

**“AVALIAÇÃO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS
SUPERFICIAIS E DA APTIDÃO AGRÍCOLA DO SOLO
EM ESTADO NATURAL COMO SUBSÍDIOS PARA A
GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO
RIO JURAMENTO – MG”**



Guilherme Fernandes Marques

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Hidráulica e Saneamento.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Antônio Daniel

São Carlos

1999

Class.	TESE-EESC
Cutt.	3380
Tombo	0148/99

311 00006 787

S/S 1049536

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

M357a

Marques, Guilherme Fernandes

Avaliação das disponibilidades hídricas superficiais e da aptidão agrícola do solo em estado natural como subsídios para a gestão dos recursos hídricos na bacia do Rio Juramento-MG / Guilherme Fernandes Marques. -- São Carlos, 1999.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.

Área: Hidráulica e Saneamento.

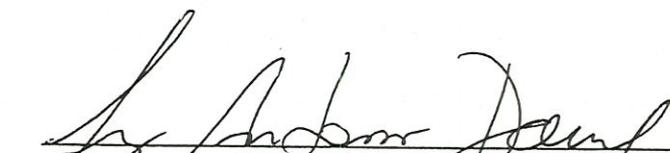
Orientador: Prof. Dr. Luiz Antônio Daniel.

1. Gestão de recursos hídricos. 2. Sistema de informações geográficas. 3. Avaliação de aptidão agrícola. 4. Modelagem de precipitação. 5. Correlação chuva/vazão. I. Título.

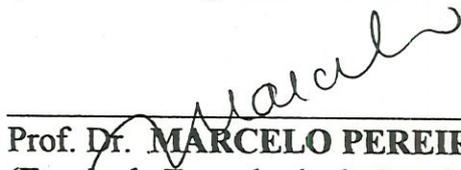
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **GUILHERME FERNANDES MARQUES**

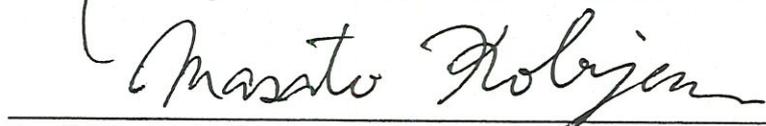
Dissertação defendida e aprovada em 30.07.99
pela Comissão Julgadora:



Prof. Dr. **LUIZ ANTONIO DANIEL (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo)



Prof. Dr. **MARCELO PEREIRA DE SOUZA**
(Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo)



Prof. Dr. **MASATO KOBİYAMA**
(Universidade Federal do Paraná)



Prof. Associado **EDUARDO CLETO PIRES**
Coordenador da Área de Hidráulica e Saneamento



Prof. Assoc. **RENATO VAIRO BELHOT**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC
em exercício

“Uma coisa é pôr idéias arranjadas: outra é lidar com país de pessoas, de carne e sangue, de mil-e-tantas misérias... De sorte que carece de se escolher”.

Guimarães Rosa

À Patricia Alves Drummond de
Oliveira, com todo meu carinho,
admiração e amor,
por tudo.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Luiz Antônio Daniel pelo aprendizado constante e pela lição de ética, respeito e acima de tudo pela amizade e confiança.

À CAPES e à FAPESP pelos recursos concedidos.

Aos meus pais Rômulo e Marilda pelo exemplo de perseverança, trabalho e responsabilidade não só na minha carreira profissional mas acima de tudo na vida.

Aos meus irmãos Gustavo, Soninha e Mariana, meus avós Sônia, Geraldo, Joaquim (*in memoriam*) e Maria de Jesus (*in memoriam*), tio Lulu, tia Marilú e toda minha família em Montes Claros, Sete Lagoas e Belo Horizonte pela presença constante.

À Maria do Carmo, Seu Ailton, Fernando e Marcelo pela recepção carinhosa em Belo Horizonte.

Aos professores Antônio Marozzi Righetto, Arthur Mattos, Fazal Hussain Chaudhry e Woodrow N. L. Roma pela ajuda indispensável na realização do trabalho.

Ao professor e amigo Marcelo Pereira de Souza pelo apoio e incentivo em todos os momentos.

Às meninas da secretaria da pós-graduação Pavi e Sá, à Valderez, Márcia, Cecília, Rose, Flávia e Alex, ao Sérgio, Valdecir, Cido e Wagner pelo profissionalismo e competência e pela criação de um ambiente de trabalho saudável e prazeroso.

Aos funcionários da Biblioteca Central da EESC pelo trabalho organizado e eficiente, de grande importância na reunião de material bibliográfico necessário.

À Companhia de Saneamento de Minas Gerais COPASA-MG, em especial ao Tales, César, Ana Maria e Cláudio Dotti por todas as informações prestadas.

Ao escritório regional da EMATER em Montes Claros, em especial ao Reinaldo e ao João Ramos cuja experiência e boa vontade foram fundamentais no apoio aos trabalhos de campo

À Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais CETEC, em especial à Lenimar da biblioteca pela ajuda sempre bem humorada e paciência nas consultas.

À turma do Laboratório de Sistemas de Informação Geográfica Labsig, Aurélio, Claudinha, Vitim, Pattinha, Silvana, Maira, Sissi e Sérgio, pela amizade e por todas as discussões, debates e apoio que tanto contribuíram para o meu aprendizado e para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos Barra, Sérgio, Sil, Gica, Lu Nalim, Rachel, Celina, Andreia, Flávia Renata, Fazolito, Kátia, Alexandre, Déia, Grego, Regiane, Eduardo, Liene, Flávia Linhalis, Aletéia, Flavia Talarico, Patricia Viviane, Celimar e Angélica. Pelo carinho e apoio em todos os momentos que tornaram minha passagem por São Carlos uma experiência inesquecível.

À Karlinha pela inestimável ajuda sempre bem humorada.

Aos vizinhos e amigos do edifício Astúrias I, Werner, Cláudio, dona Maria Helena e Seu Plínio.

Às meninas da Editora da Universidade de São Paulo EDUSP, Rita, Fernanda e Denise pela amizade e paciência nas minhas intermináveis consultas.

Aos colegas engenheiros João Marcos e Dudu pela amizade desde os idos tempos da UFMG.

Aos cearamineiros Fábio, Iran, Tibério, Evim, João Fernando e Andrezão pelos momentos divertidos.

À turma do Depto de Transportes, Topó e Márcio e à turma dos pagodes no Madalena Zé Luiz, Ricardinho e Rone.

A Deus, por iluminar o meu caminho.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas	vii
Lista de Símbolos	ix
Resumo	x
Abstract	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1. O USO DOS RECURSOS NATURAIS PELA ATIVIDADE ECONÔMICA CONTEMPORÂNEA	6
3.2. O USO DA ÁGUA COMO RECURSOS NATURAL: PRESSUPOSTOS BÁSICOS	10

3.2.1. Aspectos Gerais _____	10
3.2.2. Entendendo a dinâmica do meio físico e suas respostas à ação antrópica _____	11
3.3. O PAPEL DA GESTÃO NO USO DA ÁGUA: EM BUSCA DE UM NOVO PARADIGMA _____	13
3.3.1. Planejamento e Gestão: Conceitos básicos _____	14
3.3.2. Aspectos Políticos _____	16
3.3.3. A água como bem comum: institucionalizando o direito de uso. _____	17
3.3.4. Bases para um arcabouço institucional efetivo e contribuições da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) _____	19
3.3.5. Superexploração e escassez relativa: considerações sobre valorização econômica. _____	22
3.4. AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE RECURSOS HÍDRICOS _____	25
3.4.1. Aspectos Gerais _____	25
3.4.2. Fundamentos para modelagem de precipitação diária _____	27
3.4.3. Modelos de geração de precipitação diária _____	29
3.4.4. Fundamentos para estimativa de séries de vazão em uma bacia a partir de dados de chuva. _____	34
3.5. O PAPEL DA INTEGRAÇÃO COM O USO DO SOLO _____	36
3.5.1. Bases para o planejamento _____	36
3.5.2. Zoneamento: sistematizando informações _____	36
3.5.3. Uso agrícola do solo: impactos e meios para o uso sustentado. _____	38
3.5.4. Metodologia para avaliação da capacidade de uso _____	40
3.5.5. O uso de Sistemas de Informações Geográficas no mapeamento das capacidades do meio _____	45

4. ÁREA DE ESTUDO	50
4.1. A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JURAMENTO	50
5. MATERIAIS E MÉTODOS	55
5.1. INTRODUÇÃO	55
5.2. O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	55
5.3. ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE APTIDÃO AGRÍCOLA	57
5.3.1. Critérios adotados para avaliação das limitações	63
5.4. MODELO PARA GERAÇÃO DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA	74
5.4.1 Aspectos gerais	74
5.5. AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL	79
5.5.1. Geração das séries de vazão	79
5.5.2. Elaboração das curvas de permanência	81
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
6.1. MAPAS DE APTIDÃO AGRÍCOLA	82
6.1.1. Comentários finais	97
6.2. AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA MENSAL	98
6.2.1. Verificação dos dados pluviométricos	98
6.2.2. Parâmetros do modelo de geração de precipitação	100
6.2.3. Geração de séries de vazão	116
6.2.4. Comentários finais	146
7. CONCLUSÕES	147

8. ANEXOS	151
8.1. ANEXO A – Filtros em <i>Structured Query Language</i> (SQL), para seleção das áreas conforme a aptidão agrícola	151
8.2. ANEXO B – Quadros guia para avaliação da aptidão agrícola	154
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	156

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Condicionantes Biofísicos da Economia (valores em dólares).	8
Figura 3.2 Sistema econômico e meio ambiente.	9
Figura 3.3 Aumento nas demandas mundiais de água. 1900 – 2000.	10
Figura 3.4 Planejamento.	15
Figura 3.5 Diagrama de distorção entre custos social e privado.	23
Figura 3.6 Alternativas de utilização de acordo com os grupos de aptidão agrícola.	44
Figura 4.1 Localização da área de Estudo – Bacia do Rio Juramento (em vermelho).	52
Figura 4.2 Sub-Bacias e rede hidrográfica	53
Figura 5.1 Imagem de classes de declividade	59
Figura 5.2 Mapa de solos da região	60
Figura 5.3 Elaboração do mapa das áreas tipo	62
Figura 5.4 Sequência de trabalho para elaboração das curvas de permanência	81
Figura 6.1 Classificação da aptidão para uso agrícola ao nível de manejo A	85
Figura 6.2 Usos do solo na região de estudo	87
Figura 6.3 Graus de limitação por suscetibilidade à erosão. Nível de manejo A	89
Figura 6.4 Graus de limitação por deficiência de fertilidade. Nível de manejo A	90

Figura 6.5 Graus de limitação por impedimento à mecanização. _____	92
Figura 6.6 Avaliação das áreas com aptidão para lavoura ao nível A de manejo. Discriminação por sub-bacias _____	94
Figura 6.7 Comparativo entre precipitação total mensal das estações da COPASA e DNAEE _____	98
Figura 6.8 Correlação entre estação 43300002 e 01643018. Totais mensais precipitados _____	99
Figura 6.9 Correlação entre estação 43300001 e 01643018. Totais mensais precipitados _____	99
Figura 6.10 Correlação entre estação 43300003 e 01643018. Totais mensais precipitados _____	100
Figura 6.11 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Dezembro	110
Figura 6.12 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Novembro _____	110
Figura 6.13 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Outubro_	111
Figura 6.14 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Setembro	111
Figura 6.15 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Agosto __	112
Figura 6.16 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Julho ___	112
Figura 6.17 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Junho___	113
Figura 6.18 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Maio ___	113
Figura 6.19 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Abril___	114
Figura 6.20 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Março___	114
Figura 6.21 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Fevereiro	115
Figura 6.22 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Janeiro _	115
Figura 6.23 Alteração na curva-chave ao longo do tempo. Seção 4330000508 _____	117
Figura 6.24 Determinação dos parâmetros da curva-chave Seção 4330000508 rio Saracura _____	118
Figura 6.25 Curva-chave para seção 4330000508 – Rio Saracura _____	119

Figura 6.26 Determinação dos parâmetros da curva-chave. Seção 4330000509 rio Juramento _____	119
Figura 6.27 Curva-chave para seção 4330000509 – Rio Juramento ____	120
Figura 6.28 Determinação dos parâmetros da curva-chave. Seção 4330000507 rio Canoas _____	120
Figura 6.29 Curva-chave para seção 4330000507 – Rio Canoas _____	121
Figura 6.30 Análise de regressão linear para correlação chuva/deflúvio. Sub-bacia do rio Juramento _____	122
Figura 6.31 Ajuste dos resíduos à distribuição Normal. Rio Juramento	122
Figura 6.32 Análise de regressão linear para correlação chuva/deflúvio. Sub-bacia do rio Canoas _____	123
Figura 6.33 Ajuste dos resíduos à distribuição Normal. Rio Canoas ____	123
Figura 6.34 Análise de regressão linear para correlação chuva/deflúvio. Sub-bacia do rio Saracura. _____	124
Figura 6.35 Ajuste dos resíduos à distribuição Normal. Rio Saracura _	124
Figura 6.36 Correlação entre vazões calculadas e observadas. Rio Juramento _____	125
Figura 6.37 Hidrograma de vazões calculadas e observadas. Rio Juramento _____	126
Figura 6.38 Correlação entre vazões calculadas e observadas. Rio Saracura _____	126
Figura 6.39 Hidrograma de vazões calculadas e observadas. Rio Saracura _____	127
Figura 6.40 Correlação entre vazões calculadas e observadas. Rio Canoas _____	127
Figura 6.41 Hidrograma de vazões calculadas e observadas. Rio Canoas _____	128
Figura 6.42 Curva de Permanência para vazões médias do mês de dezembro. Rio Juramento _____	130
Figura 6.43 Curva de Permanência para vazões médias do mês de dezembro. Rio Canoas. _____	130

Figura 6.44 Curva de Permanência para vazões médias do mês de dezembro. Rio Saracura. _____	131
Figura 6.45 Curva de Permanência para vazões médias do mês de novembro. Rio Juramento. _____	131
Figura 6.46 Curva de Permanência para vazões médias do mês de novembro. Rio Canoas. _____	131
Figura 6.47 Curva de Permanência para vazões médias do mês de novembro. Rio Saracura. _____	132
Figura 6.48 Curva de Permanência para vazões médias do mês de outubro. Rio Juramento. _____	132
Figura 6.49 Curva de Permanência para vazões médias do mês de outubro. Rio Canoas. _____	132
Figura 6.50 Curva de Permanência para vazões médias do mês de outubro. Rio Saracura. _____	133
Figura 6.51 Curva de Permanência para vazões médias do mês de setembro. Rio Juramento. _____	133
Figura 6.52 Curva de Permanência para vazões médias do mês de setembro. Rio Canoas. _____	133
Figura 6.53 Curva de Permanência para vazões médias do mês de setembro. Rio Saracura. _____	134
Figura 6.54 Curva de Permanência para vazões médias do mês de agosto. Rio Juramento. _____	134
Figura 6.55 Curva de Permanência para vazões médias do mês de agosto. Rio Canoas. _____	134
Figura 6.56 Curva de Permanência para vazões médias do mês de agosto. Rio Saracura. _____	135
Figura 6.57 Curva de Permanência para vazões médias do mês de julho. Rio Juramento. _____	135
Figura 6.58 Curva de Permanência para vazões médias do mês de julho. Rio Canoas. _____	135
Figura 6.59 Curva de Permanência para vazões médias do mês de julho. Rio Saracura. _____	136

Figura 6.60 Curva de Permanência para vazões médias do mês de junho. Rio Juramento. _____	136
Figura 6.61 Curva de Permanência para vazões médias do mês de junho. Rio Canoas. _____	136
Figura 6.62 Curva de Permanência para vazões médias do mês de junho. Rio Saracura. _____	137
Figura 6.63 Curva de Permanência para vazões médias do mês de maio. Rio Juramento. _____	137
Figura 6.64 Curva de Permanência para vazões médias do mês de maio. Rio Canoas. _____	137
Figura 6.65 Curva de Permanência para vazões médias do mês de maio . Rio Saracura. _____	138
Figura 6.66 Curva de Permanência para vazões médias do mês de abril. Rio Juramento. _____	138
Figura 6.67 Curva de Permanência para vazões médias do mês de abril. Rio Canoas. _____	138
Figura 6.68 Curva de Permanência para vazões médias do mês de abril. Rio Saracura. _____	139
Figura 6.69 Curva de Permanência para vazões médias do mês de março. Rio Juramento. _____	139
Figura 6.70 Curva de Permanência para vazões médias do mês de março. Rio Canoas. _____	139
Figura 6.71 Curva de Permanência para vazões médias do mês de março. Rio Saracura. _____	140
Figura 6.72 Curva de Permanência para vazões médias do mês de fevereiro. Rio Juramento. _____	140
Figura 6.73 Curva de Permanência para vazões médias do mês de fevereiro. Rio Canoas. _____	140
Figura 6.74 Curva de Permanência para vazões médias do mês de fevereiro. Rio Saracura. _____	141
Figura 6.75 Curva de Permanência para vazões médias do mês de janeiro. Rio Juramento. _____	141

Figura 6.76 Curva de Permanência para vazões médias do mês de janeiro.
Rio Canoas. _____ 141

Figura 6.77 Curva de Permanência para vazões médias do mês de janeiro.
Rio Saracura. _____ 142

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 Áreas das sub-bacias da região de estudo _____	53
Tabela 4.2 Características do reservatório _____	54
Tabela 5.1 Classes de declive. _____	58
Tabela 5.2 Classes de fragilidade dos tipos de solos. _____	68
Tabela 5.3 Correspondência entre graus de limitação ao uso agrícola ____	70
Tabela 5.4 Banco de dados dos graus de limitação ao uso agrícola ____	72
Tabela 5.5 Esquema da matriz de transição. _____	75
Tabela 5.6 _____	80
Tabela 6.1 Áreas selecionada para grupo 3 – Aptidão restrita para lavoura _____	82
Tabela 6.2 Áreas selecionadas para o grupo 5 – Aptidão boa para pastagem natural _____	82
Tabela 6.3 Áreas selecionadas para o grupo 5 - Aptidão regular para pastagem natural _____	82
Tabela 6.4 Áreas selecionadas para o grupo 5 – aptidão restrita para pastagem natural _____	83
Tabela 6.5 Áreas selecionadas para o grupo 6 – Aptidão para preservação natural _____	83
Tabela 6.6 Distribuição dos grupos de aptidão _____	84
Tabela 6.7 Distribuição das áreas por graus de limitação por susctibilidade à erosão _____	91
Tabela 6.8 Distribuição das áreas por graus de limitação por deficiência de fertilidade _____	91

Tabela 6.9 Distribuição das áreas por graus de limitação por deficiência de água	91
Tabela 6.10 Distribuição das áreas por graus de limitação por impedimento à mecanização	91
Tabela 6.11 Áreas disponíveis para utilização com lavoura nas sub-bacias	95
Tabela 6.12 Usos do solo na região de estudo	97
Tabela 6.13 Probabilidades condicionais de transição entre dias secos e chuvosos	101
Tabela 6.14 Comparação entre probabilidade P_{00}	102
Tabela 6.15 Comparação entre probabilidade P_{11}	103
Tabela 6.16 Número de dias chuvosos no mês	105
Tabela 6.17 Totais mensais precipitados	106
Tabela 6.18 Estatística de Precipitação diária (médias de chuva dos dias chuvosos apenas)	107
Tabela 6.19 Parâmetros da função Gama	109
Tabela 6.20 Vazões disponíveis e garantias de atendimento	143
Tabela 6.21 Comparação entre demandas potenciais e volume disponível total	145
Tabela 10.1 Quadro-guia de avaliação da aptidão agrícola das terras (região de clima tropical semi-árido).	155

LISTA DE SÍMBOLOS

β :	Parâmetro de escala da função Gama
γ :	Parâmetro de forma da função Gama,
x :	Variável aleatória
$\Gamma(\gamma)$:	Função Gama de γ
Q :	Vazão
h :	Nível medido na régua linimétrica
h_0 :	Nível para o qual a vazão na seção de controle é nula
a :	1ª constante da equação de ajuste da curva-chave
n :	2ª constante da equação de ajuste da curva-chave
P_{00} :	Probabilidade de que o dia atual seja seco dado que o dia anterior foi seco.
P_{01} :	Probabilidade de que o dia atual seja seco dado que o dia anterior foi chuvoso.
P_{10} :	Probabilidade de que o dia atual seja chuvoso dado que o dia anterior foi seco.
P_{11} :	Probabilidade de que o dia atual seja chuvoso dado que o dia anterior foi chuvoso.
N_{00} :	Número de dias secos, na série observada, precedidos por um dia seco.
N_{10} :	Número de dias chuvosos, na série observada, precedidos por um dia seco.
N_{01} :	Número de dias secos, na série observada, precedidos por um dia chuvoso.
N_{11} :	Número de dias chuvosos, na série observada, precedidos por um dia chuvoso.

RESUMO

MARQUES, G.F. *Avaliação das disponibilidades hídricas superficiais e da aptidão agrícola do solo em estado natural como subsídios para a gestão dos recursos hídricos na bacia do rio Juramento - MG.* São Carlos, 1999. 165p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

O presente trabalho aborda o processo de gestão dos recursos hídricos integrada ao planejamento do uso e ocupação do solo por meio da avaliação da aptidão agrícola das terras e das disponibilidades hídricas superficiais em uma região do semi-árido brasileiro. A avaliação da aptidão agrícola emprega metodologia da EMBRAPA adaptada ao ambiente de sistema de informações geográficas, na qual são considerados fatores naturais presentes que oferecem limitação ao uso agrícola das terras. Como resultado, obteve-se um mapa de aptidão agrícola onde foi possível não apenas delimitar áreas com aptidão para usos agrícolas e áreas inaptas para uso sustentável, como identificar os fatores naturais preponderantes na obtenção do cenário. As disponibilidades superficiais de água foram avaliadas por meio de curvas de permanência de vazões médias mensais, obtidas a partir da modelagem da precipitação empregando-se uma cadeia de Markov e sua correlação com dados de vazão observados para geração de séries fluviométricas longas. Comparando estas disponibilidades com as demandas potenciais segundo as aptidões avaliadas, chegou-se a diferentes potenciais de conflito por escassez de água nas sub-bacias analisadas, confirmando a necessidade da sua consideração como unidade básica de análise para a gestão.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos, sistema de informações geográficas, avaliação de aptidão agrícola, modelagem de precipitação, correlação chuva/vazão.

ABSTRACT

This work studies the water resources management process integrated to land use planning by evaluating agricultural potential of land and water quantity in a semi-arid region of Brazil. The agricultural potential is evaluated through different environmental factors which offers limitations to a sustainable agricultural use of land in a method adapted to GIS environment. As result, the agricultural potential mapped can show different land use capacities and the main environmental factors leading to that scenario. The water quantity is evaluated by using mean monthly flow probability curves made with a Markov chain to model rain behavior, generate longer time-series and correlate them to observed flow series, to extend it. Comparing the calculated water quantity to the potential demands through the agricultural potential of each area, different conflict potentials by water scarcity in the studied sub-basins is concluded. It confirms the importance in considering them as the basic analysis unit in the water management process.

Key words: Water resources management, geographic information system, agricultural potential evaluation, daily rainfall modeling, rainfall correlation.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de interação do Homem com os meios físico e biológico vêm se tornando mais marcantes a medida em que sua sociedade evolui tecnologicamente em busca da organização de seu espaço geográfico, que AB'SÁBER (1994, p.35,36) define como "a resultante de uma acumulação, mais curta ou mais longa, de processos históricos cumulativos decorrentes da atuação de múltiplos atores sociais".;

As conseqüências destes processos, alavancados com a revolução industrial, têm atraído a atenção de inúmeros cientistas, políticos e pessoas de um modo geral nas últimas quatro décadas, quando se evidencia cada vez mais o condicionamento biofísico do crescimento econômico. Estas conseqüências, definidas como externalidades do processo, compreendem o que é gerado durante o processo sem que haja custo: poluição, escassez de recursos naturais, redução na qualidade de vida, e elas existem, segundo e HELM & PEARCE (1991), devido à falha do sistema econômico em contabilizar todos os custos e benefícios gerados da exploração de recursos naturais. O resultado é paradoxal, para REPETTO et al. (1989) apud CAVALCANTI (1997) ferramentas econômicas como o PIB, confundem o esgotamento de recursos com a geração de renda, levando a ganhos ilusórios de renda quando na verdade o que ocorre são perdas permanentes de riqueza.

Dentro deste contexto, torna-se necessário um maior entendimento das relações de troca entre os modos de produção e o ecossistema no qual se inserem e dependem. Isto significa, de um lado, o estudo do meios antrópico, físico e biológico bem como suas capacidades e suscetibilidades e por outro, uma revisão na compreensão da ciência econômica . Não se pode falar em sustentabilidade enquanto limites biofísicos do ecossistema não forem respeitados pelo crescimento econômico e os chamados custos ambientais, advindos da apropriação de recursos naturais, não forem adequadamente valorados e internalizados pelas atividades de produção e consumo.

Assumindo um papel de extrema importância como ente regulador de processos biológicos, físicos e climáticos, a água destaca-se, dentre os recursos naturais, como elemento merecedor de estudos detalhados. Sua distribuição é irregular, no tempo e no espaço, levando à variações sazonais significativas e a uma conseqüente redução no potencial economicamente explorável, (BARTH, 1987). Estas peculiaridades mostram a necessidade de se considerar a água, segundo BARTH (1987), como um recurso finito e de ocorrência aleatória, apesar de renovável. A não observância de tais aspectos tem ocorrido em impactos desde a ordem econômica, como prejuízos causados por secas ou inundações, ordem ambiental, como degradação dos níveis de qualidade, e de ordem social, quando se analisa os efeitos destes impactos sobre o Homem como dependente direta ou indiretamente dos recursos hídricos. Para efeito de exemplo, basta considerar o êxodo rural gerado, entre outros fatores, pela má gestão da água em várias regiões brasileiras, notadamente as localizadas no semi-árido.

A gestão do uso da água, objeto do presente trabalho, insere-se neste cenário como meio para o desenvolvimento, buscando compatibilizar as disponibilidades e as demandas pela água e assegurando sua disponibilidade de forma confiável, considerando as susceptibilidades e capacidades do meio físico sob a forma de recursos hídricos e bacia

hidrográfica na qual se inserem. Aqui, cumpre ressaltar a importância do planejamento do uso e ocupação do solo em conjunto com a água, uma vez que a manutenção dos mananciais existentes em termos qualitativos e quantitativos só é possível mediante uma ocupação coordenada da bacia hidrográfica, visando, segundo BARTH (1987), desenvolvimento econômico nacional, desenvolvimento regional, promoção da melhoria da qualidade de vida e da qualidade ambiental.

A bacia hidrográfica alvo do presente estudo situa-se ao norte do estado de Minas Gerais em região de clima semi-árido onde problemas relacionados à escassez de água são uma constante no cenário de desenvolvimento regional. Além dos problemas de escassez, precursores de um grande número de contenciosos entre usuários, a erosão e o conseqüente assoreamento dos mananciais têm chamada a atenção nos últimos anos, uma vez que sua influência na disponibilidade da água já vem sendo percebida, especialmente em reservatórios.

O presente trabalho posiciona-se desta forma, como estudo de métodos que por meio da análise, processamento e organização de informações acerca do meio físico, busca a elaboração de subsídios para o planejamento do uso da água e do uso e ocupação do solo como forma de conter os problemas existentes.

Os métodos empregados contam com a elaboração de mapas de aptidão agrícola baseados em metodologia desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), apresentada em RAMALHO e BEEK (1995), e adaptada neste trabalho para ambiente de sistema de informações geográficas (SIG).

A metodologia consiste na avaliação da aptidão agrícola em função do grau de limitação apresentado por vários fatores ambientais a saber: fertilidade, deficiência de água, excesso de água, suscetibilidade à erosão e impedimento à mecanização. As limitações apresentadas pelos fatores ambientais mencionados foram avaliadas considerando-se as terras em seu estado natural, ou seja, sem aplicação de técnicas de manejo e/ou

melhoramento. O sistema de informações geográficas contribuiu para um significativo aumento na capacidade de processamento e cruzamento das informações ambientais utilizadas, espacialmente distribuídas.

O mapa de aptidão agrícola é analisado à luz de cada um dos fatores limitantes apresentados como forma de identificar os preponderantes na geração do cenário produzido. Estas informações são também cruzadas com dados de uso atual do solo na bacia ao se analisar a situação presente de intervenções antrópicas no meio físico como causa dos problemas existentes e potenciais.

Com relação aos recursos hídricos, foi modelado o fenômeno de chuva na bacia utilizando-se uma cadeia de Markov de primeira ordem e posteriormente feita uma simulação com a geração de séries de dados pluviométricos mais longas que a observada. As séries de chuva observada foram correlacionadas com séries de vazão observada para a geração de séries de vazão também mais longas, a partir das quais foram elaboradas as curvas de permanência.

Procurou-se, desta forma, avaliar a disponibilidade de água superficial associada a uma garantia de suprimento por meio de curvas de permanência de vazões médias mensais. Foi possível uma comparação das disponibilidades mensais com as demandas potenciais produzidas considerando-se uma possível ocupação das áreas delimitadas conforme a aptidão agrícola, confirmando-se a gravidade dos problemas relacionados à escassez de água na bacia e a necessidade do planejamento em seu uso.

2. OBJETIVOS

O trabalho apresentado busca a sistematização de informações disponíveis acerca do meio físico, necessárias para a implementação de um processo de gestão de recursos hídricos integrado ao planejamento do uso do solo como forma de conter problemas de conflito pelo uso da água além de problemas ambientais como erosão, responsáveis pelo assoreamento de mananciais superficiais e redução na disponibilidade de água.

Especificamente, propõem-se:

- Identificar as fragilidades e limitações das terras em seu estado natural, por meio de avaliação da aptidão agrícola.
- Averiguar o comportamento temporal da precipitação na bacia
- Avaliar disponibilidades hídricas mensais associadas a uma garantia de atendimento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1.O uso dos recursos naturais pela atividade econômica contemporânea

De acordo com SACHS (1997), o crescimento econômico é, e ainda será por algum tempo, condição necessária mas não suficiente para o desenvolvimento. Esta afirmação reflete uma mudança nos chamados paradigmas de desenvolvimento que, a partir da década de sessenta, embora ainda que de forma incipiente, passam a incorporar a variável ambiental em seus conceitos.

Entretanto, consolidada a consciência de que não é ambientalmente possível a generalização em escala mundial dos padrões tecnológicos atuais de produção e consumo adotados pelos países do primeiro mundo, o desafio que se coloca hoje é, para SACHS (1997), como fazer com que os frutos do crescimento econômico beneficiem a sociedade toda e, ao mesmo tempo, preservem o capital da natureza e a resiliência dos ecossistemas. O primeiro passo nesse sentido é analisar a lógica de apropriação dos recursos naturais e geração de riqueza preconizados pelos sistemas econômicos atuais que, para CAVALCANTI (1997, p.63,64), significa “rever a compreensão da ciência econômica e penetrar fundo na questão da sustentabilidade”.

A função de produção da economia tradicional supõe que o produto

nacional da sociedade seja resultado de uma combinação de dois fatores de produção: trabalho e capital, o que nos dá a idéia de um possível crescimento ilimitado.

BINSWANGER (1997) expõe as contradições desta abordagem ao apontar a ausência da natureza como terceiro fator de produção e atribui esse raciocínio ao fato de a teoria econômica comum se basear no modelo pré-industrial, então calcado unicamente no uso de recursos renováveis. Nesta relação, o papel de provedor de serviços e recursos exercido pela natureza (TIETENBERG 1994), é cumprido plenamente sem qualquer ação humana. Esta “dádiva” natural tornou então desnecessária a inclusão dos serviços e recursos naturais na função de produção econômica.

O crescimento econômico empreendido desde então alheio a este pressuposto básico começa a se chocar com uma “barreira invisível” que nada mais é, em última análise, a própria capacidade da natureza em manter a “casa arrumada”.

MERICO (1996) vê nesse processo uma transição de uma era em que o capital manufaturado era o fator limitante para uma era onde o fator limitante é o capital natural. A percepção deste condicionamento biofísico do crescimento econômico, como aponta CAVALCANTI (1997) na figura 3.1, demonstra a inconsistência do paradigma inicial de um crescimento econômico ilimitado.

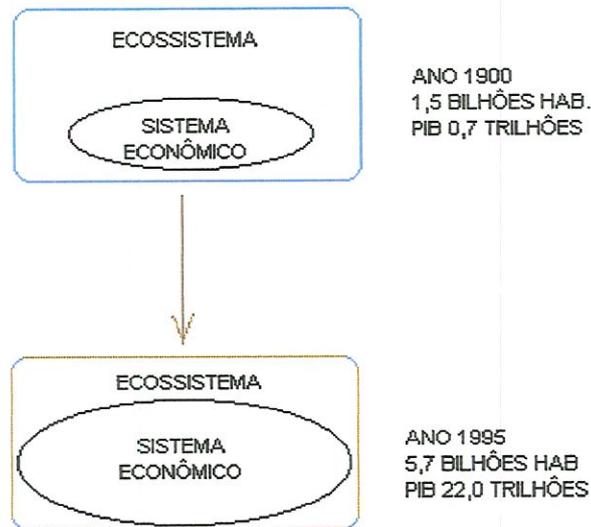


Figura 3.1 Condicionantes Biofísicos da Economia (valores em dólares).
 Fonte: Cavalcanti, 1997

BINSWANGER (1997) argumenta que a atividade econômica de produção e consumo não passa de uma transformação dos recursos naturais, dos quais se retira um valor de uso, como na queima de combustíveis fósseis, ou se acrescenta, como no processamento de minérios.

Analisando a dinâmica deste processo, PEARCE e TURNER (1990) e TIETENBERG (1994) entendem a interação entre economia e meio ambiente como um sistema fechado, onde, de acordo com TIETENBERG (1994), não há transferência de matéria entre o sistema e sua vizinhança. Sob a luz da teoria da termodinâmica, tem-se um fluxo contínuo de matéria do meio para o sistema ao mesmo tempo em que outro fluxo se desloca do sistema para o meio (lixo, resíduos). Por outro lado, obedecendo ao princípio de que a entropia¹ do processo tende a aumentar,

¹ Aqui o termo entropia indica a quantidade de energia que não é mais capaz de realizar trabalho, (MÉRICO, 1996 e TIETENBERG, 1994),

a própria entropia impõe, segundo PEARCE & TURNER (1990) um limite para esta circulação de matéria.

O processo entrópico natural do meio ambiente ocorre em todas as direções, permitindo que os ecossistemas se readaptem aos novos arranjos energéticos, sem que haja ruptura do equilíbrio (MERICO, 1996). Já o processo entrópico inserido pelo sistema econômico atua praticamente em uma única direção: consumo de matéria prima, produção de bens, consumo destes bens, ou seja, sempre de um baixo estado de entropia para um alto estado de entropia. O resultado é uma sobrecarga no ecossistema, reduzindo sua capacidade de reorganizar a energia no fluxo inverso. (Figura 3.2).

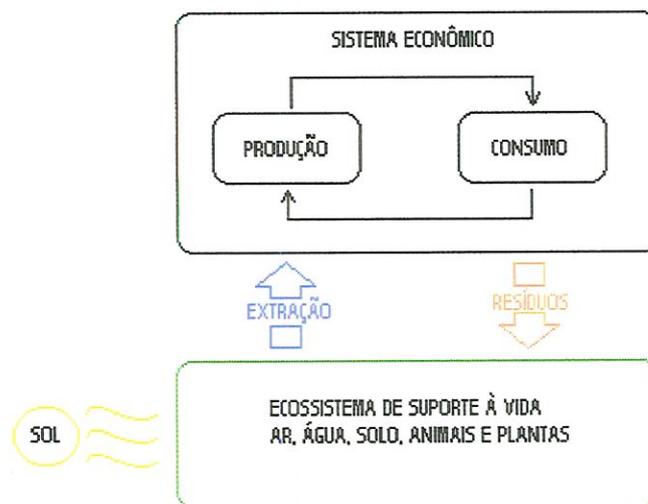


Figura 3.2 Sistema econômico e meio ambiente.
Fonte : Tietenberg, 1994

Desta forma, reformular a função de produção tradicional por meio da inserção da natureza como um terceiro fator, significa reconhecer que o

processo econômico não apenas cria os bens e serviços que compõem o produto social, mas também influencia, de forma positiva ou negativa, o estado e a qualidade do meio ambiente (BINSWANGER, 1997).

A busca do paradigma colocado por SACHS pressupõe então a inserção do conceito de escala. Não se trata portanto de definir se é ou não viável a geração de impactos sobre meio, mas sim até onde a amplitude destes impactos é viável ambientalmente (TIETENBERG 1994).

3.2.O Uso da Água como Recursos Natural: Pressupostos Básicos

3.2.1. Aspectos Gerais

A dependência que o Homem apresenta pela água, para sobrevivência e gênese de seu espaço, pode ser claramente percebida quando se observa os níveis de consumo atuais. Aproximadamente 4000 km³ são retirados anualmente de fontes naturais como rios, lagos e aquíferos subterrâneos segundo BISWAS (1993) (figura 3.3). É o recurso natural mais utilizado pelo homem.

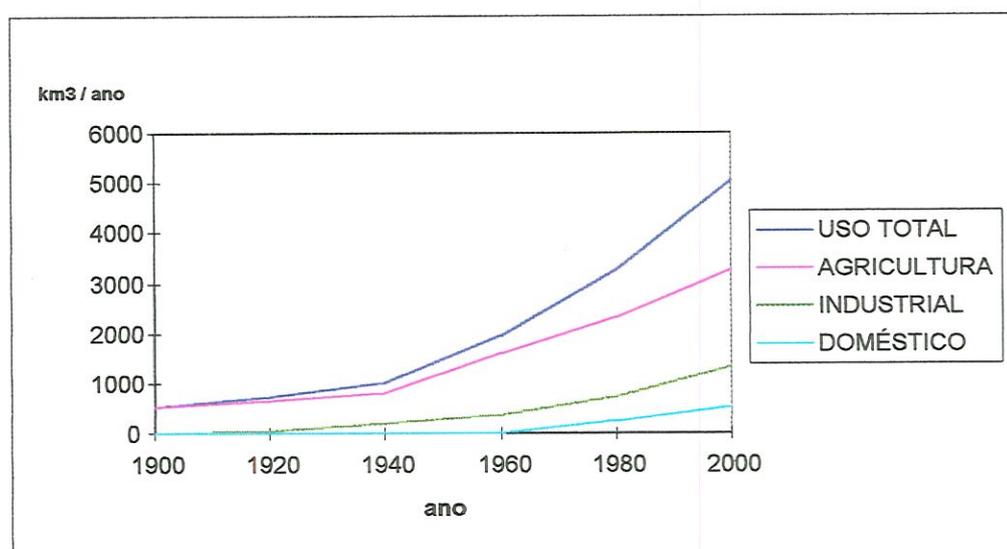


Figura 3.3 Aumento nas demandas mundiais de água. 1900 - 2000.
Fonte: Biswas, 1993

Este contexto faz com que, segundo GOLUBEV (1993), grande parte dos problemas ambientais estejam, de alguma forma, relacionados com o uso da água. É importante ressaltar que isso não exclui problemas sociais e econômicos inerentes ao processo de apropriação e uso da água, muitas vezes inseridos como causa ou conseqüência de problemas ambientais.

O uso sustentável dos recursos hídricos assume, desta forma, papel relevante como parte indissociável de um processo mais amplo de desenvolvimento. O estudo da circulação da água e suas interfaces no meio ambiente bem como das instituições desenvolvidas pelo Homem para sua apropriação e uso constituem o primeiro passo neste processo.

3.2.2. Entendendo a dinâmica do meio físico e suas respostas à ação antrópica

Os recursos hídricos, como parte do meio físico, são profundamente afetados por interações com o meio biológico e antrópico, além dos mecanismos contidos no próprio meio físico. Mudanças nos regimes hídricos afetam todo o ecossistema da bacia, enquanto que ações inseridas na bacia, por sua vez, alteram parâmetros como capacidade de retenção de água pelo solo, evapotranspiração, entre outros, que terão influência direta sobre a qualidade e quantidade da água drenada pela bacia (GOLUBEV, 1993).

MÜLLER et al (1998) estudaram o comportamento temporal dos principais parâmetros hidrológicos da bacia do Rio Piracicaba e detectaram alterações como aumento na evapotranspiração. MÜLLER et al (1998) apontam o aumento na área irrigada e nas áreas de reservação, além de mudanças no uso do solo, como fatores responsáveis pelas alterações climáticas e alertam para a possibilidade de diminuição nas vazões do Rio Piracicaba nos próximos anos.

As atividades de irrigação são, para BISWAS (1978) e GOLUBEV (1993), responsáveis pelo maior volume de água consumida dentre todos os outros usos, com cerca de 70 a 80% de toda água consumida, sendo que em regiões áridas e semi-áridas este valor pode chegar a mais de 90%.

Entretanto, a eficiência de grande parte dos métodos de irrigação atualmente adotados é baixa devido principalmente às perdas substanciais de água por escoamento superficial, evaporação e por falhas na sua distribuição no solo. As causas desta situação são apontadas por BEZERRA et al (1996) como sendo falta de critérios no dimensionamento dos sistemas, a falta de conhecimento dos irrigantes no manejo e conservação dos equipamentos aliadas às condições ambientais desfavoráveis ao método utilizado. Este cenário tem sido responsável, além do desperdício da água, por impactos ambientais adversos, dentre eles a elevação do nível freático que, associado a um sistema de drenagem deficiente pode levar ao acúmulo excessivo de sais no solo, comprometendo a produção agrícola (GOLUBEV, 1993, ELGABALY, 1978 e BERNARDO, 1995).

MORAES et al (1998), analisando a estacionariedade² de séries hidrológicas na bacia de Itaipu, detectaram aumento em várias séries de vazões sem um aumento correspondente na precipitação em algumas áreas. Este fato foi tido como indicativo de que outros fatores, como alteração do solo, interferem no processo. MORAES et al (1998) comentam ainda que a remoção da cobertura florestal nativa pode explicar a conseqüente redução na evapotranspiração, fato que, aliado às práticas atuais de manejo agrícola no estado, têm contribuído para a manutenção da umidade do solo e aumento no nível do lençol freático.

Segundo SOUZA et al (1984), supressões sistemáticas na cobertura vegetal, responsável pela retenção de água, levam a reduções no tempo de

² Segundo TUCCI (1993), um processo é estacionário quando não sofre modificações nas características estatísticas de sua população ao longo do tempo.

concentração da bacia hidrográfica provocando picos de cheia mais acentuados e estiagens mais prolongadas.

