

Modelo aplicado ao planejamento da cafeicultura irrigada. I. Simulação do balanço hídrico e do custo com água

Jorge Luiz Moretti de Souza^{1*} e José Antônio Frizzone²

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

RESUMO. Após uma análise preliminar de simulação do balanço hídrico climatológico para cultura do cafeeiro, irrigada sob diferentes condições de manejo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os gastos e custos com energia e com água para proceder às irrigações da cultura do cafeeiro, em duas propriedades situadas no cerrado de Minas Gerais. Todas as análises foram realizadas com um modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro. O modelo possibilitou simular e escolher adequadamente a melhor alternativa de energia a ser utilizada nas propriedades. As análises mostraram que a utilização da tarifa convencional, o sistema diesel, o baixo fator de potência ($\cos \phi = 0,7$) e a ausência de irrigações noturnas são onerosos e desfavoráveis. As despesas com a água para irrigação mostram-se, em algumas situações, equivalentes às despesas atuais com energia elétrica para proceder as irrigações.

Palavras-chave: modelo, simulação, custo, energia, café irrigado.

ABSTRACT. Model for the planning of irrigated coffee production. I. simulation of water budget and of the cost with water in irrigation. After a preliminary analysis of the climatological water budget simulation for coffee plantation which is irrigated under different handling conditions, the present work has evaluated the production costs with energy and water to proceed irrigations of coffee plantation in two farms which are located in "Cerrado", in *Minas Gerais* State. All the analyses were accomplished with an economic risk analysis model applied to the planning of irrigation projects for coffee plantation. The model simulated and chose appropriately the best alternative of energy to be used in the farms. The analyses showed that the use of conventional tariff, diesel system, low potency factor ($\cos \phi = 0,7$) and the absence of night irrigation were onerous and unfavorable. Expenses with water for irrigation are shown, in certain situations, equivalent to the current expenses with electric energy to proceed irrigation.

Key words: model, simulation, cost, energy, irrigated coffee.

Introdução

A irrigação é uma técnica antiga e que há muito tempo vem sendo útil para aumentar a produtividade das culturas em geral. 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. O desenvolvimento tecnológico da agricultura, nos últimos tempos, tem feito com que o risco econômico da atividade agrícola possa ser decomposto em dois componentes: variabilidade de produção e variabilidade de preços (Filho e Gonzaga, 1991).

A irrigação pode ajudar muito os agricultores, porém os riscos da adoção de uma agricultura

irrigada devem ser criteriosamente estudados e analisados, objetivando, sempre, que os rendimentos sejam maiores que os custos. Assim, estudos que auxiliem técnicos e agricultores nas tomadas de decisões quanto à cafeicultura irrigada, tornam-se a cada dia mais necessários (Souza, 2001).

Dessa forma, destaca-se a importância e a aplicabilidade dos modelos de simulação voltados às decisões no planejamento e no gerenciamento dos projetos de irrigação. A utilização da técnica permite representar alternativas propostas para solucionar um dado problema e/ou simular condições reais, com a vantagem de apresentar, ainda, baixo custo, rapidez na obtenção dos resultados e necessitar de uma série menor 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 quanto ao planejamento e ao gerenciamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro e foi desenvolvido na linguagem de programação *Visual Basic* aplicada ao *Excel* (linguagem de *Macro*). A estrutura proposta é modular e possibilita a realização de toda uma análise de risco econômico para a cafeicultura irrigada (análise completa), ou apenas uma parte dela, para possibilitar o cálculo de alguns problemas freqüentes na agricultura irrigada (Souza, 2001). O Fluxograma geral do modelo *Moretti* pode ser visualizado na Figura 1.

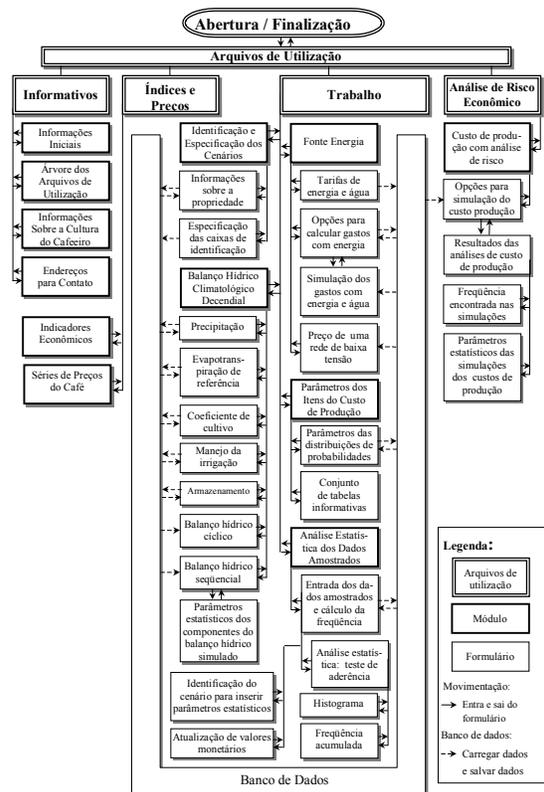


Figura 1. Fluxograma do “Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro” (*Moretti*)

Os “arquivos de utilização” desenvolvidos no modelo *Moretti* (Figura 1) foram organizados em quatro grupos e denominados Informativos, Índices e preços, Trabalho e Análise de risco econômico. Os arquivos de “trabalho” permitem a entrada dos dados e o cálculo de uma série de informações para a agricultura irrigada e são compostos pelos módulos:

identificação e especificação dos cenários, balanço hídrico climatológico decendial, fonte de energia, parâmetros dos itens do custo de produção e análise estatística dos dados amostrados. O arquivo “Análise de risco econômico” é constituído pelo módulo “Custo de produção com análise de risco” e, de forma geral, engloba e utiliza as rotinas de cálculo de todos os módulos existentes no modelo (Souza, 2001). Assim, o modelo possibilita simular o balanço hídrico climatológico decendial, as despesas com energia elétrica e água para proceder às irrigações, escolher a melhor série de preços e a opção de venda trimestral do café beneficiado, promover testes de aderência com séries de preços, e fazer uma análise completa de risco econômico para a cafeicultura irrigada.

