Produção	Melancia - ano 4 (t)	900	5,48	455,55	690,00
Produção	Feijão 3 - ano 4 (t)	80	61,27	25,37	70,00
Produção	Algodão - ano 1 (t)	15	-304,14	32,58	14,67
Produção	Algodão - ano 2 (t)	15	-281,61	0,41	15,00
Produção	Algodão - ano 3 (t)	15	-4.006,97	15,76	4,58
Produção	Algodão - ano 4 (t)	15	-241,43	10,27	15,00
Produção	Pepino conserva - ano 1 (t)	0	224,59	28,67	0,00
Produção	Pepino conserva - ano 2 (t)	0	183,41	5,47	0,00
Produção	Pepino conserva - ano 3 (t)	0	171,49	240,58	0,00
Produção	Pepino conserva - ano 4 (t)	0	157,24	63,61	0,00
Produção	Tomate mesa - ano 3 (t)	0	-2,32	713,38	0,00

\*A unidade do preço sombra é R\$ dividido pela unidade da restrição correspondente, isto é, R\$/m<sup>3</sup>, R\$/dias-homem ou R\$/t.

Na Figura 1 apresenta-se a linha de soluções de padrão de cultivo no plano valor presente líquido total (U) e requerimento de irrigação durante todo período de planejamento (RIT), considerando valores minimizados de RIT. O ponto A, indicado na Figura 11, representa o ponto de máximo valor presente líquido total, igual a R\$ 2.918.744,05 ( $U_{max}$ ), cujo padrão de cultivo é apresentado na Tabela 16. O ponto B foi obtido para um valor presente líquido total igual a R\$ 2.700.000 (7,5% inferior em relação ao  $U_{max}$ ), minimizando-se o requerimento de irrigação durante todo o período de planejamento, de forma diferente do que foi proposto para a propriedade no Jaíba, quando se considerou o requerimento de irrigação apenas nos meses críticos. No ponto A o valor de RIT é 5.994.634  $m^3$ , enquanto no ponto B, o RIT é igual a 4.990.720  $m^3$ , sendo 16,7% inferior ao do ponto A.

Em relação ao procedimento adotado para a propriedade no Jaíba, o padrão de cultivo relativo ao ponto B escolhido gerou um valor de U mais distante ao U máximo. Procedeu-se dessa forma porque a partir desse ponto não se observou risco de escassez de água em meses críticos, conforme será novamente abordado à frente. O padrão de cultivo relativo ao ponto B é apresentado na Tabela 18.



**Figura 11.** Linha de soluções de padrão de cultivo no plano valor presente líquido total (U) e requerimento de irrigação nos quatro anos do período de planejamento (RIT), considerando valores minimizados de RIT.



**Tabela 18.** Resultados do padrão de cultivo da propriedade 2, no perímetro de irrigação do Gortuba, considerando valor presente líquido total igual a R\$ 2.700.000 e valor minimizado de requerimento de irrigação no período total de planejamento.

Cultura	Ano inicial	Ano final	Nome	Valor final
Banana	1	4	B1 (ha)	19,45
Limão	1	4*	L1 (ha)	16,00
Mamão	1	3	MP1 (ha)	6,18
Maracujá 1	1	3	MA1 (ha)	10,51
Maracujá 2	2	4	MA2 (ha)	10,51
Pinha	1	4*	P1 (ha)	28,10
Abóbora híbrida	1	1	AB1 (ha)	3,34
Abóbora híbrida	2	2	AB2 (ha)	3,34
Abóbora híbrida	3	3	AB3 (ha)	3,34
Abóbora híbrida	4	4	AB4 (ha)	3,34
Alface - semente	1	1	AS1 (ha)	5,84
Alface - semente	2	2	AS2 (ha)	5,84
Alface - semente	3	3	AS3 (ha)	5,84
Alface - semente	4	4	AS4 (ha)	5,84
Algodão	1	1	AL1 (ha)	7,60
Algodão	2	2	AL2 (ha)	7,60
Algodão	3	3	AL3 (ha)	7,60
Algodão	4	4	AL4 (ha)	7,60
Cebola inverno	1	1	CI1 (ha)	25,69
Cebola inverno	2	2	CI2 (ha)	25,69
Cebola inverno	3	3	CI3 (ha)	25,16
Cebola inverno	4	4	CI4 (ha)	25,69
Cebola verão	1	2	CV2 (ha)	0,00
Cebola verão	2	3	CV3 (ha)	0,00
Cebola verão	3	4	CV4 (ha)	0,00
Cenoura diversas	1	1	CN1 (ha)	7,78
Cenoura diversas	2	2	CN2 (ha)	7,78
Cenoura diversas	3	3	CN3 (ha)	7,78
Cenoura diversas	4	4	CN4 (ha)	7,78
Feijão 1	1	1	F11 (ha)	4,40
Feijão 1	2	2	F12 (ha)	4,40
Feijão 1	3	3	F13 (ha)	4,40
Feijão 1	4	4	F14 (ha)	4,40
Feijão 2	1	1	F21 (ha)	4,38
Feijão 2	2	2	F22 (ha)	4,38
Feijão 2	3	3	F23 (ha)	4,38
Feijão 2	4	4	F24 (ha)	4,38
Feijão 3	1	1	F31 (ha)	4,40
Feijão 3	2	2	F32 (ha)	4,40
Feijão 3	3	3	F33 (ha)	4,40
Feijão 3	4	4	F34 (ha)	4,40
Melancia	1	1	ME1 (ha)	8,40
Melancia	2	2	ME2 (ha)	8,40
Melancia	3	3	ME3 (ha)	8,40
Melancia	4	4	ME4 (ha)	8,40

**Tabela 18 (continuação).** Resultados do padrão de cultivo da propriedade 2, no perímetro de irrigação do Gorutuba, considerando valor presente líquido total igualado a R\$ 2.700.000 e valor minimizado de requerimento de irrigação no período total de planejamento.

Cultura	Ano inicial	Ano final	Nome	Valor final
Melancia - semente	1	1	MS1 (ha)	14,71
Melancia - semente	2	2	MS2 (ha)	14,71
Melancia - semente	3	3	MS3 (ha)	14,71
Melancia - semente	4	4	MS4 (ha)	14,71
Melão	1	1	ML1 (ha)	23,33
Melão	2	2	ML2 (ha)	23,33
Melão	3	3	ML3 (ha)	23,33
Melão	4	4	ML4 (ha)	23,33
Milho dezembro	1	2	MD2 (ha)	6,16
Milho dezembro	2	3	MD3 (ha)	6,16
Milho dezembro	3	4	MD4 (ha)	6,16
Milho fevereiro	1	1	MF1 (ha)	6,05
Milho fevereiro	2	2	MF2 (ha)	6,05
Milho fevereiro	3	3	MF3 (ha)	6,05
Milho fevereiro	4	4	MF4 (ha)	6,05
Pepino conserva	1	1	PP1 (ha)	0,00
Pepino conserva	2	2	PP2 (ha)	0,00
Pepino conserva	3	3	PP3 (ha)	0,00
Pepino conserva	4	4	PP4 (ha)	0,00
Quiabo fruto	1	1	QF1 (ha)	0,00
Quiabo fruto	2	2	QF2 (ha)	0,00
Quiabo fruto	3	3	QF3 (ha)	0,00
Quiabo fruto	4	4	QF4 (ha)	0,00
Quiabo semente	1	2	QS2 (ha)	9,27
Quiabo semente	2	3	QS3 (ha)	9,27
Quiabo semente	3	4	QS4 (ha)	9,27
Tomate mesa	1	1	TM1 (ha)	25,67
Tomate mesa	2	2	TM2 (ha)	22,84
Tomate mesa	3	3	TM3 (ha)	0,00
Tomate mesa	4	4	TM4 (ha)	22,20

Na Tabela 19 apresenta-se a relação das restrições atuantes, preços sombra, acréscimos e decréscimos permissíveis para o

padrão de cultivo relativo ao ponto B da Figura 1. Diferentemente do que se verifica na Tabela 17, quando os preços sombras eram relativos à variável valor presente líquido total, na Tabela 19 os preços sombra são relativos à variável requerimento de irrigação nos meses críticos. Nesta tabela observa-se que a restrição quanto à água para irrigação foi atuante apenas no mês de maio do ano 3.

Na Tabela 19, igualmente ao que ocorre na Tabela 17, verifica-se que as restrições quanto à mão de obra foram atuantes nos meses de fevereiro nos anos 1, 2 e 4. Em relação à Tabela 17, algumas modificações nas restrições quanto à produção foram observadas na Tabela 19.

**Tabela 19.** Restrições atuantes no modelo de programação linear com minimização do requerimento de irrigação em todo período de planejamento na propriedade 2 no perímetro do Gorutuba, preços sombra, acréscimos e decréscimos permissíveis.

Tipo de restrição	Nome e unidade da restrição	Valor da restrição	Preço sombra*	Acréscimo permissível	Decréscimo permissível
água	mai - ano 3 (m3)	155.000,00	-3,90	687,50	13942,61
mão de obra	fev - ano 1 (dias-homem)	6.000,00	-5,30	215,81	4688,26
mão de obra	fev - ano 2 (dias-homem)	6.000,00	-4,30	90,11	4168,56
mão de obra	fev - ano 4 (dias-homem)	6.000,00	-2,50	316,98	4053,76
produção	Quiabo semente - ano 2 (t)	10,00	5.459,70	36,18	3,47
produção	Quiabo semente - ano 3 (t)	10,00	5.367,16	26,65	10
produção	Quiabo semente - ano 4 (t)	10,00	5.450,88	37,61	10
produção	Melão - ano 1 (t)	630,00	-211,89	130,83	233,83
produção	Melão - ano 2 (t)	630,00	-193,05	141,29	106,04
produção	Melão - ano 3 (t)	630,00	-178,50	145,95	435,77
produção	Melão - ano 4 (t)	630,00	-159,45	164,81	372,89
produção	Milho dezembro - ano 2 (t)	30,00	987,96	100,22	30
produção	Milho dezembro - ano 3 (t)	30,00	973,25	97,59	30
produção	Milho dezembro - ano 4 (t)	30,00	970,36	117,59	30
produção	Milho fevereiro - ano 1 (t)	30,00	1.078,14	92,36	30
produção	Milho fevereiro - ano 2 (t)	30,00	1.069,86	14,88	30
produção	Milho fevereiro - ano 3 (t)	30,00	2.039,65	50,50	2,69
produção	Milho fevereiro - ano 4 (t)	30,00	1.055,09	35,54	30
produção	Banana - ano 2 (t)	525,00	2.366,74	68,73	0
produção	Mamão ano 2 (t)	315,00	515,27	202,99	41,87
produção	Maracujá 1 - ano 3 (t)	210,00	1.136,44	62,94	13,12
produção	Maracujá 2 - ano 4 (t)	210,00	1.140,38	153,00	13,04
produção	Abóbora híbrida - ano 1 (t)	50,00	192,79	181,59	50
produção	Abóbora híbrida - ano 2 (t)	50,00	194,82	53,06	50
produção	Abóbora híbrida - ano 3 (t)	50,00	475,57	202,35	9,59
produção	Abóbora híbrida - ano 4 (t)	50,00	198,45	126,40	50
produção	Alface - semente - ano 1 (t)	10,00	-2.898,29	9,62	5
produção	Alface - semente - ano 2 (t)	10,00	-2.642,04	5,11	5
produção	Alface - semente - ano 3 (t)	10,00	-1.333,17	141,10	3,18
produção	Alface - semente - ano 4 (t)	10,00	-2.185,10	12,12	5
produção	Cebola inverno - ano 1 (t)	630,00	-312,29	64,71	193,22
produção	Cebola inverno - ano 2 (t)	630,00	-274,20	69,89	208,68
produção	Cebola inverno - ano 4 (t)	630,00	-206,28	81,52	243,40
produção	Cenoura - ano 1 (t)	210,00	69,16	490	210
produção	Cenoura - ano 2 (t)	210,00	73,42	490	143,19
produção	Cenoura - ano 3 (t)	210,00	75,24	481,72	210
produção	Cenoura - ano 4 (t)	210,00	81,03	490	210
produção	Feijão 1 - ano 1 (t)	10,00	1.487,61	70	10
produção	Feijão 1 - ano 2 (t)	10,00	1.486,79	41,83	10
produção	Feijão 1 - ano 3 (t)	10,00	1.459,72	40,14	10
produção	Feijão 1 - ano 4 (t)	10,00	1.485,33	49,92	10

\*A unidade do preço sombra é m<sup>3</sup> dividido pela unidade da restrição correspondente, isto é, m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>/dias-homem ou m<sup>3</sup>/t.

**Tabela 19 (continuação).** Restrições atuantes no modelo de programação linear com minimização do requerimento de irrigação em todo período de planejamento na propriedade 2 no perímetro do Gorutuba, preços sombra, acréscimos e decréscimos permissíveis .

<b>Tipo de restrição</b>	<b>Nome e unidade da restrição</b>	<b>Valor da restrição</b>	<b>Preço sombra*</b>	<b>Acréscimo permissível</b>	<b>Decréscimo permissível</b>
produção	Feijão 2 - ano 1 (t)	10,00	1.476,38	58,56	10
produção	Feijão 2 - ano 2 (t)	10,00	1.483,81	8,98	10
produção	Feijão 2 - ano 3 (t)	10,00	3.133,25	33,74	1,62
produção	Feijão 2 - ano 4 (t)	10,00	1.497,05	21,40	10
produção	Feijão 3 - ano 1 (t)	10,00	1.325,52	70	10
produção	Feijão 3 - ano 2 (t)	10,00	1.332,80	65,02	10
produção	Feijão 3 - ano 3 (t)	10,00	1.339,54	70	10
produção	Feijão 3 - ano 4 (t)	10,00	1.345,78	70	10
produção	Melancia - ano 1 (t)	210,00	44,92	690	210
produção	Melancia - ano 2 (t)	210,00	45,57	690	210
produção	Melancia - ano 3 (t)	210,00	46,17	690	210
produção	Melancia - ano 4 (t)	210,00	46,73	690	210
produção	Melancia - semente - ano 1 (t)	10,00	-2.909,22	6,81	10
produção	Melancia - semente - ano 2 (t)	10,00	-2.547,43	7,36	10
produção	Melancia - semente - ano 3 (t)	10,00	-2.212,44	7,95	10
produção	Melancia - semente - ano 4 (t)	10,00	-1.902,26	8,58	10
produção	Limão - ano 3 (t)	160,00	3.559,58	43,91	9,21
produção	Algodão - ano 1 (t)	15,00	2.140,41	35,16	15
produção	Algodão - ano 2 (t)	15,00	2.131,46	5,39	15
produção	Algodão - ano 3 (t)	15,00	4.832,74	19,47	0,98
produção	Algodão - ano 4 (t)	15,00	2.115,50	12,87	15
produção	Pepino conserva - ano 1 (t)	0,00	-188,43	117,05	0
produção	Pepino conserva - ano 2 (t)	0,00	-167,37	126,42	0
produção	Pepino conserva - ano 3 (t)	0,00	-157,86	119,66	0
produção	Pepino conserva - ano 4 (t)	0,00	-129,82	147,45	0
produção	Tomate mesa - ano 3 (t)	0,00	6,99	1194,79	0
produção	Cebola verão - ano 3 (t)	0,00	87,91	630	0
produção	Cebola verão - ano 4 (t)	0,00	98,85	630	0
U	U (R\$)	2.700.000,00	1,27	78016,75	26129,45

\*A unidade do preço sombra é  $m^3$  dividido pela unidade da restrição correspondente, isto é,  $m^3/m^3$ ,  $m^3/dias-homem$ ,  $m^3/t$  ou  $m^3/R\$$ .

