

# Modelo aplicado ao planejamento da cafeicultura irrigada. III Análise de risco econômico da cafeicultura em dois sistemas de irrigação

Jorge Luiz Moretti de Souza<sup>1</sup> e José Antônio Frizzone<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Solos e Engenharia Agrícola/ Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, 1540, 80035.050, Curitiba, Paraná, Brasil. <sup>2</sup>Departamento de Engenharia Rural, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil. \*Autor para correspondência. e-mail: moretti@agrarias.ufpr.br

**RESUMO.** O presente trabalho teve como objetivo fazer uma análise de risco econômico da cafeicultura irrigada em duas propriedades: uma situada na região de Araguari, Estado de Minas Gerais, possuindo um sistema de irrigação pivô central de 98,4ha, e outra situada na região de Lavras, Estado de Minas Gerais, possuindo um sistema de irrigação por gotejamento de 13,5ha. As análises foram realizadas em um modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro. Três pacotes tecnológicos (40, 60 e 80sc ha<sup>-1</sup>) e seis manejos anuais de irrigação foram analisados. Os resultados obtidos permitiram verificar que os serviços (40,7% a 60,4%) e os materiais (15,3% a 34,3%) foram os itens mais significativos no custo total. Os custos com energia e água não foram maiores que 5,0%, os custos médios com o sistema de irrigação ficaram entre 10,3% e 29,7% para o sistema gotejamento e entre 7,0% e 19,4% para o sistema pivô central.

**Palavra-chave:** modelo, simulação, risco econômico, café irrigado.

**ABSTRACT. Model for the planning of irrigated coffee production. III Economic risk analysis of coffee production in two irrigation systems.** The present work had the objective to analyze economic risk of the irrigated coffee production in two farms: one in Araguari, state of Minas Gerais, Brazil, that possesses a central pivot irrigation system of 98.4 ha, and the other in Lavras, state of Minas Gerais, Brazil, with a drip-irrigation system of 13.5 ha. The analyses were carried out in an economic risk analysis model applied to the planning of irrigation projects for coffee plantation. Three technological packages (40, 60 and 80 bags.ha<sup>-1</sup>) and six types of annual irrigation handling were analyzed. The obtained results allowed to verify that the services (40.7% to 60.4%) and the materials (15.3% to 34.3%) were the most significant items in the total cost. The costs with energy and water were not larger than 5.0%; the mean costs with the irrigation system were between 10.3% and 29.7% for the drip one and between 7.0% and 19.4% for the central pivot one.

**Key words:** model, simulation, economic risk, irrigated coffee.

## Introdução

A idéia da irrigação das culturas agrícolas consiste no suprimento de água às plantas na quantidade necessária e no momento adequado para se obter, economicamente, a produção ótima e melhor qualidade do produto. O uso da irrigação diminui o risco dos agricultores no que se refere às produções a serem alcançadas, não impedindo, no entanto, que ocorram riscos financeiros. Para o cafeicultor, a irrigação é uma prática que, além de aumentar a produtividade, pode proporcionar a obtenção de um produto diferenciado, de melhor qualidade

(especial) e com perspectiva de bons preços no mercado (Souza, 2001).

O desenvolvimento tecnológico da agricultura, nos últimos tempos, tem feito que o risco econômico da atividade agrícola possa ser decomposto em dois componentes: variabilidade de produção e preços. Com a irrigação, reduzem-se ou eliminam-se as perdas causadas por déficit hídrico; no entanto, os riscos econômicos e de perdas por excesso de chuvas, principalmente no período de colheita, ainda permanecem (Filho e Gonzaga, 1991).

A irrigação é tecnologia que requer investimentos consideráveis e está associada à utilização intensiva de insumos, tornando-se imprescindível à análise dos componentes de custos dos sistemas empregados (Melo, 1993; Cardoso, 1994). As regas devem ser quantificadas de modo a aplicar apenas a água suficiente para atender às necessidades da cobertura vegetal, sem excessos, para não constituir desperdício de água, de tempo e de dinheiro (Camargo, 1987). A irrigação do cafeeiro não é recomendada para as regiões zoneadas como climaticamente aptas à cafeicultura; no entanto, inúmeros autores e empresas de equipamentos de irrigação vêm ressaltando que essas regiões sofrem com o efeito das estiagens prolongadas em períodos críticos de demanda de água pelo cafeeiro, promovendo queda de produção e de qualidade, indicando a necessidade e a viabilidade da adoção de práticas irrigacionistas.

Santos *et al.* (1998), em diagnóstico sobre a cafeicultura no cerrado, concluíram que a maioria dos cafeicultores necessitam de resultados de pesquisa e de informações técnico-econômicas a respeito da irrigação. Os mesmos autores acrescentam que a época e a frequência de irrigação ainda não estão bem estabelecidas, e poucos agricultores fazem manejo da irrigação baseando-se em métodos técnicos.

A prática da irrigação pode ajudar muito os agricultores, porém os riscos da adoção de agricultura irrigada devem ser criteriosamente estudados e analisados, objetivando sempre obter renda que venha cobrir os custos de produção. Dessa forma, estudos que auxiliem técnicos e agricultores na tomada de decisão, tais como: investir ou não em sistema de irrigação e, ou, estimar como, quando e quanto irrigar, para se obter máxima receita líquida com a cafeicultura, são necessários (Souza, 2001).

Sendo assim, destaca-se a importância e a aplicabilidade dos modelos de simulação voltados às decisões no planejamento e do gerenciamento dos projetos de irrigação. A utilização da técnica de simulação permite apresentar alternativas propostas para solucionar um dado problema e/ou, simular condições reais, com a vantagem de apresentar baixo custo, rapidez na obtenção dos resultados e demandar uma pequena quantidade de dados (Barth *et al.*, 1987).

Nesse sentido, foi desenvolvido o “Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro”, denominado *Moretti*. Esse modelo serve de auxílio na tomada de decisão para o planejamento e o gerenciamento de projetos de irrigação para a cultura

do cafeeiro. Maiores detalhes sobre o desenvolvimento do modelo poderão ser encontrados no trabalho de Souza (2001).

O presente trabalho teve como objetivo fazer análise de risco econômico da cafeicultura irrigada em duas propriedades: uma possuindo um sistema de irrigação por gotejamento, e a outra um sistema pivô-central. Todas as avaliações foram realizadas nos módulos do modelo *Moretti*.

