

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Etapas de desenvolvimento do trabalho

O trabalho proposto foi conduzido em três etapas, que consistiram basicamente em:

- a) Desenvolvimento de um modelo modular, enfocando estudos agroclimáticos, econômicos e técnicos voltados ao planejamento e análise de investimento da irrigação, sob condição de risco econômico, para cultura do cafeeiro;
- b) Levantamento de dados técnicos sobre a cultura do cafeeiro irrigado, junto aos agricultores, pesquisadores, técnicos e também através de pesquisa na extensa bibliografia existente (livros, boletins, periódicos, anuários estatísticos, relatórios de atividade, séries de dados climáticos e econômicos, CD-ROM e sites na internet);
- c) Aplicação do modelo idealizado, visando avaliar os procedimentos empregados no desenvolvimento dos seus principais módulos, e analisar a viabilidade da cafeicultura irrigada sob condição de risco econômico em duas propriedades, denominadas Faria e Macaubas. A Fazenda Faria encontra-se situada na cidade de Lavras, MG, região Sul de Minas, e a Fazenda Macaubas encontra-se situada na cidade de Araguari, MG, região do Triângulo Mineiro.

3.2 Modelo proposto

O modelo foi desenvolvido na linguagem de programação *Visual Basic (Macros)* aplicada à Planilha Eletrônica *Excel 97 (Microsoft)*. A utilização de *Macros* justifica-se pela sua simplicidade e, principalmente, facilidade na incorporação de novos módulos ao modelo, e por possibilitar a atualização das rotinas de programação às novas versões do *Visual Basic* e *Excel* que possam surgir posteriormente. É importante ressaltar o grande número de programas e modelos desenvolvidos há poucos anos atrás, e que já se encontram quase inutilizados devido à incompatibilidade de suas configurações com as novas versões utilizadas atualmente.

No desenvolvimento do modelo, procurou-se realizar uma estrutura que não servisse apenas à finalidade de analisar economicamente a cafeicultura irrigada. A intenção foi aproveitar, ao máximo, as rotinas desenvolvidas para serem utilizadas na solução de outros problemas freqüentes na agricultura irrigada. Assim, a estrutura modular proposta possibilita a realização de toda uma análise de risco econômico da cafeicultura irrigada (análise completa), ou apenas uma parte dela.

3.2.1 Simulação do balanço hídrico decendial

No presente trabalho, o cálculo do balanço hídrico é importante. A sua realização, aliada à técnica da simulação, permite uma estimativa mais provável das necessidades de irrigação ao longo do ciclo produtivo da cultura. Os valores mensais e anuais de irrigação, analisados com base no sistema de irrigação a ser utilizado, possibilitam a estimativa do consumo e despesas com água e energia (elétrica e diesel) para a realização das irrigações da cultura.

O modelo de balanço hídrico utilizado baseou-se no processo de cálculo recomendado por Thornthwaite & Mather (1955), porém, com algumas adaptações. O balanço hídrico realizado considera um período de dez dias (decêndios), pode ser simulado ou não, as irrigações são consideradas, e uma das equações de armazenamento da água no solo é ajustada à fração de água disponível no solo (p).

3.2.1.1 Valores decendiais de precipitação provável

Os valores decendiais de precipitação representam a entrada de água no balanço hídrico e são dados de entrada do modelo. Nos casos em que a interceptação da água pela cultura for significativa, a correção das perdas é realizada com a expressão:

$$P_{c_d} = P_d (1 - I) \quad (01)$$

P_{c_d} – precipitação líquida corrigida do d -ésimo decêndio (mm);

P_d – precipitação provável do d -ésimo decêndio (mm);

I – interceptação da chuva pela cultura.

3.2.1.2 Valores decendiais da evapotranspiração de referência

Os valores decendiais da evapotranspiração de referência (ET_o) representam a saída da água no balanço hídrico e também são dados de entrada no modelo. Como o balanço hídrico possui a opção de ser simulado ou não, as seguintes situações podem ocorrer quanto aos dados necessários para quantificação da ET_o :

- opção não simular o balanço hídrico: são utilizados os valores médios decendiais da evapotranspiração de referência (ET_o);
- opção simular o balanço hídrico: tem-se então duas possibilidades,
 - realizar a simulação através da distribuição triangular: são necessários valores médios decendiais mínimo, máximo e modal da evapotranspiração de referência (ET_o); ou
 - realizar as simulações através da distribuição normal: são necessários os valores decendiais da média e desvio padrão da evapotranspiração de referência (ET_o).

As explicações referentes ao processo de simulação estão descritas no Item 3.2.9.

3.2.1.3 Valores dos coeficientes de cultivo

Os coeficientes de cultivo (Kc) são utilizados no balanço hídrico para transformar a evapotranspiração de referência (ET_o) de cada decêndio em evapotranspiração da cultura (ET_c).

$$ET_{c_d} = ET_{o_d} \cdot Kc_d \quad (02)$$

ET_{c_d} – evapotranspiração máxima da cultura no d -ésimo decêndio (mm);

Kc_d – coeficiente de cultivo da fase de desenvolvimento, no d -ésimo decêndio (adimensional);

ET_{o_d} – evapotranspiração de referência no d -ésimo decêndio (mm).

Os valores de coeficiente de cultivo (Kc) podem ser medidos ou estimados, e o modelo considera as duas possibilidades. Para realizar a estimativa do coeficiente de cultivo (Kc) do cafeeiro, foi utilizado a expressão apresentada por Camargo (1987), que relaciona a área média coberta (Ac) pela copa da cultura, com a área possível (Au) de se cobrir.

$$Kc_d = \frac{Ac_d}{Au \cdot 0,8} \quad (03)$$

Kc_d – coeficiente de cultivo do d -ésimo decêndio (adimensional);

Ac_d – área média coberta pela copa do cafeeiro no d -ésimo decêndio (m²);

Au – área possível de se cobrir com a copa do cafeeiro (área útil – m²).

3.2.1.4 Armazenamento de água no solo

A capacidade de água disponível (CAD) é calculada com a expressão,

$$CAD_i = 0,01 \cdot (U_{CC} - U_{PMP}) \cdot d \cdot z_i \quad (04)$$

CAD_i – capacidade de água disponível no i -ésimo ano (mm);

U_{CC} – umidade da capacidade de campo, com base em peso (%);

U_{PMP} – umidade do ponto de murcha permanente, com base em peso (%);

d – densidade aparente do solo (g . cm⁻³);

z_i – profundidade do volume de controle (efetiva) do solo no i -ésimo ano (mm).

Os valores de água disponível (AD) no solo foram obtidos do produto entre a capacidade de água disponível (CAD) e a fração denominada p . A fração p corresponde à capacidade de água disponível do solo que a planta pode consumir antes que se configure um déficit hídrico na mesma (Rijtema & Aboukhaled, 1975).

$$AD_d = CAD_i \cdot p_d \quad (05)$$

AD_d – água disponível no d -ésimo decêndio (mm);

p_d – fração de água disponível no solo para a cultura no d -ésimo decêndio (adimensional);

CAD_i – capacidade de água disponível no i -ésimo ano (mm).

Para a estimativa do valor do armazenamento de água no solo a partir dos valores de “negativo acumulado” e vice e versa, foram adotadas as seguintes equações:

a) Equação exponencial de Thornthwaite & Mather (1955)

$$ARM_d = CAD_i \cdot e^{\left(-\frac{L_d}{CAD_i}\right)} \quad (06)$$

$$L_d = -CAD_i \cdot \ln\left(\frac{ARM_d}{CAD_i}\right) \quad (07)$$

CAD_i – capacidade de água disponível no i -ésimo ano (mm);

ARM_d – armazenamento de água do solo no d -ésimo decêndio (mm);

L_d – valor do negativo acumulado no d -ésimo decêndio (mm);

b) Equação linear-exponencial de Rijtema & Aboukhaled (1975)

A equação linear-exponencial originou-se de uma adaptação da equação exponencial de Thornthwaite & Mather (1955), equações 06 e 07, à fração de água disponível no solo (fração p), para melhor estimar e representar as condições de armazenamento de água no solo para as culturas.

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

$$ARM_d = CAD_i \cdot (1 - p_d) \cdot e^{\frac{CAD_i \cdot p_d - L_d}{CAD_i \cdot (1 - p_d)}} \quad (08)$$

$$L_i = CAD \left[p_i - (1 - p_i) \cdot \ln \left(\frac{ARM_i}{CAD \cdot (1 - p_i)} \right) \right] \quad (09)$$

p_d – fração de água disponível no solo para a cultura no d -ésimo decêndio (adimensional).

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

$$ARM_d = CAD_i - L_d \quad (10)$$

$$L_d = CAD_i - ARM_d \quad (11)$$

Como se pode verificar, na equação linear-exponencial a consideração da fração p de água disponível no solo passa a ser importante na estimativa da água armazenada no solo. Até atingir o valor de água disponível ($CAD_i \cdot p_d$), a retirada da água do solo pela cultura do cafeeiro é igual aos valores da ETc . Quando o valor do armazenamento da água no solo passa a ser inferior a $CAD_i (1 - p_d)$, a retirada da água pela cultura começa a ser dificultada, não sendo possível manter os valores da ETc . Assim, o déficit para a cultura somente ocorre quando o armazenamento da água no solo for menor do que $CAD_i (1 - p_d)$.

3.2.1.5 Manejo da irrigação

A irrigação também é uma forma de entrada de água no balanço hídrico. No modelo, a irrigação é controlada com o uso de “caixas de seleção”. São 37 caixas de seleção contendo a opção sim ou não, cada uma correspondendo a um decêndio do balanço hídrico. A seleção de uma caixa indica a permissão da irrigação no respectivo decêndio e a não seleção indica ausência da irrigação. As irrigações só serão realizadas nos decêndios com permissão, quando o armazenamento combinado com a fração de água disponível no solo acusar a necessidade. Nos decêndios onde a permissão da irrigação for negada, esta não será realizada mesmo que o armazenamento de água no solo, combinado com a fração água disponível indique haver necessidade.

3.2.2 Volume bruto de água e tempo gasto anualmente nas irrigações

Realizado o balanço hídrico da cultura, o consumo de energia e água nas irrigações poderão ser quantificados para uma eventual análise econômica. Para se chegar aos valores de consumo, no entanto, faz-se necessário primeiro, transformar as lâminas anuais de irrigação obtidas nos balanços hídricos, para a condição de funcionamento do sistema de irrigação, que poderá ser pivô central, autopropelido, gotejamento e mangueira plástica perfurada (MPP – “tripa”).