Estudos envolvendo o balanço hídrico, a irrigação e o custo de produção do cafeeiro são poucos e ainda deixam muito a desejar quanto ao que pode ser feito. A maioria dos poucos trabalhos desenvolvidos até o momento avaliam as necessidades de irrigação do cafeeiro por intermédio do balanço hídrico climatológico para um período mensal, baseando-se na metodologia tradicional desenvolvida por Thorthwaite e Mather (1955). Da mesma forma, estudos envolvendo o consumo e as despesas com energia e água para a irrigação são importantes. O custo com energia, na maioria das vezes, constitui-se no principal item do custo variável (Melo, 1993; Frizzone *et al.*, 1994).

Após uma análise preliminar de simulação do balanço hídrico climatológico para cultura do cafeeiro, irrigado sob diferentes condições de manejo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os gastos e os custos com energia e água para proceder às irrigações da cultura do cafeeiro, em duas propriedades. Todas as análises foram realizadas com o modelo *Moretti*.

Material e métodos

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, região Sul do Estado de Minas Gerais, e possui um sistema de irrigação por gotejamento de 13,5 ha. A propriedade Macaubas situa-se na cidade de Araguari-MG, região do Triângulo Mineiro, e possui um sistema de irrigação pivô central de 98,4 ha.

Os dados meteorológicos necessários para a 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 915 m de altitude média; para a

propriedade Macaubas os dados são provenientes da estação meteorológica do Parque do Sabiá, situada em Uberlândia, à 18° 55' de latitude Sul, 48°17'W e altitude média de 872 m. A série coletada em Lavras compreende os anos de 1983 a 1999, e a série coletada em Uberlândia compreende apenas os anos de 1990 a 1996 e 1999. Por falta de dados climáticos confiáveis, é importante observar que os dados climáticos da estação do Parque do Sabiá foram extrapolados para representar as condições climáticas da região de Araguari, que fica a uma distância aproximada de 40 km do local onde os dados foram coletados.

As análises de simulação no *Moretti*, para avaliar o balanço hídrico climatológico seqüencial decendial e quantificar os gastos com energia e com água, foram realizadas considerando 10.000 simulações. Para a realização do balanço hídrico, o modelo considera que os valores de evapotranspiração de referência (ET_0) podem ser simulados com as distribuições de probabilidade normal e triangular. No trabalho, a entrada dos valores decendiais de ET_0 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 Araguari foram estimados pelo método de Thornthwaite. Para a utilização do método Thornthwaite, seguiu-se as recomendações de Pereira *et al.* (1997). Os valores decendiais de entrada da precipitação, considerados nas análises, são prováveis a 75% de probabilidade e foram estimados, baseando-se na função de distribuição de probabilidade gama. Os valores de precipitação provável para a região de Lavras foram retirados do trabalho de Castro Neto e Silveira (1983). Para a estimativa das precipitações prováveis para a região de Araguari, seguiram-se os procedimentos recomendados por Frizzone *et al.* (1985) e 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 os estimados por Camargo e Pereira (1990), conforme pode ser visto na Tabela 1. 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 utilizado nas análises feitas para as duas regiões.

Tabela 1. Valor mensal do coeficiente de cultivo na fase adulta do cafeeiro

Mês	Valor K_c	Mês	Valor K_c
Janeiro	0,89	Julho	0,73
Fevereiro	0,87	Agosto	0,73
Março	0,91	Setembro	0,74
Abril	0,79	Outubro	0,89
Mai	0,73	Novembro	0,90
Junho	0,73	Dezembro	0,95

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

Tabela 2. Propriedade físico-hídrica do latossolo vermelho-amarelo para as duas propriedades

Propriedade físico-hídricas	Profundidade efetiva do sistema radicular	
	< 25 cm	25cm - 50 cm
Capacidade de campo (%) *	34,76	33,33
Ponto de murcha (%) *	17,86	17,98
Densidade do solo (g/cm ³)	1,18	1,10

*A umidade do solo na capacidade de campo e ponto de murcha são com base em peso

O modelo *Moretti* também possibilita a utilização de duas equações que estimam o armazenamento de água no solo para fazer o balanço hídrico:

- função exponencial de Thornthwaite e Mather (1955):

$$ARM_d = CAD_i \cdot e^{\left(-\frac{L_d}{CAD_i}\right)} \quad (01)$$

- função de Rijtema e Aboukhaled (1975), denominada no trabalho de função linear-exponencial:

Para o valor $L_d > CAD_i \cdot p_d$ ou $ARM_d < CAD_i \cdot (1 - p_d)$, adotam-se as equações:

$$ARM_d = CAD_i \cdot (1 - p_d) \cdot e^{\frac{CAD_i \cdot p_d - L_d}{CAD_i \cdot (1 - p_d)}} \quad (02)$$

Para o valor $L_d \leq CAD_i \cdot p_d$ ou $ARM_d \geq CAD_i \cdot (1 - p_d)$, adotam-se as equações:

$$ARM_d = CAD_i - L_d \quad (03)$$

em que CAD_i é a capacidade de água disponível no i -ésimo ano (mm); ARM_d é o armazenamento de água do solo no d -ésimo decêndio (mm); L_d é o valor do negativo acumulado no d -ésimo decêndio (mm) e p_d é a fração de água disponível no solo para

a cultura no d -ésimo decêndio (adimensional). De acordo com algumas recomendações de Faria e Rezende (1997), a Tabela 3 apresenta os valores da fração p que foram adotados nas análises para determinar a água disponível no solo em cada decêndio.

Tabela 3. Fração da capacidade total de água disponível do solo (p)

Mês	Fração p	Mês	Fração p
Jan.	0,6	Jul.	0,9
Fev.	0,6	Ago.	0,6
Mar.	0,6	Set.	0,4
Abr.	0,6	Out.	0,4
Mai	0,5	Nov.	0,5
Jun.	0,5	Dez.	0,6

Na Tabela 4, estão apresentados 6 manejos anuais de irrigação que foram considerados nas análises de simulação. As irrigações, nos respectivos manejos, são suplementares e somente foram realizadas quando o armazenamento, combinado com a fração p , acusou a necessidade.

