

ESTUDO DE OCUPAÇÃO ECONÔMICA EM ÁREA AGRÍCOLA NA REGIÃO DE PIRACICABA-SP, INCLUINDO RISCO ATRAVÉS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

ECONOMICAL OCCUPATION OF AGRICULTURAL AREA OF PIRACICABA (SÃO PAULO STATE, BRAZIL), INCLUDING RISK THROUGH LINEAR PROGRAMMING

**Patrícia Angélica Alves MARQUES¹; José Antonio FRIZZONE²;
José Vicente CAIXETA FILHO³**

1. Professora, Doutora, Faculdade de Agronomia, Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, SP, Brasil. pmarques@unoeste.br; 2. Professor, Doutor, Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Universidade de São Paulo - USP, Piracicaba, SP, Brasil; 3. Professor, Doutor, Departamento de Economia, Administração e Sociologia, ESALQ – USP.

RESUMO: A ocupação econômica de uma área de 500 ha localizada na região de Piracicaba-SP foi estudada com as culturas irrigadas de milho, tomate, cana-de-açúcar e feijão, utilizando modelos de programação linear determinístico e programação linear incluindo risco pelo modelo Target-Motad, onde duas situações foram analisadas. No modelo determinístico a área foi o fator restritivo e a água não foi restritiva para nenhuma das situações testadas. Para a primeira situação a receita máxima foi de R\$ 1.883.372,87 e para a segunda situação foi de R\$ 1.821.772,40. No modelo incluindo risco um produtor que aceite correr risco pode na primeira situação obter a máxima margem bruta de R\$ 1.883.372,87 com um risco mínimo de R\$ 350 ano⁻¹, e na segunda situação R\$ 1.821.772,40 com um risco mínimo de R\$ 40 ano⁻¹. Já um produtor averso ao risco pode obter na primeira situação uma margem bruta máxima de R\$ 1.775.974,81 com risco zero e para a segunda situação R\$ 1.707.706,26 com risco zero, ambas sem restrição de água. Esses resultados ressaltam a importância da inclusão do risco em fornecer ocupações alternativas para o produtor, permitindo uma tomada de decisão considerando a aversão ao risco e a pretensão de margem bruta anual.

PALAVRAS-CHAVE: Target-Motad. Análise de risco. Programação linear

INTRODUÇÃO

Em situação onde a tomada de decisão está relacionada à alocação de recursos limitados, utilizam-se como ferramentas métodos eficientes que auxiliam a otimização de sua decisão. Para resolver esse tipo de problema, os modelos matemáticos de programação linear são os mais indicados (PARTON; CUMMING, 1990). O objetivo é maximizar algum índice de performance, como o lucro ou minimizar alguma medida de custo (BENEDINI, 1988). De acordo com Dantas Neto et al. (1997) em áreas irrigadas, onde várias culturas em diferentes regimes de irrigação estão competindo por uma quantidade limitada de água, a programação linear (PL) é um excelente instrumento para a alocação ótima desses recursos. Pleban et al. (1981) apresentaram um modelo de programação linear para resolver um problema de planejamento da irrigação envolvendo várias culturas, que minimiza os custos dentro dos limites de água disponível, sem afetar a produtividade esperada. Mannoichi e Mecarelli (1994) utilizaram programação matemática para otimizar em uma área com irrigação com déficit em termos econômicos. Frizzone et al. (1997) desenvolveram um modelo de programação linear separável para a obtenção de

planos ótimos de cultivo e a correspondente alocação de água no planejamento do Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho (PSNC) em Petrolina - PE. Carvalho et al. (2000) utilizaram a programação linear para otimizar o uso da água no perímetro irrigado de Gorotuba/MG, onde estudaram diversas combinações de culturas irrigadas para maximizar a receita bruta do perímetro. Anwar; Clarke (2001) utilizaram programação linear inteira mista para planejamento de distribuição de água por canais.

Considerando que as empresas agrícolas atuam sob condições de risco, a utilidade de modelos determinísticos para fins de planejamento torna-se relativamente limitada. Isto implica na necessidade de não se desprezar a aleatoriedade de determinados coeficientes e introduzir este risco na análise do projeto (DIAS, 1996). A situação de Risco pressupõe o conhecimento de um número suficiente de valores observados do dado em questão, flutuando à volta de um valor médio central, de maneira a tornar possível uma estimativa da probabilidade de ocorrência desse valor central entre limites calculados (FRIZZONE; SILVEIRA, 2000; FRIZZONE et al., 2005). A simulação de dados permite o cálculo de diferentes combinações que probabilisticamente podem ocorrer, obtendo-se

como resultado, não um valor determinista, mas uma distribuição de frequências. Uma técnica de simulação muito usada é o método de Monte Carlo, empregada em estudos de análise de risco em avaliação de investimento em projetos e de custo de produção como em Dias (1996) e Marques; Frizzone (2005).

Hazel (1971) introduziu o risco no modelo determinista convencional de Programação Linear, através do uso de uma aproximação linear, minimizando o Desvio Absoluto Total (MOTAD) ao chamado enfoque da média-variância. Tauer (1983) propôs um modelo de Programação matemático alternativo denominado Target-MOTAD que apresenta a vantagem de gerar soluções eficientes no sentido da dominância estocástica de 2º grau, e portanto eficiente para tomadores de decisões aversos ao risco. Segundo Balverde (1997) o Target-MOTAD propõe como Função objetivo a maximização da Esperança-desvio negativo com respeito ao nível prefixado de margem bruta anual satisfatório para a tomada de decisões. Berbel (1988) e Parton; Cumming (1990) comentaram que este método apresenta como característica a possibilidade de poder ser incluído em uma Programação Linear, o que o torna adequado ao uso no planejamento agrícola.