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

$$VBa_i = \sum_{d=1}^{37} \frac{10 \cdot Libh_d \cdot Ac \cdot kr}{Es} \quad (12)$$

VBa_i – volume bruto de água consumido no i -ésimo ano com as irrigações (m^3);

$Libh_d$ – lâmina de irrigação no d -ésimo decêndio, obtida com o balanço hídrico (mm);

Ac – área cultivada e irrigada (ha);

kr – coeficiente de redução da evapotranspiração da cultura, corrigindo a lâmina de irrigação aplicada quando utiliza-se sistemas de irrigação localizada. Pizarro Cabello (1990, p.167) o denomina de “coeficiente de localização (k_L)”, e faz uma série de considerações sobre a realização do seu cálculo. O valor médio é de 0,67, mas pode variar entre 0,6 e 0,8 (adimensional). No caso de sistema de irrigação molhando toda a área $kr = 1$;

Es – eficiência da aplicação da água de irrigação (adimensional);

d – decêndios.

Para obter o número de horas em que cada conjunto motobomba permanecerá funcionando durante todo o ano para realizar as irrigações, utilizou-se a equação,

$$Tb_i = \frac{VBa_i}{Qp} \quad (13)$$

Tb_i – tempo gasto no i -ésimo ano, para aplicar o volume bruto anual de água nas irrigações (h);

Qp – vazão do projeto ($m^3 \cdot h^{-1}$).

As Equações 12 e 13 quantificam o volume de água e o tempo gasto nas irrigações para o período de um ano. Como o balanço hídrico é decendial, os cálculos também foram realizados para outros períodos de tempo, conforme a circunstância e necessidade. Nas quantificações do faturamento de energia elétrica, diesel e água, por exemplo, os cálculos foram realizadas para um período mensal.

3.2.3 Cálculo do faturamento da energia elétrica

Para a definição das condições de aplicação das tarifas de energia elétrica, considerou-se as regulamentações feitas pelo DNAEE (Brasil, 1997) e os critérios e expressões de cálculo demonstrados pelo CODI (1994). Conforme as necessidades do trabalho, as expressões de cálculo foram adaptadas ao tipo de tarifa, obtendo-se o faturamento relativo a um ano.

O fornecimento de energia elétrica divide as unidade consumidoras em dois grupos: Grupo A e Grupo B. O Grupo B corresponde as unidades consumidoras com carga instalada igual ou inferior a 50kW, e as unidades do Grupo A, corresponde as unidades com carga instalada superior a 50kW e inferior a 2.500kW (Brasil, 1997).

O critério de faturamento da energia elétrica em vigor para o Grupo A possui uma estruturação tarifária com três tipos de tarifa (convencional, azul e verde), e dois componentes básicos na definição do seu preço: um relativo à demanda de potência, e outro relativo ao consumo de energia. O faturamento de energia elétrica das unidades consumidoras do Grupo B refere-se apenas ao consumo de energia.

É importante observar, que na composição dos preços das tarifas horosazonais azul e verde, existem algumas diferenciações que se baseiam na utilização da energia elétrica durante as horas do dia e durante os períodos do ano.

As diferenciações referentes as horas do dia recebem a denominação de horário de ponta e horário fora de ponta:

- horário de ponta: corresponde a três horas consecutivas, definido pela concessionária entre às 17h e 22h, de segunda a sexta-feira, independente de ser ou não feriado.
- horário fora de ponta: corresponde a todos os horários fora dos limites colocados no horário de ponta, acrescido do total das horas dos sábados e domingos.

No horário fora de ponta, existe ainda um outro diferencial dado pelo “Programa de Irrigação Noturna”. A Portaria DNAEE Nº 105, de 03/04/1992, estabelece um desconto (benefício) sobre a tarifa de consumo de energia elétrica utilizada exclusivamente para irrigação noturna, no período compreendido entre às 23:00 e 5:00 horas. Estes descontos variam de região para região, podendo ficar entre 68% e 90%.

As diferenciações referentes ao período do ano recebem o nome de período seco e úmido, onde:

- período seco: compreende o intervalo situado entre os fornecimentos abrangidos pelas leituras dos meses de maio a novembro de cada ano;
- período úmido: compreende o intervalo situado entre os fornecimentos abrangidos pelas leituras dos meses de dezembro de um ano e abril do ano seguinte.

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:

$$F_i = \sum_{m=1}^{12} (FD_m + FC_m + FP_m) \cdot (1 + ICMS) \quad (14)$$

F_i – importe (valor total) relativo ao faturamento no i -ésimo ano, conforme o tipo de tarifa (dólar);

FD_m – faturamento relativo a demanda no m -ésimo mês (dólar);

FC_m – faturamento relativo ao consumo no m -ésimo mês (dólar);

FP_m – faturamento relativo a demanda/consumo de reativo excedente, no m -ésimo mês (dólar);

$ICMS$ – imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (adimensional);

m – meses do ano (1 a 4 e 12: período úmido; 5 a 11: período seco).

O critério para a definição da demanda (kW) a ser faturada mensalmente no meio rural baseia-se na escolha do maior valor entre:

- a maior potência demandada, verificada por medição, durante o ciclo de faturamento;
- 10% da maior demanda verificada por medição nos últimos 11 (onze) meses.

Mediante os critérios que foram dispostos anteriormente, tem-se o seguinte equacionamento para o cálculo do faturamento, conforme as tarifas convencional, azul ou verde.

3.2.3.1 Tarifa convencional

A tarifa convencional aplica-se as unidades consumidoras do Grupo A, atendidas em tensão inferior a 69kV, e demanda menor que 500kW. Para as unidades do Grupo B (baixa tensão), com demanda menor do que 50kW, o faturamento é relativo apenas ao consumo.

Os valores mínimos de consumo de energia elétrica mensal, aplicáveis ao faturamento de unidades consumidoras incluídas no Grupo B, são as seguintes:

- monofásico e bifásico a 2 (dois) fios: 30kWh;
- bifásico a 3 (três) fios: 50kWh;
- trifásico: 100kWh.

a) Faturamento relativo a demanda

$$FD_m = Dfat_m \cdot TD \quad (15)$$

FD_m – valor relativo ao faturamento no m -ésimo mês (dólar);

$Dfat_m$ – demanda faturável no m -ésimo mês (kW);

TD – tarifa de demanda (dólar . kW⁻¹);

m – meses do ano (1 a 4 e 12: período úmido; 5 a 11: período seco).

b) Faturamento relativo ao consumo

$$FC_m = C_m \cdot TC + Cb_m \cdot TC \cdot D_{TC} \quad (16)$$

FC_m – faturamento relativo ao consumo no m -ésimo mês (dólar);

C_m – consumo medido durante o faturamento no m -ésimo mês, no horário sem benefício (kWh);

Cb_m – consumo medido durante o faturamento do m -ésimo mês, no horário com benefício (kWh);

TC – tarifa de consumo (dólar \cdot kWh⁻¹);

D_{TC} – desconto (benefício) na tarifa de consumo ocorrido no horário das 23:00h às 5:00h;

m – meses do ano (1 a 4 e 12: período úmido; 5 a 11: período seco).

c) Faturamento devido à demanda e consumo de reativo excedente

A ocorrência de excedente de reativo pode ser verificada pela concessionária através do fator de potência mensal ou horário. No presente trabalho a opção de cálculo foi para o fator de potência mensal. Os excedentes de demanda de potência e consumo de energia reativa são faturados pelas equações:

$$FP_m = FDR_m + FER_m \quad (17)$$

FP_m – faturamento relativo à demanda ou consumo de reativo excedente, no m -ésimo mês (dólar);

FDR_m – faturamento da demanda de reativo excedente, no m -ésimo mês (dólar);

FER_m – faturamento do consumo de reativo excedente, no m -ésimo mês (dólar);

m – meses do ano (1 a 4 e 12: período úmido; 5 a 11: período seco).

$$FDR_m = \left(DM_m \cdot \frac{0,92}{fm_m} - DF_m \right) \cdot TD \quad (18)$$

$$FER_m = C_m \cdot \left(\frac{0,92}{fm_m} - 1 \right) \cdot TC + Cb_m \cdot \left(\frac{0,92}{fm_m} - 1 \right) \cdot TC \cdot D_{TC} \quad (19)$$

DM_m – demanda ativa máxima registrada no m -ésimo mês (kW);

DF_m – demanda ativa faturável no m -ésimo mês (kW);

TD – tarifa de demanda ativa (dólar . kW⁻¹);

C_m – consumo ativo no m -ésimo mês, fora do horário de benefício (kWh);

TC – tarifa de consumo ativo (dólar . kWh⁻¹);

fm_m – fator de potência médio mensal no m -ésimo mês;

Cb_m – consumo ativo no m -ésimo mês, no horário de benefício (kWh);

D_{TC} – desconto (benefício) na tarifa de consumo ocorrido no horário das 23:00h às 5:00h;

m – meses do ano (1 a 4 e 12: período úmido; 5 a 11: período seco).

A Equação 17 somente é faturada se for verificado pela concessionária um fator de potência mensal ($\cos \varphi$) menor do que 0,92. O faturamento devido a demanda e consumo de reativo excedente não foi aplicado às unidades consumidoras incluídas no Grupo B (baixa tensão)

3.2.3.2 Tarifa azul

A tarifa azul é aplicada aos consumidores do Grupo A, seguindo os seguintes critérios:

Aplicação compulsória:

- às unidades consumidoras em tensão igual ou superior a 69kV;
- às unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69kV, com demanda de potência igual ou superior a 500kW, desde que não façam opção pela tarifa verde.

Aplicação opcional:

- às unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69kV com demanda de potência entre 50kW e 500kW.

A condição para a opção de um consumidor pela tarifa azul, é a de apresentar nos últimos onze meses, três ou mais registros de demanda iguais ou superiores aos valores indicados, ou contratar, a partir das datas mencionadas, no mínimo 50kW (CODI, 1994).

a) Faturamento relativo à demanda

$$FD_m = Fdp_m + Fdfp_m \quad (20)$$

FD_m – valor relativo ao faturamento da demanda no m -ésimo mês (dólar);

Fdp_m – valor relativo ao faturamento da demanda no m -ésimo mês, segmento de ponta (dólar);

$Fdfp_m$ – valor relativo ao faturamento da demanda no m -ésimo mês, no segmento fora de ponta (dólar);

m – meses do ano (1 a 4 e 12: período úmido; 5 a 11: período seco).