A região alvo do presente trabalho localiza-se em região semi-árida, um clima particularmente vulnerável à oscilações climáticas (GOLUBEV, 1993) e sujeito a um regime de precipitações mal distribuído, espacialmente e sazonalmente. O estudo destes regimes irá permitir a determinação de padrões de comportamento como médias diárias e mensais de chuva, duração de períodos secos e chuvosos. Estas informações servirão de base para o planejamento do uso sustentável da água na bacia.

3.3.O Papel da Gestão no Uso da Água: Em busca de um novo paradigma

Conhecer o meio ambiente e todas suas interfaces passa a ser condição necessária mas, segundo SOUZA (1996), não suficiente para uma adequação entre desenvolvimento econômico e qualidade ambiental e de vida.

A gestão dos recursos hídricos se insere neste contexto, como um processo dinâmico pelo qual se pretende equacionar e resolver as questões de escassez relativa dos recursos hídricos, organizando e compatibilizando os diversos usos setoriais, através de uma adequada administração da oferta e da demanda das águas (BARTH, 1987) e deve, segundo JACOBI (1996), se sustentar em quatro elementos: base territorial administrativa, nível de organização comunitária, instrumentos de disciplinamento e sanção e instrumentação técnica.

Para GRIGG (1998), atender à crescente demanda global pela água no próximo século é um desafio que requer a reorientação das ações do Homem segundo um novo paradigma. A principal característica desta nova orientação é a transição de uma era desenvolvimentista para uma abordagem mais democrática, na qual mais do que soluções técnicas, o

desenvolvimento de um arcabouço institucional capaz de conciliar todos os interesses envolvidos se coloca como a maior dificuldade para o Homem (GRIGG, 1998).

3.3.1. Planejamento e Gestão: Conceitos básicos

Para LANNA (1997, p.24), a gestão das águas é “ uma atividade analítica e criativa voltada à formulação de princípios e diretrizes ao preparo de documentos orientadores e normativos à estruturação de sistemas gerenciais e à tomada de decisões que têm por objetivo final promover o inventário, uso, controle e proteção das águas.”

Esta atividade é composta pelos seguintes elementos (adaptado da ABRH , 1996 por LANNA, 1997)³

Política das águas: Conjunto consistente de princípios doutrinários que conformam as aspirações sociais e governamentais no que concerne à regulamentação, ou modificação nos usos, controle e proteção das águas.

Plano das águas: É qualquer estudo prospectivo que busca, na sua essência, adequar o uso, controle e grau de proteção das águas às aspirações sociais expressas formal ou informalmente na política das águas.

Gerenciamento das águas: Conjunto de ações governamentais destinadas a regulamentar o uso e o controle das águas e a avaliar a conformidade da situação corrente com os princípios doutrinários estabelecidos pela política das águas.

Modelo de gerenciamento: Configuração administrativa e institucional adotada na organização do Estado para gerir as águas.

³ ABRH, (1986). *Boletim 3*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. apud. LANNA, A.E. (1997). Modelos para gerenciamento das águas. *A água em revista*. CPRM. ano V, n.8, março, p.24-33.

A realização de todas atividades que compõem o processo de gestão, da operação de elementos de infra-estrutura como reservatórios até a determinação de programas de investimento, passando por atividades de pesquisa e operação de sistemas de coleta e análise de informações, deve ser desempenhada de forma integrada. GRIGG (1985) aponta a atividade de planejamento como elo de integração entre estas atividades, responsável pelo compartilhamento de informações e cooperação entre cada uma delas, garantindo seu funcionamento de forma eficaz.(Figura 3.3).

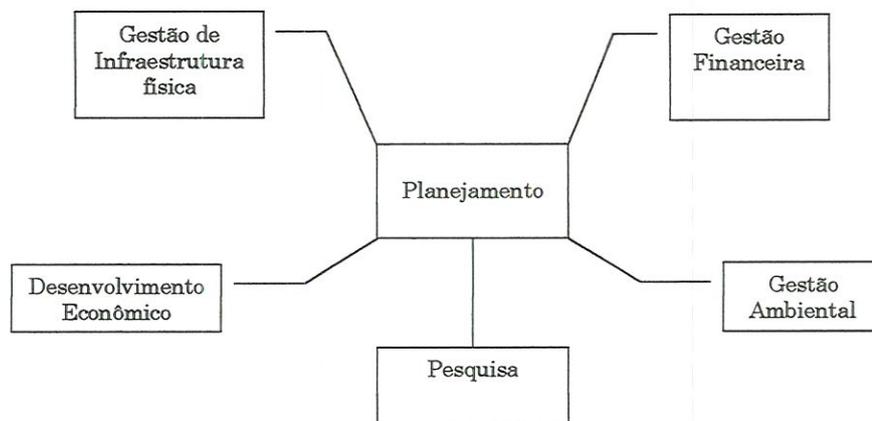


Figura 3.4 Planejamento.
Fonte: Grigg (1985)

Em GRIGG (1985), a U.N. define planejamento como:

“Atividade que visa o uso compartilhado dos recursos disponíveis. Planejar o desenvolvimento dos recursos hídricos envolve análises de demandas a curto e longo prazos e o estudo de formas de se atender a estas demandas, avaliação comparativa de soluções alternativas com respeito as fatores técnicos, econômicos e sociais.”

O processo de planejamento envolve, desta forma, as seguintes etapas, segundo GRIGG (1985):

- i. Definição da política a ser adotada e dos objetivos a serem alcançados.
- ii. Avaliação das demandas de recursos e serviços
- iii. Avaliação dos recursos disponíveis e potenciais
- iv. Fixação de critérios e padrões para avaliação e seleção de alternativas.
- v. Estabelecimento da estrutura institucional necessária para o planejamento, implementação e operação.
- vi. Planejamento dos recursos humanos necessários.

Estas características dão à atividade de planejamento um caráter fundamentalmente multidisciplinar em que o mais importante é que cada ator envolvido seja capaz de posicionar a sua atividade e habilidades de uma forma holística, compreendendo também a importância dos demais aspectos envolvidos no processo.

3.3.2. Aspectos Políticos

Para BARTH (1987), gestão de recursos hídricos é uma questão política. De fato, como comenta BISWAS (1978), passando pelo projeto e estudo de viabilidade do plano, realizado pelo corpo técnico, a decisão final é parte de um processo político. Neste ponto, o sucesso de um modelo de gestão vai depender do comprometimento da ação política com os problemas reais e com a estratégia adotada para sua implementação. Em muitas situações, têm-se verificado uma abordagem *reativa*, ou seja, o processo de estudo e planejamento é desencadeado por situações de

escassez e conflito pelo uso da água quando estas começam a impor limitações ao desenvolvimento econômico e social (BARTH, 1987). Este procedimento cujos problemas relacionados com o uso da água não são estudados antecipadamente, tem resultado em prejuízos ainda sequer quantificados, decorrentes de seu agravamento e instalação de conflitos entre usuários da água.

Como crítica a esta “política” de recursos hídricos, TONET e LOPES (1994) apud LANNA (1997, p.30)⁴ comentam que tal comportamento passivo, de aguardar a manifestação da demanda para então procurar atendê-la, deixa a organização vulnerável, compromete a eficiência e inviabiliza o emprego de soluções rápidas e efetivas,

3.3.3. A água como bem comum: institucionalizando o direito de uso.

A disponibilidade dos recursos hídricos como bem comum, aliada à própria natureza física da água, os sujeita à imperfeições do mercado econômico, dentre estas a incapacidade de alocar de forma eficiente bens que não são controlados por um único agente ou bens de “propriedade comum”.

Para LIVINGSTON (1995), existem três condições centrais que devem ser observadas em um sistema de mercado no processo de alocação de um recurso qualquer de forma eficiente:

- i. A disponibilidade do recurso deve ser conhecida em termos de quantidade, qualidade, localização e tempo;

⁴ TONET, H.C.; LOPES, R.G.F. (1994). Alternativas organizacionais mais adequadas para viabilizar o uso dos instrumentos de avaliação de impactos ambientais e gerenciamento de bacia hidrográfica. *Texto de Consultoria em Gestão Pública para o Projeto de Tecnologias de Gestão Ambiental*. Brasília, IBAMA. Apud. LANNA, A.E. (1997). Modelos para gerenciamento das águas. *A água em revista*. CPRM. ano V, n.8, março, p.24-33.

- ii. O recurso deve ser facilmente divisível;
- iii. O uso do recurso não deve afetar, ou ser afetado, pelo uso por outros usuários.

Notadamente, o recurso água não obedece a nenhum destes pressupostos. A natureza aleatória dos fenômenos de precipitação e a complexidade da circulação da água em todos os estágios do ciclo hidrológico aumentam o nível de incerteza quanto à sua ocorrência. Essas incertezas quanto à disponibilidade de um recurso impedem seu uso de forma eficiente, pois reduzem as expectativas de retorno ao se investir em atividades altamente dependentes de água (LIVINGSTON, 1995). A ocorrência normalmente concentrada na região dos mananciais torna a distribuição da água uma necessidade e os custos desta distribuição colocam usuários menos favorecidos geograficamente em posição desvantajosa quando não inviabiliza a competição. Por fim, a indivisibilidade inerente ao recurso água viola, para LIVINGSTON (1985), uma das mais importantes condições preconizadas pelo uso eficiente: independência das funções de consumo e produção. Isso introduz na economia de um determinado usuário custos adicionais cujo controle não está a seu alcance.

TIETENBERG (1994) define este efeito como externalidade, ou seja, a interação que um determinado agente sofre de uma atividade gerada por outro agente e portanto fora de seu controle.

Para efeito de exemplo, quando um irrigante a montante altera o regime ou qualidade de um corpo d'água e afeta os usuários do rio a jusante, considera-se que os usuários a jusante estão sujeitos a uma *externalidade*⁵ da atividade de irrigação a montante.

A existência destas externalidades leva a outra distorção mais grave ao se lidar com recursos de bem comum. TIETENBERG (1994)

⁵ Neste exemplo, uma externalidade *negativa*. Um usuário beneficiado com uma vazão regularizada por uma barragem estaria sujeito a uma externalidade *positiva*.

comenta que sem um direito de exclusividade, usuários do bem comum irão explorá-lo intensivamente até sua escassez, uma vez que os prejuízos gerados quando se explora um bem particular de forma abusiva ou custo de oportunidade da superexploração não irão afetá-los diretamente dado que ninguém é dono do bem.

Segundo o relatório sobre desenvolvimento e meio ambiente do Banco Mundial (1992), comentado por JACOBI (1996), já são 22 países cujos recursos hídricos renováveis são considerados escassos, fato que afeta não só atividades econômicas, como o próprio abastecimento doméstico em casos mais extremos. No Brasil, a má distribuição geográfica da água acentua este quadro de escassez. De acordo com ROMANO (1996), aproximadamente 80 por cento dos recursos hídricos do país se concentram na Amazônia, onde vivem apenas 5 por cento da população, enquanto que no Nordeste 35 por cento da população dispõe de 4 por cento dos recursos hídricos.

A correção das distorções apresentadas pela apropriação e uso da água sob mecanismos de mercado exige em um primeiro momento a coordenação do processo por uma rede institucional capaz de fornecer aos usuários um direito de uso da água seguro e ao mesmo tempo flexível, estabelecendo as bases para controle administrativo sobre a água (LIVINGSTON, 1995).

3.3.4. Bases para um arcabouço institucional efetivo e contribuições da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)

Os modelos de gestão que hoje vêm sendo utilizados e discutidos, segundo LANNA (1997), adotam a bacia hidrográfica como unidade administrativa. Esta abordagem é hoje, para MAGYAR et al. (1996), uma tendência mundial que implica em modelos com estruturas descentralizadas, nos quais os governos municipal, estadual e federal são

obrigados a negociar e compatibilizar suas respectivas competências. Modelos descentralizados incentivam os núcleos regionais na tomada de decisões, aprimorando sua capacidade de planejar e discutir alternativas de desenvolvimento, como é comentado por ARBHABHIRAMA et al. (1981).

MAGYAR et al. (1996) colocam que a busca crescente de maior participação pela sociedade organizada no processo de tomada de decisões também representa um fator determinante do movimento pela adoção de modelos de gestão descentralizados.

A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento aponta para a figura do comitê de bacia como elemento fundamental na compatibilização de iniciativas regionais, estaduais e até internacionais no tocante ao uso da água. O comitê de bacia é uma instituição que reúne todos os atores sociais e seus interesses presentes em uma determinada bacia hidrográfica. É um fórum de discussão que deve buscar, acima de tudo, o desenvolvimento regional, compatibilizando interesses, compartilhando idéias e propondo soluções, não apenas no tocante aos recursos hídricos mas envolvendo também o uso e ocupação do solo. Os atores sociais mencionados são os usuários das águas, entidades civis de recursos hídricos como ONGs e representantes do poder executivo nas esferas municipal, estadual e federal⁶

No entanto, para que esta função integradora seja efetiva, é necessário que os comitês compartilhem de certos preceitos básicos, a saber:

- i. A iniciativa para sua organização deve partir de baixo para cima, ou seja, a partir de usuários interessados na solução dos problemas. Só assim é possível garantir a representatividade da realidade local. É importante ressaltar que isto não deve significar uma abordagem reativa do problema. Cabe ao meio técnico interessado na bacia, quer

⁶ A representação dos poderes executivos da União, Estados e Municípios é limitada à metade do total dos membros (LEI Federal No 9.433 de 8 de Janeiro de 1997).

- na qualidade de ONGs, órgãos setoriais ou universidades, a identificação dos problemas potenciais e à implementação de programas que visem a informação e educação dos usuários enquanto sociedade, incentivando a sua associação como forma de cidadania.
- ii. Devem ter representatividade política suficiente entre os estados ou municípios constituintes de forma mais equalitária possível, de modo a evitar a predominância de idéias de grupos isolados.
 - iii. Apesar de voltados para a gestão da água na bacia, a abordagem dos problemas pelo comitê deve se dar de forma sistêmica, considerando sempre os impactos de suas ações nas bacias vizinhas.

A Política Nacional de Recursos Hídricos⁷ (PNRH) institui as Agências de Água como braço executivo, técnico e financeiro dos Comitês de Bacias. O dueto Comitê e Agência irá elaborar e implementar os planos de recursos hídricos da respectiva bacia de forma altamente participativa e descentralizada. O maior desafio que se coloca nesse ponto é a articulação das entidades setoriais já existentes.

O fortalecimento deste sistema de organização dito setorial criou entidades públicas com grandes poderes que competem entre si, gerando conflitos e impasses políticos de difícil resolução (LANNA, 1997). Frente a esta situação, LANNA (1997) coloca a necessidade do estabelecimento de um modelo de gerenciamento que possibilite o desenvolvimento econômico integral e multisetorial da bacia, com capacidade de abordar como um todo problemas de crescimento econômico, equidade social e sustentabilidade ambiental. Tal modelo deve conter, para BARTH (1987), mecanismos de coordenação interinstitucional e intergovernamental como os próprios comitês de bacias hidrográficas.

⁷ LEI FEDERAL No 9.433 de 8 de janeiro de 1997

Para GONÇALVES (1996), a integração de culturas e tecnologias tão diversas em nível operacional, tático e estratégico requer o abandono dos velhos paradigmas da Administração, exigindo um processo de coordenação em rede, no qual é necessário o aprendizado de valores democráticos para priorizar as demandas e compartilhar recursos de forma consensual.

Atentando-se para o fato de que os limites físicos da bacia hidrográfica normalmente não se sobrepõem aos limites políticos, ultrapassando limites municipais, estaduais e até federais, a adoção de uma bacia como unidade administrativa de planejamento pressupõe, em sua essência, um modelo de gestão integrado.

3.3.5. Superexploração e escassez relativa: considerações sobre valoração econômica.

Como o valor econômico dos recursos naturais, dentre eles a água, não é cobrado, a tendência é que cada usuário tente usar o máximo do recurso que for possível para aumentar sua renda. A chegada de novos usuários na bacia se apropriando de um volume cada vez maior do recurso aumentará sobremaneira as externalidades geradas e o recurso se torna então um bem *escasso* na medida que tem sua disponibilidade e qualidade reduzidas.

Segundo SOUZA (1995), os mecanismos de mercado rezam que, quando um bem começa a escassear em relação à demanda, há um aumento em seu preço que faz com que os consumidores busquem outras alternativas ou procurem otimizar seu uso. Como não se cobra pelo valor econômico da água, a economia de mercado não se aplica. Com efeito, em que pese as considerações de TIETENBERG (1994) acerca do agravamento das externalidades como consequência dos recursos hídricos utilizados como bem comum, o fato de este bem não ter seu valor cobrado

pode ser apontado como fator preponderante no desenvolvimento de situações de escassez.

A valoração dos recursos naturais se fundamenta nesta deficiência do mercado e busca, através de instrumentos como cobrança pelo uso da água, atenuar os conflitos entre sistema econômico e meio ambiente no processo de apropriação de recursos naturais. SOUZA (1996) comenta ainda que uma vez que os produtos e serviços não contemplam as externalidades negativas que ocasionam, pois não há incorporação dos valores sociais e preço dos recursos, têm-se como resultado uma distorção na real composição dos preços finais.

Este problema de custo social é ilustrado por GARRIDO (1996) na figura 3.5

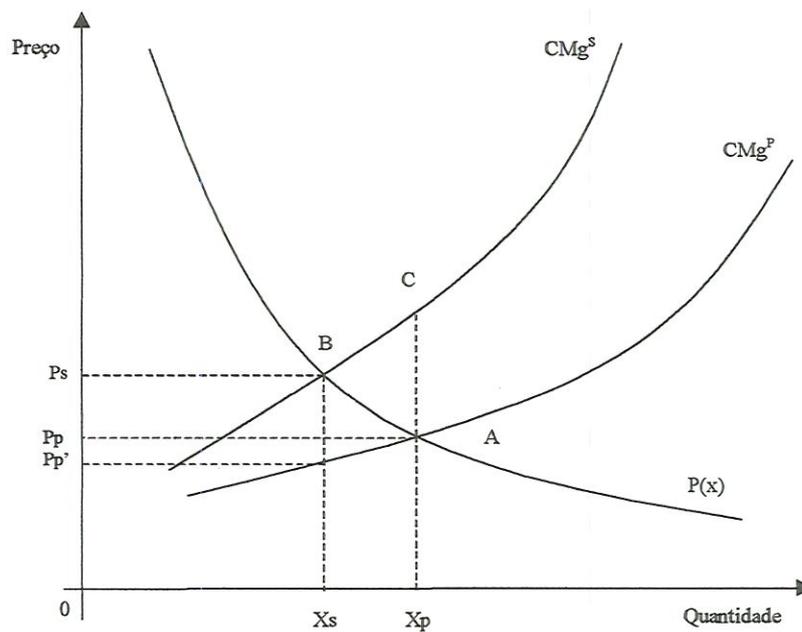


Figura 3.5 Diagrama de distorção entre custos social e privado.
Fonte: Garrido, 1996.

De acordo com GARRIDO (1996), neste exemplo, a curva CMg^P mostra o custo privado que um usuário tem para utilizar 1 m^3 adicional de água de um manancial qualquer (equipamento, mão-de-obra, insumos). Como cada montante de água apropriado pelo usuário fica indisponível

para os demais (redução da disponibilidade), gera-se um custo social adicional ao custo privado (curva CMg^S) que é o que os demais deixam de ganhar por não terem aquele 1 m^3 de água disponível em suas economias. Se o usuário não levar em consideração este custo social adicional ele estará consumindo um volume “ótimo” X_p superior ao volume socialmente ótimo X_s . O custo total desta operação é a área $0CX_p$. Como o usuário só paga os custos privados (área $0AX_p$), a diferença, área $0CA$, é arcada pela sociedade como externalidade. A cobrança pode corrigir esta distorção introduzindo um custo adicional ($P_s - P_p$) e forçando usuário a reduzir seu consumo de X_p para X_s , posicionando-se em um novo ponto socialmente ótimo (ponto B).

A água deve então, enquanto recurso escasso, ser gerida como bem econômico, pois na medida em que é tratada como bem comum, disponível a custo zero, a tendência é que continue a ser usada de forma descoordenada e ineficiente pela sociedade (SOUZA, 1996 e SOUZA, 1992).

O objetivo fundamental da cobrança nesse aspecto é disciplinar o uso da água e a ocupação do solo, e não deve, de forma alguma ser confundida como meio de arrecadação para financiamento de serviços e obras de aproveitamento dos recursos hídricos, sob a pena de descaracterização e perda de sua função como instrumento efetivo de gestão.

Alguns critérios a serem seguidos na formulação de mecanismos de cobrança, apresentados por BARTH (1996) durante o *Workshop* sobre cobrança pelo uso da água, realizado em Belo horizonte em agosto de 1996, e reunidos em ALVES (1997), são enumerados a seguir de forma resumida:

- i. A implementação da cobrança pelo uso da água deve ser universal, de acordo com as peculiaridades das bacias e a capacidade de

- pagamento dos usuários, iniciando-se nas bacias críticas onde a água já é ou está se tornando escassa;
- ii. A implementação da cobrança deve levar em consideração critérios diferenciados para a composição de preços, em função de fatores como sazonalidade, especificidades locais, tipos e eficiência dos usos;
 - iii. Devem ser consideradas bonificações para quem utilizar a água de forma eficiente;
 - iv. Para captação da água deve ser considerado o volume de captação e para lançamento, também as características físico-químicas e biológicas do efluente.

3.4. Avaliação da Disponibilidade de Recursos Hídricos

3.4.1. Aspectos Gerais

A disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica é uma variável fundamental em qualquer processo de planejamento e que pode, independente dos outros fatores, tanto limitar perspectivas de desenvolvimento quanto abrir novos horizontes para implementação de atividades produtivas. A sua determinação de forma confiável, necessária a estudos de viabilidade, planos de controle ambiental e processos de outorga se coloca muitas vezes como um desafio quando o profissional se depara com situações de carência de informações hidrológicas (SILVEIRA et al. 1998).

O estudo de séries fluviométricas apresenta limitações nesse sentido uma vez que em grande parte dos casos estão disponíveis em períodos curtos, além de estarem sujeitas a problemas de não-estacionariedade temporal devido a influências antrópicas como

construção de reservatórios, retificação de rios e urbanização de bacias (CONEJO 1980, PALERMO e LIN, 1983). Menos sensíveis a estes fatores e normalmente disponíveis em períodos de observação maiores, dados pluviométricos apresentam-se como variável hidrológica capaz de levar a resultados mais confiáveis.

CONEJO (1980) comenta que a utilização do comportamento estatístico de uma série histórica para geração de eventos hidrológicos, apesar de não aumentar o conhecimento a respeito da variável em estudo, permite uma estimativa mais fiel das probabilidades associadas às variáveis hidrológicas derivadas da variável em questão. A geração de séries sintéticas nesse sentido, se apoia em parâmetros estatísticos da série histórica considerados representativos do universo. Desta forma, quanto mais extensa for a série histórica, mais representativos serão os parâmetros e mais próxima da realidade estará a série sintética gerada.

A limitação inicial acerca da avaliação da disponibilidade hídrica pode ser então atenuada ao se lançar mão de ferramentas de modelagem probabilística do comportamento da precipitação e modelagem matemática dos processos físicos que ocorrem quando da transformação da chuva em vazão na bacia hidrográfica.

Outro fator de interesse com respeito à disponibilidade de água é a garantia de atendimento. O usuário necessita de um nível de garantia de que terá disponível uma vazão no mínimo igual à que lhe foi outorgada, de modo que possa avaliar com menos incerteza os riscos do investimento em sua atividade. Associando a cada montante outorgado uma garantia de disponibilidade pode-se elaborar um sistema de outorgas mais flexível e reduzir as possibilidades de conflito entre usuários.

Uma manipulação bastante utilizada é a organização das informações acerca das vazões em curvas de permanência (LANNA 1993), em que são apresentadas as freqüências com que ocorrem valores iguais ou superiores aos da série estudada. As curvas de permanência

constituem desta forma, um método adequado para avaliação do potencial de abastecimento de uma dada seção fluvial.

3.4.2. Fundamentos para modelagem de precipitação diária

Uma série sintética de dados pluviométricos gerada a partir de uma série histórica observada, pode ser descrita por três variáveis aleatórias: altura da chuva, duração do período chuvoso e duração do período seco. Grande parte dos modelos estudados contemplam basicamente duas etapas:

- Determinação se o dia é seco ou chuvoso
- Se for chuvoso, qual a altura precipitada

A determinação da ocorrência ou não de chuva no dia gerado é baseada no comportamento estatístico da série observada. Nesta etapa alguns autores como POMPÊO e RIGHETTO (1983); PALERMO e LIN (1983); GENOVEZ (1987) e KRÜGER et al, (1998), utilizaram uma cadeia de Markov na qual o estado de um determinado dia (seco ou chuvoso) só depende do estado do dia anterior, caracterizando portanto uma cadeia de primeira ordem. A consideração deste pressuposto fundamenta-se na ocorrência da *persistência* no fenômeno de chuva, ou seja, dias chuvosos têm a tendência de ocorrer agrupados. Desta forma, o fato de chover em um determinado dia aumenta a probabilidade de que venha a chover no dia seguinte. Este comportamento é melhor verificado em situações com predominância de precipitações do tipo frontal, nas quais a influência de uma grande massa de ar é capaz de provocar chuva por vários dias.

Para a consideração do que é um dia chuvoso, os trabalhos consultados de POMPÊO e RIGHETTO (1983) e KRÜGER et al (1998) não apresentaram discussões mais aprofundadas. KRÜGER et al (1998),

consideraram como chuvoso um dia com chuva maior ou igual a 0,1 mm, enquanto que POMPÊO e RIGHETTO (1983) consideraram como chuvoso um dia com chuva maior que zero.

A segunda fase requer o ajuste da série observada a uma função teórica de distribuição de probabilidades. Assim, caso o dia gerado seja chuvoso, a altura gerada será calculada com base nos parâmetros da função escolhida. Neste caso, o ajuste da função é feito somente para os dias chuvosos uma vez que além da ocorrência de dias com ou sem chuva apresentar uma natureza dispersa, os ajustes obtidos são melhores (POMPÊO e RIGHETTO, 1983). A função teórica de distribuição Gama tem apresentado resultados satisfatórios em todos os trabalhos revisados, destacando-se alguns nos quais foi empregada na segunda fase da modelagem de precipitação diária como em POMPÊO e RIGHETTO (1983) e GENOVEZ (1987). KRÜGER et al (1998) ao modelarem a precipitação diária para o estado do Paraná recomendam o ajuste pela função Gama devido ao fato de a variável aleatória chuva geralmente apresentar assimetria acentuada.

A sazonalidade é outro fator a ser considerado. Como existem diferenças tanto nas distribuições de frequência de dias secos e chuvosos quanto nas quantidades precipitadas ao longo do ano, recomenda-se a divisão deste em períodos considerados homogêneos. POMPÊO e RIGHETTO (1983) dividiram o ano em doze períodos, um para cada mês, e calcularam as probabilidades condicionais de transição entre dias secos e chuvosos na bacia do rio Jacaré-Guaçú para cada período. Observando-se os resultados obtidos, pode-se notar uma semelhança no comportamento para os meses de outubro, novembro e dezembro; abril, maio, junho, julho, agosto e setembro; janeiro, fevereiro e março. De fato, em suas conclusões, POMPÊO e RIGHETTO (1983) comentam a possibilidade de se considerar apenas dois períodos homogêneos, seco e chuvoso.

Entretanto, há indícios de que esta divisão não produza, em uma análise mais rigorosa, resultados satisfatórios para alguns meses, como verificado por GENOVEZ (1987) em seu trabalho nos meses de abril e julho. GENOVEZ (1987) sugere uma divisão do ano em um número maior de períodos mas ressalta que sendo estes meses dois dos mais secos do ano a diferença nos totais precipitados não é tão significativa em termos de total anual de forma que, em seu trabalho, o modelo com dois períodos apenas foi considerado adequado

3.4.3. Modelos de geração de precipitação diária

PALERMO e LIN (1983) e CONEJO (1980) apresentam o modelo Mero de geração de séries sintéticas para um posto único. De estrutura simples, o modelo discutido tem como principal característica o uso de um processo independente de geração de precipitação, no qual o estado atual de um determinado posto independe dos estados anteriores, tornando-o desta forma aplicável em casos em que a precipitação não apresente persistência. É utilizada a distribuição Gumbel de probabilidades para determinação do número de dias chuvosos em um mesmo período homogêneo, no caso considerado como o mês. Em seguida o número de dias determinado é distribuído aleatoriamente ao longo do mês. Para a determinação da altura precipitada também é utilizada a função Gumbel. CONEJO (1980) aplicou este modelo para alguns postos do estado de São Paulo e observou que não houve preservação dos parâmetros estatísticos de duração dos períodos chuvosos e secos, confirmando a necessidade de se levar em conta o fator persistência, dependendo da região de estudo. Entretanto, os resultados obtidos para a segunda fase foram considerados satisfatórios indicando um bom ajuste da função Gumbel para determinação das alturas precipitadas.

O modelo Brook-Kraeger, proposto por Kraeger em PALERMO e LIN (1983) e CONEJO (1980), envolve três estações pluviométricas e a geração é baseada em uma cadeia de Markov em que a ocorrência de chuva no instante atual em um determinado posto é dependente do estado anterior e/ou atual nos três postos do sistema. Se um dia chuvoso for gerado, o nível precipitado para o primeiro posto é obtido de forma independente dos outros a partir da distribuição de probabilidade acumulada da chuva diária para este posto. No segundo posto, a altura será determinada por regressão linear com o primeiro posto, caso este tenha apresentado estado chuvoso, ou pela distribuição de probabilidade acumulada do próprio segundo posto, caso o primeiro tenha apresentado estado seco. A precipitação para o terceiro posto é calculada da mesma forma, só que a regressão é feita em relação aos dois primeiros postos, se estes tiverem apresentado estado chuvoso. As relações de regressão são desenvolvidas a partir da normalização dos dados diários de precipitação, com o auxílio da distribuição de probabilidades acumuladas da chuva diária observada. Ao observar que a probabilidade de que venha a chover em um determinado dia é maior quanto maior tiver sido a altura precipitada no dia anterior, Kraeger propôs a fixação de intervalos de classe de precipitação ou estados diferentes.

CONEJO (1980) aplicou este método em algumas estações no estado de São Paulo e considerou a aderência entre os parâmetros estatísticos da série observada e gerada para as variáveis duração de chuva e período seco como boa. Entretanto, a variável chuva gerada foi sistematicamente inferior à observada, fato que CONEJO (1980) atribuiu à equação que relaciona as alturas diárias de chuva nos postos em estudo. O autor citado sugere, então, a modificação desta relação para se melhorar os resultados.

A estrutura mais complexa deste modelo exige informações mais detalhadas, além da necessidade de satisfazer a um número maior de condições, o que torna sua aplicação limitada. A existência de três postos

em uma pequena bacia, com séries longas o suficiente, raramente é verificada. Outra condição importante é que na geração de precipitação em mais de um posto as relações cruzadas entre os postos devem ser mantidas. Contudo, à medida em que a área de estudo e a distância entre os postos aumenta, a correlação entre as alturas diárias dos postos diminui sensivelmente e como o modelo de Kreager baseia-se justamente na regressão entre os postos para calcular a precipitação nos postos vizinhos, os resultados obtidos podem ser insatisfatórios (CONEJO, 1980). Por fim, o grande número de parâmetros utilizados requer séries históricas maiores para melhor estimá-los, fato que mais uma vez esbarra na situação atual de disponibilidade de informações hidrológicas, notadamente em âmbito regional.

POMPÊO e RIGHETTO (1983) também utilizaram uma cadeia de Markov de primeira ordem para determinar as probabilidades de transição entre dias secos e chuvosos, separando a precipitação em intervalos de classes ou estados.

Nesta estrutura, os valores possíveis para as precipitações diárias são discretizados através dos estados 1,2, ..., j, ..., N. O modelo desenvolvido expressa as cadeias de Markov através de duas matrizes de transição, uma de dias secos e chuvosos e outra dos estados correspondentes ao total diário precipitado. A primeira matriz (3.1), também denominada pelos autores de matriz elementar, é dada por:

$$\begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

P_{00} : Probabilidade de que o dia atual seja seco dado que o dia anterior foi seco.

P_{01} : Probabilidade de que o dia atual seja seco dado que o dia anterior foi chuvoso.

P_{10} : Probabilidade de que o dia atual seja chuvoso dado que o dia anterior foi seco.

P_{11} : Probabilidade de que o dia atual seja chuvoso dado que o dia anterior também foi chuvoso.

Os estados são caracterizados por uma segunda matriz de transição (3.2) composta por probabilidades condicionais da ocorrência da precipitação dentro de cada estado no tempo t e condicionados ao tempo anterior $t-1$. As probabilidades são calculadas com os dados históricos para o período selecionado. Foram ainda considerados doze períodos homogêneos, um para cada mês.

$$\begin{array}{c} \text{estado} \\ \text{dia } t \end{array} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & \dots & j & \dots \\ P_{11} & P_{21} & P_{31} & \dots & P_{j1} & \dots \\ P_{12} & P_{22} & P_{32} & \dots & P_{j2} & \dots \\ P_{13} & P_{23} & P_{33} & \dots & P_{j3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \dots \\ P_{1j} & P_{2j} & P_{3j} & \dots & P_{jj} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \dots \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

POMPÊO e RIGHETTO (1983) tentaram inicialmente calibrar o modelo para um série de 31 anos de precipitação diária observada para a cidade de São Carlos. Porém, esta amostra foi considerada insuficiente para uma caracterização adequada das distribuições de frequências nas matrizes de transição, levando os autores a utilizar o conjunto de dados correspondentes a toda a Bacia do Rio Jacaré-Guaçú. Como o período homogêneo adotado foi o mês, as matrizes elementares foram calculadas separadamente para cada mês. Entretanto, como o cálculo das matrizes de transição das alturas pluviométricas indicou grande semelhança nas matrizes dos meses de abril a setembro, estas foram agrupadas em uma

mesma matriz como matriz dos meses secos, o mesmo sendo feito para os meses chuvosos. O ajuste das probabilidades para o cálculo das alturas precipitadas nestas matrizes foi feito com a função Gama que, assim como a função de distribuição exponencial, apresentou ajustes satisfatórios em diversos testes realizados pelos autores em dados pluviométricos da Bacia do rio Jacaré-Guaçú.

Analisando as probabilidades calculadas nas matrizes elementares, POMPÊO e RIGHETTO (1983) observaram que o estado seco possui elevada persistência em dias consecutivos e que a mudança do estado chuvoso para o estado seco é mais provável quando a precipitação ocorre em níveis mais baixos. Os autores comentam ainda que a manutenção do estado chuvoso ocorre quando as precipitações são elevadas durante qualquer período do ano excetuando-se os meses de dezembro a fevereiro, nos quais o estado chuvoso tende a persistir mesmo em situações cuja precipitação é moderada.

As respostas do modelo foram comparadas com as séries observadas por meio de avaliações descritivas indiretas como distribuições de frequência de dias secos e chuvosos, número médio de dias chuvosos em cada mês e totais mensais precipitados. Os resultados foram considerados satisfatórios, sendo que a análise da precipitação em dois grupos apenas, meses secos e chuvoso, se mostrou aceitável. O ajuste pelas funções de distribuição Gama e Exponencial também foi considerado satisfatório ao descrever as distribuições marginais das matrizes de transição para precipitações superiores a 5 mm nos meses chuvosos e a 10 mm nos meses secos, sendo que na faixa de alturas de precipitações pequenas apenas a distribuição Gama foi capaz de reproduzir as características das distribuições marginais observadas.

Quanto às classes de precipitação, POMPÊO e RIGHETTO (1983), comentam que o tamanho de cada intervalo de classe será tanto menor quanto maior for o número de valores observados. Este fato leva a estimativas piores das probabilidades condicionais em casos de grandes

precipitações, considerando-se amostras de 20 a 30 anos. Para contornar o problema, o número de classes foi reduzido.

3.4.4. Fundamentos para estimativa de séries de vazão em uma bacia a partir de dados de chuva.

Informações sobre vazões escoadas permitem uma avaliação mais direta acerca da disponibilidade da água no tempo e no espaço. A busca de uma correlação entre a chuva em uma bacia e a vazão resultante nos canais de drenagem constitui desta forma um problema fundamental em hidrologia (XU e SINGH, 1998).

O grande número de modelos determinísticos, conceituais e empíricos para transformação de chuva em vazão disponíveis na literatura permite a simulação de vários processos presentes no ciclo hidrológico de acordo com as necessidades do usuário e da qualidade dos dados disponíveis.

TUCCI (1998) aponta como aspectos mais importantes no uso e mesmo na estrutura dos modelos os objetivos, as limitações na representação dos processos envolvidos e a qualidade e quantidade das informações utilizadas. Entretanto, TUCCI (1998) comenta ainda que devido ao grande número de erros incorporados no processo de modelagem, às vezes maiores que as próprias diferenças entre os modelos, a comparação entre estes torna-se bastante difícil.

Alguns aspectos da análise de dados

Uma fonte comum de erros na coleta de dados de chuva reside na variabilidade da distribuição espacial da chuva em relação à densidade e posição das estações pluviométricas disponíveis. Esta distribuição se relaciona com dois tipos básicos de fatores: topográficos (elevação, declividade, orientação, posição em relação ao vento e distância de fontes

de umidade) e climáticos (condições atmosféricas, característica do evento, velocidade e direção do vento) (WANIELISTA 1990; TAHER e ALSHAIKH 1998).

TAHER e ALSHAIKH (1998) estudaram a distribuição espacial de eventos de chuva no sudoeste da Arábia Saudita e verificaram que o fator topográfico altitude sozinho foi responsável por uma parcela significativa da distribuição da precipitação. LOUKAS e QUICK (1993), pesquisando a distribuição da chuva em área montanhosa do Canadá, compararam dados de estações diferentes através de análises de regressão linear e encontraram coeficientes de correlação mais baixos à medida em que diferença de altitude entre as estações comparadas aumentava. LOUKAS e QUICK (1993), comentam ainda a relevância da resolução temporal utilizada em estudos desta natureza. As maiores declividades, associadas ao tamanho normalmente reduzido de bacias com maiores diferenças de altitude produzem tempos de resposta mais rápidos, da ordem de poucas horas, exigindo medições de chuva na mesma frequência.

TUCCI (1998) comenta que a distribuição temporal e espacial da chuva pode embutir erros superiores a qualquer refinamento de metodologia que simule os processos físicos em uma bacia. Para TUCCI (1998), a qualidade e representatividade das informações determinam a diferença entre buscar um resultado confiável ou estar somente na magnitude dos valores esperados. De fato, o refinamento do modelo que se pretende usar deve ser compatível com a qualidade e acurácia dos dados disponíveis, caso contrário o usuário pode incorrer em desperdício de tempo e recursos em busca de resultados com pouca margem de confiabilidade.

3.5.O Papel da Integração com o Uso do Solo

3.5.1. Bases para o planejamento

A forma direta pela qual os recursos hídricos presentes na bacia hidrográfica são afetados pelo uso do solo, em virtude de atividades antrópicas, torna o manejo desta questão indissociável da gestão da água. Com efeito, LUNDQVIST et al. (1985) comentam que o manejo da água e do solo estão tão intrinsecamente relacionados que sua conservação e desenvolvimento não podem ser conduzidos senão de forma integrada em todos os níveis. As principais ações componentes de uma estratégia de conservação integrada de solo/água/meio ambiente enumerados por LUNDQVIST et al. (1985) são:

- i. Conservação de solos não substituíveis, afetados ou ameaçados, via aplicação de medidas como reflorestamento, sistemas de drenagem adequados e obras contra erosão (ex. tabuleiros);
- ii. Conservação da água, via práticas de conservação e manejo adequados do solo, evitando aporte de sedimentos nos corpos d'água;
- iii. Aplicação de medidas corretivas como canais de drenagem para controlar problemas de salinização;
- iv. Uso do solo de acordo com suas capacidades e susceptibilidades;
- v. Participação ativa da população local.

3.5.2. Zoneamento: sistematizando informações

O cruzamento dos dados levantados pela caracterização ambiental da bacia com as necessidades e expectativas requeridas pela ocupação humana em âmbito econômico, ambiental e social resulta num conjunto de informações espacialmente distribuídas denominadas de Zoneamento.

O zoneamento do solo constitui, desta forma, um componente de fundamental importância na composição do sistema de informações que orientará o planejamento e tomada de decisões no tocante ao uso da água e do solo na bacia. Enquanto a cobrança pelo uso da água determina “quanto”, o zoneamento indicará “onde”. Deverá portanto, permitir ao órgão gestor:

- i. Identificar áreas com maior susceptibilidade a impactos negativos, para que seu uso seja permeado das devidas técnicas de manejo e/ou restrições necessárias.
- ii. Identificar as potencialidades da bacia para as atividades de principal interesse econômico de forma espacial, através do cruzamento de informações como tipo de solo, declividade, geologia, entre outras.
- iii. Determinar a localização mais apropriada de elementos de infra-estrutura hídrica de modo a reduzir os impactos negativos.

Este zoneamento irá delimitar áreas de acordo com sua susceptibilidade a impactos negativos como erosão ou positivos como alta produtividade agrícola. A delimitação destas áreas irá indicar onde as ações acima devem ser empregadas.

SOUZA et al. (1995) definem como Unidades Ambientais Naturais Homogêneas as áreas identificadas a partir da superposição de mapas oriundos dos diagnósticos físico e biótico. Nestas unidades devem estar ressaltados segundo SOUZA et al. (1995), as seguintes informações:

- i. Correlações entre aspectos naturais como geologia, pedologia, fisionomia da cobertura vegetal, clima, fauna e flora;
- ii. O grau de adequação do aproveitamento dos recursos naturais com suas potencialidades;

- iii. A adequação do uso atual das terras com suas potencialidades;
- iv. Os ambientes ecologicamente importantes como remanescentes de vegetação nativa, em especial matas ciliares;
- v. Áreas prioritárias para desenvolvimento agropecuário;
- vi. Os locais atuais ou potencialmente responsáveis por assoreamento dos rios ou comprometimento da qualidade das águas;
- vii. As áreas críticas que devem ser objeto de reflorestamento, preservação e conservação.

O segundo componente do processo, são as Unidades Socioeconômicas Homogêneas áreas que possuem características como nível de renda, composição etária, práticas produtivas, padrões alimentares e níveis de escolaridade semelhantes o suficiente para que possam ser tratadas de forma unitária. Devem ser identificadas para cada unidade as necessidades e expectativas específicas e formas diferenciadas de relacionamento com o meio (SOUZA et al., 1995).

O cruzamento dos mapas das Unidades Socioeconômicas com as Unidades Ambientais permitirá, desta forma, a identificação das inter-relações entre as ações antrópicas e o meio no qual se inserem.