### Material e métodos

A análise de investimento do projeto da cultura do cafeeiro irrigado no *Moretti* é realizada considerando toda a sua vida útil (*vu*). Para tornar comparáveis receitas recebidas e despesas efetuadas em diferentes momentos, ao longo da vida útil da cultura, todos os valores são referidos ao início do período de implantação, considerando sempre os preços em dólar e juros compostos. A estimativa do custo total na cafeicultura irrigada em cada *i*-ésimo ano resulta do somatório dos componentes do custo fixo e variável, sendo:

$$CT_i = CF_i + CV_i$$

$$CT_i = ( CVm_i + CVs_i + CVmt_i + CVA_i + CVe_i + CVip_i + CVj_i ) + ( CFd_i + CFj_i + CFs_i + CFip_i + CFat_i ) \quad (1)$$

onde

$CT_i$  é o custo total com a cultura no *i*-ésimo ano (dólar);

$CF_i$  o custo fixo no *i*-ésimo ano;

$CV_i$  o custo variável no *i*-ésimo ano;

$CVm_i$  o custo dos materiais;

$CVs_i$  o custo dos serviços;

$CVmt_i$  o custo de manutenção;

$CVA_i$  o custo da água para irrigação;

$CVe_i$  o custo de energia;

$CVip_i$  os custos com impostos;

$CVj_i$  os juros sobre o capital de giro;

$CFd_i$  a depreciação linear;

$CFj_i$  os juros sobre capital fixo;

$CFs_i$  o custo com seguro;

$CFip_i$  os impostos e

$CFat_i$  o custo alternativo da terra.

O processo utilizado para simular os benefícios advindos com a venda do produto em cada *i*-ésimo ano de vida útil da cultura passou por uma série de ajustes e simplificações, chegando-se à seguinte expressão:

$$B_i = Yr_i \cdot Ac \cdot Pcf_i \quad (2)$$

sendo

$B_i$  o benefícios no  $i$ -ésimo ano (dólar);  
 $Yr_i$  o rendimento real obtido no  $i$ -ésimo ano (sc de 60 kg beneficiada.ha<sup>-1</sup>);  
 $Ac$  é a área cultivada irrigada (ha) e  
 $Pcf_i$  o preço da saca de 60 kg de café beneficiado no  $i$ -ésimo ano (dólar.sc<sup>-1</sup>).

A equação utilizada para estimar a produtividade do cafeeiro no modelo *Moretti* foi uma adaptação da função de “Stewart *et al.* (1976) modificado”, baseando-se nos parâmetros ( $ky$ ) e nas sugestões feitas por Picini (1998). O parâmetro  $Ky_0$  foi ajustado conforme as informações que foram colhidas junto aos produtores rurais. A equação ficou da seguinte forma:

$$Yr_i = \left[ Ym \cdot \left( Ky_0 \cdot \frac{Yaa}{Ym} + Ky \cdot \frac{ER_i}{ETC_i} \right) \right] \cdot Fpa_i \cdot Fev_i \quad (3)$$

sendo

$Yr_i$  o rendimento real obtido no  $i$ -ésimo ano (sc de 60kg beneficiada ha<sup>-1</sup>);  
 $Ym$  rendimento máximo obtido com a utilização da irrigação (sc de 60kg beneficiada ha<sup>-1</sup>)  
 $Ky_0$  o coeficiente de penalização relativo à produtividade do ano anterior (adimensional)  
 $Yaa$  a produtividade do ano anterior (sc 60kg beneficiada ha<sup>-1</sup>)  
 $Ky$  o coeficiente de resposta da cultura ao suprimento de água, para os sucessivos estádios fenológicos da cultura (adimensional)  
 $ER_i$  a evapotranspiração real ocorrida no  $i$ -ésimo ano e que é obtida a partir de cada simulação do balanço hídrico climatológico seqüencial (mm)  
 $ETC_i$  a evapotranspiração da cultura ocorrida no  $i$ -ésimo ano, obtida a partir de cada simulação do balanço hídrico climatológico seqüencial (mm)  
 $Fpa_i$  a fração de redução da produtividade no primeiro ano de produção (adimensional) e  
 $Fev_i$  a fração de redução da produtividade no  $i$ -ésimo ano, devido à ocorrência de eventualidades (adimensional).

As simulações do preço do café em cada  $i$ -ésimo ano foram realizadas assumindo-se que a série histórica de preços repita-se ao longo do tempo, e a expressão utilizada para a realização das estimativas consistiu em:

$$Pcf_i = \sum_{t=1}^4 Fv_t \cdot \{ [(Pb_t)_i - (Pa_t)_i] \cdot r_i + (Pa_t)_i \} \quad (4)$$

em que

$Pcf_i$  é o preço da saca de 60kg de café beneficiado no  $i$ -ésimo ano (dólar.sc<sup>-1</sup>)  
 $Fv_t$  é a fração da produção vendida no trimestre  $t$  (adimensional)  
 $Pb_t$  é o maior preço médio verificado entre os meses do trimestre  $t$  e  $i$ -ésimo ano da série (dólar)  
 $Pa_t$  é o menor preço médio verificado entre os meses do trimestre  $t$  e  $i$ -ésimo ano da série (dólar) e  
 $r_i$  é o número aleatório gerado para uma simulação do preço no trimestre  $t$ .

A implantação de culturas perenes é investimento de longa maturação, cujos retornos ocorrem somente a partir de determinado ponto da vida útil da cultura. Os critérios utilizados no modelo, para realização da avaliação econômica da cafeicultura irrigada, foram o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

Sabe-se que os custos fixos ( $f$ ) e variáveis ( $v$ ) ocorrem ao longo do ano agrícola ( $i$ ) e que, após vários anos, perfazem o ciclo de produção ( $vu$  - vida útil da cultura) da lavoura cafeeira irrigada (Figura 1). Assim, quando se substitui as Equações 1 e 2 dentro do critério de avaliação econômica do valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR), obtêm-se as seguintes expressões:

$$VPL = \sum_{i=0}^{vu} (B_i - CT_i) \cdot (1 + j)^{-i} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{vu} (B_i - CT_i) \cdot (1 + j^*)^{-i} = 0 \quad (6)$$

em que

VPL é o valor presente líquido do projeto (dólar)  
TIR ou  $j^*$  é a taxa de juros que torna nulo o valor presente líquido  
 $B_i$  são as entradas (benefícios) de dinheiro em cada  $i$ -ésimo ano de vida da cultura (dólar)  
 $CT_i$  é o custo total no  $i$ -ésimo ano de vida útil da cultura (dólar)  
 $j$  é a taxa de juros  
 $i$  é o  $i$ -ésimo ano de vida útil da cultura (anos) e  
 $vu$  é a vida útil da cultura (anos).