## **5. Análise de risco para propriedade 2 no perímetro de irrigação do Gorutuba**

A análise de risco foi desenvolvida por meio de análise de sensibilidade e simulações de risco. A análise de sensibilidade foi conduzida juntamente com o modelo de programação linear e executada também com auxílio da ferramenta Solver. A análise de sensibilidade relativa às restrições foi apresentada na Tabela 17 e Tabela 19.

A análise de risco com base em simulações, aqui enfocada, envolveu a aplicação do programa P-Risco. Na Tabela 13 são apresentadas as variáveis de entrada consideradas estocásticas (taxa de desconto anual, requerimento de irrigação, outros custos além de irrigação, produtividade e preço) e as respectivas distribuições de probabilidade e parâmetros de distribuições.

O programa P-Risco foi executado para os padrões de cultivos relativos aos pontos A e B da Figura , ou seja, para os padrões de cultivo relativos ao máximo valor presente líquido total (ponto A) e mínimo requerimento de irrigação em meses críticos, fixando o valor presente líquido total igual a R\$ 2.700.000. As distribuições de probabilidade para as variáveis de saída valor presente líquido total (U, R\$), e requerimentos de irrigação nos anos 1 a 4 e nos meses críticos (meses em que a restrição de água no MPL foi atuante) são apresentadas na Tabela 10 e Tabela 21, para os pontos A e B, respectivamente.

Observa-se na Tabela 20 que a média de U, igual a R\$ 2.236.399,37, foi consideravelmente inferior ao valor obtido no MPL, igual a 2.918.744,05; uma redução de 23%. A causa dessa diferença foi a assimetria das distribuições de probabilidade consideradas para as variáveis de entrada preços e taxa de desconto, conforme indicado na Tabela 13. Por exemplo, os preços das várias culturas

variaram segundo uma distribuição triangular com valor mínimo, moda e valor máximo iguais a 60, 100 e 120%, respectivamente, do valor de preço empregado no MPL. Assim, considerou-se uma probabilidade maior de que o preço ficasse abaixo do empregado no MPL (valor mínimo 40% inferior à moda), em comparação à probabilidade do preço exceder o valor empregado no MPL (valor máximo 20% superior à moda).

**Tabela 20.** Resultados das simulações para as variáveis de saída valor presente líquido total (U), requerimento anual de irrigação para os anos 1 a 4, e requerimento mensal de irrigação para os meses de maio e outubro (requerimento de irrigação total - RIT), para o modelo de programação linear relativo ao máximo valor presente líquido total.

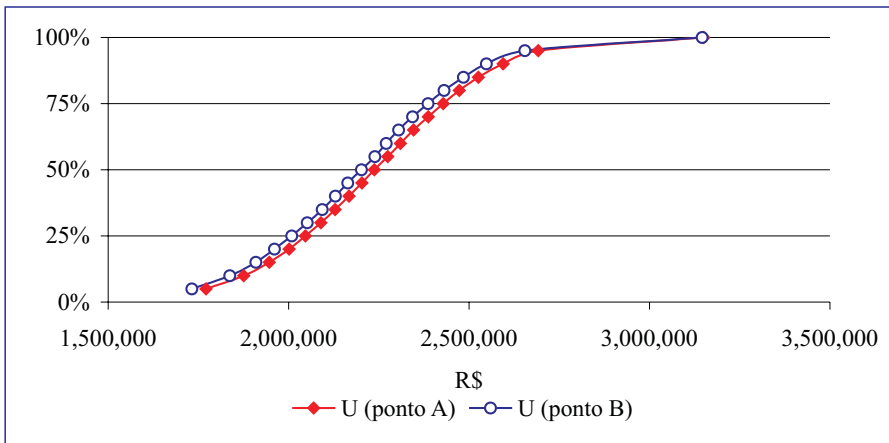
U	RIT - ano 1	RIT - ano 2	RIT - ano 3	RIT - ano 4	RITMai-1	RITOut-1	RITMai-2	RITOut-2	RITMai-3	RITOut-3	RITMai-4	RITOut-4
\$	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³	m³
Mínimo	1.273.990,98	1.204.110,70	1.393.924,30	1.379.866,70	1.297.717,80	1.297.035,00	1.220.055,00	1.117.310,00	1.229.910,70	1.115.729,20	1.220.836,40	1.055.551,70
Máximo	3.150.536,66	1.551.559,60	1.760.030,60	1.776.975,50	1.653.939,90	1.87.965,20	1.94.144,40	1.87.239,40	1.92.724,40	1.87.097,40	1.94.239,30	1.87.376,40
Média	2.236.399,37	1.385.318,40	1.571.355,40	1.569.207,00	1.467.842,20	1.54.853,30	1.55.196,70	1.55.179,80	1.54.996,00	1.55.050,40	1.54.813,90	1.54.775,40
Desvio padrão	280.037,49	46.368,40	51.261,10	51.760,10	49.840,50	15.838,40	18.887,20	15.578,00	18.093,00	15.424,30	18.830,20	15.582,00
5%	1.771.360,47	1.309.691,10	1.487.349,70	1.484.409,30	1.385.238,40	1.28.655,50	1.23.569,50	1.29.261,80	1.24.974,40	1.29.315,50	1.23.700,70	1.29.047,00
10%	1.875.942,13	1.325.807,00	1.506.208,70	1.502.914,80	1.404.060,90	1.33.312,00	1.29.173,30	1.33.724,60	1.30.202,00	1.34.067,20	1.29.449,10	1.33.315,30
15%	1.946.364,96	1.336.719,90	1.517.663,50	1.515.317,50	1.416.353,80	1.36.862,30	1.33.927,50	1.37.472,40	1.34.570,50	1.37.586,40	1.33.743,00	1.36.990,90
20%	2.001.509,69	1.345.808,10	1.527.627,20	1.525.343,60	1.425.769,30	1.39.938,60	1.37.669,10	1.40.760,40	1.38.213,60	1.40.612,70	1.37.272,60	1.40.122,80
25%	2.046.745,72	1.353.153,80	1.536.285,70	1.534.590,50	1.433.546,20	1.42.653,60	1.40.882,90	1.43.393,30	1.41.330,00	1.43.319,30	1.40.308,60	1.43.146,30
30%	2.089.609,92	1.360.451,30	1.544.084,30	1.542.499,00	1.441.125,80	1.45.457,70	1.44.167,20	1.46.050,40	1.44.131,00	1.45.944,80	1.43.375,30	1.45.576,60
35%	2.128.536,31	1.366.811,30	1.551.145,30	1.548.801,70	1.448.531,90	1.47.942,00	1.47.222,20	1.48.318,70	1.47.014,90	1.48.362,80	1.46.327,90	1.48.002,80
40%	2.167.290,31	1.372.775,30	1.558.035,20	1.555.273,10	1.454.865,60	1.50.328,90	1.49.944,40	1.50.506,50	1.49.800,10	1.50.603,30	1.48.988,20	1.50.304,60
45%	2.202.899,75	1.378.779,50	1.564.475,90	1.562.075,50	1.461.059,80	1.52.634,40	1.52.600,90	1.52.875,40	1.52.400,80	1.52.871,10	1.51.782,70	1.52.384,10
50%	2.237.322,13	1.384.836,40	1.571.445,60	1.569.315,60	1.467.747,70	1.54.883,00	1.55.183,10	1.55.174,00	1.54.977,80	1.55.094,20	1.54.634,40	1.54.579,40
55%	2.274.504,74	1.391.187,30	1.577.208,40	1.575.870,50	1.473.954,10	1.56.934,90	1.57.999,20	1.57.344,90	1.57.425,90	1.57.129,80	1.57.418,50	1.56.842,00
60%	2.309.411,62	1.397.171,00	1.583.612,50	1.582.308,00	1.480.149,80	1.59.152,20	1.60.645,90	1.59.716,50	1.60.136,80	1.60.136,80	1.60.096,80	1.59.160,60
65%	2.345.902,01	1.403.897,30	1.591.464,70	1.589.084,60	1.486.749,30	1.61.430,70	1.63.300,10	1.62.077,40	1.62.740,30	1.61.630,80	1.62.890,00	1.61.611,40
70%	2.386.694,49	1.410.355,90	1.598.724,80	1.595.997,60	1.494.073,70	1.64.109,90	1.66.282,00	1.64.578,70	1.65.723,90	1.64.039,70	1.66.000,40	1.64.082,10
75%	2.428.245,89	1.416.739,20	1.606.087,60	1.604.223,10	1.501.427,90	1.66.910,30	1.69.597,40	1.67.116,90	1.68.802,60	1.66.621,20	1.69.421,00	1.68.597,80
80%	2.472.978,92	1.424.496,70	1.614.732,00	1.612.748,90	1.509.908,00	1.69.618,70	1.72.902,20	1.69.799,60	1.72.049,90	1.69.382,20	1.72.834,20	1.69.447,60
85%	2.525.994,30	1.433.727,80	1.625.195,70	1.622.575,90	1.520.105,30	1.72.862,00	1.76.517,40	1.72.740,80	1.75.485,60	1.72.655,40	1.76.581,90	1.72.304,50
90%	2.594.504,29	1.444.410,20	1.637.140,80	1.636.194,40	1.532.983,30	1.76.522,80	1.80.884,10	1.76.435,70	1.79.675,50	1.76.333,60	1.80.763,60	1.76.234,50
95%	2.681.834,70	1.461.789,70	1.655.294,00	1.654.753,80	1.550.551,00	1.81.479,00	1.86.578,50	1.80.953,60	1.85.049,30	1.80.923,70	1.86.169,80	1.80.726,50
100%	3.150.536,66	1.551.559,60	1.760.030,60	1.776.975,50	1.653.939,90	1.87.965,20	1.94.144,40	1.87.299,40	1.92.724,40	1.87.097,40	1.94.239,30	1.87.376,40



**Tabela 21.** Resultados das simulações para as variáveis de saída valor presente líquido total (U), requerimento anual de irrigação para os anos 1 a 4, e requerimento mensal de irrigação para os meses de maio e outubro (requerimento de irrigação total - RIT), para o modelo de programação linear relativo ao mínimo requerimento de irrigação fixando o valor presente líquido total igual a R\$ 2.700.000.

	U	RIT - ano 1	RIT - ano 2	RIT - ano 3	RIT - ano 4	RITMai-1	RITOut-1	RITMai-2	RITOut-2	RITMai-3	RITOut-3	RITMai-4	RITOut-4
	\$	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Mínimo	1.089.030,24	975.016,40	1.193.715,60	1.194.913,40	1.051.475,00	102.946,30	87.925,20	119.774,10	96.717,00	122.951,00	86.738,7	115.631,20	69.661,80
Máximo	3.146.063,12	1.237.447,90	1.511.098,30	1.494.946,10	1.340.074,70	157.522,80	140.683,10	182.634,70	153.777,10	187.063,10	138.680,50	176.242,50	111.837,40
Média	2.197.037,33	1.106.598,40	1.350.283,10	1.338.965,10	1.193.209,30	130.073,10	114.284,10	151.073,50	125.373,20	155.011,00	112.870,00	145.946,90	90.829,90
Desvio padrão	279.055,95	34.255,10	41.477,60	41.536,80	37.695,80	13.031,40	12.591,30	15.100,70	13.642,40	15.292,60	12.538,70	14.586,90	10.171,10
5%	1.731.506,57	1.050.703,60	1.282.086,90	1.270.401,40	1.130.417,50	108.541,50	93.250,70	125.823,90	102.658,40	129.440,50	92.126,90	121.596,30	74.064,00
10%	1.837.182,34	1.062.684,50	1.296.410,00	1.285.183,40	1.144.011,10	112.524,30	97.015,90	130.495,80	106.536,80	133.683,90	95.723,90	125.836,40	76.941,30
15%	1.909.493,23	1.071.184,50	1.307.080,20	1.295.069,60	1.154.174,50	115.596,10	99.967,90	133.878,90	109.907,00	137.541,90	98.643,50	129.283,60	79.210,90
20%	1.960.625,38	1.077.806,20	1.315.091,80	1.303.730,40	1.161.646,20	118.017,80	102.473,20	136.907,10	112.665,40	140.779,10	101.046,00	132.411,60	81.160,30
25%	2.008.332,11	1.083.706,50	1.321.899,40	1.310.379,00	1.167.497,40	120.266,50	104.639,60	139.600,50	115.172,20	143.666,50	103.344,30	134.817,30	82.933,10
30%	2.051.340,58	1.088.805,90	1.328.398,50	1.316.605,50	1.173.214,30	122.325,10	106.882,80	142.086,30	117.423,40	146.186,10	105.355,10	137.201,60	84.877,70
35%	2.093.178,46	1.093.426,20	1.334.039,30	1.322.877,90	1.179.087,90	124.317,60	108.940,50	144.402,30	119.453,60	148.473,00	107.372,00	139.444,80	86.282,60
40%	2.129.482,89	1.097.907,90	1.339.277,30	1.328.049,60	1.184.196,80	126.276,10	110.772,10	146.591,50	121.302,00	150.763,00	109.216,70	141.832,60	87.826,10
45%	2.163.610,21	1.102.413,20	1.345.025,40	1.333.882,30	1.189.115,60	128.103,60	112.613,10	148.916,80	123.401,70	152.820,80	111.070,60	143.918,50	89.332,60
50%	2.201.484,77	1.106.651,80	1.350.362,80	1.338.933,00	1.193.682,40	129.946,70	114.506,90	151.087,10	125.349,20	154.959,80	112.901,80	146.178,90	90.867,70
55%	2.238.761,74	1.111.090,80	1.355.260,20	1.344.223,10	1.198.159,10	131.694,50	116.254,00	153.360,00	127.322,70	157.162,60	114.666,80	148.251,60	92.361,80
60%	2.270.671,74	1.115.498,40	1.360.903,30	1.349.635,00	1.202.984,60	133.550,70	117.912,00	155.581,90	129.373,20	159.362,60	116.551,60	150.310,60	93.865,20
65%	2.305.015,66	1.120.018,40	1.366.302,70	1.355.118,70	1.207.868,80	135.545,00	119.709,70	157.839,70	131.462,90	161.688,80	118.354,50	152.470,00	95.372,10
70%	2.343.702,54	1.124.496,70	1.372.725,90	1.360.508,80	1.213.075,10	137.504,40	121.658,40	160.185,60	133.479,90	164.106,10	120.303,60	154.656,30	97.006,50
75%	2.386.383,14	1.129.342,20	1.379.412,20	1.367.099,20	1.218.631,10	139.763,30	123.715,00	162.514,60	135.632,50	166.610,50	122.359,30	157.012,70	98.700,70
80%	2.430.501,11	1.135.072,80	1.385.656,70	1.374.280,10	1.224.915,40	142.247,90	125.869,60	165.174,50	138.213,10	169.303,30	124.651,90	159.731,50	100.903,80
85%	2.484.008,49	1.141.825,80	1.393.871,30	1.382.214,40	1.232.221,40	144.878,80	128.434,90	168.215,30	140.851,50	172.300,00	127.131,40	162.599,80	102.446,80
90%	2.548.113,53	1.150.466,00	1.403.221,10	1.392.605,10	1.241.733,20	148.255,20	131.421,20	171.603,70	144.003,70	175.944,70	130.057,40	166.902,90	104.762,60
95%	2.654.160,12	1.162.622,70	1.417.703,10	1.407.750,80	1.255.266,50	152.111,50	135.292,30	175.908,60	147.988,90	180.284,90	133.778,40	169.665,40	107.476,20
100%	3.146.063,12	1.237.447,90	1.511.098,30	1.494.946,10	1.340.074,70	157.522,80	140.683,10	182.634,70	153.777,10	187.063,10	138.680,50	176.242,50	111.837,40

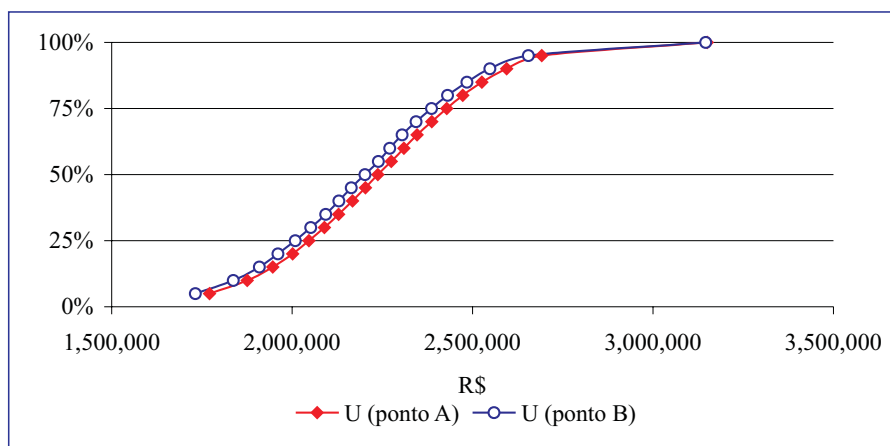
Na Figura 12 são apresentados gráficos da probabilidade acumulada do valor presente líquido total (U) para os padrões de cultivo relativos à maximização de U (ponto A na Figura 1) e à minimização do requerimento de irrigação (RIT) durante todo o período de planejamento, para U igual a R\$ 2.700.000 (ponto B na Figura 11). Pode-se observar a proximidade dos gráficos, indicando que, apesar do valor de U indicado no MPL relativo ao ponto B ser 7,5% inferior, verifica-se na análise de risco que as distribuições de probabilidade da variável U para os dois padrões de cultivo são quase coincidentes.