• Horário de ponta

$$Fdp_m = DCp_m \cdot TDP + (DMp_m - DCp_m) \cdot TUp \quad (21)$$

Fdp_m – valor relativo ao faturamento da demanda no m -ésimo mês, segmento de ponta (dólar);

DCp_m – demanda contratada no horário de ponta no m -ésimo mês (kW);

TDP – tarifa de demanda para o seguimento de ponta (dólar . kW⁻¹);

DMp_m – demanda medida no horário de ponta no m -ésimo mês (kW);

TUp – tarifa de ultrapassagem para o segmento de ponta (dólar . kW⁻¹);

m – meses do ano (1 a 4 e 12: período úmido; 5 a 11: período seco).

• Horário fora de ponta

$$Fdfp_m = DCfp_m \cdot TDfp + (DMfp_m - DCfp_m) \cdot TUpf \quad (22)$$

$Fdfp_m$ – valor relativo ao faturamento da demanda no m -ésimo mês, no segmento fora de ponta (dólar);

$DCfp_m$ – demanda contratada no horário fora de ponta no m -ésimo mês (kW);

$TDfp$ – tarifa de demanda fora de ponta (dólar . kW⁻¹);

$DMfp_m$ – demanda medida no horário fora do seguimento de ponta no m -ésimo mês (kW);

$TUpf$ – tarifa de ultrapassagem para o segmento fora de ponta (dólar . kW⁻¹);

m – meses do ano (1 a 4 e 12: período úmido; 5 a 11: período seco).

b) Faturamento relativo ao consumo

$$FC_m = Cp_m \cdot TCp_m + Cfp_m \cdot TCfp + Cfpb_m \cdot TCfp_m \cdot D_{TC} \quad (23)$$

FC_m – faturamento relativo ao consumo no m -ésimo mês (dólar);

Cp_m – consumo medido no horário de ponta, no m -ésimo mês (kWh);

TCp_m – tarifa de consumo no horário de ponta, no m -ésimo mês (dólar . kWh⁻¹);

Cfp_m – consumo medido no horário fora de ponta, sem benefício, no m -ésimo mês (kWh);

$TCfp_m$ – tarifa de consumo no horário fora de ponta, no m -ésimo mês (dólar . kWh⁻¹);

$Cfpb_m$ – consumo medido no horário fora de ponta, sem benefício, no m -ésimo mês (kWh);

D_{TC} – desconto no valor da tarifa de consumo ocorrido no horário das 23:00h às 5:00h

(adimensional)

m – meses do ano (1 a 4 e 12: período úmido; 5 a 11: período seco).

c) Faturamento devido a demanda ou consumo de reativo excedente

Devido algumas simplificações que serão tomadas, segue os mesmos procedimentos mostrados para a tarifa convencional, e os cálculos são realizados conforme as Equações 17, 18 e 19.

3.2.3.3 Tarifa verde

A tarifa verde é oferecida, sempre em caráter opcional, aos consumidores do Grupo A atendidos em tensão inferior a 69 kV, com demanda a partir de 50 kW.

A condição para a opção de um consumidor pela tarifa verde, é a de apresentar nos últimos onze meses, três ou mais registros de demandas iguais ou superiores a 50 kW, ou contratar no mínimo os valores de demanda de 50 kW (CODI, 1994).

a) Faturamento relativo à demanda

$$FD_m = DC_m \cdot TD + (DM_m - DC_m) \cdot TU \quad (24)$$

FD_m – valor relativo ao faturamento da demanda pela tarifa verde no m -ésimo mês (dólar);

DC_m – demanda contratada no m -ésimo mês (kW);

TD – tarifa de demanda (dólar . kW⁻¹);

DM_m – demanda medida no m -ésimo mês (kW);

TU – tarifa de ultrapassagem (dólar . kW⁻¹);

m – meses do ano (1 a 4 e 12: período úmido; 5 a 11: período seco).

b) Faturamento relativo ao consumo

$$FC_m = Cp_m \cdot TCp_m + Cfp_m \cdot TCfp_m + Cfpb_m \cdot TCfp_m \cdot D_{TC} \quad (25)$$

FC_m – faturamento relativo ao consumo no m -ésimo mês (dólar);

Cp_m – consumo medido no horário de ponta, no m -ésimo mês (kWh);

TCp_m – tarifa de consumo no horário de ponta, no m -ésimo mês (dólar . kWh⁻¹);

Cfp_m – consumo medido no horário fora de ponta, sem benefício, no m -ésimo mês (kWh);

$TCfp_m$ – tarifa de consumo no horário fora de ponta no m -ésimo mês (dólar . kWh⁻¹);

$Cfpb_m$ – consumo medido no horário fora de ponta, com benefício, no m -ésimo mês (kWh);

$TCfp_m$ – tarifa de consumo no horário fora de ponta, no m -ésimo mês (dólar . kWh⁻¹);

D_{TC} – desconto no valor da tarifa de consumo ocorrido no horário das 23:00h às 5:00 h
(adimensional)

m – meses do ano (1 a 4 e 12: período úmido; 5 a 11: período seco).

c) Faturamento devido a demanda ou consumo de reativo excedente

Devido algumas simplificações que serão tomadas, segue os mesmos procedimentos mostrados para a tarifa convencional, e os cálculos são realizados conforme as Equações 17, 18 e 19.

3.2.3.4 Utilização das equações de tarifas horo-sazonais no trabalho

O processo de utilização das tarifas horo-sazonais é complexo, e por este motivo algumas simplificações foram adotadas. Optou-se por não considerar as irrigações feitas no horário de ponta, baseando-se nas seguintes sustentações teóricas:

- O horário de ponta ocorre entre 17:00h e 22:00h, e o cafeeiro assim como outras culturas perenes de comportamento semelhante são plantas mais resistentes, não sendo muito prejudicadas com o estresse hídrico causado em um atraso de três horas nas irrigações. Além disso, a evapotranspiração no horário de ponta é indiscutivelmente menor do que nos horários da manhã e da tarde do dia;
- Em algumas regiões é proibido realizar irrigações dentro do horário de ponta.

Optou-se também por não considerar as tarifas de ultrapassagem, posto que:

- Os motores elétricos utilizados nos projeto de irrigação são em número reduzido e basicamente são exclusivos para executar o acionamento de bombas hidráulicas e equipamentos destinados à movimentação do sistema de irrigação. Assim, a estimativa da demanda de carga necessária é mais precisa, tornando-se pouco provável longos períodos de ultrapassagem de carga durante a utilização do sistema. O mais provável é que haja ultrapassagem somente no momento de partida dos motores.

Para as tarifas azul e verde, estabeleceu-se que haverá contratação de demanda tanto para o período seco como para o período úmido. O período úmido é constituído de cinco meses e a ocorrência de veranicos em um tempo tão longo deve ser considerada. O valor contratado para os dois períodos será sempre o mesmo, devido a exclusividade do(s) motor(es) para irrigação, como já comentado anteriormente.

Adotadas as condições de contorno, as equações horo-sazonais (convencional, azul e verde) de faturamento da demanda e consumo ficam com a mesma forma, pois todos as variáveis referentes às tarifas de ultrapassagem e horário de ponta são eliminados das equações.

A estimativa da demanda a ser contratada na concessionária, para uso exclusivo da irrigação, é obtida com a expressão:

$$DC = 1,1 \cdot \sum_{m=1}^{mt} \frac{0,736 \cdot Pm_m}{h_m} \quad (26)$$

DC – demanda contratada (kW);

Pm_m – potência nominal do m -ésimo motor ou motorreductor do sistema de irrigação (CV);

h_m – rendimento apresentado pelo m -ésimo motor (adimensional);

mt – número total de motores e motorredutores.

Para a estimativa da potência aparente, adotou-se a expressão:

$$Ps = \frac{DC}{\cos \mathbf{j}} \quad (27)$$

Ps – potência aparente (kVA);

$\cos \varphi$ – fator de potência (adimensional).

3.2.4 Estimativa do consumo de energia elétrica pelo sistema de irrigação

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

- Sistema gotejamento, autopropelido e mangueira plástica perfurada (MPP – “Tripa”): é obtida do produto entre a potência dos motores e o tempo total anual de bombeamento visto na Equação 13.

$$C_i = \left(\sum_{m=1}^{mt} \frac{0,736 \cdot Pm_m}{h_m} \right) \cdot Tb_i \quad (28)$$

- Sistema Pivô Central: a estimativa do consumo de energia elétrica pelo sistema pivô central é um pouco mais complexa, visto que além do(s) motor(es) para o bombeamento, o equipamento necessita ainda dos motorredutores para movimentar

as torres de sustentação. A Equação 28 foi um pouco mais elaborada, e considerando a potência dos motorreductores chegou-se a seguinte forma:

$$C_i = \left(\sum_{m=1}^{mt} \frac{0,736 Pm_m}{h_m} \right) \cdot Tb_i + \left(\sum_{mr=1}^{mr} \frac{0,736 Pm_{mr}}{h_{mr}} \cdot \frac{mr}{mrt} \cdot Tb_i \right) \quad (29)$$

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

3.2.5 Cálculo do consumo e despesas com diesel

O cálculo do consumo de diesel foi realizado fazendo o produto da Equação 13 pelo consumo horário de diesel apresentado pelo motor do conjunto motobomba. O cálculo das despesas foi obtido pelo produto da Equação 30 pelo preço do litro de óleo diesel no posto da propriedade.

$$Cd_i = Tb_i \cdot Emd \quad (30)$$

- Cd_i – consumo de diesel no i -ésimo ano com as irrigações (L);
 Tb_i – tempo no i -ésimo ano para aplicar o volume bruto anual de água para irrigação (h);
 Emd – consumo horário do motor diesel do conjunto motobomba (L . h⁻¹)

$$Dd_i = Cd_i \cdot Pd \quad (31)$$

- Dd_i – Despesas com óleo diesel no i -ésimo ano (dólar);
 Cd_i – consumo de diesel no i -ésimo ano com as irrigações (L);
 Pd – preço do litro de óleo diesel (dólar . L⁻¹).