3.5.3. Uso agrícola do solo: impactos e meios para o uso sustentado.

A baixa eficiência no uso agrícola do solo e da água podem ser apontados como precursores de problemas ambientais como erosão, assoreamento, enchentes e contaminação de mananciais com poluentes. Segundo CURI et al (1992), grande parte dos efeitos nocivos decorrentes do uso inadequado dos agrossistemas se devem ao intenso processo erosivo advindo de tipos de utilização agrícola pouco apropriados aos pedossistemas. Nesse sentido, o conhecimento do ambiente é, para CUNHA (1998), fundamental para que a atividade agropecuária não se

torne a causa principal do empobrecimento do meio ambiente no qual se insere.

O uso intensivo do solo, sem técnicas de manejo adequadas, é responsável por perdas de solo da ordem de milhões de toneladas por ano além da perda de nutrientes, visto que o solo perdido pela erosão hídrica é geralmente mais fértil (BERTONI e LOMBARDI NETO 1990). De fato, BERTONI e LOMBARDI NETO (1990) apontam o manejo como o fator de maior influência na erodibilidade⁸ do solo, o que torna o conhecimento e classificação de sua capacidade de uso na forma de aptidão agrícola das terras, segundo RAMALHO e BEEK (1995), uma etapa de grande importância ao se buscar a utilização racional desse recurso natural. Para MUZZILI (1998), o manejo sustentável dos solos tropicais e subtropicais inclui, entre outros fatores, o planejamento da utilização mediante parâmetros de aptidão agrícola apropriados às condições agroecológicas e sócio-econômicas prevalentes em cada região. LEPSCH et al (1983, p.14) definem capacidade de uso da terra como sendo “a sua adaptabilidade para fins diversos, sem que sofra depauperamento pelos fatores de desgaste e empobrecimento”.

Para MARQUES (1971), uma classificação da capacidade de uso da terra pressupõe a identificação, discriminação, quantificação, interpretação e o mapeamento de um conjunto mínimo de condições e características da terra condicionadoras de sua capacidade de uso, tendo-se como objetivo chegar a uma interpretação de potencialidade de uso da terra que satisfaça às finalidades em vista. Essas finalidades, ou o objetivo a que se destina a classificação constituem um ponto de grande importância no processo uma vez que é em função do objetivo da classificação que são definidas as características e propriedades da terra relevantes ao estudo. Normalmente são incluídos entre as características o tipo do solo (textura, profundidade, fertilidade), clima, cobertura

⁸ Erodibilidade é a vulnerabilidade ou suscetibilidade do solo em erodir-se (BERTONI e LOMBARDI NETO 1990)

vegetal, geomorfologia e como propriedades os atributos relativos ao seu comportamento resultantes da interação entre o solo e o ambiente como produtividade e risco de erosão. O termo ambiente é aqui empregado num contexto amplo, envolvendo fatores físicos, biológicos e antrópicos.

A identificação dos ambientes a partir das informações mencionadas irá permitir seu agrupamento em estratos homogêneos que serão classificados de acordo com a sua aptidão agrícola (CURI et al, 1992).

3.5.4. Metodologia para avaliação da capacidade de uso

Existem vários métodos para avaliação das terras, com particularidades em função dos objetivos a que se destinam. De modo geral, algumas destas metodologias visam à obtenção de uma classificação da paisagem, baseada na caracterização de um ou mais fatores, enquanto que outras classificam a paisagem a partir da estimativa de seu comportamento quando utilizada para um fim específico (ASSAD et al 1998).

No Brasil, os sistemas de avaliação de terras para agricultura mais utilizados, segundo ASSAD et al (1998), são o Sistema de Classificação da Capacidade de Uso da Terra e o Sistema FAO/Brasileiro de Aptidão Agrícola das Terras, ambos estruturados a partir de levantamentos dos solos.

O sistema de classificação de terras em capacidade de uso foi elaborado primordialmente para atender a planejamentos de práticas de conservação do solo, originalmente desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos e constitui uma classificação *técnica*, ou seja, os indivíduos são reunidos de acordo com características de interesse prático e específico cujo objetivo é agrupar os solos segundo a

sua capacidade de uso, visando estabelecer bases para seu melhor aproveitamento. Não são consideradas a localização ou as características econômicas da terra (ASSAD et al 1998; LEPSCH 1983). As categorias desse sistema hierarquicamente organizadas constituem em: Grupos de capacidade de uso - estabelecidos com base nos tipos de intensidade de uso das terras; Classes de capacidade de uso - baseadas no grau de limitação de uso; Subclasses de capacidade de uso - baseadas na natureza da limitação de uso; Unidades de capacidade de uso - baseadas em condições específicas que afetam o uso ou manejo da terra. A classificação é feita após levantamento expedito em campo, com auxílio de tabelas especiais devidamente ajustadas para a área em questão, nas quais se indica, para cada classe de capacidade de uso, as combinações mais freqüentes das várias condições e características da terra, possíveis de ocorrer na área (MARQUES, 1971). Trata-se de um sistema com grande capacidade no auxílio a um planejamento conservacionista. Entretanto deve-se atentar para as dificuldades existentes na estimativa do comportamento do meio quando submetido a um dado manejo, o que requer profissionais experimentados e conhecedores do meio alvo do estudo.

O Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, publicado pela primeira vez em 1978 pela SUPLAN em parceria com a EMBRAPA e colaboração da FAO basicamente define a aptidão das terras através da comparação de suas condições agrícolas com os níveis estipulados para cada classe, de acordo com os níveis de manejo considerados.

Esta metodologia segue orientações contidas no *soil survey manual* (ESTADOS UNIDOS 1951⁹ apud RAMALHO e BEEK 1995) e na metodologia da FAO (FAO 1976¹⁰ apud RAMALHO e BEEK 1995) que recomendam que a avaliação da aptidão agrícola das terras esteja baseada em resultados de levantamentos sistemáticos, realizados com o

⁹ ESTADOS UNIDOS (1951) *Soil Survey Manual*. Department of Agriculture. Soil conservation Service. Soil Survey Staff. Washington. (USDA Agriculture Handbook)

suporte dos vários atributos das terras: solo, clima, vegetação e geomorfologia (RAMALHO e BEEK, 1995). Sua aplicação requer a observação de alguns critérios básicos, segundo RAMALHO e BEEK (1995):

- i. A classificação de aptidão agrícola tem caráter efêmero, podendo sofrer variações com evolução tecnológica.
- ii. Deve ser empregada como orientação de como devem ser utilizados os recursos da terra no planejamento regional e nacional.
- iii. Deve refletir uma realidade que represente a média da possibilidade dos agricultores.
- iv. É apropriado para avaliação da aptidão agrícola de grandes extensões de terra.

São considerados três níveis de manejo, visando diagnosticar o comportamento das terras em diferentes níveis tecnológicos:

Nível de manejo A : Praticamente não há aplicação de capital para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e das lavouras.

Nível de manejo B: Modesta aplicação de capital e de resultados de pesquisas para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e lavouras. As práticas agrícolas incluem calagem e adubação com NPK¹¹, tratamentos fitossanitários simples, mecanização com base na tração animal ou motorizada, apenas para desbravamento e preparo inicial do solo.

Nível de manejo C: Aplicação intensiva de capital e pesquisas. Motomecanização presente em todas as fases da operação.

¹⁰ FAO (1976). *A Framework for Land Evaluation*. Rome. (FAO Soil Bulletin, 32)

¹¹ Nitrogênio, fósforo e potássio

Os níveis B e C não levam em conta a irrigação como técnica de manejo.

A avaliação é montada sobre uma estrutura de grupos, subgrupos e classes de aptidão. Os grupos são classificados de 1 a 6, em escala decrescente de possibilidade de utilização. Os usos considerados são:

- Lavouras
- Pastagem plantada
- Silvicultura e/ou pastagem natural
- Preservação da flora e fauna

Os grupos de 1 a 3 permitem todos os usos e apresentam ainda uma divisão em subgrupos nos quais a aptidão é determinada também em função do nível de manejo utilizado.

Por fim, cada grupo ou subgrupo de nível de utilização recebe uma classe de aptidão de acordo com fatores de limitação previamente determinados. A classe pode ser boa, regular, restrita e inapta. A classe **boa** não apresenta limitações significativas para a produção sustentada em um determinado tipo de utilização, dado o nível de manejo aplicado. A classe **regular** apresenta limitações moderadas reduzindo a produtividade e os benefícios, elevando a necessidade de insumos e práticas de manejo. A classe **restrita** apresenta fortes limitações, reduzindo os benefícios de tal maneira que os custos só seriam justificados marginalmente. A classe **inapta** inclui terras onde a produção não pode ser sustentada.

Os fatores de limitação considerados são

- Deficiência de fertilidade
- Deficiência de água
- Excesso de água ou deficiência de oxigênio
- Suscetibilidade à erosão
- Impedimentos à mecanização

O quadro da figura 3.6 ilustra o processo:

Grupo de Aptidão Agrícola	Aumento da intensidade de uso					
	→					
	Preservação da flora e fauna	Silvicultura e/ou pastagem natural	Pastagem plantada	Lavouras		
Aptidão restrita				Aptidão regular	Aptidão Boa	
Aumento da intensidade da limitação e diminuição das alternativas de uso ↓	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Figura 3.6 Alternativas de utilização de acordo com os grupos de aptidão agrícola.

Fonte: Ramalho e Beek 1995

Os fatores de limitação são avaliados conforme a sua intensidade, expressa pelo *grau* da limitação. Os graus considerados são: nulo (N), ligeiro (L), moderado (M), forte (F) e muito forte (MF). A classificação é feita através de um estudo comparativo entre os graus de limitação atribuídos às terras e um quadro guia ou quadro de conversão no qual são apresentados os graus máximos que as terras podem apresentar, em relação aos cinco fatores, para que sejam incluídas em uma determinada categoria de classificação. RAMALHO e BEEK (1995) apresentam três quadros para atender respectivamente às regiões de clima subtropical, tropical úmido e semi-úmido. Como a região de estudo do presente trabalho se encontra em clima semi-árido é apresentado em anexo o quadro de conversão para clima semi-árido (tabela 10.1).

Como produto final um único mapa deve apresentar o comportamento das terras diagnosticadas, no três níveis de manejo, para os diversos tipos de utilização indicados (RAMALHO e BEEK, 1995). A maior inovação desse sistema é a inclusão dos diferentes níveis de manejo e a possibilidade de se alterar a aptidão conforme o nível de manejo

empregado. RAMALHO e BEEK, (1995) apontam ainda como vantagens a sua estrutura flexível permitindo a adaptação conforme condições regionais, a visualização conjunta da aptidão das terras para os diversos tipos de utilização e níveis de manejo e a possibilidade de apresentação das áreas aptas a um determinado tipo de utilização adaptado às condições físicas, de acordo com diferentes tipos de manejo, sem a necessidade de se superpor diversos mapas de aptidão. Entretanto, apesar das vantagens destacadas, estas duas últimas características apresentam o inconveniente de tornar o mapa de aptidão bastante complexo, em vista da quantidade e diversidade das informações apresentadas.

3.5.5. O uso de Sistemas de Informações Geográficas no mapeamento das capacidades do meio

A dinâmica espaço-temporal do uso da terra vem impondo uma rápida e intensa modificação do meio físico, notadamente em áreas de expansão agrícola (ASSAD et al 1998). O acompanhamento e monitoramento desse processo, necessário a um planejamento calcado nos princípios da sustentabilidade, requer técnicas e ferramentas igualmente ágeis, flexíveis e acima de tudo precisas. A utilização de sistemas de informações geográficas (SIG), possibilita a geração de bancos de dados codificados espacialmente, promovendo ajuste e cruzamentos simultâneos de um grande número de informações (ASSAD, 1993). Por outro lado, o nível de complexidade dos problemas ambientais atuais requer soluções via abordagem multidisciplinar. Nesse contexto, sistemas de informações geográficas têm se apresentado, para SIMONETT (1993), como ferramenta de grande potencial no monitoramento e análise ambientais de forma multidisciplinar e no fornecimento de informações ambientais como suporte de tomada de decisões.

EASTMAN (1997) define sistema de informações geográficas como um sistema assistido por computador para aquisição, armazenamento, análise e exibição de informações geográficas. O principal componente do sistema é o banco de dados, definido por dois elementos: um banco de dados espacial, com informações geográficas de um dado elemento da superfície da terra, e um banco de dados que armazena os atributos (características) de cada elemento. A representação destes elementos cartográficos em formato digital pode variar de acordo com o sistema utilizado, na representação denominada *vector*, o contorno do elemento ou o próprio elemento é definido por uma seqüência de pontos unidos por uma linha, sendo que cada ponto possui nos bancos de dados as respectivas informações sobre sua posição e seu atributo. No formato *raster*, utilizado pelo *software* com o qual foi desenvolvido este trabalho, a representação gráfica dos elementos e seus atributos são agrupadas em um único banco de dados. A área de estudo é dividida em uma grade composta por células ou *pixels*, e cada célula armazena um valor numérico que pode ser um código identificador do elemento, um atributo qualitativo como tipo de cobertura vegetal ou quantitativo como declividade do terreno. Cada conjunto de atributos compõe um plano de informações ou *layer*, assim, pode-se ter um *layer* com identificadores de tipos de solo ou tipos de cobertura vegetal, valores de declividades e cotas do terreno. Grande parte da capacidade analítica do sistema provém da possibilidade de superposição e manipulação algébrica destes planos de informação, permitindo o cruzamento das informações dos atributos.

Segundo FORMAGGIO et al (1992), a disponibilidade de um método semi-automático e não subjetivo para obtenção da aptidão agrícola associado à verificação periódica do uso atual *versus* melhor uso das terras agrícolas propiciaria à entidades conservacionistas governamentais um meio eficaz para monitoramento preventivo dos riscos associados ao sobreuso dos solos.

Utilizando o Sistema de Informações Geográficas SGI/INPE, FORMAGGIO et al (1992) elaboraram mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras na região de Leme (SP) através do cruzamento de planos de informações dos fatores intervenientes na aptidão agrícola. Foi considerado um nível de manejo alto. As taxas de adequação de uso das terras foi obtida a partir de imagens orbitais LANDSAT/TM, indicativas das classes de uso das terras confrontadas com as classes de aptidão agrícola previamente elaboradas. FORMAGGIO et al (1992) consideraram os resultados convincentes e apontam ainda o uso de imagens de satélite como excelentes ferramentas, em conjunto com a aptidão agrícola e um Sistema de Informações Geográficas, na verificação do uso das terras em uma região.

DE LIMA et al (1992) utilizaram o sistema de informações geográficas SIG/INPE em conjunto com dados de sensoriamento remoto orbital para gerar mapas de suscetibilidade e risco à erosão no sertão da Paraíba. Esses mapas fornecem a base para a seleção de áreas prioritárias do ponto de vista da conservação, indicando a expectativa de perda de solos sob sistemas de ocupação da terra alternativos (BERGSMA, 1983, apud DE LIMA, 1992). Foram gerados planos de informações referentes aos fatores considerados relevantes no processo de erosão como declividade, erodibilidade, erosividade e cobertura vegetal e posteriormente os planos foram cruzados para obtenção do resultado final. A principal vantagem apontada pelos autores foi a maior praticidade e rapidez se comparados a processos manuais, além da flexibilidade, dada a possibilidade da inclusão de outras classes nos mapas de suscetibilidade e risco à erosão através da alteração dos parâmetros de cruzamento dos planos de informações. Os autores apontam ainda, como dificuldade maior a tarefa de digitalização manual das curvas de nível e pontos cotados.

MELLEROWICZ et al (1994) integraram dados disponíveis sobre solos, clima e uso da terra, em nível de bacia hidrográfica, na região leste

do Canadá, visando classificar a bacia estudada em termos da perda de solo anual prevista devido à erosão hídrica. Foi utilizada a equação universal de perda de solo (EUPS), na qual cada variável foi espacializada em um plano de informação. A multiplicação final dos planos por meio de um sistema de informações geográficas, resultou em um mapa contendo as perdas anuais de solo. Observando-se a variação dos componentes representativos da ação humana, foi avaliada a necessidade das práticas de manejo na minimização do processo erosivo. Segundo os autores, uma combinação de práticas de manejo simples e de baixo custo seria capaz de atenuar problemas de erosão em mais de 75% das terras agricultáveis. Os autores salientam que o uso do SIG permitiu a assimilação e a análise de uma grande quantidade de informações inviáveis para um processo manual. Além disso, a facilidade no manuseio destes dados permitiu a geração e estudo de um grande número de cenários futuros de uso do solo e seus respectivos efeitos no processo erosivo.

RAINIERI (1996) elaborou mapas de risco de erosão utilizando também a EUPS implementada em SIG como método quantitativo, além de uma avaliação qualitativa dos fatores naturais e antrópicos condicionantes da erosão hídrica laminar, tecendo uma comparação entre os dois métodos. Um dos pontos desfavoráveis da avaliação quantitativa é a necessidade de dados que em muitas bacias hidrográficas não estão disponíveis e devem ser aproximados, além da redução da confiabilidade de parâmetros da EUPS, notadamente os fatores de declive e comprimento de rampa, ao se trabalhar com áreas maiores e heterogêneas, no caso de uma unidade de bacia hidrográfica, como apontado por RAINIERI (1996) e BOUMA (1989). Em suas conclusões, RAINIERI (1996) pondera que o método qualitativo se mostrou mais adequado na geração de mapas de risco à erosão com a finalidade de apontar áreas de ação prioritária.

SPAROVEK e LEPSCH (1998) elaboraram um diagnóstico de uso e aptidão das terras agrícolas de Piracicaba visando a adequação do uso às

condicionantes do meio físico. Foi utilizado o sistema de capacidade de uso, desenvolvido no Estados Unidos, implementado através de um *software* de Sistema de Informações Geográficas elaborado na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) especialmente para manipulação de mapas temáticos. O cruzamento dos mapas de solos e classes de declividade revelou que apenas 41% das terras são plenamente aptas para agricultura intensiva. Cruzando esta informação com os usos do solo na região, SPAROVEK e LEPSCH (1998) puderam identificar áreas que estão em processo de degradação potencial devido à superutilização gerando mapas de adequação de uso das terras. Foi verificada uma degradação potencial em 28% da área. Entretanto, as diferenças nos estágios degradação entre as microbacias hidrográficas existentes na região, levaram SPAROVEK e LEPSCH (1998) a sugerir a escala da microbacia hidrográfica como escala primária de análise e planejamento, onde soluções específicas devem ser adotadas para cada situação particular.

“Sertão, sabe o senhor: sertão é onde o pensamento da gente se forma mais forte que o poder do lugar”.

Guimarães Rosa

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1.A Bacia hidrográfica do rio Juramento

A região estudada encontra-se na bacia do rio Juramento, limitada pelos paralelos 43°40' W até 43°10' W e de 16°40' S até 17°00' S (figuras 4.1 e 4.2). A área drenada é de aproximadamente 354 km² e podem ser destacados três corpos de água principais: o ribeirão Saracura, o ribeirão Canoas e o próprio rio Juramento. A construção de um reservatório no início da década de 80 pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) introduziu algumas modificações na rede hídrica de modo que os ribeirões Saracura e Canoas, que antes eram afluentes do rio Juramento, hoje contribuem diretamente para o lago formado, assim como o rio Juramento. Esta sub-bacia é pertencente à bacia do rio Verde Grande, um dos principais componentes do cenário de desenvolvimento sócio-econômico do estado de Minas Gerais e tributário da bacia do Rio São Francisco.

Com respeito à geologia, a bacia do rio Juramento encontra-se sobre rochas do pré-Cambriano superior, pertencentes aos grupos Bambuí e Macaúbas. Litologicamente, predominam ardósias calcíferas e sílticas, argilitos calcíferos e calcarenitos. No relevo predominam formas aplainadas, superfícies onduladas e pedimentos ravinados, com existência de “chapadas”.



Mais a oeste, predomina uma topografia movimentada, com declives acentuados.

Os solos predominantes são os latossolos vermelho-escuro álicos e litólicos eutróficos.

O clima da região é quente com verão úmido e estação seca pronunciada durante o outono e inverno. As médias mensais dos meses mais chuvosos são em torno de 200 mm e dos meses mais secos inferiores a 10 mm.

A cobertura vegetal nativa conta predominantemente com florestas esclerófilas (cerradão) e caatinga arbórea arbustiva, hoje quase totalmente alteradas por ação antrópica.

A ocupação conta com 72,6 % de população rural, cuja principal atividade econômica é a pecuária, com pastagens ocupando a maior extensão do município (35,2 %), seguindo-se matas cultivadas (23,8 %). A estrutura fundiária caracteriza-se por elevado número de pequenos imóveis rurais, 74,7 % dos quais com menos de 50 ha. Há adoção de práticas de irrigação. (ECOPLAN 1994).

Tal ocupação tem promovido uma supressão sistemática de matas ciliares e de cabeceira e bombeamento de volumes de água cada vez maiores do leito do rio Juramento, comprometendo os corpos d'água da rede de drenagem da bacia. Estes impactos foram detectados por meio de estudos realizados em 1993, quando se constatou uma perda contínua de 7,46 % da vazão média anual regularizada pelo reservatório de jusante, operado pela concessionária de água e esgotos de Montes Claros COPASA - MG. O reservatório abastece a cidade de Montes Claros, atualmente com aproximadamente 300.000 habitantes.

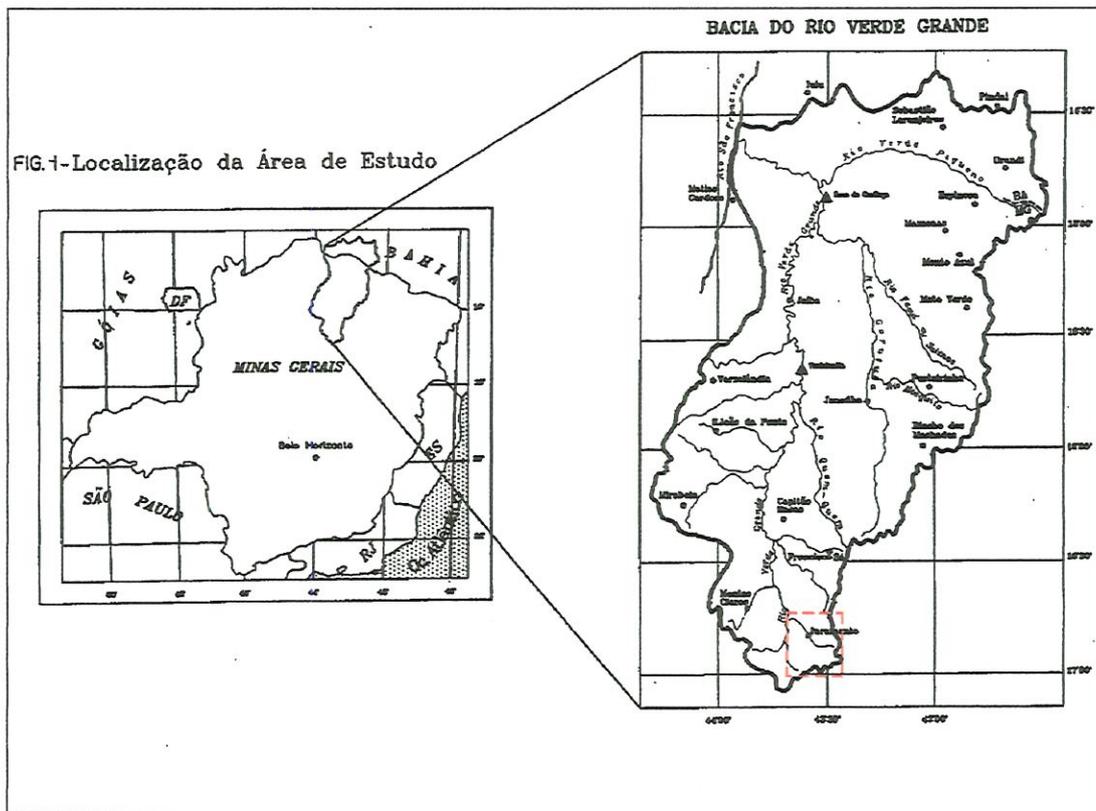


Figura 4.1 Localização da área de Estudo – Bacia do Rio Juramento (em vermelho).
 Fonte: ECOPLAN 1994

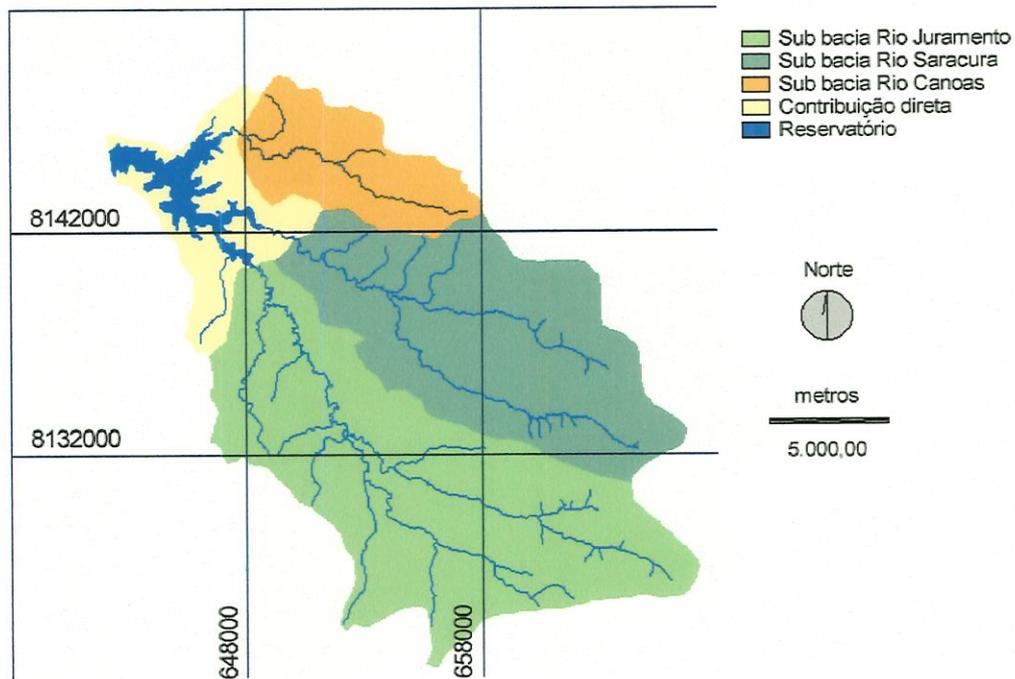


Figura 4.2 Sub-Bacias e rede hidrográfica

Alguns dados complementares acerca das sub-bacias e do reservatório são apresentados nas tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1 Áreas das sub-bacias da região de estudo

Sub-bacia	Área aproximada (km ²)
Juramento	159,2
Saracura	113,4
Canoas	40,6
Contribuição Direta	31,7

Tabela 4.2 Características do reservatório

Vazão média regularizada	m ³ /s	1,3
Fluxo residual de jusante	m ³ /s	0,200
Vazão média aduzida à ETA ¹²	m ³ /s	1,1
Descarga média anual	m ³ /s	1,81
Volume Acumulado	Hm ³	44,6
N.A. normal	M	640,25
N.A. máximo	M	646,30
Superfície ao N.A. normal	m ²	4,9 x 10 ⁶
Profundidade média	M	9,1
Profundidade máxima	M	28,25
Perímetro à cota 640.25 m	Km	51,1

Fonte: GOMIDE¹³ apud ÉPURA 1997

¹² Abastecimento da cidade de Montes Claros

¹³ GOMIDE, L. Proteção do reservatório de Juramento. s/d.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Introdução

As fragilidades e aptidão agrícola das terras foram avaliadas e mapeadas por meio do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), também conhecido como método FAO/Brasileiro, apresentada em RAMALHO e BEEK (1995). No presente trabalho, este método foi adaptado em ambiente de sistema de informações geográficas.

A disponibilidade hídrica e o comportamento temporal da chuva na bacia foram avaliados realizando-se inicialmente a modelagem probabilística da chuva com um modelo Markoviano, geração de séries sintéticas mais longas a partir desta modelagem, correlação com séries de vazão observadas, geração de séries longas de vazão e elaboração de curvas de permanência, onde cada vazão é associada a uma probabilidade de ocorrência.

5.2. O Sistema de Informações Geográficas

O sistema de informações geográficas empregado conta com os seguintes componentes:

Componentes de coleta de informações para meio digital

- i. Satélite LANDSAT/TM
- ii. Mesa digitalizadora *Summagraphics Summagrid IV*
- iii. *Softwares* de digitalização TOSCA versão 2.12 e CARTALINX versão 1.04

Componente de análise e processamento de informações

- i. *Software* IDRISI versão 2.0

O IDRISI é um *software* para processamento e análise de imagens que utiliza o formato *raster* para representação das informações. É composto por vários módulos de programa executáveis que realizam operações matemáticas com os atributos de cada *pixel* de uma imagem e entre *pixels* de imagens diferentes, permitindo extrair um grande número de informações de uma imagem ou cruzar informações de imagens diferentes.

As informações cartográficas de hipsometria e rede hidrográfica foram obtidas dos mapas do Exército e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em escala 1:100.000, quadrículas de Montes Claros e Botumirim. As informações de pedologia foram retiradas dos mapas de solos do Projeto Alto São Francisco e Parte Central da Área Mineira da Sudene, elaborados pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) em escala 1:250.000, quadrículas de Montes Claros e Salinas.

Estes mapas foram convertidos para meio digital usando-se a mesa digitalizadora e o *software* TOSCA. Foi gerado inicialmente um arquivo

vector posteriormente convertido em formato *raster* quando as informações foram passadas para o *software* de análise IDRISI. Esta operação foi feita gerando-se uma imagem de base, através do módulo *initial*, de resolução 30x30 metros. Os arquivos *vector* foram convertidos em *raster* sobre a imagem de base através dos módulos *lineras*, *poliras* e *pointras*. Foi utilizada uma imagem de base para cada arquivo *vector*. A resolução 30x30 metros foi adotada em função de ser a mesma das imagens captadas pelo sensor TM do satélite LANSAT, o que permite a possibilidade de cruzamento das informações posteriormente.

Com estas operações foram gerados os mapas temáticos georeferenciados na forma de imagens digitais de hipsometria, rede hidrográfica e pedologia.

5.3. Elaboração dos mapas de aptidão agrícola

Nesta etapa do presente trabalho, toda a classificação foi feita considerando-se o nível de manejo A, resultando em mapas de aptidão mais conservadores do ponto de vista de proteção do meio. Esta opção foi adotada em um primeiro momento devido ao objetivo fundamental de se avaliar a fragilidade das terras em seu estado natural através de sua aptidão para uso agrícola, além da complexidade na avaliação da resposta do meio quando submetido à técnicas de manejo diversas. A partir desta resposta, com a flexibilidade que o Sistema de Informações Geográficas proporciona, pode-se gerar mapas para outros níveis de manejo de forma rápida e simples.

Inicialmente a imagem em formato *raster* das curvas de nível foi processada pelo módulo *intercon* produzindo-se o modelo de elevação digital do terreno ou *digital elevation model* (DEM). As declividades foram calculadas a partir do DEM usando-se o módulo *surface/slope* e posteriormente agrupadas em classes com o módulo *reclass* (figura 5.1).

Este agrupamento foi realizado conforme padrão da EMBRAPA. (tabela 5.1). Devido à baixa ocorrência de áreas com os dois últimos níveis de declive, optou-se por agrupá-los em um só, (acima de 45%).

Tabela 5.1 Classes de declive.

Nível de declive	Característica dominante do relevo
0 a 3%	Plano
3 a 8%	Suave ondulado
8 a 13%	Moderadamente ondulado
13 a 20%	Ondulado
20 a 45%	Forte ondulado
45 a 100%	Montanhoso
Acima de 100%	Escarpado

Fonte: RAMALHO e BEEK (1995)

Em seguida foram obtidas a imagem de tipos de solo da região (figura 5.2), digitalizada a partir dos mapas do CETEC.

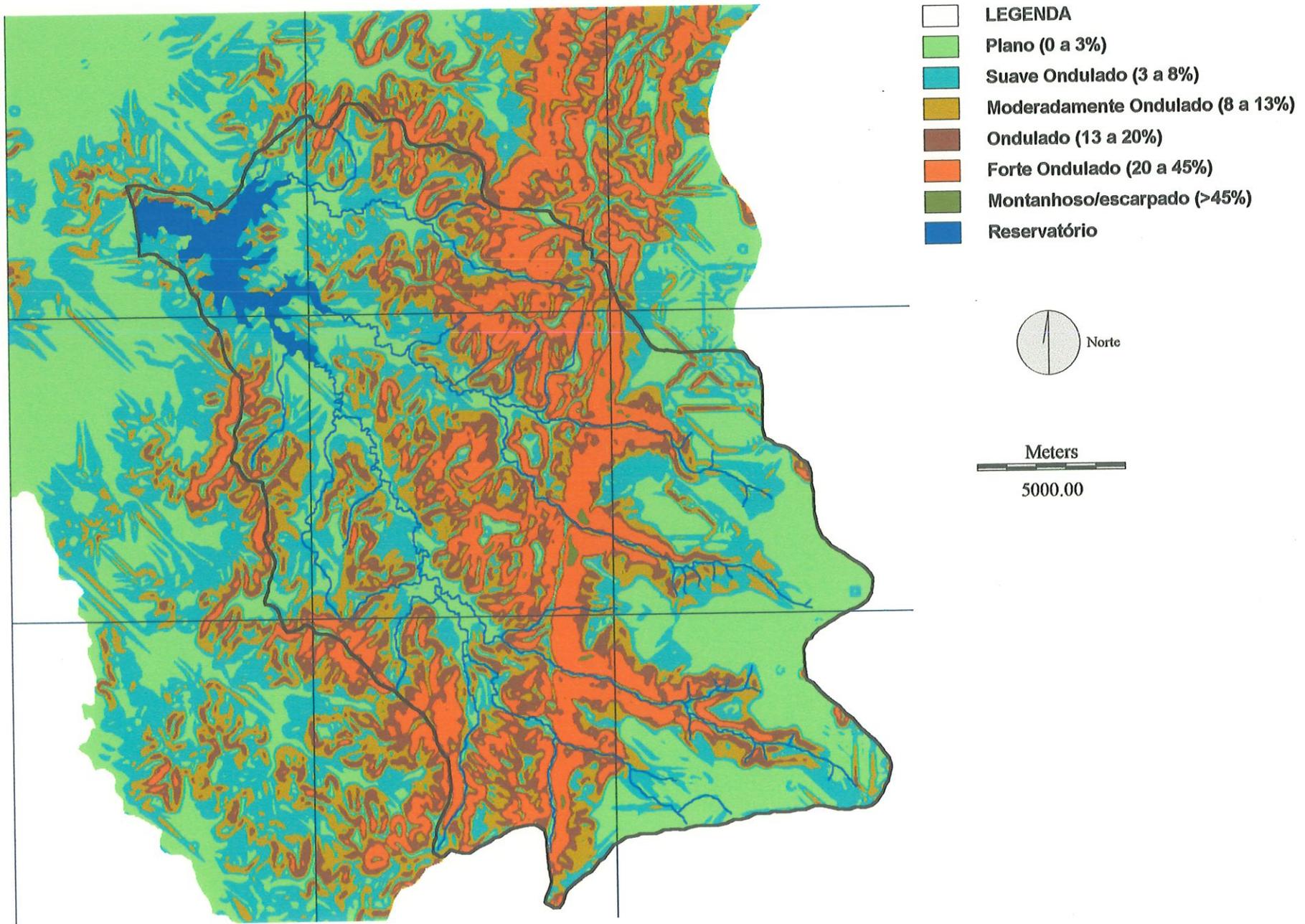


Figura 5.1 Imagem de classes de declividade
Grid em coord UTM: 638000E a 668000E e 8122000N a 8152000N

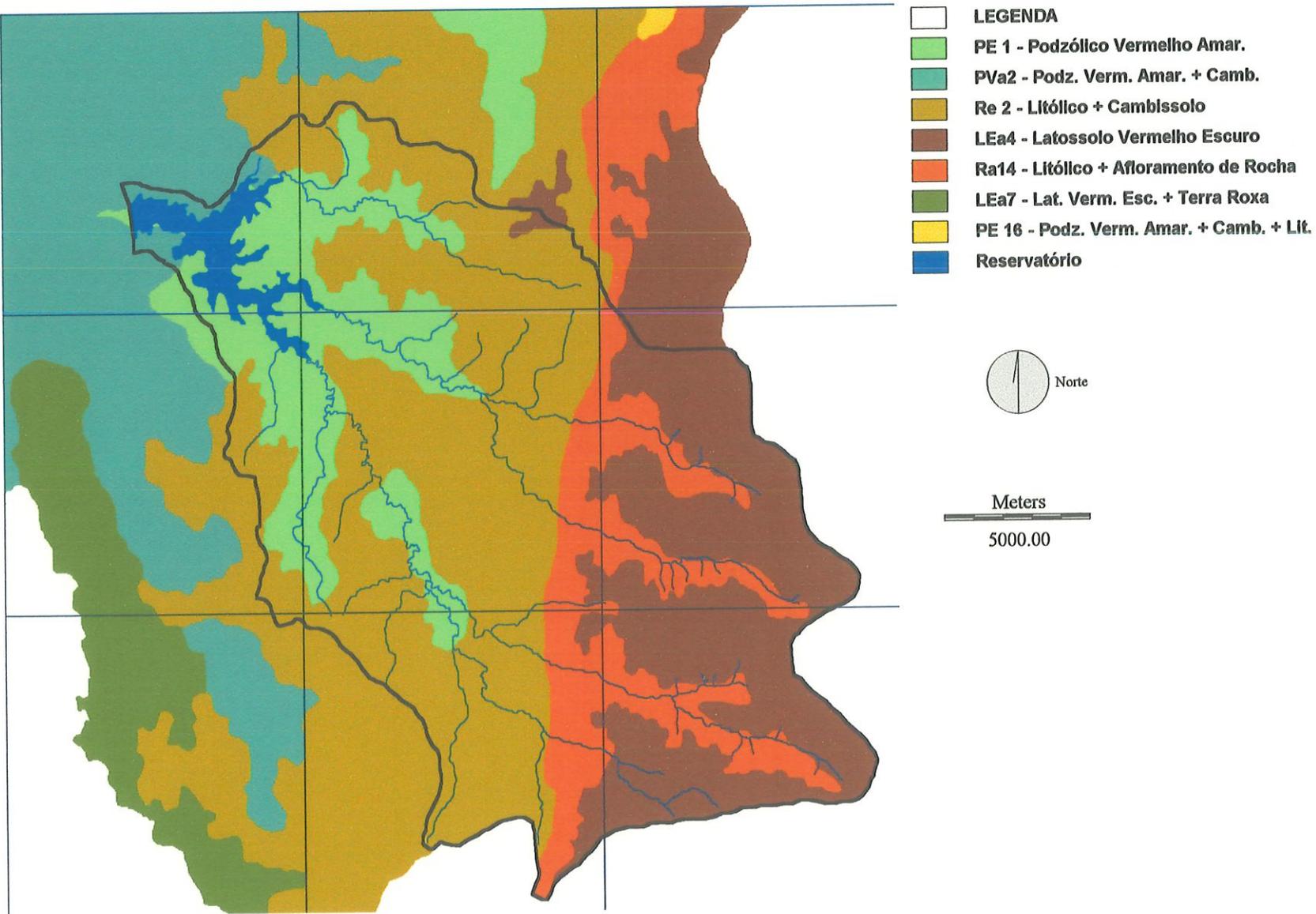


Figura 5.2 Mapa de solos da região
Grid em coord UTM: 638000E a 668000E e 8122000N a 8152000N

A imagem de pedologia foi cruzada com a de classes de declividade, através do módulo *overlay*, resultando em uma imagem na qual se pode diferenciar, nas áreas correspondentes a cada tipo de solo, *subáreas* das classes de declividade ocorrentes em cada tipo de solo. Apesar da tendência de cada tipo de solo ocorrer em um relevo predominante, existem outras ocorrências de relevo que são significativas e sua delimitação com o procedimento adotado torna o resultado mais preciso. Estas subáreas delimitadas foram denominadas neste trabalho de *áreas tipo* e constituem a unidade básica de análise. No processo de geração dos mapas de aptidão, áreas tipo que atendem aos mesmos requisitos são agrupadas em grupos de aptidão iguais.

Para a obtenção da imagem com as *áreas tipo*, a imagem de tipos de solo foi subdividida em várias imagens binárias, sendo uma para cada tipo de solo. Nesta operação foi utilizado o módulo *reclass* na imagem inicial sucessivas vezes, reclassificando cada tipo de solo com identificador 1, obtendo-se em cada etapa uma nova imagem. Em seguida cada imagem binária de solo foi sobreposta à imagem de classes de declividade por meio do módulo *overlay* e usando-se a operação de multiplicação entre os mapas. Como resultado foram obtidas imagens com discriminação das classes de declividade em cada tipo de solo. Como todas as imagens possuíam a mesma seqüência de identificadores (correspondentes às classes de declividades), estas foram reclassificadas seqüencialmente dando a cada subárea correspondente a uma classe de declividade e a um tipo de solo um identificador diferente. Como dispunha-se de 7 tipos de solo e 6 classes de declividade, teria-se a princípio 42 *áreas tipo* diferente. Entretanto alguns tipos de solo não apresentaram todas as classes de declividade, sendo que o número final de áreas tipo foi de 38.

A figura 5.3 exemplifica o procedimento adotado.