**Figura 12.** Linha de soluções de padrão de cultivo no plano valor presente líquido total (U) e requerimento de irrigação nos quatro anos do período de planejamento (RIT), considerando valores minimizados de RIT.

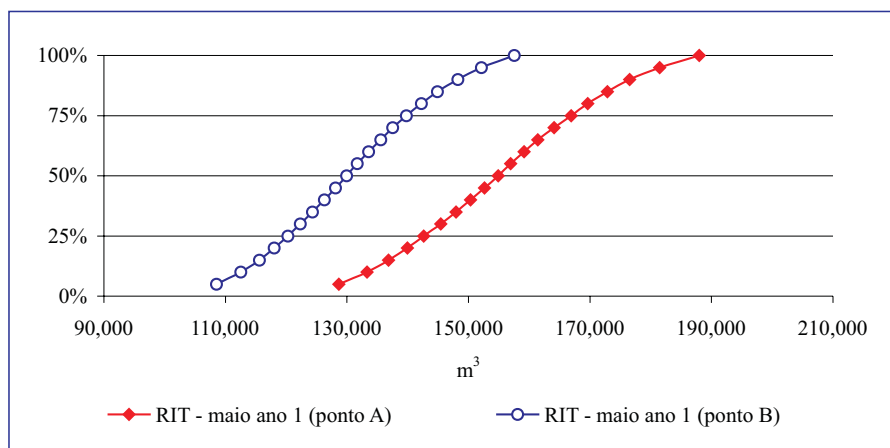
Apresenta-se na Figura 13 os gráficos da probabilidade acumulada do requerimento de irrigação total (RIT), no mês de maio do ano 1, para os padrões de cultivo relativos à maximização de U (ponto A na Figura 11) e à minimização do requerimento de irrigação, durante os quatro anos de planejamento, para U igual a R\$ 2.700.000 (ponto B na Figura 11). O mês de maio no ano 1 é um dos meses em que

a restrição quanto à disponibilidade de água, igual a 155.000 m<sup>3</sup> (Tabela 14), foi atuante. Observa-se no gráfico relativo ao ponto A, a probabilidade em cerca de 50% de RIT ser superior ao valor da restrição, o que poderia comprometer o sucesso do empreendimento devido ao risco de escassez de água. Adotando-se o padrão de cultivo relativo ao ponto B, praticamente não se verifica a probabilidade de RIT ser superior à restrição. Esta verificação aponta para a potencialidade da metodologia de planejamento aqui apresentada na busca de padrões de cultivo que acarretem menor risco de escassez de água.



**Figura 13.** Gráficos da probabilidade acumulada do valor presente líquido total (U) para os padrões de cultivo relativos à maximização de U (ponto A) e à minimização do requerimento de irrigação durante todo período de planejamento, para U igual a R\$ 2.700.000 (ponto B).

Na Figura 14 apresenta-se gráficos da probabilidade acumulada do requerimento de irrigação total (RIT), no ano 1, para os padrões de cultivo relativos à maximização de U (ponto A na Figura 14) e à minimização do requerimento de irrigação nos meses críticos, para U igual a R\$ 2.700.000 (ponto B na Figura 14). Nesta figura observa-se gráfico do padrão de cultivo relativo ao ponto B, à esquerda do relativo ao ponto A, indicando a expressiva redução do requerimento de irrigação anual, também em termos estocásticos (em todo intervalo de probabilidade acumulada).



**Figura 14.** Gráficos da probabilidade acumulada do requerimento de irrigação total (RIT), no mês de maio do ano 1, para os padrões de cultivo relativos à maximização de U (ponto A) e à minimização do requerimento de irrigação durante todo período de planejamento, para U igual a R\$ 2.700.000 (ponto B).

## 6. Modelo de programação linear para propriedade 4 no perímetro de irrigação do Gorutuba

A propriedade 4 é de pequeno porte para o padrão de distribuição de áreas no perímetro de irrigação do Gorutuba. O modelo de programação linear, MPL, foi implementado para um horizonte de planejamento de quatro anos. As restrições quanto a recursos, consideradas no MPL, são apresentadas na Tabela 22. Na Tabela 23 são apresentadas as restrições quanto à produção.

**Tabela 22.** Restrições quanto aos recursos, adotadas no modelo de programação linear.

Restrição	Unidade	Valor
Terra	(ha)	11
Mão-de-obra (mensal)	(dias-homem)	400
Água disponível para irrigação (mensal)	(m <sup>3</sup> )	10.000

**Tabela 23.** Restrições quanto à produção, adotadas no modelo de programação linear.

Cultura	Unidade	>=	<=
Banana ano 2	t ano <sup>-1</sup>	15	
Limão ano 3	t ano <sup>-1</sup>	5	
Limão ano 4	t ano <sup>-1</sup>		40
Mamão ano 2	t ano <sup>-1</sup>	10	60
Maracujá ano 3	t ano <sup>-1</sup>	10	50
Pinha ano 3	t ano <sup>-1</sup>	5	
Pinha ano 4	t ano <sup>-1</sup>		30
Abóbora híbrida	t safra <sup>-1</sup>	20	50
Alface - semente	t safra <sup>-1</sup>	0,5	1
Algodão	t safra <sup>-1</sup>	1	
Cebola inverno	t safra <sup>-1</sup>	10	70
Cebola verão	t safra <sup>-1</sup>	10	70
Cenoura diversas	t safra <sup>-1</sup>	40	70
Feijão	t safra <sup>-1</sup>	3	5
Melancia	t safra <sup>-1</sup>	40	60
Melancia - semente	t safra <sup>-1</sup>		1
Melão	t safra <sup>-1</sup>		70
Milho	t safra <sup>-1</sup>	2	
Pepino conserva	t safra <sup>-1</sup>		25
Quiabo fruto	t safra <sup>-1</sup>		
Quiabo semente	t safra <sup>-1</sup>	0,5	
Tomate mesa	t safra <sup>-1</sup>	30	

Na Tabela 24 apresenta-se o padrão de cultivo apontado como ótimo, com valor presente total maximizado igual a R\$ 202.579,17.

**Tabela 24.** Resultados do padrão de cultivo da propriedade 4 considerada no perímetro de irrigação do Gorutuba, para o valor presente líquido total maximizado.

Cultura	Ano inicial	Ano final	Nome	Valor final
Banana	1	4	B1 (ha)	0,56
Limão	1	4*	L1 (ha)	0,50
Mamão	1	3	MP1 (ha)	0,20
Maracujá 1	1	3	MA1 (ha)	0,50
Maracujá 2	2	4	MA2 (ha)	0,50
Pinha	1	4*	P1 (ha)	1,47
Abóbora híbrida	1	1	AB1 (ha)	1,33
Abóbora híbrida	2	2	AB2 (ha)	1,33
Abóbora híbrida	3	3	AB3 (ha)	1,33
Abóbora híbrida	4	4	AB4 (ha)	1,33
Alface - semente	1	1	AS1 (ha)	0,58
Alface - semente	2	2	AS2 (ha)	0,58
Alface - semente	3	3	AS3 (ha)	0,58
Alface - semente	4	4	AS4 (ha)	0,58
Algodão	1	1	AL1 (ha)	0,50
Algodão	2	2	AL2 (ha)	0,50
Algodão	3	3	AL3 (ha)	0,50
Algodão	4	4	AL4 (ha)	0,50
Cebola inverno	1	1	CI1 (ha)	2,08
Cebola inverno	2	2	CI2 (ha)	1,50
Cebola inverno	3	3	CI3 (ha)	1,14
Cebola inverno	4	4	CI4 (ha)	1,59
Cebola verão	1	2	CV2 (ha)	0,32
Cebola verão	2	3	CV3 (ha)	0,49
Cebola verão	3	4	CV4 (ha)	0,54
Cenoura diversas	1	1	CN1 (ha)	1,48
Cenoura diversas	2	2	CN2 (ha)	1,48
Cenoura diversas	3	3	CN3 (ha)	1,48
Cenoura diversas	4	4	CN4 (ha)	1,48
Feijão 1	1	1	F11 (ha)	1,30
Feijão 1	2	2	F12 (ha)	1,30
Feijão 1	3	3	F13 (ha)	1,30
Feijão 1	4	4	F14 (ha)	1,30
Feijão 2	1	1	F21 (ha)	1,31
Feijão 2	2	2	F22 (ha)	1,31
Feijão 2	3	3	F23 (ha)	1,31
Feijão 2	4	4	F24 (ha)	1,31
Feijão 3	1	1	F31 (ha)	2,18
Feijão 3	2	2	F32 (ha)	2,18
Feijão 3	3	3	F33 (ha)	2,18
Feijão 3	4	4	F34 (ha)	2,18
Melancia	1	1	ME1 (ha)	2,40
Melancia	2	2	ME2 (ha)	2,40
Melancia	3	3	ME3 (ha)	2,40
Melancia	4	4	ME4 (ha)	2,40

\* Período total considerado igual a 6 anos.

**Tabela 24 (continuação).** Resultados do padrão de cultivo da propriedade 4 considerada no perímetro de irrigação do Gorutuba, para o valor presente líquido total maximizado.

<b>Cultura</b>	<b>Ano inicial</b>	<b>Ano final</b>	<b>Nome</b>	<b>Valor final</b>
Melancia - semente	1	1	MS1 (ha)	1,47
Melancia - semente	2	2	MS2 (ha)	1,47
Melancia - semente	3	3	MS3 (ha)	1,47
Melancia - semente	4	4	MS4 (ha)	1,47
Melão	1	1	ML1 (ha)	2,59
Melão	2	2	ML2 (ha)	2,59
Melão	3	3	ML3 (ha)	2,31
Melão	4	4	ML4 (ha)	2,59
Milho dezembro	1	2	MD2 (ha)	0,40
Milho dezembro	2	3	MD3 (ha)	0,40
Milho dezembro	3	4	MD4 (ha)	0,40
Milho fevereiro	1	1	MF1 (ha)	0,40
Milho fevereiro	2	2	MF2 (ha)	0,40
Milho fevereiro	3	3	MF3 (ha)	0,40
Milho fevereiro	4	4	MF4 (ha)	0,40
Pepino conserva	1	1	PP1 (ha)	0,42
Pepino conserva	2	2	PP2 (ha)	0,38
Pepino conserva	3	3	PP3 (ha)	0,00
Pepino conserva	4	4	PP4 (ha)	0,35
Quiabo fruto	1	1	QF1 (ha)	0,00
Quiabo fruto	2	2	QF2 (ha)	0,00
Quiabo fruto	3	3	QF3 (ha)	0,00
Quiabo fruto	4	4	QF4 (ha)	0,00
Quiabo semente	1	2	QS2 (ha)	0,46
Quiabo semente	2	3	QS3 (ha)	0,46
Quiabo semente	3	4	QS4 (ha)	0,46
Tomate mesa	1	1	TM1 (ha)	0,44
Tomate mesa	2	2	TM2 (ha)	0,44
Tomate mesa	3	3	TM3 (ha)	0,44
Tomate mesa	4	4	TM4 (ha)	0,44

\* Período total considerado igual a 6 anos.

As restrições atuantes, preços sombra, acréscimos e decréscimos permissíveis são apresentados na Tabela 24. Restrições

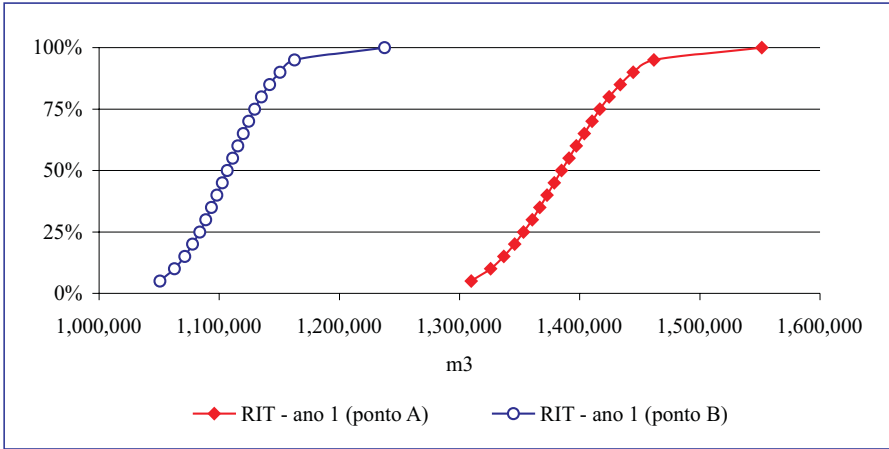


mensais de irrigação foram atuantes (foi atingido o valor crítico) nos meses de maio nos anos 1 a 4, fevereiro no ano 4 e março no 3. Os valores de preços sombra foram elevados em comparação aos obtidos para as propriedades no perímetro do Jaíba e propriedade 2 no perímetro do Gortuba, variando de R\$ 1,40 a R\$ 6,60 por metro cúbico, verificando-se o valor máximo no mês de maio no primeiro ano. Isto significa que, em relação às outras propriedades consideradas, maiores incrementos no retorno financeiro poderiam ser obtidos com investimentos que propiciassem maior disponibilidade de água nos meses críticos.