3.2.6 Cálculo das despesas com água

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

$$Da_i = (VBa_i \cdot Ta_i + Ac \cdot Tf) \cdot (1+ICMS) \quad (32)$$

Da_i – despesa no i -ésimo ano com água para irrigação (dólar);

VBa_i – volume bruto anual de água, gasto no i -ésimo ano com as irrigações (m^3);

Ta_i – tarifa cobrada pelo consumo de água para irrigação ($dólar \cdot 1000^{-1} \cdot m^{-3}$);

Ac – área cultivada e irrigada (ha);

Tf – tarifa fiscal pela demanda (dólar);

$ICMS$ – imposto sobre circulação de mercadorias e serviços.

3.2.7 Custo de produção considerando risco

A implantação de uma cultura perene é um investimento de longa maturação, cujos retornos ocorrem somente a partir de um determinado ponto da vida útil da cultura. São diversos os métodos de análise de investimento citados na literatura, como já foi comentado no capítulo Revisão de Literatura. Os fundamentos teóricos, as vantagens e desvantagens dos critérios de análise econômica podem ser encontrados e melhor entendidos em Azevedo Filho (1988), Francisco (1991), Kuhnen & Buer (1994), Casarotto Filho & Kopittke (1996) e Frizzone (1999). Os critérios utilizados no modelo para realização da avaliação econômica da cafeicultura irrigada foram:

- Valor Presente Líquido (VPL):

$$VPL = \sum_{i=0}^n F_i (1+j)^{-i} \quad (33)$$

- Taxa Interna de Retorno: $TIR = j$, tal que,

$$\sum_{i=0}^n F_i (1 + j)^{-i} = 0 \quad (34)$$

VPL – valor presente líquido (dólar);

TIR – taxa interna de retorno;

F_i – valor futuro no i -ésimo ano (dólar);

j – taxa real de juros;

n – período considerado (vida útil da cultura);

i – i -ésimo ano de vida útil da cultura (anos).

Além dos dois critérios de análise econômico citados acima, ainda são calculados para cada i -ésimo ano de vida útil da cultura, algumas relações que permitem uma análise simplificada da empresa. São elas: custo variável médio, custo fixo médio, custo total médio, custo operacional variável total, custo operacional fixo total, custo operacional total, custo operacional variável médio, custo operacional fixo médio, custo operacional total médio. Para realização dos cálculos seguiu-se a metodologia tradicional, conforme encontra-se descrito em Reis et al. (1999).

O cálculo do custo de produção da cultura do cafeeiro irrigado foi realizado considerando toda a sua vida útil. Para tornar comparáveis receitas recebidas e despesas efetuadas em diferentes momentos ao longo da vida útil da cultura, todos os valores foram referidos ao início do período de implantação, considerando sempre os preços em dólar e juros compostos. Os critérios, bem como os itens considerados na composição dos cálculos estão dispostos nos subitens a seguir.

3.2.7.1 Custos variáveis

Foram considerados os seguintes componentes como custos variáveis: materiais, serviços, energia e água para irrigação, manutenção, impostos e juros sobre o capital de giro.

a) Material e Serviços

São considerados:

- material: combustíveis, lubrificantes e energia elétrica para outros fins que não seja irrigação; fertilizantes, inseticidas, fungicidas, acaricidas, adubos, corretivos, defensivos; mudas; sacaria e despesas gerais;
- serviços: o aluguel de implementos e mão-de-obra em geral (temporária, tratorista, motorista, proprietário, administração).

O cálculo dos dois componentes do custo variável (materiais e serviços) é realizado com as expressões:

$$CVm_i = \left(\sum_{vm=1}^m P_{vm} \cdot Y_{vm} \right) \cdot Ac \quad (35)$$

$$CVs_i = \left(\sum_{vs=1}^s P_{vs} \cdot Y_{vs} \right) \cdot Ac \quad (36)$$

CVm_i – custo variável: materiais consumidos no i -ésimo ano (dólar);

CVs_i – custo variável: serviços necessários no i -ésimo ano (dólar);

P_{vm} – preço do vm -ésimo fator material no i -ésimo ano (dólar);

P_{vs} – preço do vs -ésimo fator serviço no i -ésimo ano (dólar);

Y_{vm} – quantidade do vm -ésimo fator material empregado na produção (quantidade \cdot ha⁻¹);

Y_{vs} – quantidade do vs -ésimo fator serviço empregado na produção (quantidade \cdot ha⁻¹);

Ac – área cultivada irrigada (ha);

i – número de anos;

m – número total de fatores materiais;

s – número total de fatores serviços.

Todos os dados correspondentes aos parâmetros das distribuições para simulação dos materiais e serviços têm de ser inseridos dentro do modelo. O modelo, por sua vez, dispõe de espaços (banco de dados) para o armazenamento dos dados.

b) Manutenção

A manutenção, que consiste na conservação e reparos, é aplicada às instalações, veículos, máquinas, equipamentos e sistemas de irrigação. Seu cálculo é realizado pela expressão:

$$CVmt_i = \sum_{vt=1}^{mt} Vi_{vt} \cdot Tm_{vt} \quad (37)$$

$CVmt_i$ – custo variável: manutenção realizada no i -ésimo ano (dólar);

Vi_{vt} – valor inicial do vt -ésimo item (bem) em manutenção (dólar);

Tm_{vt} – taxa de manutenção do vt -ésimo item ou bem, no i -ésimo ano (adimensional);

mt – número total de itens em manutenção.

c) Água para irrigação

Para obtenção do custo com água para irrigação, adotou-se os procedimentos já descritos no Item 3.2.6.

$$CVa_i = \text{faturamento da água para irrigação, de acordo as Equações 12 e 32 e conforme o tipo de tarifa aplicada à demanda e consumo da água.} \quad (38)$$

CVa_i – custo variável: água para irrigação no i -ésimo ano (dólar).

d) Energia para irrigação

Os custos com energia para proceder as irrigações é calculado conforme a fonte de energia utilizada. Se a fonte de energia for elétrica, adota-se as tarifas convencional, azul ou verde, em conformidade com o que foi disposto no Item 3.2.3,

$$CVe_i = \text{faturamento de acordo com a Equação 14 e o tipo de tarifa de energia elétrica.} \quad (39)$$

CVe_i – custo variável: energia para irrigação no i -ésimo ano (dólar).

Se a fonte de energia for o diesel, realiza-se o produto da Equação 30 pelo preço do litro de combustível:

$$CVe_i = Cd_i \cdot Pc \quad (40)$$

CVe_i – custo variável: energia para irrigação no i -ésimo ano (dólar);

Cd_i – consumo de diesel com as irrigações no i -ésimo ano (L);

Pc – preço do combustível (dólar).

e) Impostos

Os trabalhos consultados mostram, geralmente, que a participação dos impostos nas análises econômicas é pequena. Por ser de difícil quantificação, a sua consideração nas análises do modelo poderá ser feita com a utilização de um índice que incide sobre os custos variáveis, como mostra a expressão:

$$CVip_i = (CVm_i + CVs_i + CVmt_i + CVa_i + CVe_i) \cdot Tiv \quad (41)$$

$CVip_i$ – custo variável: impostos sobre os custos variáveis no i -ésimo ano (dólar);

CVm_i – custo variável: materiais gastos no i -ésimo ano (dólar);

CVs_i – custo variável: serviços necessários no i -ésimo ano (dólar);

$CVmt_i$ – custo variável: manutenção realizada no i -ésimo ano (dólar);

CVa_i – custo variável: água para irrigação no i -ésimo ano (dólar);

CVe_i – custo variável: energia para irrigação no i -ésimo ano (dólar);

Tiv – índice correspondente aos impostos sobre os custos variáveis (adimensional).

f) Juros sobre capital de giro

Segundo Turra (1990), o valor da taxa de juros é polêmica entre diferentes entidades que a utilizam, podendo variar de 4% até 15% ao ano. A taxa modal encontrada nos estudos do autor corresponde a 6% ao ano, sendo que alíquotas de 12% e 10% ao ano também são muito utilizadas. A consideração da taxa de juros nas análises

do modelo, também é feita através de um índice que incide sobre os custos variáveis, como pode ser visto na expressão abaixo:

$$CVj_i = (CVm_i + CVs_i + CVmt_i + CVa_i + CVe_i + CVip_i) \cdot j_{cg} \quad (42)$$

CVj_i – juros sobre o capital de giro no i -ésimo ano (dólar);

j_{cg} – taxa de juros aplicada sobre capital de giro.

O custo variável total resulta do somatório dos resultados das Equações 35 a 42, e simbolicamente, fica representado da seguinte forma:

$$CV_i = CVm_i + CVs_i + CVmt_i + CVa_i + CVe_i + CVip_i + CVj_i \quad (43)$$

CV_i – custo variável total no i -ésimo ano (dólar).

3.2.7.2 Custos fixos

Foram considerados os seguintes componentes como custos fixos: depreciação, juros sobre capital fixo, seguros, impostos e custo alternativo da terra.

a) Depreciação

Para o cálculo da depreciação utilizou-se o método linear. A consideração de todos os itens que participam do sistema é representado pela equação:

$$CFd_i = \sum_{fd=1}^d \frac{Vi_{fd} - Vr_{fd}}{vu_{fd}} \quad (44)$$

CFd_i – custo fixo: valor total da depreciação no i -ésimo ano (dólar);

Vi_{fd} – valor inicial do fd -ésimo item a ser depreciado (dólar);

Vr_{fd} – valor residual do fd -ésimo item a ser depreciado (dólar);

vu_{fd} – vida útil do fd -ésimo item a ser depreciado (anos);

d – número total de itens a ser depreciado.

Para aplicação da depreciação linear nas simulações, uma simplificação foi estabelecida, e considera que para um dado bem a ser depreciado, em uma mesma simulação, os valores inicial (V_i), residual (V_r) e vida útil ao longo do ciclo de produção (vu) são sempre os mesmos. Tal procedimento faz com que as depreciações de um bem, numa mesma simulação, se pareça com a fluxo mostrado na Figura 4.