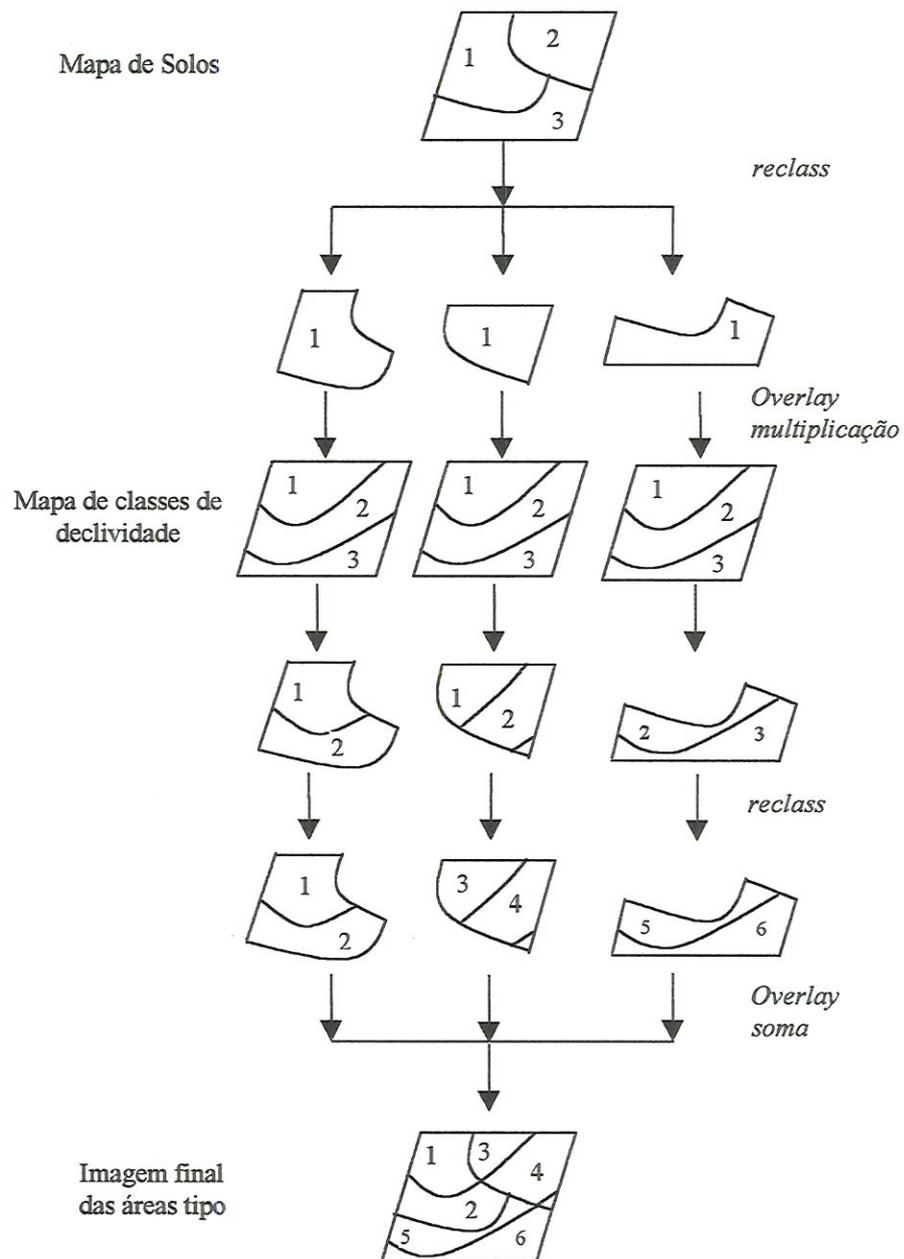


Figura 5.3 Elaboração do mapa das áreas tipo

O próximo passo foi a avaliação dos graus de limitação apresentados por cada um dos cinco fatores considerados para cada *área tipo*.

5.3.1. Critérios adotados para avaliação das limitações

A avaliação sistemática do nível de limitação ao uso agrícola apresentada por cada fator interveniente é uma tarefa que exige conhecimento especializado e experiência prática por parte dos profissionais envolvidos, notadamente nas áreas de Agronomia e Engenharia Florestal. O presente trabalho visa o estudo dos métodos empregados de forma que as avaliações feitas basearam-se em outros estudos desenvolvidos em regiões e situações semelhantes às da área contemplada.

Limitação por deficiência de fertilidade

A deficiência de fertilidade ou de nutrientes refere-se aos teores de nutrientes presentes no solo, em disponibilidade para as culturas adaptadas para a região e presença ou ausência de substâncias tóxicas como alumínio, manganês, sódio e sais solúveis (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC, 1981; RAMALHO e BEEK, 1995)

A limitação por deficiência de fertilidade foi adotada com base em estudos apresentados no 2º Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro (CETEC, 1981), no qual foi elaborada uma avaliação da aptidão agrícola das terras. Neste plano foram utilizados como indicadores¹⁴ de níveis de fertilidade a saturação de bases (V%), saturação com alumínio, soma de bases trocáveis (S), capacidade de troca (T), acidez (pH) e fósforo solúvel (P_2O_5). Também foram levadas em consideração observações de campo a respeito do uso da terra, aspecto das culturas e exuberância da vegetação na avaliação da fertilidade CETEC (1981),.

¹⁴ Os atributos saturação por bases, saturação por alumínio, capacidade de troca e soma de bases trocáveis medem a presença dos elementos Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} e H^+ no solo e a sua disponibilidade para absorção pelas raízes em reações químicas no processo de nutrição da planta.

A caracterização dos graus de limitação, segundo RAMALHO e BEEK (1995) envolve as seguintes definições:

Nulo (N) – Terras com elevadas reservas de nutrientes sem apresentar toxidez por elementos prejudiciais ao desenvolvimento das plantas. Praticamente não respondem à adubação, apresentando ótimos rendimentos durante muitos anos, mesmo em culturas mais exigentes.

Ligeiro (L) – Terras com boas reservas de nutrientes e sem a presença de toxidez. Têm capacidade de manter boas colheitas por vários anos com pequenas exigências de fertilizantes.

Moderado (M) – Apresentam limitada reserva de nutrientes, podendo conter elementos tóxicos capazes de afetar certas culturas. Permitem bons rendimentos nos primeiros anos, verificando-se um rápido declínio na produtividade após os cinco primeiros anos.

Forte (F) – Terras com reservas muito limitadas de um ou mais nutrientes ou contendo elementos tóxicos em teores que permitem o crescimento das plantas com tolerância. Essas características resultam em baixos rendimentos da maioria das culturas e pastagens desde o início da exploração, exigindo correção na fase inicial.

Muito Forte (MF) – Terras com remotas possibilidades de exploração por quaisquer tipos de utilização agrícola. Podem apresentar grandes quantidades de sais e elementos tóxicos.

Em CETEC (1981), solos com caráter distrófico e/ou álico¹⁵ receberam graus de limitação de forte a muito forte (neste trabalho, enquadram nesta categoria os solos Pva2, Lea4, Ra14 e Lea7) enquanto que os que apresentaram caráter eutrófico receberam grau nulo de limitação (neste trabalho os solos PE1, re2, e o PE16).

¹⁵ Caráter distrófico significa que o solo apresenta reduzida disponibilidade de micronutrientes (saturação por bases inferior a 50%), enquanto que o caráter eutrófico implica na maior disponibilidade dos mesmos. Caráter álico significa elevada toxidez devido à presença de alumínio.

Limitação por Deficiência de água

É definida pela quantidade de água armazenada no solo, possível de ser aproveitada pelas plantas e que depende de condições climáticas como precipitação e evapotranspiração e condições *edáficas* (capacidade de retenção de água). De acordo com RAMALHO e BEEK (1995) essa capacidade de retenção relaciona-se com características inerentes ao solo como textura, tipo de argila, teor de matéria orgânica, quantidade de sais e profundidade efetiva¹⁶. Além destes fatores, são também utilizados a duração do período de estiagem, distribuição anual da precipitação, características da vegetação natural e comportamento das culturas RAMALHO e BEEK (1995). Práticas de irrigação não são consideradas nesta metodologia de forma que a deficiência de água afeta igualmente solos sob diferentes níveis de manejo. Os graus de limitação segundo RAMALHO e BEEK (1995) são:

Nulo (N) – Terras em que não há falta de água para desenvolvimento de culturas em nenhuma época do ano. Inclui terras com boa drenagem interna, livres de estação seca, além daquelas com lençol freático elevado.

Nulo/Ligeiro (N/L) – Terras não sujeitas à deficiência de água durante um período de 1 a 2 meses, limitando o desenvolvimento das culturas mais sensíveis.

Ligeiro (L) – Terras com deficiência de água pouco acentuada, durante um período de 3 a 5 meses por ano. Neste nível ficam praticamente eliminadas as possibilidades de grande parte das culturas

¹⁶ Profundidade efetiva refere-se à espessura máxima do solo em que as raízes não encontram impedimento físico para penetrar livremente, facilitando a fixação da planta e servindo como meio para absorção de água e nutrientes (LEPSCH et al 1983)

de ciclo longo e reduzidas significativamente as possibilidades de dois cultivos de ciclo curto, anualmente.

Moderado (M) – Acentuada deficiência de água, durante um longo período, normalmente 4 a 6 meses. As precipitações oscilam de 700 a 1000 mm por ano, irregularmente distribuídas.

Forte (F) – Terras com uma forte deficiência de água durante um período seco que oscila de 7 a 9 meses. As precipitações estão compreendidas entre 500 e 700 mm por ano apresentando acentuada irregularidade.

Muito forte (MF) – Severa deficiência de água, podendo durar mais de 9 meses, com precipitações abaixo de 500 mm.

Neste trabalho a avaliação dos graus de limitação por deficiência de água foi elaborada com base em CETEC (1981). Como a região situa-se em clima semi-árido, todas as áreas receberam inicialmente o grau 5 (limitação moderada) sendo que as situadas em solos com condições edáficas mais desfavoráveis receberam graus de limitação maiores.

Limitação por excesso de água ou deficiência de oxigênio

Normalmente está relacionada com a classe de drenagem natural do solo resultante da interação de fatores como precipitação, evapotranspiração, relevo local e propriedades do solo. Solos menos permeáveis, com presença do lençol freático alcançando os horizontes superficiais apresentam deficiência de aeração ao sistema radicular das culturas impedindo um desenvolvimento satisfatório. Esta limitação também se apresenta em graus de nulo a muito forte conforme a frequência de inundações e necessidade de trabalhos de drenagem. Normalmente estas características estão reunidas em solos hidromórficos com uma capacidade de drenagem natural inferior aos solos presentes na

área de estudo, de modo que estes foram classificados com grau de limitação nulo por excesso de água.

Limitação por suscetibilidade à erosão

A suscetibilidade à erosão é considerada uma limitação de grande importância ao se utilizar o solo uma vez que o processo erosivo desencadeado quando da sua não observação constitui, segundo BERTONI e LOMBARDI NETO (1990) a principal causa do empobrecimento acelerado das terras. De fato, em LIMA et al (1992), FERNANDES (1982)¹⁷ ressalta que os efeitos danosos da erosão devido à processos induzidos pelo manejo, ganham proporções muito maiores quando vêm associados a características e propriedades desfavoráveis do solo, refletidas em uma elevada erodibilidade.

Estas propriedades, responsáveis pela erodibilidade do solo pela água são, segundo BERTONI e LOMBARDI NETO (1990): as que afetam a velocidade de infiltração da água no solo (permeabilidade e capacidade de absorção de água) e aquelas responsáveis pela resistência à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada.

ROSS (1994) baseando-se nestes fatores, classificou alguns tipos de solos de acordo a classe de fragilidade de cada um em relação a suscetibilidade à erosão (tabela 5.2)

¹⁷ FERNANDES, M.R. (1982). Alterações em propriedades de um latossolo vermelho-amarelo distrófico, fase cerrado, decorrentes da modalidade de uso e manejo. Viçosa. 72p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

Tabela 5.2 Classes de fragilidade dos tipos de solos.

Classes de Fragilidade	Tipos de Solos
1. Muito baixa	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho amarelo texturas argilosas
2. Baixa	Latossolo amarelo e Vermelho amarelo textura média/argilosa.
3. Média	Latossolo Vermelho amarelo, Terra roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho amarelo textura média/argilosa.
4. Forte	Podzólico Vermelho amarelo textura média/arenosa, Cambissolos
5. Muito forte	Podzolizados com cascalho, Litólicos e areias Quartzozas

Fonte: ROSS (1994)

Os demais fatores que irão contribuir para a suscetibilidade à erosão de uma área são o regime pluviométrico, responsável pela intensidade da ação erosiva da chuva, as condições do relevo e o nível de proteção oferecido pela cobertura vegetal presente (RAMALHO e BEEK, 1995).

A avaliação das condições de relevo baseou-se no mapa de classes de declividade (figura 5.1)

Desta forma, cada solo recebeu inicialmente um grau de limitação de acordo com a sua fragilidade baseada na tabela 6.2 que considerou-se presente mesmo em condições favoráveis de relevo. A medida que as condições de relevo tornaram-se mais desfavoráveis os graus de limitação foram elevados de acordo com os critérios apresentados por RAMALHO e BEEK (1995) a seguir:

Nulo (N) - Terras não suscetíveis à erosão. Geralmente ocorrentes em solos de relevo plano ou quase plano com 0 a 3% de declive e boa

permeabilidade. Quando cultivados por 10 a 20 anos podem apresentar erosão ligeira, podendo ser controlada com práticas simples de manejo.

Ligeiro (L) – Apresentam pouca suscetibilidade à erosão. Geralmente possuem boas propriedades físicas com declives de 3 a 8%. Quando utilizadas por lavouras, por um período de 10 a 20 anos, mostram normalmente uma perda de 25% ou mais do horizonte superficial. Práticas conservacionistas simples podem prevenir contra este tipo de erosão.

Moderado (M) – Moderada suscetibilidade, ocorrem em relevo normalmente ondulado, com declives de 8 a 13%. Estes limites de declive podem variar para mais de 14%, em situação de condições físicas muito favoráveis, ou para menos de 8% em condições muito desfavoráveis. Se utilizadas sem princípios conservacionistas podem apresentar sulcos e voçorocas, requerendo práticas de controle à erosão desde o início de sua utilização.

Forte (F) – Forte suscetibilidade, ocorrem em relevo ondulado a forte ondulado, com declive normalmente de 13 a 20%. A prevenção à erosão depende de práticas intensivas de controle.

Muito Forte (MF) – Uso agrícola restrito. Normalmente com declividades entre 20 e 45%. O controle à erosão é dispendioso, podendo ser antieconômico.

Limitação por impedimento à mecanização

Refere-se às condições apresentadas pelas terras para uso de máquinas e implementos agrícolas. Segundo RAMALHO e BEEK, 1995), o uso de mecanização é condicionado pelas condições de drenagem, profundidade, textura, tipo de argila, pedregosidade e rochosidade superficial apresentadas pelo solo, além das condições de relevo. Apresentam graus de limitação de nulo a muito forte de acordo com as definições seguintes:

Nulo (N) – Permitem emprego de máquinas em qualquer época do ano. Declividade inferior a 3%

Ligeiro (L) – Quase sempre em relevo ondulado, com declives de 3 a 8%, podendo ocorrer em áreas de relevo mais plano apresentando outras limitações como pedregosidade, drenagem ou textura muito arenosa.

Moderado (M) – Não permitem o emprego de máquinas ordinariamente utilizadas durante todo o ano. Declividades de 8 a 20%.

Forte (F) – Permitem apenas tração animal ou máquinas especiais praticamente em toda sua totalidade. Estas terras apresentam declives acentuados (20 a 45%).

Muito forte (MF) – Apresentam dificuldades até para uso de implementos de tração animal. Ocorrem em declives superiores a 45%.

Para que os graus de limitação atribuídos a cada fator pudessem ser comparados com os valores limites do quadro-guia (tabela 10.1 em anexo), foi adotado um valor correspondente, em uma escala de 0 a 9, para cada grau de limitação. A correspondência de graus de limitação com a metodologia da EMBRAPA é apresentada na tabela 5.3

Tabela 5.3 Correspondência entre graus de limitação ao uso agrícola

Grau de limitação segundo EMBRAPA	Valor correspondente adotado
Nulo	1
Nulo/ligeiro	2
Ligeiro	3
Ligeiro/moderado	4
Moderado	5
Moderado/Forte	6
Forte	7
Forte/muito forte	8
Muito forte	9

A adoção dos valores apresentados não obedece a nenhum critério pré-determinado, eles serviram apenas para efeito de comparação com o quadro-guia no qual os adjetivos indicadores dos limites apresentados para cada grupo de aptidão também foram substituídos pelos valores correspondentes da tabela 5.3.

O processo de classificação foi implementado criando-se no IDRISI um banco de dados no qual cada *área tipo* é caracterizada por um conjunto de cinco atributos, cada um representando um fator de limitação ao uso agrícola. Cada atributo recebeu então um valor, ou “nota” de acordo com o grau daquela limitação presente e observando-se os critérios apresentados.

Este procedimento foi executado utilizando-se o *database workshop*, um módulo do *software* IDRISI que tem a função de banco de dados. O banco de dados é apresentado na tabela 5.4.

Tabela 5.4 Banco de dados dos graus de limitação ao uso agrícola

Área Tipo	Solo	Relevo	DFA ¹	DAA ²	EAA ³	SEA ⁴	IMA ⁵
1	pe1	plano	1	5	1	5	1
2	pe1	Suave ondulado	1	5	1	5	3
3	pe1	mod. ondulado	1	5	1	7	5
4	pe1	Ondulado	1	5	1	8	5
5	pe1	Forte ondulado	1	5	1	9	7
7	Pva2	plano	9	5	1	6	1
8	Pva2	Suave ondulado	9	5	1	7	3
9	Pva2	mod. Ondulado	9	5	1	8	5
10	Pva2	Ondulado	9	5	1	9	5
12	re2	Plano	1	5	1	7	1
13	re2	Suave ondulado	1	5	1	7	3
14	re2	mod. Ondulado	1	5	1	9	5
15	re2	Ondulado	1	5	1	9	5
16	re2	Forte ondulado	1	5	1	9	7
17	re2	Montanhoso	1	5	1	9	9
18	Lea4	Plano	7	7	1	1	1
19	Lea4	Suave ondulado	7	7	1	3	3
20	Lea4	mod. Ondulado	7	7	1	5	5
21	Lea4	Ondulado	7	7	1	7	5
22	Lea4	Forte ondulado	7	7	1	9	7
23	Lea4	Montanhoso	7	7	1	9	9
24	Ra14	Plano	9	7	1	7	1
25	Ra14	Suave ondulado	9	7	1	9	3
26	Ra14	mod. Ondulado	9	7	1	9	5
27	Ra14	Ondulado	9	7	1	9	5
28	Ra14	Forte ondulado	9	7	1	9	7
29	Ra14	Montanhoso	9	7	1	9	9
30	Lea7	Plano	8	5	1	1	1
31	Lea7	Suave ondulado	8	5	1	3	3
32	Lea7	mod. Ondulado	8	5	1	5	5
33	Lea7	Ondulado	8	5	1	7	5
34	Pe16	Plano	1	6	1	6	1
35	Pe16	Suave ondulado	1	6	1	7	3
36	Pe16	mod. Ondulado	1	6	1	9	5
37	Pe16	Ondulado	1	6	1	9	5
38	Pe16	Forte ondulado	1	6	1	9	7

¹DFA: Grau de limitação por deficiência de fertilidade ao nível de manejo A

²DAA: Grau de limitação por deficiência de água ao nível de manejo A

³EAA: Grau de limitação por excesso de água ao nível de manejo A

⁴SEA: Grau de limitação por suscetibilidade à erosão ao nível de manejo A

⁵IMA: Grau de limitação por impedimento à mecanização

A comparação ou *matching* foi feita utilizando-se um filtro em *Structured Query Language (SQL)* que faz uma busca no banco de dados montado e seleciona as áreas tipo que satisfazem a um determinado grupo de requisitos em termos de graus de limitação. Para que uma determinada área tipo seja incluída em um grupo de aptidão, é necessário que *todos* os seus atributos possuam graus de limitação *superiores* ao limite inferior daquele grupo, caso contrário a área é “rebaixada” para o grupo de menor aptidão, e que *pelo menos* um de seus atributos seja *inferior* aos limites inferiores do próximo grupo de maior aptidão, pois caso contrário, a área tipo é “promovida” para o grupo de maior aptidão.

Os filtros foram criados dentro do *database workshop* utilizando-se o módulo *Query/Create filter (SQL)*. Foi elaborado um filtro para efetuar a seleção das áreas tipo que atendessem aos limites de cada um dos grupos e classes de aptidão. Os filtros são apresentados em anexo.

A seleção das áreas foi feita carregando o banco de dados elaborado no *database workshop* e executando o módulo *Modify/Calculate (SQL)*. Dentro do módulo *Calculate* os filtros eram selecionados e executados. Os resultados de cada seleção, apresentados pelo *database workshop* em forma tabular, foram transformados em bancos de dados independentes usando o módulo *Query/Save filtered records to a new database*.

5.4. Modelo para geração de Precipitação Diária

5.4.1. Aspectos Gerais

Foi aplicado um modelo que levasse em consideração a persistência nos eventos de chuva através de uma cadeia de Markov, em vista dos melhores resultados obtidos nos trabalhos revisados nos quais esta hipótese foi considerada válida (POMPÊO e RIGHETTO 1983, GENOVEZ 1987, CONEJO 1980, PALERMO e LIN 1983) em relação àqueles nos quais a chuva foi considerada como um evento independente (CONEJO 1980, PALERMO e LIN 1983). Apesar de alguns autores, como CHIN (1977)¹⁸ apud GENOVEZ (1987), testarem a necessidade de uma cadeia de Markov de ordem superior, os resultados obtidos em trabalhos utilizando-se uma cadeia de primeira ordem mostraram-se satisfatórios.

Não foram considerados intervalos de precipitação por motivo de simplificação, uma vez que buscou-se implementar o modelo utilizando-se uma ferramenta mais simples e de fácil acesso que é a planilha eletrônica Microsoft EXCEL versão 97.

Quanto à sazonalidade, como o presente trabalho busca a determinação da disponibilidade hídrica mês a mês optou-se por considerar uma divisão em doze períodos homogêneos, um para cada mês, de modo que se permita uma melhor avaliação no comportamento do evento chuva em cada período.

Para a Segunda fase do modelo, determinação da altura precipitada, foi utilizada a função Gama Incompleta de distribuição acumulada de probabilidades para ajustar à distribuição empírica.. Os parâmetros da função foram estimados pelo método da máxima verossimilhança.

¹⁸ CHIN, E.H. (1977). Modeling Daily Precipitation Occurrence Process With Markov Chain. *Water Resources Research*. 13(6): 946-56, Dec. 1977.

1ª Fase – Determinação se o dia gerado é seco ou chuvoso

Nesta fase foi utilizada uma matriz composta por probabilidades condicionais de transição entre dias secos e chuvosos, denominada matriz de transição, apresentada na tabela 5.5

Tabela 5.5 Esquema da matriz de transição.

		Dia anterior	
		Seco	Chuvoso
Dia presente	Seco	P_{00}	P_{01}
	Chuvoso	P_{10}	P_{11}

Fonte: GENOVEZ (1987)

P_{00} : Probabilidade de que o dia atual seja seco dado que o dia anterior foi seco.

P_{01} : Probabilidade de que o dia atual seja seco dado que o dia anterior foi chuvoso.

P_{10} : Probabilidade de que o dia atual seja chuvoso dado que o dia anterior foi seco.

P_{11} : Probabilidade de que o dia atual seja chuvoso dado que o dia anterior foi chuvoso.

As probabilidades foram obtidas da seguinte forma:

$$P_{00} = \frac{N_{00}}{(N_{10} + N_{00})}$$

$$P_{10} = \frac{N_{10}}{(N_{10} + N_{00})}$$

$$P_{01} = \frac{N_{01}}{(N_{01} + N_{11})}$$

$$P_{11} = \frac{N_{11}}{(N_{01} + N_{11})}$$

- N_{00} : Número de dias secos, na série observada, precedidos por um dia seco.
- N_{10} : Número de dias chuvosos, na série observada, precedidos por um dia seco.
- N_{01} : Número de dias secos, na série observada, precedidos por um dia chuvoso.
- N_{11} : Número de dias chuvosos, na série observada, precedidos por um dia chuvoso.

Como o período homogêneo escolhido foi o mês, foi calculada uma matriz de transição para cada mês. Foram considerados chuvosos os dias cuja precipitação foi maior ou igual a 0,1 mm.

Como série observada, foram utilizados os dados da estação pluviométrica 01643018 (Montes Claros) operada de janeiro de 1941 a fevereiro de 1994 pelo DNAEE. A referida estação encontra-se na posição 16° 44'00" de latitude sul e 43° 52'52 de longitude oeste. Apesar de se encontrar fora da área de estudo, a estação 016430018 foi utilizada por apresentar uma série de registros de totais de chuva diária de aproximadamente 50 anos, longa o suficiente para que os parâmetros estatísticos do comportamento da chuva na região possam ser considerados representativos. A COPASA também opera estações pluviométricas na bacia mas devido ao curto período de tempo dos registros optou-se por não utilizá-los nesta fase do trabalho. Entretanto foi feita uma análise comparativa entre os totais mensais precipitados na estação do DNAEE e nas estações da COPASA a fim de que se pudesse avaliar a correlação entre o comportamento da chuva na estação do DNAEE e no interior da bacia

A série sintética foi obtida gerando-se um número pseudo-aleatório uniformemente distribuído entre 0 e 1 e supondo-se que o dia anterior ao primeiro dia a ser gerado fosse seco. Utilizando-se então a primeira

coluna da matriz de transição, o dia gerado será chuvoso se o número pseudo-aleatório gerado for menor ou igual à probabilidade P_{10} de que chova naquele dia dado que o anterior foi seco, caso contrário o dia gerado será seco. O processo é repetido gerando-se tantos números aleatórios quantos forem os dias de simulação. Nos casos em que o dia anterior for chuvoso usa-se a segunda coluna da matriz de transição: o dia gerado será chuvoso se o número aleatório gerado for menor ou igual que a probabilidade P_{11} de que chova naquele dia dado que o dia anterior foi chuvoso. Todo o processo foi implementado utilizando-se a planilha eletrônica Microsoft EXCEL versão 97, inclusive a geração dos números pseudo-aleatórios.

2ª Fase – Determinação da altura precipitada caso o dia seja chuvoso

Dentre os métodos disponíveis para cálculo dos parâmetros da função Gama optou-se pelo método da máxima verossimilhança em detrimento do tradicional método dos momentos devido à maior precisão dos resultados. A função densidade de probabilidade da distribuição Gama é dada por 5.1.

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (5.1)$$

β é um parâmetro de escala, γ é um parâmetro de forma, x é a variável aleatória e $\Gamma(\gamma)$ é a função Gama de γ , dada por 5.2:

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^{\infty} x^{\gamma-1} e^{-x} dx \quad (5.2)$$

Esta função possui assimetria positiva sendo que a quantidade de assimetria depende do fator de forma γ , quanto menor for γ , maior a assimetria.

Fazendo uma comparação entre a eficiência do método dos momentos e do método da máxima verossimilhança por meio da variância de cada método, THOM (1958) verificou que para $\gamma < 10$, o método dos momentos produz resultados inaceitáveis para β e γ e para γ próximo de 1 a variância é alta ao ponto de somente metade dos dados ser utilizada para determinação de β . Ou seja, uma estimativa de β pelo método da máxima verossimilhança poderia, por apresentar menor variância e utilizar melhor os dados, obter o mesmo resultado com metade das informações. Considerando a carência de dados hidrológicos enfrentada hoje este fato assume um significado extremamente importante.

As soluções pelo método da máxima verossimilhança são:

$$\gamma = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (5.3)$$

onde A é um parâmetro dado por:

$$A = \ln \bar{x} - \frac{\sum \ln x}{n} \quad (5.4)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\gamma} \quad (5.5)$$

Calculados os parâmetros e feito o ajuste, a precipitação para o dia simulado chuvoso foi calculada substituindo $f(x)$ na equação 5.1 por um novo número pseudo-aleatório uniformemente distribuído entre 0 e 1 gerado e calculando a variável aleatória x (altura precipitada)

correspondente. Como a função Gama é tabular e a equação 5.1 não possui, portanto, solução analítica, utilizou-se na planilha eletrônica Microsoft EXCEL a função INVGAMA, que retorna o inverso da função cumulativa gama. A precisão do algoritmo de cálculo iterativo utilizado pelo EXCEL é de $\pm 3 \times 10^{-7}$. Embora este valor não tenha sido checado no presente trabalho, foram feitos alguns testes comparando os cálculos do EXCEL com cálculos em um exemplo apresentado por THOM (1971) verificando-se que a função INVGAMA apresenta resultados aceitáveis.

5.5. Avaliação da disponibilidade hídrica superficial

5.5.1. Geração das séries de vazão

Os estudos desenvolvidos nesta parte do trabalho tiveram como resultado final a elaboração de curvas de permanência mensais para a seção de controle de cada um dos principais rios da bacia.

As vazões observadas foram obtidas utilizando-se medições de cota e descarga efetuadas pela COPASA nas seções de controle das réguas linimétricas 4330000508 (Saracura), 4330000509 (Juramento) e 4330000507 (Canoas). As áreas das sub-bacias que drenam para estas seções são as apresentadas na tabela 4.1. Através destas medições foi traçada uma curva-chave para cada seção e calculadas as vazões diárias a partir de séries de leituras das réguas, realizadas de dezembro de 1986 a dezembro de 1997.

Uma vez verificado que a baixa correlação entre os dados observados de precipitação e vazão não permitiria o emprego de técnicas mais refinadas para transformação chuva-deflúvio, como modelos matemáticos, optou-se então por tentar determinar a relação chuva deflúvio através de uma equação empírica obtida por regressão linear entre volumes totais mensais observados e precipitações totais mensais observadas. Para levar em consideração a dispersão natural dos pontos ao

entorno da reta de regressão os resíduos foram computados e sua distribuição foi ajustada pela função Normal de distribuição de probabilidades.

Desta forma, os dados de precipitação diários gerados pelo modelo de Markov foram somados em totais mensais e o volume correspondente a ser gerado foi obtido em três fases:

- i. Substituição do total mensal precipitado gerado para aquele mês na equação de regressão para obtenção do valor inicial do volume correspondente.
- ii. Geração de um número aleatório uniformemente distribuído entre 0 e 1 e substituição deste número na função de distribuição normal ajustada. Como resultado obteve-se a variável aleatória resíduo.
- iii. Soma do valor inicial do volume obtido pela equação de regressão na etapa i com o resíduo gerado na etapa ii, obtendo-se desta forma o volume total gerado para aquele mês.

Os volumes totais mensais gerados para cada mês foram transformados em vazões médias mensais obtendo-se para cada mês uma série de vazões médias sendo cada valor correspondente a um ano. A tabela 5.6 exemplifica o processo.

Tabela 5.6

Mês	Janeiro	Fevereiro	...	Dezembro
Ano				
1	Q_{Jan}	Q_{Fev}	...	Q_{Dez}
2	Q_{Jan}	Q_{Fev}	...	Q_{Dez}
⋮	⋮	⋮		⋮
N	Q_{Jan}	Q_{Fev}	...	Q_{Dez}

5.5.2. Elaboração das curvas de permanência

As séries para cada mês foram dispostas em ordem decrescente e em seguida foi calculada a frequência com que cada vazão era excedida ou igualada (permanência). As permanências foram plotadas junto com as respectivas vazões resultando em uma curva de permanência para cada mês.

Esta operação foi repetida para cada um dos os três principais rios da bacia, o rio Juramento, rio Saracura e rio Canoas.

Uma síntese do trabalho realizado é apresentada no fluxograma da figura 5.4.

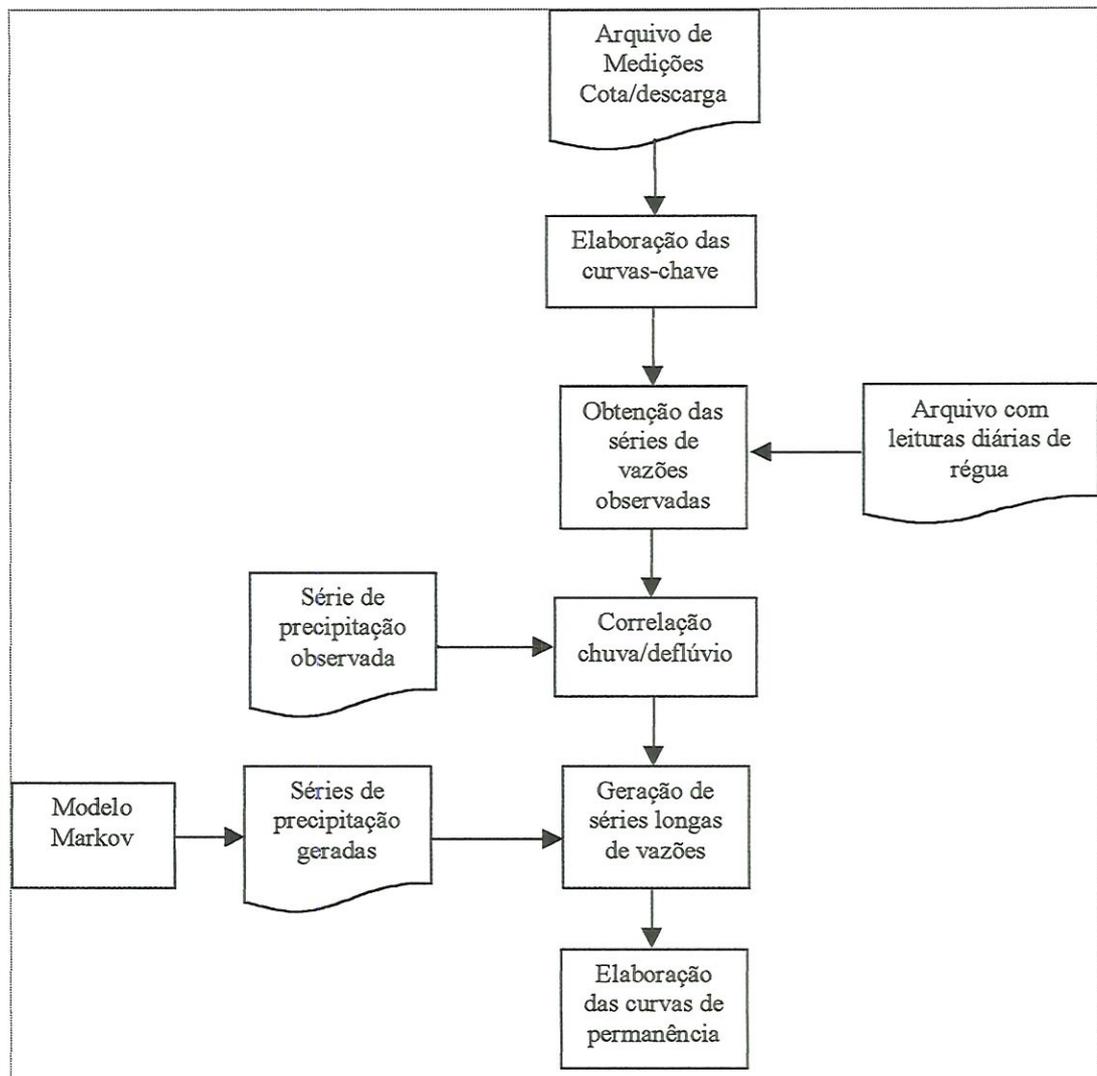


Figura 5.4 Sequência de trabalho para elaboração das curvas de permanência

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Mapas de Aptidão Agrícola

As áreas tipo selecionadas são apresentadas nas tabelas 6.1 a 6.5 e a distribuição das áreas por grupo de aptidão é apresentada na tabela 6.6.

Tabela 6.1 Áreas selecionada para grupo 3 – Aptidão restrita para lavoura

Área Tipo	Área (km ²)
1	27,10
2	34,83
34	0,04

Tabela 6.2 Áreas selecionadas para o grupo 5 – Aptidão boa para pastagem natural

Área Tipo	Área (km ²)
3	11.92
12	20.28
13	53.99
35	0.20

Tabela 6.3 Áreas selecionadas para o grupo 5 - Aptidão regular para pastagem natural

Área Tipo	Área (km ²)
18	60.05
19	32.55
20	11.81
21	7.12

Tabela 6.4 Áreas selecionadas para o grupo 5 – aptidão restrita para pastagem natural

Área Tipo	Área (km ²)
7	64.94
8	49.88
24	3.90
30	23.10
31	19.79
32	4.41
33	0.53

Tabela 6.5 Áreas selecionadas para o grupo 6 – Aptidão para preservação natural

Área Tipo	Área (km ²)
4	4.83
5	2.29
9	12.11
10	2.43
14	63.59
15	67.17
16	48.94
17	0.30
22	2.92
23	0.05
25	10.27
26	13.63
27	15.79
28	23.65
29	0.84
36	0.39
37	0.29
38	0.04

Tabela 6.6 Distribuição dos grupos de aptidão

Grupo de aptidão	Área (km ²)	% em relação ao total
1 – aptidão boa p/ lavoura	0,0	0,0
2 – aptidão regular p/ lavoura	0,0	0,0
3 – aptidão restrita p/ lavoura	45,92	13,31
5 – aptidão boa p/ pastagem natural	44,38	12,87
5 – aptidão regular p/ pastagem natural	86,10	24,96
5 – aptidão restrita p/ pastagem natural	6,26	1,81
6 – aptidão p/ preservação natural	162,28	47,05

Os novos bancos de dados contendo as áreas tipo pertencentes aos grupos de aptidão foram então transformados em imagens com o módulo *Link/Assign field values to image*. O resultado final foi uma série de imagens, cada uma contendo as áreas tipo pertencentes a um determinado grupo de aptidão. O último passo foi executar o módulo *overlay* com operação de soma para agrupar as imagens em uma única (figura 6.1)

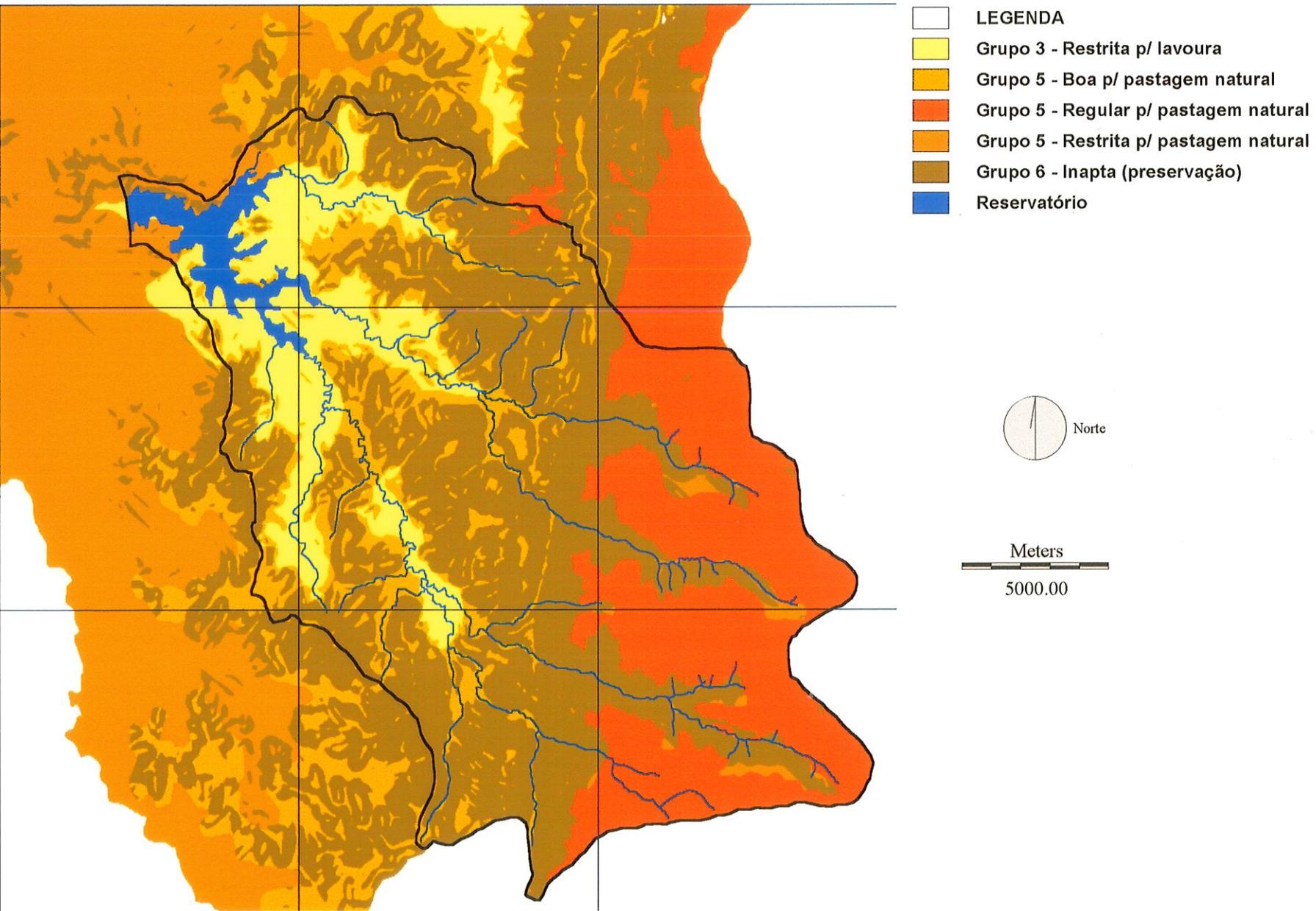


Figura 6.1 Classificação da aptidão para uso agrícola ao nível de manejo A
Grid em coord UTM: 638000E a 668000E e 8122000N a 8152000N

Para efeito de comparação entre os resultados e a situação atual do uso do solo na bacia, foi utilizada uma imagem orbital do satélite LANDSAT/TM. A partir das imagens das bandas 3, 4 e 5¹ foi elaborado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) uma composição colorida que apresenta o padrão atual de uso e ocupação do solo na bacia. (figura 6.2)

No presente trabalho as bandas 3, 4 e 5 foram escolhidas por apresentarem bom contraste entre tipos diferentes de vegetação, solo e água permitindo identificação de áreas agrícolas, mapeamento de redes de drenagem e delineamento de corpos de água (INPE, 1996).

¹O sensor TM (*thematic mapper*) do satélite LANDSAT capta simultaneamente a radiação eletromagnética emitida pela terra em sete faixas de frequência diferentes denominadas *bandas*. As bandas captadas são o azul (banda 1), o verde (banda 2), o vermelho (banda 3), o infravermelho próximo (banda 4), o infravermelho termal (banda 6) e o infravermelho médio (bandas 5 e 7). Como os diferentes elementos presentes na superfície da terra apresentam distintos padrões de resposta espectral ou seja, absorvem e emitem radiação em faixas do espectro diferentes, a análise de várias bandas permite a identificação destes elementos.