Em relação à mão de obra, as restrições foram críticas nos meses de março nos anos 1, 2 e 4, verificando-se maior demanda para as culturas do melão e pepino em conserva. Diferentemente do observado para a propriedade no Jaíba e propriedade 2 no perímetro do Gortuba, as restrições de terra foram atuantes nos meses de fevereiro nos anos 2 e 3. O percentual de ocupação de área foi de 76, 74, 79 e 78%, para os anos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Apresenta-se na Figura 16 a linha de soluções de padrão de cultivo no plano valor presente líquido total (U) e requerimento de irrigação (RIT) nos meses críticos de maio nos anos 1 e 2, considerando valores minimizados de RIT. O ponto A, indicado na Figura 15, representa o ponto de máximo valor presente líquido total, igual a R\$ 202.579,17 ( $U_{max}$ ), cujo padrão de cultivo é apresentado na Tabela 24. O ponto B foi obtido para um valor presente líquido total igual a R\$ 185.000 (8,7% inferior em relação a  $U_{max}$ ), minimizando-se o requerimento de irrigação nos meses de maio nos anos 1 e 2. Optou-se por minimizar o requerimento de irrigação nesses meses críticos para priorizar a redução do risco de escassez nos dois primeiros anos, na perspectiva de se aumentar a capacidade de armazenamento nos anos 3 e 4, com conseqüente aumento do valor da restrição quanto à disponibilidade de água. O RIT equivale a 20.000 e 17.219  $m^3$ , respectivamente nos pontos A e B. Portanto, do ponto A para o ponto B ocorre uma redução de 13,9% no RIT totalizado dos meses de maio nos anos 1 e 2.

O padrão de cultivo relativo ao ponto B escolhido gerou um valor de U mais distante ao U máximo, em relação ao que se observou para a propriedade no perímetro do Jaíba; procedeu-se dessa forma porque a partir desse ponto não se observou risco de escassez de água em meses críticos, conforme será novamente abordado à frente. Em relação ao padrão de cultivo relativo ao ponto A (Tabela 24), as únicas diferenças de áreas ocorreram para a cultura de cebola inverno, com decréscimo de 0,68 e 1,10 ha nos anos 1 e 2, respectivamente.



**Figura 15.** Gráficos da probabilidade acumulada do requerimento de irrigação total (RIT), no ano 1, para os padrões de cultivo relativos à maximização de U (ponto A) e à minimização do requerimento de irrigação durante todo período de planejamento, para U igual a R\$ 2.700.000 (ponto B).

As restrições atuantes no modelo de programação linear com minimização de RIT para propriedade 4 nos meses de maio nos anos 1 e 2, foram as mesmas que as apresentadas na Tabela 25, relativa ao ponto A, exceto que deixaram de ser atuantes as restrições de água nesses meses e que passou a ser atuante a restrição de produção mínima de cebola inverno no segundo ano.

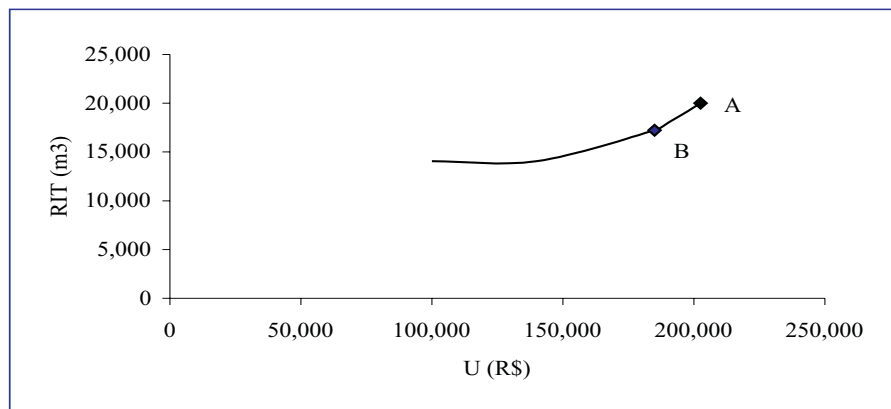
## **7. Análise de risco para propriedade 4 no perímetro de irrigação do Gorutuba**

Similarmente aos procedimentos adotados para as demais propriedades, a análise de risco foi desenvolvida por meio de análise de sensibilidade e simulações de risco. A análise de sensibilidade, cuja parte relativa às restrições é apresentada na Tabela 25, foi conduzida juntamente com o modelo de programação linear e executada também com auxílio da ferramenta Solver.

A análise de risco com base em simulações, aqui enfocada, envolveu a aplicação do programa P-Risco. Na Tabela 13 são apresentadas as variáveis de entrada consideradas estocásticas (taxa de desconto anual, requerimento de irrigação, outros custos além de irrigação, produtividade e preço) e as respectivas distribuições de probabilidade e parâmetros de distribuições.

O programa P-Risco foi executado para os padrões de cultivo relativos aos pontos A e B da Figura 16, ou seja, para os padrões de cultivo relativos ao máximo valor presente líquido total (ponto A) e mínimo requerimento de irrigação nos meses críticos de maio nos anos 1 e 2, fixando o valor presente líquido total igual a R\$ 185.000. As distribuições de probabilidade para as variáveis de saída, valor presente líquido total (U, R\$) e requerimentos de irrigação nos anos 1 a 4 e nos meses de maio, são apresentadas na Tabela 26 e Tabela 27, para os pontos A e B, respectivamente.

Enquanto que o valor de U obtido no modelo de MPL foi igual a R\$ 202.579,17, o valor médio obtido com a simulação de risco, conforme se observa na Tabela 26, foi igual a R\$ 153.292,52, o que representa uma redução de 24%. Esta constatação é similar à observada para as demais propriedades, sendo conseqüência da assimetria das distribuições de probabilidade consideradas para as variáveis de entrada preços e taxa de desconto, conforme indicado na Tabela 13. Por meio dessas assimetrias procura-se impor um caráter mais conservador à análise de risco, considerando-se que as probabilidades de preços menores e taxas de desconto maiores que os valores das modas, nas respectivas distribuições triangulares, sejam superiores às probabilidades de preços maiores e taxas de desconto menores que os valores das modas.



**Figura 16.** Linha de soluções de padrão de cultivo no plano valor presente líquido total (U) e requerimento de irrigação nos quatro anos do período de planejamento (RIT), considerando valores minimizados de RIT.

**Tabela 25.** Restrições atuantes no modelo de programação linear com maximização do valor presente líquido total para propriedade 4 no perímetro de irrigação do Gorutuba, preços sombra, acréscimos e decréscimos permissíveis.

Tipo de Restrição	Nome e unidade da restrição	Valor da restrição	Preço sombra*	Acréscimo permissível	Decréscimo permissível
Água	mai - ano 1 (m <sup>3</sup> )	10.000,0	6,6	1.137,85	2.628,26
Água	mai - ano 2 (m <sup>3</sup> )	10.000,0	6,1	1.596,91	1.721,26
Água	mar - ano 3 (m <sup>3</sup> )	10.000,0	6,5	89,79	153,32
Água	mai - ano 3 (m <sup>3</sup> )	10.000,0	5,7	1.857,43	1.161,61
Água	fev - ano 4 (m <sup>3</sup> )	10.000,0	1,4	8,83	197,88
Água	mai - ano 4 (m <sup>3</sup> )	10.000,0	5,3	1.635,47	1.866,73
mão de obra	mar - ano 1 (dias-homem)	400,0	23,1	173,62	109,30
mão de obra	mar - ano 2 (dias-homem)	400,0	2,3	40,54	11,42
mão de obra	mar - ano 4 (dias-homem)	400,0	11,2	37,76	4,99
Terra	fev - ano 2 (ha)	11	4924,171	0,03	0,21
Terra	fev - ano 3 (ha)	11	1315,655	0,23	0,17
Produção	Quiabo semente - ano 2 (t)	0,50	-4.264,08	0,23	0,03
Produção	Quiabo semente - ano 3 (t)	0,50	-982,14	0,18	0,50
Produção	Quiabo semente - ano 4 (t)	0,50	-534,22	0,03	0,50
Produção	Melão - ano 1 (t)	70,00	183,16	34,65	70,00
Produção	Melão - ano 2 (t)	70,00	8,42	6,44	1,35
Produção	Melão - ano 4 (t)	70,00	129,92	0,49	70,00
Produção	Milho dezembro - ano 2 (t)	2,00	-1.064,53	0,17	0,23
Produção	Milho dezembro - ano 3 (t)	2,00	-1.940,29	0,54	0,62
Produção	Milho dezembro - ano 4 (t)	2,00	-589,44	0,56	0,05
Produção	Milho fevereiro - ano 1 (t)	2,00	-1.831,96	5,42	2,00
Produção	Milho fevereiro - ano 2 (t)	2,00	-2.639,57	0,14	0,23
Produção	Milho fevereiro - ano 3 (t)	2,00	-3.542,81	0,95	0,56
Produção	Milho fevereiro - ano 4 (t)	2,00	-1.600,42	0,14	2,00
Produção	Banana - ano 2 (t)	15,00	-1.601,74	1,10	0,00
Produção	Mamão ano 2 (t)	10,00	-499,48	36,102	2,26
Produção	Maracujá 1 - ano 3 (t)	10,00	-1.247,53	1,546	0,95
Produção	Maracujá 2 - ano 4 (t)	10,00	-1.020,63	1,084	3,27
Produção	Abóbora híbrida - ano 1 (t)	20,00	-478,30	30,000	15,08
Produção	Abóbora híbrida - ano 2 (t)	20,00	-442,87	22,811	20,00
Produção	Abóbora híbrida - ano 3 (t)	20,00	-410,07	15,394	20,00
Produção	Abóbora híbrida - ano 4 (t)	20,00	-379,69	24,738	20,00
Produção	Alface - semente - ano 1 (t)	1,00	838,76	4,175	0,50
Produção	Alface - semente - ano 2 (t)	1,00	776,63	4,373	0,50
Produção	Alface - semente - ano 3 (t)	1,00	719,10	4,009	0,50
Produção	Alface - semente - ano 4 (t)	1,00	665,84	4,635	0,50
Produção	Cenoura - ano 1 (t)	40,00	-26,72	30,000	40,00
Produção	Cenoura - ano 2 (t)	40,00	-142,11	0,749	1,86
Produção	Cenoura - ano 3 (t)	40,00	-340,03	3,399	2,85
Produção	Cenoura - ano 4 (t)	40,00	-68,76	3,889	0,65
Produção	Feijão 1 - ano 1 (t)	3,00	-22,49	2,000	3,00
Produção	Feijão 1 - ano 2 (t)	3,00	-2.074,37	0,058	0,11
Produção	Feijão 1 - ano 3 (t)	3,00	-4.543,83	0,273	0,23
Produção	Feijão 1 - ano 4 (t)	3,00	-869,82	0,263	0,04

\*A unidade do preço sombra é R\$ dividido pela unidade da restrição correspondente, isto é, R\$/m<sup>3</sup>, R\$/dias-homem ou R\$/t.

**Tabela 25 (continuação).** Restrições atuantes no modelo de programação linear com maximização do valor presente líquido total para propriedade 4 no perímetro de irrigação do Gorutuba, preços sombra, acréscimos e decréscimos permissíveis.

Tipo de	Nome e unidade	Valor	Preço	Acréscimo	Decréscimo
Restrição	da restrição	da restrição	sombra*	Permissível	permissível
Produção	Feijão 2 - ano 1 (t)	3,00	-3.036,82	2,00	2,41
Produção	Feijão 2 - ano 2 (t)	3,00	-2.811,87	2,00	3,00
Produção	Feijão 2 - ano 3 (t)	3,00	-2.603,58	2,00	3,00
Produção	Feijão 2 - ano 4 (t)	3,00	-2.410,72	2,00	3,00
Produção	Melancia - semente - ano 1 (t)	1,00	3.833,50	0,65	1,00
Produção	Melancia - semente - ano 2 (t)	1,00	3.549,54	0,19	1,00
Produção	Melancia - semente - ano 3 (t)	1,00	3.286,61	0,63	1,00
Produção	Melancia - semente - ano 4 (t)	1,00	3.043,15	1,37	1,00
Produção	Limão - ano 3 (t)	5,00	-2.830,70	0,59	1,03
Produção	Melancia - ano 1 (t)	60,00	6,87	23,78	20,00
Produção	Melancia - ano 2 (t)	60,00	6,36	7,11	20,00
Produção	Melancia - ano 3 (t)	60,00	5,89	23,15	20,00
Produção	Melancia - ano 4 (t)	60,00	5,45	60,64	20,00
Produção	Feijão 3 - ano 1 (t)	5,00	85,89	2,10	2,00
Produção	Feijão 3 - ano 2 (t)	5,00	79,53	0,65	2,00
Produção	Feijão 3 - ano 3 (t)	5,00	73,63	2,13	2,00
Produção	Feijão 3 - ano 4 (t)	5,00	68,18	4,19	2,00
Produção	Algodão - ano 1 (t)	1,00	-4.771,67	2,32	1,00
Produção	Algodão - ano 2 (t)	1,00	-4.351,15	0,03	1,00
Produção	Algodão - ano 3 (t)	1,00	-8.061,77	0,25	0,15
Produção	Algodão - ano 4 (t)	1,00	-3.762,84	0,26	1,00
Produção	Tomate mesa - ano 1 (t)	30,00	-16,70	68,65	30,00
Produção	Tomate mesa - ano 2 (t)	30,00	-66,11	20,48	4,31
Produção	Tomate mesa - ano 3 (t)	30,00	-53,46	53,59	23,96
Produção	Tomate mesa - ano 4 (t)	30,00	-11,48	0,84	30,00
Produção	Cebola verão - ano 2 (t)	10,00	-112,58	6,55	0,81

\*A unidade do preço sombra é R\$ dividido pela unidade da restrição correspondente, isto é, R\$/m<sup>3</sup>, R\$/dias-homem ou R\$/t.

**Tabela 26.** Resultados das simulações para as variáveis de saída valor presente líquido total (U), requerimento anual de irrigação para os anos 1 a 4, e requerimento mensal de irrigação para os meses de maio (requerimento de irrigação total - RIT), para o modelo de programação linear relativo ao máximo valor presente líquido total.