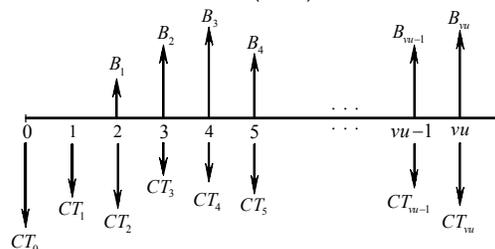


Figura 1. Esquema do fluxo de caixa de um projeto com vida útil  $vu$

As análises de avaliação e de aplicação do modelo foram feitas com os dados levantados em duas propriedades que irrigam o cafeeiro. A propriedade Faria situa-se na cidade de Lavras-MG, região Sul de Minas Gerais, e possui um sistema de irrigação por gotejamento de 13,5ha. A propriedade Macaubas situa-se na cidade de Araguari-MG, região do Triângulo Mineiro, e possui sistema de irrigação do tipo pivô central de 98,4ha.

Os dados meteorológicos representativos da propriedade Faria são provenientes da estação climatológica de Lavras, situada na Universidade Federal de Lavras, à 21°14' de latitude sul, longitude 45°00' W e 915m de altitude; para a propriedade Macaubas os dados são provenientes da estação meteorológica do Parque do Sabiá, situada em Uberlândia, a 18°55' de latitude Sul, 48°17' W e altitude de 872m. A série coletada em Lavras compreende o período de 1983 a 1999, e a série coletada em Uberlândia compreende apenas o período de 1990 a 1996 e 1999.

As análises de simulação no *Moretti*, para avaliar o balanço hídrico climatológico sequencial decendial e quantificar os gastos com energia e água, foram realizadas nos módulos "Balanço Hídrico" e "Fonte de energia". Para a realização do balanço hídrico, os valores de  $ET_0$  foram simulados com as distribuições de probabilidade normal. A entrada dos valores decendiais de  $E_{to}$ , utilizados para a região de Lavras, são de uma série de medidas de um evapotranspirômetro do tipo Thornthwaite-modificado, e os valores da região de Uberlândia foram estimados pelo método de Thornthwaite. Para utilização do método de Thornthwaite seguiu-se as recomendações de Pereira *et al.* (1997). Os valores decendiais de precipitação considerados nas análises são prováveis a 75% de probabilidade e foram estimados baseando-se na função de distribuição de probabilidade gama, conforme as recomendações de Assis *et al.* (1996).

Na determinação da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), os valores decendiais de  $ET_0$  simulados foram multiplicados pelos coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) da fase adulta da cultura. Os valores utilizados foram aqueles estimados por Camargo e Pereira (1990). Os valores de  $K_c$  para os anos de implantação, 1-2 e 2-3 da cultura, foram estimados baseando-se nos valores de  $K_c$  da cultura adulta, seguindo a proporção observada nos dados apresentados por Santinato *et al.* (1996). As proporções adotadas, em relação aos valores da cultura adulta, foram de 65% para o ano de implantação, 80% para o ano 1-2 e 90% para o ano 2-3. Não houve distinção entre os valores de

coeficiente de cultivo utilizados nas análises feitas para as duas regiões.

No cálculo da capacidade de água disponível no solo ( $CAD$ ), as propriedades físico-hídricas utilizadas são de um Latossolo Vermelho-Amarelo, conforme apresentado por Machado (1994). A profundidade efetiva do sistema radicular do cafeeiro foi considerada igual nas duas regiões, sendo 20cm para a cultura no ano de implantação, 30cm no ano 1-2, 40cm no ano 2-3 e 50cm no ano  $X_n$  (cultura adulta, ano 3-4 a  $X_{i-1} - X_i$ ).

A estimativa do armazenamento da água do solo, para auxiliar na realização do balanço hídrico, foi feita com função de Rijtema e Aboukhaled (1975), levando-se em consideração algumas recomendações de Faria e Resende (1997), para os valores da fração  $p$ .

Na Tabela 1, estão apresentados 6 manejos anuais de irrigação que foram considerados nas análises de simulação. Os diferentes manejos foram testados com a finalidade de se estimar a produtividade e a variação na despesa anual com água, com energia e com custo do sistema de irrigação na lavoura cafeeira. As irrigações, nos respectivos manejos, são suplementares e somente realizadas quando o armazenamento, combinado com a fração da capacidade de água disponível no solo, acusar necessidade.

Foram submetidos à simulação a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) e conseqüentemente todo o balanço hídrico e estimativa da produtividade do cafeeiro; os preços alcançados pelo café no mercado e 15 itens dos pacotes tecnológicos para formação e manutenção da lavoura cafeeira, com produtividades para 40, 60 e 80sc ha.

É importante observar que, para se chegar ao resultado de uma análise da cafeicultura irrigada sob condição de risco econômico no *Moretti*, uma série de dados de entrada precisam ser fornecidos, decisões devem ser tomadas e inúmeros passos precisam ser realizados antes de se chegar às análises finais. Os seguintes itens poderão ser encontrados em trabalho de Souza (2001), para se obter maiores detalhes, informações e melhor entendimento: a especificação das duas propriedades analisadas; o sistema de irrigação e fonte de energia utilizada; os dados meteorológicos utilizados; a quantificação dos itens que participam dos custos fixos e variáveis; os pacotes tecnológicos com as especificações e quantificações dos materiais para formação e manutenção da lavoura cafeeira; as séries de valores utilizadas na realização do teste de aderência; o tratamento das séries de valores monetários (valor inicial) dos itens de custo fixo e variável; as

especificações e os valores dos parâmetros para representar os indicadores econômicos da estrutura física existente nas duas propriedades; os parâmetros das distribuições de probabilidade triangular, normal e uniforme, que melhor se ajustaram para simular o valor/unidade dos materiais e serviços e os parâmetros físico-hídricos,  $ET_0$  e precipitação provável para simular o balanço hídrico e custo com energia.