Para a definição das condições de aplicação das tarifas de energia elétrica, o modelo *Moretti* considera as regulamentações feitas pelo DNAEE (Brasil, 1997) e os critérios e expressões de cálculo demonstrados no Codi (1994). As expressões de cálculo foram adaptadas ao tipo de tarifa, obtendo-se o faturamento relativo a um ano (Souza, 2001). Dessa forma, em qualquer uma das alternativas de tarifação que se enquadre o usuário (convencional, azul ou verde), o importe (valor) relativo ao faturamento da demanda e do consumo é sempre dado pela expressão:

$$F_i = \sum_{m=1}^{12} (FD_m + FC_m + FP_m) \cdot (1 + ICMS) \quad (04)$$

em que F_i é o importe (valor total) relativo ao faturamento no i -ésimo ano, conforme o tipo de tarifa (dólar); FD_m é o faturamento relativo à

demanda no m -ésimo mês (dólar); FC_m o faturamento relativo ao consumo no m -ésimo mês (dólar); FP_m é o faturamento relativo à demanda/consumo de reativo excedente, no m -ésimo mês (dólar); $ICMS$ é o imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (adimensional) e m os meses do ano (1 a 4 e 12: período úmido; 5 a 11: período seco). Maior detalhamento sobre o equacionamento das tarifas horo-sazonais podem ser vistas em Souza (2001).

Para obter o volume bruto anual de água nas irrigações, de acordo com as condições de funcionamento e de eficiência do sistema de irrigação, o modelo utiliza a equação:

$$VBa_i = \sum_{d=1}^{37} \frac{10 \cdot Libh_d \cdot Ac \cdot kr}{Es} \quad (05)$$

em que VBa_i é o volume bruto de água consumido no i -ésimo ano com as irrigações (m^3); $Libh_d$ é a lâmina de irrigação no d -ésimo decêndio, obtida com o balanço hídrico (mm); Ac a área cultivada e irrigada (ha); kr o coeficiente de redução da evapotranspiração da cultura, corrigindo a lâmina de irrigação aplicada quando se utiliza sistemas de irrigação localizada; Es é a eficiência da aplicação da água de irrigação (adimensional) e d os decêndios.

Para obter o número de horas em que cada conjunto motobomba permanecerá funcionando durante todo o ano para realizar as irrigações, a seguinte equação é utilizada:

$$Tb_i = \frac{VBa_i}{Qp} \quad (06)$$

em que Tb_i é o tempo gasto no i -ésimo ano, para aplicar o volume bruto anual de água nas irrigações (h) e Qp é a vazão do projeto ($m^3 h^{-1}$).

Tabela 4. Manejos de irrigação suplementar utilizados nas análises de simulação.

Manejo	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Manejo 1												
Manejo 2												
Manejo 3												
Manejo 4												
Manejo 5												
Manejo 6												



Irriga



Não irriga

A estimativa do consumo de energia elétrica pelo(s) motor(es) do sistema de irrigação é calculada conforme as equações:

- Sistema gotejamento da Fazenda Faria:

$$C_i = \left(\sum_{m=1}^{mt} \frac{0,736 Pm_m}{\eta_m} \right) \cdot Tb_i \quad (07)$$

- Sistema Pivô Central da Fazenda Macaubas (Souza, 2001):

$$C_i = \left(\sum_{m=1}^{mr} \frac{0,736 Pm_m}{\eta_m} \right) \cdot Tb_i + \left(\sum_{mr=1}^{mrt} \frac{0,736 Pm_{mr}}{\eta_{mr}} \cdot \frac{mr}{mrt} \right) \cdot Tb_i \quad (08)$$

em que C_i é o consumo de energia elétrica pelos motores nas irrigações, no i -ésimo ano (kWh); Pm_m é a potência nominal do m -ésimo motor utilizado no sistema de irrigação (CV); Tb_i é o tempo anual de bombeamento para aplicar o volume bruto anual de água (h); η_m o rendimento apresentado pelo m -ésimo motor de bombeamento (adimensional); mt o número total de motores de bombeamento; Pm_{mr} a potência nominal do mr -ésimo motorreductor utilizado no sistema de irrigação (CV); η_{mr} o rendimento apresentado pelo mr -ésimo motorreductor (adimensional); mr o número do mr -ésimo motorreductor e mrt o número total de motorredutores de movimentação das torres.

O cálculo das despesas com óleo diesel é realizado conforme a equação abaixo:

$$Dd_i = Tb_i \cdot Emd \cdot Pd \quad (09)$$

em que Dd_i é a despesa com óleo diesel no i -ésimo ano (dólar); Tb_i é o tempo no i -ésimo ano para aplicar o volume bruto anual de água de irrigação (h); Emd é o consumo horário do motor diesel do conjunto motobomba ($L h^{-1}$) e Pd o preço do óleo diesel ($dólar L^{-1}$).

A cobrança pelo uso da água no meio rural ainda não se encontra devidamente regulamentada. Para que o custo com o referido recurso pudesse ser considerado, o modelo adota uma tarifação, seguindo o que é feito para a energia elétrica. Assim, o faturamento pela utilização da água é realizado, considerando uma tarifa fiscal mínima (demanda), mais uma tarifa pelo consumo. A tarifa de consumo pode ser diferenciada em período seco (maio a novembro) e úmido (dezembro a abril).

$$Da_i = (VBa_i \cdot Ta_i + Ac \cdot Tf) \cdot (1 + ICMS) \quad (10)$$

em que Da_i é a despesa no i -ésimo ano com água para irrigação (dólar); VBa_i o volume bruto anual de água, gasto no i -ésimo ano com as irrigações (m^3); Ta_i a tarifa cobrada pelo consumo de água para irrigação ($dólar 1000^{-1} m^{-3}$); Ac a área cultivada e irrigada (ha); Tf a tarifa fiscal pela demanda (dólar) e $ICMS$ é o imposto sobre circulação de mercadorias e serviços.

