

EMIXCEL GUERRA GONZÁLEZ

RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO VERDE GRANDE -  
UMA OTIMIZAÇÃO CONFORME A ÉPOCA DE PLANTIO  
DAS CULTURAS IRRIGADAS

Tese Apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como Parte das  
Exigências do Curso de Meteorologia  
Agrícola, para Obtenção do Título  
de "*Magister Scientiae*".

T  
551.7  
Q217  
1703  
04.03

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
FEVEREIRO - 1995

BIBLIOTECA  
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

G934r  
1995

Guerra González, Emixcel, 1967-  
Recursos hídricos da Bacia do Rio Verde  
Grande - uma otimização conforme a época de  
plantio das culturas irrigadas/ Emixcel Guer-  
ra González. - Viçosa : UFV, 1995.  
64p. : il.

Orientador: Adil Rainier Alves.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Fede-  
ral de Viçosa.

1. Recursos hídricos - Otimização. 2. Ver-  
de Grande, Rio, Bacia (MG) - Recursos hídri-  
cos - Otimização. 3. Verde Grande, Rio, Ba-  
cia (MG) - Recursos hídricos - Simulação. 4.  
Cultivo irrigado - Plantio - Época. 5. Eva-  
potranspiração. I. Universidade Federal de  
Viçosa. II. Título.


CDD. 18. ed. 630.25157  
CDD. 19. ed. 630.25157

EMIXCEL GUERRA GONZÁLEZ

RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO VERDE GRANDE -  
UMA OTIMIZAÇÃO CONFORME A ÉPOCA DE PLANTIO  
DAS CULTURAS IRRIGADAS

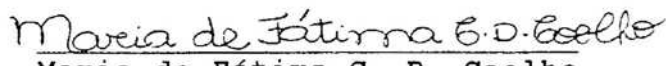
Tese Apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como Parte das  
Exigências do Curso de Meteorologia  
Agrícola, para Obtenção do Título  
de "*Magister Scientiae*".

APROVADA: 16 de Agosto de 1994

  
Márcio Mota Ramos  
(Conselheiro)

  
Ricardo Seixas Brites  
(Conselheiro)

  
Marcos Heil Costa

  
Maria de Fátima C. D. Coelho

  
Adil Rainier Alves  
(Orientador)

BIBLIOTECA  
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

Aos meus pais,

"Belisário e Waldestrudis".

Às minhas irmãs,

"Arebys, Janeth e Glenda".



## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pelos conhecimentos adquiridos.

À CAPES, pelo auxílio financeiro, que tornou possível a realização deste curso.

Ao Professor Marcos Heil Costa, pela orientação, amizade e confiança.

Aos Professores Adil Rainier Alves, Márcio Mota Ramos e Ricardo Seixas Brites, pelas sugestões oportunas para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos transmitidos.

À Edna, Fernanda e aos demais funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pela colaboração e presteza.

Ao DNAEE, pelo fornecimento dos dados.

Aos meus pais, pela minha inteligência e determinação.

Enfim, a todos os que contribuíram, de uma forma ou outra para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

Emixcel Guerra González, filho de Belisário Guerra González e Waldestrudis González Nuñez, nasceu em David, Província de Chiriquí - República do Panamá, em 16 de abril de 1967. Coursou o primeiro grau na "Escuela de Sortová" (1973 - 1978); o segundo grau no "Colegio Daniel Octávio Crespo" - La Concepción e Instituto Nacional de Agricultura "Dr. Augusto Samuel Boyd" (1979 - 1984).

Em 1985, ingressou no curso de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, finalizando-o em dezembro de 1990.

Em abril de 1992, iniciou o Curso de Mestrado em Meteorologia Agrícola na mesma instituição, finalizando-o em agosto de 1994.

## CONTEÚDO

	Página
EXTRATO.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. O Problema.....	1
1.2. Objetivos.....	5
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	7
2.1. Caracterização da Região Estudada.....	7
2.2. Modelo de Otimização.....	10
2.3. Modelo Hidrológico para Vazões Mínimas.....	12
2.3.1. Dados Fluviométricos.....	15
2.3.1.1. Extrapolação da Série de dados de Ponte de Rodagem.....	19
2.3.2. Modelo para Regionalização Decendial de Vazões Mínimas após a Regularização pela Barragem.....	21
2.4. Parâmetros de Entrada do Modelo de Otimização.....	23
2.4.1. Cálculo da Evapotranspiração Potencial da Cultura (ETPc).....	23
2.4.2. Coeficiente de Cultura (Kc).....	25
2.4.3. Caracterização das Microbacias.....	26
2.5. Parametrização da Simulação.....	31
2.6. Área Máxima Irrigável.....	34
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
3.1. Análise da Variação Anual da ETo.....	36
3.2. Análise da Variação de Kc Conforme a Época de Plantio.....	39
3.3. Análise de Vazões sem Irrigação em Alguns Cursos d'água.....	41
3.4. Análise das Vazões com Irrigação.....	45
3.4.1. Algodão.....	45
3.4.2. Feijão.....	45

3.4.3. Milho.....	46
3.4.4. Análise Geral.....	48
3.5. Vazão Específica para Irrigação.....	50
3.6. Considerações Finais.....	52
4. RESUMO E CONCLUSÕES.....	56
BIBLIOGRAFIA.....	59
APÊNDICES.....	61
Apêndice A.....	62
Apêndice B.....	64

## EXTRATO

Guerra González, Emixcel, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 1995. Recursos Hídricos da Bacia do Rio Verde Grande - Uma Otimização Conforme a Época de Plantio das Culturas Irrigadas. Professor Orientador: Adil Rainier Alves. Professores Conselheiros: Márcio Mota Ramos e Ricardo Seixas Brites.

A região norte do Estado de Minas Gerais possui características climáticas adequadas para o desenvolvimento das atividades agrícolas, desde que supridas as deficiências de água artificialmente. Em anos anteriores, o rio Verde Grande teve sua vazão, em alguns trechos, reduzida a zero, ao se intensificar a agricultura irrigada na região, deixando os irrigantes a jusante, sem o precioso recurso necessário para o desenvolvimento dos cultivos. Diversas são as formas de solucionar este problema, embora nem sempre a solução seja adequada para a região, tendo em vista suas características físicas e socioeconômicas. Em face dos problemas surgidos por causa da escassez d'água, agravados com o clima semi-árido da região, tentou-se

equacionar o problema por meio de simulações dos efeitos da variação das épocas de plantio das culturas irrigadas na vazão dos cursos d'água da bacia do Rio Verde Grande e provar a tese de que é possível aumentar a oferta de água nos rios apenas controlando a época de plantio em cada área irrigada. O estudo limitou-se às culturas de feijão, algodão e milho, por serem os cultivos mais importantes na região. Foram simuladas oito, quatro e cinco épocas de plantio para o feijão, algodão e milho, respectivamente. Estudaram-se dois níveis de probabilidade de ocorrência (20 e 50%) das variáveis hidroclimatológicas envolvidas e, dentro de cada um, duas metodologias para o cálculo da vazão mínima no período de otimização considerado (mês de julho).

Otimizando a vazão no mês de julho, as épocas de plantio recomendadas, pelo modelo, para algodão, milho e feijão foram: sexto decêndio (21/02), oitavo decêndio (11/03) e décimo nono decêndio (01/07), respectivamente.

Concluiu-se que as causas mais importantes para a variação da época de plantio, que otimiza o uso do recurso hídrico, foram, em ordem decrescente de importância, a variação do coeficiente de cultura, a variação da vazão mínima e a variação da evapotranspiração potencial.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. O Problema

O Brasil possui, em volume d'água, a maior rede hidrográfica do mundo, no entanto, verifica-se que os recursos hídricos não são distribuídos eqüitativamente nas diferentes regiões brasileiras. Nas Regiões Sul e Sudeste, predomina o clima úmido; no Centro-Oeste, estações de chuva bem definidas e, na maior parte da Região Nordeste, o semi-árido.

A utilização adequada dos recursos naturais é uma imposição cada vez mais necessária, pois, à medida que sua demanda aumenta, reduz-se sua disponibilidade, elevando seus custos.

A água assume grande importância nesse contexto, uma vez que se deve esperar, para o futuro, reduções de quantidade e qualidade, exigindo medidas efetivas para assegurar seu uso adequado.

Nos últimos anos, o uso conflitivo da água vem despertando interesse no meio científico, uma vez que o surgimento desses conflitos é decorrência do progresso. Portanto faz-se necessário o planejamento do uso da água, sem esperar a ocorrência de situações caóticas. Tanto para satisfazer uma demanda crescente quanto para o planejamento de recursos hídricos, é necessário conhecer o comportamento das vazões das bacias hidrográficas envolvidas (TINOCO, 1979).

A vazão em uma bacia hidrográfica é o resultado da ação das chuvas que precipitam sobre ela, influenciadas pelas características físicas da região (área de captação, relevo, rede de drenagem, declividade, cobertura vegetal e natureza dos solos das bacias) que condicionam, no tempo e no espaço, a relação entre precipitação e vazão (TINOCO, 1979).

A bacia do Rio Verde Grande, com área aproximada de 32.110km<sup>2</sup>, localizada no norte do Estado de Minas Gerais, de clima semi-árido, tem um elevado potencial agrícola (temperaturas elevadas, baixa nebulosidade, solos pouco intemperizados), desde que as deficiências hídricas sejam supridas artificialmente. Esta região vem se destacando, na última década, pelo aproveitamento desse potencial, principalmente após o incentivo do governo à agricultura irrigada.

Os tributários do Verde Grande, em sua quase totalidade, são rios intermitentes ou efêmeros. Deve-se destacar que, embora vários cursos d'água da região sejam naturalmente intermitentes, outros podem apresentar este



regime em alguns trechos por causa do intenso uso de água na região.

O caso mais grave de intermitência de rios ocorreu com o Verde Grande, que secou nos períodos mais críticos em alguns trechos durante alguns anos, por causa do excesso de bombeamento de água para irrigação. Entretanto, o grande excedente da safra brasileira de grãos no ano agrícola 1991/92 fez com que os preços caíssem abaixo do custo de produção, desestimulando a produção irrigada na safra de inverno de 1992, o que manteve o Rio Verde Grande perene no referido ano (FALÊNCIA...,1992). Mas, em anos de preços agrícolas normais, a falta de água e custo elevado da produção poderão tornar inviáveis os projetos de irrigação já instalados na bacia do Rio Verde Grande.

São inúmeros os modelos existentes para o planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, conforme Barth e colaboradores, citado por SILVA (1989), em cujas obras são analisadas bacias hidrográficas e reservatórios artificiais de acordo com o destino e com as peculiaridades da região.

Na região do Gortuba os problemas de abastecimento de água para irrigação e para a população foram solucionados, em parte, pela construção de uma barragem de regularização da vazão do rio no trecho denominado Bico da Pedra.

A construção da barragem do Bico da Pedra e, posteriormente, a implantação do perímetro irrigado do Gortuba (1978) foram outros fatores de incentivo à irrigação na região, propiciando um significativo efeito de demonstração de tecnologia.

A água armazenada pela barragem, além da função de

perenizar o rio Gorutuba, está destinada a outros fins, como o abastecimento da cidade de Janaúba (300 l/s) e dos perímetros de irrigação, que atualmente abrangem 10.000 ha, com um consumo aproximado de 12 m<sup>3</sup>/s. Para fins de regularização, é liberada uma vazão entre 1,4 e 2,5 m<sup>3</sup>/s (SILVA, 1989).

É evidente que, numa região semi-árida, onde boa parte dos cursos d'água são intermitentes, uma vazão de tal magnitude é de fundamental importância, principalmente ao se considerarem vazões mínimas.

Segundo o secretário da Organização dos Usuários da Bacia do Rio Verde Grande (Ourverde), seria necessária a construção de 16 barragens para suportar a vazão requerida pelos sistemas de irrigação instalados, que consumiriam por sua vez o dobro da vazão do rio no período da seca (FALÊNCIA...,1992). Entretanto, seria uma solução inviável para aquela região de topografia suave, pois a área inundada seria muito grande em relação ao volume de água armazenado.

COSTA (1991) apresentou uma alternativa para solucionar o problema, ou seja, a implementação de um modelo de simulação do impacto, em que diferentes épocas de plantio seriam adotadas pelos irrigantes da bacia do rio Verde Grande, na época mais seca do ano. Em outras palavras, o modelo consiste em determinar, pelo método das tentativas, a combinação de épocas de plantio que resultam num menor consumo de água de irrigação, otimizando o uso da vazão do rio na época seca. O modelo mostrou-se sensível aos parâmetros de entrada testados, porém

encontraram-se dificuldades por causa da complexidade da bacia simulada. O mesmo autor desenvolveu, posteriormente, uma versão mais aprimorada do modelo, que passou a receber o nome de EPLAN, ficando mais flexível e mais poderoso, permitindo assim simulações mais realísticas.

Espera-se que o uso do EPLAN permita obter informações que auxiliem no manejo dos recursos hídricos de regiões com alta concentração de áreas irrigadas, contribuindo no todo ou em parte para a solução deste tipo de problema.

## 1.2. Objetivos

Com base no exposto, este trabalho tem por objetivos:

### (a) Geral

Utilizando-se o modelo EPLAN para estudar o caso da bacia do rio Verde Grande, comprovar a tese de que é possível aumentar a disponibilidade de recursos hídricos para irrigação, apenas orientando os agricultores para plantarem nas épocas mais adequadas.

### (b) Específicos

Para se atingir o objetivo anterior, é necessário alcançar algumas metas intermediárias, quais sejam:

- Desenvolver um submodelo hidrológico para vazões mínimas, a fim de orientar o modelo principal de simulação.
- Obter dados de entrada do modelo (evapotranspiração potencial, coeficiente de cultura, características físicas da bacia hidrográfica etc.).
- Simular o funcionamento da bacia em questão com diferentes combinações dos parâmetros de entrada.

- Quantificar os resultados obtidos com relação às épocas de plantio.
- Produzir recomendações técnicas a respeito da área máxima irrigável em cada ponto da bacia do rio Verde, Grande conforme a disponibilidade de recursos hídricos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização da Região Estudada

Do ponto de vista hidrográfico, a região é parte integrante da bacia do rio São Francisco.

O rio Verde Grande tem suas nascentes no município de Montes Claros na altitude de 960 m. Apresenta um desenvolvimento longitudinal de 557 km e nos primeiros 487 km possui uma orientação predominante na direção sul-norte até receber, pela margem direita, o rio Verde Pequeno. A partir daí, seu curso toma o sentido oeste, servindo como divisa entre os Estados de Minas Gerais e Bahia, até desaguar na margem direita do rio São Francisco numa altitude inferior a 440 m, conforme representado nas Figuras 1 e 2 (FUNDAÇÃO CETEC, 1992).

A área de drenagem total da bacia é de 32.110 km<sup>2</sup>, dos quais 28.135 km<sup>2</sup>, correspondentes a 87,6% da área total, encontram-se em território mineiro. No Estado da Bahia, o rio Verde Grande drena uma superfície aproximada de 3.975 km<sup>2</sup>, que corresponde a 12,4% de sua área total, conforme a Figura 2 (FUNDAÇÃO CETEC, 1992).