A Figura 2 apresenta um fluxograma simplificado, contendo a estrutura lógica de algumas partes do módulo “Custo de produção com análise de risco” do modelo *Moretti*.

**Tabela 1.** Manejos de irrigação suplementar utilizados nas análises de simulação

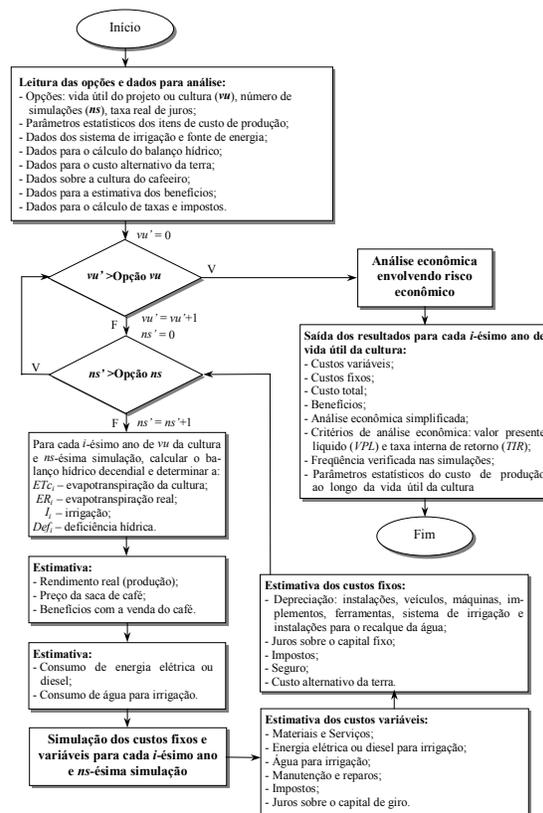
Manejo	Décendios ao longo do ano											
	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18	19-21	22-24	25-27	28-30	31-33	34-37
Manejo 1												
Manejo 2												
Manejo 3												
Manejo 4												
Manejo 5												
Manejo 6												

■ Irriga □ Não irriga

A quantificação dos itens que participam dos custos fixos foi realizada baseando-se nos dados levantados nas propriedades Faria e Macaubas. Na falta de alguma informação, foram utilizados dados fornecidos por pesquisadores, técnicos e/ou, obtidos através da bibliografia consultada. A quantificação dos itens que participam do custo variável (materiais e serviços), para formação e manutenção da lavoura cafeeira, foi estabelecida depois de uma adaptação de 6 “pacotes tecnológicos” adotados para a cafeicultura adensada. Os pacotes tecnológicos para 40, 60 e 80sc ha<sup>-1</sup>, que serviram de base para definição das quantificações, são divulgados pela Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé Ltda. (Cooxupé) e trazem uma média de insumos, de materiais e de serviços para cada produtividade a ser alcançada.

O tratamento das séries de valores monetários (valor inicial) dos itens de custo fixo e variável foi realizado em duas etapas: primeiro os valores foram atualizados baseando-se no Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI) de setembro de 2000 e, em seguida, foram convertidos em valores de dólar comercial médio do mesmo mês. A taxa de câmbio oficial do mês de setembro foi de R\$1,84 para compra de US\$1,00. A série mensal de preço do

café utilizada nas análises foi obtida na Cooperativa Regional dos Cafeicultores de São Sebastião do Paraíso (Cooparaíso). O tratamento do valor monetário da referida série foi igual ao realizado para o “valor inicial” dos itens de custo variável e fixo.



**Figura 2.** Fluxograma simplificado contendo a estrutura lógica de algumas partes do módulo “Custo de produção com análise de risco” do modelo *Moretti*

**Resultados e discussão**

A execução da simulação dos custos de produção das propriedades Macaubas e Faria foi realizada considerando as opções dispostas na Tabela 2. É importante observar que as produtividades máximas esperadas para a cultura do cafeeiro com irrigação foram de 56, 84 e 112sc ha<sup>-1</sup>. Os referidos valores resultaram do produto entre as produtividades de 40, 60 e 80sc ha<sup>-1</sup>, respectivos ao pacote tecnológico utilizado, com o fator médio de incremento de produtividade 1,4 devido à utilização da irrigação suplementar durante todo o ano. O valor do fator de incremento foi baseado nos valores constantes no trabalho de Alves (1999).

As Tabelas 3 e 4 apresentam alguns parâmetros estatísticos que foram obtidos para o *VPL* e *TIR* dos

projetos de irrigação das Fazendas Macaubas e Faria, conforme as opções da Tabela 2. É importante observar que os valores de *VPL* e *TIR*, nas referidas Tabelas, referem-se ao período de 18 anos de vida útil da cultura do cafeeiro (projeto) que foi considerado nas análises:

- Análise do *VPL* e *TIR* obtidos para Fazenda Macaubas: (a) Os valores de *VPL* encontrados, para os manejos 1 e 2 de irrigação, no pacote tecnológico para 40sc ha<sup>-1</sup>, mostraram-se viáveis economicamente. No entanto, o risco de conduzir o projeto no manejo 2 de irrigação seria elevado, pois o *VPL* médio encontrado nas simulações foi de apenas 163,30 dólares ha<sup>-1</sup>, e o desvio padrão das médias foi de 432,40 dólares ha<sup>-1</sup>. Os manejos de irrigação 3, 4 e 5, somente seriam viáveis economicamente sob taxas anuais de juros reais de 5,8%, 5,7% e 3,4%, respectivamente. O manejo que desconsidera o uso da irrigação (manejo 6) não seria viável à taxa anual de juros reais igual a zero. Baseando-se nas análises de *VPL* com os maiores valores de custo (menor valor *VPL*), os manejos de irrigação 1 a 6 utilizados na condução da lavoura seriam inviáveis. (b) No pacote tecnológico para 60sc ha<sup>-1</sup>, os valores de *VPL* obtidos nas simulações indicam que os manejos de irrigação 1 a 6 são viáveis economicamente. No entanto, o manejo que desconsidera a utilização das irrigações (manejo 6), ainda, apresenta risco de prejuízo de até 715,50 dólares ha<sup>-1</sup>, de acordo com a análise dos menores valores de *VPL* (maiores valores de custo). (c) Os valores de *VPL* encontrados nas simulações do pacote tecnológico para 80sc ha<sup>-1</sup> mostraram-se viáveis em todos os parâmetros estatísticos determinados pelas análises de custo de produção simuladas. Logo, mediante as opções que foram feitas para realização das análises (Tabela 2), o agricultor não corre nenhum risco econômico, apenas estando sujeito a obter menor lucratividade se escolheu manejo de irrigação menos adequado, ou de não estar utilizando a irrigação.
- Análise do *VPL* e *TIR* obtidos para a Fazenda Faria: (a) Os valores de *VPL* encontrados para os manejos de irrigação 1 a 6 e pacote tecnológico para 40sc ha<sup>-1</sup> mostraram que o projeto de irrigação do cafeeiro na propriedade Faria não é viável considerando-se o nível de utilização de materiais e serviços recomendados. Aplicar o dinheiro no mercado financeiro ou em outra atividade mais rentável seria mais viável, a menos que a taxa real de

juros, que foi considerada 6% ao ano, fosse inferior a 3,9% para o manejo 1 de irrigação, 2,7% para o manejo 2, 3,0% para o manejo 3 e 1,1% para o manejo 4. Os manejos 5 e 6 não seriam viáveis à taxa anual de juros reais igual a zero. (b) Com exceção do manejo 6 de irrigação, o valores de *VPL* a partir do pacote tecnológico para 60sc ha<sup>-1</sup> mostraram-se viáveis para todos os demais manejos de irrigação. A desconsideração da utilização da irrigação (manejo 6) somente seria interessante se a taxa anual de juros reais fosse de 2,9%. É importante observar que essa análise foi feita para uma área de 13,5ha, que equivale à área do projeto de irrigação na Fazenda Faria. Para áreas maiores, a situação que desconsidera a utilização da irrigação (manejo 6) pode ser mais atrativa economicamente. (c) Os valores de *VPL*, obtidos a partir do pacote tecnológico para 80sc ha<sup>-1</sup>, mostraram-se viáveis em todos os parâmetros estatísticos determinados nas análises de custo de produção simuladas. O valor presente líquido médio que se mostrou mais promissor foi de 21.627,20 dólares ha<sup>-1</sup>, para o manejo de irrigação suplementar durante todo o ano (manejo 1). O *VPL* menos promissor foi de 3.468,60 dólares ha, encontrado para o manejo que desconsidera a utilização da irrigação (manejo 6).

Os critérios de análise econômica apresentados nas Tabelas 3 e 4, para a Fazenda Macaubas, quando contrastados com valores de *VPL* e *TIR* encontrados da Fazenda Faria, evidenciam que o aumento de área do projeto de irrigação contribuiu para o aumento dos benefícios. As duas propriedades estão em regiões diferentes e possuem características particulares; no entanto, o grande peso no custo de produção decorre dos custos variáveis, e, nas análises que foram simuladas, os pacotes tecnológicos utilizados nas duas propriedades são iguais. Guardadas as devidas proporções e diferenças, os valores de *TIR* obtidos na área de 98,4ha irrigada com pivô central da Fazenda Macaubas foram maiores 3,7%, 3,9% e 3,8%, que os valores de *TIR* obtidos na área de 13,5ha irrigada com o sistema gotejamento da Fazenda Faria, respectivamente, para os pacotes tecnológicos para 40, 60 e 80sc ha<sup>-1</sup>.

Os resultados econômicos encontrados para a cafeicultura irrigada nas propriedades Macaubas e Faria, considerando-se os pacotes tecnológicos para 40, 60 e 80sc ha<sup>-1</sup>, e os manejos de irrigação 1 a 5, foram na maioria das vezes promissores. Entretanto, é importante enfatizar que os resultados obtidos partiram de uma função de produção do cafeeiro

possuindo uma série de limitações. A função utilizada foi adaptada para a cafeicultura irrigada, e o ajuste da mesma foi realizado a partir de um pequeno número de informações publicadas sobre o assunto. O ideal, se houvessem essas informações, seria uma função desenvolvida baseando-se nos dados climáticos e nas produtividades observadas nas duas propriedades. O item em questão talvez seja o ponto mais vulnerável do modelo desenvolvido e, com certeza, um dos maiores problemas que os pesquisadores que trabalham com a cafeicultura irrigada enfrentam em seus trabalhos. O cafeeiro é cultivado sob condições que diferem bastante entre propriedades e regiões, o que dificulta o equacionamento matemático e a generalização dos resultados obtidos nos experimentos.

A Tabela 5 apresenta, para as propriedades Macaúbas e Faria, custos médios com sistema de irrigação, quando foram adotados os manejos de irrigação 1 a 5 e os pacotes tecnológicos para 40, 60 e 80sc ha<sup>-1</sup>. Os seguintes itens foram considerados na

composição dos custos com o referido sistema: depreciação, juros reais, operação, manutenção, gastos com energia elétrica e água. A variação dos custos com a irrigação, apresentada na Tabela 5, é muito pequena entre os pacotes tecnológicos. O processo aleatório das simulações não permite nem calcular essa diferença. A variação dos custos é maior entre as formas de manejo de irrigação e os anos de desenvolvimento da cultura do cafeeiro. Em relação ao custo total de produção, respectivo a cada manejo de irrigação, verificou-se para a Fazenda Macaúbas que: (a) o custo médio com o sistema de irrigação ficou entre 7,1% e 9,0% no ano de implantação; 16,3% e 19,9% no ano 1-2; 12,0% e 15,4% no ano 2-3 e 9,6% e 17,4% nos anos 3-4 e 17-18; (b) a diferença entre o menor e o maior valor dos custos do sistema de irrigação, com os manejos 1 a 5, em média, ficaram em 73,54 dólares ha na implantação, 89,95 dólares ha no ano 1-2, 110,35 dólares ha no ano 2-3 e 113,40 dólares ha<sup>-1</sup> para a cultura adulta (ano  $X_n$ ).