A Tabela 5 apresenta as principais informações que foram levantadas nas duas propriedades, referentes ao sistema de irrigação e à fonte de energia utilizada para o acionamento do(s) motor(es).

Tabela 5. Dados do sistema de irrigação e fonte de energia das duas propriedades analisadas

Especificação das opções	Fazenda Faria	Fazenda Macaubas
Sistema de irrigação	Gotejamento	Pivô central
Área irrigada pelo sistema	13,5 ha	98,4 ha
Coeficiente de redução da ETc (Coef. localização)	72,3%	100%
Eficiência do sistema de irrigação e recalque da água	0,9 (90%)	0,85 (85%)
Vazão de projeto (vazão da bomba)	26 m ³ /h	296 m ³ /h
Potência dos motores para bombeamento	2 x 7½ CV	150 CV
Rendimento elétrico do(s) motore(s)	88%	90%
Eficiência do conjunto motobomba	0,64 (64%)	0,66 (66%)
Potência dos motorredutores	—	0,6 CV
Rendimento elétrico dos motorredutores	—	0,7 (70%)
Número de motorredutores	—	14
Fator de potência da instalação (cos φ)	0,92	0,92
Tensão de fornecimento	Inferior a 69 kV	Inferior a 69 kV
Tarifa horo-sazonal contratada na Cemig	Tarifa convencional	Tarifa verde
Consideração do imposto sobre a tarifa	Com ICMS	Com ICMS
Consideração da possibilidade de irrigação noturna	Sem irrigação	Com irrigação
Desconto na tarifa devido às irrigações noturnas	—	0,8 (80%)
Consideração da cobrança da água para irrigação	Sem cobrança	Sem cobrança

No cálculo do faturamento da energia elétrica, seguiu-se a Resolução nº 87, de 6 de abril de 2000 da Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel (Brasil, 2000), que homologa as tarifas de fornecimento e de suprimento de energia elétrica para a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig). Para o cálculo dos gastos com diesel, também adotou-se o valor praticado no mercado (até o posto da propriedade) no mês de abril/2000. As tarifas de água para irrigação basearam-se nos valores de demanda e de consumo, aplicados às propriedades pertencentes ao projeto de irrigação Senador Nilo Coelho, Petrolina, Estado de Pernambuco, de acordo com Novaes (2000). A taxa de demanda foi estipulada em 10 centavos de dólar por hectare irrigado, e a taxa de consumo ficou em 10 dólares por 1.000 m³ de água utilizadas nas irrigações, tanto no período seco como no período

úmido. Os valores monetários apresentados nas tabelas são em dólar comercial de setembro de 2000 (US\$1,00 = R\$1,84).

Resultados e discussão

A Figura 2 apresenta os valores decendiais médios de ET_0 (mm/decêndio), verificados para região de Lavras e de Araguari. Em média a região de Lavras apresenta uma ET_0 de 1.001,9 mm/ano e a região de Araguari 1.114,8 mm.ano⁻¹. Os valores decendiais de precipitação provável (mm/decêndio) a 75% de probabilidade encontrados para as duas regiões estão apresentados na Figura 3.

As Tabelas 6 e 7 apresentam, respectivamente, os valores de ET_c observados e simulados para a região de Lavras e de Araguari. A ET_c em mm/ano resultou do somatório das simulações da ET_c em mm/decêndio. Os melhores resultados foram para a média da ET_c , na qual a distribuições triangular e normal subestimaram, em média, 0,5% e 1,8%, respectivamente, os valores de ET_c observados em Araguari e 3,3% e 1,7% os valores de ET_c na região de Lavras. Tanto as distribuições de probabilidade triangular como normal podem ser utilizadas nas simulações da ET_0 , no entanto a distribuição normal é mais recomendada, pois estimou melhor os

menores e maiores valores da ET_0 , em relação aos valores observados.

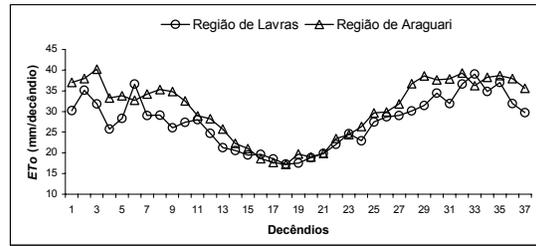


Figura 2. Valores médios de ET_0 (mm/decêndio) na região de Lavras e Araguari, Estado de Minas Gerais

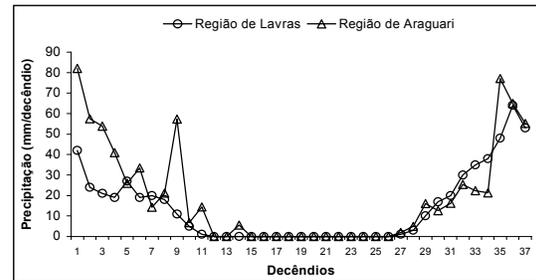


Figura 3. Valores decendiais de precipitação provável a 75% de probabilidade para a região de Lavras e de Araguari, Estado de Minas Gerais

Tabela 6. Parâmetros estatísticos da ET_c (mm/ano) observados, nos anos de desenvolvimento do cafeeiro na região de Lavras e de Araguari, Estado de Minas Gerais

Anos de desenvolvimento	Parâmetros estatísticos da evapotranspiração da cultura (mm/ano)									
	Região de Lavras					Região de Araguari				
	Menor	Maior	Modal	Média	σ^*	Menor	Maior	Modal	Média	σ^*
Implantação	388,7	771,0	592,5	555,6	23,2	523,0	718,6	644,9	620,5	31,1
Ano 1-2	478,3	948,9	729,3	683,8	28,6	643,7	884,4	793,7	763,7	38,2
Ano 2-3	538,1	1067,5	820,4	769,3	32,1	724,2	995,0	892,9	859,2	43,0
Ano Xn	597,9	1186,1	911,6	854,7	35,7	804,7	1.105,5	992,1	954,6	47,8