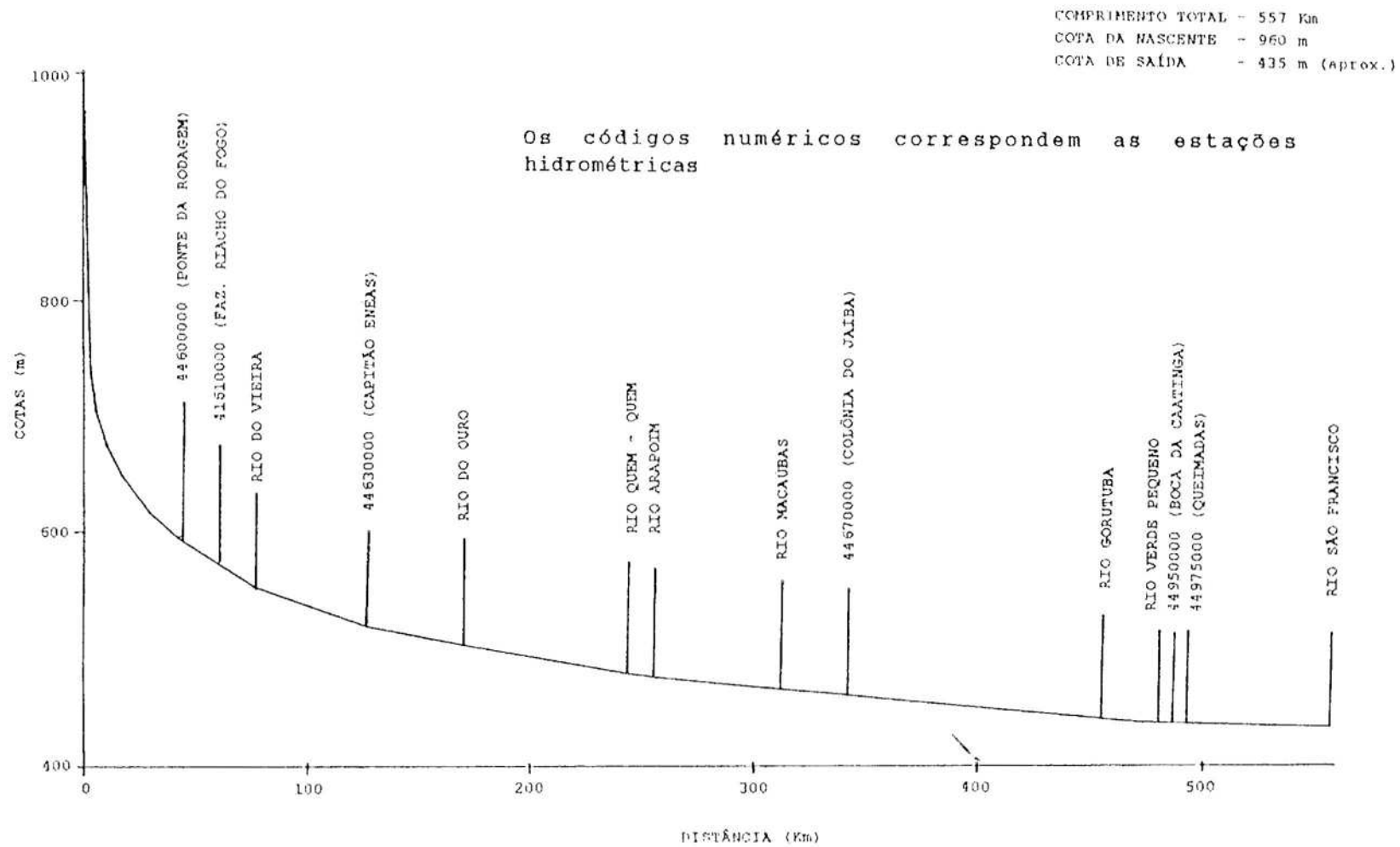


FIGURA 1 - Perfil Longitudinal do Rio Verde Grande.

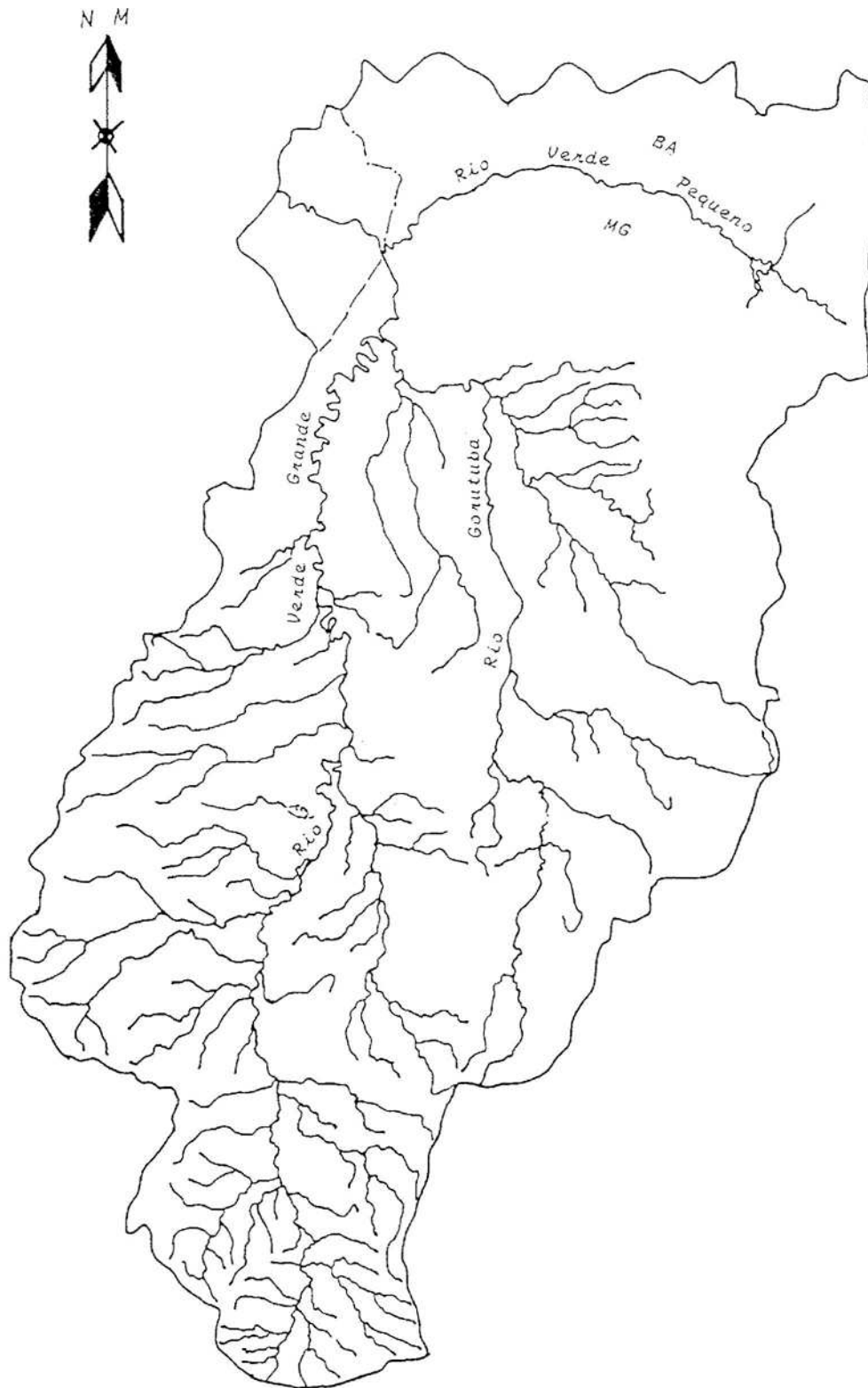


FIGURA 2 - Mapa Esquemático da Bacia do Rio Verde Grande.

## 2.2. Modelo de Otimização

O modelo EPLAN consiste em determinar o consumo d'água num trecho de rio, para fins de irrigação, conforme as épocas de plantio das culturas irrigadas, de modo que o consumo do recurso hídrico de superfície para tal fim seja mínimo, e recurso otimizado.

A estrutura de dados mais adequada para representar uma bacia hidrográfica é a árvore binária, que é um conjunto finito de um ou mais nodos e que consiste de uma raiz e de árvores binárias separadas, denominadas subárvore esquerda e subárvore direita (HOROWITZ e SAHNI, 1986).

No modelo EPLAN, cada nodo é um trecho de curso d'água entre dois afluentes e, subindo o rio, cada confluência determina a criação de mais duas árvores, uma que corresponde ao novo trecho do rio anterior e a outra, ao afluente. Os nodos terminais, ou folhas, são os trechos de curso d'água que começam em sua nascente. O caminhamento dessa árvore, para a totalização das vazões, tem de ser feito no sentido das folhas para a raiz (de montante para jusante), sendo necessário o conhecimento da vazão das duas subárvores (afluentes) para se conhecer a vazão da raiz (COSTA, 1991).

Para atender às necessidades do modelo, COSTA (1991) substituiu o conceito de propriedade pelo conceito de célula, definindo a mesma como a extensão de terra totalmente cultivada e irrigada que satisfaz as seguintes condições:

(a) em cada célula é cultivada apenas uma cultura, que é plantada na mesma época das outras;



(b) cada célula tem o mesmo tipo de solo, no que se refere à água disponível por unidade de profundidade de solo; e  
(c) cada célula é irrigada pelo mesmo sistema de irrigação ou por sistemas diferentes, que tenham a mesma eficiência de irrigação.

O modelo dá prioridade ao fornecimento de água às células de acordo com a sua posição no curso d'água, isto é, quanto mais à montante estiver a célula, maior será sua prioridade.

Para o perfeito funcionamento do modelo são necessários diversos parâmetros de entrada. Basicamente os arquivos de dados a serem fornecidos ao modelo são sete, listados a seguir. Esses arquivos contêm informações diversas, tais como dados de evapotranspiração potencial da cultura (ETP-id.EPL), dados de coeficiente de cultura (KC--id.EPL), dados fluviométricos (FLU-id.EPL), dados contendo informações da árvore binária da bacia em estudo (ARV-id.EPL), dados inerentes à cultura a ser simulada (CUL-id.EPL), dados a respeito de como é feita a subdivisão do ano em períodos (PER-id.EPL); e um arquivo contendo informações que personalizam a simulação (USUÁRIO.EPL). As letras "id" correspondem à identificação da simulação; por exemplo: ETP-01.EPL é o arquivo que contém os dados de evapotranspiração correspondentes à simulação identificada por "01". No apêndice A, encontram-se maiores detalhes sobre a estrutura dos arquivos de entrada.

O modelo permite duas metodologias para a determinação da vazão que será utilizada para a otimização. O período de otimização é definido pelas variáveis

PerIniVaz e PerFimVaz, que correspondem, respectivamente, aos períodos inicial e final utilizados para o cálculo da vazão ótima. A primeira metodologia seleciona a combinação de épocas de plantio que gera a maior vazão final mínima do curso d'água no período a ser considerado para a otimização (de PerIniVaz até PerFimVaz), chamada de maior vazão mínima. A segunda seleciona a combinação de épocas de plantio que leva a uma maior média de vazões finais no curso d'água, considerando o período estudado (de PerIniVaz até PerFimVaz) e é chamada de vazão mínima média.

Na primeira metodologia, a vazão escolhida para a otimização será a maior vazão ocorrida no intervalo anteriormente especificado. A segunda metodologia seleciona a média das vazões calculadas no período estudado.

As épocas de plantio mais precoce e mais tardia são também dados de entrada. Assim, as épocas de plantio possíveis dentro do intervalo considerado dependerão da cultura a ser simulada, de acordo com a duração do ciclo da cultura. Dentro do período considerado todas as épocas de plantio possíveis são testadas, escolhendo-se a que promover o menor consumo d'água no trecho de rio, no período considerado para otimização.

### 2.3. Modelo Hidrológico para Vazões Mínimas

A rede hidrométrica da bacia do Verde Grande é constituída por um total de 15 estações entre as extintas e as ainda em operação. A bacia apresenta baixa densidade de estações, se forem considerados a área de drenagem total

(32.110 km<sup>2</sup>) e o uso intensivo dos recursos hídricos para irrigação. A densidade de pontos de amostragem fluviométrica na bacia é da ordem de 0,31 pontos por 1000 km<sup>2</sup> e, ao se considerarem apenas as estações em operação, esse número cai para 0,19 (FUNDAÇÃO CETEC, 1992).

Além da baixa densidade da rede, as séries históricas de informações hidrológicas não são, em sua maioria, homogêneas, e, das 15 estações, apenas 10 possuem mais de 10 anos de observação (FUNDAÇÃO CETEC, 1992).

Para suprir a deficiência da rede hidrométrica no Brasil, tem-se utilizado a técnica de regionalização hidrológica, que tem apresentado resultados satisfatórios (ELETROBRÁS, 1985).

Fill (1987), citado por EUCLYDES (1992), define regionalização hidrológica como qualquer processo de transferência de informações das estações plúvio e fluviométricas para outros locais, em geral sem observações. Essas transferências podem abranger diretamente as séries de vazões ou precipitações ou determinados parâmetros estatísticos relevantes, tais como média, variância, máximos e mínimos, ou, ainda, equações e parâmetros relacionados com estas estatísticas.

Em sentido mais restrito, a regionalização hidrológica significa apenas as duas últimas formas de transferência, isto é, equações e parâmetros relacionados com as estatísticas, sendo suficientes para se obterem resultados em qualquer ponto da bacia. A transferência de séries de vazões ou precipitações é denominada, simplesmente, "transferência de informações" e se restringe a locais

particulares (EUCLYDES, 1992).

As vazões mínimas são geralmente utilizadas nos cálculos de projetos de demanda hídrica, tais como consumo residencial, indústrias, irrigação etc., e freqüentemente estão associadas a um período de retorno.

O período de retorno ou de recorrência é definido como o intervalo de tempo médio (em anos), em que um evento de uma grandeza qualquer poderá ser igualado ou superado pelo menos uma vez.

Para a seleção dos períodos de retorno a serem utilizados em estudo de regionalização hidrológica, um fator importante é o comprimento, em anos, da série de dados disponíveis. Não é recomendado estimar um evento com tempo de retorno superior ao comprimento da série que serve de base para a obtenção dessa informação.

De maneira geral, cada termo da citada série corresponde à menor vazão observada durante o ano (um único valor por ano). Entretanto, esta metodologia desperdiça o recurso hídrico no período do ano em que a vazão do rio é maior que a mínima.

Na análise das vazões, cada mês foi dividido em três períodos (decêndios), sendo os dois primeiros de dez dias e o terceiro, entre oito e onze dias, conforme o mês. Estes períodos foram ordenados de um a 36, sendo o decêndio número um equivalente aos primeiros dez dias de janeiro.

Dos registros diários de vazões fornecidos pelo DNAEE, selecionou-se, para compor a série hidroclimatológica, a menor vazão observada naquele período em determinado ano.

Determinaram-se, pois, as vazões mínimas para cada

decêndio do ano, para os pontos da bacia do rio Verde Grande, onde eram feitas medições para os períodos de retorno de dois e cinco anos (50% e 20% de probabilidade, respectivamente). As 36 séries decendiais resultantes foram utilizadas posteriormente no ajuste do modelo de vazões mínimas.

### 2.3.1. Dados Fluviométricos

Nos Quadros 1 e 2 estão relacionadas as 15 estações hidrométricas que compõem a rede na bacia do Verde Grande, com seus respectivos códigos numéricos, áreas de drenagem e anos de observação no período de 1969 a 1988. A localização das estações na bacia está representada na Figura 3.