**Tabela 2.** Opções utilizadas no módulo “Custo de produção com análise de risco”, para realizar as análises de custo da cafeicultura irrigada nas Fazendas Faria e Macaúbas, situadas em Lavras e Araguari, MG, respectivamente

Opções do módulo custo de produção	Fazenda Faria	Fazenda Macaúbas
Número de simulações nas análises	1.500	1.500
Probabilidade de ocorrência da análise	80%	80%
Taxa de juros no cálculo do valor presente líquido	6%	6%
Região/local da análise	Lavras	Araguari
Quantificação dos itens de custo de produção	Quant. 40, 60 e 80	Quant. 40, 60 e 80
Materiais e serviços no ano com eventualidade A	Não-considerado	Não-considerado
Materiais e serviços no ano com eventualidade B	Não-considerado	Não-considerado
Cenário fonte de energia da propriedade	F. Energ. Faria	F. Energ. Macaúbas
Opção da energia no custo de produção	Energia elétrica	Energia elétrica
Precipitação	Prec. Lavras	Prec. Araguari
Manejos da irrigação	Manejos 1 a 6	Manejos 1 a 6
Evapotranspiração (ET <sub>0</sub> )	ET <sub>0</sub> Lavras	ET <sub>0</sub> Araguari
Distribuição de probabilidade da evapotranspiração	Distribuição normal	Distribuição normal
Coefficiente de cultivo	K <sub>c</sub> café	K <sub>c</sub> café
Opção do coeficiente de cultivo	Medido	Medido
Parâmetros para o cálculo do armazenamento	Arm. Faz. Faria	Arm. Faz. Macaúbas
Função que estima o armazenamento de água no solo	Linear-exponencial	Linear-exponencial
Valor do hectare de terra	Não-considerado	Não-considerado
Taxa correspondente ao aluguel da terra	Não-considerado	Não-considerado
Cultura a ser avaliada	Cafeeiro	Cafeeiro
Vida útil da cultura	18 anos	18 anos
Ano da primeira produção	Ano 2-3	Ano 2-3
Produtividade máxima da cultura com irrigação	56, 84 e 112sc ha	56, 84 e 112sc ha
Coefficiente de resposta da cultura K <sub>y</sub>	1,27	1,27
Penalização da produtividade do ano anterior K <sub>y0</sub>	-0,95	-0,95
Porcentagem de prod. da cultura em relação à máxima		
- no primeiro ano de produção	25%	25%
- no ano com eventualidade A	Não-considerado	Não-considerado
- no ano com eventualidade B	Não-considerado	Não-considerado
Série de preços	Cooperação	Cooperação
Preço do produto no mercado (iniciante ou semente)	90 dólares	90 dólares
Mês de ocorrência do preço (iniciante ou semente)	Outubro	Outubro
Porcentagem de venda do produto nos trimestres	25, 0, 50, 25	25, 0, 50, 25
Impostos sobre os custos variáveis	Não-considerado	Não-considerado
Taxa real de juros aplicada sobre capital de giro	6%	6%
Impostos sobre custos fixos	Não-considerado	Não-considerado
Taxa real de juros aplicada sobre o capital fixo	6%	6%
Taxa cobrada para realização do seguro	Não-considerado	Não-considerado

Da mesma forma que ocorreu para a propriedade Macaúbas, a variação dos custos com irrigação para a propriedade Faria, entre os pacotes tecnológicos, foi pequena. Em relação ao custo total de produção, respectivo a cada manejo de irrigação, verificou-se que: (a) os custos médios com o sistema de irrigação ficaram entre 10,3% e 13,0% no ano de implantação; 23,3% e 29,7% no ano 1-2; 17,4% e 23,6% no ano 2-3 e 13,7% e 27,3% nos anos 3-4 e 17-18; (b) as diferenças entre os menores e os maiores valores de custo do sistema de irrigação com os manejos 1 a 5, em média, ficaram em 123,51 dólares ha na implantação, 187,40 dólares ha<sup>-1</sup> no ano 1-2, 233,83 dólares ha no ano 2-3 e 285,55 dólares ha<sup>-1</sup> para a cultura adulta (ano  $Xn$ ).

Em relação ao custo total de produção da cafeicultura irrigada, verificou-se que os serviços e os materiais são os itens mais significativos no custo total, ficando entre 40,7% e 60,4% para os serviços e entre 15,3% e 34,3% para os materiais. As despesas com energia elétrica e com água são pequenas. Considerando-se a irrigação suplementar durante todo o ano, as despesas nunca são maiores que 3,8% para a propriedade Faria e 5,0% para as propriedades Macaúbas. Os custos médios com o sistema de irrigação ficam entre 10,3% e 29,7% para a propriedade Faria e entre 7,0% e 19,4% para a propriedade Macaúbas.

**Tabela 3.** Parâmetros estatísticos dos valores presentes líquidos (VPL), obtidos para o projeto de irrigação do caféiro nas Fazendas Macaúbas (Araguari, MG) e Faria (Lavras, MG), considerando os pacotes tecnológicos para produzir 40, 60 e 80sc ha<sup>-1</sup> e os manejos de irrigação 1 a 6

