

## PLANEJAMENTO DE PADRÃO DE CULTIVO EM AGRICULTURA IRRIGADA. PARTE 1: MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR<sup>1</sup>

JOÃO C. F. BORGES JÚNIOR<sup>2</sup>, CAMILO L. T. DE ANDRADE<sup>3</sup>, PAULO A. FERREIRA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Apoio financeiro: CNPq.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Prof. Doutor, Unidade Acadêmica de Garanhuns, UFRPE, Garanhuns - PE, Fone: (0XX87) 3761.0969, jcborges@ufrpe.br.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Pesquisador Doutor, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas - MG.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG.

Escrito para apresentação no  
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB

**RESUMO:** Modelos de programação linear são ferramentas poderosas para suporte ao planejamento inicial ou periódico de empreendimentos agrícolas, no qual devem ser consideradas as restrições quanto aos fatores relevantes ao processo de produção. Uma alternativa para obtenção de coeficientes técnicos requeridos em modelos de programação linear é o emprego de modelos computacionais de simulação, o que implica em economia considerável de tempo e recursos financeiros. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo de programação linear para otimização do retorno financeiro e do uso da água, em nível de propriedade rural no Projeto Jaíba, MG, para um horizonte de planejamento de quatro anos, utilizando dados de requerimento de irrigação e produtividade obtidos por meio da aplicação do modelo de simulação MCID. O modelo de programação linear indicou um padrão de cultivo para o qual se obteve o máximo valor presente líquido total igual a R\$ 372.723,00, para o período de quatro anos. Restrições quanto à disponibilidade mensal de água, mão-de-obra, terra e produção foram críticas na solução ótima. Em relação à otimização de uso da água, verificou-se que expressivas reduções no requerimento de irrigação podem ser obtidas com pequenas reduções no valor presente líquido total máximo.

**PALAVRAS-CHAVE:** retorno financeiro, requerimento de irrigação, modelo de simulação.

### PLANNING OF CROPPING PATTERN IN IRRIGATED AGRICULTURE. PART1: LINEAR PROGRAMMING MODEL

**ABSTRACT:** Linear programming models are powerful tools to support periodic or initial planning, in which restrictions on important factors to the production process must be considered. An alternative for obtaining technical coefficients required on linear programming models is the use of computer simulation models, what implicates on considerable saving of time and financial resources. The purpose of this paper was to develop a linear programming model for optimization of financial return and water use, at farm level in the Jaiba Project, MG, for a planning horizon of four years, employing data of irrigation requirement and yield obtained from application of the simulation model MCID. The used linear programming model pointed out a cropping pattern for which was obtained a total net present value equal to R\$ 372.723,00, for the period of four years. Constraints on monthly water availability, labor, land and production were critical in the optimal solution. In relation to optimization of water use, it was verified that expressive reductions in the irrigation requirement can be obtained with little reductions in the maximum net present value.

**KEYWORDS:** financial return, irrigation requirement, simulation model.

**INTRODUÇÃO:** Agricultores e empresários rurais devem tomar decisões quanto aos padrões de cultivo a serem adotados. Estas decisões estão sujeitas a restrições inerentes ao empreendimento



agrícola (recursos e produção), e, freqüentemente, a consideráveis incertezas sobre o período de planejamento à frente (HAZELL & NORTON, 1986). Geralmente, estudos de otimização de padrão de cultivo e estratégias de produção, voltados para a agricultura irrigada, relacionados ao retorno financeiro e ao uso da água e que sejam associados a análise de risco, não são comumente aplicados em países em desenvolvimento. Dentre as principais causas da pouca difusão desses estudos, figuram a carência de dados e os custos envolvidos, especialmente com pessoal capacitado ao desenvolvimento das análises. Outra possível causa é a não disponibilidade de modelos computacionais especializados, providos de interface orientada para a agricultura irrigada, de modo a auxiliar na construção de modelos de programação matemática e na análise de risco (BORGES JÚNIOR et al., 2003). Modelos computacionais de simulação podem ser ferramentas eficazes para obtenção de coeficientes técnicos requeridos nos modelos de programação linear e na análise de risco, permitindo ganhos em termos de tempo e economia de recursos materiais e financeiros (MEINKE et al., 2001). O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo de programação linear para otimização do retorno financeiro e do uso da água, em nível de propriedade rural no Projeto Jaíba, MG, para um horizonte de planejamento de quatro anos, utilizando dados de requerimento de irrigação e produtividade obtidos por meio da aplicação do modelo de simulação MCID (BORGES JÚNIOR, 2004).