Como a regularização promovida pela barragem do Bico da Pedra foi significativa na região, no caso das estações à jusante da barragem (44750000, 44750001, 44950000, 44950001 e 44975000), só poderão ser considerados os dados após o enchimento do citado reservatório (1978). Assim, as estações 44750001, 44950001 e 44975000 foram descartadas. O córrego Serra Branca, no local onde está instalada a estação 44780000, aparentemente possui um leito móvel, o que faz variar a área da sua seção reta, dificultando o ajuste da curva chave, motivo pelo qual a estação não pôde ser aproveitada. A estação de Ponte da Rodagem (44600000) encerrou operações após novembro de 1980. As estações de Fazenda Riacho do Fogo (44610000), Capitão Enéas (44630000 e 44630001), Mato Verde (44790000) e Urandí (44850000), por sua vez, não possuem séries suficientemente longas e

QUADRO 1 - Estações Hidrométricas na Área em Estudo

NOME DA ESTAÇÃO	CÓDIGO	ÁREA (km <sup>2</sup> )
PONTE DA RODAGEM	44600000	720
FAZ. RIACHO DO FOGO	44610000	1138
CAPITÃO ENEAS	44630000	900
CAPITÃO ENEAS	44630001	900
COLÔNIA DO JAIBA	44650000	12300
COLÔNIA DO JAIBA	44670000	12401
COLÔNIA DO JAIBA	44670001	12300
JANAÚBA	44750000	1661
JANAÚBA	44750001	1660
SERRA BRANCA	44780000	465
MATO VERDE	44790000	---
URANDÍ	44850000	80
BOCA DA CAATINGA	44950000	30474
BOCA DA CAATINGA	44950001	30180
QUEIMADAS	44975000	31100

Fonte: BRASIL (1987)

QUADRO 2 - Anos de Observação das Estações Hidrométricas da Bacia do Rio Verde Grande no Período de 1969 a 1988

CÓDIGO/ANOS	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
44600000	#####																			
44610000							####													
44630000									####					#####						###
44630001				#####																
44650000	#####																			
44670000	#####												#####							
44670001*	#####												#####							
44750000	#####												#####							
44750001				#####																
44780000						#####														
44790000																				#####
44850000	#####																			
44950000	#####												#####							
44950001	#####												#####							
44975000	#####																			

Fonte: BRASIL (1987)

(\*) A Estação já tinha encerrado suas operações no período estudado

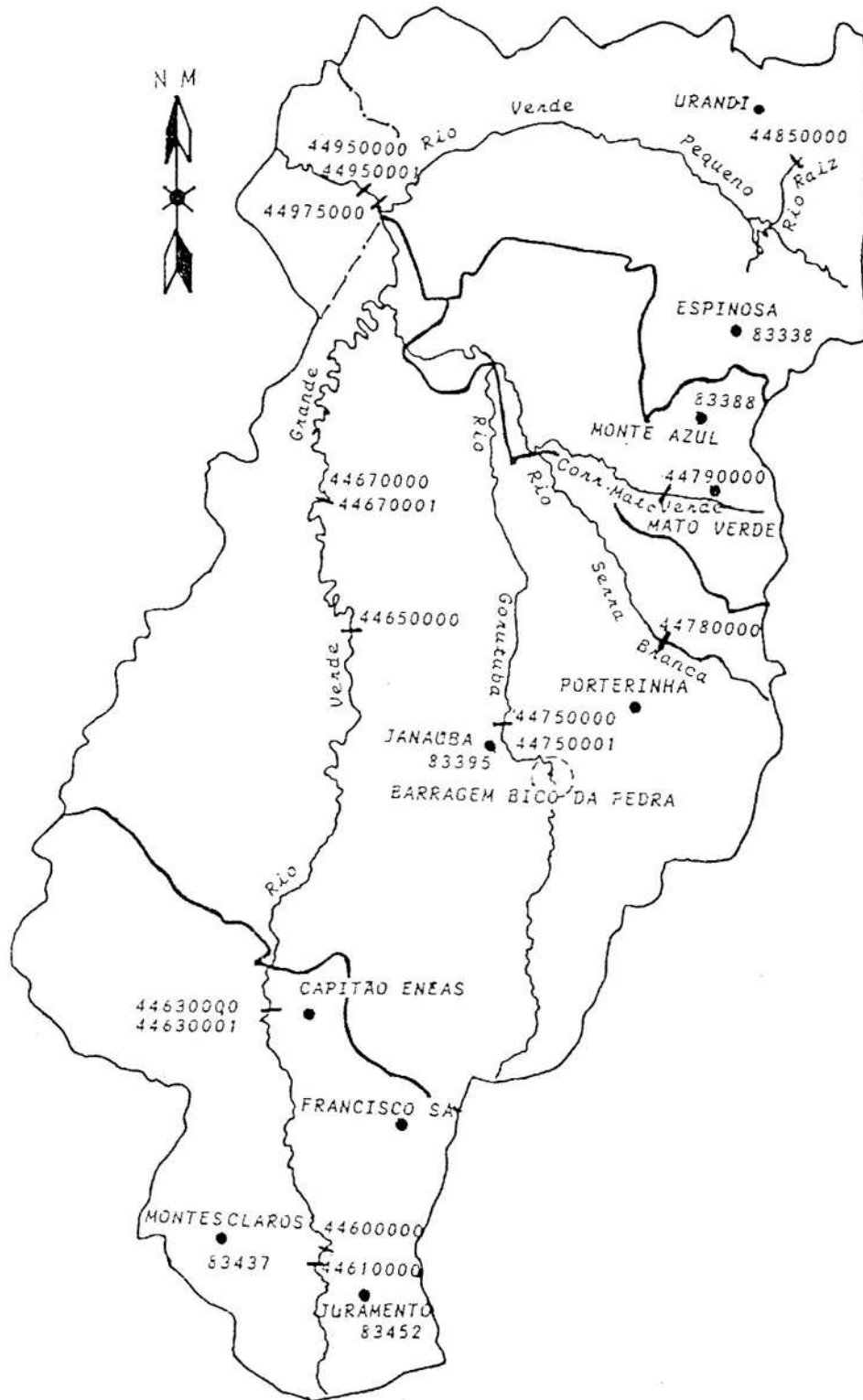


FIGURA 3 - Distribuição Espacial das Estações Hidrométricas e Climatológicas na Bacia do Rio Verde Grande.



contínuas para um ajustamento confiável da curva chave, tendo sido abandonadas também. Já a estação de Colônia de Jaíba (44650000) foi abandonada por estar muito próxima de outra (44670000), pois dois pontos com áreas similares poderiam comprometer a qualidade da regionalização das vazões em função da área.

Restam apenas três estações aproveitáveis (44670000, 44750000, 44950000), com áreas de drenagem de 12401, 1661 e 30474 km<sup>2</sup>, respectivamente.

Os modelos de regionalização de vazões que geralmente são utilizados são equações de regressão da vazão em função da área de drenagem, principalmente, podendo ser utilizadas outras características físicas da bacia.

Como a estação no rio Gorutuba (44750000) se encontra influenciada pela barragem do Bico da Pedra, os dados fornecidos por esta estação não são representativos de outras regiões da bacia do Rio Verde Grande que tenham a mesma área de drenagem. Apesar de a estação 44950000 estar também sob a influência da barragem, considerou-se o efeito da regularização promovido em Janaúba (1,4 a 2,5 m<sup>3</sup>/s) desprezível em Boca da Caatinga, com uma área de captação 18 vezes maior e vazões várias vezes maiores em geral.

Dessa maneira, sobram apenas duas estações (44670000 e 44950000) para alimentar o modelo de regressão. Entretanto, dois pares de dados (vazão x área de drenagem) são insuficientes para se fazer uma regressão e, mesmo que se parta para uma equação exata, obtida por álgebra linear, será a equação de uma reta.

A parte norte da bacia recebe menos precipitação que a



parte sul, pois seu clima é do tipo semi-árido, enquanto, na parte mais meridional, é do tipo tropical seco. Visto que o rio Verde Grande flui no sentido sul-norte, as maiores áreas de drenagem se situam ao norte da bacia, onde é mais seco. Daí se espera que o modelo preveja uma taxa de crescimento decrescente da vazão com a área de drenagem. Por essa razão, não se poderia utilizar um modelo linear, que considera uma taxa de crescimento constante. Portanto, deve-se introduzir pelo menos mais uma estação, preferencialmente com área de drenagem inferior à da estação de Colônia de Jaíba (12401 km<sup>2</sup>).

A estação mais confiável é Ponte da Rodagem (44600000), com área de drenagem de 720 km<sup>2</sup>, pois apresenta uma série longa, contínua e homogênea. Entretanto, tal estação encerrou atividades em novembro de 1980 (BRASIL, 1987). Apesar de esta estação não ser influenciada pela barragem do Bico da Pedra e, como as séries de dados utilizadas são muito pequenas, dados de diferentes estações, não coincidentes no tempo, poderiam influenciar os resultados, em função da natural variação do nível de vazão de ano para ano. Assim, tornou-se necessário estimar as vazões em Ponte da Rodagem após dezembro de 1980.

#### 2.3.1.1. Extrapolação da Série de Dados de Ponte de Rodagem

Tendo em vista o encerramento das medições na estação de Ponte da Rodagem, necessitou-se atualizar as vazões por meio de extrapolção linear, tendo como base a estação de Colônia do Jaíba.

Antes da extrapolação, os dados de Colônia do Jaíba foram submetidos a um teste de tendência temporal das vazões mínimas, a fim de verificar se as modificações introduzidas pelo homem na bacia, nos últimos anos, influenciaram a vazão no trecho até a referida estação.

A série foi submetida a uma análise de regressão linear (vazão mínima x tempo) e, em seguida, o coeficiente angular (a) foi submetido ao teste t, quando foram formuladas duas hipóteses:

$H_0$ :  $a \neq 0$ ; houve tendência da vazão no tempo (aumento ou decréscimo em função do ano).

$H_1$ :  $a=0$ ; a vazão permaneceu constante no tempo.

Uma vez que, pelo teste t, nenhum dos coeficientes decendiais diferiu significativamente de zero ao nível de 0,1 % de probabilidade, pode-se rejeitar  $H_0$ , e com isso, efetuar a extrapolação. No período de falta de dados, isto é, entre dezembro/1980 e dezembro/1987, os dados da estação de Ponte da Rodagem (44600000) foram obtidos em função dos dados da estação Colônia do Jaíba (44670000) mediante modelo obtido por regressão linear, utilizando-se dados das duas estações no período de maio/1969 a agosto/1976 (Equação 1):

$$Q_{PR} = 0,173013 + 0,0391060 \cdot Q_{CJ} \quad (r^2 = 0,76) \quad \text{eq. 1}$$

em que

$Q_{PR}$  : vazão mínima estimada em Ponte de Rodagem ( $m^3/s$ ) no período 1969 a 1976;

$Q_{CJ}$  : vazão mínima observada em Colônia do Jaíba ( $m^3/s$ ) no período 1969 a 1976.

2.3.2. Modelo para Regionalização Decendial de Vazões  
Mínimas após a Regularização pela Barragem

Dentre os modelos estudados (exponencial e quadrático) que apresentam taxa de crescimento decrescente, o exponencial não se mostrou satisfatório para alguns decêndios, originando resultados negativos de vazão, em virtude da falta de dados coletados em estações com área de contribuição próxima de zero. A menor área de contribuição dos postos de medição é 720 km<sup>2</sup>. Assim, optou-se pelo ajuste quadrático passando pela origem, isto é, a constante de regressão é igual a zero, ganhando-se assim um grau de liberdade e satisfazendo a condição teórica do submodelo hidrológico: para área zero, tem-se vazão zero.

Os coeficientes do modelo quadrático para períodos de retorno de 2 e 5 anos (50% e 20% de probabilidade, respectivamente), conforme a Equação 2, estão apresentados no Quadro 3.

$$Q = A.X + B.X^2 \quad \text{eq. 2}$$

em que

Q : vazão mínima estimada no decêndio considerado  
(m<sup>3</sup>/s);

A e B : coeficientes de regressão;

X : área de drenagem da bacia (km<sup>2</sup>).

Definido o submodelo hidrológico, conforme a Equação 2, definiram-se as expressões para o cálculo das vazões nos

QUADRO 3 - Coeficientes Decendiais do Modelo Quadrático para os Períodos de Retorno de 2 e 5 anos (50% e 20% de Probabilidade, Respectivamente)

PERÍODO DE RETORNO	2 ANOS		5 ANOS	
PROBABIL.	50 %		20%	
DECÊNIO	A	B	A	B
1	$2,16723 \times 10^{-3}$	$-2,09303 \times 10^{-8}$	$8,10038 \times 10^{-4}$	$-1,13969 \times 10^{-8}$
2	$3,82465 \times 10^{-3}$	$-8,15521 \times 10^{-8}$	$1,12581 \times 10^{-3}$	$-2,06802 \times 10^{-8}$
3	$2,83431 \times 10^{-3}$	$-1,04068 \times 10^{-8}$	$4,51355 \times 10^{-4}$	$-6,33708 \times 10^{-9}$
4	$2,77453 \times 10^{-3}$	$7,48995 \times 10^{-9}$	$3,14941 \times 10^{-4}$	$-4,80117 \times 10^{-9}$
5	$1,82127 \times 10^{-3}$	$-3,98099 \times 10^{-9}$	$3,09940 \times 10^{-4}$	$3,82589 \times 10^{-9}$
6	$1,80118 \times 10^{-3}$	$-2,35306 \times 10^{-9}$	$2,35092 \times 10^{-4}$	$-1,98754 \times 10^{-9}$
7	$1,74771 \times 10^{-3}$	$-3,06393 \times 10^{-8}$	$3,57421 \times 10^{-4}$	$-7,59450 \times 10^{-9}$
8	$1,40529 \times 10^{-3}$	$-2,96339 \times 10^{-8}$	$9,29160 \times 10^{-4}$	$-2,45756 \times 10^{-8}$
9	$1,56503 \times 10^{-3}$	$-1,45248 \times 10^{-8}$	$1,04354 \times 10^{-3}$	$-2,31491 \times 10^{-8}$
10	$1,66288 \times 10^{-3}$	$-2,23020 \times 10^{-9}$	$3,57414 \times 10^{-4}$	$-1,91993 \times 10^{-9}$
11	$1,61206 \times 10^{-3}$	$-6,59259 \times 10^{-9}$	$4,43827 \times 10^{-4}$	$-7,02698 \times 10^{-9}$
12	$1,39451 \times 10^{-3}$	$-2,68038 \times 10^{-8}$	$4,62795 \times 10^{-4}$	$-8,56447 \times 10^{-9}$
13	$1,24016 \times 10^{-3}$	$-2,66926 \times 10^{-8}$	$3,50057 \times 10^{-4}$	$-6,99760 \times 10^{-9}$
14	$1,12046 \times 10^{-3}$	$-2,41653 \times 10^{-8}$	$3,20760 \times 10^{-4}$	$-5,86411 \times 10^{-9}$
15	$9,34956 \times 10^{-4}$	$-1,93714 \times 10^{-8}$	$2,83721 \times 10^{-4}$	$-5,33810 \times 10^{-9}$
16	$1,05909 \times 10^{-3}$	$-2,37239 \times 10^{-8}$	$4,22668 \times 10^{-4}$	$-9,67900 \times 10^{-9}$
17	$9,21962 \times 10^{-4}$	$-2,03394 \times 10^{-8}$	$3,82661 \times 10^{-4}$	$-8,29766 \times 10^{-9}$
18	$8,67956 \times 10^{-4}$	$-1,92244 \times 10^{-8}$	$3,32826 \times 10^{-4}$	$-6,63044 \times 10^{-9}$
19	$8,17867 \times 10^{-4}$	$-1,83294 \times 10^{-8}$	$3,35682 \times 10^{-4}$	$-6,86197 \times 10^{-9}$
20	$6,90947 \times 10^{-4}$	$-1,53498 \times 10^{-8}$	$3,42942 \times 10^{-4}$	$-7,56746 \times 10^{-9}$
21	$6,54635 \times 10^{-4}$	$-1,44276 \times 10^{-8}$	$2,96742 \times 10^{-4}$	$-5,91381 \times 10^{-9}$
22	$6,10847 \times 10^{-4}$	$-1,32602 \times 10^{-8}$	$3,10550 \times 10^{-4}$	$-6,66409 \times 10^{-9}$
23	$5,41028 \times 10^{-4}$	$-1,18741 \times 10^{-8}$	$3,01516 \times 10^{-4}$	$-6,95335 \times 10^{-9}$
24	$5,49698 \times 10^{-4}$	$-1,28369 \times 10^{-8}$	$2,77824 \times 10^{-4}$	$-6,22892 \times 10^{-9}$
25	$5,15889 \times 10^{-4}$	$-1,17276 \times 10^{-8}$	$3,17690 \times 10^{-4}$	$-7,01130 \times 10^{-9}$
26	$5,88325 \times 10^{-4}$	$-1,45348 \times 10^{-8}$	$2,65803 \times 10^{-4}$	$-5,17124 \times 10^{-9}$
27	$5,94610 \times 10^{-4}$	$-1,43910 \times 10^{-8}$	$2,00362 \times 10^{-4}$	$-3,67780 \times 10^{-9}$
28	$7,20696 \times 10^{-4}$	$-1,80862 \times 10^{-8}$	$3,10721 \times 10^{-4}$	$-7,23823 \times 10^{-9}$
29	$5,94105 \times 10^{-4}$	$-1,39276 \times 10^{-8}$	$2,75540 \times 10^{-4}$	$-6,07107 \times 10^{-9}$
30	$5,55647 \times 10^{-4}$	$-1,17883 \times 10^{-8}$	$3,07318 \times 10^{-4}$	$-7,42364 \times 10^{-9}$
31	$5,98690 \times 10^{-4}$	$-1,26029 \times 10^{-8}$	$2,37091 \times 10^{-4}$	$-4,54794 \times 10^{-9}$
32	$5,91967 \times 10^{-4}$	$-1,22855 \times 10^{-8}$	$2,97381 \times 10^{-4}$	$-6,56362 \times 10^{-9}$
33	$5,36411 \times 10^{-4}$	$-1,02260 \times 10^{-8}$	$3,86325 \times 10^{-4}$	$-7,83436 \times 10^{-9}$
34	$9,40810 \times 10^{-4}$	$-2,22929 \times 10^{-8}$	$3,51412 \times 10^{-4}$	$-7,26598 \times 10^{-9}$
35	$1,40866 \times 10^{-3}$	$-1,88157 \times 10^{-8}$	$3,91999 \times 10^{-4}$	$-8,38660 \times 10^{-9}$
36	$1,15791 \times 10^{-3}$	$1,94512 \times 10^{-8}$	$5,67981 \times 10^{-4}$	$-9,90494 \times 10^{-9}$