*Desvio padrão da média da ET_c (mm/ano) observada

Tabela 7. Parâmetros estatísticos da ET_c (mm/ano), simulado a partir da distribuição de probabilidade triangular e normal para a região de Lavras e de Araguari, Estado de Minas Gerais

Anos de desenvolvimento	Parâmetros estatísticos da ET_c (mm/ano)									
	Distribuição de probabilidade triangular					Distribuição de probabilidade normal				
	Menor	Maior	Modal	Média	σ^*	Menor	Maior	Modal	Média	σ^*
Região de Lavras										
Implantação	520,8	627,4	572,5	574,0	15,5	455,6	629,9	559,6	546,0	30,6
Ano 1-2	641,0	771,3	706,1	706,5	19,0	563,2	776,6	689,6	672,0	37,5
Ano 2-3	720,7	867,2	795,9	794,9	21,5	629,6	875,2	775,0	755,9	42,5
Ano Xn	800,6	965,9	883,2	882,9	23,9	701,6	967,9	859,4	839,8	46,4
Região de Araguari										
Implantação	589,7	644,4	618,1	617,6	7,7	560,4	655,6	613,1	609,5	17,2
Ano 1-2	725,7	792,7	759,8	760,1	9,5	689,4	805,7	757,8	750,2	21,4
Ano 2-3	816,0	891,9	855,9	855,2	10,7	774,3	907,2	847,8	844,1	23,5
Ano Xn	907,3	990,4	951,8	950,2	11,9	859,5	1008,0	945,6	937,7	26,2

*Desvio padrão da média da ET_c em 10.000 simulações realizadas

Tabela 8. Valores médios de irrigação, evapotranspiração real e deficiência, nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, simulados no balanço hídrico a partir da função exponencial (exp) e linear-exponencial (lin-exp), para as regiões de Araguari e de Lavras, Estado de Minas Gerais

Manejo da Irrigação	Anos de desenvolvimento da cultura do cafeeiro							
	Implantação		Ano 1-2		Ano 2-3		Ano Xn (cultura adulta)	
	exp	lin-exp	exp.	lin-exp	exp	lin-exp	exp	lin-exp
Região de Araguari								
Valores médios de irrigação (mm/ano) para o cafeeiro								
Manejo 1	134,0	172,8	187,5	258,0	216,1	305,1	246,8	328,0
Manejo 2	118,8	137,1	172,0	218,1	208,5	269,7	245,3	295,2
Manejo 3	117,0	147,0	161,1	201,6	191,5	242,6	221,3	284,6
Manejo 4	117,0	147,3	161,1	201,7	191,6	242,6	221,2	284,7
Manejo 5	101,5	120,5	139,0	166,0	165,6	199,2	190,3	229,8
Manejo 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valores médios de ER e ETc (mm/ano) para o cafeeiro								
Valor ETc*	609,5	609,5	750,2	750,2	844,1	844,1	937,7	937,7
Manejo 1	529,4	585,9	652,1	731,4	731,4	833,5	808,2	930,3
Manejo 2	514,3	550,6	638,2	693,4	725,1	796,6	806,6	893,3
Manejo 3	514,2	551,9	635,0	689,6	718,2	786,6	796,7	877,0
Manejo 4	514,4	552,2	634,8	689,4	718,4	786,4	796,7	877,2
Manejo 5	499,0	525,4	612,9	654,1	692,2	745,0	765,6	826,1
Manejo 6	425,3	427,2	502,0	505,2	555,1	560,6	606,2	611,6
Valores médios de DEF (mm/ano) para o cafeeiro								
Manejo 1	80,3	24,1	97,7	19,0	112,5	11,1	129,6	7,8
Manejo 2	95,2	58,6	112,2	56,8	119,1	47,4	131,3	44,3
Manejo 3	94,9	57,6	115,1	60,7	125,5	57,7	141,2	60,7
Manejo 4	94,8	57,8	115,4	60,7	125,7	57,4	140,9	60,8
Manejo 5	110,8	83,7	137,4	96,3	151,8	99,9	172,3	111,7
Manejo 6	183,9	182,5	247,4	244,5	287,9	284,1	331,6	326,1
Região de Lavras								
Valores médios de irrigação (mm/ano) para o cafeeiro								
Manejo 1	134,4	192,8	185,5	263,5	222,2	321,8	260,1	382,4
Manejo 2	119,1	164,6	170,7	235,0	208,6	297,2	247,7	359,6
Manejo 3	120,9	165,5	172,1	235,0	206,4	288,9	241,7	344,9
Manejo 4	118,4	156,4	165,7	211,4	200,0	256,2	233,2	304,1
Manejo 5	97,1	114,4	132,8	156,7	159,3	188,8	185,1	220,1
Manejo 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Valores médios de ER e ETc (mm/ano) para o cafeeiro								
Valor ETc*	546,0	546,0	672,0	672,0	755,9	755,9	839,8	839,8
Manejo 1	471,6	531,0	578,2	660,2	645,4	745,2	709,4	831,6
Manejo 2	456,6	502,7	563,7	630,6	631,2	719,1	696,9	805,0
Manejo 3	456,4	502,7	563,3	630,7	631,4	719,1	695,5	805,0
Manejo 4	454,1	496,0	557,2	607,7	624,6	686,9	686,9	763,2
Manejo 5	430,7	451,1	524,2	553,6	584,0	621,5	639,0	684,4
Manejo 6	360,6	361,5	426,1	427,2	465,4	467,6	492,3	494,7
Valores médios de DEF (mm/ano) para o cafeeiro								
Manejo 1	74,5	15,0	93,6	12,0	110,7	9,4	130,8	8,2
Manejo 2	89,5	43,3	108,4	41,3	124,5	36,5	143,4	33,4
Manejo 3	89,5	43,3	108,7	41,5	124,9	36,9	144,0	34,8
Manejo 4	91,8	50,1	115,0	64,3	131,4	69,2	152,6	77,1
Manejo 5	115,3	95,0	148,0	118,3	172,1	134,5	202,4	155,1
Manejo 6	185,2	184,7	246,1	244,8	290,6	288,7	347,1	345,2