Este trabalho teve como objetivo o estudo da ocupação agrícola de uma área de 500 hectares localizada no município de Piracicaba-SP com culturas irrigadas, utilizando os modelos de Programação Linear determinístico e Programação Linear incluindo Risco Target-Motad, onde duas situações distintas foram analisadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O município de Piracicaba, Estado de São Paulo, está localizado nas coordenadas geográficas: latitude 22°42' S, longitude 47°38' W e altitude 546 m. As principais classes de solos são: Podzólico Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo.

A precipitação média anual é de 1400 mm, com regime climático caracterizado por duas estações bem distintas: seca no inverno (meses de abril a setembro) e chuvosa no verão (outubro a março) (São Paulo, 1991). A estimativa da distribuição das classes de uso da terra, mostra que 56% da área da bacia é constituída por pastagem, 20% por cana-de-açúcar, 8% por citros, 6% por vegetação nativa e silvicultura e 10% por áreas urbano-industriais e outros usos (INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1981).

O problema consistiu na ocupação de uma área de 500 ha com as culturas irrigadas de milho, tomate, cana-de-açúcar e feijão. A margem bruta esperada foi de R\$ 800.0000 ha⁻¹ ano⁻¹. Foram analisadas duas situações de ocupação, com suas respectivas restrições. Na situação um, foi considerada a ocupação máxima de 60,5 ha de tomate deixando a demais culturas com ocupação liberada. Com dois níveis de disponibilidade de água, sendo: 1.000.000 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ e 600.000 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Na situação dois, para evitar uma ocupação excessiva da cultura do feijão, restringiu-se esta para um máximo de 100 ha e a cultura do tomate para um máximo de 80 ha. Com dois níveis de disponibilidade de água, sendo: 2.000.000 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ e 1.500.000 m³ ha⁻¹ ano⁻¹.

O consumo de água pelas culturas foi calculado pelo método de Penman modificado (DOORENBOS; PRUITT, 1997; DOORENBOS; KASSAM, 2000; STONE; SILVEIRA, 2001) para os dados climáticos de Piracicaba/SP. Com as características das culturas baseadas nos valores citados por Moreira et al. (1988); Minami; Haag (1989); Reichardt (1993); Espinoza (1991); Doorenbos; Pruitt (1997); Marouelli; Silva (2000); Giordano; Silva (2000); Doorenbos; Kassam (2000) e Stone; Silveira (2001), calculou-se a evapotranspiração da cultura e obteve-se o consumo total anual de cada cultura estudada (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de Lâmina Bruta (LB), produtividade, custo de produção anual total e margem bruta anual média das simulações para as culturas anuais estudadas.

Cultura	LB (m ³ ano ⁻¹)	Produtividade (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Custo de produção total (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Margem bruta média das 1000 simulações (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Milho	187,0	6.300	1.132,13	664,57
Tomate	1071,5	45.000	12.556,80	14.868,63
Cana-de-açúcar	4832,2	95.000	1.570,87	1.276,35
Feijão	687,5	3.000	2.744,92	2.238,50

No cálculo do custo anual da irrigação para o feijão e para o tomate, utilizou-se o pivô central com um custo de implantação de R\$ 5.000,00 ha⁻¹ obtendo-se R\$ 884,92 ha⁻¹ ano⁻¹. Para a cultura do milho o custo anual da irrigação foi de R\$ 300 ha⁻¹ ano⁻¹ e para a cultura da cana-de-açúcar foi de R\$ 182,98 ha⁻¹ ano⁻¹ (MAROUELLI; SILVA, 1998; MATIOLI et al., 1998). As receitas brutas anuais foram calculadas com base na produtividade média de cada cultura e nos preços de venda históricos de 2001 à 2006. Destas receitas brutas subtraiu-se o custo de produção obtendo-se as margens brutas anuais. Com os valores máximo, mínimo e médio de

margem bruta para cada cultura realizou-se 1000 simulações pelo método de Monte Carlo (DIAS, 1996). Com os valores simulados obteve-se a margem bruta média anual (Tabela 1) com a qual, foi obtida a máxima margem bruta anual possível pelo modelo determinista de Programação Linear para cada situação analisada, sendo a Função Objetivo descrita na equação 1 e as restrições na equação 2. Para a análise incluindo risco utilizou-se o Modelo Target-Motad (TAUER, 1983) com as 1000 simulações de Margem Bruta para cada cultura, com a Função Objetivo da equação 1 e as restrições das equações 2, 3 e 4.

$$Z = \sum_{j=1}^4 C_j \cdot X_j = 664,57 \cdot X_1 + 14.868,63 \cdot X_2 + 1.276,35 \cdot X_3 + 2.238,50 \cdot X_4 \quad (01)$$

onde: C_j - Margem Bruta da Atividade j média de 1000 simulações (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹); X_j - Área cultivada da Atividade j (ha) (X₁ - milho, X₂ - tomate, X₃ - cana-de-açúcar e X₄ - feijão);

$$\sum_{j=1}^4 a_{ij} \cdot X_j = b_i \quad (02)$$

AREA X₁ + X₂ + X₃ + X₄ ≤ 500

AGUA 187 · X₁ + 1071,5 · X₂ + 4.832,2 · X₃ + 687,5 · X₄ ≤ disponível

Situação um: MAXTOMATE X₂ ≤ 60,5

Situação dois: MAXTOMATE X₂ ≤ 80 e MAXFEIJÃO X₃ ≤ 100

$$\sum_{j=1}^4 C_{tj} \cdot X_j + dt \geq T \quad (03)$$

onde: C_{tj} - Margem Bruta da t-ésima observação da Atividade j (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹); dt - desvio negativo; T - aspiração do valor da Função objetivo (R\$ ano⁻¹).