curtos d'água com vazão regularizada, logo após a barragem, e os não regularizados, como se segue:

Se o curso d'água contiver a barragem de regularização, então a função vazão será dada por:

$$Q = q_r + (A X + B X^2) - (A X_B + B X_B^2) + QI_e + QI_d \quad \text{eq. 3}$$

se não,

$$Q = (A X + B X^2) - (A X_{MB} + B X_{MB}^2) + QI_e + QI_d \quad \text{eq. 4}$$

em que

$Q$  : vazão no trecho de rio, em  $m^3/s$ ;

$X$  : área a montante mais a área da microbacia, em  $km^2$ ;

$X_B$  : área de contribuição da barragem, em  $km^2$ ;

$X_{MB}$  : área a montante da microbacia, em  $km^2$  ;

$q_r$  : vazão regularizada liberada na barragem, em  $m^3/s$  e

$QI_e$  e  $QI_d$  : vazões dos afluentes esquerdo e direito, respectivamente. Caso a microbacia seja uma folha da árvore binária, então  $QI_e = QI_d = 0$ .

O Apêndice B mostra o trecho do programa de simulação em que é definida a função para cálculo das vazões mínimas, isto é, o submodelo hidrológico.

#### 2.4. Parâmetros de Entrada do Modelo de Otimização

##### 2.4.1. Cálculo da Evapotranspiração Potencial da Cultura (ETPc)

A Evapotranspiração Potencial de Referência (ETo) é a evapotranspiração de uma superfície extensa, totalmente coberta com grama de tamanho uniforme, com 8 a 15 cm de

altura e em fase de crescimento ativo, em um solo com ótimas condições de umidade.

A Evapotranspiração Potencial da Cultura (ETPc) é a evapotranspiração de determinada cultura quando há condições ótimas de umidade e nutrientes no solo, de modo a possibilitar a produção potencial desta cultura nas condições de campo.

A razão entre evapotranspiração potencial de uma determinada cultura (ETPc) e a evapotranspiração potencial de referência (ETo) é denominada coeficiente de cultura (Kc), isto é:

$$Kc = \frac{ETPc}{ETo} \quad \text{eq. 5}$$

Existem cinco estações climatológicas principais na bacia do rio Verde Grande, das quais quatro foram consideradas como adequadas e consistentes para o cálculo da ETo (Quadro 4). A estação de Juramento (83452) é muito recente, razão pela qual foi descartada para efeito da presente análise. Obtiveram-se dados decendiais de cada uma das estações para cada ano de série disponível.

Para o cálculo de ETo foi utilizado programa de computador, para este efeito desenvolvido, cujo algoritmo considera dois métodos de cálculo recomendados pela literatura. Quando os parâmetros para o cálculo de ETo forem suficientes, o método adotado será o de Penman modificado, descrito por SEDIYAMA (1987); em caso contrário, isto é, quando os dados disponíveis não forem

QUADRO 4 - Características das Estações Climatológicas da  
Bacia do Rio Verde Grande

Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Séries Disponíveis		
			(S)	(W)		Início	Fim	Total
82437	Montes Claros	Montes Claros	16°43'	43°52'	646	1969	1991	23
83388	Monte Azul	Monte Azul	15°09'	42°53'	604	1974	1991	21
83395	Janaúba (RuralMinas)	Janaúba	11°47'	43°18'	516	1977	1991	15
83452	Juramento	Juramento	16°47'	43°43'	750	1985	1991	07
83338	Espinosa	Espinosa	14°56'	42°49'	570	1974	1991	18

Fonte: BRASIL (1987).

suficientes, a ETo será calculada pelo método da radiação (método modificado de Makking), descrito por DOORENBOS e PRUITT (1977).

Para tornar os resultados de ETo mais consistentes, dividiu-se a região estudada em quatro sub-regiões, de acordo com as quatro estações climatológicas localizadas na área, conforme mostra a Figura 3. A ETo estimada com os dados de cada estação climatológica foi extrapolada para toda a região de domínio da estação, demarcada na Figura 3 por linhas grossas. Acredita-se que as variações de ETo entre as estações não serão significativas, pois as características climatológicas da região são bem similares.

#### 2.4.2. Coeficiente de Cultura (Kc)

DOORENBOS e PRUITT (1977) afirmam que o valor do coeficiente de cultura é afetado principalmente pelas características da cultura, pelo seu estágio de crescimento, pelo comprimento do seu ciclo e pelas condições climatológicas. Particularmente, durante o início



da estação de crescimento, a frequência das chuvas ou da irrigação é importante.

A época de plantio afeta indiretamente o coeficiente de cultura, pois tem influência no ciclo da cultura e na sua taxa de crescimento. Por esta razão, os coeficientes de cultura devem ser determinados para cada cultura, em todo seu ciclo, em cada época de plantio e em cada região (COSTA, 1991).

COSTA et alii (1992) estabeleceram uma metodologia para o cálculo decendial do Kc a partir dos valores adotados pela Cooperativa de Irrigantes do Vale do Gortuba (COVAG), que são adaptados de DOORENBOS e PRUITT (1977). Partindo desses valores e adotando a metodologia apresentada por COELHO (1978), que relaciona a duração de cada estágio com a temperatura do ar por meio de equações que estimam funções de temperatura acumuladas por período, e usando a metodologia proposta por DOORENBOS e PRUITT (1977) para a interpolação de dados de Kc dentro de um ciclo, COSTA et alii (1992) e COSTA (1992 a e b) determinaram os valores para o Kc das culturas de milho, feijão e algodão em 36 épocas de plantio no norte de Minas Gerais, conforme apresentam os Quadros 5 a 7.

#### 2.4.3. Caracterização das Microbacias

A bacia da região em estudo foi subdividida em microbacias, sendo estas delimitadas pelos divisores topográficos dos afluentes de características perenes e do



próprio rio Verde Grande. Cada trecho compreendido entre duas confluências e, ou, uma confluência e uma nascente de rio foi delimitado por um polígono chamado, neste trabalho, de microbacia, com um código de acordo com a árvore de caminhamento característica do modelo EPLAN.

A área dos polígonos foi determinada pela média aritmética de três repetições, obtidas num integrador de área foliar modelo LI-3100-ÁREA METER, disponível no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa.

Para definir a situação da vazão, isto é, regularizada ou não, utilizou-se o seguinte critério, coerente com o submodelo hidrológico (Apêndice B) : o trecho de rio logo a jusante da barragem de regularização foi considerado como regularizado e os que não se enquadram nesta situação, com vazão normal.

O número de irrigantes por microbacia foi obtido de um cadastro de irrigantes de 1987, fornecido pela CODEVASF, onde obtiveram-se outras informações, tais como tipo de irrigação e área irrigada.

Para a indicação do ponteiro a seguir pela árvore criou-se, uma estrutura para cada microbacia de acordo com a codificação característica do modelo, caracterizando cada microbacia com o código da microbacia mãe, filha esquerda, filha direita e assim sucessivamente até a raiz da árvore ou o ponto final da bacia.

QUADRO 5 - Coeficientes de Cultura para Milho Plantado em 36 Diferentes Épocas de Plantio, para o Norte do Estado de Minas Gerais

Época de Plantio (Dec.)	Duração do Ciclo da Cultura (Dias)	Decênios após o Plantio															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	110	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60					
2	110	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60					
3	120	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,95	0,80	0,60				
4	120	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,95	0,80	0,60				
5	130	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	1,15	0,95	0,80	0,60			
6	140	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	1,15	1,00	0,85	0,70	0,60		
7	140	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	1,15	1,00	0,85	0,70	0,60		
8	150	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,00	0,85	0,70	0,60	
9	160	0,35	0,50	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,00	0,85	0,70	0,60
10	160	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	0,95	0,80	0,60
11	160	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	0,95	0,80	0,60
12	160	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,10	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60
13	160	0,35	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	1,15	0,95	0,80	0,60
14	160	0,35	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	1,15	0,95	0,80	0,60
15	150	0,35	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60	
16	150	0,35	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60	
17	140	0,35	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60		
18	140	0,35	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60		
19	140	0,35	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60		
20	130	0,35	0,35	0,50	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60			
21	130	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,95	0,80	0,60			
22	130	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,95	0,80	0,60			
23	120	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60				
24	120	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,95	0,80	0,60				
25	120	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,95	0,80	0,60				
26	120	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,95	0,80	0,60				
27	120	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,95	0,80	0,60				
28	110	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60					
29	110	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60					
30	110	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60					
31	110	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60					
32	110	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60					
33	110	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60					
34	110	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60					
35	110	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60					
36	110	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,05	1,15	1,15	1,15	0,85	0,60					

Fonte: COSTA et alii (1992).



QUADRO 7 - Coeficientes de Cultura para o Algodão Plantado em 36 Diferentes Épocas de Plantio, para o Norte do Estado de Minas Gerais

Época de Plantio (Dec.)	Duração do Ciclo da Cultura (Dias)	Decêndios após o Plantio																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	160	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,01	0,92	0,83	0,74	0,65				
2	170	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,03	0,96	0,89	0,81	0,72	0,65			
3	180	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,04	0,98	0,92	0,86	0,79	0,72	0,65		
4	190	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,04	0,98	0,92	0,86	0,79	0,72	0,65		
5	190	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,03	0,96	0,89	0,81	0,72	0,65		
6	190	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,03	0,96	0,89	0,81	0,72	0,65		
7	190	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,01	0,92	0,83	0,74	0,65		
8	190	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65	
9	200	0,35	0,35	0,48	0,61	0,73	0,85	0,98	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,01	0,92	0,83	0,74	0,65
10	200	0,35	0,35	0,46	0,57	0,68	0,79	0,90	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65
11	200	0,35	0,35	0,46	0,57	0,68	0,79	0,90	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65
12	190	0,35	0,35	0,35	0,46	0,57	0,68	0,79	0,90	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,95	0,80	0,65	
13	190	0,35	0,35	0,35	0,46	0,57	0,68	0,79	0,90	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,95	0,80	0,65	
14	190	0,35	0,35	0,35	0,46	0,57	0,68	0,79	0,90	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65	
15	190	0,35	0,35	0,35	0,46	0,57	0,68	0,79	0,90	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65	
16	190	0,35	0,35	0,35	0,35	0,48	0,61	0,73	0,85	0,98	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65	
17	180	0,35	0,35	0,35	0,35	0,48	0,61	0,73	0,85	0,98	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65		
18	180	0,35	0,35	0,35	0,35	0,48	0,61	0,73	0,85	0,98	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65		
19	180	0,35	0,35	0,35	0,48	0,61	0,73	0,85	0,98	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,01	0,92	0,83	0,74	0,65		
20	170	0,35	0,35	0,35	0,48	0,61	0,73	0,85	0,98	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65			
21	170	0,35	0,35	0,35	0,48	0,61	0,73	0,85	0,98	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65			
22	160	0,35	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65				
23	160	0,35	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65				
24	160	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65				
25	150	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65				
26	150	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65				
27	150	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65				
28	150	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65				
29	150	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65				
30	150	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65				
31	150	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65				
32	150	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65				
33	150	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65				
34	150	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65				
35	150	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	0,99	0,88	0,77	0,65				
36	160	0,35	0,35	0,50	0,65	0,80	0,95	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,01	0,92	0,83	0,74	0,65				

Fonte: COSFA (1992b).

## 2.5. Parametrização da Simulação

A região de estudo caracteriza-se por ter duas épocas de plantio anualmente: uma no período chuvoso e outra no período seco, com irrigação. Considerou-se que o plantio das águas é feito a partir de primeiro de novembro. Para a presente simulação, reservou-se pelo menos o mês de outubro para a colheita da safra anterior e preparo do solo.

Foram escolhidos os períodos de 19 a 21 (mês de julho) para a otimização da vazão, por representarem bem a época mais seca na região.

Como mencionado anteriormente, este estudo restringiu-se à época mais seca do ano. Para o plantio da seca, dependendo da cultura, foram selecionadas épocas de plantio tais que a cultura não avançasse além do período 27 (último de setembro) e, além disso, deveria haver cultura no campo durante o período escolhido para otimização (mês de julho - períodos de 19 a 21), em caso contrário isso influenciaria os resultados. Dessa forma, simulou-se o consumo de água para as culturas de algodão, feijão e milho, conforme o Quadro 8.

No caso do feijão, restringiu-se o estudo a oito épocas de plantio em razão de limitações no tempo de processamento.

O modelo de simulação foi processado inicialmente com um cadastro sem irrigantes a 50 e 20% de probabilidade de ocorrência das vazões mínimas em cada período (decêndio), estimadas pelas equações de regressão obtidas a partir das vazões mínimas que constituem o submodelo hidrológico (Equação 3).