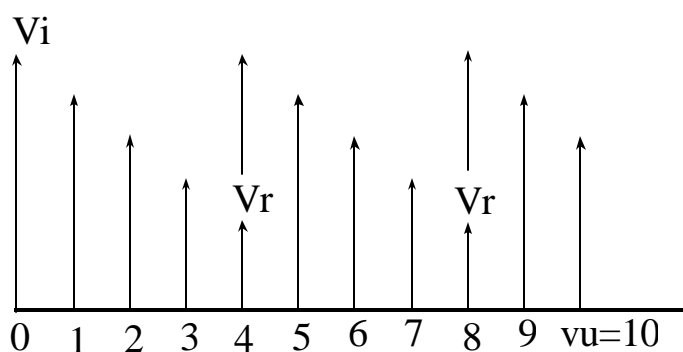


Figura 4 – Fluxo da depreciação linear, dentro de uma mesma simulação.

b) Juros sobre o capital fixo

A discussão sobre o valor da taxa de juros que deve ser cobrada sobre o capital fixo é muito parecida com o que já foi colocado para os juros sobre capital de giro. A Organização das Cooperativas Brasileiras (1989) recomenda uma taxa de 6% ao ano, aplicada sobre o valor médio dos ativos fixos cotados ao preço atual de mercado. No modelo, a consideração dos juros sobre o capital fixo e o valor da taxa são opções do usuário, uma vez que existem muitas divergências nos trabalhos consultados sobre o assunto. A equação utilizada para obtenção dos juros sobre o capital fixo foi:

$$CFj_i = \left(\sum_{fc=1}^c \frac{V_{i_{fc}} + V_{r_{fc}}}{2} \right) \cdot j \quad (45)$$

CFj_i – custo fixo: juros sobre o capital fixo no i -ésimo ano (dólar);

$V_{i_{cf}}$ – valor inicial do cf -ésimo item (bem) do capital fixo (dólar);

Vr_{cf} – valor residual do cf -ésimo item (bem) do capital fixo (dólar);

j – taxa de juros aplicada sobre o capital fixo;

c – número total de itens (bens) que compõe o capital fixo.

c) Seguro e impostos

A consideração do seguro e dos impostos nas análises do modelo também é uma opção do usuário, assim como foi feito para os juros sobre o capital fixo, os seus valores são obtidos com a aplicação de um índice sobre o valor médio dos ativos fixos, cotados ao preço de mercado.

$$CFs_i = \sum_{fs=1}^s \frac{Vi_{fs} + Vr_{fs}}{2} \cdot Ts \quad (46)$$

CFs_i – custo fixo: seguro no i -ésimo ano (dólar);

Vi_{fs} – valor inicial do fs -ésimo item (bem) a ser assegurado (dólar);

Vr_{fs} – valor residual do fs -ésimo item (bem) a ser assegurado (dólar);

Ts – taxa cobrado pelo seguro (adimensional);

s – número de itens (bens) a serem assegurados.

$$CFip_i = \sum_{fi=1}^b \frac{Vi_{fi} + Vr_{fi}}{2} \cdot Tif \quad (47)$$

$CFip_i$ – custo fixo: impostos sobre os custos variáveis no i -ésimo ano (dólar);

Vi_{fi} – valor inicial do fi -ésimo item (bem) a ser cobrado imposto (dólar);

Vr_{fi} – valor residual do fi -ésimo item (bem) a ser cobrado imposto (dólar);

Tif – índice correspondente aos impostos sobre os custos fixos (adimensional);

b – número de itens (bens) que será cobrado imposto.

d) Custo alternativo da terra

O custo alternativo da terra também é opcional e é calculado pela expressão:

$$CFat_i = Ptc \cdot Ac \cdot Tat \quad (48)$$

$CFat_i$ – custo fixo: custo alternativo da terra no i -ésimo ano (dólar);

Ptc – preço do hectare de terra cultivada (dólar . ha⁻¹);

Ac – área cultivada irrigada (ha);

Tat – índice correspondente ao aluguel da terra (adimensional).

O custo fixo total resulta do somatório dos resultados das Equações 44 a 48, e simbolicamente, é representado pela expressão:

$$CF_i = CFd_i + CFj_i + CFs_i + CFip_i + CFat_i \quad (49)$$

CF_i – custo fixo no i -ésimo ano (dólar).

3.2.7.3 Cálculo do custo total

A estimativa do custo total na cafeicultura irrigada resulta do somatório dos componentes do custo fixo e variável.

$$CT_i = CF_i + CV_i$$

$$CT_i = (CVm_i + CVs_i + CVmt_i + CVa_i + CVe_i + CVip_i + CVj_i) + (CFd_i + CFj_i + CFs_i + CFip_i + CFat_i) \quad (50)$$

CT_i – custo total gasto com a cultura no i -ésimo ano (dólar);

CF_i – custo fixo no i -ésimo ano (dólar);

CV_i – custo variável no i -ésimo ano (dólar).

3.2.7.4 Cálculo dos benefícios

A estimativa da produtividade e dos preços alcançados pelo café beneficiado ao longo do ciclo produtivo de uma lavoura cafeeira é algo complexo, dado as incertezas climáticas e econômicas que podem ocorrer no futuro. Sendo assim, o

processo utilizado para o cálculo dos 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:

$$B_i = Yr_i \cdot Ac \cdot Pcf_i \quad (51)$$

B_i – benefícios no i -ésimo ano (dólar);

Yr_i – produtividade (rendimento real) no i -ésimo ano (sc de 60kg beneficiada . ha⁻¹);

Ac – área cultivada irrigada (ha);

Pcf_i – preço da saca de 60kg de café beneficiado no i -ésimo ano (dólar . sc⁻¹).

a) **Estimativa da produtividade da cultura**

As culturas perenes são afetadas nos seus diversos estádios fenológicos pelas condições meteorológicas, em especial pela precipitação e temperatura, que limitam a disponibilidade hídrica do solo e constituem-se no principal condicionante da produtividade. Para o cafeeiro, além desse condicionamento, as condições climáticas interferem acentuadamente no ciclo produtivo e na qualidade do produto.

A literatura apresenta um grande número de funções de produção destinadas à quantificação do efeito do estresse hídrico na planta sobre a queda de rendimento. Picini (1998) e Matioli (1998) fazem referência a uma série deles: Camargo et al. (1984), Doorenbos & Kassam (1979), Stewart et al. (1976), Jensen (1968) Stewart et al. (1976) modificado, Rao et al. (1988) modificado, Jensen (1968) modificado, Blanck (1975).

No entanto, apesar da sua importância, o ciclo de produção do cafeeiro em função das variáveis climáticas tem sido pouco estudado. O número de trabalhos tratando do assunto é reduzido e os resultados alcançados são pouco satisfatórios quanto à definição da função mais adequada, e a eficiência de suas estimativas. A equação utilizada para estimar a produtividade do cafeeiro 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 informações colhidas junto aos produtores rurais. A equação ficou da seguinte forma:

$$Yr_i = \left[Ym \cdot \left(Ky_0 \cdot \frac{Yaa}{Ym} + Ky \cdot \frac{ER_i}{ETC_i} \right) \right] \cdot Fpa_i \cdot Fev_i \quad (52)$$

Yr_i – rendimento real obtido no i -ésimo ano (sc de 60kg beneficiada . ha⁻¹);

Ym – rendimento máximo obtido com a utilização da irrigação (sc de 60kg beneficiada . ha⁻¹);

Ky_0 – coeficiente de penalização relativo à produtividade do ano anterior (adimensional);

Yaa – produtividade do ano anterior (sc 60 kg beneficiada . ha⁻¹);

Ky – coeficiente de resposta da cultura ao suprimento de água para os sucessivos estádios fenológicos da cultura (adimensional);

ER_i – evapotranspiração real ocorrida no i -ésimo ano, obtida a partir de cada simulação do balanço hídrico climatológico seqüencial (mm);

ETC_i – evapotranspiração da cultura ocorrida no i -ésimo ano, obtida a partir de cada simulação do balanço hídrico climatológico seqüencial (mm);

Fpa_i – fração de redução da produtividade no primeiro ano de produção (adimensional);

Fev_i – fração de redução da produtividade no i -ésimo ano, devido à ocorrência de eventualidades (adimensional).

As seguintes simplificações têm de ser consideradas para aplicação da Equação 52: o coeficiente Ky é relativo ao ciclo anual total do cafeeiro e não aos estádios I, II, III e IV de desenvolvimento; o ciclo bienal do cafeeiro deve-se ao déficit hídrico e nutricional da planta e da produtividade do ano anterior; a ocorrência do ciclo bienal é seqüencial; a irrigação sempre proporciona benefícios à cultura do cafeeiro incrementando a sua produtividade.

b) Estimativa do preço do café no mercado

A estimativa do preço do café também é complexa, visto que o mercado brasileiro apresenta três tipos de comportamento cíclico de preços, como foi mostrado no Item 2.7 do capítulo Revisão de Literatura. As simulações do preço do café de cada

i -ésimo ano, foram realizadas assumindo-se que a série histórica de preço se repete ao longo do tempo, e a expressão utilizada para realização das estimativas consistiu em:

$$Pcf_i = \sum_{t=1}^4 Fv_t \cdot \{[(Pb_t)_i - (Pa_t)_i] \cdot r_t + (Pa_t)_i\} \quad (53)$$

Pcf_i – preço da saca de 60kg de café beneficiado no i -ésimo ano (dólar . sc^{-1}).

Fv_t – fração da produção vendida no trimestre t (adimensional);

Pb_t – maior preço médio verificado entre os meses do trimestre t , e i -ésimo ano da série (dólar);

Pa_t – menor preço médio verificado entre os meses do trimestre t , e i -ésimo ano da série (dólar);

r_t – número aleatório gerado para uma simulação do preço no trimestre t .

As seguintes simplificações têm de ser consideradas para aplicação da equação: a série histórica de preços se repete ao longo do tempo e representa a qualidade do produto e a região onde o café é produzido; o preço do café no trimestre t de um i -ésimo ano, segue uma distribuição uniforme; as simulações iniciam dentro da série de preço a partir de um valor “semente” e mês fornecido, para que as rotinas existentes no modelo localize o valor mais próximo dos dados fornecidos e comece o processo; as simulações dos preços nos anos $i + 1$ é uma seqüência do ano onde caiu o preço semente, até o período de vida útil (vu) da cultura ser completado.

3.2.7.5 Critérios de avaliação econômica

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. Assim, quando se substitui as Equações 50 e 51 dentro do critério de avaliação econômica do valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) obtém-se as seguintes expressões:

$$VPL = \sum_{i=0}^{vu} (B_i - CT_i) \cdot (1 + j)^{-i} \quad (54)$$

$$\sum_{i=1}^{vu} (B_i - CT_i) \cdot (1 + j^*)^{-i} = 0 \quad (55)$$

VPL – valor presente líquido do projeto (dólar);

$TIR = j^*$ – taxa de juros que torna nulo o valor presente líquido;

B_i – entradas (benefícios) de dinheiro no i -ésimo ano de vida da cultura (dólar);

CT_i – custo total no i -ésimo ano de vida da cultura (dólar);

j – taxa de juros;

i – i -ésimo ano de vida útil da cultura (anos)

vu – vida útil da cultura (anos).