Resultando nas seguintes equações

ano1) 981,69 · X₁ + 18.702,35 · X₂ + 1.188,53 · X₃ + 3.019,73 · X₄ + D1 ≥ T

ano2) 313,47 · X₁ + 5.130,71 · X₂ + 1.592,82 · X₃ + 2.165,80 · X₄ + D2 ≥ T ...

ano1000) 813,62 · X₁ + 13.172,69 · X₂ + 703,33 · X₃ + 3.385,72 · X₄ + D1000 ≥ T

$$\sum_{j=1}^4 P_t \cdot d \bar{t} = N = \text{Desvio Médio} \quad (04)$$

onde: P_t - probabilidade do valor t-ésimo da atividade j (no caso = 1/1000 = 0,001); N - coeficiente de parametrização. Resultando em equações, para N = 0, 10, ... até valor de Z constante, ou seja, valores de risco crescentes até o momento que a margem bruta se tornar constante.

O modelo foi inserido no programa Gams versão 2.5 para maximização da função objetivo. Para o resultado da análise determinista, realizaram-se maximizações com volumes de água distintos até obter uma margem bruta constante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a situação um (Figura 1) observou-se que a água foi limitante até o valor de 600.000 m³ ano⁻¹, após este valor a água deixou de ser uma

restrição atuante, isto é, o acréscimo na disponibilidade de água não aumenta o valor da margem bruta. Nota-se no início, uma ocupação com a cultura do milho que logo é substituída pelo tomate e pelo o feijão; isto ocorre pois o milho é a cultura que menos requer água nas condições testadas, sendo então indicada quando existe pouca disponibilidade de água. Quando ocorre o aumento da disponibilidade de água é indicado o plantio do tomate, porém este tem um máximo, que é logo alcançado, sendo então indicado o feijão que

apresenta maior margem bruta média que o milho e consome menos água que a cana-de-açúcar. A partir

deste ponto a área constitui a restrição limitante e a ocupação mantém-se constante (Tabela 2).

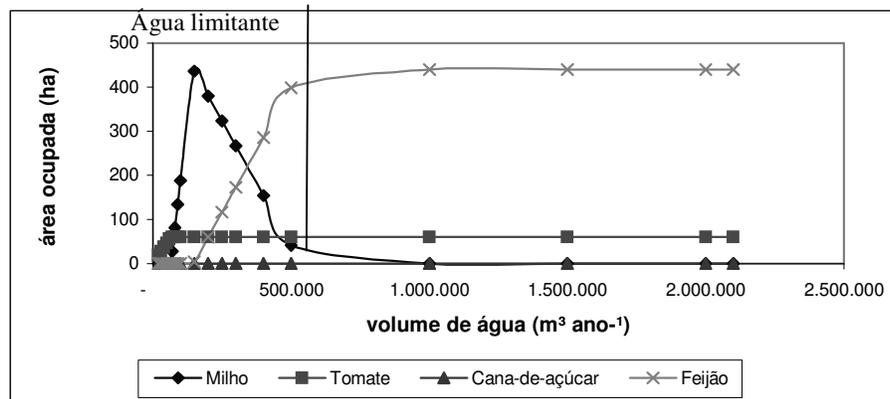


Figura 1. Distribuição da ocupação pelas culturas na solução determinista para a situação um.

Tabela 2. Solução ótima encontrada para o problema determinista na situação um.

Cultura	Área (ha)	Preço Sombra*
Milho	0	-1573,93
Tomate	60,50	-
Cana-de-açúcar	0	-962,15
Feijão	439,50	-
Margem bruta anual	1.883.372,87	

* O preço-sombra é a alteração no valor da margem bruta ótimo por aumento de uma unidade do coeficiente da restrição mantendo-se todos os outros dados iguais.

Para a situação dois (Figura 2) a água foi limitante até o valor de 1.800.000 m³ ano⁻¹. Nesta situação limitou-se o plantio do tomate e do feijão, assim, com o aumento da disponibilidade de água a

cultura do milho foi agora substituída pela da cana-de-açúcar, que apresenta maior consumo de água, porém apresenta também uma margem bruta superior a da cultura do milho (Tabela 3).

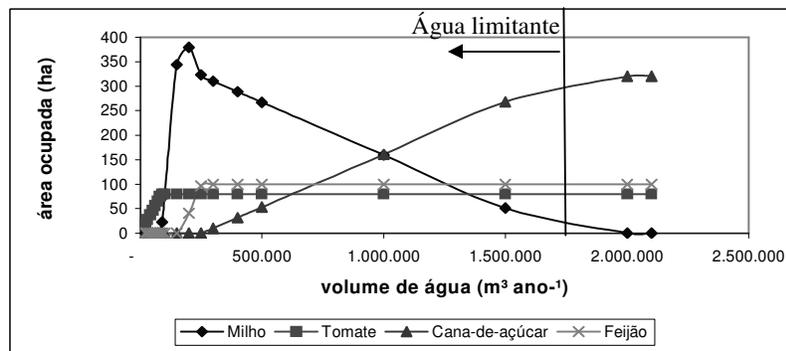


Figura 2. Distribuição da ocupação pelas culturas na solução determinista para a situação dois.

Tabela 3. Solução ótima encontrada para o problema determinista na situação dois.

Cultura	Área (ha)	Preço Sombra
Milho	0	-611,78
Tomate	80	-
Cana-de-açúcar	320	-
Feijão	100	-
Margem bruta anual	1.821.772,40	

Modelo incluindo Risco – Target Motad

Quando se incluiu o risco na análise observou-se que considerando-se riscos baixos, isto é baixos desvios médios anuais, a máxima margem bruta anual que pode ser obtida é inferior a máxima obtida na solução determinista. Com o aumento do risco, ocorre um aumento na máxima margem bruta anual esperada (Figuras 3 e 4), sendo que esta se estabiliza a partir do risco de R\$ 350 ano⁻¹ para a situação um, isto significa que um produtor que aceite correr risco pode obter a máxima margem bruta de R\$ 1.883.372,87 com um risco mínimo de R\$ 350 ano⁻¹, utilizando a combinação de 60,5 ha de tomate e 435,5 ha de feijão. Já um produtor averso

ao risco pode esperar uma margem bruta de R\$ 1.775.974,81 com risco zero, utilizando a ocupação de 60,5 ha de tomate, 111,62 ha de cana-de-açúcar e 327,88 ha de feijão. Nota-se na Figura 4, que quando se utiliza o risco zero, a cultura da cana-de-açúcar é indicada por apresentar menor variabilidade, o que decorre em menores desvios anuais, e margens brutas anuais esperadas. Quando se aumenta o risco, a cultura do feijão, com maiores variabilidade e margem bruta anual, inicia uma ocupação maior, até substituir toda a área antes ocupada pela cana-de-açúcar. As ocupações para esta situação um, em função do risco, podem ser vistas na Tabela 4.