QUADRO 8 - Períodos do Ano (Decêndios) em que a Cultura Está Instalada no Campo, Conforme a Época de Plantio para as Culturas de Algodão, Feijão e Milho nas Épocas de Plantio Simuladas

Cultura	Épocas de Plantio	Decêndios																									
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27				
Algodão	6	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		
	7		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		
	8			P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		
	9				P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		
Feijão	12							P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P									
	13								P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P								
	14									P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P							
	15										P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P						
	16											P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P					
	17												P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P				
	18														P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		
19															P	P	P	P	P	P	P	P	P	P			
Milho	8			P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P								
	9				P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P							
	10					P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P						
	11						P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P					
	12							P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		

Numa segunda etapa do trabalho foram simuladas as vazões nos extremos dos trechos dos rios, desta vez com no máximo cinco irrigantes relacionados no cadastro e uma única cultura de cada vez, também a 50 e 20% de probabilidade. Utilizaram-se a média das vazões mínimas e as maiores vazões mínimas, procurando-se sempre a melhor época de plantio para cada célula irrigada. Dessa forma, conseguiu-se maior vazão disponível de água no trecho de rio, resultando num melhor uso d'água e, conseqüentemente, maior vazão a jusante do trecho simulado na época mais seca do ano, garantindo, assim, a perenização dos cursos d'água

que compõem a microbacia ou, em termos macroscópicos, a bacia como um todo, cumprindo-se o objetivo proposto no trabalho.

O Quadro 9 mostra simplificadaamente as simulações realizadas com seus diferentes períodos para o cálculo das vazões, cultura simulada, tempo de retorno (2 ou 5 anos), vazão a ser utilizada na simulação (vazão mínima média ou maior vazão mínima), resultados e algumas observações pertinentes.

QUADRO 9 - Relação das Simulações Efetuadas e Alguns Parâmetros de Entrada e Saída

Número da Simulação (id)	Cultura Simulada	Metodologia para o Cálculo da Vazão Mínima	Tempo de Retorno (Anos)	Período para Cálculo da Vazão (Decêndios)	Resultados Obtidos
01	-----	-----	2	-----	Q
02	-----	-----	5	-----	Q
03	Feijão	Maior	2	19-21	QFM/CM/VM
04	Feijão	Média	2	19-21	QFM/CM/VM
05	Algodão	Média	2	19-21	QFM/CM/VM
06	Milho	Média	2	19-21	QFM/CM/VM
07	Milho	Maior	2	19-21	QFM/CM/VM
08	Milho	Média	5	19-21	QFM/CM/VM
09	Milho	Maior	5	19-21	QFM/CM/VM
10	Algodão	Maior	2	19-21	QFM/CM/VM
11	Algodão	Média	5	19-21	QFM/CM/VM
12	Algodão	Maior	5	19-21	QFM/CM/VM
13	Feijão	Média	5	19-21	QFM/CM/VM
14	Feijão	Maior	5	19-21	QFM/CM/VM

Q : Vazão simulada sem irrigação.

QFM : Vazão simulada com irrigação na melhor época de plantio.

CM : Melhor época de plantio para cada irrigante.

VM : Vazão por célula na melhor época de plantio.

O Quadro 8 mostra o comprimento do ciclo em decêndios das culturas de algodão, feijão e milho, de acordo com a



época de plantio, simulada entre o sexto e o vigésimo sétimo decêndio. Dessa maneira puderam ser simuladas quatro, oito e cinco épocas diferentes de plantio para algodão, feijão e milho, respectivamente.

## 2.6. Área Máxima Irrigável

A área máxima irrigável foi obtida por meio da seguinte expressão:

$$Y = Q_N \cdot A \cdot E_i / V \quad \text{eq. 6}$$

em que

Y : área máxima irrigável, ha;

$Q_N$  : vazão mínima a 20 ou 50% de probabilidade de ocorrência, l/s;

A : área irrigada por célula, ha;

$E_i$  : eficiência do respectivo sistema de irrigação de acordo com os valores apresentados no Quadro 10;

V : vazão por célula na melhor época de plantio, l/s, considerando uma eficiência de aplicação de 100%.

$$V = VM \cdot E;$$

E : eficiência do sistema de irrigação por célula; e

VM : vazão por célula na melhor época de plantio, l/s.



## QUADRO 10 - Eficiência dos Sistemas de Irrigação

---

Sistema	Eficiência (%)
Inundação	30
Superfície (Sulcos)	50
Autopropelido	60
Aspersão Convencional	70
Pivô Central	80

---

Fonte: BERNARDO (1989).

FERREIRA (1993) obteve valores de eficiência dos sistemas de irrigação por sulcos e por aspersão convencional na região do Projeto Jaíba, próximo da região de estudo. Pode-se dizer que os valores do Quadro 10 aproximam-se da média dos valores obtidos experimentalmente.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Análise da Variação Anual da ETo

Por uma análise rápida dos Quadros 11, 12 e 13, percebe-se que os aumentos em porcentagem, quando se simularam os valores de ETo a 50 e 20% de probabilidade, foram pequenos, ficando entre 5,6 e 10,1 para o mês de julho (períodos 19 a 21).

No Quadro 14, são apresentados o maior e o menor valor de ETo na época mais seca do ano (maio a setembro). A razão maior/menor varia de 1,57 a 1,77 para a ETo calculada a 50% de probabilidade e de 1,60 a 1,75 para a ETo a 20% de probabilidade. A menor variação a 50% de probabilidade ocorreu na Estação de Janaúba e a maior, em Montes Claros; já na ETo calculada a 20% de probabilidade a menor variação ocorreu em Monte Azul e a maior, também em Montes Claros. Os menores valores para 50% de probabilidade na estação seca ocorreram, na maioria das vezes, no decêndio 17 (segundo decêndio de junho) e os maiores valores, no

QUADRO 11 - Valores Decendiais da Evapotranspiração Potencial de Referência (ET<sub>o</sub>) em mm, para 50% de Probabilidade e Ocorrência, nas Quatro Estações Climatológicas Utilizadas nas Simulações

Estação\Decêndio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Espinosa	51,2	52,8	59,0	54,3	53,1	47,3	52,5	49,6	55,6	46,9	47,2	43,0	40,6	39,9	42,9	36,6	35,8	36,2
Monte Azul	47,3	50,7	54,2	51,7	51,3	45,3	49,1	50,1	51,1	44,6	44,9	41,6	41,1	39,5	42,6	36,2	34,1	34,7
Janaúba	46,3	47,8	57,4	54,1	51,9	46,9	51,7	47,8	51,5	45,6	45,3	43,0	41,0	39,5	39,4	34,6	33,8	34,2
Montes Claros	46,7	48,5	52,0	50,4	49,2	41,4	47,2	45,0	47,7	42,5	40,6	36,9	35,6	32,7	32,3	30,3	29,0	28,9

Estação\Decêndio	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Espinosa	36,8	38,3	44,3	44,7	48,8	57,4	55,6	59,9	57,1	59,9	55,5	64,2	52,9	52,4	50,2	49,2	49,5	55,1
Monte Azul	36,8	37,8	43,7	42,7	45,9	52,8	52,4	55,0	52,3	56,6	53,2	60,3	50,5	49,2	48,2	47,4	47,5	52,5
Janaúba	35,4	36,5	42,1	42,7	44,7	52,1	50,7	52,9	52,7	56,7	52,9	61,4	50,7	50,6	46,6	47,7	46,6	52,0
Montes Claros	29,6	30,4	35,3	36,3	39,1	45,7	47,0	51,1	49,1	51,7	47,1	55,5	47,3	45,7	43,8	46,2	46,4	49,6

QUADRO 12 - Valores Decendiais da Evapotranspiração Potencial de Referência (ET<sub>o</sub>) em mm, para 20% de Probabilidade de Ocorrência, nas Quatro Estações Climatológicas Utilizadas nas Simulações

Estação\Decêndio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Espinosa	58,7	63,2	70,4	63,4	62,5	54,2	60,0	55,4	70,5	53,1	52,9	47,9	43,9	42,8	48,1	40,8	39,3	39,3
Monte Azul	53,1	59,1	64,7	59,6	59,2	51,8	54,5	55,4	58,3	50,2	49,1	45,1	44,9	43,2	48,1	41,0	36,7	36,9
Janaúba	52,7	57,2	66,9	61,8	61,2	51,5	57,8	51,6	58,9	49,9	47,5	46,9	43,2	42,3	42,8	38,5	36,3	36,4
Montes Claros	54,4	59,3	62,9	57,7	56,3	46,6	52,7	50,1	54,6	48,2	45,7	41,4	42,2	37,6	36,5	34,4	32,4	32,8

Estação\Decêndio	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Espinosa	39,6	40,8	46,8	47,1	52,6	61,8	58,3	64,2	64,4	66,3	64,8	73,5	62,4	61,0	57,6	59,4	59,4	62,7
Monte Azul	39,5	41,0	46,6	44,8	48,8	57,9	56,5	58,7	58,8	62,6	61,7	68,8	58,9	58,0	55,1	56,9	56,3	59,5
Janaúba	38,8	39,3	45,7	46,7	47,8	56,9	54,8	58,4	59,8	62,7	60,9	69,4	57,9	59,2	52,3	56,1	55,3	60,0
Montes Claros	32,6	33,3	37,9	41,4	44,4	51,9	50,2	56,7	55,2	57,3	54,9	63,3	56,3	55,0	49,9	56,0	54,0	57,1

QUADRO 13 - Porcentagem de Aumento da Evapotranspiração Potencial de Referência (ET<sub>o</sub>) Decendial, Calculada a 20% de Probabilidade de Ocorrência em Relação à Calculada a 50%

Estação\Decêndio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Espinosa	14,6	19,7	19,3	16,8	17,7	14,6	14,3	11,7	26,8	13,2	12,1	11,4	8,1	7,3	12,1	11,5	9,8	8,6
Monte Azul	12,3	16,6	19,4	15,3	15,4	14,3	11,0	10,6	14,1	12,6	9,4	8,4	9,2	9,4	12,9	13,3	7,6	6,3
Janaúba	13,8	19,7	16,6	14,2	17,9	9,8	11,8	8,0	14,4	9,4	4,9	9,1	5,4	7,1	8,6	11,3	7,4	6,4
Montes Claros	16,5	22,3	21,0	14,5	14,4	12,6	11,7	11,3	14,5	13,4	12,6	12,2	18,5	15,0	13,0	13,5	11,7	13,5

Estação\Decêndio	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Espinosa	7,6	6,5	5,6	5,4	7,8	7,7	4,9	7,2	12,8	10,7	16,8	14,5	18,0	16,4	14,7	20,7	20,0	13,8
Monte Azul	7,3	8,5	6,6	4,9	6,3	9,7	7,8	6,7	12,4	10,6	16,0	14,1	16,6	17,9	14,3	20,0	18,5	13,3
Janaúba	9,6	7,7	8,6	9,4	6,9	9,2	8,1	10,4	13,5	10,6	15,1	13,0	14,2	17,0	12,2	17,6	18,7	15,4
Montes Claros	10,1	9,5	7,4	14,0	13,6	13,6	6,8	11,0	12,4	10,8	16,6	14,1	19,0	20,4	13,9	21,2	16,4	15,1

QUADRO 14 - Maior e Menor Valores de ET<sub>o</sub> a 20 e 50% de Probabilidade de Ocorrência no Período Seco (Maio a Setembro, Decêndios 13 a 27, respectivamente), para as Quatro Estações Climatológicas Encontradas na Bacia do Rio Verde Grande, e Sua Razão de Incremento

Estação	Menor Valor de ET <sub>o</sub> no Período Seco (A) (mm)		Maior Valor de ET <sub>o</sub> no Período Seco (B) (mm)		Razão (B/A)	
	20%	50%	20%	50%	20%	50%
Espinosa	39,3	35,8	64,4	59,9	1,64	1,67
Monte Azul	36,7	34,1	58,8	55,0	1,60	1,61
Janaúba	36,3	33,8	59,8	52,9	1,65	1,57
Montes Claros	32,4	28,9	56,7	51,1	1,75	1,77

decêndio 26 (segundo decêndio de setembro), para as quatro estações. A 20% de probabilidade de ocorrência os menores valores de ETo também ocorreram no decêndio 17 e os maiores, no decêndio 27 (último decêndio de setembro) conforme pode ser visualizado nas Figuras 4a, b, c e d.

### 3.2. Análise da Variação de Kc Conforme a Época de Plantio

A análise foi feita para a cultura do milho, sendo similar para as demais.

Comparando o Quadro 5, que mostra a variação de Kc durante o ciclo da cultura em diferentes épocas de plantio, com o Quadro 8, que mostra as épocas de plantio simuladas, conclui-se que, para as épocas de plantio simuladas, plantios no decêndio oito levam a um ciclo mais curto da cultura. As células a serem plantadas do nono ao décimo segundo decêndio terão um ciclo mais longo (160 dias), consumindo mais água, conforme ilustra a Figura 5.

Na Figura 5 também pode-se observar que, enquanto um plantio no decêndio 12 conta com apenas um decêndio com um valor mínimo de Kc (0,35) associado, os plantios nos decêndios 18 e 21 apresentam 2 decêndios com o valor mínimo de Kc associados. Por outro lado, ao se plantar no décimo segundo decêndio, ocorrem 50 dias associados ao Kc máximo (1,15), enquanto quando o plantio é feito nos decêndios 18 ou 21, ocorrem apenas 30 dias associados ao Kc máximo.

Para se obter uma otimização, deve-se procurar fazer coincidir o maior número possível de decêndios com Kc mínimo com o período em que se deseja otimizar os recursos hídricos.

Da análise dos Quadros 5 a 7, conclui-se que, no caso do algodão, o maior valor de Kc é 3,14 vezes maior que o menor deles; no caso do feijão, 2,86 vezes maior e, no caso do milho, 3,29 vezes maior.

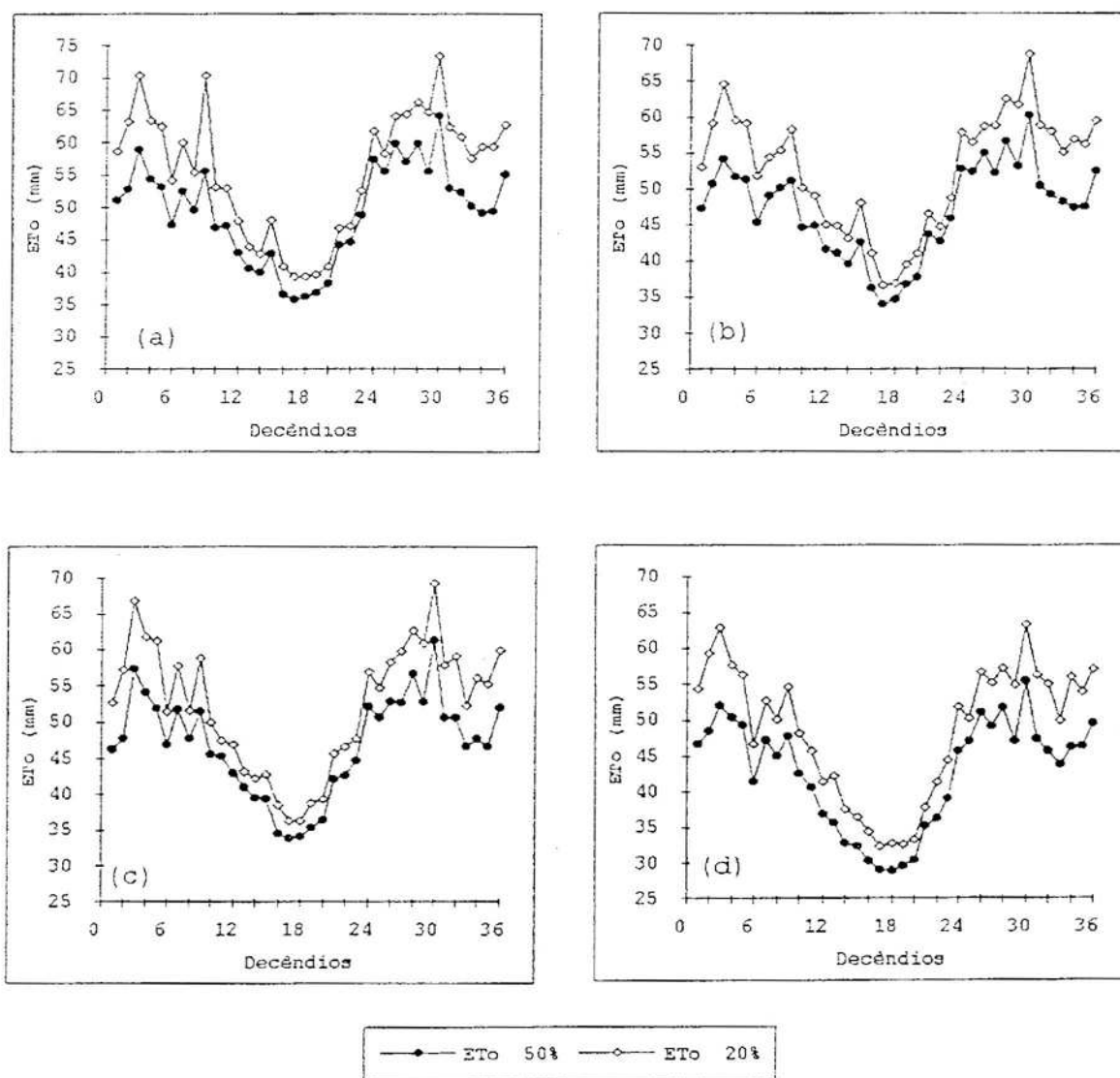


FIGURA 4 - Variação Decenal de ETo nas Quatro Estações Climatológicas Estudadas para 20 e 50% de Probabilidade de Ocorrência: (a) Espinosa, (b) Monte Azul, (c) Janaúba e (d) Montes Claros.