Critério de avaliação econômica	Menor valor (dólar.ha <sup>-1</sup> )	Maior valor (dólar.ha <sup>-1</sup> )	Valor modal (dólar.ha <sup>-1</sup> )	Média (dólar.ha <sup>-1</sup> )	Desvio padrão (dólar.ha <sup>-1</sup> )	Valor 80% probabilidade (dólar.ha <sup>-1</sup> )
Fazenda Macaúbas: pacote tecnológico para 40sc ha <sup>-1</sup>						
VPL Manejo 1	- 283,8	2.441,4	1.150,5	1.131,9	429,0	1.493,0
VPL Manejo 2	- 1.489,1	1.421,8	42,9	163,3	432,4	527,2
VPL Manejo 3	- 1.431,3	1.143,2	- 76,3	- 139,8	428,8	221,2
VPL Manejo 4	- 1.465,0	1.416,5	- 100,1	- 159,1	436,8	208,6
VPL Manejo 5	- 2.673,7	220,2	- 1.302,9	- 1.376,4	425,2	- 1.018,5
VPL Manejo 6	- 6.205,6	- 3.607,6	- 4.975,0	- 4.948,4	386,4	- 4.623,0
Fazenda Macaúbas: pacote tecnológico para 60sc ha <sup>-1</sup>						
VPL Manejo 1	10.883,0	14.659,8	12.870,8	12.745,5	580,1	13.233,8
VPL Manejo 2	9.325,2	12.720,3	11.112,1	10.984,0	558,2	11.454,0
VPL Manejo 3	8.131,2	12.337,5	10.345,0	10.452,6	588,9	10.948,3
VPL Manejo 4	8.489,7	12.608,5	10.440,7	10.465,4	644,3	11.007,8
VPL Manejo 5	6.624,6	9.834,3	7.976,1	8.306,4	555,5	8.774,1
VPL Manejo 6	- 715,5	2.682,8	894,2	816,7	505,4	1.242,2
Fazenda Macaúbas: pacote tecnológico para 80sc ha <sup>-1</sup>						
VPL Manejo 1	21.830,7	26.739,4	24.672,6	24.216,7	815,3	24.903,0
VPL Manejo 2	19.520,3	23.976,4	21.865,6	21.889,5	658,8	22.444,1
VPL Manejo 3	17.966,8	23.360,6	21.089,5	20.978,4	762,1	21.620,0
VPL Manejo 4	18.453,1	23.555,4	20.870,0	20.963,5	834,8	21.666,1
VPL Manejo 5	15.318,7	20.302,8	17.941,9	17.966,1	733,5	18.583,6
VPL Manejo 6	4.657,5	8.585,8	6.931,8	6.711,1	626,0	7.238,1
Fazenda Faria: pacote tecnológico para 40sc ha <sup>-1</sup>						
VPL Manejo 1	- 2.771,0	250,0	- 1.340,0	- 1.208,3	481,4	- 803,0
VPL Manejo 2	- 3.554,6	53,4	- 1.655,6	- 1.837,3	568,4	- 1.358,8
VPL Manejo 3	- 3.165,9	171,1	- 1.760,9	- 1.636,2	497,0	- 1.217,8
VPL Manejo 4	- 4.103,1	- 766,5	- 2.522,6	- 2.563,8	494,6	- 2.147,5
VPL Manejo 5	- 5.741,8	- 2.628,2	- 4.266,9	- 4.300,9	476,7	- 3.899,7
VPL Manejo 6	- 7.279,2	- 4.434,4	- 5.781,9	- 5.821,2	453,0	- 5.439,8
Fazenda Faria: pacote tecnológico para 60sc ha <sup>-1</sup>						
VPL Manejo 1	8.082,9	12.008,8	9.942,5	10.115,8	608,7	10.628,2
VPL Manejo 2	6.851,3	11.476,6	9.042,2	8.987,7	675,0	9.555,8
VPL Manejo 3	6.766,9	11.505,5	9.260,9	9.179,4	647,6	9.724,5
VPL Manejo 4	5.013,7	10.332,9	7.253,4	7.437,8	703,7	8.030,1
VPL Manejo 5	1.800,8	6.394,2	4.218,4	4.103,4	678,5	4.674,6
VPL Manejo 6	- 3.406,7	918,3	- 1.358,0	- 1.261,6	635,7	- 726,4
Fazenda Faria: pacote tecnológico para 80sc ha <sup>-1</sup>						
VPL Manejo 1	19.295,4	24.010,2	21.776,9	21.627,2	758,7	22.265,9
VPL Manejo 2	17.170,6	22.439,1	19.943,5	19.927,5	821,7	20.619,3
VPL Manejo 3	17.533,7	22.964,5	20.392,0	20.116,1	862,6	20.842,3
VPL Manejo 4	15.002,7	20.502,9	17.608,0	17.547,7	841,6	18.256,2
VPL Manejo 5	9.749,0	15.225,6	12.631,4	12.664,8	827,4	13.361,3
VPL Manejo 6	1.158,8	6.075,6	3.229,1	3.468,6	778,3	4.123,8

**Tabela 4.** Valor médio da taxa interna de retorno (TIR), obtida para o projeto de irrigação do cafeeiro nas Fazendas Macaúbas (Araguari, MG) e Faria (Lavras, MG), considerando os pacotes tecnológicos para produzir 40, 60 e 80sc ha<sup>-1</sup> e os manejos de irrigação 1 a 6

Pacote tecnológico	Valor médio da taxa interna de retorno (%)											
	Manejo 1	$\sigma^*$	Manejo 2	$\sigma^*$	Manejo 3	$\sigma^*$	Manejo 4	$\sigma^*$	Manejo 5	$\sigma^*$	Manejo 6	$\sigma^*$
Fazenda Macaúbas												
40sc ha <sup>-1</sup>	7,9	0,7	6,3	0,8	5,8	0,8	5,7	0,8	3,4	0,8	—	—
60sc ha <sup>-1</sup>	23,1	1,1	21,3	1,0	20,8	1,0	20,8	1,1	18,4	1,0	7,7	1,0
80sc ha <sup>-1</sup>	34,9	1,4	33,1	1,3	32,3	1,4	32,2	1,4	29,6	1,3	18,0	1,3
Fazenda Faria												
40sc ha <sup>-1</sup>	3,9	0,8	2,7	1,1	3,0	0,9	1,1	1,0	—	—	—	—
60sc ha <sup>-1</sup>	19,7	1,0	18,5	1,1	18,8	1,0	16,8	1,1	12,6	1,1	2,9	1,1
80sc ha <sup>-1</sup>	31,7	1,4	30,4	1,4	30,6	1,4	28,3	1,4	23,8	1,3	13,1	1,5

\* Desvio padrão da TIR da média obtida nas 1.500 simulações e 18 anos de vida do projeto.