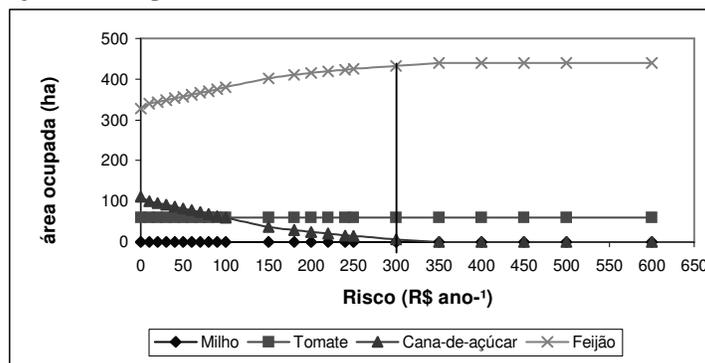


Figura 3. Fronteira eficiente para a situação um com T=800.000 sem restrição de água.

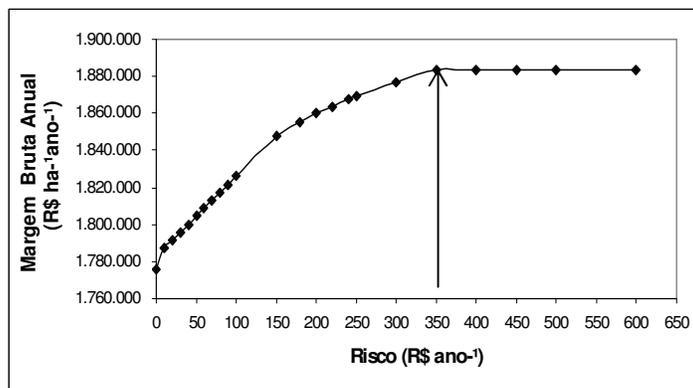


Figura 4. Distribuição das culturas em função do risco anual para a situação um sem restrição de água.

Tabela 4. Ocupação da área e margem bruta esperada, obtidos pelo Target-Motad para a situação um, com T=R\$ 800.000 ano⁻¹ e água = 1.000.000 m³ ano⁻¹.

Margem bruta (R\$ ano ⁻¹)	Risco (R\$ ano ⁻¹)	Milho	Tomate	Cana-de-açúcar	Feijão	Área total (ha)	Consumo de água (m ³ ano ⁻¹)
1.775.974,81	0	0	60,5	111,62	327,88	500	956.404,61
1.791.326,66	20	0	60,5	95,67	343,83	500	896.464,51
1.799.990,51	40	0	60,5	86,66	352,84	500	862.604,93
1.804.322,43	50	0	60,5	82,16	357,34	500	845.693,93
1.817.318,19	80	0	60,5	68,65	370,85	500	794.923,35
1.825.982,03	100	0	60,5	59,65	379,85	500	761.101,35
1.847.641,64	150	0	60,5	37,14	402,36	500	676.508,77

1.860.073,50	200	0	60,5	24,22	415,28	500	627.955,41
1.863.867,78	220	0	60,5	20,27	419,23	500	613.111,31
1.867.662,06	240	0	60,5	16,33	423,17	500	598.304,79
1.869.559,20	250	0	60,5	14,36	425,14	500	590.901,53
1.877.004,79	300	0	60,5	6,62	432,88	500	561.814,61
1.883.372,87	350	0	60,5	0	439,5	500	536.936,65
1.883.372,87	400	0	60,5	0	439,5	500	536.936,65
1.883.372,87	500	0	60,5	0	439,5	500	536.936,65

Quando se restringe a disponibilidade de água em 600.000 m³ ano⁻¹, na situação um, observa-se nas Figura 5 e Tabela 5, que para a faixa de risco de 0 a 60 não houve solução ótima, isto é, não existe uma solução que satisfaça todas as restrições. O aumento da margem bruta estabiliza-se a partir do risco de R\$ 350 ano⁻¹, ou seja, um produtor que aceite correr risco pode obter a máxima margem bruta anual de R\$ 1.883.372,87 com um risco mínimo de R\$ 350 ano⁻¹, utilizando a mesma combinação da situação sem restrição de água para o mesmo risco. Observa-se na Figura 6 e Tabela 5 que uma combinação de ocupação das culturas, diferente do cenário sem restrição de água, ocorre a partir do risco R\$ 70 ano⁻¹, onde a cultura do milho é inserida na ocupação por apresentar o menor consumo de água entre as 4 culturas estudadas. No

momento que o risco aumenta, novamente a cultura do feijão torna-se a cultura principal desta ocupação.

A máxima margem bruta anual observada, R\$ 1.883.372,87 ano⁻¹, com risco de R\$ 350 ano⁻¹, é a mesma quando comparada à situação sem restrição de água, pois apresenta a mesma combinação de culturas, as quais consomem 536.936,65 m³ ano⁻¹, valor inferior à disponibilidade de água de 600.000 m³ ano⁻¹. Porém quando observado o menor risco, neste caso de R\$ 60 ano⁻¹, ocorre uma margem bruta anual máxima de R\$ 1.677.531,00 ano⁻¹, inferior a margem bruta anual obtida a risco zero da situação sem restrição de água. Este fato demonstra como a falta de planejamento do uso da água, quando se trabalha com culturas irrigadas, pode acarretar em riscos e em margens brutas menores.