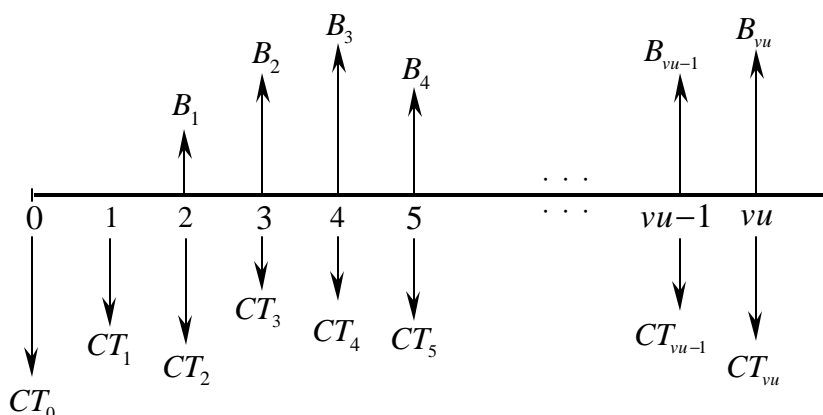


Figura 5 – Esquema do fluxo de caixa de um projeto.

3.2.8 Análise estatística dos dados amostrados

O intuito da análise estatística no trabalho está em aplicar o teste de aderência aos itens do custo de produção que possuam seus “indicadores econômicos” (valor/unidade, valor residual, manutenção e vida útil), variando aleatoriamente dentro do fluxo de caixa do projeto. As análises realizadas, basicamente, verificam se os dados de uma amostra ajustam-se ou não as distribuições triangular, normal e uniforme. O modelo utiliza o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade para estabelecer se existe ajuste entre os dados com distribuição de probabilidade desconhecida, e as três distribuições de probabilidade já citadas.

O Teste de Kolmogorov-Smirnov consiste em se defrontar duas distribuições de frequência acumuladas, uma $F'(X)$, teórica, e outra $F(X)$, derivada dos dados amostrados, tal que:

$$D_{\max} = \text{Max} \left| F'(X) - F(X) \right| \quad (56)$$

D_{\max} – valor crítico D_{\max} da estatística de Kolmogorov-Smirnov;

$F'(X)$ – função de distribuição de probabilidade teórica;

$F(X)$ – função de distribuição de probabilidade empírica.

Se o valor de D_{\max} tabelado $>$ D_{\max} calculado então aceita-se a hipótese de que os valores da amostra ajustam-se bem à distribuição de probabilidade a 5% de significância. Caso contrário a hipótese é rejeitada.

Para a obtenção do D_{\max} tabelado procedeu-se uma análise de regressão com os valores tabelados apresentados por Assis et al. (1996) a 5% de probabilidade, onde:

– se o número de elementos da amostra for $<$ 16 temos a equação,

$$D_{\max} = 0,971 - 0,2388 \cdot \ln(N) \quad (57)$$

– se o número de elementos da amostra for \geq 16, temos:

$$D_{\max} = \frac{1,37}{\sqrt{N}} \quad (58)$$

D_{\max} – valor crítico D_{\max} da estatística de Kolmogorov-Smirnov;

N – número de elementos da amostra.

Para o cálculo estatístico das medidas de tendência, dispersão e da distribuição de frequência e probabilidade, seguiu-se os procedimentos recomendados por Aquino (1981), Assis et al. (1996), Frizzone (1999) e Frizzone & Silveira (2000).

3.2.9 Processo de simulação

No modelo realizado, podem passar pelo processo de simulação a evapotranspiração de referência (ET_0), todos indicadores econômicos (valor/unidade, valor residual, vida útil e manutenção) que participam do custo de produção e os preços alcançados pelo café no mercado. Para todos os itens simulados, com exceção dos preços do café no mercado, existe no modelo comandos que permitem fazer a opção de simular ou não. Se a opção for por simular, o usuário poderá escolher também o tipo de distribuição de probabilidade associada ao item variável, que poderá ser triangular, normal ou uniforme.

Para realização do processo de simulação das variáveis aleatórias, seguiu-se os seguintes passos:

- Identificação de todos os componentes e atividades que fazem parte do sistema a qual se deseja estudar;
- Determinação dos componentes e atividades variáveis na estrutura do sistema;
- Seleção das variáveis mais significativas para serem simuladas;
- Estabelecer a função de densidade de probabilidade $f(x)$ para cada variável, que seja adequada para representar a ocorrência aleatória da mesma;
- Dentro da distribuição definida, gerar ao acaso valores aleatórios para cada variável, seguindo o método de “Monte Carlo”. Os valores são gerados a partir de uma distribuição uniforme com intervalo fechado entre 0 e 1;
- O cálculo é repetido um grande número de vezes (simulações), visando a obtenção de uma distribuição de frequência média da variável em questão.

3.2.9.1 Distribuições de probabilidade aplicadas ao método de Monte Carlo

Segundo Frizzone (1999) e Frizzone & Silveira (2000), a seguinte seqüência de procedimentos deve ser realizada, no intuito de simular valores aleatórios pelo método de “Monte Carlo” aplicado as distribuições de probabilidade triangular, uniforme e normal:

a) Distribuição triangular

Com os valores mínimo, máximo e modal de cada componente (variável) importante, foram executados os seguintes passos para realização das simulações baseando-se na distribuição triangular:

- **passo 1** – para cada simulação realizada gera-se um número aleatório (r_i);
- **passo 2** – com os valores mínimo (a), máximo (b) e modal (m) de uma dada série calcula-se o valor de r^* através da expressão:

$$r^* = \frac{m-a}{b-a} \quad (59)$$

a – valor mínimo observado em uma dada série de dados;

b – valor máximo observado em uma dada série de dados;

m – valor modal observado em uma dada série de dados.

- **passo 3** – com o valor de r^* calculado, passa-se então ao cálculo de uma simulação, através das expressões:

Se o número aleatório gerado $r_i < r^*$, faz-se a simulação pela expressão:

$$VS_i = a + \sqrt{r_i \cdot (b-a) \cdot (m-a)} \quad (60)$$

VS_i – valor simulado;

r_i – número aleatório gerado.

Quando o número aleatório gerado $r_i > r^*$, faz-se a simulação pela expressão:

$$VS_i = b - \sqrt{(1-r_i) \cdot (b-a) \cdot (b-m)} \quad (61)$$

Se o número aleatório gerado $r_i = r^*$, então

$$VS_i = m \quad (62)$$

- **passo 4** – Para a obtenção de um outro valor qualquer simulado, basta repetir os passos 1, 2 e 3 novamente.

b) Distribuição uniforme

A simulação de valores contendo uma distribuição uniforme é bastante simplificada, necessitando apenas dos valores mínimo e máximo como parâmetros de uma amostra.

- **passo 1** – para cada simulação realizada gera-se um número aleatório (r_i). Como o gerador de números aleatórios do “*Visual Basic*” gera números randômicos já possuindo uma distribuição uniforme, o valor simulado é obtido com a seguinte expressão:

$$VS_i = r_i \cdot (b - a) + a \quad (63)$$

VS_i – valor simulado;

r_i – número aleatório gerado;

a – menor valor observado em uma dada série de dados;

b – maior valor observado em uma dada série de dados.

c) Distribuição normal

Para a simulação de valores contendo uma distribuição normal, Hiller & Lieberman (1988) e Frizzone & Silveira (2000) apresentam a seguinte equação:

$$VS_i = \frac{\mathbf{s}}{\sqrt{\frac{n}{12}}} \cdot \sum_{i=1}^n r_i + \left(\mathbf{m} - \frac{n}{2} \cdot \frac{\mathbf{s}}{\sqrt{\frac{n}{12}}} \right) \quad (64)$$

VS_i – valor simulado;

\mathbf{s} – desvio padrão da amostra;

r_i – número aleatório gerado;

\mathbf{m} – média da amostra;

n – quantidade de números aleatórios gerados.

Para eliminar os termos da raiz quadrada da Equação 64, optou-se na simulação de cada valor (VS_i), pela geração de doze números aleatórios (r_i).

3.3 Levantamento de dados para compor os “formulários ajuda” do modelo

As informações levantadas sobre a cultura do cafeeiro foram bem amplas e tiveram por finalidade compor os “formulários ajuda”, que servem de auxílio para consulta e preenchimento de uma série de dados de entrada que são solicitados nos diversos módulos que constituem o modelo. Basicamente, foram levantados dados sobre características agroclimáticas, coeficientes técnicos, “pacotes tecnológicos”, índices econômicos, série de preços, entre outros. Os dados foram obtidos junto aos agricultores, pesquisadores, técnicos e na extensa bibliografia existente (livros, boletins, periódicos, anuários estatísticos e relatórios de atividade). As informações mais relevantes foram convenientemente tabuladas e se encontram dispostas nos módulos do modelo.

3.4 Dados para aplicação do modelo

Os dados levantados para aplicação do modelo, foram aqueles essencialmente necessários às análises de simulação da cafeicultura irrigada. A descrição das principais informações coletadas estão dispostas nos subitens a seguir, e no anexo.

3.4.1 Local para realização das análises

Os dados para aplicação do modelo foram levantados em duas propriedades que produzem café irrigado, e são denominadas Faria e Macaubas:

- a Fazenda Faria, fica localizada próximo da cidade de Lavras, MG, situada à 21° 14' de latitude sul, longitude 45° 00' W e 915m de altitude média, na região Sul de Minas Gérias; e
- a Fazenda Macaubas fica próximo da cidade de Araguaí, MG, situada à 19° 00' de latitude Sul, 47° 45' W e altitude média de 800m, na região do Triângulo Mineiro.

As propriedades escolhidas para serem analisadas possuem tamanho e sistema de irrigação representativo da região onde se encontram situadas.