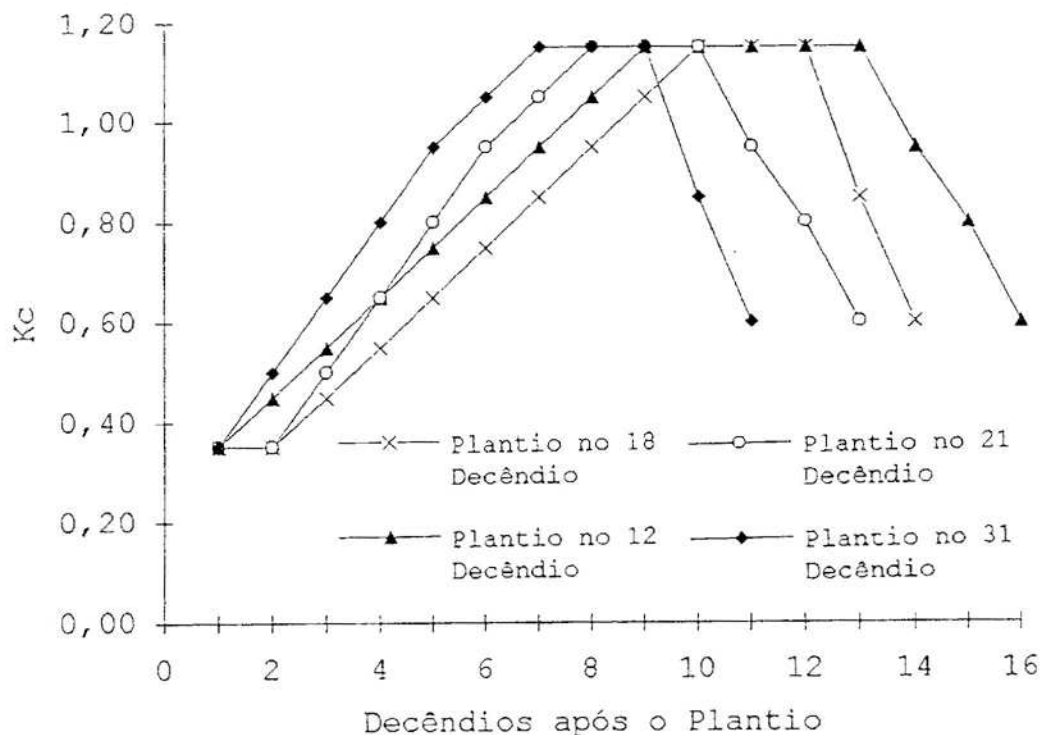


FIGURA 5 - Variação Decendial do Coeficiente de Cultura (Kc), em Quatro Épocas de Plantio, para o Milho.

### 3.3. Análise de Vazões sem Irrigação em Alguns Cursos d'água

No Quadro 15 são apresentados alguns resultados de vazões simuladas, sem irrigação, para 50 e 20% de probabilidade de ocorrência no mês mais crítico do ano (julho). Nos dois níveis de probabilidade, as vazões declinaram drasticamente (entre 16,9 e 59,5%). Observou-se também que para o trecho do rio Gortuba, que se encontrava sob o efeito de regularização da barragem do Bico da Pedra (código A112), os decréscimos foram bem menores, o que era esperado. Quando se tratou de pequenos cursos (folhas da

árvore binária), como o rio do Sítio (código Y11), notou-se que os efeitos foram marcantes (Quadro 16). Pode-se dizer então que as vazões a 20% de probabilidade de ocorrência são menores que a metade das vazões a 50%.

As variações máximas das vazões no período mais seco do ano, para os rios analisados no Quadro 17, ficaram entre 1,3 e 2,4 vezes o menor valor observado para 20% de probabilidade de ocorrência e entre 1,7 e 2,5 vezes o menor valor observado para 50% e a menor variação correspondeu à microbacia que fica logo após a barragem do Bico da Pedra no rio Gortuba (código A112) e a maior, à microbacia A1112. Na Figura 6 são apresentados os rios envolvidos na análise dos resultados.

QUADRO 15 - Redução de Vazão em Porcentagem para Alguns Cursos d'água no Mês de Julho, Calculada em Relação a 50% de Probabilidade

Cod.	Curso d'água	Trecho	Município	Área da Microbacia (Km <sup>2</sup> )	Vazão (l/s) (50%)			Vazão (l/s) (20%)			Redução (%)		
					19	20	21	19	20	21	19	20	21
A112	Rio Gortuba	Bico da Pedra	Janaúba	67,06	3376	3068	3114	2660	2550	2582	21,2	16,9	17,1
A1112	R. Poço de Trás	Bico da Pedra	Janaúba	43,25	35	30	28	15	15	13	57,1	50,0	53,6
J211	Rio Quen-Quen	Agreste	Capitão Enéas	28,56	1223	1034	979	503	513	445	58,9	50,4	54,5
P1	Rio Cana Brava	Vila Nova	Montes Claros	135,06	110	93	88	46	40	42	58,2	57,0	52,3
Q1212	Rio Caititu	Coqueiro	Francisco de Sá	130,31	106	90	85	44	45	39	58,5	50,0	54,1
T11	Cor do Vieira	Montes Claros	Montes Claros	27,44	22	19	18	9	8	9	59,1	57,9	50,0
W12	Rio Juramento	Juramento	Juramento	45,06	37	31	29	15	15	13	59,5	51,6	55,2
Y11	Rio do Sítio	P. Albuquerque	Bocaiuva	38,75	32	27	25	13	11	12	59,4	59,3	52,0
122	Rio Gortuba	Janaúba	Monte Azul	85,06	8357	7279	7106	4718	4641	4405	43,5	36,2	38,0
112	Rio Vde. Grande	Otinolandia	Janaúba	103,56	8901	7521	7129	3669	3734	3247	58,8	50,4	54,5
2	Rio Vde. Pequeno	Urandi	Espinosa	5888,32	4180	3536	3354	1739	1757	1542	58,4	50,3	54,0



QUADRO 16 - Vazões sem Irrigação (l/s) para Todos os Períodos a 50 e 20% de Probabilidade no Rio do Sítio (Código Y11), Município de Bocaiúva

Decêndio																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
50%	84	148	110	108	71	70	68	54	61	64	62	54	48	43	36	41	36	34
20%	31	44	17	12	12	9	14	36	40	14	17	18	14	12	11	16	15	13

Decêndio																		
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
50%	32	27	25	20	21	21	20	23	23	28	23	20	23	20	21	36	55	45
20%	13	13	11	12	12	11	12	10	8	12	11	12	9	12	15	14	15	22

QUADRO 17 - Maior e Menor Valores da Vazão a 20 e 50% de Probabilidade de Ocorrência no Período Seco (Maio a Setembro, Decêndios 13 a 27, Respectivamente) para as Microbacias Analisadas

Código	Curso d'água	Menor Valor de Vazão no Período Seco (A)		Maior Valor de Vazão no Período Seco (B)		Razão (B/A)	
		(l/s)		(l/s)			
		20%	50%	20%	50%	20%	50%
A112	Rio Gorutuba	2299	2883	2868	3847	1,3	1,7
A1112	R. Poço de Trás	9	22	17	54	2,1	2,5
J211	Rio Quen-Quen	301	771	632	1857	2,1	2,4
P1	Rio Cana Brava	27	69	57	167	2,1	2,4
Q1212	Rio Caititu	26	67	55	161	2,1	2,4
T11	Cor. do Vieira	5	14	12	34	2,4	2,4
W12	Rio Juramento	9	23	19	56	2,1	2,4
Y11	Rio do Sítio	8	20	16	48	2,0	2,4
122	Rio Gorutuba	3536	5975	5438	11372	1,5	1,9
112	Rio Vde. Grande	2201	5609	4593	13521	2,1	2,4
2	Rio Vde. Pequeno	1052	2631	2153	6377	2,1	2,4

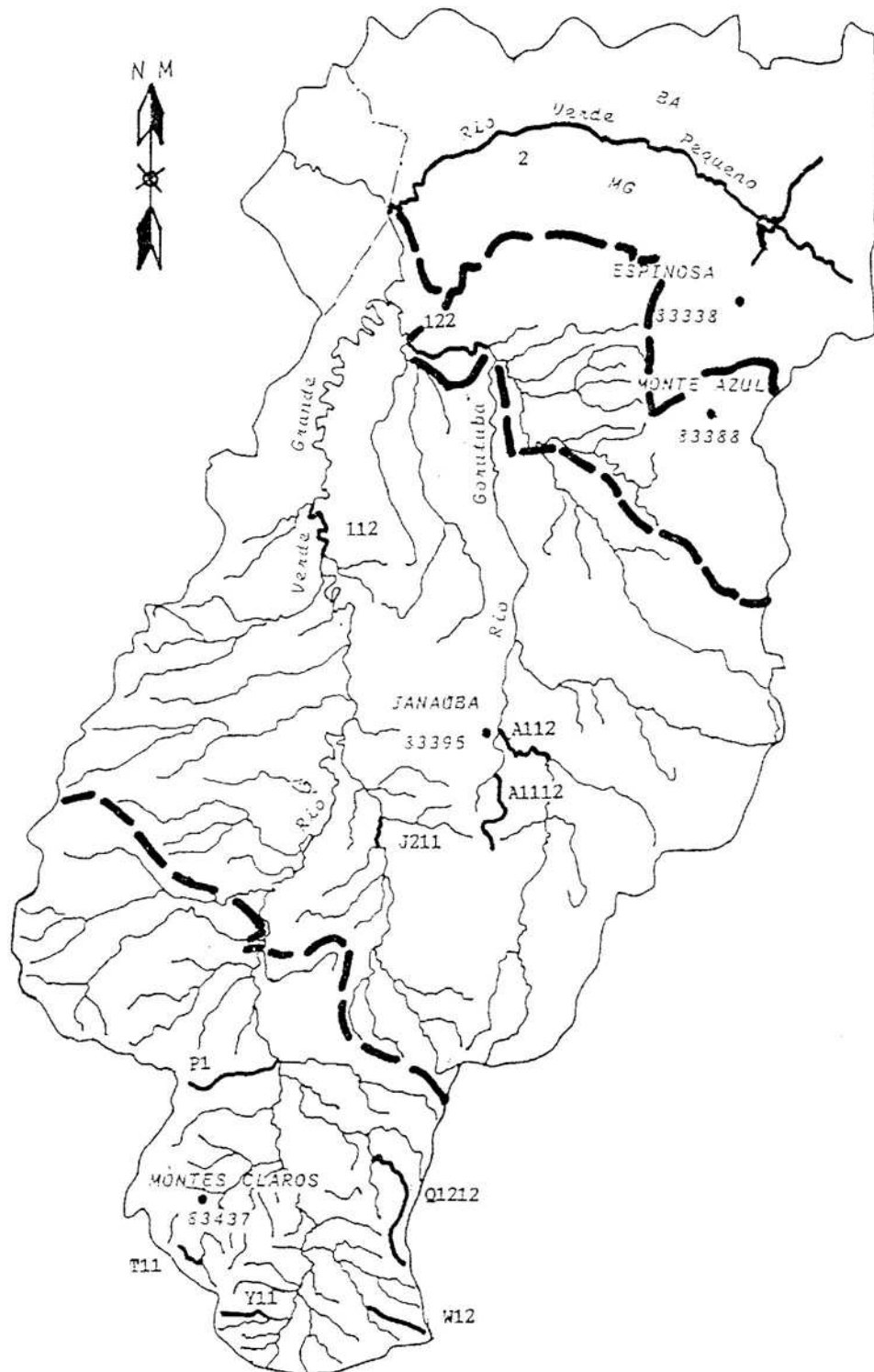


FIGURA 6 - Localização da Bacia dos Rios Seleccionados para Análise

### 3.4. Análise das Vazões com Irrigação

O Quadro 18 apresenta algumas características pertinentes às bacias envolvidas nas análises anteriores.

QUADRO 18 - Características das Microbacias Analisadas

Código	Curso d'água	Trecho	Município	NQ de Irrigantes	Área Irrigada					Estação Climatológica	
					por Irrigante (ha)						Total (ha)
A112	Rio Gorutuba	Bico da Pedra	Janaúba	5	5,5	1,5	7,0	2,0	1,0	17,0	Janaúba
A1112	R. Poço de Frás	Bico da Pedra	Janaúba	5	6,0	10,0	3,0	2,5	4,0	25,5	Janaúba
J211	Rio Quen-Quen	Agreste	Capitão Enéas	5	0,5	0,5	1,0	1,0	2,0	5,0	Janaúba
P1	Rio Cana Brava	Vila Nova	Montes Claros	5	3,0	10,0	20,0	21,5	1,0	55,5	Montes Claros
Q1212	Rio Caititu	Coqueiro	Francisco de Sá	4	16,0	17,0	15,0	2,0		50,0	Montes Claros
T11	Cor. do Vieira	Montes Claros	Montes Claros	3	4,5	18,0	7,0			29,5	Montes Claros
W12	Rio Juramento	Juramento	Juramento	3	44,0	3,0	18,0			65,0	Montes Claros
Y11	Rio do Sitio	P. Albuquerque	Bocaiuva	5	4,0	15,0	2,0	16,0	6,0	43,0	Montes Claros
122	Rio Gorutuba	Janaúba	Monte Azul	3	3,0	3,0	3,0			9,0	Monte Azul
112	Rio Vde. Grande	Otinolandia	Janaúba	5	205,0	54,0	10,0	10,0	5,0	284,0	Janaúba
2	Rio Vde. Pequeno	Urandi	Espinosa	1	1220,0					1220,0	Espinosa

#### 3.4.1. Algodão

Constatou-se que, para a cultura de algodão, os níveis de probabilidade não interferiram na época de plantio. Uma explicação seria que, dentro dos períodos de plantio fornecidos para o modelo, o primeiro (sexto decêndio) conduziu a menores valores de evapotranspiração no período considerado para a otimização.

#### 3.4.2. Feijão

Na cultura do feijão, quando foram procuradas as maiores vazões mínimas a 50% de probabilidade, média das

mínimas a 50% de probabilidade e média das mínimas a 20% de probabilidade, não houve diferenças na época de plantio. O modelo sugeriu o plantio no décimo nono decêndio, último possível.