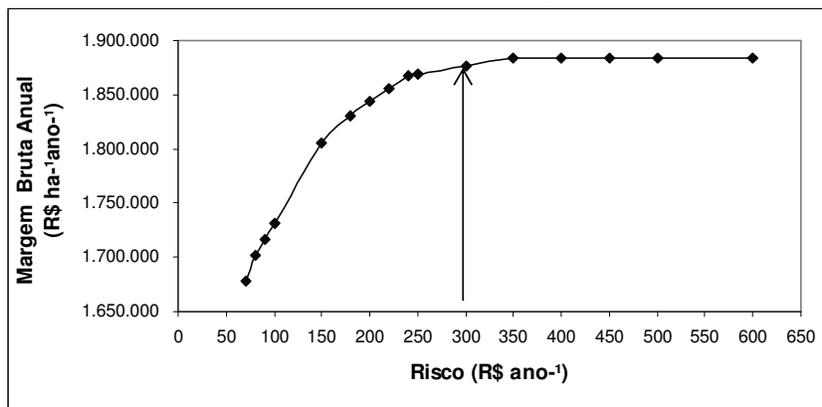


Figura 5. Fronteira eficiente para a situação um com T=800.000 e água = 600.000 m³ ano⁻¹.

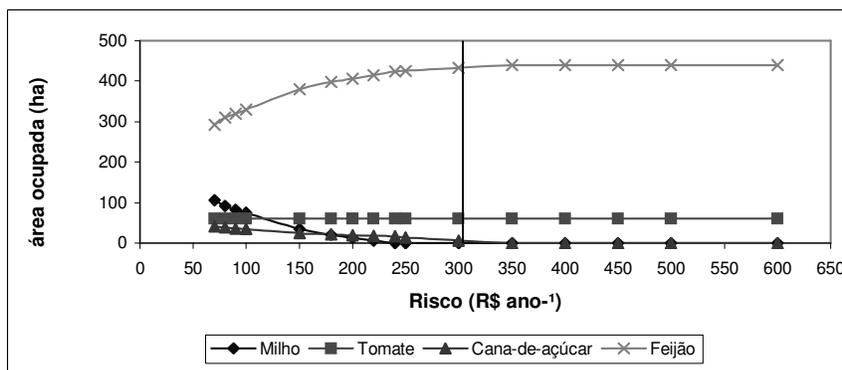


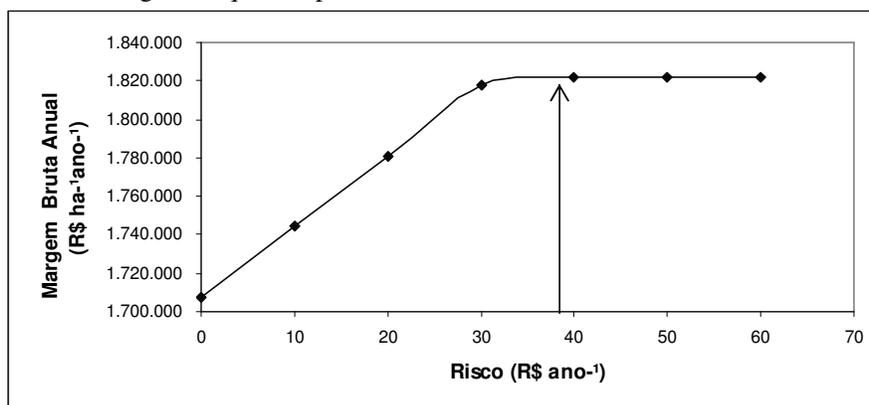
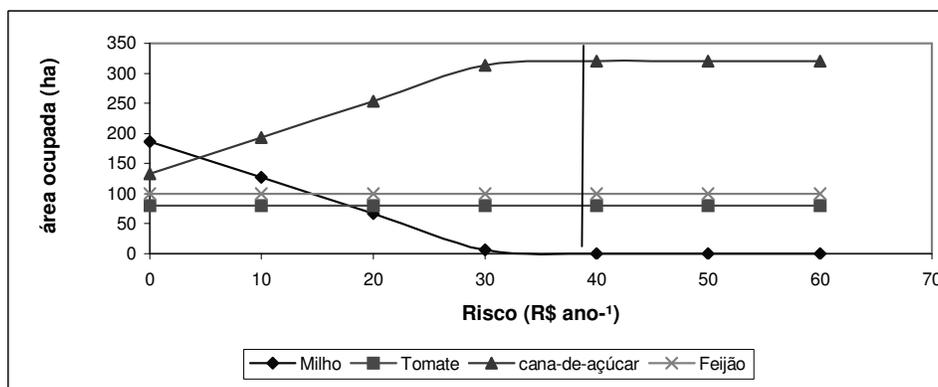
Figura 6. Distribuição das culturas em função do risco anual para a situação um e água = 600.000 m³ ano⁻¹.

Tabela 5. Ocupação da área e margem bruta esperada, obtidos pelo Target-Motad para a situação um, com T= R\$ 800.000 ano⁻¹ e água = 600.000 m³.

Margem bruta (R\$ ano ⁻¹)	Risco (R\$ ano ⁻¹)	Milho	Tomate	Cana-de-açúcar	Feijão	Área (ha)	total Consumo de água (m ³ ano ⁻¹)
Impossível	0						-
Impossível	60						-
1.677.531,00	70	105,32	60,5	41,65	292,53	500	600.017,45
1.731.788,35	100	75,2	60,5	34,53	329,77	500	599.982,95
1.843.149,41	200	13,37	60,5	19,94	406,19	500	600.009,31
1.877.004,79	300	0	60,5	6,62	432,88	500	561.814,61
1.883.372,87	350	0	60,5	0	439,5	500	536.936,65
1.883.372,87	450	0	60,5	0	439,5	500	536.936,65
1.883.372,87	500	0	60,5	0	439,5	500	536.936,65

Na situação dois, onde se restringiu o tomate para um máximo de 80 ha e o feijão para um máximo de 100 ha, observou-se o mesmo comportamento da análise anterior onde o risco zero forneceu uma máxima margem bruta anual inferior aquela obtida na solução determinista. Com o aumento do risco, ocorre um aumento na máxima margem bruta esperada (Figuras 7 e 8), sendo que esta se estabiliza para a situação dois, a partir do risco de R\$ 40 ano⁻¹, isto significa que um produtor

que aceite correr risco pode obter a máxima margem bruta de R\$ 1.821.772,40 com um risco mínimo de R\$ 40 ano⁻¹, utilizando a combinação de 80 ha de tomate, 320 ha de cana-de-açúcar e 100 ha de feijão. Já um produtor averso ao risco pode esperar uma máxima margem bruta de R\$ 1.707.706,26 com risco zero, utilizando a ocupação de 186,45 ha de milho, 80 ha de tomate, 133,55 ha de cana-de-açúcar e 100 ha de feijão.