*Valor da ETc simulado a partir da distribuição normal

A Tabela 8 apresenta os valores médios de irrigação, evapotranspiração real (ER) e deficiência (DEF), nos anos de desenvolvimento do cafeeiro, calculados a partir das funções exponencial e linear-exponencial e manejos de irrigação 1 a 6. As diferenças encontradas nos resultados de irrigação, com as duas funções de armazenamento da água no solo eram esperadas, visto que pela estrutura das equações, a função exponencial considera que a cultura não consegue manter a ETc a partir do momento em que ocorre alguma saída de água do solo, e a função linear-exponencial considera que a cultura consegue manter a ETc até se atingir o valor de água disponível no solo (CAD . p). Assim, baseando-se nas considerações e conceituações feitas

por Doorenbos e Kassam (1979), é possível afirmar que a equação linear-exponencial estima e representa melhor as condições de armazenamento de água no solo que a equação exponencial no modelo Moretti.

São nos dados de deficiência hídrica (Tabela 8) que se constata as diferenças entre utilizar a função linear-exponencial e a função exponencial. Com a utilização da função exponencial, mesmo fazendo irrigações suplementares na cultura durante todo o ano (manejo 1), verifica-se ainda que as deficiências hídricas permanecem altas: 102,4 mm/ano na região de Lavras e 105,0 mm/ano na região de Araguari, em média, nos anos de desenvolvimento da cultura. Se as irrigações suplementares são realizadas

decendialmente nas duas propriedades, as estimativas obtidas a partir da função exponencial não estão condizendo com a realidade, pois o esperado seria baixos valores de déficit hídrico.

O problema verificado para a função exponencial, não é observado quando se utiliza a função linear-exponencial. A aplicação dessa função,

com o manejo de irrigação suplementar durante todo o ano (manejo 1), proporcionou uma deficiência hídrica média nos anos de desenvolvimento da cultura de apenas 11,1 mm/ano para a região de Lavras e 15,5 mm/ano para a região de Araguari, o que é mais consistente.

Tabela 9. Valores anuais médios de lâmina e despesas com energia e água, obtidos nas simulações para as Fazendas Macaúbas e Faria, Estado de Minas Gerais, com os manejos de irrigação 1 a 6

Manejo Irrigação	Anos de desenvolvimento da cultura do cafeeiro							
	Implantação	σ^*	Ano 1-2	σ^*	Ano 2-3	σ^*	Ano Xn	σ^*
Lâmina média de irrigação (mm/ano), para Fazenda Macaúbas								
Manejo 1	202,9	17,7	303,6	16,0	358,6	17,8	386,4	44,4
Manejo 2	161,4	19,0	256,8	13,5	317,4	16,6	347,0	44,5
Manejo 3	172,8	11,6	237,1	11,3	285,6	16,4	334,9	20,3
Manejo 4	173,0	11,8	237,1	11,2	285,2	16,4	335,0	20,4
Manejo 5	141,9	9,0	195,5	10,6	234,4	15,7	270,4	17,9
Manejo 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Despesa média com energia elétrica para realização das irrigações (dólar/ano), para Fazenda Macaúbas								
Manejo 1	4.436,2	348,9	5.236,8	186,3	5.684,5	221,9	5.954,3	562,7
Manejo 2	3.529,3	369,1	4.528,3	144,9	5.162,3	200,2	5.517,1	564,1
Manejo 3	3.367,5	120,0	3.958,6	105,3	4.544,5	154,3	5.244,0	253,9
Manejo 4	3.369,4	121,7	3.957,6	103,2	4.539,4	155,9	5.244,7	256,8
Manejo 5	2.774,8	115,6	3.331,8	103,5	3.880,9	150,1	4.420,4	216,1
Manejo 6	667,3	0,0	667,3	0,0	667,3	0,0	667,3	0,0
Despesas com diesel para realização das irrigações (dólar/ano), para Fazenda Macaúbas								
Manejo 1	7.458,4	650,6	11.161,4	589,9	13.183,1	652,5	14.203,8	1.633,8
Manejo 2	5.933,3	699,2	9.441,0	494,6	11.667,5	609,4	12.755,6	1.637,2
Manejo 3	6.350,7	425,2	8.715,3	415,9	10.498,3	604,4	12.310,4	746,7
Manejo 4	6.359,5	432,1	8.715,8	409,9	10.484,4	601,9	12.313,4	750,6
Manejo 5	5.217,0	330,1	7.185,3	391,2	8.616,0	575,7	9.940,0	657,1
Manejo 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Despesas com água para realização das irrigações (dólar/ano), para Fazenda Macaúbas								
Manejo 1	2.578,9	212,4	3.787,8	192,6	4.447,8	213,0	4.781,0	533,4
Manejo 2	2.081,0	228,3	3.226,1	161,5	3.953,0	198,9	4.308,2	534,5
Manejo 3	2.217,3	138,8	2.989,2	135,8	3.571,3	197,3	4.162,9	243,8
Manejo 4	2.220,1	141,1	2.989,4	133,8	3.566,7	196,5	4.163,9	245,0
Manejo 5	1.847,2	107,8	2.489,7	127,7	2.956,8	187,9	3.389,0	214,5
Manejo 6	144,0	0,0	144,0	0,0	144,0	0,0	144,0	0,0
Lâmina média de irrigação (mm/ano), para a Fazenda Faria								
Manejo 1	99,2	7,2	135,4	11,8	166,1	14,3	196,7	17,9
Manejo 2	84,5	7,3	120,7	11,8	153,1	14,7	185,8	18,4
Manejo 3	85,1	7,2	120,7	10,2	148,4	12,8	177,8	16,2
Manejo 4	80,5	8,6	108,8	7,6	131,8	7,0	156,4	7,7
Manejo 5	58,8	3,8	80,6	4,8	97,1	5,8	113,3	6,3
Manejo 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Despesa média com energia elétrica para realização das irrigações (dólar/ano), para a Fazenda Faria								
Manejo 1	662,3	45,9	898,4	74,9	1.097,3	90,9	1.296,2	114,3
Manejo 2	571,7	46,5	806,4	75,2	1.015,6	93,5	1.227,6	117,3
Manejo 3	576,6	45,8	807,3	65,7	987,0	81,8	1.177,7	103,9
Manejo 4	549,3	55,7	733,1	49,7	882,8	45,4	1.042,9	50,2
Manejo 5	410,9	24,9	552,9	30,9	660,4	37,5	765,4	41,1
Manejo 6	38,3	0,0	38,3	0,0	38,3	0,0	38,3	0,0
Despesa com diesel para realizar as irrigações (dólar/ano), para a Fazenda Faria								
Manejo 1	1.080,1	78,8	1.475,3	128,0	1.809,5	155,6	2.142,9	194,9
Manejo 2	920,8	80,0	1.315,0	128,5	1.667,8	159,9	2.024,0	200,1
Manejo 3	927,5	78,1	1.314,8	111,4	1.616,5	139,1	1.936,6	176,6
Manejo 4	877,2	93,8	1.185,3	83,2	1.436,0	76,0	1.704,1	84,1
Manejo 5	640,2	41,7	878,0	51,8	1.058,1	62,8	1.233,9	68,8
Manejo 6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Despesa com água para realizar as irrigações (dólar/ano), para a Fazenda Faria								
Manejo 1	183,0	11,9	242,7	19,4	293,2	23,5	343,6	29,5
Manejo 2	158,9	12,1	218,5	19,4	271,8	24,2	325,7	30,2
Manejo 3	159,9	11,8	218,5	16,8	264,1	21,0	312,4	26,7
Manejo 4	152,3	14,2	198,9	12,6	236,8	11,5	277,3	12,7
Manejo 5	116,5	6,3	152,5	7,8	179,7	9,5	206,2	10,4
Manejo 6	19,8	0,0	19,8	0,0	19,8	0,0	19,8	0,0