3.4.1.1 Características climáticas das regiões onde estão as propriedades

a) Classificação climática

O clima predominante nas duas regiões, de acordo com os critérios propostos por Wilhem Köppen, classifica-se como Cwa e Cwb para a região do Sul de Minas e Cwb e Aw para o Triângulo Mineiro. O Cwa ocorre nas regiões menos altas e o Cwb nas regiões mais altas, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e superior a - 3°C, como é o caso de Lavras-MG e Araguari-MG (Antunes, 1986).

b) Precipitação média anual

Quanto aos valores de precipitação média anual, constata-se que no Triângulo Mineiro as precipitações variam entre 1.400mm a 1.600mm e no Sul de Minas há uma variação entre 1.000mm a 2.000mm (Antunes, 1986). Os valores mais altos correspondem as regiões de maior altitude. Em Lavras a precipitação média anual fica em torno de 1441mm (Vilela & Ramalho, 1979), e em Araguari este valor fica em torno de 1.588mm (média de 1981 a 1998 da estação climatológica do Parque do Sabiá, Uberlândia, MG).

c) Temperatura média, umidade relativa e deficiência hídrica anual

O regime térmico, a umidade relativa e a deficiência hídrica são características climáticas muito influenciadas pela latitude e principalmente pela altitude. A Tabela 12 apresenta de forma geral, algumas características climáticas anuais para as regiões do Triângulo Mineiro e Sul de Minas. As cidades de Araguari e Lavras, encontram-se dentro dos limites dados às suas respectivas regiões.

Tabela 12. Temperatura média nas regiões do Triângulo Mineiro e Sul de Minas.

Região	Faixa de variação das temperaturas (°C)				UR média anual (%)	Def. hídrica anual (mm)
	média anual	média de Julho	máx. média anual	mín. média anual		
Triângulo Mineiro	21 a 24	17 a 22	28 a 30	15 a 18	70 a 75	100 a 200
Sul de Minas	18 a 20	14 a 18	24 a 27	13 a 15	70 a 80	0 a 100

Fonte: Antunes (1986)

3.4.1.2 Identificação e Especificação das duas propriedades

As informações contidas na Tabela 13 especificam e identificam alguns aspectos da propriedade e da cultura onde os dados foram coletados. As informações da Tabela 13 são dados de entrada no modelo.

Tabela 13. Especificação e identificação das propriedades Faria e Macaubas.

Dados da propriedade	Fazenda Faria	Fazenda Macaubas
Proprietário	Heitor de Abreu Azevedo	Sérgio Rubens Mansano
Administrador	Túlio Pierangele Vieira	—
Município	Lavras	Araguari
Estado / região	MG – Sul de Minas	MG – Triângulo Mineiro
Latitude	21° 14' S	19° 00' S
Tipo de solo	Latossolo Vermelho Amarelo	Latossolo Vermelho Amarelo
Dados da cultura		
Área plantada (café)	101,69ha	90ha
Área irrigada	13,5ha	98,4ha
Espécie	Arábica	Arábica
Cultivar	Catuai Vermelho e Acaiá	Mundo novo (30 ha), Catuai (60 ha)
Variedade	MG – 44 e MG – 1474	—
Espaçamento	3,60m x 0,60m	4,0 x 1,0m e 3,8m x 0,5m
Número de plantas por ha	4.630pl./ha	2.500pl./ha e 5.263pl./ha

3.4.1.3 Sistema de irrigação e fonte de energia

A Tabela 14 apresenta as principais informações que foram levantadas nas duas propriedades, referentes ao sistema de irrigação e a fonte de energia utilizada para o acionamento do(s) motor(es). São informações importantes e necessárias na configuração dos cenários que serão analisados para caracterizar o modelo e a atividade da cafeicultura irrigada.

Tabela 14. Dados do sistema de irrigação e fonte de energia das duas propriedades.

Especificação das opções	Fazenda Faria	Fazenda Macaubas
Sistema de irrigação	Gotejamento	Pivô central
Área irrigada pelo sistema	13,5ha	98,4ha
Coefficiente de redução da <i>ETc</i> (Coef. localização)	72,3%	100%
Eficiência do sistema de irrigação e recalque da água	90%	85%
Vazão de projeto (vazão da bomba)	26m ³ /h	296m ³ /h
Potência dos motores para bombeamento	2 x 7½CV	150CV
Rendimento elétrico do(s) motore(s)	88%	90%
Eficiência do conjunto motobomba	64%	66%
Potência dos motorreductores	—	0,6CV
Rendimento elétrico dos motorreductores	—	70%
Número de motorreductores	—	14
Fator de potência da instalação (cos φ)	0,92	0,92
Tensão de fornecimento	Inferior a 69kV	Inferior a 69kV
Tarifa hora-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 devida as irrigações noturnas	—	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 suprimento de energia elétrica para a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). Os valores homologados no Anexo da referida Resolução entraram em vigor no dia 8 de abril de 2000, e vigorará até o dia 7 de abril de 2001. Para o cálculo dos gastos com diesel também adotou-se o valor praticado no mercado (até o posto da propriedade) no mês de abril. As tarifas de água para irrigação basearam-se nos valores de demanda e consumo, aplicados às propriedades pertencentes ao projeto de irrigação Senador Nilo Coelho, Petrolina – PE, de acordo com Novaes (2000)¹⁴.

3.4.2 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos necessários para a realização do balanço hídrico, e conseqüente determinação da evapotranspiração da cultura (*ETc*), irrigação, evapotranspiração real (*ER*) e deficiência hídrica, são de duas séries: uma coletada na

¹⁴ NOVAES, M. (Universidade do Estado da Bahia – UNEB, Juazeiro). Informação pessoal, nov., 2000.

estação climatológica de Lavras, situada na Universidade Federal de Lavras (UFLA); e outra coletada na estação meteorológica do Parque do Sabiá, situada em Uberlândia, MG. A série coletada em Lavras compreende os anos de 1983 a 1999 e a série coletada em Uberlândia não é tão longa, 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.

3.4.2.1 Valores de evapotranspiração de referência e precipitação provável

Os valores decendiais da evapotranspiração de referência (ET_o) utilizados para a região Lavras são de uma série de medidas de um evapotranspirômetro do tipo Thornthwaite-modificado. Os valores foram convenientemente tabulados e agrupados em períodos decendiais. Os valores de ET_o para a região de Araguari foram estimados pelo método de Thornthwaite, baseando-se nos dados de temperatura coletados na estação Parque do Sabiá. Para utilização do método seguiu-se as recomendações de Ometto (1981) e Pereira et al. (1997).

$$ET_o = 16 \cdot \left(10 \cdot \frac{T_i}{I} \right)^a \cdot F_c \quad \text{sendo } T_i > 0^\circ C \quad (65)$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \quad (66)$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} (0,2 \cdot T_m)^{1,514} \quad \text{sendo } T_m > 0^\circ C \quad (67)$$

ET_o – evapotranspiração de referência (mm . mês⁻¹);

T_i – temperatura média do ar (°C) – foi utilizado a temperatura decendial ao invés da mensal;

a – função cúbica do índice de calor (I) da região;

I – índice de calor da região. Obs.: deve ser calculado com valores de temperatura média, normal de uma região (T_m – temperatura média climatológica do m -ésimo mês);

F_c – fator de correção da evapotranspiração tabular diária para ajustá-la ao fotoperíodo (N) e ao número de dias do mês.

Os valores decendiais de precipitação provável para a região de Lavras foram retirados do trabalho de Castro Neto & Silveira (1983), que a partir de uma série de precipitações de Lavras entre 1914 e 1980, estimaram as precipitações prováveis com a função de distribuição de probabilidade gama. Os valores decendiais de precipitação provável para a região de Araguari também foram estimados com a função de distribuição gama, baseando-se nos dados da estação meteorológica do Parque do Sabiá. Para obtenção das estimativas seguiu-se os procedimentos utilizados e recomendados por Frizzone et al. (1985), Assis et al. (1996) e Oliveira et al. (1997).

$$f(x) = \frac{1}{b^a \Gamma(a)} \cdot x_i^{(a-1)} \cdot e^{-\frac{x_i}{b}} \quad (68)$$

$$a = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}}{4A} \quad (69)$$

$$A = \ln(x) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \quad (70)$$

$$b = \frac{x}{a} \quad (71)$$

$$\Gamma(a) = \int_0^x e^{-x} x^{a-1} dx \quad (72)$$

$f(x)$ – função de densidade de probabilidade (mm);

x – precipitação média para os n anos da série (mm);

x_i – precipitação ocorrida no i -ésimo decêndio (mm);

a – parâmetro de forma;

b – parâmetro de escala;

$\Gamma(a)$ – função gama.

A distribuição gama não admite valores nulos, e para contornar o problema, adotou-se o conceito de distribuição mista, conforme as recomendações de Assis et al. (1996). Assim, a função cumulativa de probabilidade foi determinada em duas partes:

$$F(X) = P_o + (1 - P_o) \cdot G(X) \quad (73)$$

$F(X)$ – função cumulativa de probabilidade da distribuição mista;

P_o – probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros);

$G(X)$ – distribuição cumulativa teórica, onde os parâmetros são estimados na ausência de zeros.

A interceptação da chuva pela cultura não foi considerada nos dois locais analisados.

Para evitar confusão, os valores decendiais (mm/decêndio) de precipitação provável a 75% de probabilidade da região de Lavras, retirados do trabalho de Castro Neto & Silveira (1983) e utilizados nas análises do modelo, estão dispostos no Item 4.2.1.2 do capítulo Resultado e Discussão, junto dos valores de precipitação provável que foram calculados para a região de Araguari.

3.4.2.2 Evapotranspiração da cultura (ET_c) e coeficientes de cultivo (K_c)

Na determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c), conforme a Equação 02, os valores decendiais da evapotranspiração de referência (ET_o) simulados foram multiplicados pelo coeficiente de cultivo da fase adulta da cultura. Os valores utilizados foram os recomendados por Camargo & Pereira (1990), conforme pode ser visto na Tabela 15. Os valores de coeficiente de cultivo (K_c) para os anos de implantação, 1-2 e 2-3 da cultura do cafeeiro, foram determinados baseando-se nos valores da cultura adulta, seguindo a proporção observada nos dados apresentados por Santinato et al. (1996). A proporção adotada em relação aos valores da cultura adulta são 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 propriedades.

Tabela 15. Valor mensal do coeficiente de cultivo do cafeeiro adulto.