**Figura 7.** Fronteira eficiente para a situação dois com T=800.000 sem restrição de água.**Figura 8.** Distribuição das culturas em função do risco para a situação dois sem restrição de água.

Nota-se nesta situação dois (Figura 8 e Tabela 6), que quando se utiliza o risco zero, a cultura da cana-de-açúcar e do milho são indicadas por apresentarem as menores variabilidades, o que decorre em menores desvios anuais, e menores margens brutas anuais esperadas. Isto ocorreu devido à restrição ao plantio de feijão e tomate.

Quando se aumenta o risco, as culturas do feijão e do tomate já atingiram o máximo permitido de ocupação, assim a cultura da cana-de-açúcar com maior variabilidade e maior margem bruta anual quando comparada à cultura do milho, inicia uma ocupação maior, até substituir toda a área antes ocupada pelo milho.

Tabela 6. Ocupação da área e margem bruta esperada, obtidos pelo Target-Motad para a situação dois, com T= R\$ 800.000 ano⁻¹ e água = 2.000.000 m³ ano⁻¹.

Margem bruta (R\$ ano ⁻¹)	Risco (R\$ ano ⁻¹)	Milho	Tomate	Cana	feijão	Área (ha)	total Consumo de água (m ³ ano ⁻¹)
1.707.706,26	0	186,45	80,00	133,55	100,00	500,00	873.346,46
1.781.074,40	20	66,52	80,00	253,48	100,00	500,00	1.323.025,30
1.817.758,43	30	6,56	80,00	313,44	100,00	500,00	1.601.551,49
1.821.772,40	40	0,00	80,00	320,00	100,00	500,00	1.632.024,00
1.821.772,40	50	0,00	80,00	320,00	100,00	500,00	1.632.024,00
1.821.772,40	60	0,00	80,00	320,00	100,00	500,00	1.632.024,00

Na situação dois, quando se restringe a disponibilidade de água em 1.500.000 m³ ano⁻¹, observa-se que o aumento da margem bruta (Figura 9) estabiliza-se a partir do risco de R\$ 30 ano⁻¹; isto significa que um produtor que aceite correr risco

pode obter a máxima margem bruta anual de R\$ 1.790.237,30 com um risco mínimo de R\$ 30 ano⁻¹, utilizando a combinação de 51,55 ha de milho, 80 ha de tomate, 268,5 ha de cana-de-açúcar e 100 ha de feijão.

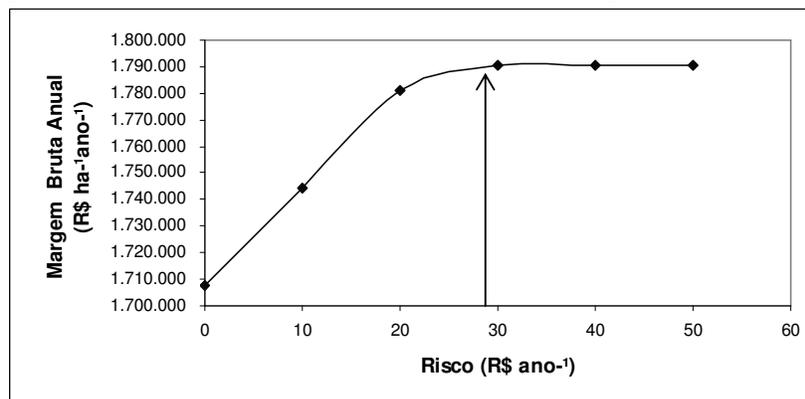


Figura 9. Fronteira eficiente para a situação dois com T = 800.000 e água restrita a 1.500.000 m³ ano⁻¹.

Na Figura 10 e Tabela 7 observa-se uma combinação onde a cultura do milho apresenta a mesma participação do cenário sem restrição de água, na faixa de risco de zero a R\$ 20 ano⁻¹, pois até este momento a água não é restritiva. A partir do risco de R\$ 30 ano⁻¹ a disponibilidade de água torna-se restritiva e a combinação de culturas apresenta-se diferente; a cultura do milho permanece na combinação ótima por apresentar o menor consumo de água entre as quatro culturas estudadas.

Note-se que a máxima margem bruta anual obtida nesta situação difere entre os cenários sem restrição de água e com restrição de água, no primeiro caso um produtor que aceite correr risco

pode obter a máxima margem bruta de R\$ 1.821.772,40 com um risco mínimo de R\$ 40 ano⁻¹, já com restrição de água este mesmo produtor pode obter a máxima margem bruta anual de R\$ 1.790.237,30 com um risco mínimo de R\$ 30 ano⁻¹. Porém, quando se observa o risco zero, para um produtor averso ao risco, pode-se esperar uma máxima margem bruta de R\$ 1.707.706,26 no cenário sem restrição de água e uma máxima margem bruta de R\$ 1.707.706,26 também no cenário com restrição de água. Neste caso falta do planejamento da disponibilidade de água acarretou em menores margens brutas anuais apenas nas situações onde se admite o risco, porém mesmo aceitando o risco a restrição da água impede atingir

o valor da máxima margem bruta obtida no cenário sem restrição de água.