A simulação com maior vazão mínima a 20% de probabilidade gerou resultados variados em relação às épocas de plantio. A maioria dos irrigantes deverá plantar no décimo nono decêndio (último período), salvo aqueles localizados nos pequenos cursos d'água, nas microbacias de código W12, Y11 e T11, que deverão plantar no décimo segundo decêndio, que corresponde à primeira época de plantio fornecida para a presente simulação, conforme pode ser visto no Quadro 8. No Quadro 6, verifica-se que os valores de Kc para a cultura do feijão, para plantio no décimo segundo decêndio, superam ao longo do ciclo os valores para plantio no décimo nono decêndio, inclusive no décimo segundo período, em que o ciclo da cultura é mais longo, totalizando 110 dias e, no outro, 90 dias. Entretanto, se esses trechos fossem plantados mais cedo, seria liberada a vazão para as outras datas de plantio que, assim, não ficariam limitadas por este recurso.

#### 3.4.3. Milho

Para o milho, nas simulações a 50% de probabilidade de ocorrência com vazões médias mínimas, o modelo recomendou épocas de plantio no oitavo decêndio, com exceção dos irrigantes na microbacia do rio Juramento (W12), em Juramento que plantarão no décimo segundo período.

As simulações para a maior vazão mínima a 50% e médias a 20% de probabilidade também indicaram o plantio no oitavo período.

Já a simulação com a maior vazão mínima a 20% de probabilidade resultou em épocas de plantio mais diferenciadas, sendo a maioria também no oitavo decêndio (Quadro 19).

QUADRO 19 - Épocas do Ano em que as Células Deverão Ser Plantadas. Simulação a 20% de Probabilidade de Ocorrência da Maior Vazão Mínima

Rio	Época de Plantio				
	Cel1	Cel2	Cel3	Cel4	Cel5
2	8				
A112	8	8	8	8	8
A1112	8	8	8	8	8
Q1212	8	8	8	12	
P1	8	12	8	8	12
J211	8	8	8	8	8

Os três primeiros irrigantes da microbacia do rio Caititú no trecho Coqueiro, município de Francisco de Sá (Q1212) plantarão no oitavo período e o quarto e último, no décimo segundo decêndio (prioridade para montante). O primeiro, o terceiro e quarto produtor na microbacia do rio Cana Brava, trecho Vila Nova, no Município de Montes Claros (P1), plantarão no oitavo período e o segundo e quinto, no décimosegundo decêndio.

#### 3.4.4. Análise Geral

Analisando as épocas de plantio simuladas pelo modelo, constatou-se que, na maioria das vezes, o primeiro decêndio da faixa simulada (Quadro 8) foi a melhor época de plantio, sendo recomendada para todos os irrigantes da microbacia.

Os níveis de probabilidade de 50% e 20% de ocorrência, de maneira geral, não influenciaram a época de plantio, exceto nos trechos de rio em que a área irrigada é grande o suficiente em relação à vazão do rio, havendo, inclusive, a possibilidade de a vazão do rio não ser suficiente para toda a demanda de água das áreas irrigadas. Nesse caso, o modelo indicou épocas de plantio diferentes para as diversas células dentro da mesma microbacia.

Em alguns cursos d'água, quando se trabalhou com o nível de probabilidade de 20%, as vazões caíram drasticamente; com isso alguns cursos d'água secaram ao se iniciarem as irrigações de algumas culturas (algodão e milho).

Observando-se os Quadros 20 e 21, tem-se uma idéia das conseqüências que traria o plantio de algodão na seca em todas as células cadastradas na sub-bacia W12 (rio Juramento, no município de Juramento). O comportamento é similar para o milho, isto é, ao se plantarem estas culturas em toda a área irrigável cadastrada, ocorrerá fatalmente a intermitência do rio neste trecho.

Para o feijão, a situação não é tão grave, pois sobra pequena quantidade de água para continuar a perenização do rio, o que confirma os estudos de OLIVEIRA (1978).

QUADRO 20 - Vazões Médias a 50% de Probabilidade no Mês de Julho para Alguns Cursos d'água

Código	Vazão com Irrigação (l/s)									época de Plantio (Decêndio)		
	Algodão			Feijão			Milho			Algodão	Feijão	Milho
	19	20	21	19	20	21	19	20	21			
A112	3320	3015	3063	3358	3049	3087	3318	3015	3067	6	19	8
A1112	19	14	13	30	24	21	18	14	15	6	19	8
J211	1191	1003	950	1213	1023	964	1190	1004	953	6	19	8
P1	75	60	57	99	82	72	74	61	59	6	19	8
Q1212	79	64	61	98	81	72	78	65	63	6	19	8
T11	5	3	2	17	13	10	4	3	3	6	19	8
W12	0	0	0	24	18	11	3	0	0	6	19	12
Y11	9	5	4	24	19	14	7	5	6	6	19	8
122	7726	6681	6535	8156	7071	6808	7697	6687	6578	6	19	8
112	7207	5926	5602	8360	6966	6329	7136	5941	5716	6	19	8
2	3037	2444	2308	3817	3158	2809	2985	2455	2388	6	19	8

Obs: O modelo recomendou a mesma época de plantio para todas as células.

Esse autor trabalhando com feijão, algodão e milho entre outras culturas no município de Barreiras - Bahia, constatou a menor demanda hídrica para o feijão (393, 646 e 623 mm para feijão, algodão e milho, respectivamente). O mesmo comportamento foi observado em Piracicaba por COSTA (1986), que encontrou 305,36 e 816,92 mm de água de irrigação para todo o ciclo das culturas de feijão e milho. OLIVEIRA (1990), em seu estudo com feijão, também confirma os baixos valores das necessidades hídricas da cultura do feijão no Paraná.

A situação complica-se mais ainda quando se passa a simular vazões no final do trecho, com 20% de probabilidade de ocorrência, o que pode ser observado no Quadro 21. O que poderia ser considerado situação boa para o plantio de feijão do ponto de vista hidrológico, a 50% de

QUADRO 21 - Vazões Médias a 20% de Probabilidade no Mês de Julho para Alguns Cursos d'água

Código	Vazão com Irrigação (l/s)									Época de Plantio (Decêndio)		
	Algodão			Feijão			Milho			Algodão	Feijão	Milho
	19	20	21	19	20	21	19	20	21			
A112	2598	2493	2527	2640	2530	2553	2596	2494	2531	6	19	8
A1112	0	0	0	9	9	4	0	0	0	6	19	8
J211	468	480	413	492	502	428	466	481	416	6	19	8
P1	7	10	6	33	34	22	5	11	9	6	19	8
Q1212	14	17	12	34	35	25	13	17	14	6	19	8
T11	0	0	0	3	3	0	0	0	0	6	19	8
W12	0	0	0	1	2	0	0	0	0	6	19	8
Y11	0	0	0	5	5	0	0	0	0	6	19	8
122	4030	3999	3788	4498	4418	4082	3999	4006	3834	6	19	8
112	1882	2063	1653	3078	3134	2390	1806	2079	1770	6	19	8
2	509	593	437	1347	1354	966	453	605	521	6	19	8

Obs: O modelo recomendou a mesma época de plantio para todas as células.

probabilidade, torna-se inviável dessa vez, frustrando os plantios dos produtores das subbacias T11, W12 e Y11 das três culturas estudadas. Na sub-bacia A1112 ficam prejudicados os plantios de algodão e milho, restando para os produtores a opção do feijão por ser a cultura de menor demanda evapotranspirométrica. No que se refere ao restante das microbacias exemplificadas, não deve haver problemas, uma vez que, pelos critérios da simulação, a água será suficiente para garantir o desenvolvimento da cultura e manter o rio perenizado a jusante dos irrigantes.

### 3.5. Vazão Específica para Irrigação

O Quadro 22 apresenta as vazões específicas para irrigação a 50% de probabilidade de ocorrência para as



três culturas estudadas, no decêndio em que o consumo de água para irrigação foi máximo em algumas microbacias. Observou-se que as vazões específicas simuladas pelo modelo (para eficiência de aplicação de 100%) foram 0,55, 0,61 e 0,48 l/(s.ha) para a cultura de algodão, feijão e milho, respectivamente, nas microbacias associadas às estações climatológicas de Janaúba e Monte Azul. As microbacias associadas à estação climatológica de Montes Claros apresentaram uma vazão específica de 0,47, 0,59 e 0,40 l/(s.ha) para a cultura de algodão, feijão e milho, respectivamente e a associada à Estação de Espinosa, uma vazão específica de 0,55, 0,69 e 0,52 l/(s.ha) para a cultura de algodão, feijão e milho, respectivamente. Os resultados são semelhantes por causa da pequena variação de ETo entre estações, verificadas na análise do item 3.1.

QUADRO 22 - Vazões Específicas em l/(s.ha) a 50% de Probabilidade de Ocorrência para uma Eficiência de Aplicação de 100% em Algumas Microbacias para as Três Culturas Estudadas

Microbacia	Estação Climatológica Associada	Algodão		Feijão		Milho	
		Plantio	Vazão	Plantio	Vazão	Plantio	Vazão
A112	Janaúba	6	0,55	19	0,61	08	0,48
A1112	Janaúba	6	0,55	19	0,61	08	0,48
J211	Janaúba	6	0,55	19	0,61	08	0,48
P1	Montes Claros	6	0,47	19	0,59	08	0,40
Q1212	Montes Claros	6	0,47	19	0,59	08	0,40
T11	Montes Claros	6	0,47	19	0,59	08	0,40
W12	Montes Claros	6	0,47	19	0,59	12	0,55
Y11	Montes Claros	6	0,47	19	0,59	08	0,40
122	Monte Azul	6	0,55	19	0,61	08	0,48
112	Janaúba	6	0,55	19	0,61	08	0,48
2	Espinosa	6	0,55	19	0,69	08	0,52

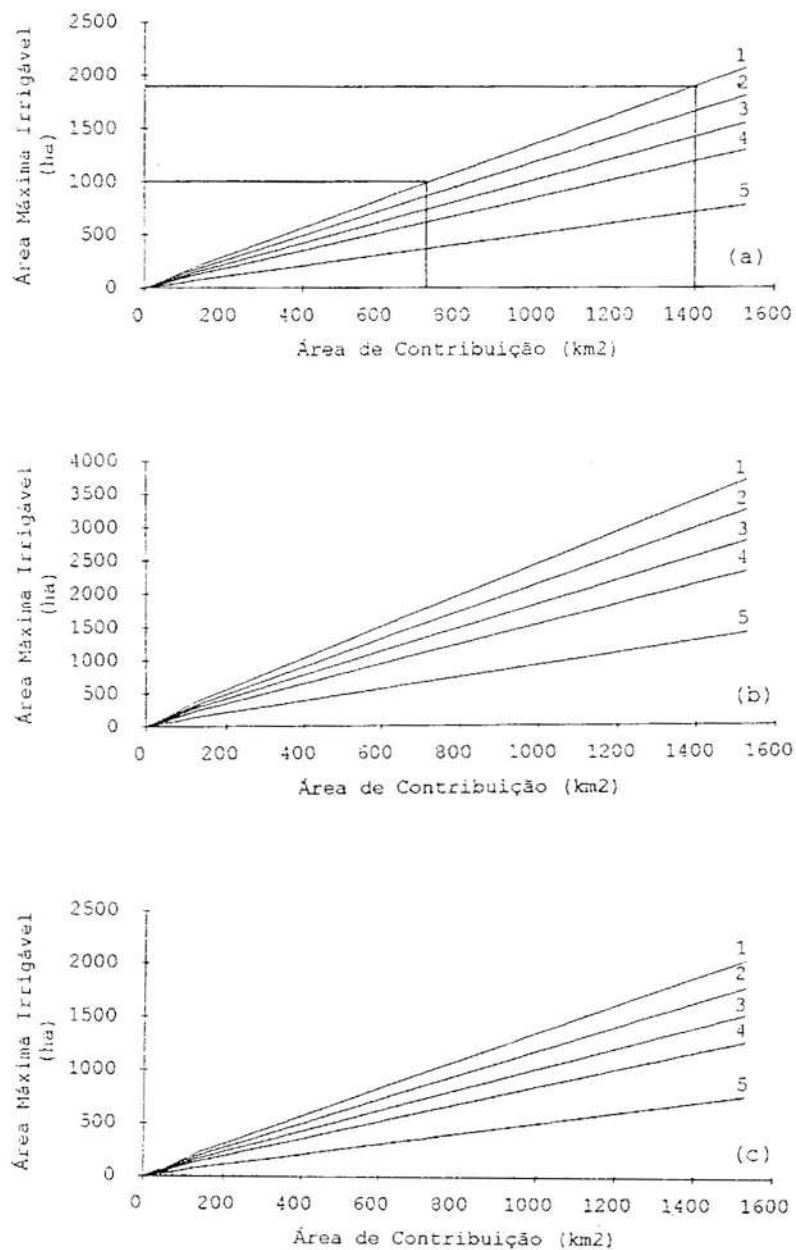
A vazão específica das áreas plantadas com feijão foi maior porque o período de máximo consumo ocorreu em setembro (decêndio 26), período em que a ETo foi maior comparada com a dos períodos de máximo consumo das áreas plantadas com algodão e milho, que ocorreram em abril (decêndio 12) e maio (decêndio 14), respectivamente. Isso pode ser facilmente verificado nos Quadros 11 e 12.

### 3.6. Considerações Finais

Nas Figuras 7 e 8 são apresentadas as curvas que relacionam a área máxima que pode ser irrigada com a área a montante de onde será feita a irrigação, estimada a 20 e 50% de probabilidade para as três culturas estudadas e para cinco sistemas de irrigação diferentes, de tal forma que toda a vazão seja utilizada para irrigação.

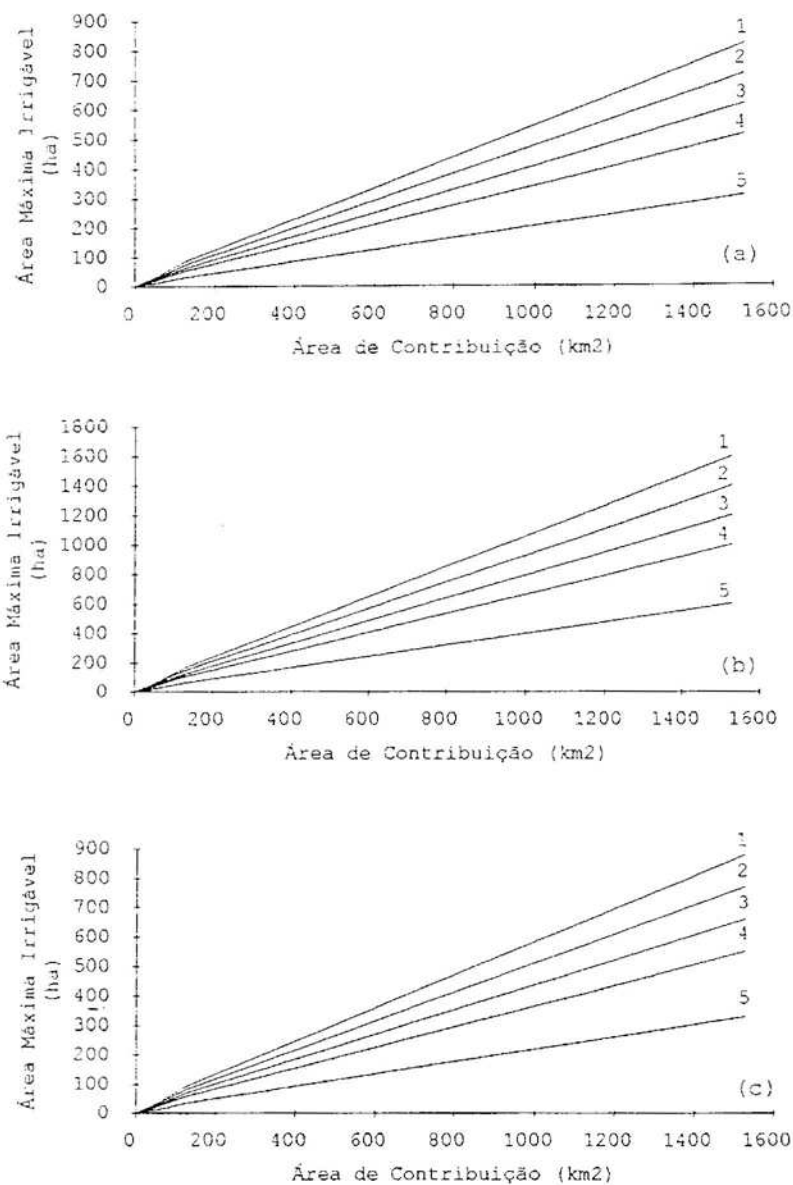
Analisando a Figura 7a, conclui-se que, se for desejado plantar 1000 ha de algodão irrigado por pivô central, é necessária uma área de contribuição mínima de 720 km<sup>2</sup>, se a cultura for plantada no período que gasta menos água (decêndio 6), utilizando, dessa forma, toda a água disponível no rio. Esta relação é válida para apenas 50% dos anos, ou seja, nos demais, a área irrigada terá de ser menor.