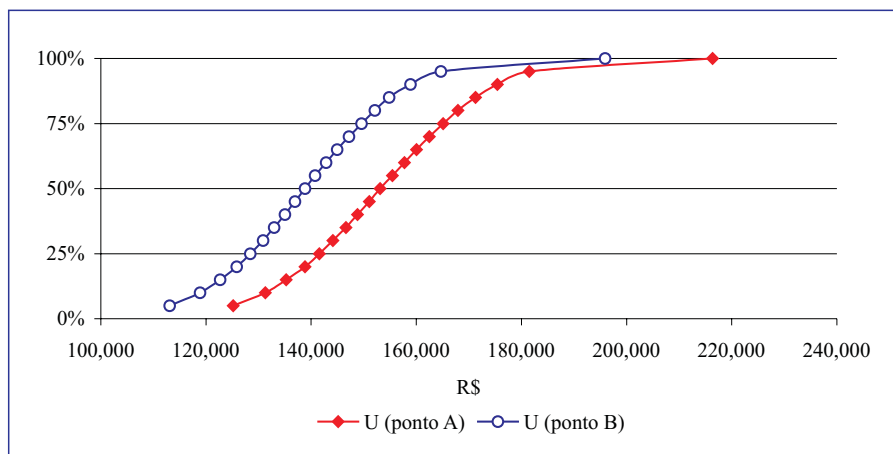
	U \$	RIT - ano 1 m <sup>3</sup>	RIT - ano 2 m <sup>3</sup>	RIT - ano 3 m <sup>3</sup>	RIT - ano 4 m <sup>3</sup>	RITMai-1 m <sup>3</sup>	RITMai-2 m <sup>3</sup>	RITMai-3 m <sup>3</sup>	RITMai-4 m <sup>3</sup>
Mínimo	86.277,77	71.380,60	77.272,20	77.253,70	72.805,20	7.654,20	7.677,60	7.695,20	7.677,50
Máximo	216.346,28	94.909,30	103.839,60	102.708,90	97.103,20	12.345,60	12.322,60	12.302,50	12.321,60
Média	153.292,52	82.599,00	91.274,80	90.265,20	84.695,80	9.985,00	10.012,70	10.000,40	10.001,90
Desvio padrão	17.239,33	3.218,60	3.490,20	3.426,70	3.342,50	1.121,60	1.111,00	1.101,80	1.113,00
5%	125.196,00	77.304,10	85.614,40	84.560,10	79.153,70	8.140,50	8.159,50	8.166,60	8.162,90
10%	131.300,93	78.481,70	86.750,00	85.833,30	80.401,40	8.454,00	8.481,10	8.495,30	8.481,50
15%	135.250,23	79.259,90	87.592,50	86.673,10	81.209,60	8.697,00	8.748,80	8.739,20	8.725,60
20%	138.847,04	79.853,90	88.261,30	87.369,50	81.901,30	8.932,60	8.986,90	8.981,80	8.943,60
25%	141.550,54	80.391,90	88.887,40	87.961,70	82.441,00	9.132,20	9.182,20	9.174,70	9.149,40
30%	144.143,50	80.877,70	89.410,30	88.476,10	82.937,60	9.321,00	9.355,80	9.361,70	9.347,10
35%	146.639,75	81.327,70	89.897,20	88.943,80	83.407,00	9.492,80	9.519,90	9.517,90	9.511,80
40%	148.806,26	81.749,50	90.375,60	89.409,80	83.813,20	9.654,20	9.683,00	9.678,40	9.678,80
45%	151.050,83	82.152,20	90.827,40	89.852,10	84.254,00	9.811,20	9.863,70	9.844,70	9.834,50
50%	153.126,89	82.582,50	91.243,80	90.293,60	84.690,90	9.980,10	10.022,00	9.994,30	10.002,90
55%	155.475,10	83.016,10	91.674,20	90.717,70	85.106,80	10.140,50	10.178,30	10.154,10	10.169,40
60%	157.750,68	83.469,50	92.136,00	91.146,80	85.538,50	10.308,60	10.348,30	10.313,60	10.347,00
65%	160.051,98	83.884,30	92.598,30	91.619,00	86.010,30	10.470,40	10.507,90	10.477,60	10.507,50
70%	162.458,43	84.313,10	93.108,10	92.095,90	86.466,80	10.640,60	10.668,30	10.649,70	10.677,40
75%	165.111,28	84.818,90	93.654,80	92.589,40	86.975,00	10.827,00	10.852,60	10.840,20	10.849,80
80%	167.921,98	85.310,40	94.235,90	93.171,20	87.548,20	11.033,10	11.053,80	11.028,30	11.047,70
85%	171.254,98	85.977,30	94.907,80	93.856,10	88.161,50	11.260,10	11.263,60	11.248,40	11.261,30
90%	175.440,07	86.772,80	95.765,70	94.665,90	89.011,90	11.526,10	11.523,50	11.507,60	11.515,80
95%	181.484,43	87.870,40	97.093,90	95.841,40	90.181,30	11.851,40	11.839,80	11.828,90	11.828,50
100%	216.346,28	94.909,30	103.839,60	102.708,90	97.103,20	12.345,60	12.322,60	12.302,50	12.321,60



**Tabela 27.** Resultados das simulações para as variáveis de saída valor presente líquido total (U), requerimento anual de irrigação para os anos 1 a 4, e requerimento mensal de irrigação para os meses de maio (requerimento de irrigação total - RIT), para o modelo de programação linear relativo ao mínimo requerimento de irrigação fixando o valor presente líquido total igual a R\$ 185.000.

	U \$	RIT - ano 1 m <sup>3</sup>	RIT - ano 2 m <sup>3</sup>	RIT - ano 3 m <sup>3</sup>	RIT - ano 4 m <sup>3</sup>	RITMai-1 m <sup>3</sup>	RITMai-2 m <sup>3</sup>	RITMai-3 m <sup>3</sup>	RITMai-4 m <sup>3</sup>
Mínimo	78.071,99	68.009,10	73.335,90	77.331,30	72.348,70	6.838,20	6.352,20	7.696,2	7.677,30
Máximo	195.895,66	90.950,90	96.907,30	103.638,90	98.392,00	11.041,80	10.202,90	12.304,50	12.322,10
Média	138.899,63	79.095,80	85.549,90	90.185,60	84.696,90	8.935,70	8.276,60	9.996,40	10.001,20
Desvio padrão	15.613,80	3.071,90	3.344,80	3.452,40	3.311,60	1.009,90	923,60	1.102,70	1.112,50
5%	113.088,45	73.972,80	80.090,00	84.561,00	79.160,00	7.260,20	6.740,80	8.177,80	8.162,20
10%	118.879,35	75.149,40	81.214,70	85.750,10	80.428,00	7.555,40	6.993,80	8.494,20	8.481,60
15%	122.689,54	75.895,80	82.052,30	86.555,70	81.246,20	7.799,70	7.222,00	8.738,60	8.730,30
20%	125.821,69	76.504,00	82.690,50	87.214,80	81.879,30	8.004,70	7.408,90	8.945,30	8.949,00
25%	128.418,67	77.017,10	83.251,30	87.784,80	82.435,10	8.179,30	7.574,20	9.158,50	9.162,60
30%	130.844,76	77.469,60	83.695,60	88.314,00	82.953,20	8.334,90	7.730,70	9.330,70	9.342,00
35%	132.962,16	77.913,00	84.163,70	88.813,00	83.406,60	8.489,70	7.870,20	9.510,50	9.515,60
40%	135.019,85	78.324,50	84.645,30	89.259,00	83.866,60	8.632,60	8.011,60	9.686,30	9.681,70
45%	136.921,81	78.723,50	85.090,30	89.741,20	84.295,40	8.774,40	8.146,20	9.843,50	9.844,90
50%	138.841,06	79.119,40	85.551,10	90.179,50	84.740,60	8.913,70	8.284,40	10.001,40	10.000,50
55%	140.732,32	79.521,40	86.017,00	90.640,10	85.194,40	9.063,80	8.421,00	10.153,10	10.160,10
60%	142.840,20	79.904,80	86.427,10	91.085,90	85.586,80	9.215,80	8.546,00	10.319,70	10.332,50
65%	144.941,12	80.297,40	86.863,00	91.540,10	85.973,50	9.371,40	8.687,60	10.490,10	10.495,30
70%	147.199,70	80.732,20	87.338,90	92.013,30	86.454,90	9.540,30	8.826,50	10.663,50	10.671,10
75%	149.559,43	81.185,60	87.863,30	92.545,90	86.964,90	9.708,10	8.971,20	10.848,00	10.847,10
80%	152.103,52	81.695,50	88.455,60	93.122,50	87.547,10	9.895,10	9.129,00	11.033,30	11.050,10
85%	154.856,16	82.290,30	89.040,60	93.812,10	88.193,90	10.092,40	9.323,70	11.252,80	11.265,90
90%	158.879,61	83.025,90	89.872,10	94.638,00	88.953,90	10.322,90	9.541,60	11.499,10	11.514,60
95%	164.673,68	84.087,90	90.991,30	95.925,90	90.054,00	10.617,40	9.801,40	11.809,00	11.824,70
100%	195.895,66	90.950,90	96.907,30	103.638,90	98.392,00	11.041,80	10.202,90	12.304,50	12.322,10

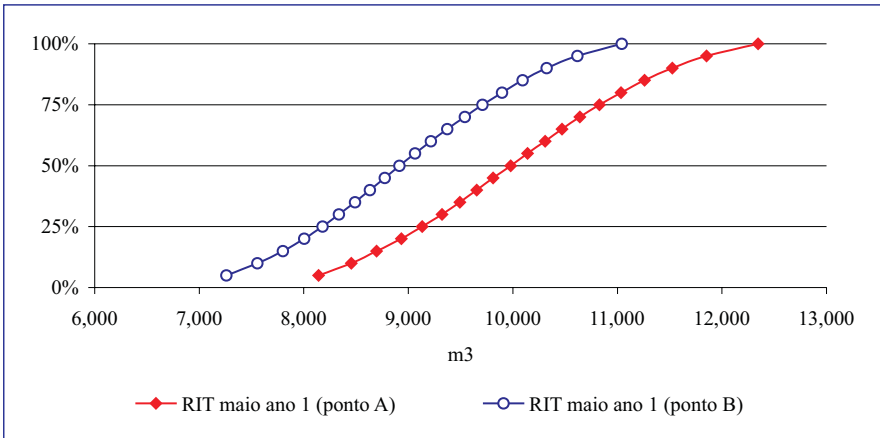
Gráficos da probabilidade acumulada do valor presente líquido total (U) para os padrões de cultivo relativos à maximização de U (ponto A na Figura 16) e à minimização do requerimento de irrigação (RIT) nos meses críticos de maio nos anos 1 e 2, para U igual a R\$ 185.000 (ponto B na Figura 16) são apresentados na Figura 17. Observa-se que os gráficos relativos aos pontos A e B não são tão próximos quanto aqueles observados na Figura 12 (propriedade 2 no Gorutuba), indicando que a redução em U, equivalente aos valores empregados nos MPLs, também se observa nas distribuições de probabilidade acumulada dessa variável para os dois padrões de cultivo.



**Figura 17.** Gráficos da probabilidade acumulada do valor presente líquido total (U) para os padrões de cultivo relativos à maximização de U (ponto A) e à minimização do requerimento de irrigação nos meses de maio dos anos 1 e 2, para U igual a R\$ 185.000 (ponto B).

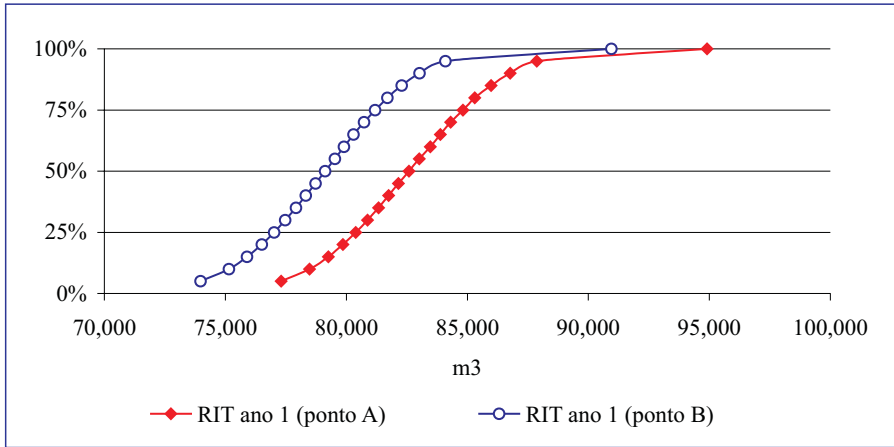
Apresenta-se na Figura 18 os gráficos da probabilidade acumulada do requerimento de irrigação total (RIT), no mês de maio do ano 1, relativo aos pontos A e B na Figura 16. O mês de maio no ano 1 é um dos meses em que a restrição quanto à disponibilidade de água, igual a 10.000 m<sup>3</sup> (Tabela 22), foi atingida. Observa-se no gráfico

relativo ao ponto A, a probabilidade de cerca de 50% de RIT ser superior ao valor da restrição, o que representa um considerável risco de escassez de água. Adotando-se o padrão de cultivo relativo ao ponto B, a probabilidade de RIT ser superior ao valor da restrição é reduzida expressivamente para cerca de 15%.



**Figura 18.** Gráficos da probabilidade acumulada do requerimento de irrigação total (RIT), no mês de maio do ano 1, para os padrões de cultivo relativos à maximização de U (ponto A) e à minimização do requerimento de irrigação nos meses de maio dos anos 1 e 2, para U igual a R\$ 185.000 (ponto B).

Gráficos da probabilidade acumulada do requerimento de irrigação total (RIT), no ano 1, relativo aos pontos A e B na Figura 16, são apresentados na Figura 19. Observa-se nesta figura a redução obtida, em diferentes níveis de probabilidade, no requerimento de irrigação anual total, para o padrão de cultivo relativo ao ponto B em relação ao do ponto A.



**Figura 19.** Gráficos da probabilidade acumulada do requerimento de irrigação total (RIT), no ano 1, para os padrões de cultivo relativos à maximização de U (ponto A) e à minimização do requerimento de irrigação nos meses de maio dos anos 1 e 2, para U igual a R\$ 185.000 (ponto B).

## 8. Referência Bibliográfica

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration** - Guidelines for computing crop water requirements. Rome: F.A.O., 1998. 300 p. (FAO. Paper 56).

ANDRADE, C. DE L. T. DE; BORGES JÚNIOR, J. C. F.; FERREIRA, P. A.. Planejamento de padrão de cultivo em agricultura irrigada. Parte 2: Análise de Risco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Agroenergia e desenvolvimento tecnológico**: anais. João Pessoa: SBEA, 2006. CD-ROM.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 611 p.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; FERREIRA, P. A.; HEDEN-DUNKHORST, B.; ANDRADE, C. L. T. Modelo computacional para suporte à decisão em áreas irrigadas. Parte I: Desenvolvimento e análise de sensibilidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n.1, p. 13-11, 2008. Disponível em: < <http://www.agriambi.com.br/> > Acesso em: 8 set. 2008

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; HEDDEN-DUNKHORST, B.; FERREIRA, P. A. Decision support based on bio-economic simulations for irrigated agriculture. In: CONFERENCE ON INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH FOR DEVELOPMENT, 2003, Göttingen. **Deutscher Tropentag 2003**: book of abstracts... Disponível em: <http://www.tropentag.de/2003/abstracts/full/224.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2007.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANDRADE, C. DE L. T. DE; FERREIRA, P. A. Modelo computacional para suporte à decisão em irrigação e drenagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 5.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO NO AGRONEGÓCIO COOPERATIVO, 2., 2005, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: SBI-Agro, 2005. CD-ROM.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANDRADE, C. DE L. T. DE; FERREIRA, P. A. Planejamento de padrão de cultivo em agricultura irrigada. Parte 1: Modelo de Programação Linear. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Agroenergia e desenvolvimento tecnológico: anais.** João Pessoa: SBEA, 2006. CD-ROM.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANDRADE, C. de L. T. de; FERREIRA, P. A.; SOUSA JÚNIOR, G. G. Programa computacional para simulação de risco em modelos de programação linear para agricultura irrigada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito, MS. **Inovação tecnológica: reorganização e sustentabilidade dos espaços produtivos: anais...** Bonito: SBEA, 2007. CD-ROM..

BORGES JÚNIOR, J. C. F. **Modelo computacional para tomada de decisão em agricultura irrigada.** 2004. 226 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BROOKS, R. H.; COREY, A. T. **Hydraulic properties of porous media.** Fort Collins: Colorado State Univ., 1964. 24 p. (Hydrology Paper, 3).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water.** Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO.Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. rev. Rome: FAO, 1977. 144 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

FERREIRA, P. A.; BORGES JÚNIOR, J. C. F.; HEDEN-DUNKHORST, B.; ANDRADE, C. L. T. Modelo computacional para suporte à decisão em áreas irrigadas. Parte II: Testes e aplicação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, versão online, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 783-791, 2006. Disponível em: < <http://www.agriambi.com.br/> > Acesso em: 8 set. 2008

FRIZZONE, J. A.; SILVEIRA, S. F. R. **Análise de viabilidade econômica de projetos hidroagrícolas**. Brasília, DF: ABEAS, 1996. 88 p.

GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 44, n. 3, p. 892-898, 1980.