**Tabela 5.** Custo médio com o sistema de irrigação nas propriedades Macaúbas (Araguari, MG) e Faria (Lavras, MG), adotando-se os manejos de irrigação 1 a 5 e pacotes tecnológicos para 40, 60 e 80sc ha

Vida útil da cultura do cafeeiro	Manejo 1 (dólar/ha)	Manejo 2 (dólar/ha)	Manejo 3 (dólar/ha)	Manejo 4 (dólar/ha)	Manejo 5 (dólar/ha)	Participação no custo total (%)
Fazenda Macaúbas: pacote tecnológico para 40sc ha						
Ano Implantação	370,76	323,76	311,16	327,56	296,79	7,3 a 9,0
Ano 1-2	424,95	395,04	374,46	375,27	335,84	16,4 a 19,9
Ano 2-3	481,37	438,41	419,53	420,44	373,37	12,4 a 15,4
Anos 3-4 ... 17-18	516,92	495,81	460,29	464,33	402,15	14,1 a 17,4
Fazenda Macaúbas: pacote tecnológico para 60sc ha						
Ano Implantação	358,18	327,17	310,94	320,37	289,10	7,1 a 8,7
Ano 1-2	424,79	392,14	374,01	371,38	333,30	16,3 a 19,9
Ano 2-3	476,13	438,00	416,38	415,06	364,93	12,1 a 15,2
Anos 3-4 ... 17-18	504,70	491,95	462,94	459,18	401,18	11,4 a 13,9
Fazenda Macaúbas: pacote tecnológico para 80sc ha						
Ano Implantação	371,13	315,52	323,77	328,51	293,57	7,2 a 9,0
Ano 1-2	424,69	395,39	377,17	375,49	335,44	16,4 a 19,9
Ano 2-3	472,61	432,99	412,06	408,49	360,75	12,0 a 15,1
Anos 3-4 ... 17-18	523,26	489,56	463,30	471,98	401,34	9,6 a 12,2
Fazenda Faria: pacote tecnológico para 40sc ha						
Ano Implantação	549,15	509,55	505,89	498,39	423,64	10,3 a 13,0
Ano 1-2	680,57	632,55	616,47	582,67	490,51	23,3 a 29,6
Ano 2-3	776,70	724,92	712,52	653,37	537,62	17,4 a 23,4
Anos 3-4 ... 17-18	873,65	842,23	806,76	733,63	598,80	20,4 a 27,3
Fazenda Faria: pacote tecnológico para 60sc ha						
Ano Implantação	543,20	516,36	505,31	499,07	420,28	10,3 a 12,9
Ano 1-2	681,50	632,80	618,95	589,33	495,29	23,5 a 29,7
Ano 2-3	786,73	738,31	714,30	653,53	552,03	17,8 a 23,6
Anos 3-4 ... 17-18	872,91	837,96	802,02	729,65	583,11	16,2 a 22,4
Fazenda Faria: pacote tecnológico para 80sc ha						
Ano Implantação	546,79	507,19	506,11	505,85	424,70	10,3 a 12,9
Ano 1-2	679,01	633,67	620,22	588,63	493,09	23,4 a 29,6
Ano 2-3	765,04	736,37	706,48	653,01	537,33	17,4 a 23,1
Anos 3-4 ... 17-18	868,17	837,55	807,17	722,57	585,16	13,7 a 19,1

## Conclusão

Não é viável economicamente produzir café no pacote tecnológico para produzir 40sc ha<sup>-1</sup> na propriedade Faria. Na propriedade Macaúbas, o pacote tecnológico para produzir 40sc ha mostrou-se viável economicamente somente para o manejo de irrigação suplementar durante todo o ano. Os demais manejos analisados apresentam risco de um valor presente líquido negativo. Os pacotes tecnológicos para produzir 60sc ha<sup>-1</sup> e 80sc ha<sup>-1</sup> são economicamente viáveis para as duas propriedades, adotando-se ou não a irrigação. O manejo de irrigação, que considera a realização de irrigações suplementares durante todo ano, sempre se mostrou a alternativa mais viável economicamente para

realização da irrigação do cafeeiro nas duas propriedades.

## Referências

- ALVES, M.E.B. *Resposta do cafeeiro (Coffea arabica L.) a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação*. 1999. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- ASSIS, F.N. *et al. Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática*. Pelotas: Universitária/Universidade Federal de Pelotas, 1996.
- BARTH, F.T. *et al. Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987.
- CAMARGO, A.P. de. Balanço hídrico, florescimento e necessidade de água para o cafeeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA,

- 1., Campinas, 1987. *Homenagem aos 100 anos do Instituto Agrônômico*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.53-90
- CAMARGO, A.P. de.; PEREIRA, A.R. *Prescrição de rega por modelo climatológico*. Campinas: Função Cargil, 1990.
- CARDOSO, A.P.S. *Café: cultura e tecnologia primária*. Lisboa: Silvas, 1994.
- FARIA, M.A.; REZENDE, F.C. *Cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade - irrigação na cafeicultura*. 1997. Monografia (Curso de Especialização "Lato Sensu" por Tutoria à Distância) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.
- FILHO, J.P.; GONZAGA, M.L. Análise de custos de lavouras irrigadas. In: *CURSO DE AGRICULTURA IRRIGADA*. Piracicaba: Esalq/Depto. de Agricultura, 1991. p.27-57.
- MACHADO, R.V. *Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma hidrosequência de solos bem a muito mal drenados*. 1994. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1994.
- MELO, J.F. *Custos da irrigação por aspersão em Minas Gerais*. 1993. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.
- PEREIRA, A.R. *et al. Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: Fealq, 1997.
- PICINI, A.G. *Desenvolvimento e testes de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro (Coffea arabica L.) a partir do monitoramento da disponibilidade hídrica do solo*. 1998. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- RIJTEMA, P.E.; ABOUKHAKED, A. Crop water use. In: ABOUKHALED, A. *et al. Research on crop water use, salt affected soils and drainage in the Arab Republic of Egypt*. FAO Regional Office for the Near East, 1975. p.5-61.
- SANTINATO, R. *et al. Irrigação na cultura do café*. Campinas: Arbore, 1996.
- SANTOS, C.M. dos. *et al. Diagnóstico da cafeicultura irrigada no cerrado*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 1., Araguari, 1998. *Anais*. Uberlândia: UFU/ Deago, 1998. p.120-144.
- SOUZA, J. L. M. de *Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro*. Piracicaba, 2001. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2001. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-11102001-180056/>>. Acesso em: 17 abr. 2003.
- STEWART, J.I. *et al. Production functions and predicted irrigation programmes for principal crops as required for water resources planning and increased water use efficiency: final report*. Washington, DC, Department of Interior, 1976.

Received on November 11, 2002.

Accepted on April 23, 2003.