Mês	Valor K_c	Mês	Valor K_c	Mês	Valor K_c	Mês	Valor K_c
Jan.	0,89	Abr.	0,79	Jul.	0,73	Out.	0,89
Fev.	0,87	Mai	0,73	Ago.	0,73	Nov.	0,90
Mar.	0,91	Jun.	0,73	Set.	0,74	Dez.	0,95

Fonte: Camargo & Pereira (1990)

3.4.2.3 Armazenamento de água no solo

No cálculo da capacidade de água disponível no solo (*CAD*), conforme a Equação 04, as propriedades físico-hídricas utilizadas são de um latossolo vermelho-amarelo (Tabela 16), conforme apresentado por Machado (1994). A profundidade efetiva do sistema radicular do cafeeiro foram consideradas iguais nas duas propriedades, 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 $X_{i-1} - X_i$).

Tabela 16. Propriedade físico-hídrica do solo.

Propriedade físico-hídrica	Profundidade efetiva do sistema radicular			
	< 25 cm	25cm – 50 cm	50cm – 75cm	> 75 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
Fonte: Machado (1994)

A Tabela 17 apresenta as frações da capacidade de água disponível no solo (*p*) que foram adotadas nas análises das Fazendas Faria e Macaubas, para determinar a água disponível no solo em cada decêndio, conforme Equação 05. No modelo, os valores da fração *p* são importantes, pois auxiliam no controle das operações de manejo da irrigação suplementar da cultura do cafeeiro, nos quatro estádios fenológicos que ocorrem ao longo do ano. Faria & Resende (1997) comentam que a literatura não define bem o valor de *p* a ser adotado na cafeicultura irrigada; o valor mais comum é 0,5, mas encontra-se variações de 0,4 a 0,7. Por este motivo, foi utilizado uma fração *p* variável ao longo dos meses, igual a 0,9 no mês de julho (dormência), e 0,4 para os meses de setembro e outubro (quebra de dormência, vegetação e frutificação).

Tabela 17. Fração da capacidade total de água disponível do solo.

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

3.4.2.4 Manejo da irrigação

Na Tabela 18, estão apresentados seis formas de manejo de irrigação. Os cinco primeiros manejos consideram a realização da irrigação suplementar em pelo menos três meses do ano. O último manejo, identificado com o número 6, não considera a realização da irrigação. Os diferentes manejos foram utilizados e analisados nas duas propriedades com a finalidade de se estimar as produtividades e as variações nas despesas anuais com água, energia e sistema de irrigação na lavoura cafeeira. É importante observar que as irrigações, nos respectivos manejos, são suplementares e somente são realizadas quando o armazenamento, combinado com a fração da capacidade de água disponível no solo, acusar a necessidade.

Tabela 18. Manejos de irrigação suplementar utilizados nas análises de simulação.

Manejo	Decêndios 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

3.4.3 Quantificação dos itens do custo fixo e variável

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. Os itens de custo fixo que são utilizados em mais de uma atividade na propriedade, além da cafeicultura irrigada, tiveram a sua quantificação estimada em um fracionamento considerando o quanto os respectivos bens são utilizados e exigidos nas diferentes atividade que participam.

As especificações e os valores de quantificação dos itens de custo fixo, que foram levantados nas duas propriedades, estão apresentados no Anexo.

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 seis “pacotes tecnológicos” adotados para a cafeicultura adensada, sem irrigação. Os pacotes tecnológicos 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, materiais e serviços para cada produtividade a ser alcançada. A utilização de pacotes tecnológicos é muito empregada nos órgãos de extensão e pesquisa, cooperativas e produtores rurais, e a sua adoção permite uma estimativa simples e segura das produtividades a serem alcançadas numa determinada região.

As Tabelas 19 e 20 apresentam, respectivamente, as quantificações dos materiais e serviços utilizados nas propriedades Faria e Macaubas para formação e manutenção da lavoura cafeeira com produtividades de 40, 60 e 80sc/ha.

Tabela 19. Pacotes tecnológicos com as especificações e quantificações dos materiais para formação e manutenção da lavoura cafeeira adensada, divulgados pela COOXUPÉ, e aplicado às propriedades Faria e Macaubas.

Especificação dos serviços	Unidade	Implant.	Ano 1-2	Ano 2-3	Anos 3-4 a $X_{i-1} - X_i$		
					40sc/ha	60sc/ha	80sc/ha
Análise do solo	unid/ha	0,10	0,10	0,10	—	—	—
Calcário	ton/ha	5,50	2,00	—	2,00	3,00	4,00
Superfosfato simples	ton/ha	1,00	0,50	0,85	0,20	0,35	0,50
Cloreto de potássio	kg/ha	180,00	4,00	4,00	—	—	—
Nitrocálcio	ton/ha	0,24	0,40	0,60	—	—	—
Ácido bórico	kg/ha	2,00	25,00	50,00	30,00	40,00	50,00
Sulfato de zinco	kg/ha	2,00	4,00	4,00	40,00	50,00	60,00
Formicida	kg/ha	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Polytrin	L/ha	2,00	1,00	1,00	—	—	—
Cobre sandoz	kg/ha	6,00	3,00	—	—	—	—
Extravon	L/ha	2,00	1,00	1,00	—	—	—
Goal – BR	L/ha	3,00	—	—	—	—	—
Mudas p/ plantio e replantio	mil/ha	6,50	—	—	—	—	—
Fertilizante 25.00.25	ton/ha	0,45	0,90	1,05	1,40	2,20	3,00
Sulfato de amônio	ton/ha	0,20	—	—	—	—	—
Baysiston	balde/ha	—	3,00	3,00	—	—	—
Sacaria nova (tipo exp.)	unid/ha	—	—	—	30,00	50,00	70,00
Fungicida, inseticida granul.	kg/ha	—	—	—	60,00	60,00	60,00
Utensílios	%	—	—	—	2,40	2,40	2,60

Tabela 20. Pacotes tecnológicos com as especificações e quantificações dos serviços para formação e manutenção da lavoura cafeeira adensada, divulgados pela COOXUPÉ, e aplicados às propriedades Faria e Macaubas, situadas na região de Lavras e Araguari, MG, respectivamente.

Especificação dos serviços	Unidade	Implant.	Ano 1-2	Ano 2-3	Anos 3-4 a $X_{i-1}-X_i$		
					40sc/ha	60sc/ha	80sc/ha
Destoca	HM/ha	7,0	—	—	—	—	—
Conservação do solo	HM/ha	2,0	—	—	—	—	—
Conservação e coroamento	DH/ha	6,0	—	—	—	—	—
Aplicação de calcário	HM/ha	2,0	5,0	—	2,0	3,0	4,0
Alinhamento	DH/ha	9,0	—	—	—	—	—
Aração e gradagem	HM/ha	7,0	—	—	—	—	—
Coveamento	DH/ha	36,0	—	—	—	—	—
Distribuição de calcário	DH/ha	10,0	—	—	—	—	—
Distribuição de adubos	DH/ha	10,0	—	—	5,0	8,0	11,0
Mistura de covas	DH/ha	30,0	—	—	—	—	—
Plantio	DH/ha	40,0	—	—	—	—	—
Replanteio	DH/ha	18,0	—	—	—	—	—
Capinas	DH/ha	66,0	42,0	34,0	12,0	12,0	12,0
Aplicação de herbicida	DH/ha	7,0	—	—	—	—	—
Aplicação de defensivo	HM/ha	—	—	—	4,0	4,0	4,0
Adubação	DH/ha	36,0	30,0	25,0	—	—	—
Pulverização	DH/ha	15,0	20,0	18,0	—	—	—
Desbrota	DH/ha	4,0	10,0	10,0	12,0	12,0	12,0
Combate a saúva	DH/ha	1,0	0,2	0,2	—	—	—
Aplicação de baysiston	DH/ha	—	9,0	9,0	—	—	—
Arruação esparramação	DH/ha	—	—	55,0	—	—	—
Colheita	DH/ha	—	—	75,0	83,0	125,0	167,0
Beneficiamento	saca/ha	—	—	24,0	40,0	60,0	80,0
Secagem	DH/ha	—	—	12,0	20,0	30,0	40,0
Limpeza para colheita	DH/ha	—	—	—	3,0	3,0	3,0
Transporte	%	—	—	—	10,0	10,0	10,0
Total hora-máquina	HM/ha	18,0	0,0	0,0	6,0	7,0	8,0
Total dia-homem	DH/ha	288,0	116,2	238,2	135,0	190,0	245,0
Total de serviço por saca	saca/ha	—	—	24,0	40,0	60,0	80,0
Transporte	%	—	—	—	10,0	10,0	10,0

A Tabela 20 não contém informações referentes as necessidades de mão-de-obra (serviços) para manutenção e operação dos sistemas de irrigações. Estes dados estão apresentados na Tabela 49 do capítulo Resultados e Discussão. A determinação da mão-de-obra utilizada anualmente nas irrigações somente foi possível após o cálculo do tempo necessário para realização das irrigações nos manejos 1 a 6 (Tabela 18). Os dados

referentes à demanda horária de mão-de-obra nos sistemas pivô central e gotejamento basearam-se nas informações apresentados por Melo (1993).

3.4.3.1 Dados para realização do teste de aderência e determinação dos parâmetros estatísticos

As informações e séries utilizadas na realização do teste de aderência e conseqüente determinação dos parâmetros estatísticos dos indicadores econômicos dos itens de custo fixo e variável, foram obtidos junto aos agricultores, pesquisadores, técnicos e também através de pesquisa na extensa bibliografia existente (livros, boletins, periódicos, anuários estatísticos, relatórios de atividade, CD-ROM e sites na internet). O termo indicador econômico é utilizado para especificar os valores inicial, residual, manutenção e vida útil dos itens que participaram do custo de produção

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, depois foram convertidos para o dólar comercial médio do mesmo mês. A taxa de câmbio oficial do mês de setembro é de R\$ 1,84 para a compra de US\$ 1,00. As únicas exceções foram as tarifas de água, energia elétrica e diesel, que foram convertidos com base no dólar comercial médio do mês de abril de 2000. A taxa de câmbio oficial média de abril é de R\$ 1,77 para a compra de US\$ 1,00. O motivo das exceções deve-se a data de reajuste das tarifas de energia elétrica, que nos últimos anos, vêm sendo realizada anualmente com data base no mês de abril.

As séries mensais de preço do café, utilizada nas análises, foram fornecidas pela Cooperativa Regional dos Cafeicultores de São Sebastião do Paraíso (COOPARAÍSO) e Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA). O tratamento do valor monetário das referidas séries foi igual ao realizado para o “valor inicial” dos itens de custo variável e fixo, vistos no parágrafo anterior.