**MATERIAL E MÉTODOS:** O modelo de programação linear foi desenvolvido em nível de propriedade rural, considerando dados do Projeto Jaíba, MG. Foi construído em planilha eletrônica, abrangendo um período de quatro anos. Dados relativos ao requerimento de irrigação foram obtidos com o modelo computacional MCID (BORGES JÚNIOR, 2004), o qual requer, dentre outros dados de entrada, dados climáticos, dados de solo, dados relativos às culturas e dados relativos ao manejo de irrigação. A base de dados é descrita a seguir.

**Dados climáticos:** Os seguintes dados climáticos mensais foram obtidos junto ao Distrito de Irrigação do Jaíba – DIJ: precipitação, médias das temperaturas máximas, médias das temperaturas mínimas, temperaturas médias, umidade relativa média do ar, insolação e velocidade de vento. Exceto para a velocidade de vento, foram utilizados dados dos anos de 1991 a 2001. Para velocidade do vento, por não se dispor de dados para o período, utilizaram-se valores médios mensais. Conforme sugerido por ALLEN et al. (1998), foi considerado um valor mínimo de  $0,5 \text{ m s}^{-1}$  para a velocidade do vento. A evapotranspiração de referência foi calculada por meio do programa REF-ET Window Version 2.0, utilizando-se o método FAO Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Dados pluviométricos diários não foram empregados diretamente, por não estarem disponíveis, sem custos, para o período considerado. Com base na série histórica de dados pluviométricos diários do distrito de Mocaminho, localizado no Projeto Jaíba, no período disponível (1976 a 1992), foram obtidos valores médios de número de dias de chuvas por mês, para os meses de janeiro a dezembro, iguais a 10, 9, 4, 4, 2, 1, 1, 1, 2, 5, 5 e 8, respectivamente. Os dados mensais foram convertidos em diários, com base no número de dias com chuvas em cada mês.

**Dados de solo:** Foram considerados valores médios (QUARESMA FILHO, 2000): teor de água na capacidade de campo igual a 0,260 e no ponto de murcha permanente igual a 0,123.

**Cultura:** Os elementos considerados para escolha das culturas a serem contempladas nos estudos foram área plantada, valor da produção e/ou rentabilidade alcançada por essas culturas, nos anos de 2001 e 2002. Os dados foram obtidos junto ao Distrito de Irrigação do Projeto Jaíba (DIJ) e à CODEVASF, 1ª Superintendência, para as categorias fruticultura, grãos e hortaliças. As culturas e épocas de cultivo (culturas anuais) consideradas foram:

- Culturas perenes: banana prata-anã, limão, mamão papaya e maracujá.
- Culturas anuais: abóbora-japonesa (um cultivo por ano - fevereiro a maio), algodão (dois cultivos por ano - março a junho e junho a setembro), cebola-inverno (um cultivo por ano - abril a julho), cebola-verão (um cultivo por ano - novembro a fevereiro), feijão (três cultivos por anos - janeiro a março, maio a julho, outubro a dezembro), melão (dois cultivos por ano - março a maio e agosto a outubro) e pepino para conserva (um cultivo por ano - abril a junho).

Considerou-se que os plantios ocorreram no primeiro dia do mês inicial de cultivo, embora possa se considerar o plantio em outros dias no mês. Valores de parâmetros das culturas são listados em BORGES JÚNIOR (2004). Para a cultura da banana, trabalhou-se com o coeficiente basal de cultura ( $K_{cb}$ ), enquanto, para as demais, trabalhou-se com o coeficiente único da cultura ( $K_c$ ). As



produtividades potenciais das culturas ( $Y_p$ ) foram obtidas de informações do DIJ ou na literatura especializada.