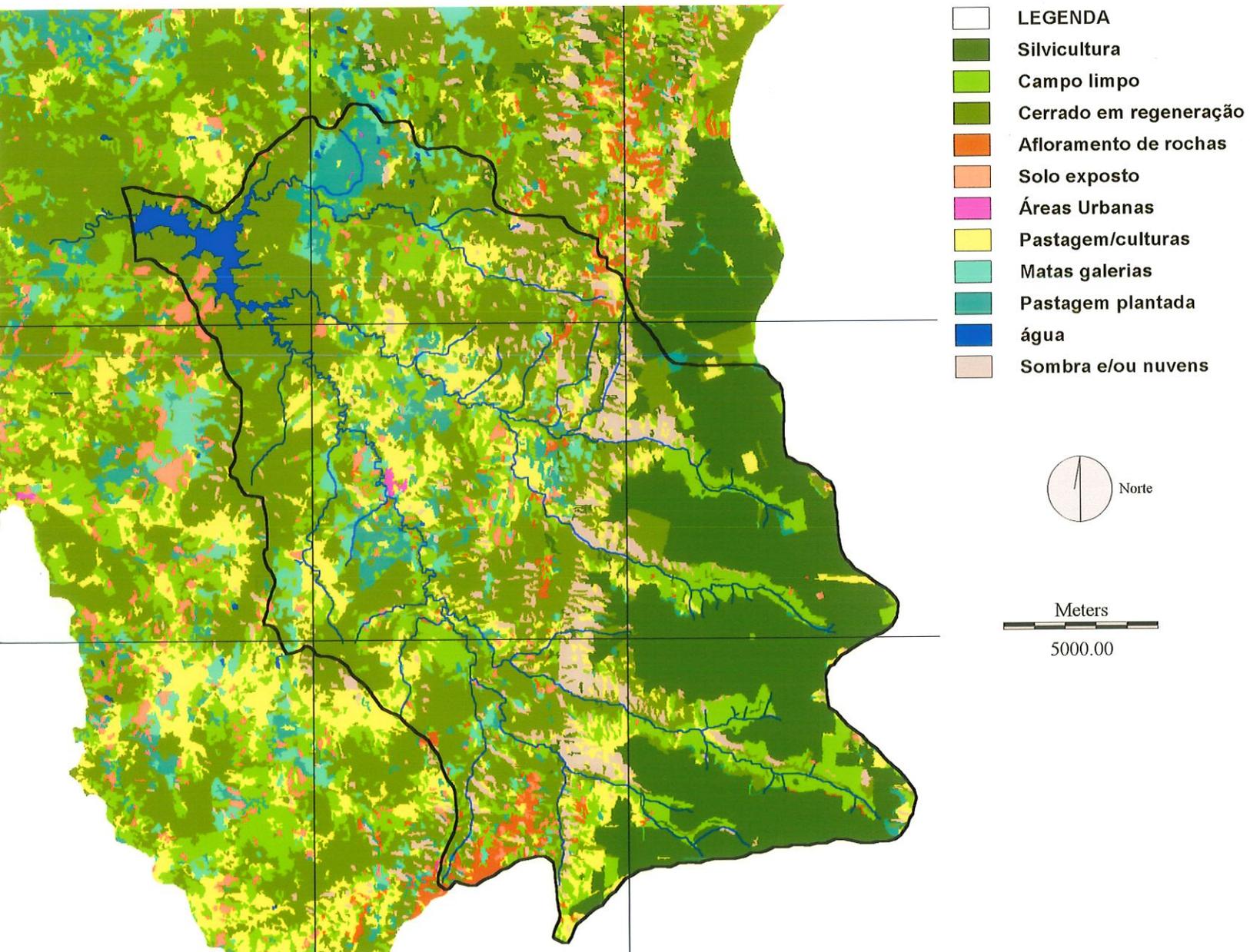


Figura 6.2 Usos atuais do solo na bacia (imagem LANDSAT/TM de 1996)

Grid em coord UTM: 638000E a 668000E e 8122000N a 8152000N

A região analisada apresentou mais de 60% das terras com fortes limitações ao uso sustentado considerando-se o nível de manejo A. Deste total, 47,05% foram classificadas como inaptas com uso indicado para preservação. A grande maioria destas terras se encontra em áreas com declividade acentuada (acima de 20%) e/ou solos com baixa fertilidade, o que destaca os fatores de suscetibilidade à erosão (Figura 6.3) e deficiência de fertilidade como os principais responsáveis pelo cenário produzido. Dentre estes fatores, a suscetibilidade à erosão foi o que mais influenciou na redução da aptidão das terras com 62,79% das mesmas apresentando limitação por suscetibilidade à erosão de forte à muito forte (tabela 6.7).

O fator deficiência de fertilidade vem em segundo lugar com 40,92% das terras apresentando graus de limitação ao uso de forte a muito forte (tabela 6.8 e figura 6.4). Os demais fatores apresentaram influências menores sendo a limitação por deficiência de água em 39,73% das terras com grau forte (tabela 6.9) e a limitação por impedimento à mecanização em 15,34% das terras com graus forte a muito forte (tabela 6.10).

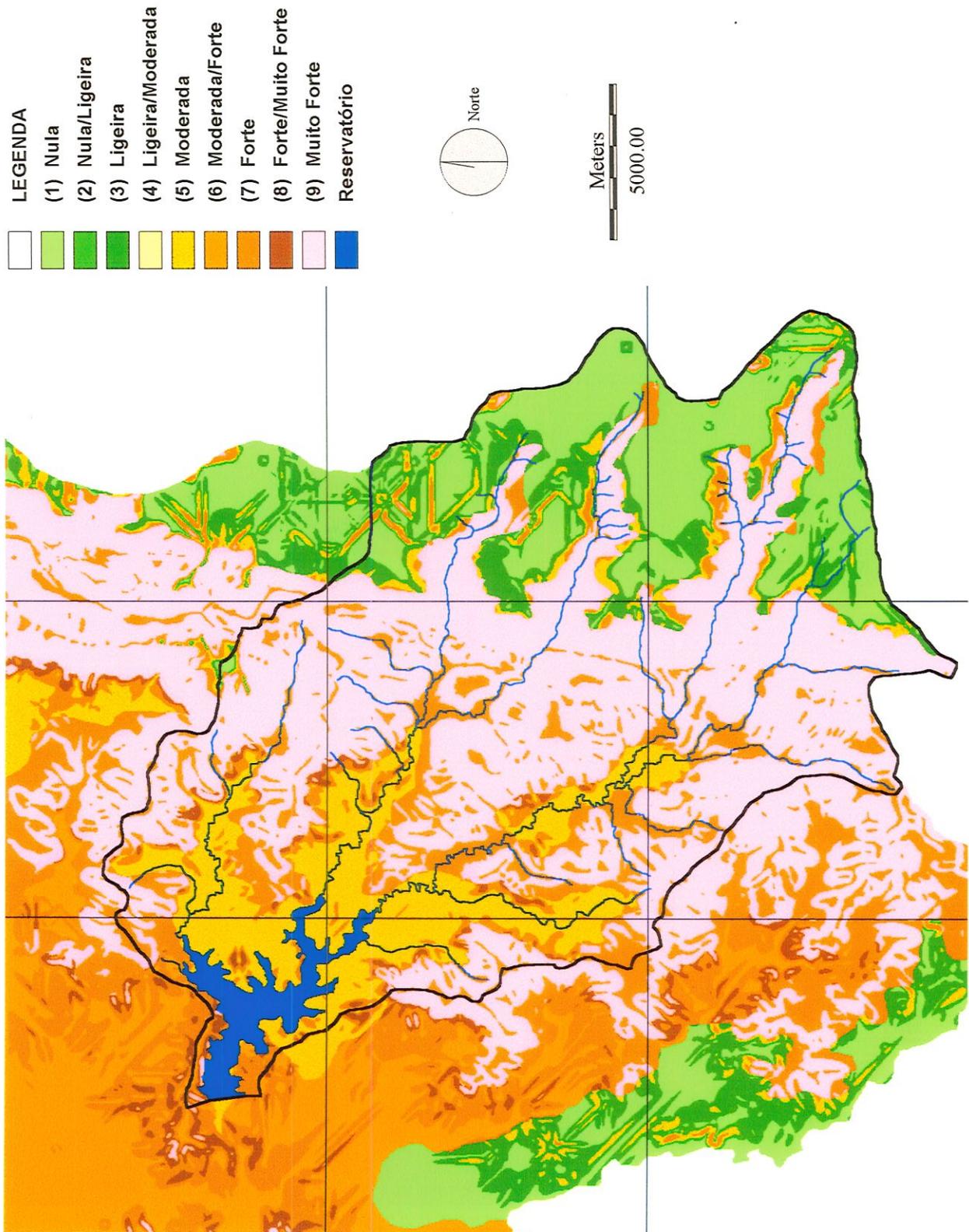


Figura 6.3 Graus de limitação por suscetibilidade à erosão. Nível de manejo A
 Grid em coord UTM: 638000E a 668000E e 8122000N a 8152000N

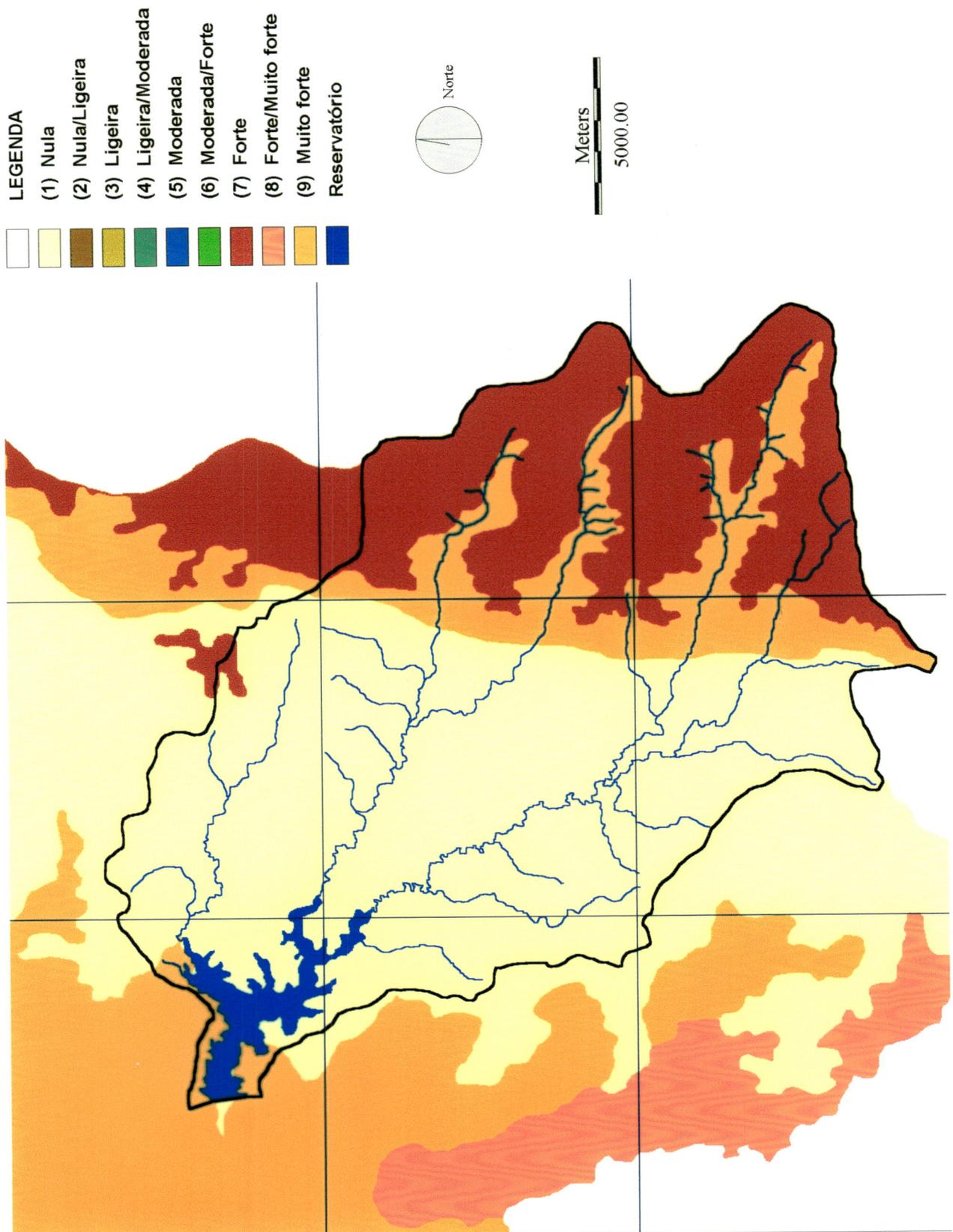


Figura 6.4 Graus de limitação por deficiência de fertilidade. Nível de manejo A
 Grid em coord UTM: 638000E a 668000E e 8122000N a 8152000N

Tabela 6.7 Distribuição das áreas por graus de limitação por suscetibilidade à erosão

	Área (km ²)	% em relação ao total
Nula	49,04	14,22
Ligeira	24,08	6,98
Moderada	54,34	15,75
Moderada/ forte	0,87	0,25
Forte	54,31	15,75
Forte/ Muito forte	4,09	1,18
Muito forte	158,20	45,86

Tabela 6.8 Distribuição das áreas por graus de limitação por deficiência de fertilidade

	Área (km ²)	% em relação ao total
Nula	203,81	59,09
Forte	87,20	25,28
Muito Forte	53,93	15,64

Tabela 6.9 Distribuição das áreas por graus de limitação por deficiência de água

	Área (km ²)	% em relação ao total
Moderada	207,90	60,27
Forte	137,03	39,73

Tabela 6.10 Distribuição das áreas por graus de limitação por impedimento à mecanização

	Área (km ²)	% em relação ao total
Nula	82,43	23,90
Ligeira	85,87	24,89
Moderada	123,72	35,87
Forte	52,04	15,09
Muito forte	0,88	0,25

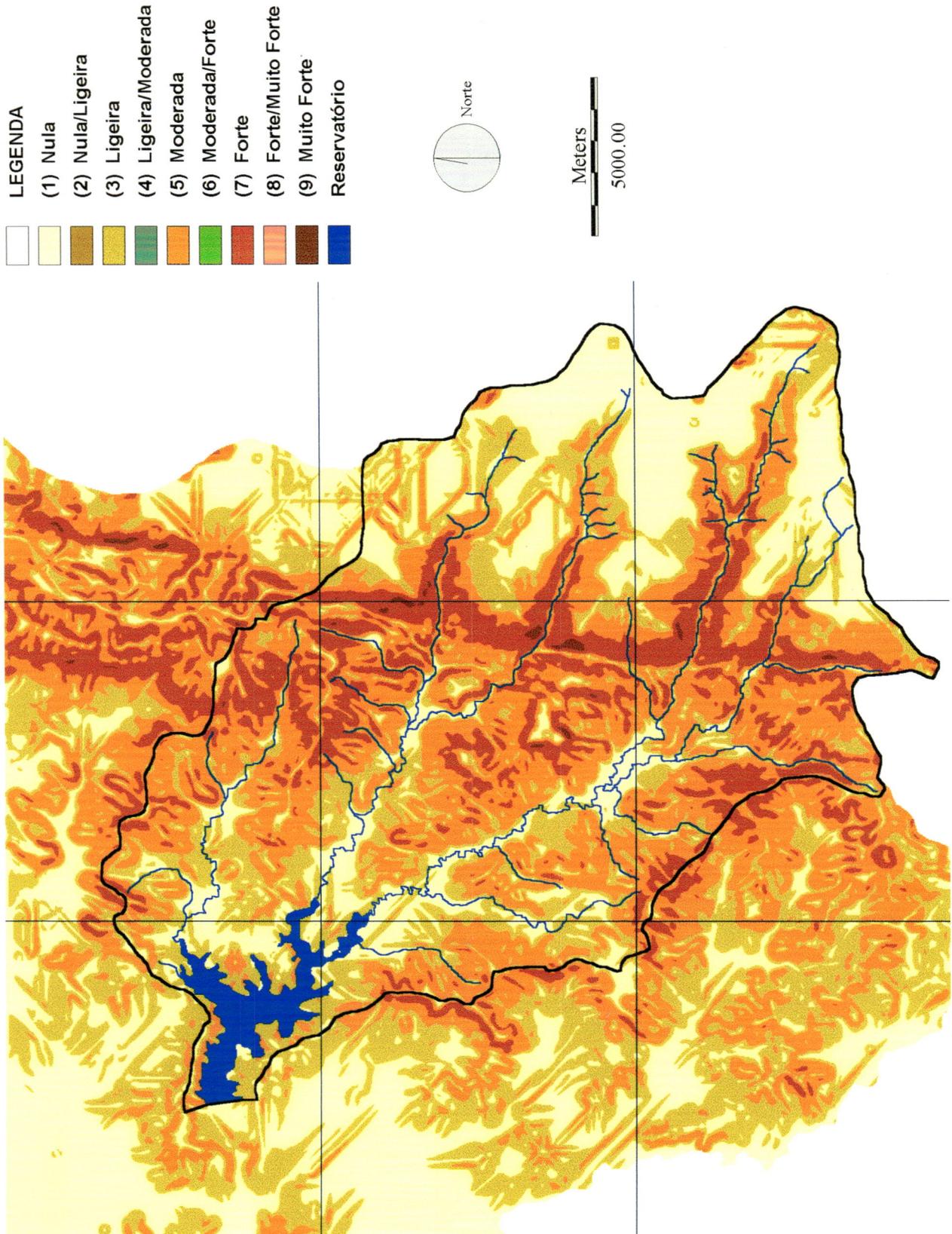


Figura 6.5 Graus de limitação por impedimento à mecanização

Grid em coord UTM: 638000E a 668000E e 8122000N a 8152000N

As únicas áreas com aptidão para lavoura (aptidão restrita), ocupam 13,31% do total e situam-se na parte mais baixa da bacia próximas aos rios e ao reservatório. Não obstante estas áreas terem sido classificadas como aptas para agricultura é necessário ponderar que elas não podem ser ocupadas em sua totalidade uma vez que a legislação federal² restringe sua utilização em áreas próximas ao leito dos rios (mata ciliar).

Utilizando o módulo *buffer*, foi delimitada uma faixa de 90 metros³ de largura (proteção permanente) envolvendo os trechos de rios pertencentes à área do grupo 3 de aptidão agrícola. A área destas faixas (excluídas as áreas relativas aos rios pertencentes à área de contribuição direta), calculada pelo módulo *area* resultou em 7,19 km². A área de proteção abrangendo o reservatório e seu entorno, delimitada pela COPASA, é de 31,08 km² (ECOPLAN 1994), subtraindo-se os 4,9 km² cobertos pela água, restam 26,18 km² de área de preservação, valor próximo ao da área de contribuição direta (31,7 km²). Desta forma, considerando-se a área de proteção proposta pela COPASA, quase toda a área de contribuição direta estaria incluída na área de preservação.

Descontando-se então as áreas do grupo 3 de aptidão agrícola (lavouras) presentes na área de contribuição direta, restam 29,63 km² presentes nas 3 sub-bacias, dos quais subtraídas as áreas de proteção permanente dos *buffers* (7,19 km²), resulta em 22,44 km² de terras disponíveis para uso com lavouras.

Para uma análise mais detalhada destas áreas, as faixas de proteção permanente foram sobrepostas à áreas de aptidão do grupo 3 e estas foram quantificadas separadamente por sub-bacia (figura 6.6)

² Código Florestal, LEI No 7.803 de 18 de Julho de 1989, considera como áreas de preservação permanente as áreas ao longo dos rios ou de qualquer curso de água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima depende da largura do próprio rio. Para rios de menos de 10 metros, esta largura mínima deve ser de pelo menos 30 metros.

³ A largura dos rios analisados é inferior a 10 metros na quase totalidade dos trechos o que implica em uma faixa de proteção de 30 metros em cada lado. Como a resolução da imagem é de 30 metros, e os rios digitalizados têm, portanto, esta largura, adotou-se um *buffer* de 90 metros.

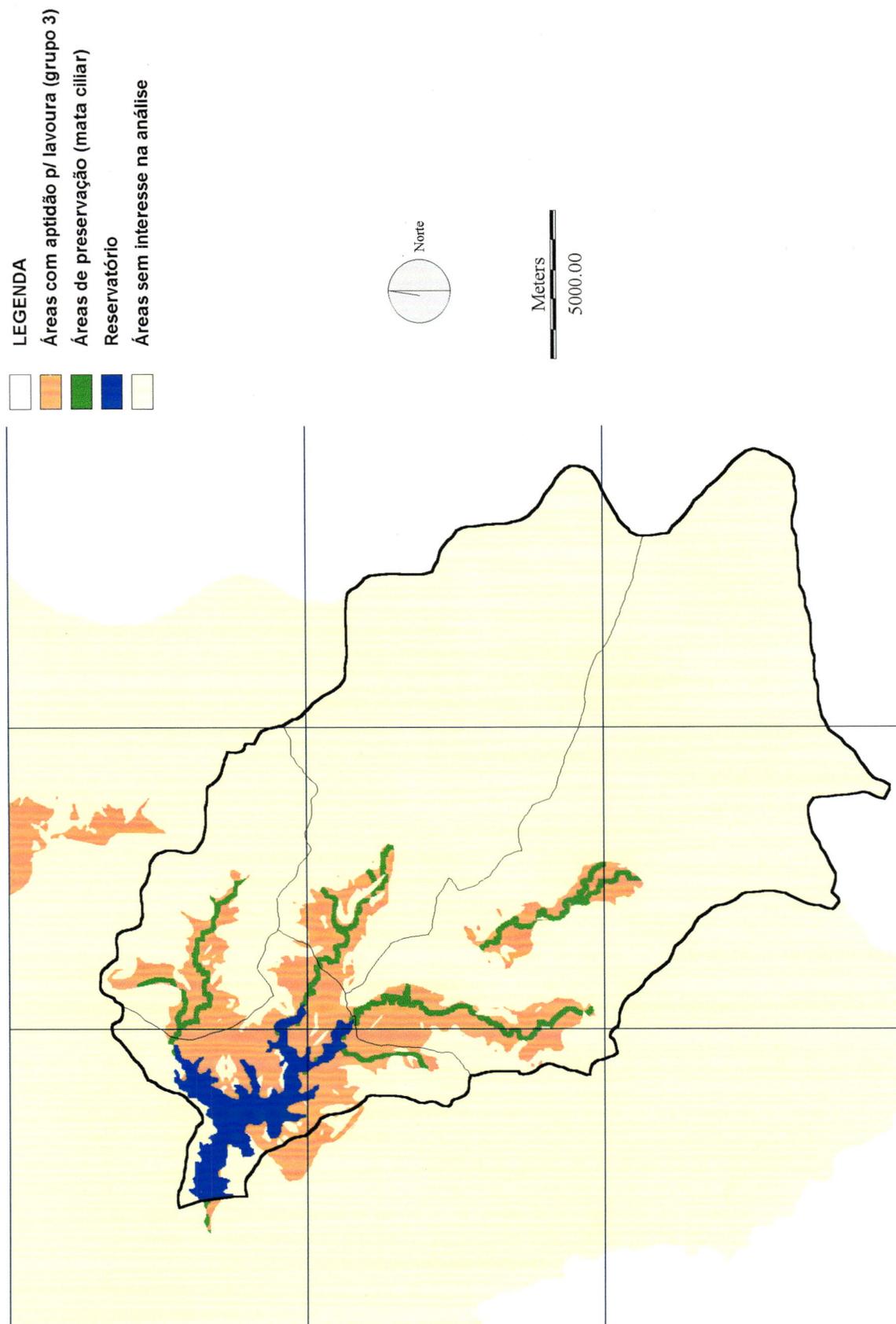


Figura 6.5 Avaliação das áreas com aptidão para lavoura ao nível A de manejo. Discriminação por sub-bacias.

Grid em coord UTM: 638000E a 668000E e 8122000N a 8152000N

As áreas separadas e calculadas são apresentadas na tabela 6.11

Tabela 6.11 Áreas disponíveis para utilização com lavoura nas sub-bacias

	Área da sub-bacia	Áreas com aptidão para lavoura	Áreas de preservação	Áreas disponíveis	Porcentagem disponível
	km ²	km ²	Km ²	km ²	%
Canoas	40.64	8.08	1.84	6.24	15.35
Saracura	113.4	5.76	1.47	4.29	3.78
Juramento	159.2	15.78	3.87	11.91	7.48

Pela tabela 6.11, a sub-bacia do Canoas é a que possui maior fração da área total disponível para lavoura ao nível de manejo A (15,35%) e conseqüentemente uma maior demanda potencial por água (considerando principalmente atividades de irrigação) em relação à sua capacidade de drenagem. Esta situação permite apontar a sub-bacia do rio Canoas como a de maior potencial para desenvolvimento de conflitos. Comparando a figura 6.6 com a 6.2, pode-se constatar uma ocupação atual do solo nas áreas do grupo 3 de aptidão pertencentes à sub-bacia do rio Canoas que entretanto ainda não consolidaram este cenário. A maior parte do uso do solo nesta região é composta por cerrado em recuperação e pastagens plantadas.

A sub-bacia do rio Saracura já apresenta, a princípio, uma situação mais favorável. A parcela de sua área disponível com aptidão para lavouras ao nível e manejo A é de apenas 3.78% resultando em uma demanda potencial de água para estas lavouras bem menor em relação à capacidade de drenagem da sub-bacia. Apesar disto, a imagem de usos atuais do solo (figura 6.2) mostra uma ocupação de grande parte das áreas com aptidão para lavoura com atividades cuja demanda por água é maior (culturas).

A sub-bacia do rio Juramento possui uma fração da área total disponível para lavoura ao nível de manejo A um pouco maior (7.48%) e

com alguns trechos desta fração apresentando concentrações de atividades de culturas e portanto com maior demanda pela água.

As áreas com aptidão para pastagem natural nas três classes (boa, regular e restrita) totalizaram em 136,74 km² (39,64%) da área total da bacia (344,94 km²). Destas áreas, a grande maioria localiza-se na porção leste da bacia (classe de aptidão regular) composta pelas terras de relevo mais plano, conforme pode ser verificado na figura 5.1, e suscetibilidade à erosão oferecendo limitações nos graus nula/ligeira em sua maior parte (figura 6.3). Entretanto a fator limitante preponderante neste caso foi a deficiência de fertilidade, como pode ser percebido pela figura 6.4, que apresentou limitações no grau 7 (forte).

Com respeito ao uso do solo, a região analisada apresenta intervenções antrópicas intensas presentes desde a sua ocupação sendo que poucas áreas apresentam cobertura vegetal original. Uma parcela significativa (32,03%) dos 344,94 km² contemplados pela figura 6.2 (área no interior da bacia somente) é coberta por uma vegetação desuniforme composta principalmente por capoeiras e cerrado em recuperação (tabela 6.12). Pode-se perceber, comparando a figura 6.3 com a 6.2, que uma parcela significativa das áreas de uso mais intenso (culturas e pastagens plantadas) situa-se em áreas com limitação por suscetibilidade à erosão muito forte sendo que a maior parte destas foi classificada como inapta ao nível A de manejo (grupo 6 de aptidão agrícola). Este fato chama atenção para um maior risco potencial de desenvolvimento problemas ambientais como erosão e assoreamento de corpos de água nestas regiões. Outro ponto importante nesta análise é a presença da grande maioria das nascentes em áreas de limitação por suscetibilidade à erosão avaliada como muito forte (figura 6.3). Das 39 nascentes mostradas, 22 localizam-se nestas áreas e 29 localizam-se em áreas com limitação avaliada como forte. Comparando este cenário com a figura 6.2 observa-se que uma parcela significativa destas nascentes encontra-se em áreas de uso do solo mais intenso como pastagens/culturas, pastagens plantadas e áreas de

silvicultura o que torna o risco de erosão e comprometimento dos mananciais por contaminação e assoreamento extremamente alto.

Tabela 6.12 Usos do solo na região de estudo

Cobertura do solo	Área (km ²)	% em relação ao total
Silvicultura (eucalipto)	80,9	23,46
Campo limpo	54,50	15,80
Cerrado em regeneração	110,48	32,03
Afloramento de rocha	4,76	1,38
Solo exposto	5,78	1,67
Área urbana	0,33	0,10
Pastagem/culturas	37,03	10,74
Matas galerias	10,26	2,97
Pastagem plantada	18,13	5,26
Sombra e/ou nuvens	22,73	6,59

6.1.1. Comentários finais

É importante observar que estes resultados permitem uma avaliação mais coerente das condições das terras em seu estado natural e não devem ser tomados como referência para avaliações mais detalhadas sobre potenciais produtivos. A razão disto é que, como já comentado, a adoção de práticas de manejo economicamente viáveis tende a produzir respostas diferentes para aptidão agrícola, naturalmente aumentando a percentagem de áreas mais aptas e reduzindo as áreas inaptas. Desta forma, as avaliações de potencialidade de conflito em algumas áreas podem ser consideradas conservadoras do ponto de vista do nível de manejo considerado.

6.2. Avaliação da disponibilidade hídrica mensal

6.2.1. Verificação dos dados pluviométricos

Como as séries de dados de chuva registradas pelas estações presentes na bacia do rio Juramento foram consideradas curtas para avaliação de parâmetros estatísticos representativos (em torno de 8 anos), optou-se por utilizar os dados da estação 01643018 operada pelo DNAEE de janeiro de 1941 a fevereiro de 1994, situada a aproximadamente 30 km a oeste da região de estudo. Procedeu-se então uma verificação da correlação entre os dados observados pelas estações localizadas na bacia e os dados da estação operada pelo antigo DNAEE, como forma de avaliar a capacidade da estação 01643018 em representar o comportamento da chuva no interior da bacia.

Os resultados desta verificação podem ser observados nas figuras 6.7, 6.8, 6.9 e 6.10.

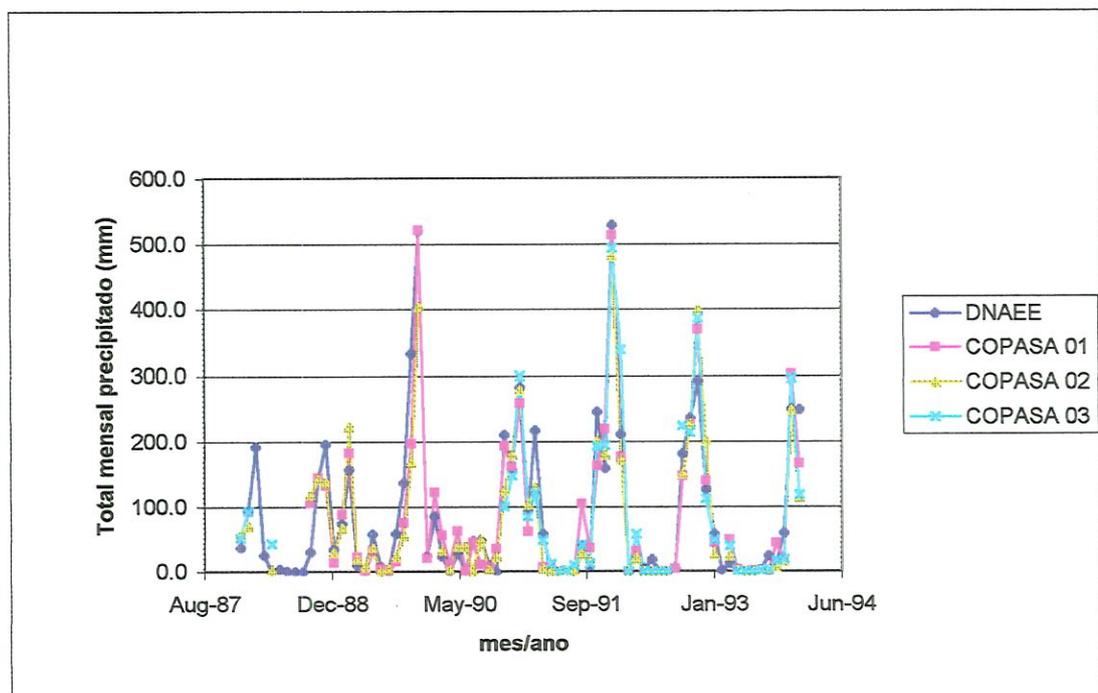


Figura 6.7 Comparativo entre precipitação total mensal das estações da COPASA e DNAEE

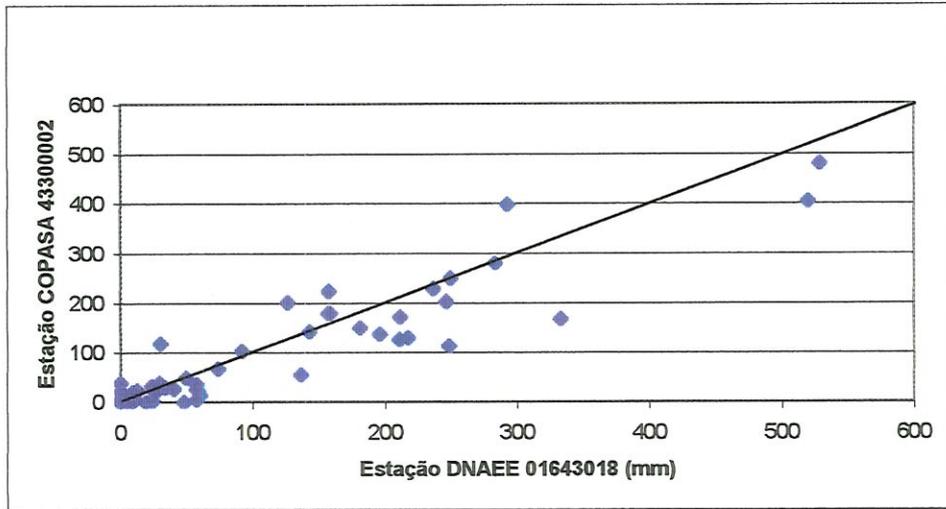


Figura 6.8 Correlação entre estação 43300002 e 01643018. Totais mensais precipitados

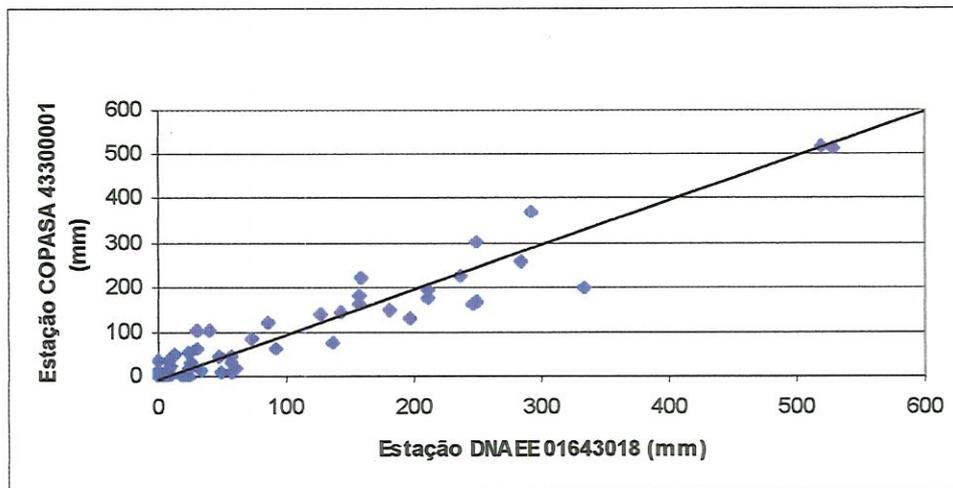


Figura 6.9 Correlação entre estação 43300001 e 01643018. Totais mensais precipitados

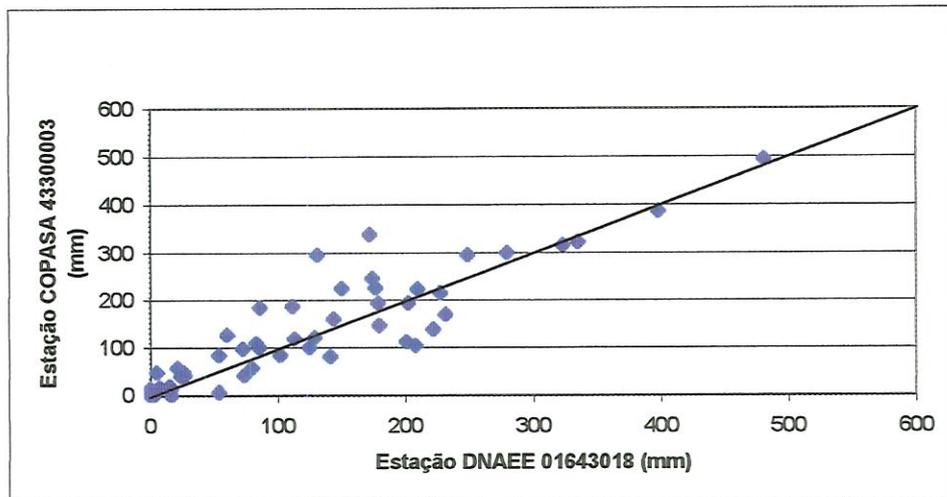


Figura 6.10 Correlação entre estação 43300003 e 01643018. Totais mensais precipitados

Os pontos nas figuras 6.8, 6.9 e 6.10 apresentam uma distribuição ao entorno da reta de igual precipitação considerada satisfatória. O gráfico da figura 6.7 apresenta uma boa aderência entre as curvas das estações, tanto para valores baixos quanto para os picos nos totais mensais precipitados. Desta forma, pode-se considerar que ao nível de precisão de uma análise de totais mensais precipitados a série de dados de chuva observada pela estação 01643018 é capaz de representar satisfatoriamente o comportamento da precipitação no interior da bacia.

6.2.2. Parâmetros do modelo de geração de precipitação

Com relação à primeira fase, determinação se o dia é seco ou chuvoso, foi calculada uma matriz de transição para cada mês, considerado o período homogêneo. As matrizes de transição mensais são apresentadas na tabela 6.13



Tabela 6.13 Probabilidades condicionais de transição entre dias secos e chuvosos

Dia anterior	Seco	Seco	Chuvoso	Chuvoso
Dia presente	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
Probabilidade	P_{00}	P_{10}	P_{01}	P_{11}
Mês				
Janeiro	0.8272	0.1728	0.2585	0.7415
Fevereiro	0.8540	0.1460	0.3740	0.6260
Março	0.8831	0.1169	0.3676	0.6324
Abril	0.9309	0.0691	0.5051	0.4949
Mai	0.9676	0.0324	0.6923	0.3077
Junho	0.9863	0.0137	0.7667	0.2333
Julho	0.9857	0.0143	0.7097	0.2903
Agosto	0.9910	0.0090	0.7222	0.2778
Setembro	0.9599	0.0401	0.6125	0.3875
Outubro	0.8729	0.1271	0.4159	0.5841
Novembro	0.7870	0.2130	0.2953	0.7047
Dezembro	0.7647	0.2353	0.2345	0.7655

A probabilidade de manutenção do estado seco (P_{00}) se mostrou alta em todos os meses, com valores superiores a 76,47%, e atingindo valores de até 99,1% nos meses mais secos do ano. Comparando estes resultados com os obtidos por POMPÊO e RIGHETTO (1983) em uma região com estações secas menos pronunciadas (bacia do Jacaré-Guaçu, Estado de São Paulo), nota-se que a diferença entre as probabilidades de um mesmo período de um trabalho para outro é menor no período seco(para julho, a diferença é de 3,5%) (tabela 6.14), enquanto que no período chuvoso a diferença chega a 19,6% (mês de janeiro) Este fato reafirma a alta

persistência do estado seco, mesmo em regiões de regimes pluviométricos sensivelmente diferentes.

Tabela 6.14 Comparação entre probabilidade P_{00}

Mês	Probabilidade de manutenção do estado seco P_{00}	
	Bacia do Jacaré-Guaçu ⁴	Bacia do rio Juramento
Janeiro	0.665	0.827
Fevereiro	0.650	0.854
Março	0.766	0.883
Abril	0.874	0.931
Maió	0.906	0.968
Junho	0.920	0.986
Julho	0.951	0.986
Agosto	0.951	0.991
Setembro	0.907	0.956
Outubro	0.779	0.873
Novembro	0.768	0.787
Dezembro	0.700	0.765

A probabilidade de transição de um dia seco para um chuvoso (P_{10}) manteve-se relativamente uniforme de novembro a janeiro, variando entre 17,28% e 23,53%, e atingindo valores extremamente baixos nos meses mais secos, chegando a 1,4% em julho e 0,9% em agosto.

Um aspecto que mereceu a atenção nesta análise foi a obtenção de probabilidades de manutenção do estado chuvoso (P_{11}) significativamente superiores às obtidas por POMPÊO e RIGETTO (1983) na bacia do

⁴ POMPÊO, C.A. & RIGETTO, A.M. (1983). Modelação de precipitação diária e horária para a bacia do rio Jacaré-Guaçu, SP. . In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Blumenau. *Anais*. v. 2, p.37-61.

Jacaré-Guaçu para os meses chuvosos, e significativamente inferiores para os meses secos (tabela 6.15). Este fato reafirma o comportamento temporal concentrado da chuva, característico do semi-árido.

Tabela 6.15 Comparação entre probabilidade P_{11}

Mês	Probabilidade de manutenção do estado chuvoso P_{11}	
	Bacia do Jacaré-Guaçu ⁵	Bacia do rio Juramento
Janeiro	0.641	0.742
Fevereiro	0.613	0.626
Março	0.541	0.632
Abril	0.355	0.495
Maió	0.413	0.308
Junho	0.405	0.233
Julho	0.413	0.290
Agosto	0.369	0.278
Setembro	0.407	0.388
Outubro	0.442	0.584
Novembro	0.469	0.705
Dezembro	0.599	0.766

⁵ POMPÊO, C.A. & RIGHETTO, A.M. (1983). Modelação de precipitação diária e horária para a bacia do rio Jacaré-Guaçu, SP. . In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Blumenau. *Anais*. v. 2, p.37-61.

Para verificação da fidelidade do modelo em reproduzir o comportamento da chuva na bacia foram geradas três séries de mesmo tamanho da série observada. Foram comparados entre as séries geradas e a série observada o número médio de dias chuvosos, média de totais precipitados e média de precipitações diárias para cada mês. Os resultados desta análise são apresentados nas tabelas 6.16, 6.17 e 6.18.