HARDAKER, J. B.; HUIRNE, R. B. M.; ANDERSON, J. R.; LIEN, G. **Coping with risk in agriculture**. 2. ed. London: CABI, 2004. 352 p.

HAZELL, P. B. R., NORTON, R. D. **Mathematical programming for economic analysis in agriculture**. New York: Macmillan, 1986. 400 p.

LIMA, K. L.; CAVALCANTE, L. F.; FEITOSA FILHO, J. C. Efeito de fontes e níveis de salinidade da água de irrigação sobre a germinação e o crescimento da pinheira. Sources effect and levels of the irrigation water salinity over the germination and growth of pine cone. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 135-144, 2001.

MANTOVANI, E. C.; VICENTE, M. R.; MUDRIK, A. Irrigação do cafeeiro – em que condições a irrigação é necessária e como irrigá-lo nestas condições. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa: UFV, 2003. p. 279-318.

PAES, H. M. F.; SOUZA, E. F. de; BERNARDO, S.; GOTTARDO, R.; SILVA, M. G.; AMARAL, T. L.; JASMIM, J. Coeficiente cultural do quiabeiro (*Abmoschus esculentos* (L.) Moench) em Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. In: n: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE INTERAMERICANA DE HORTICULTURA TROPICAL, 49., 2003, Fortaleza. **Programa e resumos...** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. P. 157.

SILVA, T. J. A.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, C. R.; ALVES JÚNIOR, J.; PIRES, R. C. M. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do maracujazeiro amarelo conduzido sob duas orientações de plantio. **Irriga**, Botucatu, v. 11, p. 90-106, 2006.

SOUSA, V. F.; COELHO, E. F.; SOUZA, V. A. B. Frequência de irrigação em meloeiro cultivado em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 4, p. 659-664, abr. 1999.



## Lista de anexos

**Anexo 1.** Análises físicas e químicas de solos no perímetro de irrigação do Gorutuba.

**Anexo 2.** Base de dados, contendo informações de área em produção, produção, comercialização, produtividade, preço e preço corrigido.

**Anexo 3.** Requerimento de irrigação obtido de simulações com o programa MCID.

**Anexo 4.** Requerimento de mão de obra em base mensal.

**Anexo 5.** Modelos de programação linear.

## Anexo 1

### Análises físicas e químicas de solos no perímetro de irrigação do Gorutuba

Neste anexo são apresentadas tabelas com os dados de atributos de solos das quatro propriedades e dois locais do Perímetro Gorutuba.

#### Características físicas dos solos das quatro propriedades e dois locais do perímetro Gorutuba

Prof. cm	Areia Grossa	Areia Fina	Silte %	Argila	Densidade de Partículas	Densidade do Solo	Classificação Textural
					kg m <sup>-3</sup>		
<b>Produtor 1 - Local 1</b>							
0-10	1	4	67	28	3,00	1,36	Franco Argilo-Siltoso
10-30	0	3	66	31	2,76	1,30	Franco Argilo-Siltoso
30-50	0	31	49	20	2,71	1,34	Franco
50-70	0	51	34	15	2,74	1,33	Franco
<b>Produtor 1 - Local 2</b>							
0-10	1	27	50	22	2,78	1,47	Franco Siltoso
10-30	2	18	57	23	3,02	1,30	Franco Siltoso
30-50	1	34	44	21	2,94	1,37	Franco
50-70	1	80	10	9	3,00	1,37	Areia Franca
<b>Produtor 2 - Local 1</b>							
0-10	20	38	17	25	3,02	1,62	Franco Argilo-Arenoso
10-30	21	38	15	26	2,74	1,64	Franco Argilo-Arenoso
30-50	19	35	16	30	2,76	1,56	Franco Argilo-Arenoso
50-70	16	34	17	33	2,21	1,51	Franco Argilo-Arenoso
<b>Produtor 2 - Local 2</b>							
0-10	18	40	17	25	2,73	1,69	Franco Argilo-Arenoso
10-30	20	42	18	20	2,77	1,70	Franco Argilo-Arenoso
30-50	18	38	17	27	2,84	1,59	Franco Argilo-Arenoso
50-70	16	35	18	31	2,85	1,46	Franco Argilo-Arenoso
<b>Produtor 3 - Local 1</b>							
0-10	19	31	21	29	2,73	1,46	Franco Argilo-Arenoso
10-30	16	28	18	38	2,83	1,64	Franco Argiloso
30-50	14	26	17	43	2,45	1,53	Argila
50-70	12	25	17	46	2,38	1,43	Argila
<b>Produtor 3 - Local 2</b>							
0-10	19	33	14	34	2,34	1,56	Franco Argilo-Arenoso
10-30	18	32	12	38	2,40	1,77	Argila-Arenosa
30-50	15	28	13	44	2,45	1,62	Argila
50-70	14	26	12	48	2,38	1,36	Argila
<b>Produtor 4 - Local 1</b>							
0-10	15	41	21	23	2,35	1,40	Franco Argilo-Arenoso
10-30	14	40	23	23	2,41	1,62	Franco Argilo-Arenoso
30-50	12	37	20	31	2,35	1,56	Franco Argilo-Arenoso
50-70	9	32	19	40	2,28	1,53	Argila
<b>Produtor 4 - Local 2</b>							
0-10	24	34	15	27	2,66	1,65	Franco Argilo-Arenoso
10-30	21	32	17	30	2,67	1,62	Franco Argilo-Arenoso
30-50	19	29	16	36	2,60	1,50	Argila-Arenosa
50-70	20	31	14	35	2,72	1,37	Argila-Arenosa

## Curva característica de retenção de água de quatro propriedades e dois locais do perímetro Gorutuba

Prof. cm	10 KPa	30 KPa	60 KPa	100 KPa	300 KPa	1500 KPa
% em peso						
<b>Produtor 1 - Local 1</b>						
0-10	29,44	28,81	28,58	28,29	27,97	27,32
10-30	30,81	29,69	29,19	28,77	28,13	27,34
30-50	33,25	32,90	32,73	32,46	31,93	21,81
50-70	27,74	27,31	26,37	24,58	18,65	13,17
<b>Produtor 1 - Local 2</b>						
0-10	25,11	24,69	24,07	23,86	23,43	22,89
10-30	28,20	27,47	27,15	26,90	26,41	26,04
30-50	29,26	28,97	28,73	28,56	28,24	27,59
50-70	29,98	29,27	24,97	24,76	21,83	20,96
<b>Produtor 2 - Local 1</b>						
0-10	16,52	14,28	13,36	13,14	12,56	11,59
10-30	17,58	17,35	17,26	17,11	16,48	15,48
30-50	17,50	17,26	17,17	16,97	16,01	15,11
50-70	16,35	15,43	14,92	14,52	12,88	11,42
<b>Produtor 2 - Local 2</b>						
0-10	13,02	10,29	9,42	9,04	8,60	7,92
10-30	13,31	11,36	10,82	10,27	9,78	8,99
30-50	14,71	13,03	12,30	12,08	11,52	10,62
50-70	21,92	21,52	21,44	21,09	18,94	15,98
<b>Produtor 3 - Local 1</b>						
0-10	15,35	14,10	13,00	12,41	11,78	11,05
10-30	16,79	15,62	14,95	14,51	13,71	13,28
30-50	18,31	17,33	16,50	15,85	14,49	14,10
50-70	19,13	15,73	14,66	14,05	13,55	12,72
<b>Produtor 3 - Local 2</b>						
0-10	16,83	13,94	12,84	12,31	11,74	10,56
10-30	13,88	12,60	12,06	11,80	11,49	10,84
30-50	17,50	16,67	16,06	15,49	14,15	12,70
50-70	19,57	19,02	18,35	18,15	14,29	12,97
<b>Produtor 4 - Local 1</b>						
0-10	20,43	17,27	15,62	14,77	13,37	11,51
10-30	15,55	13,45	12,01	11,33	10,35	9,36
30-50	16,70	14,14	12,92	12,07	11,34	10,07
50-70	21,32	19,74	18,80	17,92	16,82	15,10
<b>Produtor 4 - Local 2</b>						
0-10	17,81	17,16	16,47	15,93	14,83	14,25
10-30	18,52	16,89	16,46	15,72	15,10	14,25
30-50	18,54	15,73	14,81	14,24	13,62	12,51
50-70	21,46	18,92	13,12	12,01	11,38	10,28

## Resultados de Análises de Fertilidade e Química dos Solos de Quatro Propriedades e Dois Locais do Perímetro Gorutuba

Prof. cm	pH H <sub>2</sub> O	H+AL	Al	Ca	Mg	K	P	M.O.	SB	CTC	V	SatAl	Zn	Cu	Mn	Fe
			cmolc/d	dag/kg	cmolc/d	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	dag/kg	cmolc/d	cmolc/d	%	%	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>
0-10	6,8	1,82	0,00	8,29	3,33	343	6,38	2,07	12,50	14,32	87,29	0,00	88,00	7,40	336	862
10-30	6,4	2,46	0,00	7,23	3,25	167	5,84	1,51	10,90	13,36	81,61	0,00	18,00	5,80	252	1022
30-50	6,3	1,63	0,00	5,09	2,43	61	3,56	0,52	7,67	9,30	82,48	0,00	4,00	4,70	147	1230
50-70	6,4	1,42	0,00	3,74	1,89	52	5,71	0,30	5,76	7,18	80,24	0,00	3,50	3,50	96	1100
							<b>Produtor 1 - Local 1</b>									
0-10	7,	1,01	0,00	8,01	2,92	169	13,62	1,48	11,37	12,38	91,81	0,00	23,00	3,30	242	518
10-30	6,7	1,47	0,00	7,82	3,04	117	7,65	1,56	11,16	12,63	88,38	0,00	11,00	3,60	238	811
30-50	6,5	1,60	0,00	5,79	2,51	87	5,10	0,79	8,52	10,12	84,20	0,00	3,50	4,40	143	887
50-70	6,5	1,06	0,00	2,20	0,86	67	7,72	0,20	3,23	4,29	75,34	0,00	1,60	2,40	73	964
							<b>Produtor 2 - Local 1</b>									
0-10	7,4	0,99	0,00	6,14	1,46	392	586,11	1,08	8,60	9,59	89,69	0,00	48,00	5,60	170	91
10-30	7,5	1,24	0,00	5,19	1,09	167	313,15	0,84	6,71	7,95	84,36	0,00	17,90	5,30	110	139
30-50	5,2	2,71	0,55	2,14	0,52	116	12,89	0,51	2,96	5,67	52,17	15,68	1,60	3,00	36	157
50-70	4,5	4,61	1,60	1,23	0,34	75	4,56	0,33	1,76	6,37	27,63	47,62	0,70	2,30	19	116
							<b>Produtor 2 - Local 2</b>									
0-10	5,5	2,54	0,05	2,50	0,70	238	3,56	1,05	3,81	6,35	59,98	1,30	1,10	3,30	156	233
10-30	6,2	1,74	0,00	3,58	1,15	316	6,98	1,66	5,54	7,28	76,11	0,00	2,90	4,20	220	181
30-50	5,4	2,63	0,50	1,62	0,52	179	1,68	0,58	2,60	5,22	49,71	16,16	0,20	3,20	90	207
50-70	5,3	2,81	0,65	1,49	0,49	132	1,41	0,30	2,32	5,13	45,22	21,89	0,30	3,10	65	287

## Resultados de Análises de Fertilidade e Química dos Solos dos Quatro Propriedades e Dois Locais do Perímetro Gorutuba (Cont.)

Prof.	pH	H+AL	Al	Ca	Mg	K	P	M.O.	SB	CTC	V	SatAl	Zn	Cu	Mn	Fe
cm	H <sub>2</sub> O		cmolc/d	cmolc/d	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	dag/kg	cmolc/d	cmolc/d	%	%	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>
<b>Produtor 3 - Local 1</b>																
0-10	6,1	2,46	0,05	3,66	1,17	151	12,15	1,32	5,21	7,67	67,98	0,95	3,60	2,20	131	196
10-30	5,9	2,74	0,20	2,99	0,94	73	2,82	0,93	4,12	6,86	60,00	4,63	1,30	1,80	48	128
30-50	5,1	4,13	1,20	1,52	0,62	47	1,28	0,62	2,26	6,39	35,40	34,66	0,30	1,80	14	118
50-70	4,9	5,15	1,60	1,17	0,50	39	1,07	0,44	1,77	6,92	25,55	47,51	0,10	1,70	12	120
<b>Produtor 3 - Local 2</b>																
0-10	5,9	1,97	0,00	4,30	1,69	400	79,53	1,35	7,01	8,98	78,11	0,00	9,10	3,00	154	189
10-30	5,9	2,04	0,00	4,35	1,10	185	41,28	1,04	5,92	7,96	74,42	0,00	4,70	2,90	102	237
30-50	5,6	2,57	0,30	2,50	0,86	74	6,91	0,57	3,54	6,11	58,00	7,80	0,90	2,40	26	158
50-70	5,1	4,56	1,50	1,16	0,49	42	2,89	0,41	1,76	6,32	27,77	46,08	0,30	1,90	15	103
<b>Produtor 4 - Local 1</b>																
0-10	7,1	1,28	0,00	8,39	1,89	281	87,92	1,81	11,00	12,28	89,59	0,00	15,00	1,90	261	178
10-30	7,2	1,51	0,00	7,93	1,60	128	23,96	1,59	9,86	11,37	86,73	0,00	9,00	1,60	231	267
30-50	6,9	1,74	0,00	7,49	1,14	50	4,63	0,75	8,75	10,49	83,44	0,00	1,50	0,90	101	366
50-70	6,3	2,96	0,00	8,25	1,10	32	1,75	0,53	9,44	12,39	76,15	0,00	0,40	0,90	32	276
<b>Produtor 4 - Local 2</b>																
0-10	6,6	1,58	0,00	6,74	1,77	285	17,65	1,71	9,24	10,81	85,43	0,00	32,00	2,50	273	138
10-30	6,5	1,91	0,00	6,23	1,48	170	6,85	1,40	8,14	10,05	81,02	0,00	16,70	1,60	193	59
30-50	6,6	1,80	0,00	5,42	1,08	170	3,29	0,73	6,94	8,74	79,39	0,00	1,80	1,20	126	85
50-70	6,6	1,56	0,00	4,75	0,75	149	2,15	0,51	5,88	7,44	78,98	0,00	0,80	1,50	97	121

## Anexo 2

### **Base de dados, contendo informações de área em produção, produção, comercialização, produtividade, preço e preço corrigido**

#### **Considerações iniciais**

Os preços foram corrigidos com base no IPCA anual (Índice de Preços ao Consumidor Ampliado; Ipeadata<sup>12</sup>, Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Sistema Nacional de Índices de Preços ao Consumidor). No período (1999 a 2006), foram empregados os seguintes valores de IPCA:

Ano	IPCA (%)
1999	8,939935
2000	5,974339
2001	7,673263
2002	12,53034
2003	9,299949
2004	7,600644
2005	5,689733
2006	3,141775

Outras observações:

- Para o perímetro Gorutuba, dados não disponíveis em determinado ano, foram substituídos por dados do perímetro do Jaíba, visando a definição dos valores de preço, empregados nos modelos de programação linear destinados à otimização de padrão de cultivo.

<sup>12</sup>Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - <http://www.ipeadata.gov.br/>

Essa aproximação mostrou-se adequada, visto que os valores de preços obtidos para produtores nos dois perímetros foram aproximados;

- Os dados para o ano de 2005, que marcou a transição dos serviços de extensão rural nos perímetros Jaíba e Gorutuba, ainda não estavam disponibilizados;
- Para o ano de 2006, até a presente data, não estavam disponíveis dados para o perímetro Gorutuba. Assim, os dados aqui disponibilizados para este ano são relativos ao perímetro Jaíba.