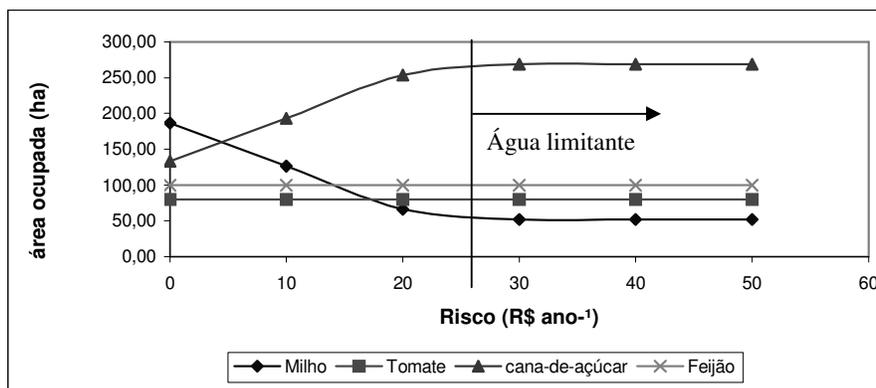


Figura 10. Distribuição das culturas em função do risco para a situação dois com água = 1.500.000 m³ ano⁻¹.

Tabela 7. Ocupação da área e margem bruta esperada, obtidos pelo Target-Motad para a situação um, com T=R\$ 800.000 ano⁻¹ e água = 600.000 m³.

Margem bruta (R\$ ano ⁻¹)	Risco (R\$ ano ⁻¹)	Milho	Tomate	cana	feijão	Área total (há)	Consumo de água (m ³ ano ⁻¹)
1.707.706,26	0	186,45	80,00	133,55	100,00	500,00	873.346,46
1.744.390,32	10	126,49	80,00	193,51	100,00	500,00	1.044.452,65
1.781.074,40	20	66,52	80,00	253,48	100,00	500,00	1.323.025,30
1.790.237,30	30	51,55	80,00	268,45	100,00	500,00	1.499.983,94
1.790.237,30	40	51,55	80,00	268,45	100,00	500,00	1.499.983,94
1.790.237,30	50	51,55	80,00	268,45	100,00	500,00	1.499.983,94

Na Tabela 8 é apresentado um resumo das situações e cenários testados, considerando como extremos produtores aversos ao risco, isto é, não

aceitam correr qualquer tipo de risco; e produtores que aceitam correr riscos.

Tabela 8. Comparação entre as situações e os cenários estudados, em relação ao risco e a máxima margem bruta para os modelos determinista e Target-Motad.

Situação	Modelo	Cenário	Produtores aversos ao risco		bruta	Produtores que aceitam o risco	
			Mínimo risco (R\$ ano ⁻¹)	Margem máxima (R\$ ano ⁻¹)		mínimo risco (R\$ ano ⁻¹)	margem máxima (R\$ ano ⁻¹)
um	Target Motad	sem restrição de água	0	1.775.974,81	350	1.883.372,87	
		com restrição de água	70	1.677.531,00	350	1.883.372,87	
	Determinístico			1.883.372,87			
dois	Target Motad	sem restrição de água	0	1.707.706,26	40	1.821.772,40	
		com restrição de água	0	1.707.706,26	30	1.790.237,30	
	Determinístico			1.821.772,40			

Analisando-se esta Tabela 8, observa-se que para o produtor que aceita o risco, a situação um fornece maior margem bruta anual com ou sem

restrição de água, porém na situação dois, sem restrição de água, a margem bruta equivalente a 96,7% da margem bruta da situação um, com um

risco de R\$ 40 ano⁻¹, equivalente a 11,5% do risco da situação um de R\$ 350 ano⁻¹, isto pode tornar a situação dois mais atrativa por oferecer uma margem bruta anual razoável a um risco menor. Para o produtor averso ao risco a situação um oferece melhores margens anuais quando a disponibilidade de água for irrestrita, porém se houver restrição de água a situação dois torna-se mais atrativa, pois apresenta uma margem bruta anual superior. A inclusão do risco fornece uma visão econômica mais global das situações e suas melhores ocupações, quando comparada à solução determinista. Indica também ocupações alternativas baseadas não somente na margem bruta máxima, mas também no risco imposto por esta escolha, através de uma fronteira eficiente, permitindo uma tomada de decisão considerada na escolha do plano ótimo às preferências pessoais do produtor-empresário, incluindo a sua aversão ao risco e a sua pretensão de margem bruta anual para procurar escolher a combinação de atividades que permite a solução ótima para as características intrínsecas ao problema.

CONCLUSÕES

No modelo determinístico a área foi o fator restritivo e a água não foi restritiva para nenhuma das situações testadas. Para a primeira situação a margem bruta anual máxima obtida foi de R\$ 1.883.372,87 e para a segunda situação de R\$ 1.821.772,40.

No modelo incluindo risco um produtor que aceite correr risco pode na primeira situação obter a máxima margem bruta de R\$ 1.883.372,87 com um risco mínimo de R\$ 350 ano⁻¹, e para a segunda situação R\$ 1.821.772,40 com um risco mínimo de R\$ 40 ano⁻¹.

Para um produtor averso ao risco pode-se obter na primeira situação uma margem bruta máxima de R\$ 1.775.974,81 com risco nulo e para a segunda situação R\$ 1.707.706,26 com risco nulo ambas sem ocorrência de restrição de água. Quando ocorre restrição na disponibilidade de água a situação um apresenta uma margem bruta máxima de R\$ 1.677.531,00 com o mínimo de risco de R\$ 70 ano⁻¹.

No modelo incluindo risco com restrição de água houve para as duas situações testadas a menor margem bruta anual, o que ressalta a importância de um planejamento do uso da água para a aquisição de equipamentos de irrigação.