Tabela 6.16 Número de dias chuvosos no mês

Mês		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Séries		(dias)	(dias)	(dias)	(dias)	(dias)	(dias)	(dias)	(dias)	(dias)	(dias)	(dias)	(dias)
observada	Média	12,62	7,82	7,48	3,69	1,40	0,54	0,61	0,37	1,76	7,10	12,45	15,69
	Variança	8,28	4,65	6,04	3,48	1,73	1,03	1,13	0,71	2,11	5,24	7,22	7,54
gerada 1	Média	12,40	8,09	7,45	3,66	1,30	0,58	0,62	0,58	2,02	7,17	11,64	14,83
	Variança	4,38	3,04	3,98	2,81	1,46	0,89	1,16	0,95	1,77	3,86	3,98	4,65
gerada 2	Média	12,15	8,91	6,96	3,77	1,45	0,51	0,38	0,25	1,58	6,85	12,60	15,38
	Variança	4,86	3,53	4,48	2,64	1,60	0,78	0,69	0,62	1,59	3,60	5,17	4,81
gerada 3	Média	11,68	6,70	7,32	3,13	1,42	0,62	0,66	0,23	1,89	7,17	11,68	15,00
	Variança	4,98	3,56	4,13	2,53	1,41	0,84	0,94	0,67	2,15	4,09	4,44	5,05

Tabela 6.17 Totais mensais precipitados

Mês		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Séries		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
observada	Média	262,8	153,9	119,4	43,3	9,5	7,5	5,8	3,0	18,0	93,7	245,3	315,5
	Variança	227,3	152,7	142,1	52,9	15,0	18,8	14,2	8,3	22,8	82,9	183,8	251,1
Gerada 1	Média	249,6	155,8	117,5	42,3	7,5	7,9	8,2	4,8	20,1	91,9	245,9	300,6
	Variança	121,1	75,0	77,6	37,9	9,9	12,4	19,6	10,2	24,2	50,9	123,3	152,1
Gerada 2	Média	264,4	175,5	109,4	49,1	10,5	4,3	3,1	2,0	19,3	89,8	260,7	328,3
	Variança	118,8	87,3	87,5	42,5	14,7	9,8	7,9	5,8	25,5	66,6	135,7	141,2
Gerada 3	Média	245,0	132,1	124,0	39,1	10,4	6,0	5,3	1,9	19,7	93,6	245,7	297,8
	Variança	126,1	98,1	101,0	44,4	15,7	11,3	10,6	7,4	26,3	69,5	126,7	123,0

Tabela 6.18 Estatística de Precipitação diária (médias de chuva dos dias chuvosos apenas)

Mês		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Séries		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
observada	Média	21,25	19,69	15,96	11,71	6,75	13,85	9,57	7,97	10,20	13,19	19,71	20,11
	Variança	23,36	22,97	19,45	14,76	8,00	18,77	10,04	8,62	11,03	13,79	23,14	23,61
gerada 1	Média	20,23	19,25	16,00	11,86	5,99	13,56	13,82	9,01	11,02	13,35	21,22	20,37
	Variança	21,18	19,24	17,31	12,64	7,05	12,04	15,51	9,55	15,66	16,70	24,27	22,99
gerada 2	Média	21,88	19,59	15,84	13,20	7,33	8,43	7,99	7,98	12,17	14,53	20,75	21,48
	Variança	22,75	18,58	17,84	13,87	7,81	7,64	9,80	5,59	13,76	18,56	22,89	22,61
gerada 3	Média	21,05	19,63	17,11	12,98	7,43	9,85	8,20	8,36	10,49	13,82	21,20	20,03
	Variança	21,97	21,36	19,76	15,99	10,30	10,09	10,16	5,90	10,43	17,71	23,93	21,05

Para o número médio de dias chuvosos as séries geradas apresentaram valores bem distribuídos em relação à série observada, ora inferiores, ora superiores. Para os meses de dezembro, janeiro e março, o número médio de dias chuvosos das séries geradas ficou ligeiramente inferior ao da série observada, com variações de 3 a 10% em relação à série observada. O mês de julho apresentou uma das séries geradas com valor significativamente inferior ao observado (variação de -62%), e o mês de agosto apresentou as maiores variações: +57%, -32% e -38% nas três séries geradas. Como estes dois meses são os mais secos do ano, com número médio de dias chuvosos extremamente baixo, a modelagem do seu comportamento estaria mais sujeita à variabilidade natural do método empregado.

Nesse ponto, o número de séries geradas empregado (três), foi insuficiente para uma análise mais conclusiva em relação ao mês de julho. Entretanto para o mês de agosto, as grandes variações em todas as séries são um indicativo de que provavelmente o tamanho da série observada utilizada (50 anos) não tenha sido suficiente para produzir parâmetros estatísticos representativos, devido ao baixo número de dias com chuva naquele mês.

Com relação à segunda parte do modelo, cálculo da altura precipitada, foi ajustada a função de distribuição de probabilidades Gama. Os parâmetros foram calculados utilizando-se o método da máxima verossimilhança (tabela 6.19)

Tabela 6.19 Parâmetros da função Gama

Parâmetro	β	γ
Mês		
Janeiro	24.760	0.858
Fevereiro	21.728	0.906
Março	20.744	0.769
Abril	17.533	0.668
Maiο	8.793	0.768
Junho	19.936	0.695
Julho	13.028	0.735
Agosto	14.280	0.558
Setembro	11.053	0.923
Outubro	15.975	0.826
Novembro	24.383	0.808
Dezembro	24.503	0.821

Os dados observados foram ordenados em escala decrescente e calculada a probabilidade de não excedência. Em seguida foi calculada a probabilidade de que a variável aleatória chuva assumisse um valor menor ou igual ao valor ordenado usando-se a função de distribuição Gama ajustada para aquele mês. As duas séries de probabilidades associadas aos valores de chuva ordenados foram plotadas nas figuras 6.11 a 6.22 para verificação do ajuste em cada mês.

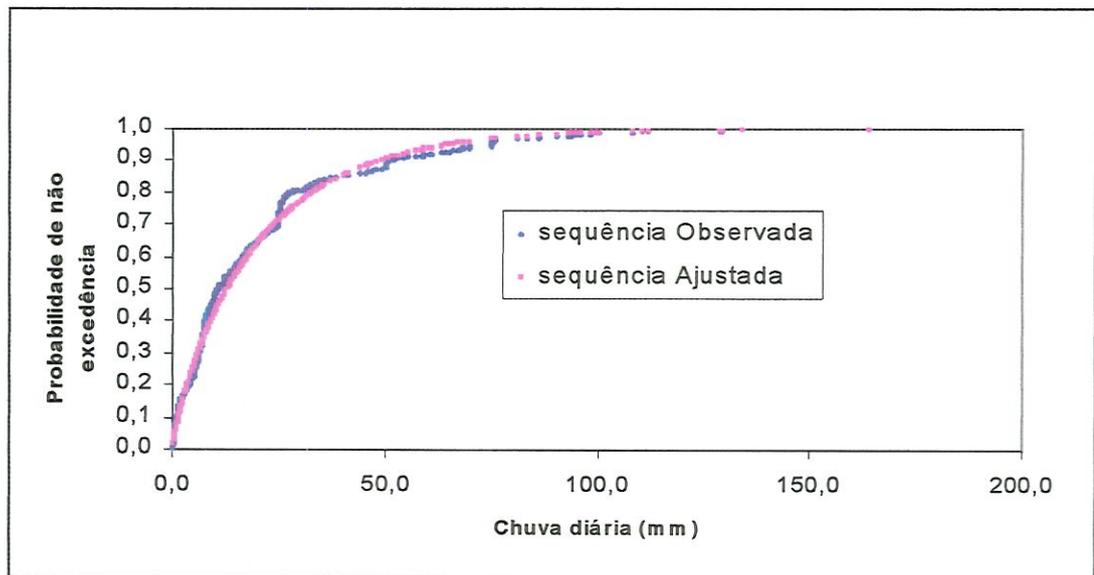


Figura 6.11 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Dezembro

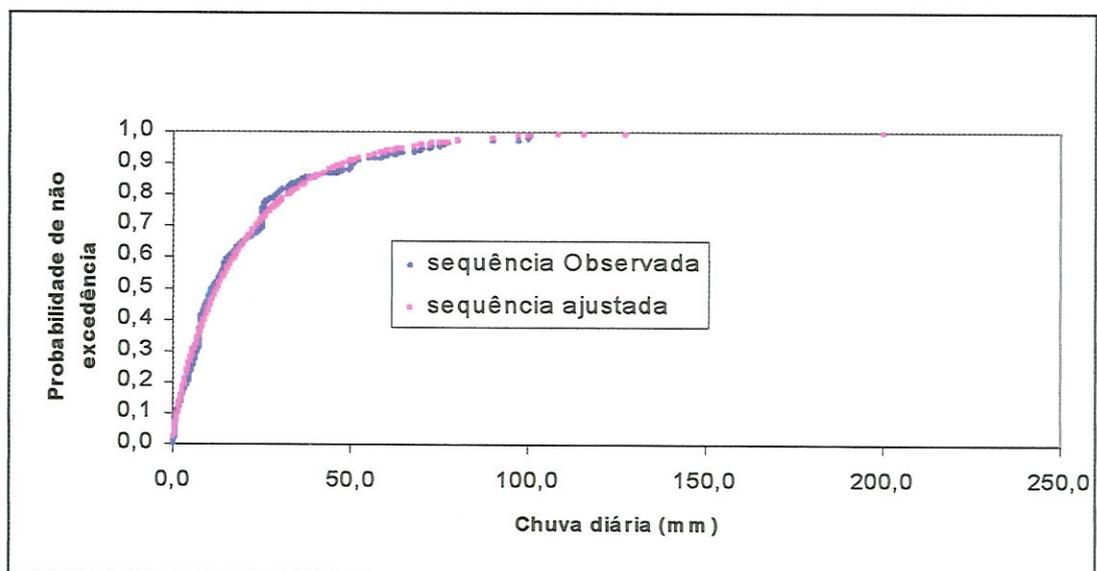


Figura 6.12 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Novembro

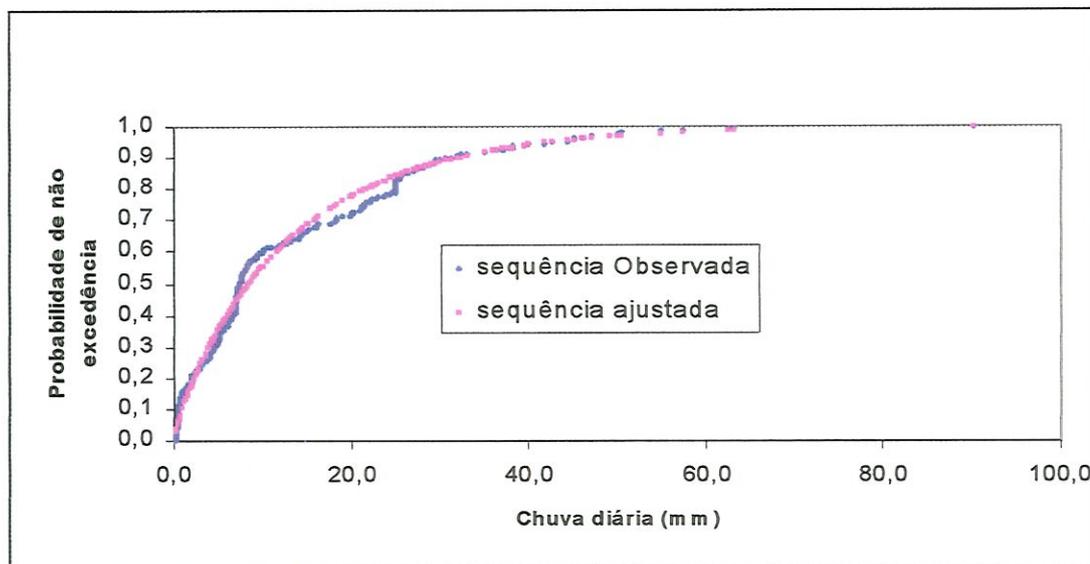


Figura 6.13 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Outubro

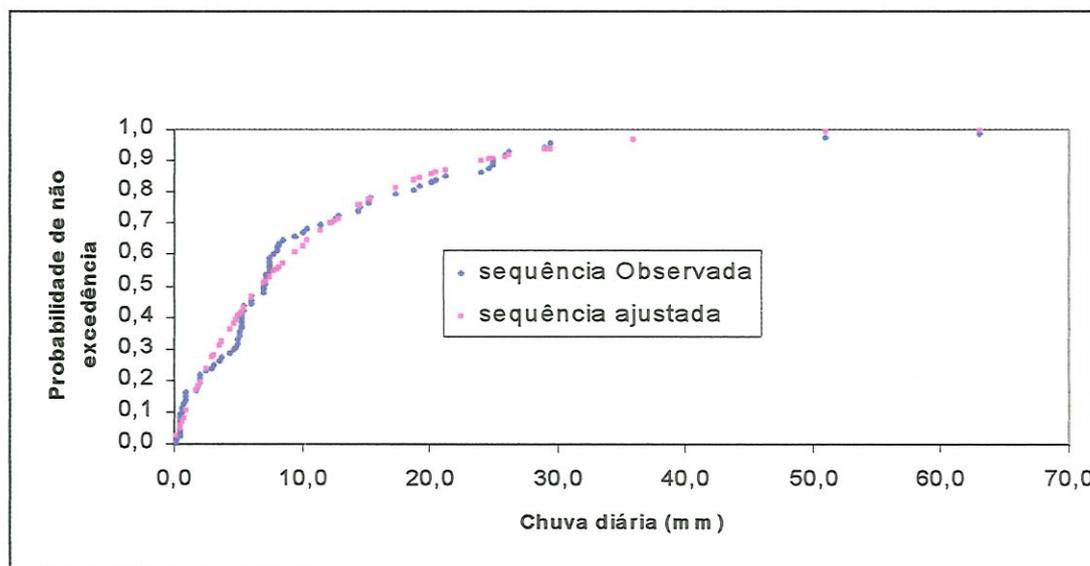


Figura 6.14 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Setembro

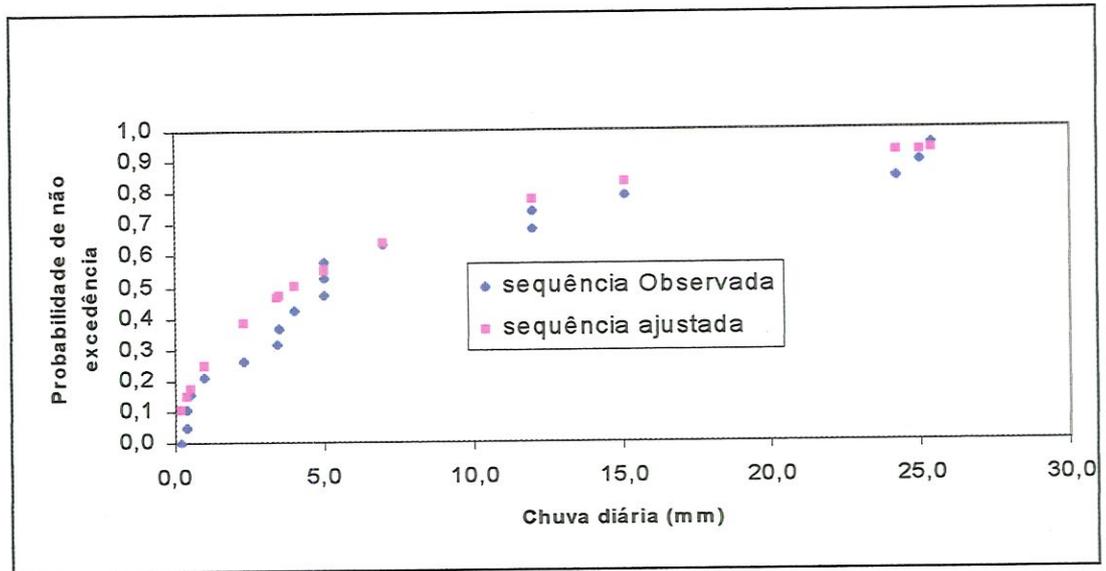


Figura 6.15 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Agosto

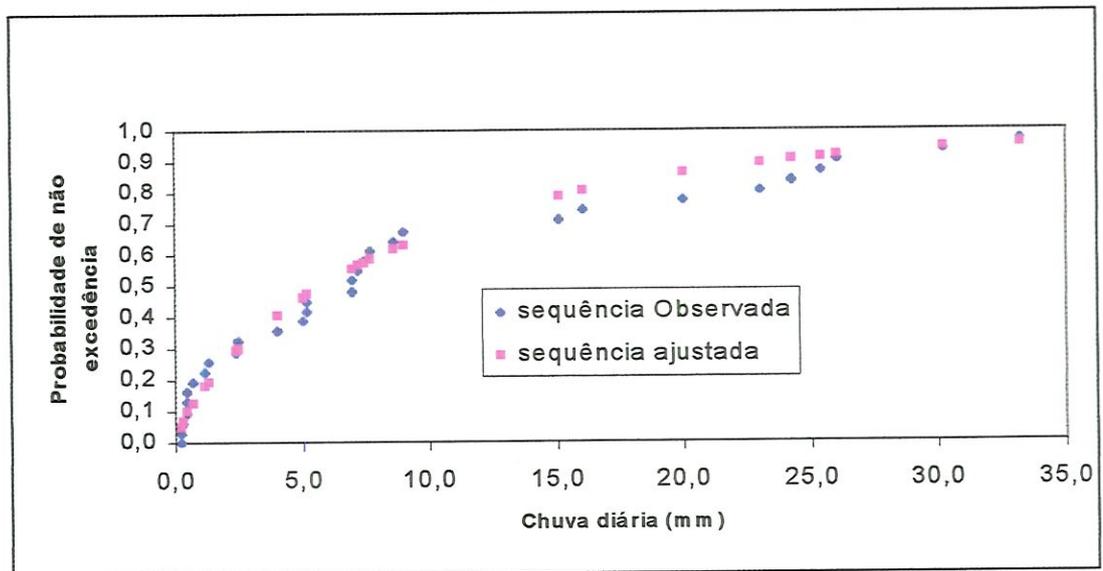


Figura 6.16 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Julho

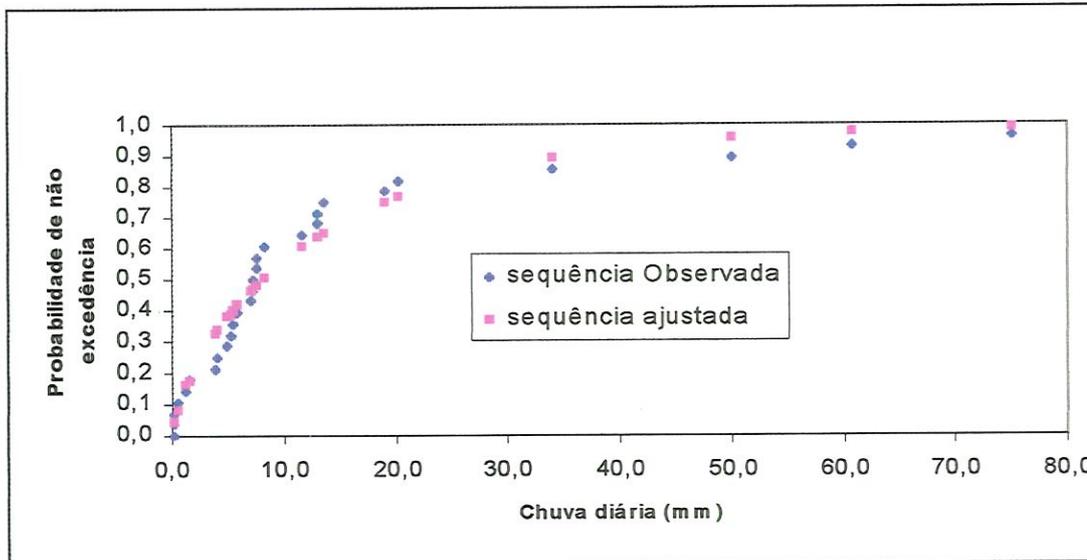


Figura 6.17 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Junho

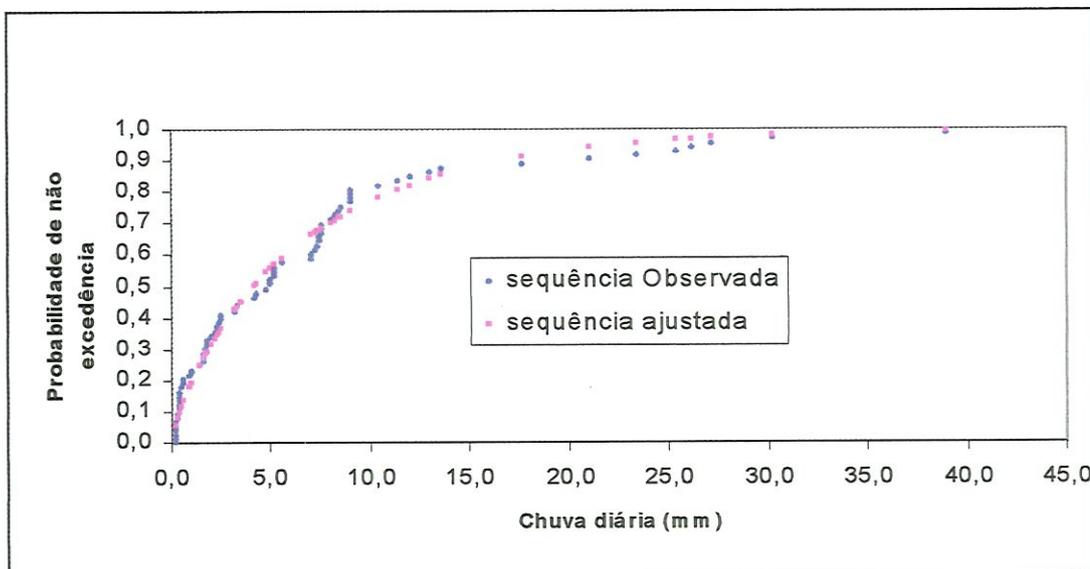


Figura 6.18 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Maio

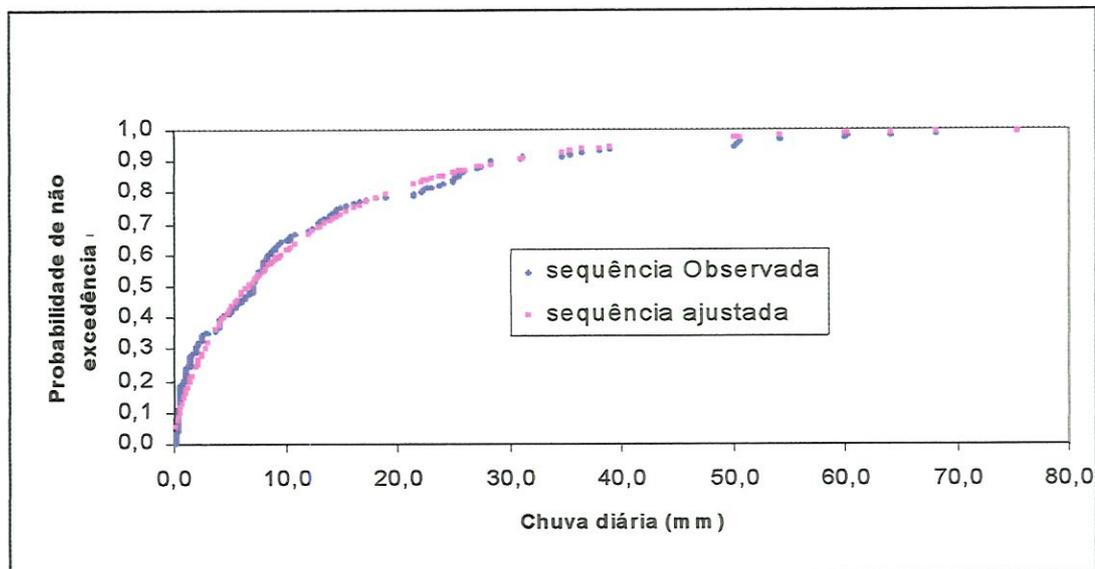


Figura 6.19 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Abril

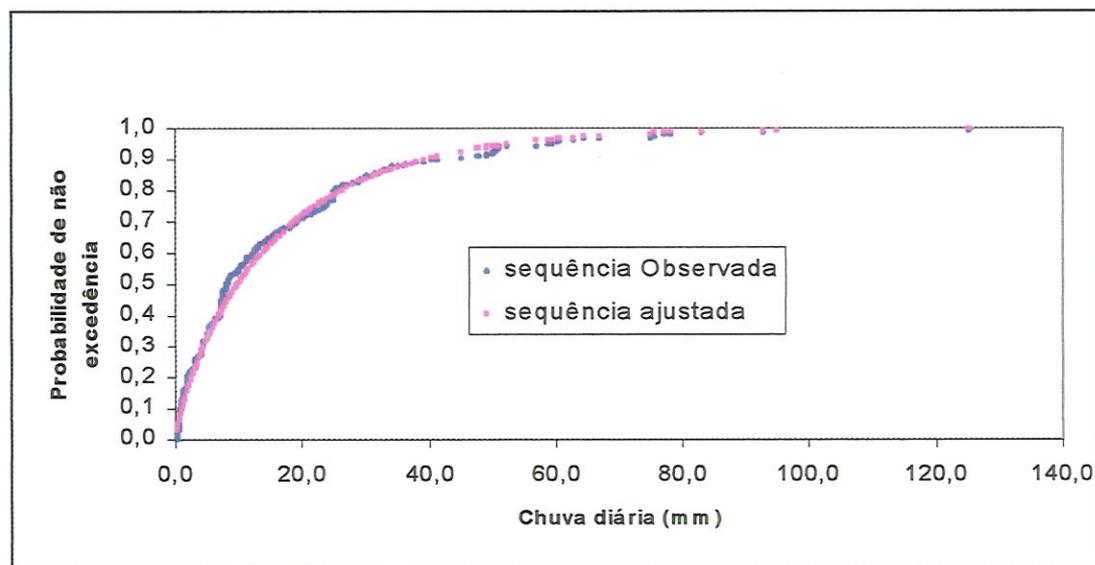


Figura 6.20 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Março

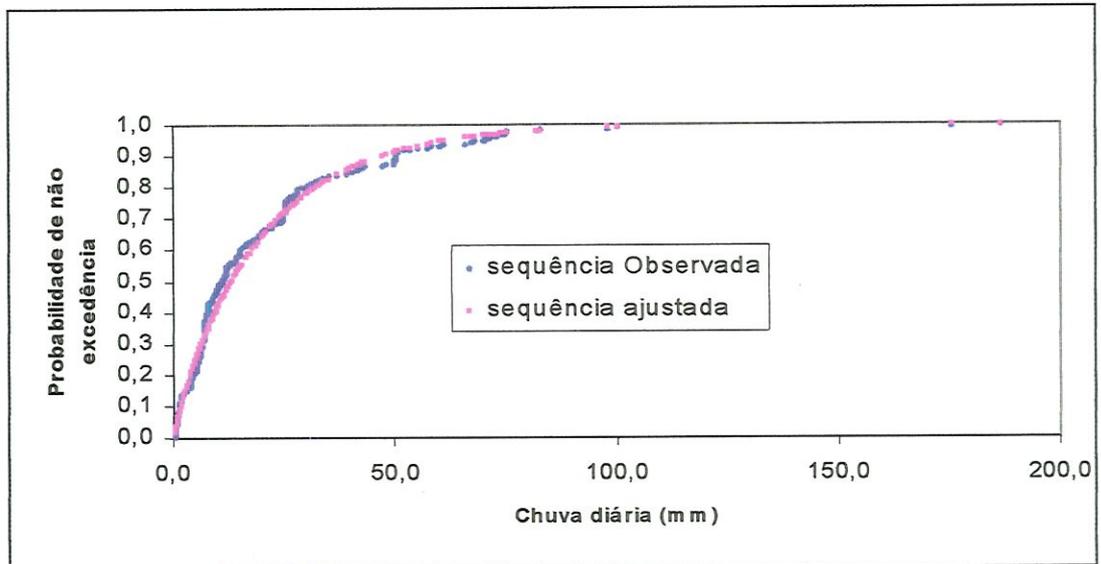


Figura 6.21 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Fevereiro

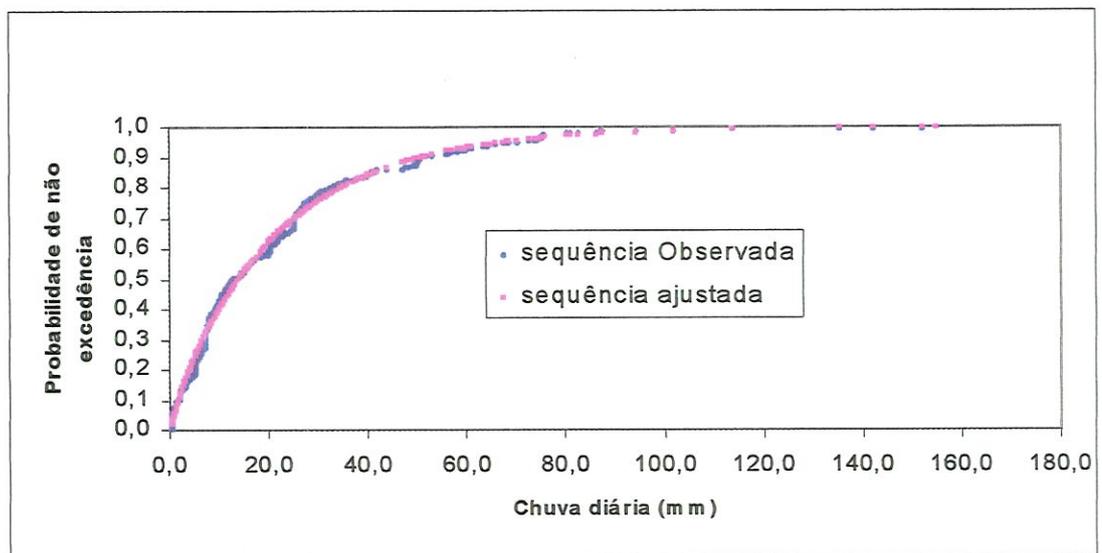


Figura 6.22 Ajuste da distribuição Gama com 2 parâmetros: Janeiro

Os ajustes foram considerados satisfatórios em todos os meses. Os meses mais secos, julho e agosto, apresentaram ajuste inferior devido ao comportamento extremamente irregular da chuva, com poucos dias de

precipitação neste período, o que torna mais difícil o ajuste da distribuição a uma função teórica.

6.2.3. Geração de séries de vazão

Curvas-Chave

Inicialmente foram elaboradas as curvas-chave para transformação dos dados de leituras de cota nas régua nas vazões correspondentes. As medições de cota e vazão feitas pela COPASA foram plotadas em um figura para ajuste da relação considerando a forma exponencial (equação 6.1)

$$Q = a(h - h_0)^n \quad 6.1$$

h é o nível medido na régua correspondente à vazão Q , h_0 é o nível para o qual a vazão é nula, a e n são constantes específicas da seção onde a régua se encontra.

Para determinação de a e n , a relação foi linearizada tomando-se:

$$\ln(Q) = \ln(a) + n \cdot \ln(h - h_0)$$

Fazendo $\ln(a) = b$, $\ln(h-h_0) = x$ e $\ln(Q) = y$ tem-se a equação de uma reta de coeficiente angular n e termo independente $\ln(a)$. Os valores de a e n podem então ser determinados plotando-se $\ln(Q)$ contra $\ln(h-h_0)$ e ajustando uma reta por meio de regressão linear. A equação da reta ajustada fornecerá as constantes procuradas. Foi determinada uma curva chave para cada seção de interesse: seção 4330000508 no rio Saracura, seção 4330000509 no rio Juramento e seção 4330000507 no rio Canoas.

As vazões obtidas a partir das curvas chave traçadas devem ser analisadas com cuidado. CHEVALLIER (1993) recomenda a extrapolação da curva chave separadamente em suas extremidades, extrapolando-se a extremidade da curva na direção superior (águas médias e altas) e depois na direção inferior (águas baixas). Entretanto, o número reduzido de pontos disponíveis não permitiu a análise mais sistemática dos pontos nas extremidades, de modo que o ajuste com uma curva única como foi feito aqui pode apresentar resultados não satisfatórios para valores de cota muito baixos ou muito altos. Outro fator que merece consideração é a variação na seção de controle detectada especialmente na seção 4330000508 (rio Saracura) claramente percebida na figura 6.23. Estas variações servem como indicativo de um processo de assoreamento contínuo do rio. É interessante observar que no mapa de usos atuais do solo na bacia (figura 6.2) pode-se perceber uma concentração de atividades de uso mais intenso do solo (culturas), notadamente na margem direita do rio Saracura, o que tende a confirmar os problemas de erosão e assoreamento.

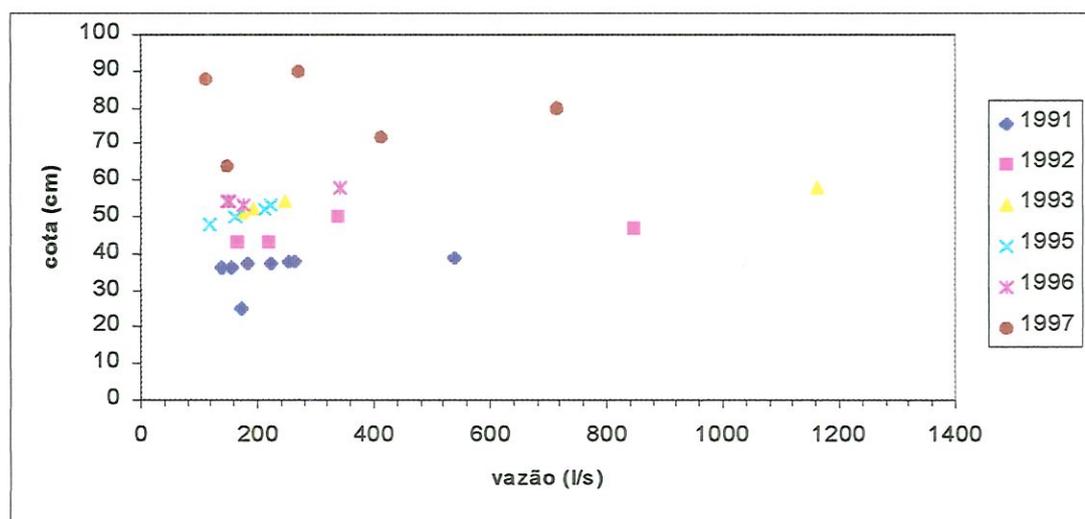


Figura 6.23 Alteração na curva-chave ao longo do tempo. Seção 4330000508

Frente a esta situação, optou-se por tomar apenas os pontos de medição de cota/descarga referentes a um determinado ano, o que reduziu

significativamente a quantidade de informação disponível e contribui para o aumento da incerteza no valores de vazão obtidos a partir da equação ajustada. O ajuste e a curva chave traçadas para a seção 4330000508 são apresentados nas figuras 6.24 e 6.25, para a seção 4330000509 (rio Juramento) nas figuras 6.26 e 6.27 e para a seção 4330000507 (rio Canoas) nas figuras 6.28 e 6.29.

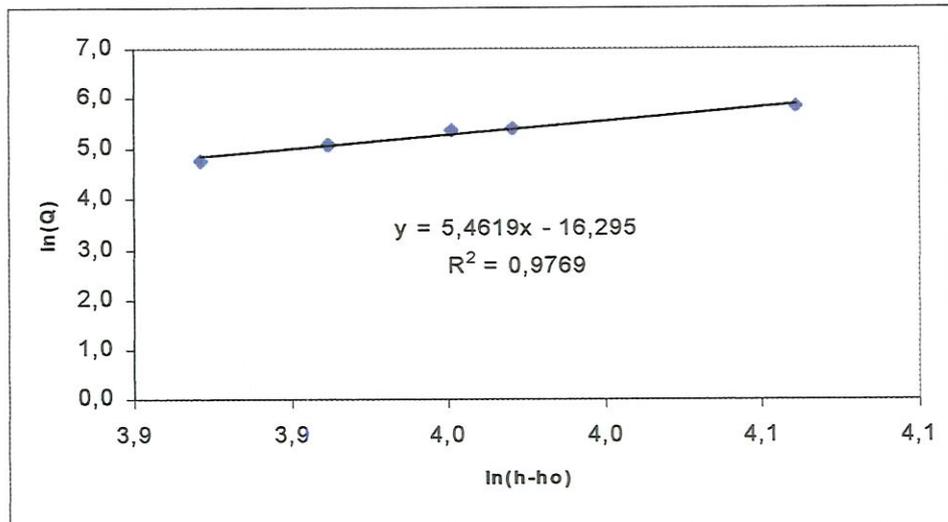


Figura 6.24 Determinação dos parâmetros da curva-chave Seção 4330000508 rio Saracura

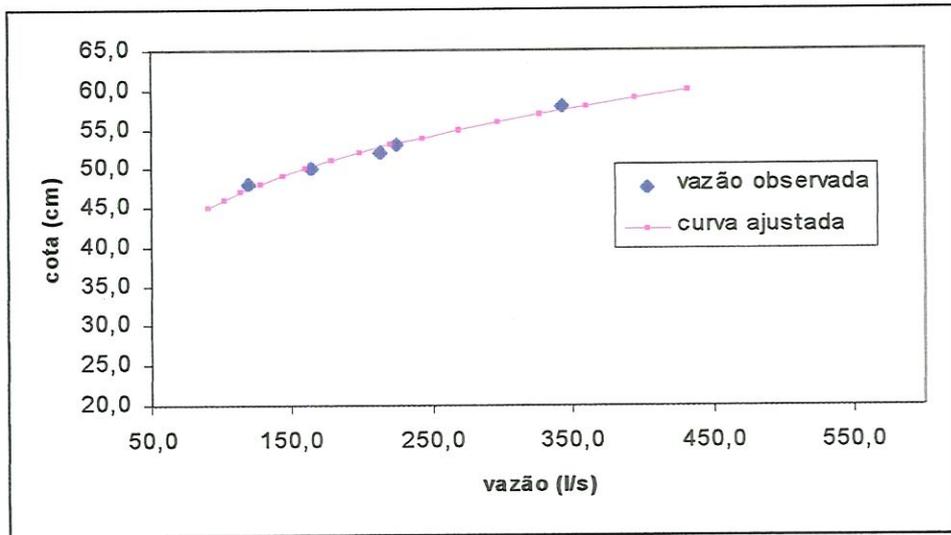


Figura 6.25 Curva-chave para seção 4330000508 – Rio Saracura

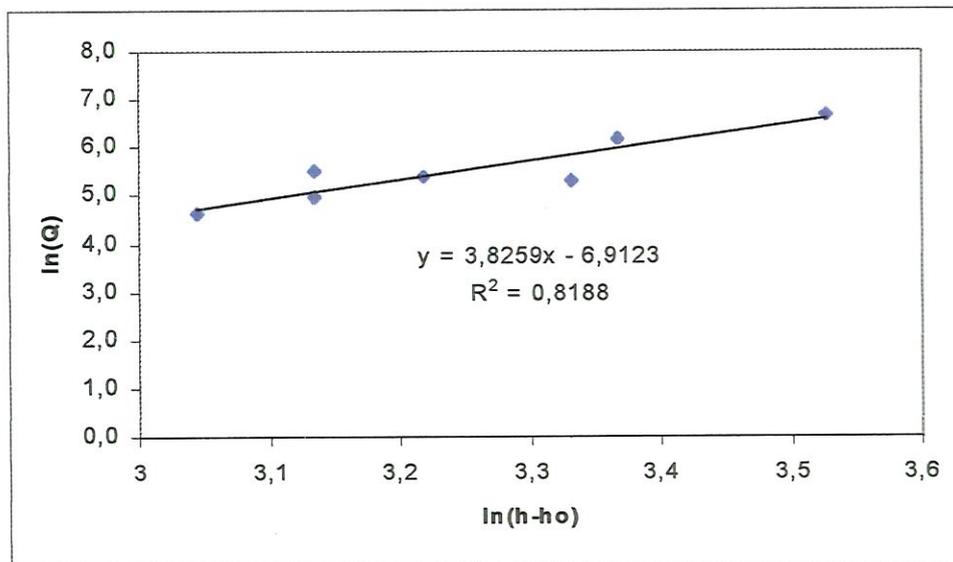


Figura 6.26 Determinação dos parâmetros da curva-chave. Seção 4330000509 rio Juramento

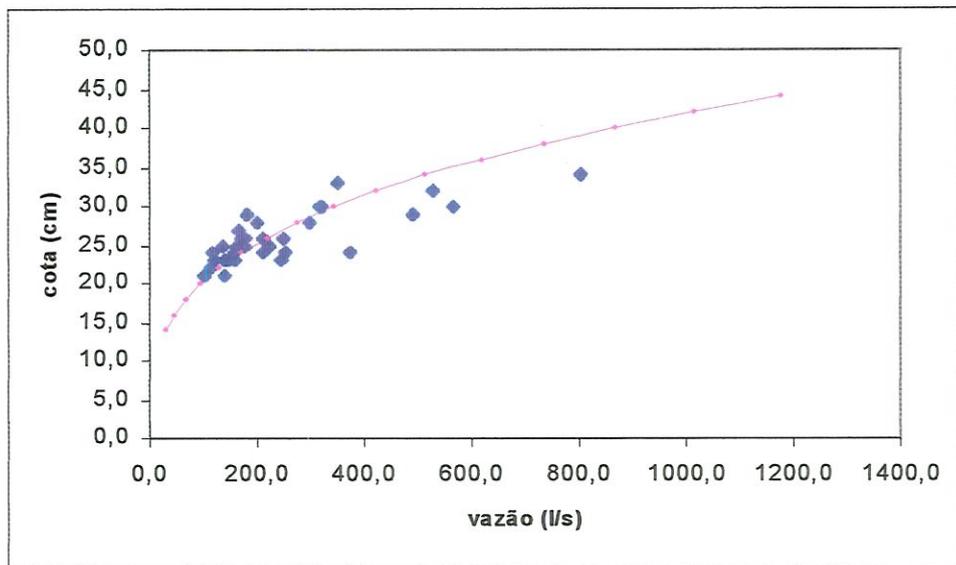


Figura 6.27 Curva-chave para seção 4330000509 – Rio Juramento

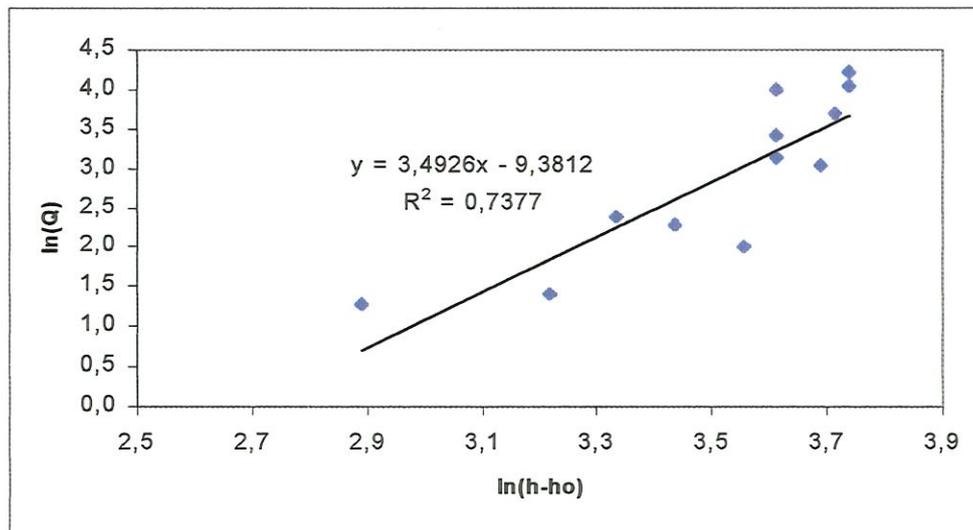


Figura 6.28 Determinação dos parâmetros da curva-chave. Seção 4330000507 rio Canoas

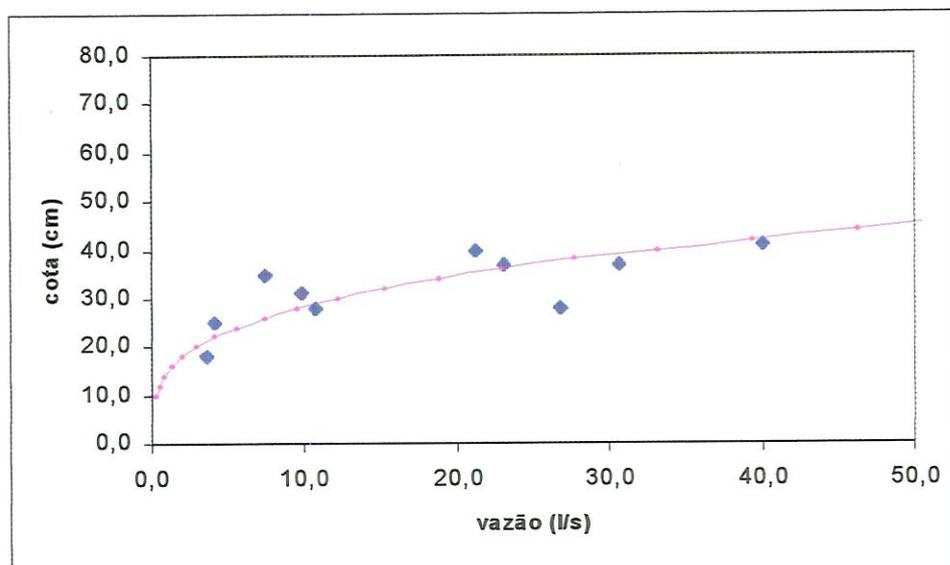


Figura 6.29 Curva-chave para seção 4330000507 – Rio Canoas

Correlação chuva/deflúvio

Depois de calculadas as séries de vazões diárias estas foram somadas em volumes mensais para correlação com os totais mensais precipitados. Estes totais mensais precipitados foram obtidos a partir das estações pluviométricas operadas pela COPASA na bacia. Estando a estação 43300001 na sub-bacia do rio Canoas, a 43300002 na sub-bacia do rio Juramento e a 43300003 na sub-bacia do rio Saracura. Foram obtidas, desta forma, três equações de correlação, sendo uma para cada sub-bacia. As correlações foram feitas por meio de análise de regressão linear e modelagem da distribuição dos resíduos dos volumes escoados mensais. A equação de regressão para a sub-bacia do rio Juramento e o ajuste dos resíduos à função de distribuição de probabilidades Normal são apresentados nas figuras 6.30 e 6.31.