**Irrigação:** O critério de manejo da irrigação foi diferenciado para as diversas culturas. Foram considerados os sistemas de irrigação por aspersão, microaspersão e gotejamento. Quanto à lâmina de irrigação, considerou-se como critério irrigar para preencher 100% da capacidade real de água no solo.

**Modelo de programação linear – MPL:** O modelo de programação linear foi desenvolvido em nível de propriedade. Foi considerada uma propriedade de caráter empresarial, com área total de 20 ha. A função-objetivo visa maximizar o valor presente líquido total, ou seja, o retorno financeiro, no período considerado de quatro anos. A otimização do uso da água é procedida fixando valores presentes líquidos totais, decrescente a partir do valor máximo, minimizando-se uma função-objetivo relativa ao requerimento de água em determinado período crítico (BORGES JÚNIOR, 2004). As restrições consideradas no MPL, cujos valores adotados são hipotéticos, são apresentadas nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Restrições quanto aos recursos, adotadas no modelo de programação linear

Restrição	Unidade	Valor
Terra	(ha)	19
Mão-de-obra (mensal)	(dias-homem)	600
Água disponível para irrigação (mensal)	(m <sup>3</sup> )	15.000
Água disponível para irrigação (anual)	(m <sup>3</sup> )	150.000

Tabela 2. Restrições quanto à produção, adotadas no modelo de programação linear

Cultura	Unidade	Valores
Abóbora-japonesa	(t/safra)	<= 48
Algodão	(t/safra)	>=2
Banana prata-anã	(t/ano)	>= 120; <= 200
Cebola-inverno e cebola-verão	(t/safra)	<= 175
Feijão	(t/safra)	<= 6
Limão	(t/ano)	<= 100
Mamão papaya	(t/ano)	<= 250
Maracujá	(t/safra)	<= 190
Melão e pepino para conserva	(t/safra)	<= 90

As restrições de água disponível para irrigação foram 75 mm por mês, no período de abril a setembro, e 750 mm por ano. Embora, atualmente, não existam limites quanto à disponibilidade de água para irrigação no Projeto Jaíba, medidas restritivas poderiam ser cogitadas num cenário com expressivo aumento da demanda na área do projeto ou na Bacia do São Francisco. Para definição das restrições quanto à mão-de-obra, considerou-se uma disponibilidade de 20 homens por dia. Foi considerada uma área efetiva de 19 ha. A partir do requerimento de mão-de-obra, para diferentes tarefas relacionadas a cada cultura (plantio, tratamentos culturais, manejo de irrigação, etc), definiu-se o requerimento de mão-de-obra em cada mês de cultivo. Nas restrições quanto à produção, foram considerados valores hipotéticos, a fim de representar tanto as capacidades de armazenamento ou processamento e capacidade de mercado, quanto as necessidades de diversificação de cultivo, impondo, deste modo, limites superiores à produção. Outro aspecto, o qual se buscou representar, foi a necessidade de produção mínima de algumas culturas. Assim, conforme apresentado na Tabela 2, foram estipulados valores mínimos para as produções de banana e algodão. Dados concernentes aos preços dos produtos e aos custos de irrigação foram informados pelo DIJ para o ano de 2004.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A otimização da função-objetivo do modelo de programação linear resultou no máximo valor presente líquido total igual a R\$ 372.7230, para o período de quatro anos. Os preços-sombra relativos à disponibilidade mensal de água variaram de R\$ 0,11 m<sup>-3</sup> (abril no quarto ano) a R\$ 1,42 m<sup>-3</sup> (setembro no terceiro ano). As severas restrições quanto à mão-de-obra e produção podem ter atuado para reduzir os preços-sombra para disponibilidade mensal de água. A restrição quanto à terra restringiu a produção no mês de dezembro nos anos 1 a 3. Os preços-sombra variaram de R\$ 197,97 a R\$ 221,73 por hectare. O preços-sombra para mão-de-obra atingiram o valor de R\$