Analogamente, para uma área de contribuição de 1400 km<sup>2</sup>, será possível irrigar até 1900 ha de algodão por pivô central.



- 1: Pivô Central
- 2: Aspersão
- 3: Autopropelido
- 4: Superfície
- 5: Inundação

FIGURA 7 - Curvas para Estimativa da Área Máxima Irrigável para as Culturas de Algodão, Feijão e Milho com Cinco Diferentes Sistemas de Irrigação com Período de Retorno de 2 anos. (a) Algodão, (b) Feijão e (c) Milho.



- 1: Pivô Central
- 2: Aspersão
- 3: Autopropelido
- 4: Superfície
- 5: Inundação

FIGURA 8 - Curvas para Estimativa da Área Máxima Irrigável para as Culturas de Algodão, Feijão e Milho com Cinco Diferentes Sistemas de Irrigação com Período de Retorno de 5 anos. (a) Algodão, (b) Feijão e (c) Milho.

Não deve ser esquecido de que estas estimativas são baseadas em 100% da vazão disponível nos cursos d'água e que, para se fazer qualquer recomendação técnica, deverá ser reservada uma parte desta vazão para a perenização do rio, para os usuários a jusante e para usos mais nobres, como abastecimento de água.

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

A região norte do Estado de Minas Gerais possui características climáticas adequadas para o desenvolvimento das atividades agrícolas, desde que supridas as deficiências de água artificialmente. Em anos anteriores, o rio Verde Grande secou ao se intensificar a agricultura irrigada na região, deixando os irrigantes a jusante sem o precioso recurso necessário para o desenvolvimento dos cultivos. Diversas são as formas de solucionar este problema, embora nem sempre a solução seja adequada, tendo em vista as características físicas da região e socioeconômicas da população. Em face dos problemas surgidos por causa da escassez d'água e agravados com o clima semi-árido da região, tentou-se equacionar o problema por meio de simulações dos efeitos da variação das épocas de plantio das culturas irrigadas na vazão dos cursos d'água da bacia do rio Verde Grande, e provar a tese que é possível aumentar a disponibilidade de água nos rios apenas

controlando a época de plantio em cada área irrigada. Estudaram-se dois níveis de probabilidade de ocorrência (20 e 50%) das variáveis hidroclimatológicas envolvidas e, dentro de cada um, duas metodologias para o cálculo da vazão mínima no período de otimização considerado.

Verificou-se que, dentre as culturas simuladas, o feijão exigiu menos água de irrigação.

A 50% de probabilidade de ocorrência, as épocas de plantio recomendadas pelo modelo foram sempre iguais para mesma cultura. Em condições de escassez de água (20% dos anos), o modelo sugeriu épocas de plantio diferentes para mesma cultura, o que comprova a tese de que é possível otimizar a vazão no rio apenas variando-se as épocas de plantio.

Otimizando a vazão no mês de julho, as épocas de plantio geradas pelo modelo foram: sexto decêndio (21/02), oitavo decêndio (11/03) e décimo nono decêndio (01/07) para a cultura do algodão, milho e feijão, respectivamente.

A razão entre o maior e o menor valor de ETo, estimados a 50% de probabilidade no período mais seco do ano (maio a setembro), variou de 1,61 a 1,77 em Janaúba e Montes Claros, respectivamente. Quando calculada a 20% de probabilidade de ocorrência esta razão variou de 1,60 a 1,75, ocorrendo a variação mínima em Monte Azul e a máxima também em Montes Claros.

As razões entre o maior e o menor valor de Kc (dentro do ciclo da cultura) foram 3,14, 2,86 e 3,29 para as culturas de algodão, feijão e milho, respectivamente.

O alongamento dos ciclos das culturas por causa do

inverno mais frio tem mais importância que os valores de  $K_c$  em si, pois permitiu a ocorrência de vários períodos com  $K_c$  baixo dentro do período de otimização.

A razão entre o maior e menor valor de vazão mínima a 20% de probabilidade no período mais seco do ano ficou entre 1,3 a 2,4. No mesmo período, a razão de vazão a 50% de probabilidade variou de 1,7 a 2,5. Os menores e os maiores valores de vazão para as duas probabilidades estudadas ocorreram sempre no início e no fim do período seco (13 a 15 e 25 a 27, respectivamente).

Daí conclui-se que as causas mais importantes para a variação da época de plantio que otimiza o uso do recurso hídrico foram, em ordem decrescente de importância, as variações do coeficiente de cultura, da vazão mínima e a variação de  $ET_o$ .

Para condução de trabalhos futuros, recomenda-se a simulação da bacia com vazão mínima de sete dias para período de retorno de dez anos.

Conforme já foi mencionado, a densidade de postos fluviométricos na bacia é muito baixa razão pela qual os resultados algumas vezes podem fugir um pouco da realidade. Em virtude disso, faz-se um apelo às autoridades competentes para que promovam a instalação de mais estações fluviométricas na bacia, tendo em vista sua importância na agricultura brasileira.



## BIBLIOGRAFIA

- BERNARDO, S. Manual de irrigação. Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária, 1989. 463 p.
- BRASIL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Divisão de Controle de Recursos Hídricos. Inventário das estações fluviométricas. Brasília, 1987. s.p.
- BRASIL. Departamento Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas (1961 - 1990). Brasília, 1992. 84 p.
- COELHO, D. T. The consideration of temperature in corn (*Zea mays* L.) growth and development models. Lafayette, Purdue University, 1978. 70 p. (Tese Ph.D.)
- COSTA, A. C. S. Balanço hídrico em culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e de milho (*Zea mays* L.) sob condições de campo. Piracicaba, ESALQ, 1986. 166 p. (Tese M.S.)
- COSTA, M. H. Modelo de otimização dos recursos hídricos para irrigação conforme a época de plantio. Viçosa, UFV, 1991. 111 p. (Tese M.S.)
- COSTA, M. H. Coeficientes de cultura para o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em 36 épocas de plantio. Viçosa, UFV, 1992a (não publicado).
- COSTA, M. H. Coeficientes de cultura para o algodão (*Gossypium hirsutum* L.), em 36 épocas de plantio. Viçosa, UFV, 1992b (não publicado).
- COSTA, M. H.; SEDIYAMA, G. C.; COELHO, D. T. Coeficientes de cultura para o milho (*Zea mays* L.), em 36 épocas de plantios. Engenharia na Agricultura; Série Irrigação e Drenagem, vol. 1, nº 1 (1992). Viçosa:AEAGRI, 1992.

- DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome, FAO 1977. 144 p (FAO irrigation and drainage paper, 24).
- ELETOBRÁS. Centrais Elétricas Brasileiras S. A. Metodologia para regionalização de vazões. Rio de Janeiro, 1985. 2v.
- EUCLYDES, H. P. Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do rio Juatuba - MG. Viçosa, UFV, 66 p. 1992. (Tese M.S.)
- FALÊNCIA da irrigação no Norte-MG salva rio. Estado de Minas, Belo Horizonte, 15 dez. 1992. cad. Meio Ambiente/ Agropecuária p.11.
- FERREIRA, E. J. Análise técnica e econômica do projeto de irrigação do Jaiba - MG. Viçosa, UFV, 1993. 159 p. (Tese D.S.)
- FUNDAÇÃO CETEC. Estratégias de recuperação da bacia do rio Verde Grande. Belo Horizonte, 1992. 4v.
- HOROWITZ, E. & SAHNI, S. Fundamentos de estrutura de dados. Rio de Janeiro, Campus, 1986. 474 p.
- OLIVEIRA, D. Evapotranspiração máxima e necessidade de água para irrigação de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e trigo (*Triticum aestivum* L.) determinados por balanço hídrico para seis locais do Paraná. Piracicaba, ESALQ, 1990. 155 p. (Tese M.S.)
- OLIVEIRA, F. A. Irrigação de diferentes cultivos no município de Barreras, Bahia. Barreras, EPABA, 1978. 21p. (Caderno Técnico, 006).
- SEDIYAMA, G. C. Necessidade de água para os cultivos. Brasília, ABEAS, 1987. 143 p.
- SILVA, A. F. Avaliação do potencial hídrico do Rio Gorutuba (MG). Piracicaba, USP, 1989. 84 p. (Tese M.S.)
- TINOCO, J. P. N. Contribuição ao estudo e avaliação do potencial hídrico da Grande João Pessoa. Campina Grande. Universidade da Paraíba, 1979. 70 p. (Tese M.S.)

APÊNDICES

## APÊNDICE A

## Arquivos de Dados/Resultados Utilizados pelo Modelo EPLAN

## 1. FLU-id.EPL Arquivo de Dados Fluviométricos

```

A1,1 B1,1 A2,1 B2,1
:      :      :      :
:      :      :      :
:      :      :      :
A1,36 ..... B2,36
AreaB
QR1
:
:
QR36

```

em que:

$A_{i,j}$  e  $B_{i,j}$  : coeficientes decendiais do submodelo hidrológico de vazões mínimas  
 Área B : área da Barragem de Regularização, (km<sup>2</sup>)  
 QR<sub>i</sub> : vazão regularizada liberada na barragem no decêndio "i", (m<sup>3</sup>/s)

## 2. PER-id.EPL Arquivo de Dados Relativos à Subdivisão do Ano em Períodos

```

DURAÇÃO DO PERÍODO 1
:
:
DURAÇÃO DO PERÍODO 36

```

## 3. ETP-id.EPL Arquivo de Dados de ETo para Toda a Região

```

LATITUDE1 LONGITUDE1 ETo1,1 ETo2,1 ..... ETo36,1
:           :           :           :           :
:           :           :           :           :
:           :           :           :           :
LATITUDE4 LONGITUDE4 ETo1,4 ETo2,4 ..... ETo36,4

```

em que:

ETo<sub>i,j</sub> : evapotranspiração da cultura de referência no decêndio "i" na estação "j"

4. CUL-id.EPL Arquivo de Dados das Épocas de Plantio das Culturas

```

NOME DA CULTURA1 ÉPOCA MIN DE PLANTIO1 ÉPOCA MAX DE PLANTIO1
      |
      |
      |
NOME DA CULTURA3 ÉPOCA MIN DE PLANTIO3 ÉPOCA MAX DE PLANTIO3

```

5. KC--id.EPL Arquivo de Dados de Kc para Todas as Culturas e Épocas de Plantio

```

DURCICLO1,1 KC1,1,1 KC1,1,2... KC1,1,DURCICLO1,1
DURCICLO1,2 KC1,2,1 KC1,2,2... KC1,2,DURCICLO1,2
      |
      |
      |
DURCICLO1,36 KC1,36,1 KC1,36,2... KC1,36,DURCICLO1,36
      |
      |
      |
DURCICLO3,1 KC3,1,1 KC3,1,2... KC3,1,DURCICLO3,1
      |
      |
      |
DURCICLO3,36 KC3,36,1 KC3,36,2... KC3,36,DURCICLO1,36

```

em que:

DURCICLO<sub>i,j</sub> : duração do ciclo da cultura "i" no decêndio "j", (dias)

KC<sub>i,j,k</sub> : valor de kc para a cultura "i" no decêndio "j" para a época de plantio "k"

6. USUÁRIO.EPL Arquivo com Dados Relativos à Personalização da Simulação

```

ID          : id (dois caracteres)
NOME        : Nome da simulação (até 255 caracteres)
OTIMIZAÇÃO  : -TENTATIVA (Default)
              -AI (ainda não implementado)
PERINIVAZ   : (Um número entre 1 e 36)
PERFIMVAZ   : (Um número entre 1 e 36; deve ser maior que "PERINIVAZ")
PRECIPITAÇÃO: -SIM (usa dados de precipitação)
              -NÃO (não usa dados de precipitação)
RIOSIMULADO : Nome do rio simulado (até 255 caracteres)
SUBMODHID   : Número de submodelo hidrológico que será utilizado. Este valor
              deverá estar na faixa de 1 a MAXSUBMODHID*
VAZKOMINIMA : - MÉDIA : seleciona a combinação de épocas de plantio que leva a uma
              maior média de vazões finais no curso d'água (QF), considerando o
              período estudado (PerIniVaz..PerFimVaz)
              - MÁXIMA : seleciona a combinação de épocas de plantio que gera a
              maior vazão final (QF) mínima do curso d'água, dentro do período
              considerado (PerIniVaz..PerFimVaz)

```

\*MAXSUBMODHID: número de submodelos hidrológicos a serem utilizados nas simulações. Neste trabalho foram usados dois.

## APÊNDICE B

## Trecho do Programa Principal que Calcula a Vazão num Ponto

```

{----- Calcula a vazão do rio naquele ponto sem irrigação -----}
function Q(p : word;      { período do ano }
           ): real;
var QI,                    { vazão devida aos cursos d'água anteriores }
    qq : real;            { vazão devida à contribuição do lençol freático }

begin
  if (Arvore[r].esq = 0) and (Arvore[r].dir = 0)
  then QI:= 0
  else QI:= QFMelhor[Arvore[r].esq]^p + QFMelhor[Arvore[r].dir]^p;
  if not arv.regularizado
  then qq:= ModHid[SubModHid].a[p] * (arv.área+arv.AreaM) + ModHid[SubModHid].b[p] *
            sqr(arv.área+arv.AreaM) - ModHid[SubModHid].a[p] * arv.AreaM - ModHid[SubModHid].b[p]
            * sqr(arv.AreaM)
  else qq:= VazãoReg[p] +
            ModHid[SubModHid].a[p] * (arv.área+arv.AreaM) + ModHid[SubModHid].b[p] *
            sqr(arv.área+arv.AreaM) - ModHid[SubModHid].a[p] * (AreaB) - ModHid[SubModHid].b[p] *
            sqr(AreaB);
  Q:= QI + qq; { m3/s }
end; { Q }

```

em que:

QFMelhor[Arvore[r].esq] e  
 QFMelhor[Arvore[r].dir] : vetor que contém as vazões  
 otimizadas a montante, a  
 esquerda e direita  
 respectivamente;

ModHid[SubModHid].a[p] e  
 ModHid[SubModHid].b[p] : vetor que contém os coefi-  
 cientes do submodelo hidrológico  
 para os 36 períodos do ano;

arv.área : área da microbacia;  
 arv.AreaM : área a montante da microbacia;  
 AreaB : área da barragem de  
 regularização;

VazãoReg[p] : vetor que contém os valores  
 das vazões regularizadas nos 36  
 decêndios do ano;

Q : vazão total no final do trecho  
 de rio analisado.