*Desvio padrão encontrado nas 10.000 simulações

Mediante os resultados obtidos nas simulações do balanço hídrico para as regiões de Araguari e de Lavras, as análises para estimar o consumo e as despesas com energia e com água para irrigação nas Fazendas Macaúbas e Faria foram realizadas considerando as simulações da *ET_o* com a distribuição de probabilidade normal e a estimativa do armazenamento da água no solo com a função linear-exponencial. Os manejos de irrigação utilizados são os mesmos apresentados na Tabela 4.

A demanda de carga verificada para o funcionamento do sistema de irrigação pivô central na Fazenda Macaúbas foi de 144,65 kW e para o sistema por gotejamento na Fazenda Faria foi de 13,8 kW.

A Tabela 9 apresenta os valores anuais médios de lâmina e de despesas com energia e com água, obtidos nas simulações para as duas propriedades adotando os manejos de irrigação 1 a 6, ao longo dos anos de desenvolvimento da cultura. A Tabela 10 apresenta para a cultura adulta do cafeeiro (ano *X_n*) como ficariam as despesas médias com energia elétrica, caso a propriedade Macaúbas estivesse enquadrada em outras modalidades tarifárias. O sistema de irrigação da Fazenda Faria, por ser pequeno e estar enquadrado como baixa tensão, não possui outras alternativas de tarifação horo-sazonal e, por esse motivo, a propriedade está enquadrada apenas na tarifa convencional.

Os resultados alcançados na Tabela 10 permitem verificar que a propriedade Macaúbas já se encontra dentro de uma tarifação horo-sazonal que possibilita os menores gastos com energia: tarifa verde com irrigação noturna. A única opção tarifária mais barata que esta,

seria para uma situação em que não houvesse a cobrança do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), o que proporcionaria uma redução de 21,9512% nas despesas. A igualdade verificada entre as despesas com energia elétrica na tarifa horo-sazonal azul e verde deve-se ao equacionamento das tarifas no modelo, que desconsidera a possibilidade de utilização dos sistemas de irrigação no horário de ponta. Logo, a grande desvantagem da tarifa horo-sazonal azul está em utilizá-la no horário de ponta ou apresentar demanda de ultrapassagem. A tarifa convencional, dentro das mesmas condições estabelecidas para as demais modalidades de tarifação, sempre se mostrou como uma opção onerosa e desfavorável ao agricultor. Cuidados com o valor do fator de potência da instalação devem ser tomados. Dentro das mesmas condições de tarifação, a ocorrência de um fator de potência ($\cos \phi$) igual a 0,7 aumenta, em média, 31% as despesas com energia elétrica.

As despesas mínimas com água para irrigação (Tabela 9) ocorreram no manejo que não realiza irrigações suplementares ao longo do ano (manejo 6). Os valores de 19,8 dólares/ano para a Fazenda Faria e 144,0 dólares/ano para a Fazenda Macaúbas devem-se à aplicação exclusiva da tarifa de demanda, já que não houve consumo. As maiores despesas com água ocorreram no manejo que realiza irrigações suplementares durante todo o ano (manejo 1), sendo que para a cultura adulta (ano *X_n*) foi observado um valor de 343,60 dólares/ano para a Fazenda Faria e 4.781,00 dólares/ano para a Fazenda Macaúbas.

Tabela 10. Despesas médias com energia elétrica na Fazenda Macaúbas, Estado de Minas Gerais, para irrigação do cafeeiro a partir de vários enquadramentos de tarifação horo-sazonal