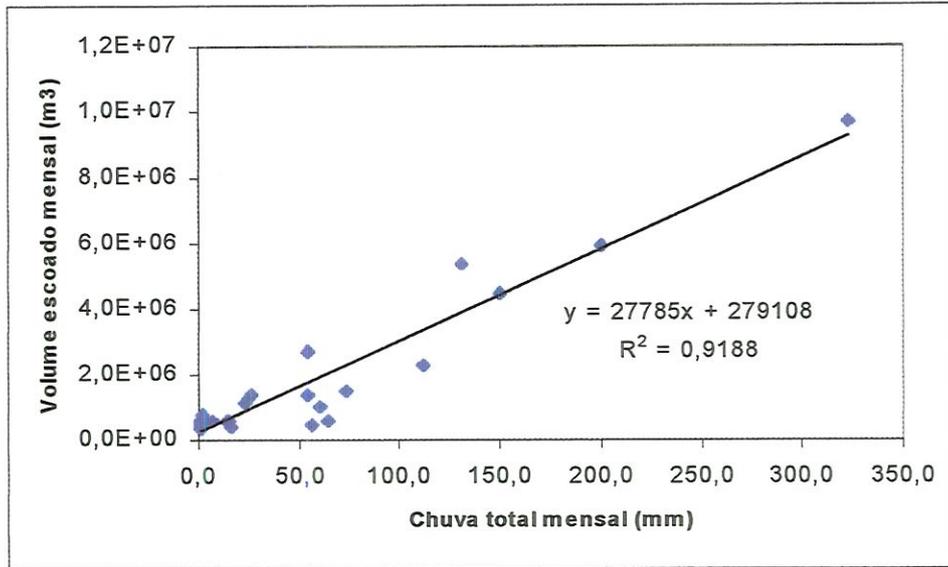


Figura 6.30 Análise de regressão linear para correlação chuva/deflúvio. Sub-bacia do rio Juramento

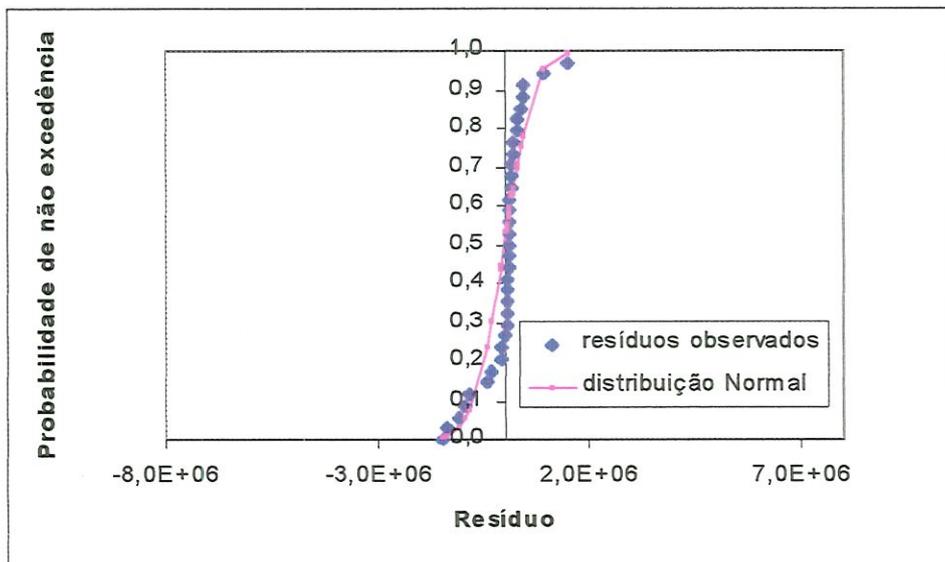


Figura 6.31 Ajuste dos resíduos à distribuição Normal. Rio Juramento

As correlações para as sub-bacias dos rios Canoas e Saracura são apresentadas nas figuras 6.32, 6.33, 6.34 e 6.35.

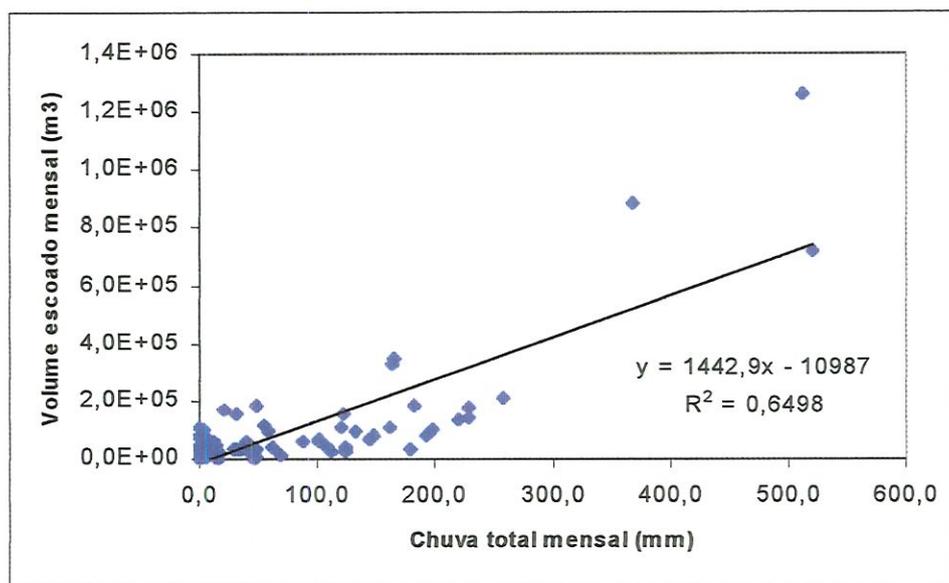


Figura 6.32 Análise de regressão linear para correlação chuva/deflúvio. Sub-bacia do rio Canoas

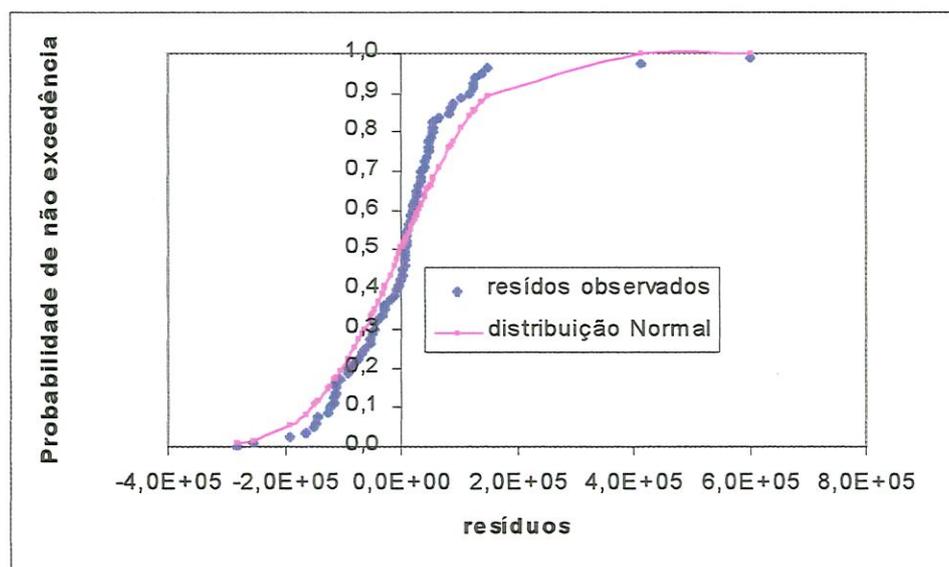


Figura 6.33 Ajuste dos resíduos à distribuição Normal. Rio Canoas

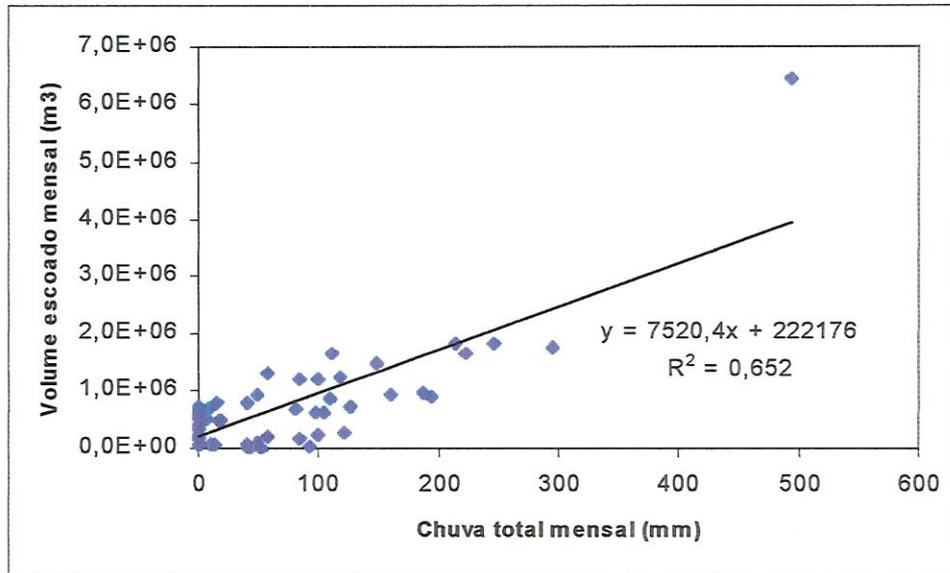


Figura 6.34 Análise de regressão linear para correlação chuva/deflúvio. Sub-bacia do rio Saracura.

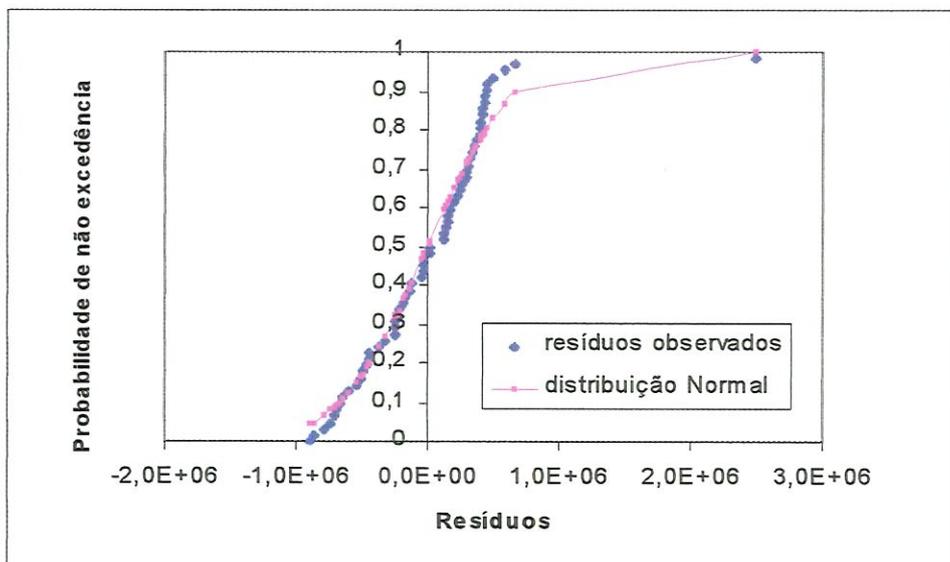


Figura 6.35 Ajuste dos resíduos à distribuição Normal. Rio Saracura

As equações de regressão apresentaram ajustes razoáveis. A sub-bacia do rio Juramento apresentou o melhor índice de correlação ($R^2 = 0.92$) enquanto que as demais sub-bacias apresentaram ajustes pouco satisfatórios. Este resultado já era previsível uma vez que a curva chave para a sub-bacia do rio Juramento foi a que apresentou o melhor ajuste.

Apesar de a curva-chave para o rio Saracura apresentar um ajuste supostamente bom ($R^2 = 0.98$), o reduzido número de pontos confiáveis disponíveis introduziu um fator de incerteza significativo em sua extrapolação. A distribuição dos resíduos dos volumes escoados mensais apresentou um bom ajuste à função de distribuição Normal para todas as três sub-bacias, como pode ser verificado nas figuras 6.31, 6.33 e 6.35.

Para a obtenção das séries de vazão foi inicialmente gerada, por meio do modelo de Markov, uma série de 100 anos de precipitação diária. Esta série foi reduzida para totais mensais e estes totais transformados em vazões mensais, resultando em uma série de vazões médias mensais de 100 anos. Em seguida foi avaliada a eficiência da correlação plotando os resultados de correlação vazão observada contra vazão calculada (figuras 6.36, 6.38 e 6.40) e nos hidrogramas de vazões calculadas e observadas (figuras 6.37, 6.39 e 6.41).

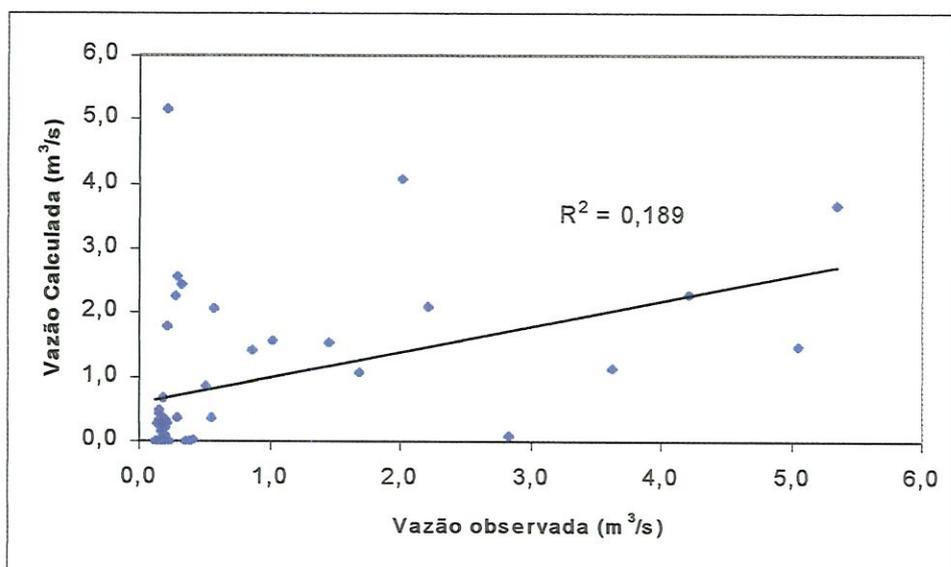


Figura 6.36 Correlação entre vazões calculadas e observadas. Rio Juramento

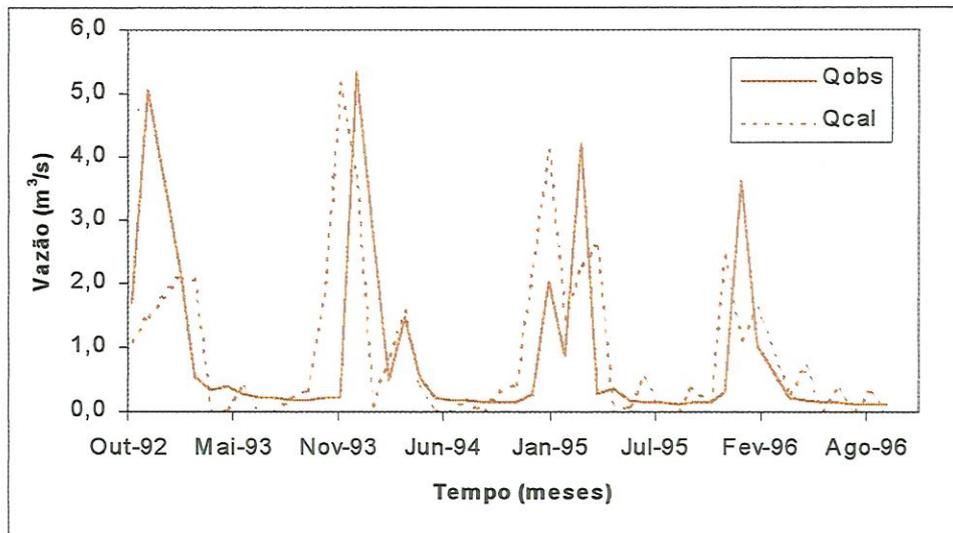


Figura 6.37 Hidrograma de vazões calculadas e observadas. Rio Juramento

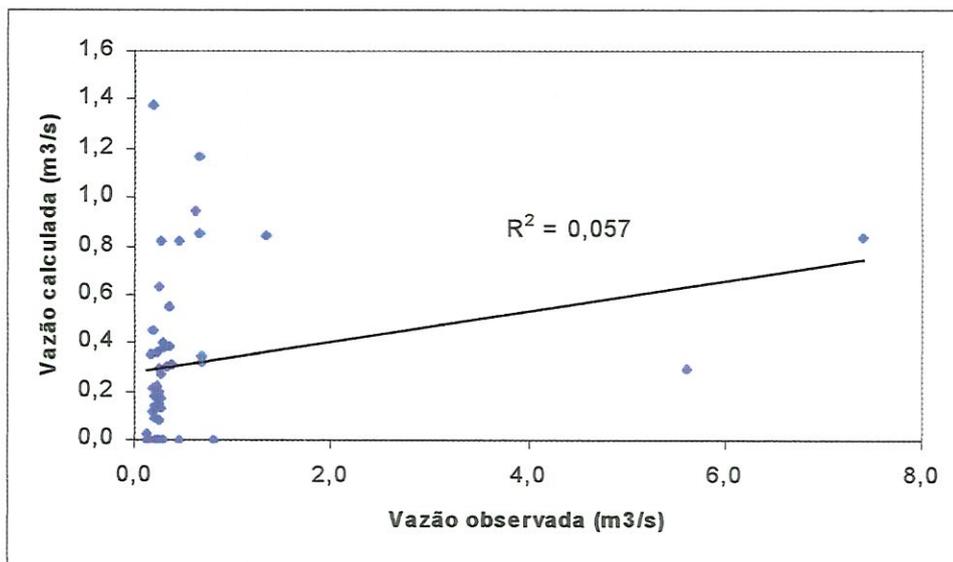


Figura 6.38 Correlação entre vazões calculadas e observadas. Rio Saracura

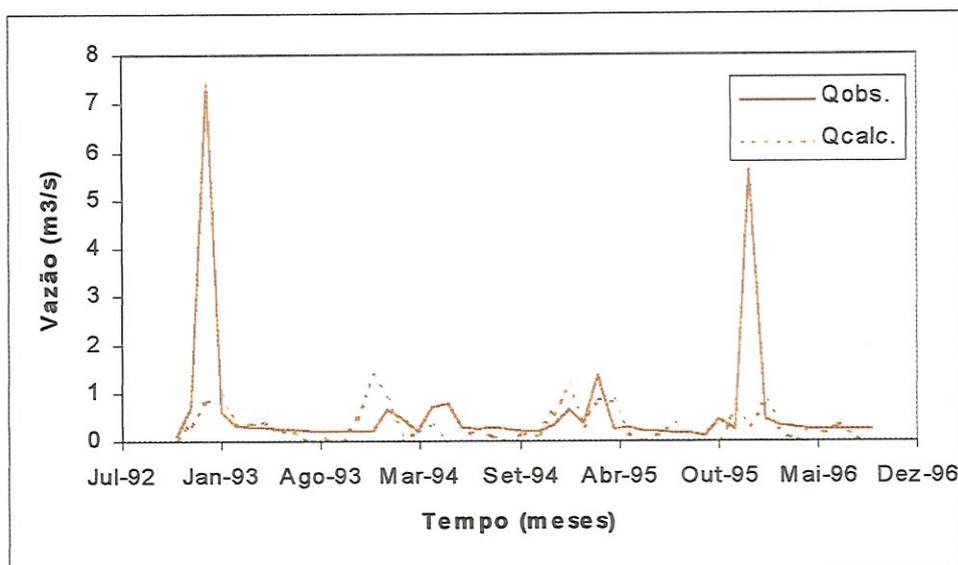


Figura 6.39 Hidrograma de vazões calculadas e observadas. Rio Saracura

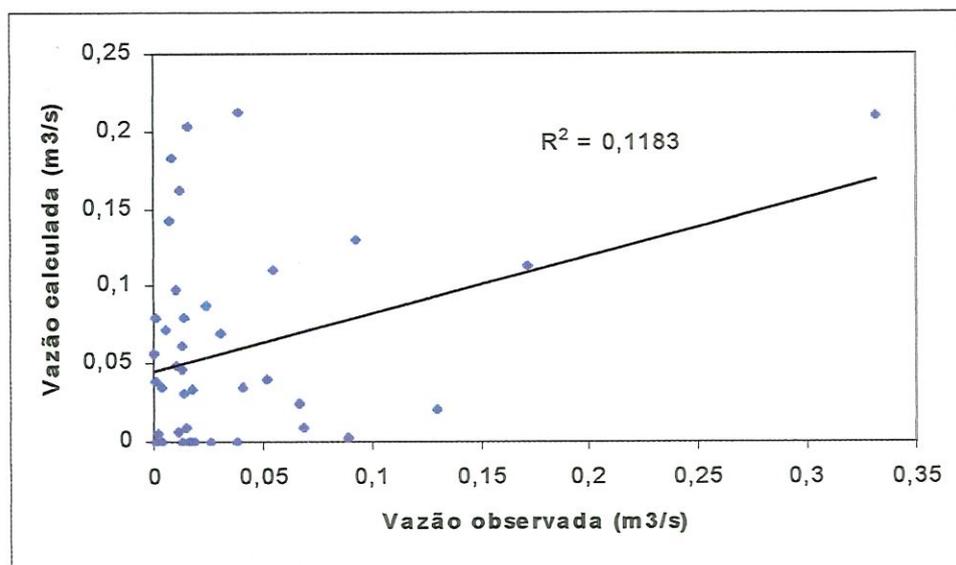


Figura 6.40 Correlação entre vazões calculadas e observadas. Rio Canoas

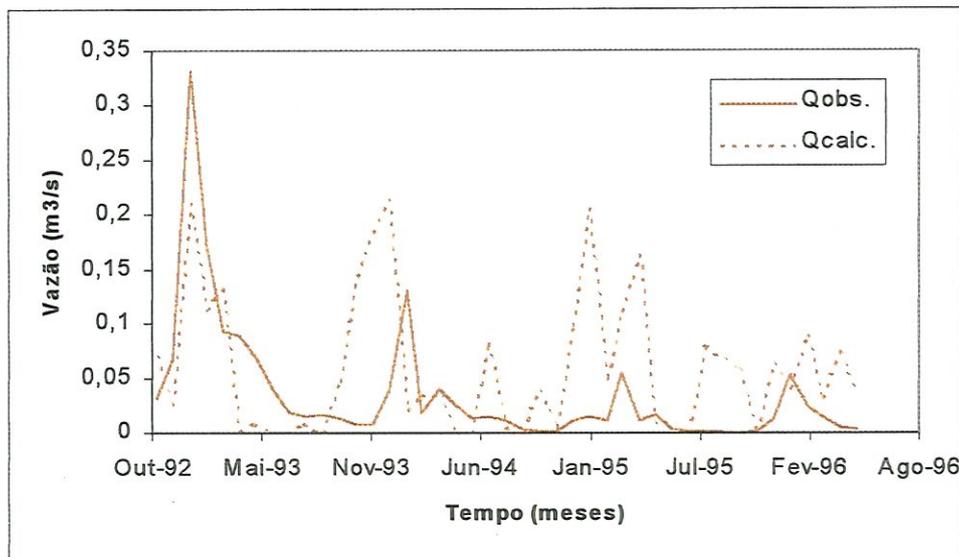


Figura 6.41 Hidrograma de vazões calculadas e observadas. Rio Canoas

Para a sub-bacia do rio Juramento o método apresentou resultados tidos como satisfatórios considerando-se todas as incertezas envolvidas na geração das séries de chuva, obtenção das vazões observadas a partir das curvas-chave e nas equações de correlação chuva/deflúvio. Apesar de o gráfico de correlação entre vazões observadas/calculadas (figura 6.36) apresentar uma grande dispersão dos pontos, o hidrograma (figura 6.37) demonstra um ajuste ligeiramente melhor para vazões máximas, tendendo a subestimar as vazões mínimas em alguns períodos.

A sub-bacia do rio Saracura apresentou um resultado inferior. A presença dos dois picos nas vazões observadas no período das cheias permite levantar a hipótese bastante provável de erro de extrapolação da curva-chave para cotas em níveis mais altos nas épocas de cheia. Para os períodos secos os resultados foram ligeiramente melhores. De uma forma geral, as vazões calculadas em todas as três sub-bacias apresentaram valores inferiores às vazões observadas, especialmente para vazões mínimas, onde a série de vazões calculadas contou com vários valores nulos. A causa mais provável deste desvio é o erro introduzido pelas equações de correlação no cálculo do valor inicial do volume mensal. Como os resíduos apresentaram um bom ajuste, a obtenção de um valor inicial

baixo, somado a um resíduo negativo significativo levou em alguns casos à volumes nulos ou até negativos. Os volumes negativos obtidos foram considerados como nulos.

Para a sub-bacia do rio Canoas os resultados foram considerados insatisfatórios. O gráfico de correlação (figura 6.40) apresentou uma grande dispersão dos pontos não sendo possível a determinação de qualquer correspondência entre as vazões calculadas pelo método. Como a sub-bacia do rio Canoas é pequena as vazões também são reduzidas e sua medição está sujeita à maior incerteza. A determinação da curva chave para a seção no rio Canoas também contou com reduzido número de pontos de medição cota/descarga o que tende a aumentar os erros em sua extrapolação.

Outro fator importante a ser considerado com relação ao tamanho das sub-bacias é o tempo de concentração. Em todas as sub-bacias os tempos de concentração estimados⁶ foram significativamente inferiores ao intervalo de 24 horas entre as medições de chuva, dificultando a correlação entre os eventos de chuva captados pelos pluviômetros e as vazões correspondentes medidas nas leituras das réguas linimétricas. Apesar da utilização de um intervalo de tempo mensal atenuar esta distorção, ainda há a possibilidade de que picos de cheia não sejam captados pelas réguas devido ao curto intervalo de tempo com que alcançam a seção principal.

Curvas de permanência

As séries de vazões geradas para cada mês foram ordenadas para cálculo das freqüências com que cada valor era igualado ou superado e disposição dos resultados em curvas de permanência. Foram

⁶ Os tempos de concentração foram estimados considerando-se um escoamento preponderante na calha principal de velocidade igual a 1,0 m/s e dividindo-se o comprimento total da calha por esta velocidade. Foi obtido o tempo de 9,5 horas para a sub-bacia do rio Juramento, 6,6 horas para a sub-

determinadas doze curvas (uma para cada mês) para cada uma das sub-bacias estudadas. As curvas são apresentadas nas figuras 6.42 a 6.77

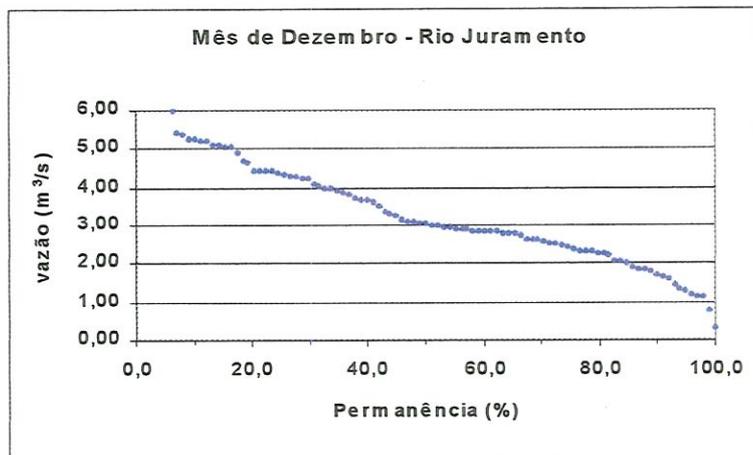


Figura 6.42 Curva de Permanência para vazões médias do mês de dezembro. Rio Juramento

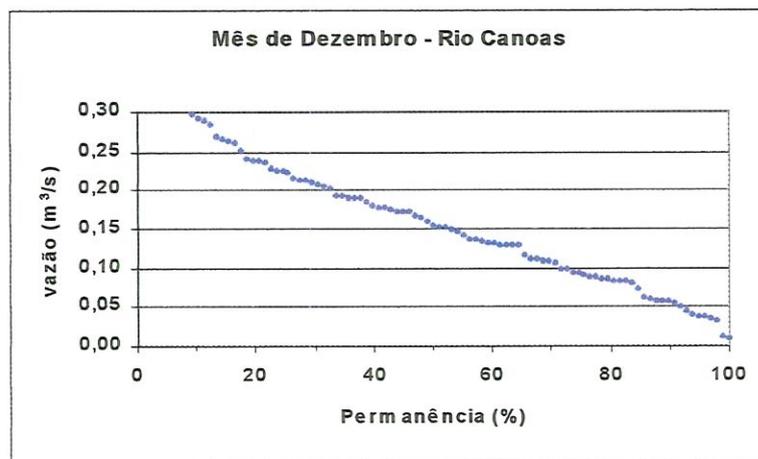


Figura 6.43 Curva de Permanência para vazões médias do mês de dezembro. Rio Canoas.

bacia do rio Saracura e 3,6 horas para a sub-bacia do rio Canoas. Estes valores são aproximados e serviram apenas para comparação com o intervalo de tempo usado nas medições de chuva (24 horas).

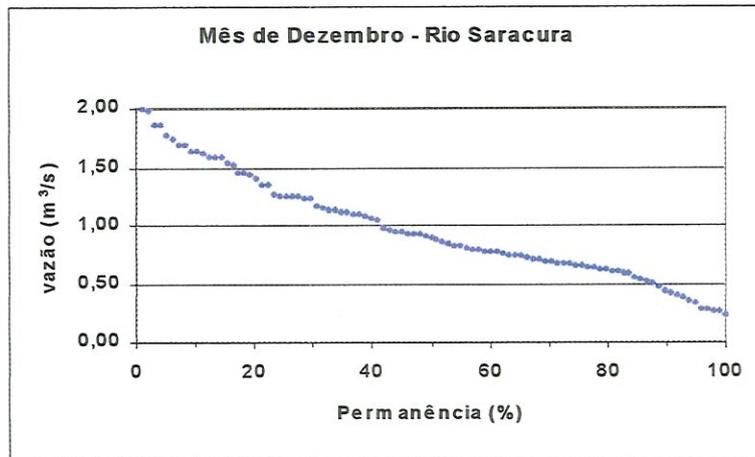


Figura 6.44 Curva de Permanência para vazões médias do mês de dezembro. Rio Saracura.

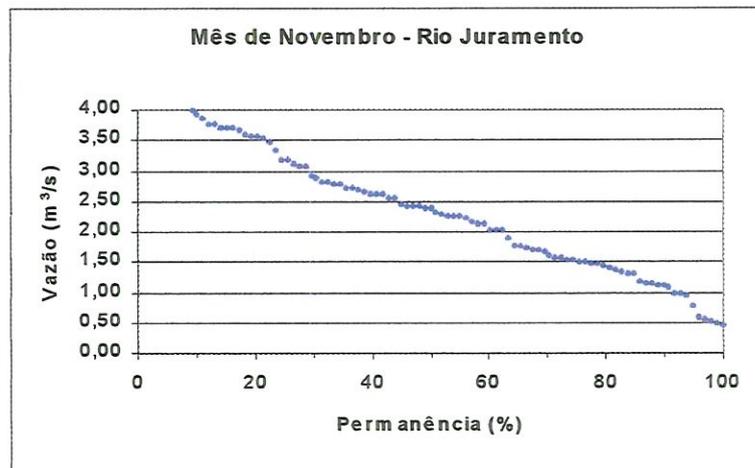


Figura 6.45 Curva de Permanência para vazões médias do mês de novembro. Rio Juramento.

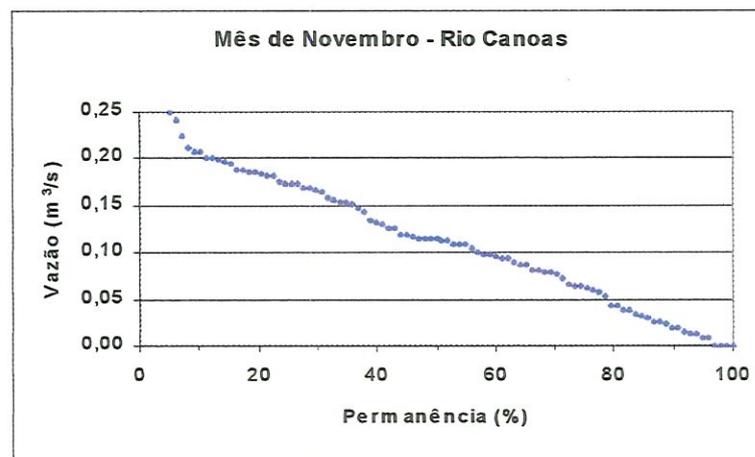


Figura 6.46 Curva de Permanência para vazões médias do mês de novembro. Rio Canoas.

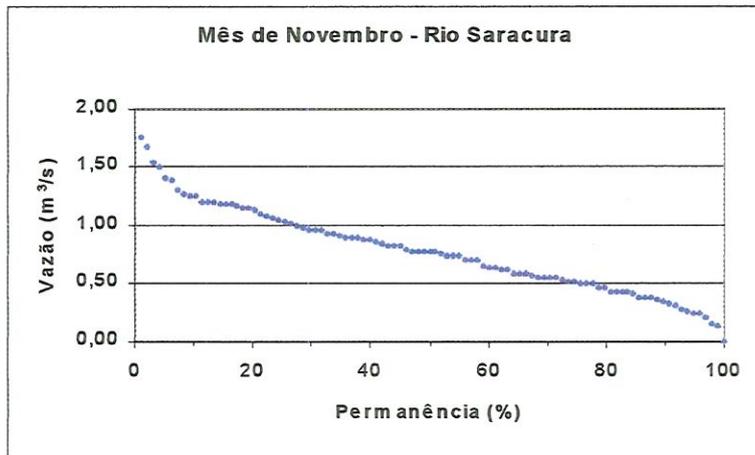


Figura 6.47 Curva de Permanência para vazões médias do mês de novembro. Rio Saracura.

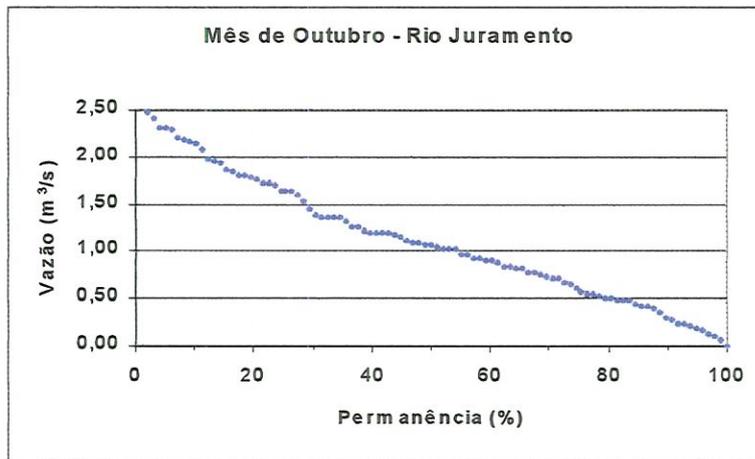


Figura 6.48 Curva de Permanência para vazões médias do mês de outubro. Rio Juramento.

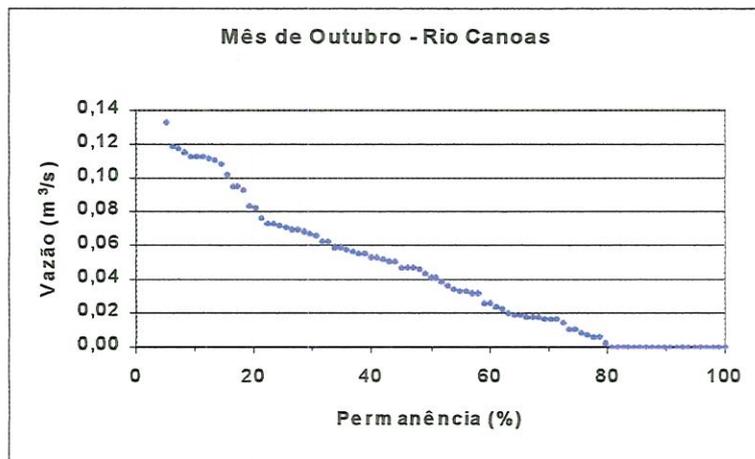


Figura 6.49 Curva de Permanência para vazões médias do mês de outubro. Rio Canoas.

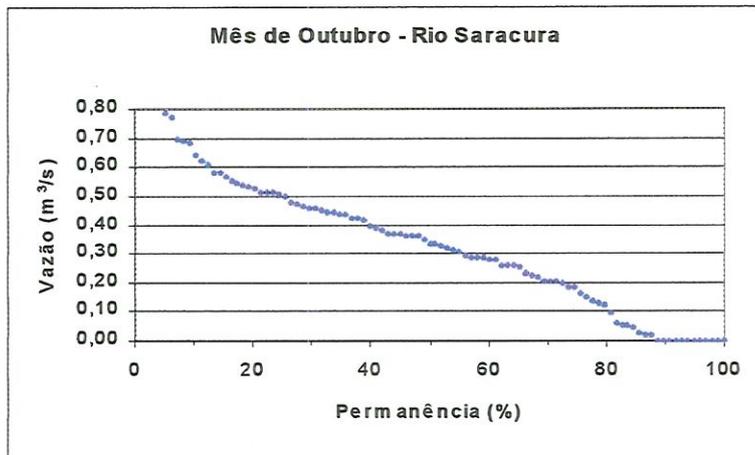


Figura 6.50 Curva de Permanência para vazões médias do mês de outubro. Rio Saracura.



Figura 6.51 Curva de Permanência para vazões médias do mês de setembro. Rio Juramento.

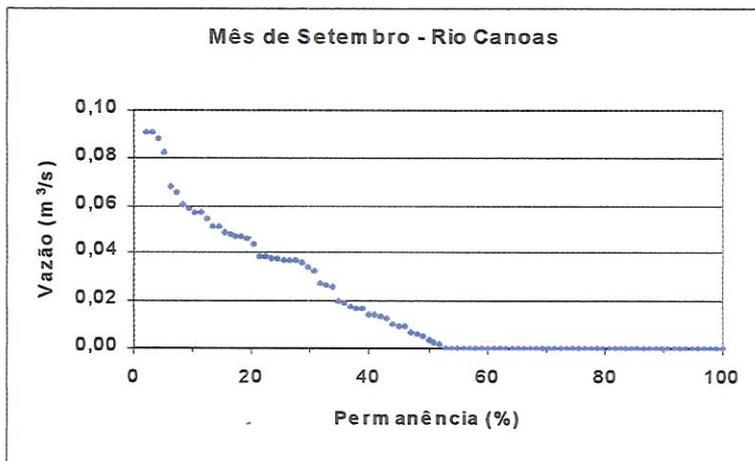


Figura 6.52 Curva de Permanência para vazões médias do mês de setembro. Rio Canoas.

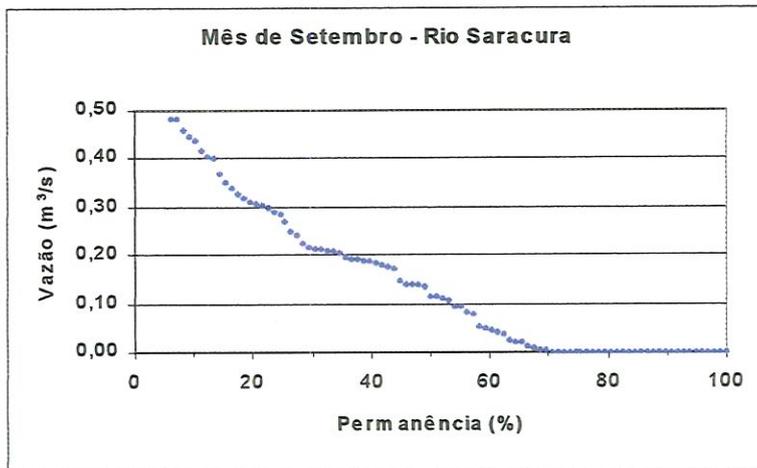


Figura 6.53 Curva de Permanência para vazões médias do mês de setembro. Rio Saracura.