## Perímetro de irrigação do Gorutuba - culturas anuais

### Cultura: abóbora japonesa

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	132	1583,07	442.578,00	11,99	279,57	460,22
2000	204,45	3906	527.357,00	19,10	135,01	209,73
2001	70,8	944,57	274.921,00	13,34	291,05	419,90
2002	41	657	198.240,00	16,02	301,74	386,84
2003	128,7	969,2	387.534,00	7,53	399,85	469,01
2004	16,35	135	55.240,00	8,26	409,19	446,05
2005						
2006	19,77	222,09	65.640,00	11,23	295,56	295,56

### Cultura: alface semente

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	3,00	2,32	12.600,00	0,77	5.431,03	8.940,52
2000	2,50	1,83	24.960,00	0,73	13.639,34	21.187,18
2001	2,50	0,23	6.440,00	0,09	28.000,00	40.395,21
2002	8,10	4,61	64.540,00	0,57	14.000,00	17.948,59
2003	13,50	8,97	158.960,00	0,66	17.721,29	20.786,32
2004						
2005						
2006	30,36	132,12	227.100,00	4,35	1.718,89	1.718,89

### Cultura: algodão

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	88,45	99,7	50.210,00	1,13	503,61	829,04
2000	11,5	9,44	5.438,00	0,82	576,06	894,84
2001	59,97	87,17	54.230,00	1,45	622,12	897,52
2002	64,6	107,73	66.820,00	1,67	620,25	795,19
2003	1,6	1,8	2.390,00	1,13	1.327,78	1557,43
2004	26,6	26,241	30.470,00	0,99	1.161,16	1265,78
2005						
2006						

### Cultura: cebola

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	143,28	4.461,53	1.142.918,00	31,14	256,17	421,71
2000	253,96	7.532,82	1.391.760,00	29,66	184,76	287,00
2001	244,23	7.589,79	2.205.145,00	31,08	290,54	419,16
2002	193,80	4.757,72	1.530.918,00	24,55	321,78	412,53
2003	50,80	1.574,26	520.782,62	30,99	330,81	388,03
2004	55,72	1.051,54	1.232.990,00	18,87	1.172,56	1.278,21
2005						
2006	24,11	351,90	217.200,00	14,60	617,22	617,22

\* valores de preço, a serem utilizados nos modelos de programação linear para otimização do padrão de cultivo, foram diferenciados para o período de colheita no inverno e no verão.



## Cultura: cenoura

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	10,74	128,05	31.740,00	11,92	247,87	408,04
2000	7,76	171,95	50.945,00	22,16	296,28	460,23
2001	12,51	164,95	40.560,00	13,19	245,89	354,75
2002	11,24	159,52	53.850,00	14,19	337,58	432,79
2003	9,12	195,03	61.369,40	21,38	314,67	369,09
2004	9,69	189,04	66.900,00	19,51	353,89	385,78
2005						
2006	7,49	104,30	53.650,00	13,93	514,38	514,38

## Cultura: feijão

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	46,11	84,50	66.780,00	1,83	790,30	1.300,98
2000	22,30	30,53	18.064,00	1,37	591,68	919,11
2001	47,80	63,42	56.410,00	1,33	889,47	1.283,22
2002	72,65	121,72	138.230,00	1,68	1.135,64	1.455,94
2003	219,02	379,45	465.624,00	1,73	1.227,10	1.439,34
2004	173,05	301,418	306.613,00	1,74	1.017,24	1.108,89
2005						
2006	593,25	11803,45	13.664.180,00	19,90*	1.157,64	1.157,64

\* valor inconsistente, desconsiderado nas análises

## Cultura: melancia

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	205,13	8.535,65	1.217.428,00	41,61	142,63	234,79
2000	257,30	6.318,98	836.832,00	24,56	132,43	205,72
2001	0,50	8,00	1.200,00	16,00	150,00	216,40
2002	0,50	3,96	590,00	7,92	148,99	191,01
2003	73,50	831,00	197.710,00	11,31	237,92	279,07
2004	25,00	227,62	32.696,00	9,10	143,64	156,59
2005						
2006	49,73	763,88	173.800,00	15,36	227,52	227,52

## Cultura: melancia semente

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	1,80	0,83	5.825,00	0,461	6.761,35	11.130,48
2000	12,96	2,07	16.442,00	0,160	7.943,00	12.338,55
2001	30,50	20,69	68.680,00	0,678	3.319,48	4.788,96
2002	3,50	0,40	5.220,00	0,113	13.215,19	16.942,43
2003	167,70	6,33	73.255,00	0,038	6.620,13	7.765,13
2004	77,90	32,39	303.317,00	0,416	9.363,37	10.207,03
2005						
2006	30,73	5,63	71.930,00	0,18	12.776,20	12.776,20

90 Avaliação de Estratégias de Produção em Agricultura Irrigada no Perímetro de Irrigação do Gorutuba

Cultura: melão

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	6,50	63,13	21.162,00	9,71	335,23	551,86
2000	31,06	268,87	112.660,00	8,66	419,01	650,89
2001	0,00	3,60	1.800,00	#DIV/0!	500,00	721,34
2002	9,30	125,50	53.280,00	13,49	424,54	544,28
2003	5,00	50,00	27.500,00	10,00	550,00	645,13
2004						
2005						
2006						

Cultura: milho

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	70,60	102,64	17.570,00	1,45	171,18	281,80
2000	115,20	154,27	29.570,00	1,34	191,68	297,75
2001	84,07	207,08	34.530,00	2,46	166,75	240,56
2002	123,88	345,54	63.038,00	2,79	182,43	233,89
2003	185,38	462,34	157.195,60	2,49	340,00	398,81
2004	270,62	789,39	235.761,00	2,92	298,84	325,77
2005						
2006	451,03	985,45	279.900,00	2,18	284,03	284,03

Cultura: pepino para conserva

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	17,51	294,72	101.128,00	16,83	343,13	564,86
2000	14,20	133,24	13.888,00	9,38	104,23	161,91
2001	2,75	48,90	29.340,00	17,78	600,00	865,61
2002	5,30	38,60	34.750,00	7,28	900,26	1.154,17
2003	4,40	51,90	30.940,00	11,80	596,15	699,25
2004	3,00	36,58	18.290,00	12,19	499,99	545,04
2005						
2006	19,15	336,80	194.380,00	17,59	577,14	577,14

Cultura: quiabo fruto

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	10,18	42,88	14.840,00	4,21	346,08	569,72
2000	4,00	57,60	34.560,00	14,40	600,00	932,03
2001	14,50	78,42	27.290,00	5,41	348,00	502,05
2002	0,25	0,60	240,00	2,40	400,00	512,82
2003	5,55	26,00	15.660,00	4,68	602,31	706,48
2004	3,15	19,03	9.484,00	6,04	498,42	543,33
2005						
2006	25,46	285,63	152.580,00	11,22	534,19	534,19

## Cultura: quiabo semente

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	1,00	1,30	1.560,00	1,30	1.200,00	1.975,43
2000	7,00	7,10	19.050,00	1,01	2.683,10	4.167,89
2001	21,20	30,78	60.410,00	1,45	1.962,64	2.831,47
2002	47,20	40,36	91.110,00	0,86	2.257,43	2.894,12
2003	4,00	4,72	14.012,00	1,18	2.968,64	3.482,09
2004						
2005						
2006	15,70	43,95	188.500,00	2,80	4.288,96	4.288,96

## Cultura: tomate de mesa

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	13,74	138,83	40.830,00	10,1	294,10	484,15
2000	36,47	793,66	152.278,00	21,8	191,87	298,05
2001	1,00	26,60	9.050,00	26,6	340,23	490,84
2002	0,70	10,60	5.170,00	15,1	487,74	625,30
2003	0,95	17,50	6.100,00	18,4	348,57	408,86
2004	1,35	5,33	4.479,00	3,9	840,34	916,05
2005						
2006	17,13	795,80	497.880,00	46,46	625,63	625,63

## Perímetro de irrigação do Gorutuba - culturas perenes

Cultura: banana

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercia-		Preço (R\$/t)	Preço (R\$/cx22kg)	Preço corr (R\$/t)	Preço corr (R\$/cx22kg)
			lização (R\$)	Y* (t/ha)				
1999	2.213,88	33.754,79	7.802.478,00	15,25	231,15	5,09	380,52	8,37
2000	2.197,00	39.798,03	8.877.533,00	18,11	223,06	4,91	346,51	7,62
2001	2.253,57	40.232,81	9.564.795,00	17,85	237,74	5,23	342,98	7,55
2002	2.125,00	43.080,23	10.944.197,00	20,27	254,04	5,59	325,69	7,17
2003	2.198,85	39.470,20	12.232.440,85	17,95	309,92	6,82	363,52	8,00
2004	2.077,53	40.308,80	14.986.347,00	19,40	371,79	8,18	405,29	8,92
2005								
2006								

\* produtividade

Cultura: limão

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	38,00	144,14	38.690,00	3,79	268,42	441,87
2000	91,36	852,69	337.530,00	9,33	395,84	614,89
2001	97,64	226,08	93.232,00	2,32	412,38	594,94
2002	70,91	629,52	263.926,00	8,88	419,25	537,50
2003	73,67	577,79	224.851,00	7,84	389,16	456,47
2004	61,07	453,92	273.007,00	7,43	601,44	655,63
2005						
2006	196,64	1592,26	621770	8,10	390,50	390,50

Cultura: mamão papaya

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	22,30	127,52	30.210,00	5,71838565	236,90	389,99
2000	58,30	1.088,52	252.846,00	18,67101201	232,28	360,83
2001	2,00	7,50	3.190,00	3,75	425,33	613,62
2002	117,89	2.822,67	500.393,00	23,94326915	177,28	227,28
2003	180,59	2.498,25	445.451,95	13,8338114	178,31	209,15
2004	152,11	1.961,96	436.550,00	12,89829728	222,51	242,56
2005						
2006	38,33	206,10	82.640,00	5,376989303	400,97	400,97

- Mamão do grupo Solo ↔ Havaí
- A cultivar Baixinho de Santa Amália pertence ao grupo Solo ou Havaí
- O mamão 'Golden', mutante do mamão 'Sunrise Solo', possui coloração de casca mais clara e suspeita-se que amadurece mais rapidamente que seu material de origem.

## Cultura: maracujá

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	2,29	3,15	2.090,00	1,38	663,49	1.092,24
2000	24,09	264,45	74.538,00	10,98	281,86	437,84
2001	77,37	766,693	279.974,00	9,91	365,17	526,83
2002	0,5	0,3	96,00	0,60	320,00	410,25
2003	47,61	266,35	120.396,12	5,59	452,02	530,20
2004	30,4	57	37.460,00	1,88	657,19	716,41
2005						
2006	4	18,7	9100	4,68	486,63	486,63

## Cultura: pinhas diversas

Ano	Área (ha)	Produção (t)	Comercialização (R\$)	Produtividade (t/ha)	Preço (R\$/t)	Preço corr. (R\$/t)
1999	1,50	0,15	216,00	0,10	1.430,46	2.354,82
2000	0,00	0,00	0,00			
2001	2,50	3,50	7.000,00	1,40	2.000,00	2.885,37
2002	8,00	8,50	8.700,00	1,06	1.023,53	1.312,21
2003	68,75	74,85	112.156,31	1,09	1.473,59	1.728,46
2004	26,30	92,84	164.740,00	3,53	1.774,45	1.934,33
2005						
2006	28,50	98,95	176.300,00	3,47	1.781,71	1.781,71

## **Anexo 3**

### **Requerimento de irrigação obtido de simulações com o programa MCID**

#### **Considerações iniciais**

Neste anexo são apresentados os resultados de requerimento de irrigação obtidos com o MCID, para diferentes culturas em uma condição de solo no perímetro de irrigação do Jaíba e duas condições no perímetro de irrigação do Gorutuba.

Para as culturas perenes, os resultados são apresentados em tabelas conforme as entradas nos modelos de programação linear para otimização do padrão de cultivo. Nestes modelos foram considerados dois cultivos de maracujá, sendo o segundo iniciado um ano após o primeiro. Assim, os requerimentos de irrigação para o maracujá no segundo cultivo (Maracujá 2), obtidos de simulações com o MCID, são idênticos, porém defasados em um ano em relação àqueles para o maracujá no primeiro cultivo (Maracujá 1), conforme se observa nas tabelas de requerimento de irrigação para as culturas perenes nos perímetros do Jaíba e Gorutuba.

## Requerimento de irrigação no perímetro de irrigação do Gorutuba, propriedade 2 local 1 (P2L1) - culturas perenes

Obs: os valores de requerimento de irrigação estão em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

	Mês	Banana	Limão	Mamão	Maracujá 1	Maracujá 2	Pinha
ano 1	jan	537,81	341,84	528,09			420,70
	fev	584,84	373,32	586,80			580,48
	mar	568,73	415,54	618,01			749,69
	abr	629,11	550,53	726,63			845,77
	mai	768,15	686,87	810,66			864,47
	jun	932,68	654,56	723,20			800,01
	jul	1.301,46	720,98	828,01			866,92
	ago	1.656,10	869,46	958,19			1.016,39
	set	1.712,99	898,12	982,87			1.066,63
	out	1.607,45	788,85	908,77	656,34		970,51
	nov	1.120,25	466,88	534,85	430,70		605,16
	dez	909,63	429,13	480,75	588,28		526,20
ano 2	jan	1.083,40	519,59	620,29	550,43		667,30
	fev	1.224,23	638,35	742,78	633,77		785,14
	mar	1.187,89	623,66	715,94	963,40		764,06
	abr	1.292,14	699,79	790,56	1.057,75		849,99
	mai	1.292,73	709,72	819,43	1.060,74		864,47
	jun	1.206,70	659,91	713,67	935,79		800,01
	jul	1.395,67	733,14	830,23	1.039,78		866,92
	ago	1.655,13	852,40	960,01	1.170,14		1.016,39
	set	1.711,35	888,91	979,35	1.132,62		1.066,63
	out	1.607,86	799,86	914,15	1.021,35	656,34	970,51
	nov	1.119,57	466,88	534,85	636,17	430,70	605,16
	dez	909,63	429,13	480,75	530,55	588,28	526,20
ano 3	jan	1083,4	519,59	668,47	569,71	550,43	667,30
	fev	1224,23	638,35	742,78	821,26	633,77	785,14
	mar	1187,89	623,66	715,94	969,93	963,40	764,06
	abr	1292,14	699,79	779,44	1.062,45	1.057,75	849,99
	mai	1292,73	709,72	809,43	1.058,83	1.060,74	864,47
	jun	1206,7	659,91	704,34	906,86	935,79	800,01
	jul	1395,67	733,14		925,22	1.039,78	866,92
	ago	1655,13	852,40		568,82	1.170,14	1.016,39
	set	1711,35	888,91			1.132,62	1.066,63
	out	1607,86	799,86			1.021,35	970,51
	nov	1119,57	466,88			636,17	605,16
	dez	909,63	429,13			530,55	526,20
ano 4	jan	1083,4	519,59			569,71	667,30
	fev	1224,23	638,35			821,26	785,14
	mar	1187,89	623,66			969,93	764,06
	abr	1292,14	699,79			1.062,45	849,99
	mai	1292,73	709,72			1.058,83	864,47
	jun	1206,7	659,91			906,86	800,01
	jul	1395,67	733,14			925,22	866,92
	ago	1655,13	852,40			568,82	1.016,39
	set	1711,35	888,91				1.066,63
	out	1607,86	799,86				970,51
	nov	1119,57	466,88				605,16
	dez	909,63	429,13				526,20

## Requerimento de irrigação no perímetro de irrigação do Gorutuba, propriedade 2 local 1 (P2L1) - culturas anuais

Obs: os valores de requerimento de irrigação estão em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Mês	Abóbora Japonesa	Alface Semente	Algodão	Cebola Inverno	Cebola Verão *	Cenoura
jan					1.276,36	788,90
fev					847,99	1.416,78
mar			198,63			1.356,54
abr	733,67	330,27	151,50	1.159,39		
mai	1.081,96	475,15	1.383,76	1.517,60		
jun	1.194,50	155,24		141,87		
jul	289,88			873,39		
ago						
set						
out						
nov					879,70	
dez					116,10	

\* Plantio em novembro.