Tarifação horo-sazonal	cosφ *	Despesas com energia elétrica na Fazenda Macaúbas (dólar/ano)					
		Manejo 1	Manejo 2	Manejo 3	Manejo 4	Manejo 5	Manejo 6
Verde com irrigação noturna	≥ 0,92	5.954,3	5.517,1	5.244,0	5.244,7	4.420,4	667,3
Desvio padrão (σ)**		562,7	564,1	253,9	256,8	216,1	0,0
Verde sem irrigação noturna	≥ 0,92	9.276,6	8.204,4	7.768,3	7.772,5	6.280,6	667,3
Desvio padrão (σ)**		927,3	939,2	309,2	310,4	271,8	0,0
Verde com irrigação noturna	0,7	7.732,9	7.155,0	6.855,2	6.857,1	5.774,6	877,1
Desvio padrão (σ)**		742,9	744,2	348,8	348,9	296,7	0,0
Verde sem irrigação noturna	0,7	12.209,4	10.794,3	10.216,3	10.212,6	8.263,3	877,1
Desvio padrão (σ)**		1.222,6	1.237,3	409,7	405,3	357,7	0,0
Azul com irrigação noturna	≥ 0,92	5.952,2	5.520,8	5.243,1	5.243,1	4.420,2	667,3
Desvio padrão (σ)**		560,6	558,2	255,9	255,3	218,8	0,0
Azul sem irrigação noturna	≥ 0,92	9.269,4	8.210,0	7.770,1	7.769,5	6.288,7	667,3
Desvio padrão (σ)**		933,7	938,9	309,4	309,9	272,5	0,0
Azul com irrigação noturna	0,7	7.737,4	7.169,2	6.860,1	6.857,6	5.770,7	877,1
Desvio padrão (σ)**		752,4	742,1	350,1	347,7	295,5	0,0
Azul sem irrigação noturna	0,7	12.219,6	10.769,7	10.209,9	10.209,1	8.259,3	877,1
Desvio padrão (σ)**		1.223,9	1.233,2	403,8	403,5	357,4	0,0
Convencional com irrig. noturna	≥ 0,92	8.376,7	7.927,0	7.606,6	7.598,7	6.460,5	757,0
Desvio padrão (σ)**		839,4	839,0	451,3	452,2	388,9	0,0
Convencional sem irrig. noturna	≥ 0,92	14.323,2	12.728,9	12.088,8	12.092,1	9.782,0	757,0
Desvio padrão (σ)**		1.490,9	1.507,2	553,7	553,6	482,4	0,0
Convencional com irrig. noturna	0,7	10.855,8	10.273,1	9.931,1	9.936,7	8.426,7	995,0
Desvio padrão (σ)**		1.126,5	1.123,0	624,6	616,7	530,4	0,0
Convencional sem irrig. noturna	0,7	18.828,0	16.702,9	15.876,3	15.892,3	12.855,1	995,0
Desvio padrão (σ)**		1.960,5	1.989,8	720,8	724,4	638,2	0,0

* cosφ - fator de potência da instalação. ** Desvio padrão encontrado nas 10.000 simulações

De acordo com as análises de avaliação e de aplicação, o modelo *Moretti* mostrou-se eficiente para realizar os cálculos do balanço hídrico e determinação dos custos com energia e com água para a cafeicultura irrigada. A estrutura modular proposta possibilita a solução de problemas freqüentes na agricultura irrigada e o acompanhamento de grande parte do processo de cálculo das análises de simulação.

As simplificações impostas no cálculo do consumo e da despesa com energia não comprometeram as análises do módulo e possibilitaram simular, comparar e escolher a melhor alternativa de energia a ser utilizada. A propriedade Macaubas encontra-se enquadrada na tarifação horo-sazonal mais barata possível. As análises, considerando a utilização da tarifa convencional, sistema diesel, baixo fator de potência ($\cos \phi = 0,7$) e a ausência de irrigações noturnas, sempre se mostraram onerosas e desfavoráveis. As despesas com a água para irrigação, baseando-se nas tarifas do projeto "Senador Nilo Coelho", mostram que os gastos com o referido recurso podem ser equivalentes às despesas atuais com energia elétrica, para proceder às irrigações na propriedade Macaubas.

Referências

- ASSIS, F.N. *et al. Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática*. Pelotas: Universitária/UFPel, 1996. 161p.
- BARTH, F.T. *et al. Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*. São Paulo: Nobel/ABRH, 1987.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica Resolução no 87, de abril de 2000. *Diário Oficial*, 07 abr. 2000, Seção 1, v.138, n.68 - E, p.34. Tarifas de fornecimento e suprimento de energia elétrica para a Companhia Energética de Minas Gerais - Cemig.
- BRASIL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Portaria no 466 de 12 de novembro de 1997. *Condições gerais de fornecimento de energia elétrica*, s.l.: Cemig, 1997. 40p.
- CAMARGO, A.P. de.; PEREIRA, A.R. *Prescrição de rega por modelo climatológico*. Campinas: Função Cargil, 1990.
- CASTRO NETO, P.; SILVEIRA, F.V. Precipitação provável para Lavras-MG, baseada na função de distribuição de probabilidade gama: período de 10 dias. *Cienc. Prat.*, Lavras, v.7, n.1, p.58-65, jan./jun. 1983.
- COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CODI. *Tarifas horo-sazonais: manual de orientação ao consumidor*. 2.ed. Rio de Janeiro: Codi, 1994. 28p.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. *Yield response to water*. Rome: FAO, 1979. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 33).
- 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.
- FRIZZONE, J.A. *et al.* Análise da distribuição e freqüência das precipitações em períodos de 5 e 10 dias, na região de Pereira Barreto (SP), utilizando a distribuição Gama incompleta. *ITEM: Irrigação & Tecnologia Moderna*, n.22, p.2-4, 1985.
- FRIZZONE, J.A. *et al.* Análise comparativa dos custos de irrigação por pivô-central, em cultura de feijão utilizando energia elétrica e óleo diesel. *Engenharia Rural*, v.5, n.1, p.35-53, 1994.
- MACHADO, R.V. *Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma hidrossequência 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.
- NOVAES, M. Informação pessoal obtida em novembro de 2000, na Universidade do Estado da Bahia - Uneb, Juazeiro-BA.
- PEREIRA, A.R. *et al. Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: Fealq, 1997. 183p.
- RIJTEMA, P.E.; ABOUKHAKED, A. Crop water use. In: ABOUKHAKED, A. *et al. Research on crop water use, salt affected soils and drainage in teh 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.
- SOUZA, J.L.M. de *Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro*. 2001. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-11102001-180056/>>
- THORNTHWAITE, C.W.; MATTER, J.R. *The water balance*. Centerton: The Laboratory of Climatology, 1955. (Publications in Climatology, v.8, n.1).

Received on June 03, 2002.

Accepted on September 18, 2002.