ABSTRACT: The economic occupation of an area of 500 ha for Piracicaba was studied with the irrigated cultures of maize, tomato, sugarcane and beans, having used models of deterministic linear programming and linear programming including risk for the Target-Motad model, where two situations had been analyzed. In the deterministic model the area was the restrictive factor and the water was not restrictive for none of the tested situations. For the first situation the gotten maximum income was of R\$ 1,883,372.87 and for the second situation it was of R\$ 1,821,772.40. In the model including risk a producer that accepts risk can in the first situation get the maximum income of R\$ 1,883,372.87 with a minimum risk of R\$ 350 year⁻¹, and in the second situation R\$ 1,821,772.40 with a minimum risk of R\$ 40 year⁻¹. Already a producer averse to the risk can get in the first situation a maximum income of R\$ 1,775,974.81 with null risk and for the second situation R\$ 1.707.706, 26 with null risk, both without water restriction. These results stand out the importance of the inclusion of the risk in supplying alternative occupations to the producer, allowing to a producer taking of decision considered the risk aversion and the pretension of income.

KEYWORDS: Motad. Risk analysis. Linear programming

REFERÊNCIAS

- ANWAR, A. A.; CLARKE, D. Irrigation scheduling using mixed-integer linear programming. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 127, n. 2, march/april, p. 63-69, 2001.
- BALVERDE, N. R. M. Avaliação econômica de sistemas intensivos na pecuária uruguaia em condições de risco: um estudo de caso. 1997. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ/USP, Piracicaba, 1997.
- BENEDINI, M. Developments and possibilities of optimization models. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 13, p. 329-358, 1988.

- BERBEL, J. Target returns within risk programming models: a multi-objective approach. *Journal of Agricultural Economics*, v. 39, n. 2, p. 263-270, 1988.
- CARVALHO, D. F.; SOARES, A. A.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SEDIYAMA, G. C.; PRUSKI, F. F. Otimização do uso da água no perímetro irrigado do Gorotuba, utilizando-se a técnica da programação linear. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n. 2, Campina Grande PB, p. 203-209, 2000.
- DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C. A. V.; FRIZZONE, J. A. Uso da programação linear para estimar o padrão de cultura do perímetro irrigado Nilo Coelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 1, p. 9-12, 1997.
- DIAS, C. T. S. Planejamento de uma fazenda em condições de risco: programação linear e simulação multidimensional. 1996. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ/USP, Piracicaba, 1996.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Necessidades hídricas das culturas. Trad. de H.R. Gheyi; J. E. C. Metri e F. A. V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1997. 204 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. 2 ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 221 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- ESPINOZA, W. Manual de produção de tomate industrial no vale do São Francisco. Brasília: IICA escritório no Brasil, Codevasf, 1991. 301 p.
- FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUZA, J. L. M.; ZOCOLER, J. L. Planejamento de irrigação: análise e decisão de investimento. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 627 p.
- FRIZZONE, J. A.; COELHO, R. D.; DOURADO-NETO, D.; SOLIANI, R. Linear programming model to optimize the water resource use in irrigation projects: an application to the Senator Nilo Coelho project. *Scientia Agrícola*, v. 54, n. especial, p. 136-148, junho 1997.
- FRIZZONE, J. A.; SILVEIRA, S. F. R. Análise econômica de projetos hidroagrícolas. In: SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. (Ed.) *Gestão de recursos hídrico: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais*. Brasília: SRH; Viçosa: UFV; Porto Alegre: ABRH, 2000. cap. 5 p. 449-617.
- GIORDANO, L. B.; SILVA, J. B. C. Clima e época de plantio. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (Ed.) *Tomate para processamento industrial*. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2000. p. 18-24.
- HAZEL, P. B. R. A linear alternative to quadratic and semi variance programing for farm planning under uncertainty. *American Journal of Agricultural Economic*, v. 53, n. 1, p. 53-62, Feb. 1971.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - IGC. Carta de utilização da terra do Estado de São Paulo. Folhas de Bauru e São Paulo. Escala de 1:250.000. São Paulo, 1981.
- MANNOCHHI, F.; MECARELLI, P. Optimization analysis of deficit irrigation systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 120, n. 3, p. 484-503, 1994.
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. Brasília: Embrapa, 1998. 16 p. (Circular Técnica da Embrapa Hortaliças, 11).
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Irrigação. In: SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (Ed.) *Tomate para processamento industrial*. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2000. p. 60-71.
- MARQUES, P. A. A.; FRIZZONE, J. A. Modelo computacional para determinação do risco econômico em culturas irrigadas. *Acta Scientiarum*, v. 27, n. 4, p. 719-727, 2005.

MATIOLI, C. S.; FRIZZONE, J. A.; PERES, F. C. Irrigação suplementar de cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para a região norte do estado de São Paulo. *STAB*, v. 17, n. 2, p. 42-45, nov/dez 1998.

MINAMI, K.; HAAG, P. H. O tomateiro. Campinas: Fundação Cargill, 1989. 397 p.

MOREIRA, J. A. A.; AZEVEDO, J. A.; STONE, L. F.; CAIXETA, T. J. Irrigação. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.) *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Associação Brasileira par Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p. 317-340.

PARTON, K. A.; CUMMING, R. J. An application of Target-MOTAD programming to the analysis of downside business and financial risk on farms. *Review of Marketing and Agricultural Economics*, v. 58, n. 1, p. 77-88, 1990.

PLEBAN, S.; LABDIE, J. W; HEERMAN, D. F. Branch and bound algorithm for minimum labor irrigation schedules. *St. Joseph, ASAE*, 1981. 19 p. (paper, 81-2096).

REICHARDT, K. Controle da irrigação do milho. Campinas: Fundação Cargill, 1993. 20 p.

SÃO PAULO. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Plano estadual de recursos hídricos: primeiro plano do Estado de São Paulo. São Paulo: DAEE, 1991.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Requerimento de água. In: SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. (Ed) *Irrigação do feijoeiro*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. cap 1, p. 9-78.

TAUER, L. Target-MOTAD. *American Journal Agricultural Economics*, v. 65, n. 3, p. 606-610, 1983.