Mês	Feijão 1	Feijão 2	Feijão 3	Melancia	Melancia Semente	Melão
jan	87,15					24,74
fev	1353,13					464,22
mar	1341,45					539,4
abr						128,83
mai		971,23				
jun		1329,3				
jul		13,3				
ago						
set				442,53	442,53	
out			145,39	64,41	64,41	
nov			1181,79	26,2	26,2	
dez			18,29			

Mês	Milho Dezembro*	Milho Fevereiro	Pepino Conserva	Quiabo Fruto	Quiabo Semente**	Tomate Mesa
jan	1148,42		77,7	357,28	1233,37	
fev	1558,61	529,8	1237,39	734,54	593,32	295,83
mar	1168,83	1238,67	749,8	1352,53		432,91
abr		1786,92		1472,19		52,98
mai		1257,48		1412,31		282,75
jun				1185,86		
jul				8,5		
ago						
set					876,26	
out					1211,7	
nov					1125,67	
dez	399,92				115,68	

\* Plantio em dezembro;

\*\* Plantio em setembro.



## Requerimento de irrigação no perímetro de irrigação do Gorutuba, propriedade 4 local 1 (P4L1) - culturas perenes

Obs: os valores de requerimento de irrigação estão em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

	Mês	Banana	Limão	Mamão	Maracujá 1	Maracujá 2	Pinha
ano 1	jan	535,65	299,61	524,36			393,58
	fev	544,97	361,84	54,59			568,10
	mar	53,13	34,12	65,27			677,57
	abr	67,28	512,59	688,68			772,10
	mai	747,33	669,12	84,26			881,12
	jun	956,93	696,14	742,74			796,20
	jul	1.334,38	688,86	838,65			871,70
	ago	1.696,14	893,63	964,64			124,18
	set	1.732,46	887,45	982,15			176,78
	out	164,47	764,51	87,48	727,77		944,18
	nov	15,76	4,40	443,74	369,49		562,16
	dez	851,84	344,80	362,58	518,80		46,18
ano 2	jan	116,68	432,32	539,60	453,66		69,23
	fev	1.192,98	571,74	696,55	68,99		72,96
	mar	1.146,62	524,32	64,78	94,38		72,10
	abr	125,20	74,32	785,55	152,66		773,33
	mai	135,20	73,56	76,39	11,41		89,40
	jun	1.239,64	676,73	735,25	934,69		84,89
	jul	143,20	7,38	847,30	161,30		862,20
	ago	176,63	913,99	967,55	121,49		125,76
	set	176,55	887,41	97,93	1.176,13		176,74
	out	1.628,62	763,25	878,47	994,27	727,77	944,18
	nov	14,85	41,44	441,46	618,45	369,49	562,16
	dez	851,84	344,80	362,58	422,69	518,80	46,18
ano 3	jan	116,68	432,32	686,60	595,20	453,66	69,23
	fev	1192,98	571,74	76,60	786,98	68,99	72,96
	mar	1146,62	524,32	64,78	951,00	94,38	72,10
	abr	125,2	74,32	744,77	152,53	152,66	773,33
	mai	135,2	73,56	789,79	117,67	11,41	89,40
	jun	1239,64	676,73	715,73	924,57	934,69	84,89
	jul	143,2	7,38		917,70	161,30	862,20
	ago	176,63	913,99		68,17	121,49	125,76
	set	176,55	887,41			1.176,13	176,74
	out	1628,62	763,25			994,27	944,18
	nov	14,85	41,44			618,45	562,16
	dez	851,84	344,80			422,69	46,18
ano 4	jan	116,68	432,32			595,20	69,23
	fev	1192,98	571,74			786,98	72,96
	mar	1146,62	524,32			951,00	72,10
	abr	125,2	74,32			152,53	773,33
	mai	135,2	73,56			117,67	89,40
	jun	1239,64	676,73			924,57	84,89
	jul	143,2	7,38			917,70	862,20
	ago	176,63	913,99			68,17	125,76
	set	176,55	887,41				176,74
	out	1628,62	763,25				944,18
	nov	14,85	41,44				562,16
	dez	851,84	344,80				46,18

## Requerimento de irrigação no perímetro de irrigação do Gorutuba, propriedade 4 local 1 (P4L1) - culturas anuais

Mês	Abóbora Japonesa	Alface Semente	Algodão	Cebola Inverno	Cebola Verão *	Cenoura
jan					126,20	795,64
fev					895,00	1.424,98
mar			1.233,47			1.389,21
abr	745,35	358,18	151,70	1.295,11		
mai	1.131,54	497,7	1.384,65	1.568,79		
jun	1.212,63	164,13		1.398,49		
jul	297,88			947,49		
ago						
set						
out						
nov					934,22	
dez					181,71	

\* Plantio em novembro.

Mês	Feijão 1	Feijão 2	Feijão 3	Melancia	Melancia Semente	Melão
jan	98,93					222,27
fev	1494,79					464,3
mar	1424,77					539,8
abr						128,83
mai		183,2				
jun		1344,91				
jul		1314,2				
ago						
set				484,63	484,63	
out			1211,29	64,41	64,41	
nov			1292,29	26,2	26,2	
dez			173,98			

Mês	Milho Dezembro*	Milho Fevereiro	Pepino Conserva	Quiabo Fruto	Quiabo Semente**	Tomate Mesa
jan	137,59		811,53	44,58	1239,36	
fev	1832,89	594,26	1351,94	76,83	593,56	38,63
mar	1232,4	1342,1	796,1	1423		44,32
abr		1948,59		1521,29		512,4
mai		1281,56		1437,56		279,8
jun				1193,13		
jul				8,5		
ago						
set					988,29	
out					1221,9	
nov					1137,51	
dez	422,6				122,12	

\* Plantio em dezembro;

\*\* Plantio em setembro.

## **Anexo 4**

### **Requerimento de mão de obra em base mensal**

#### **Considerações iniciais**

Neste anexo são apresentados os requerimentos mensais de mão de obra, para as diferentes culturas, empregados nos modelos de programação linear como coeficientes técnicos das equações de restrições mensais de mão de obra.

A definição dos requerimentos de mão de obra em base mensal, para os diferentes cultivos, foi baseada em planilhas de custos e coeficientes técnicos fornecidos pelo Distrito de Irrigação o Jaíba (DIJ), ou seja, as demandas de dias-homens para operações de plantio, tratos culturais, colheita, etc., informadas nas planilhas, foram divididas ao longo dos meses de cultivo.

Para as culturas perenes, os resultados são apresentados em tabelas conforme as entradas nos modelos de programação linear para otimização do padrão de cultivo. Nestes modelos foram considerados dois cultivos de maracujá, sendo o segundo iniciado um ano após o primeiro. Assim, os requerimentos de mão de obra para o maracujá no segundo cultivo (Maracujá 2), obtidos de simulações com o MCID, são idênticos, porém defasados em um ano em relação àqueles para o maracujá no primeiro cultivo (Maracujá 1), conforme se observa nas tabelas a seguir.

## Requerimento mensal de mão de obra (dias-homens ha<sup>-1</sup>), para culturas perenes

	Mês	Banana	Limão	Mamão	Maracujá 1	Maracujá 2	Pinha
ano 1	jan	21.0	24	18.0			42
	fev	8.0	5	27.0			5
	mar	16.0	6	12.0			5
	abr	3.7	7	13.3			5
	mai	8.0	9	9.8			13
	jun	15.9	7	42.1			5
	jul	4.3	7	2.7			7
	ago	7.1	7	3.2			7
	set	5.3	8	3.3			11
	out	4.4	7	2.1	49		8
	nov	0.8	2	0.0	4		8
	dez	1.0	0	0.0	5		5
ano 2	jan	30.2	3	0.0	9		4
	fev	9.6	5	23.0	14		7
	mar	1.8	7	0.0	17		10
	abr	3.5	10	25.7	22		7
	mai	29.9	9	15.2	30		6
	jun	6.2	8	105.4	30		4
	jul	24.7	8	102.7	31		4
	ago	5.6	7	3.2	31		11
	set	25.9	14	3.3	32		11
	out	8.4	6	2.1	28	49	13
	nov	0.8	6	0.0	18	4	11
	dez	0.0	3	0.0	11	5	13
ano 3	jan	30.2	5	14.0	8	9	5
	fev	9.6	8	0.0	31	14	7
	mar	1.8	8	12.0	31	17	10
	abr	3.5	11	9.7	32	22	7
	mai	29.9	10	127.2	28	30	6
	jun	6.2	8	2.4	18	30	4
	jul	24.7	8		11	31	6
	ago	5.6	8		8	31	12
	set	25.9	15			32	15
	out	8.4	6			28	22
	nov	0.8	6			18	26
	dez	0.0	4			11	26
ano 4	jan	30.2	7			8	14
	fev	9.6	10			31	7
	mar	1.8	11			31	10
	abr	3.5	13			32	7
	mai	29.9	10			28	6
	jun	6.2	8			18	4
	jul	24.7	8			11	15
	ago	5.6	10			8	16
	set	25.9	14				20
	out	8.4	6				26
	nov						32
	dez						34

## Requerimento mensal de mão de obra (dias-homens ha<sup>-1</sup>), para culturas anuais

Mês	Abóbora Japonesa	Alface Semente	Algodão	Cebola Inverno	Cebola Verão *	Cenoura
jan					13.0	33
fev					91.0	17
mar			7			92
abr	30	49	12	20.9		
mai	16	27	6	20.5		
jun	18	55	15	14.0		
jul	19			119.0		
ago						
set						
out						
nov					20.9	
dez					20.5	

\* Plantio em novembro.

Mês	Feijão 1	Feijão 2	Feijão 3	Melancia	Melancia Semente	Melão
jan	2.2					32
fev	17.6					23
mar	10.6					30
abr						
mai		3.6				
jun		19.5				
jul		12.3				
ago						
set				18	75	
out			3.4	21	85	
nov			17.0	34	21	
dez			9.0			

Mês	Milho Dezembro*	Milho Fevereiro	Pepino Conserva	Quiabo Fruto	Quiabo Semente**	Tomate Mesa
jan	11		20	14	23	
fev	8	2.2	66	8	28	183
mar	12	11	258	27		76
abr		8		25		136
mai		12		35		164
jun				44		
jul				33		
ago						
set					10	
out					7	
nov					5	
dez	2.2				7	

\* Plantio em dezembro;

\*\* Plantio em setembro.

## Anexo 5

### Modelos de programação linear

O modelo de programação linear (PL) poderá ser estruturado para um horizonte de análise de um ou mais anos. Um horizonte de análise de 3 ou 4 anos é adequado, por abranger períodos de desenvolvimento de culturas perenes, como a da banana, e permitir um planejamento mais amplo do que o realizado para o período de apenas um ano. Maiores horizontes podem ser inadequados devido à dificuldade em se prever alterações em futuros cenários de produção (mercado para certos produtos, custo de insumos, novas variedades culturais com diferentes coeficientes técnicos, dentre outros aspectos). Para culturas perenes com maior longevidade, como a do limão, pode-se considerar um valor presente líquido residual relativo ao período que excede o horizonte da análise.

Uma primeira função objetivo visa à maximização do valor presente do lucro, ou seja, maximização do valor presente líquido. Esta função objetivo é

$$\max U = \sum_{j=1}^N (P_j Y_j - C_j) X_j - C_{fix}$$

em que

- U - valor presente líquido total (lucro), \$;
- j - número inteiro para atividade;
- N - número de atividades;
- $P_j$  - valor presente do preço recebido por um produto para a j-ésima atividade, \$ kg<sup>-1</sup>;
- $X_j$  - nível da j-ésima atividade ou área cultivada, ha;

- $Y_j$  - produtividade da j-ésima atividade,  $\text{kg ha}^{-1}$ ;
- $C_j$  - valor presente dos custos, por unidade de área, para a j-ésima atividade,  $\$ \text{ha}^{-1}$ ; e
- $C_{\text{fix}}$  - custos fixos,  $\$ \text{ha}^{-1}$ .

Neste contexto, define-se atividade com base na cultura, tecnologia empregada no cultivo (aparte irrigação), época de plantio, ano de plantio, tipo de solo, esquema de irrigação e, ou drenagem e categoria do produtor. Esquema de irrigação e, ou drenagem refere-se à configuração e manejo do sistema de irrigação e, ou drenagem. Visando simplificar a notação, não serão acrescentados índices para cada um desses fatores. Pode-se trabalhar com culturas anuais ou perenes.

O modelo de programação linear abrange restrições quanto aos recursos terra, mão-de-obra, produção e água disponível para irrigação, consideradas em base mensal. Restrições anuais quanto à disponibilidade de água para irrigação são, também, consideradas. Pode-se considerar os valores das restrições como variáveis, ou não, a cada ano.

Em relação aos custos variáveis  $C_j$ , considera-se a seguinte composição:

- Custos de irrigação: custo da água de irrigação e custo da energia consumida em irrigação;
- Custos de manutenção da rede de drenagem, quando for o caso;
- Custos de mão-de-obra; e

- Outros custos: sementes, pesticidas, fertilizantes, operações mecanizadas, outros insumos e serviços.

A variável Cfix na Equação 4 deve abranger os custos resultantes da aquisição de sistemas de irrigação e implantação de sistemas de drenagem (quando for o caso), as tarifas fixas de irrigação por unidade de área, como a tarifa K1 cobrada no projeto Jaíba e outros perímetros de irrigação, bem como outros custos fixos incidindo sobre o empreendimento.

Uma vez determinado, por meio da Equação 4, o padrão de cultivo que resulta no máximo valor presente líquido total, outros padrões de cultivo poderão ser obtidos com a otimização do uso da água. Para isto, utiliza-se a seguinte função objetivo:

$$\min Wt = \sum_{j=1}^{N_y} \sum_{m=1}^{12} w_{jym} X_j \quad (y = 1, \dots, na)$$

em que Wt é o requerimento total de água para irrigação, durante todo o período de análise (m<sup>3</sup>), N<sub>y</sub> é o número total de atividades no ano y, w<sub>jym</sub> é o requerimento mensal de irrigação para a atividade j, no ano y e mês m (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) e na é o número total de anos no modelo (horizonte de planejamento). Neste caso, acrescenta-se a seguinte equação para o valor presente líquido total, representado por λ:

$$\sum_{j=1}^N (P_j Y_j - C_j) X_j - Cfix = \lambda$$

em que λ deve ser variado num intervalo plausível com o problema. O limite superior desse intervalo será o valor obtido para U, na Equação 4. Observa-se que a Equação 6 representa uma restrição de igualdade, vinculada ao modelo de programação linear cuja função objetivo é dada pela Equação 5.



Na aplicação das equações 5 e 6, os valores de algumas atividades poderão ser fixados. A Equação 5 pode ser reestruturada para ser empregada em períodos específicos, o que pode ser adequado conforme o problema.