108,32 por dia-homem, no mês 5 no primeiro ano. O modelo poderia ser, então, reconstruído, aumentando a disponibilidade de mão-de-obra nos meses críticos, de modo a aproximar-se mais da situação real, em que é possível contratar mão-de-obra extra. Quanto às restrições relativas à produção, foram obtidos preços-sombra negativos correspondentes aos cultivos da banana e do algodão, os quais são indicados na solução ótima devido à restrição de produção mínima. Foram atuantes, também, as restrições quanto à produção máxima das culturas feijão (safra 1 nos anos 1 e 3, e safra 3 no ano 4), cebola-verão (anos 2 e 3), abóbora japonesa (ano 1) e melão (safra 1 e 2 em todos os anos). Visando ilustrar o procedimento relativo à otimização de uso da água, na Figura 1 apresenta-se o efeito da minimização do requerimento de água para os meses de abril (total de quatro meses em quatro anos). Nesta figura, observa-se que expressivas reduções no requerimento de irrigação podem ser obtidas com pequenas reduções no valor presente líquido total máximo.

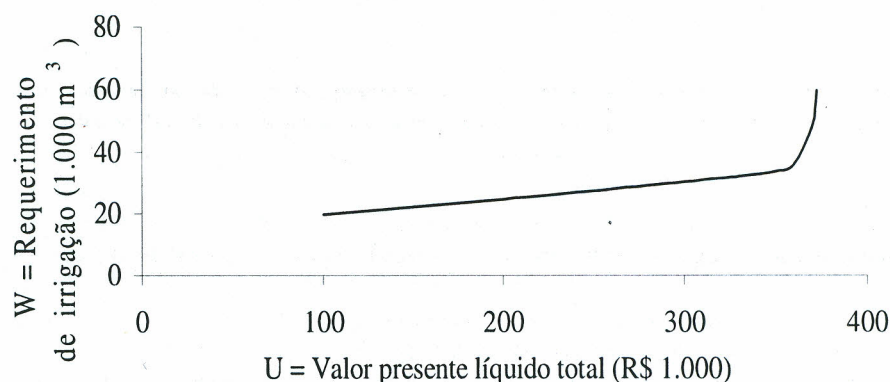


Figura 1. Linha de mínimo requerimento de irrigação no plano U-W.

**CONCLUSÕES:** O modelo de programação linear indicou um padrão de cultivo para o qual obteve-se o máximo valor presente líquido total igual a R\$ 372.723, para o período de quatro anos. Restrições quanto à disponibilidade mensal de água, mão-de-obra, terra e produção foram atuantes na solução ótima. Em relação à otimização de uso da água, verificou-se que expressivas reduções no requerimento de irrigação podem ser obtidas com pequenas reduções no valor presente líquido total máximo.

#### REFERÊNCIAS:

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: F.A.O., 1998. 300p. Paper 56.
- BORGES JÚNIOR, J.C.F.; HEDDEN-DUNKHORST, B.; FERREIRA, P.A. Decision support based on bio-economic simulations for irrigated agriculture. **Deutscher Tropentag - Technological and institutional innovations for sustainable rural development**. <http://www.tropentag.de/2003/abstracts/full/224.pdf>. 2003.
- BORGES JÚNIOR, J.C.F. **Modelo computacional para tomada de decisão em agricultura irrigada**. Viçosa: UFV, 2004. 226p. Tese Doutorado.
- HAZELL, P.B.R.; NORTON, R.D. **Mathematical programming for economic analysis in agriculture**. New York: Macmillan Publishing Company, 1986. 400p.
- MEINKE, H.; BAETHGEN, W.E.; CARBERRY, P.S.; DONATELLI, M.; HAMMER, G.L.; SELVARAJU, R.; STÖCKLE, C.O. Increasing profits and reducing risks in crop production using participatory systems simulation approaches. **Agricultural Systems**, Amsterdã, v. 70, p.493-513, 2001.
- QUARESMA FILHO, M.I.M. **Avaliação dos sistemas de irrigação por microaspersão na fruticultura dos projetos Gorutuba e Jaíba**. Viçosa: UFV, 2000. 85p. Dissertação Mestrado.