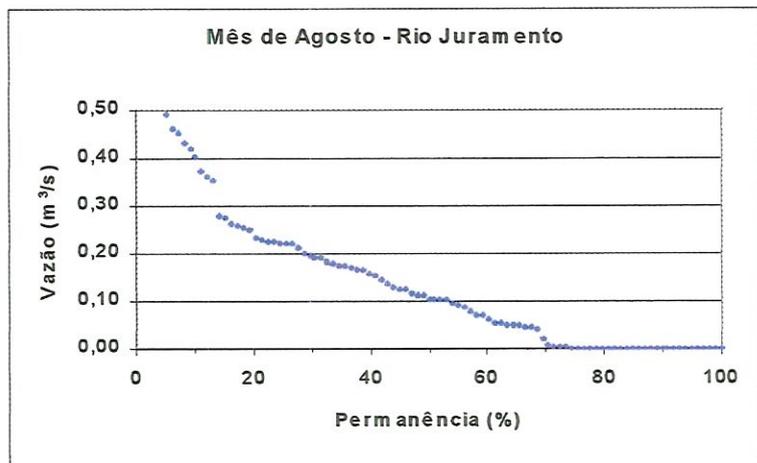


Figura 6.54 Curva de Permanência para vazões médias do mês de agosto. Rio Juramento.

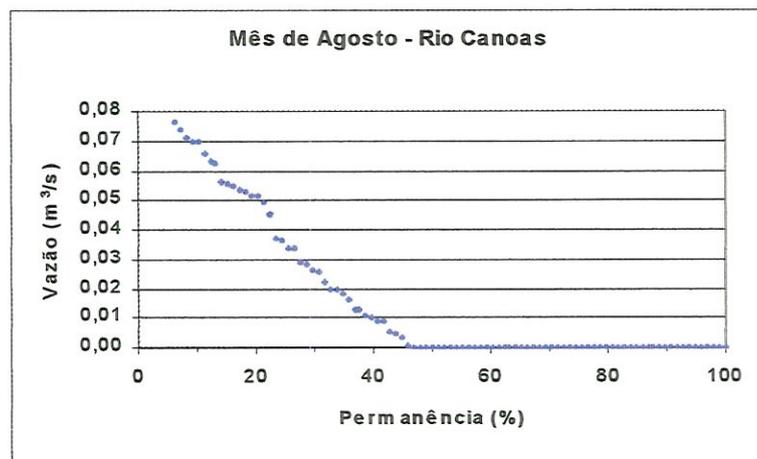


Figura 6.55 Curva de Permanência para vazões médias do mês de agosto. Rio Canoas.

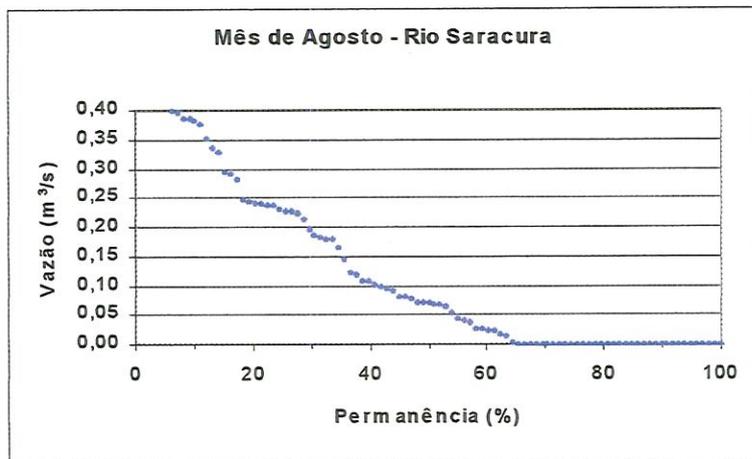


Figura 6.56 Curva de Permanência para vazões médias do mês de agosto. Rio Saracura.

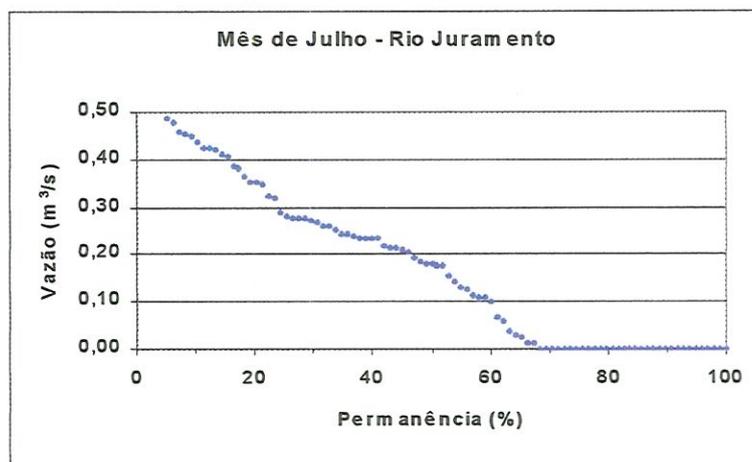


Figura 6.57 Curva de Permanência para vazões médias do mês de julho. Rio Juramento.

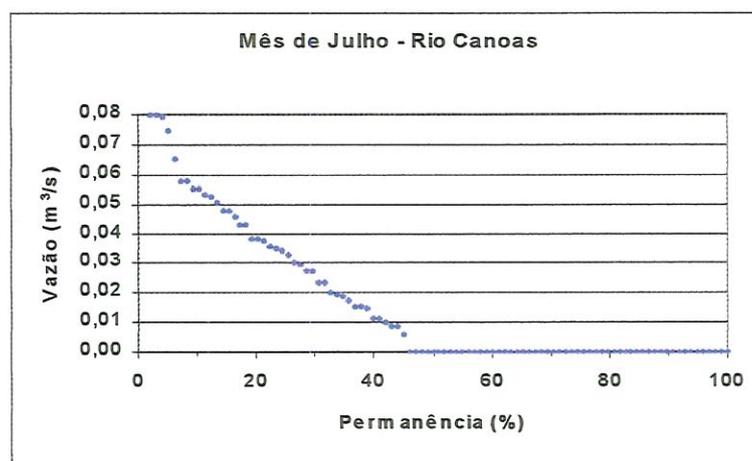


Figura 6.58 Curva de Permanência para vazões médias do mês de julho. Rio Canoas.

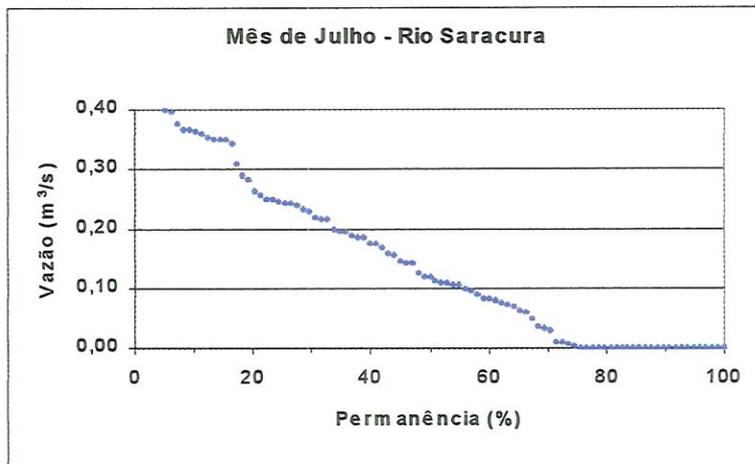


Figura 6.59 Curva de Permanência para vazões médias do mês de julho. Rio Saracura.

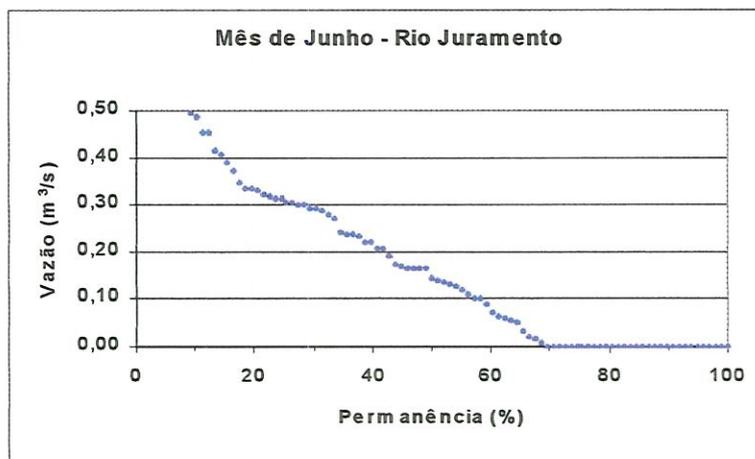


Figura 6.60 Curva de Permanência para vazões médias do mês de junho. Rio Juramento.

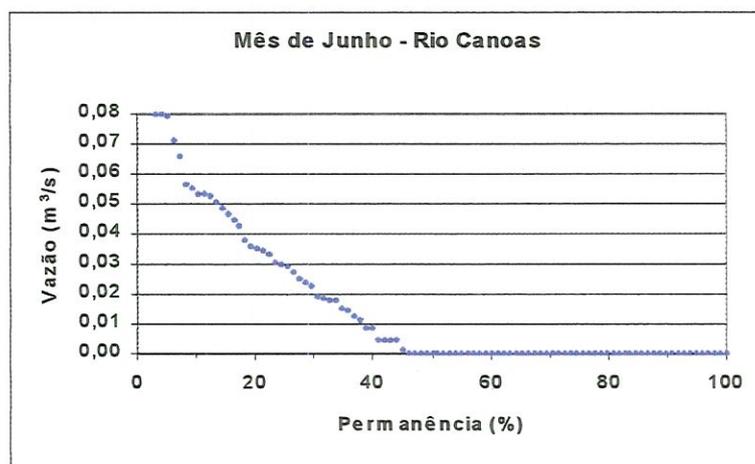


Figura 6.61 Curva de Permanência para vazões médias do mês de junho. Rio Canoas.



Figura 6.62 Curva de Permanência para vazões médias do mês de junho. Rio Saracura.

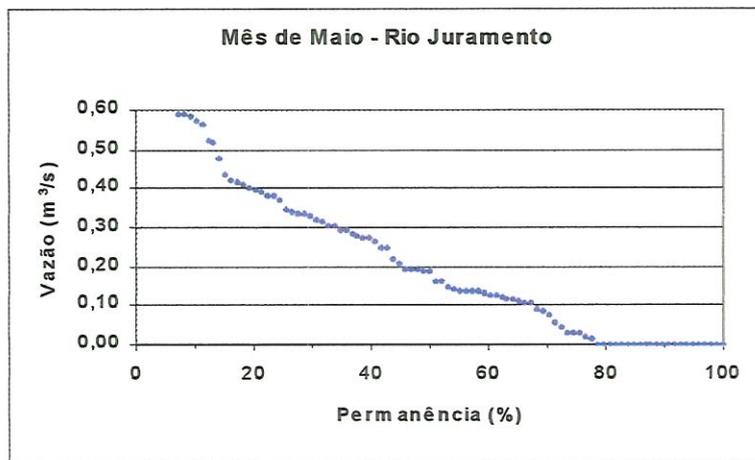


Figura 6.63 Curva de Permanência para vazões médias do mês de maio. Rio Juramento.

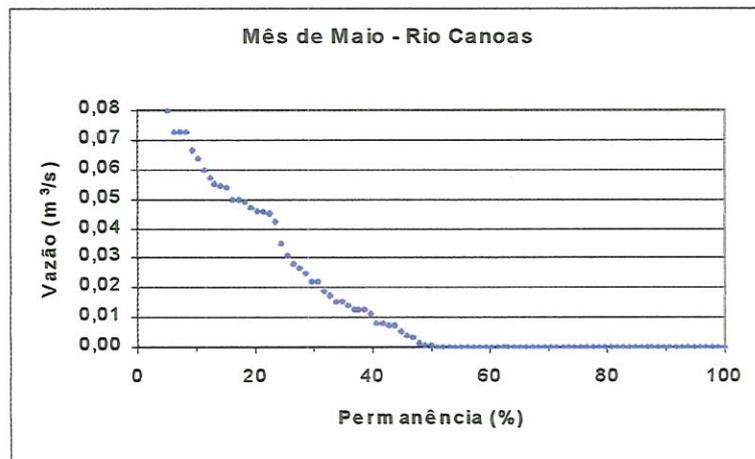


Figura 6.64 Curva de Permanência para vazões médias do mês de maio. Rio Canoas.

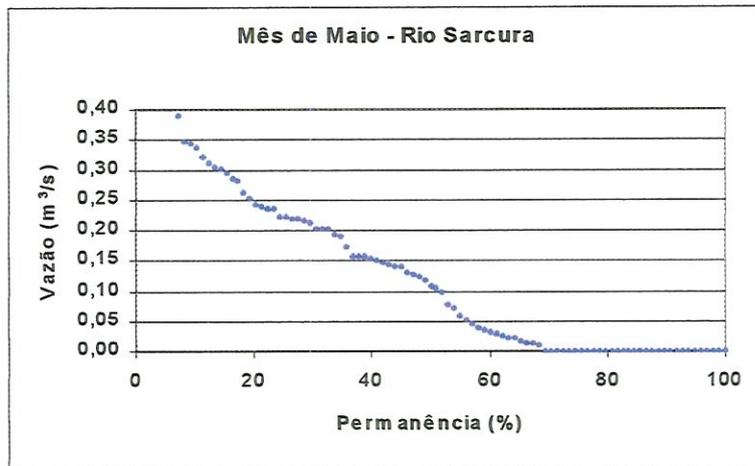


Figura 6.65 Curva de Permanência para vazões médias do mês de maio . Rio Saracura.

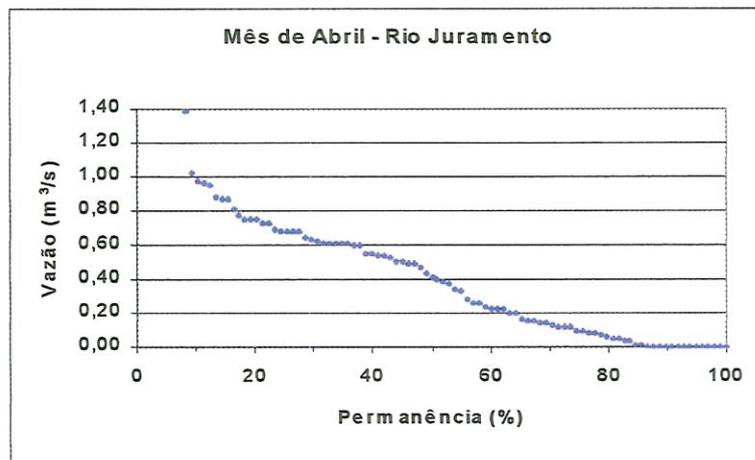


Figura 6.66 Curva de Permanência para vazões médias do mês de abril. Rio Juramento.

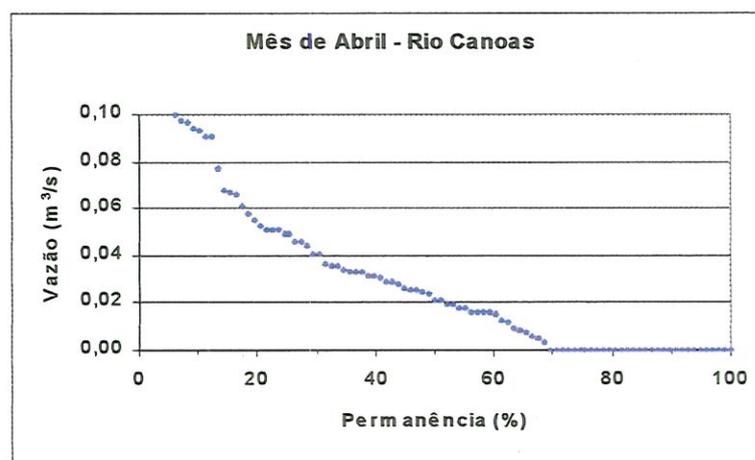


Figura 6.67 Curva de Permanência para vazões médias do mês de abril. Rio Canoas.

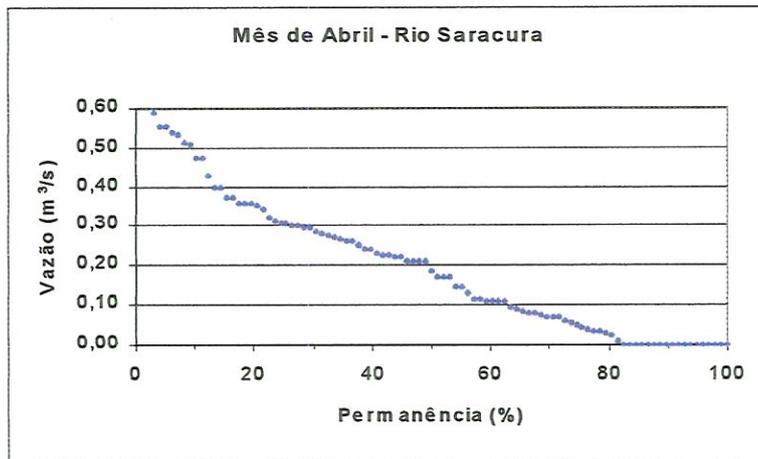


Figura 6.68 Curva de Permanência para vazões médias do mês de abril. Rio Saracura.

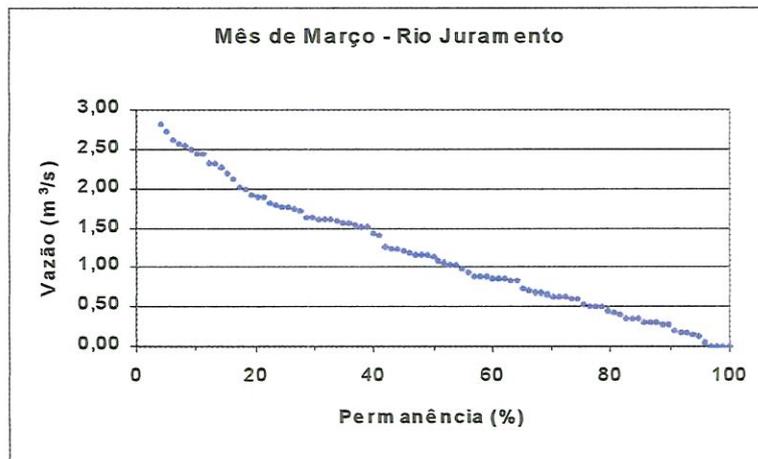


Figura 6.69 Curva de Permanência para vazões médias do mês de março. Rio Juramento.

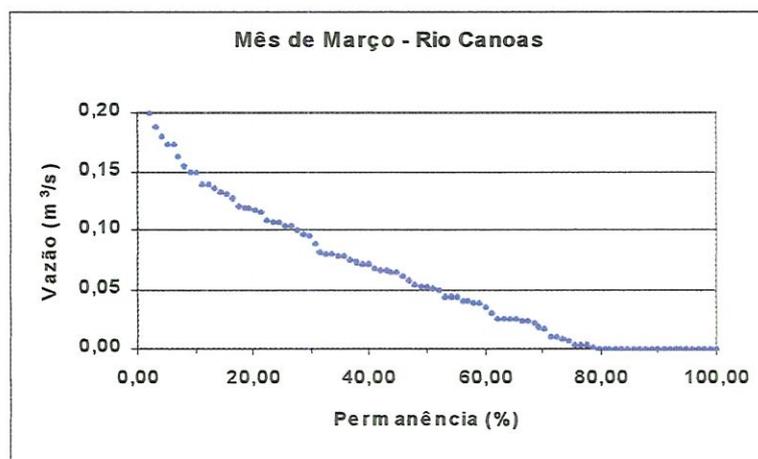


Figura 6.70 Curva de Permanência para vazões médias do mês de março. Rio Canoas.

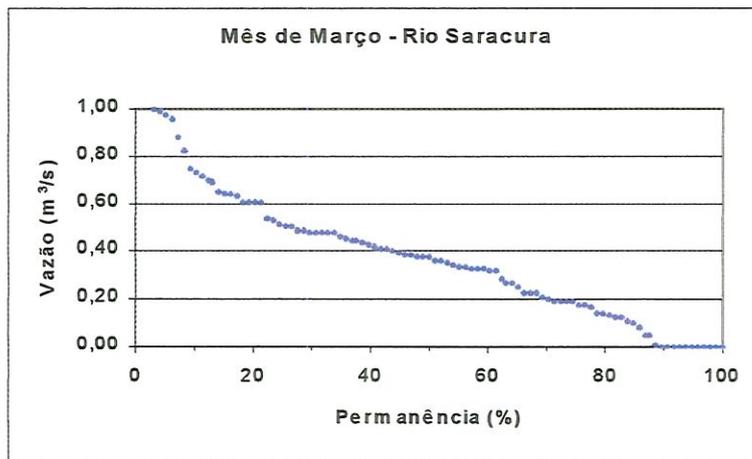


Figura 6.71 Curva de Permanência para vazões médias do mês de março. Rio Saracura.

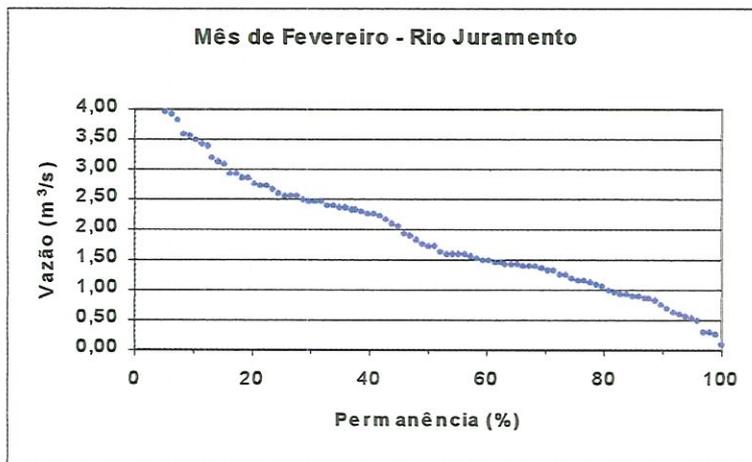


Figura 6.72 Curva de Permanência para vazões médias do mês de fevereiro. Rio Juramento.

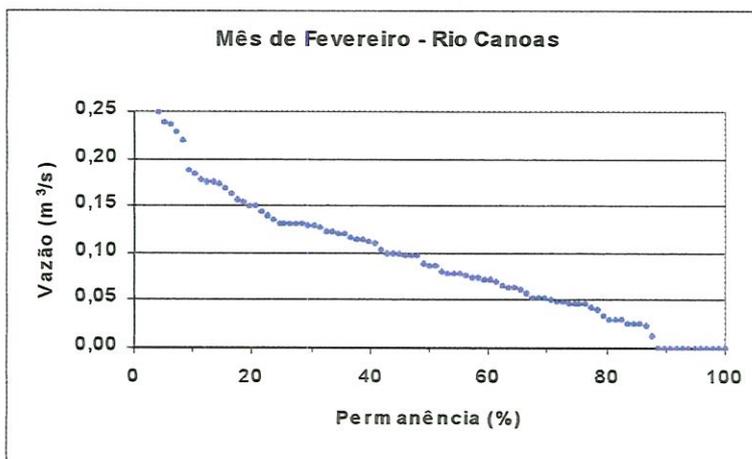


Figura 6.73 Curva de Permanência para vazões médias do mês de fevereiro. Rio Canoas.

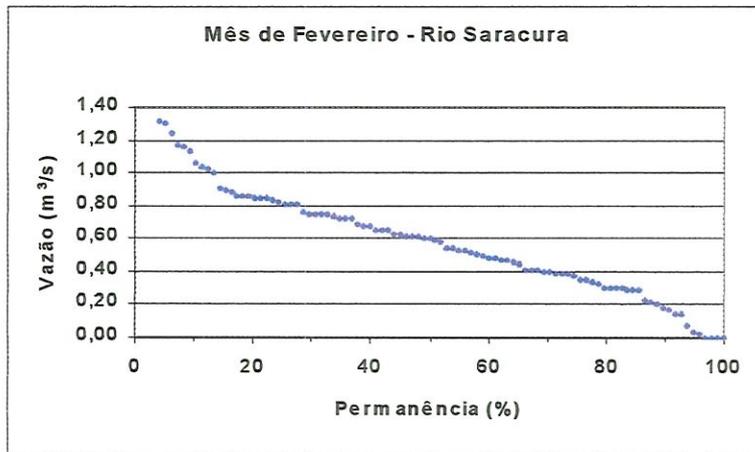


Figura 6.74 Curva de Permanência para vazões médias do mês de fevereiro. Rio Saracura.

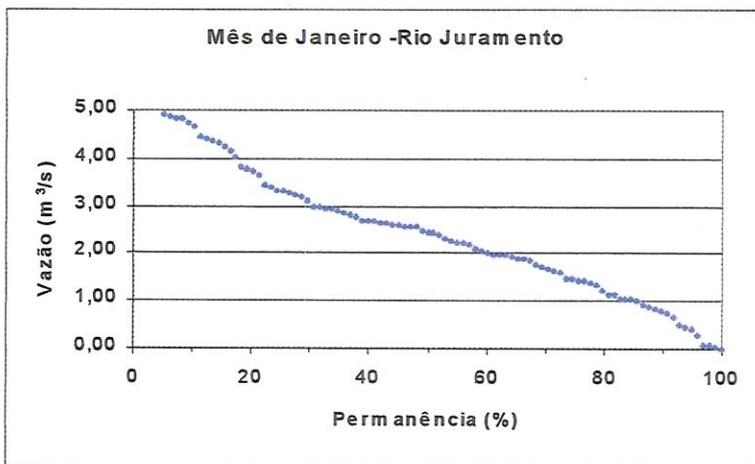


Figura 6.75 Curva de Permanência para vazões médias do mês de janeiro. Rio Juramento.

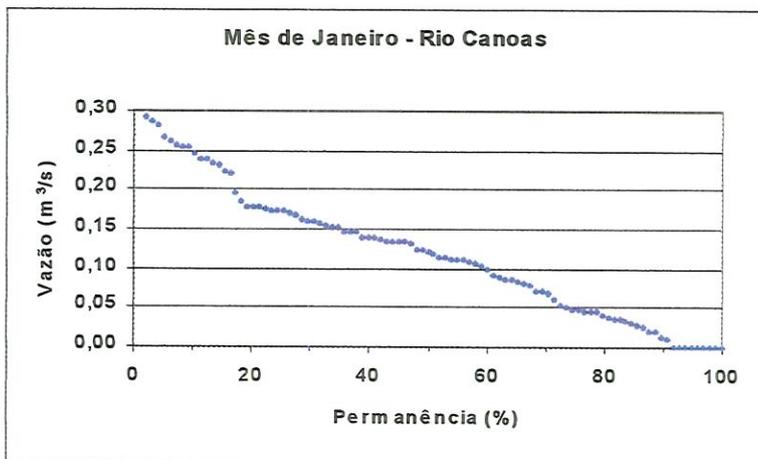


Figura 6.76 Curva de Permanência para vazões médias do mês de janeiro. Rio Canoas.

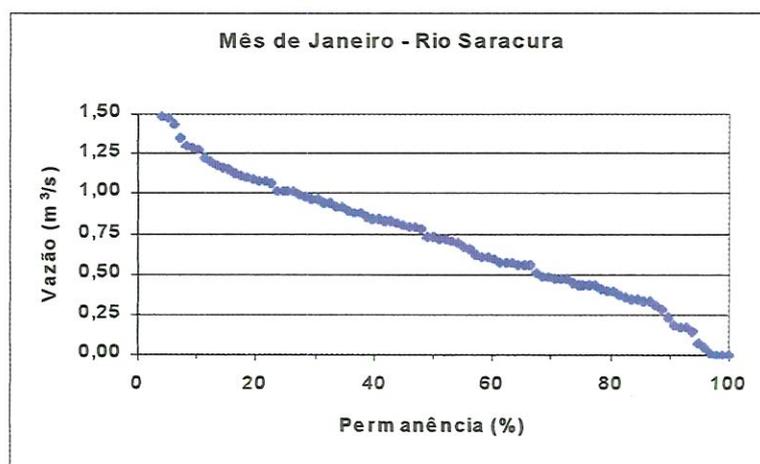


Figura 6.77 Curva de Permanência para vazões médias do mês de janeiro. Rio Saracura.

Tomando-se como referência LANNA et al (1997), foi feita uma análise considerando-se garantias de suprimento de 70%, 80% e 90%. Neste trabalho a probabilidade de uma vazão ser igualada ou superada (permanência) foi adotada como sendo a garantia de atendimento ou suprimento daquela vazão.

Como já comentado, os resultados obtidos apresentam uma margem de incerteza significativa e permitem, sob uma análise mais rigorosa, que se tenha apenas uma idéia da ordem de grandeza dos valores. O intervalo mais indicado para o estudo das permanências é o diário (LANNA 1993), entretanto a baixa correlação entre chuva e deflúvio nas sub-bacias não permitiu a análise neste nível de detalhamento.

O número de vazões nulas presentes na série calculada foi considerado alto. As curvas de permanência para o rio Canoas chegam a apresentar mais de 50% das vazões nulas nos meses mais secos, enquanto que no rio Juramento esta proporção chega a 30% e no Saracura 35%.

As vazões correspondentes às garantias de 70%, 80% e 90% foram organizadas na tabela 6.20. Pode-se perceber um período significativo, de março a outubro, onde a vazão total afluente ao reservatório, mesmo ao nível de garantia de 70%, é inferior a 1,0 m³/s. Este cenário potencializa

as situações de conflito uma vez que as atividades de irrigação se iniciam a partir de março, quando cessa o período chuvoso. A vazão média aduzida para a ETA que abastece a cidade de Montes Claros é de 1,1 m³/s (GOMIDE⁷ apud ÉPURA 1997) o que coloca o reservatório sob déficit de água em aproximadamente dez dos doze meses do ano.

Tabela 6.20 Vazões disponíveis e garantias de atendimento

Mês	Vazões médias mensais (m ³ /s)				Total afluyente ao reservatório (m ³ /s)
	Garantia	Juramento	Canoas	Saracura	
Janeiro	70%	1,70	0,07	0,47	2,24
	80%	1,13	0,04	0,40	1,57
	90%	0,76	0,01	0,23	1,00
Fevereiro	70%	1,35	0,05	0,40	1,80
	80%	1,01	0,03	0,30	1,34
	90%	0,75	0,00	0,18	0,93
Março	70%	0,64	0,02	0,20	0,86
	80%	0,44	0,00	0,13	0,57
	90%	0,27	0,00	0,00	0,27
Abril	70%	0,13	0,00	0,07	0,20
	80%	0,05	0,00	0,02	0,07
	90%	0,00	0,00	0,00	0,00
Maio	70%	0,08	0,00	0,00	0,08
	80%	0,00	0,00	0,00	0,00
	90%	0,00	0,00	0,00	0,00
Junho	70%	0,00	0,00	0,00	0,00
	80%	0,00	0,00	0,00	0,00
	90%	0,00	0,00	0,00	0,00
Julho	70%	0,00	0,00	0,00	0,00
	80%	0,00	0,00	0,00	0,00
	90%	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	70%	0,01	0,00	0,00	0,01
	80%	0,00	0,00	0,00	0,00
	90%	0,00	0,00	0,00	0,00
Setembro	70%	0,06	0,00	0,00	0,06
	80%	0,00	0,00	0,00	0,00
	90%	0,00	0,00	0,00	0,00
Outubro	70%	0,71	0,02	0,20	0,93
	80%	0,51	0,00	0,10	0,61
	90%	0,30	0,00	0,00	0,30
Novembro	70%	1,61	0,08	0,54	2,23
	80%	1,43	0,04	0,43	1,90
	90%	1,10	0,02	0,35	1,47
Dezembro	70%	2,58	0,11	0,70	3,39
	80%	2,26	0,08	0,61	2,95
	90%	1,71	0,06	0,42	2,19

⁷ GOMIDE, L. Proteção do reservatório de Juramento. s/d . apud ÉPURA (1997) Proposta de Criação de Unidade de Conservação no Município de Juramento.

Utilizando as informações da tabela 6.20, pode-se realizar as outorgas sobre o montante disponível obedecendo a uma hierarquia de vazões prioritárias. Em cada intervalo de tempo a demanda com maior prioridade é atendida sendo a vazão resultante usada para suprir as demais demandas. As vazões com menor prioridade recebem, desta forma, menores garantias de atendimento. O processo continua enquanto houver água disponível.

Este critério de outorga, apresentado em LANNA et al (1997) como critério da vazão excedente aos usos prioritários, é mais flexível que o critério normalmente utilizado da vazão referencial⁸ uma vez que a vazão disponível para outorga não é fixa.

No caso da bacia em estudo pode-se estabelecer uma hierarquia de prioridades com a vazão ecológica em primeiro lugar, seguida de abastecimento humano em segundo e os usos industriais e agrícolas com a mesma prioridade em terceiro. Neste ponto é importante que haja uma distinção entre abastecimento urbano e abastecimento humano propriamente dito caso contrário pode-se alterar a hierarquia de prioridades e introduzir conflitos e distorções nas economias envolvidas. Como a bacia do rio Juramento é responsável pelo abastecimento de um município vizinho a proporção destas distorções e conflitos tende a se agravar.

Uma estimativa do potencial de conflito entre usuários nas sub-bacias com respeito à demandas para uso agrícola pode ser realizada utilizando-se as informações sobre aptidão agrícola (tabela 6.11). e as disponibilidades de água avaliadas (tabela 6.20). Para efeito de comparação, a demanda média mensal de água para irrigação no projeto Jaíba⁹, que é uma região próxima e semelhante do ponto de vista climático à da área contemplada por este trabalho, foi avaliada por

⁸ Neste critério a outorga é feita sobre uma vazão de referência que pode ser relacionada a uma situação crítica de abastecimento. Normalmente adota-se a média das vazões de 7 dias consecutivos de estiagem com 10 anos de período de retorno ou $Q_{7,10}$ (LANNA 1997)

CAMPANA e RODRIGUES (1998) em 1200 m³/ha, o que resultaria, se aplicada às sub-bacias estudadas, em volumes demandados potenciais de 0.75 hm³ para a sub-bacia do rio Canos, 0.51 hm³ no Saracura e 1.43 hm³ na sub-bacia do rio Juramento¹⁰. Uma comparação é feita na tabela 6.21.

Tabela 6.1 Comparação entre demandas potenciais e volume disponível total

Sub-bacia	Demanda potencial considerada hm ³	Volume total afluyente no mês de fevereiro com 90% de garantia Hm ³
Canoas	0.75	-
Saracura	0.51	0.45
Juramento	1.43	1.88

No caso da sub-bacia do rio Canoas, o método de avaliação da disponibilidade não foi preciso o suficiente, dado que as vazões são reduzidas, e produziu um valor nulo. Devido a isso, optou-se por não incluir a sub-bacia do rio Canoas nesta análise

Apesar de extremamente desfavorável, este cenário ainda possui como agravante a demanda para abastecimento da cidade de Montes Claros (1.1 m³/s aduzidos do reservatório) e o fato de as áreas de aptidão para lavoura, nas quais se baseou a estimativa das demandas potenciais, serem determinadas para o nível de manejo *menos desenvolvido* ou seja, qualquer técnica de manejo aplicada a partir deste ponto irá aumentar a quantidade de áreas com aptidão para lavoura e conseqüentemente a demanda potencial pela água

⁹ O Projeto de Irrigação Jaíba localiza-se ao norte do estado de Minas Gerais e contempla a irrigação de 100.000 hectares com o objetivo de promover um desenvolvimento agrícola intensivo na região

¹⁰ Estes volumes foram estimados multiplicando-se as áreas com aptidão para lavoura ao nível de manejo A disponíveis (tabela 6.11) pela demanda de 1200 m³/ha.

6.2.4. Comentários finais

Neste trabalho optou-se pela determinação dos montantes disponíveis mensais para efeito de uma melhor avaliação no comportamento das variáveis hidrológicas estudadas. Entretanto, todos os resultados apontam para semelhanças significativas entre alguns meses de modo que seu agrupamento em períodos maiores não apresentaria nenhuma restrição do ponto de vista da confiabilidade. Os meses de novembro a janeiro apresentaram parâmetros da função Gama e probabilidades condicionais de transição entre dias secos e chuvosos bem próximas, além de outras variáveis como médias mensais e diárias de precipitação e número médio de dias chuvosos, caracterizando um período chuvoso bem definido. Seguindo o mesmo critério, poderiam ser agrupados os meses de maio, junho, julho e agosto que correspondem ao período seco. Os demais meses, março, abril, setembro e outubro constituem períodos de transição cujas características em comum variam conforme a variável hidrológica analisada. Neste caso o seu agrupamento vai depender da precisão que se deseja na previsão do comportamento hidrológico da bacia.

7. CONCLUSÕES

O método de avaliação da aptidão agrícola desenvolvido pela EMBRAPA se mostrou bastante flexível e sua adaptação ao sistema de informações geográficas sem a necessidade de maiores alterações foi uma consequência direta disso. A utilização dos fatores de limitação como atributos de cada terra pelo método é a mesma maneira com que o SIG manipula informações, associando cada *pixel* a um valor numérico representante de um determinado atributo. O banco de dados permitiu a expansão desta capacidade de associação, acrescentando vários atributos a cada *pixel* de forma indireta¹.

O mapa de aptidão agrícola gerado, analisado em conjunto com os mapas nos quais os fatores limitantes são apresentados separadamente permitiu não apenas identificar a aptidão das terras mas também que se conhecesse o fator limitante preponderante responsável pelo cenário de aptidão produzido. Esta informação é de importância significativa uma vez que por meio dela pode-se determinar as técnicas de manejo mais eficazes para cada situação resultando em um emprego de recursos mais racional.

¹ O termo indireta é utilizada porque no banco de dados cada *pixel* possui apenas um atributo, que é o valor numérico que identifica a área tipo à qual pertence, entretanto o banco de dados associa a este identificador vários valores numéricos que representam os demais atributos.

A expressiva influência do fator suscetibilidade à erosão na produção do cenário de aptidão agrícola chama a atenção para a importância do manejo adequado do solo e confirma a intensidade com que os problemas relacionados à erosão afetam os demais sistemas ambientais presentes, notadamente os recursos hídricos. Desta forma, o planejamento do uso e ocupação do solo, orientado por informações acerca capacidade de uso do mesmo na forma de mapas de aptidão agrícola permitirá o controle destes problemas e a manutenção de um sistema produtivo sustentável a médio e longo prazos.

O nível de manejo empregado permitiu a avaliação da capacidade de uso das terras em seu estado natural sem o emprego de técnicas de manejo. Embora esta consideração leve a um resultado mais fiel acerca das fragilidades do meio, recomenda-se que seja feita uma avaliação das aptidões agrícolas nos demais níveis de manejo como forma de comparação de cenários tecnologicamente diferentes e seus impactos no meio. Um cenário de aptidão baseado no nível de manejo C, o mais desenvolvido, permitirá prever um maior potencial produtivo para a região e ao mesmo tempo uma maior demanda global² pela água. Embora o objetivo comum seja sempre o aumento da produção por meio do desenvolvimento tecnológico, é preciso que se esteja preparado para estas maiores demandas.

No tocante ao estudo da disponibilidade de água, partiu-se de uma série de dados de chuva representativa que foi modelada e estendida para um período de 100 anos e correlacionada com as vazões observadas. O resultado foi a geração de uma série de vazões longa o suficiente para permitir uma boa representação do horizonte de eventos prováveis e conseqüentemente o cálculo da permanência de cada vazão de forma mais

² O emprego de mais tecnologia nos processos produtivos, como por exemplo sistemas de irrigação mais eficientes, tenderá a reduzir a demanda de água marginalmente, resultando em menores consumos por quantidade produzida, entretanto, a inclusão de novas áreas pelo processo produtivo, antes consideradas inaptas, tenderá a aumentar a demanda em termos globais.

confiável. A cadeia de Markov empregada na geração das séries de chuva produziu bons resultados confirmando o comportamento bastante concentrado da chuva na região.

A parte considerada crítica no processo de avaliação das disponibilidades superficiais de água foi a obtenção das séries de vazões observadas por meio das curvas-chave e sua correlação com as séries de precipitação. As limitações presentes nos dados disponíveis (ausência de uma maior discretização temporal, carência de dados para elaboração das curvas-chave e alta variabilidade nas seções de controle de fluviometria) confrontadas com as características das sub-bacias (tamanho reduzido, variabilidades no relevo) introduziram várias incertezas nos resultados que impediram uma análise mais detalhada especialmente no período mais seco onde uma parte das vazões geradas foi nula. Não obstante, estes resultados possibilitam uma avaliação da ordem de grandeza das variáveis analisadas, fato que, dada a simplicidade do método de correlação empregado, permite considerá-lo como satisfatório. Foi possível estimar cenários de conflito potencial pelo uso da água em cada sub-bacia considerando-se a proporção de terras com aptidão para agricultura e a quantidade de água disponível.

Nesse sentido recomenda-se que sejam direcionados esforços para melhoria das informações disponíveis:

- i. Levantamentos pedológicos, cuja escala utilizada de 1:250.000 aponta tão somente a predominância dos solos mais comuns, proporcionando uma acurácia não compatível com a dimensão das bacias estudadas;
- ii. Levantamentos hipsométricos em maiores escalas;
- iii. Sistema de coleta de dados hidrológicos, especialmente na medição das vazões escoadas, uma vez que destes dados depende a precisão das avaliações posteriores e, em última análise, a eficiência de qualquer processo de planejamento do uso da água na bacia.

A análise de aptidão agrícola e disponibilidades de água nas sub-bacias demonstrou diferenças significativas que justificam seu estudo em separado. Este fato aponta para a importância na elaboração de estudos tomando-se as sub-bacias como unidades básicas de análise, muitas vezes requerendo abordagens e soluções distintas.

Os métodos empregados permitiram desta forma, o equacionamento de parte dos problemas relacionados ao uso da água presentes na área de estudo abordando-os de forma integrada em causas diferentes. O planejamento do uso e ocupação do solo segundo princípios sustentáveis irá controlar problemas de erosão e assoreamento de corpos de água, garantindo sua disponibilidade futura além de possibilitar uma previsão mais segura das demandas baseadas no uso planejado. Ao mesmo tempo, a avaliação precisa destas disponibilidades irá assegurar as bases para a elaboração de um sistema de outorgas flexível e confiável.

Como conseqüência, a comunhão destas ações em um processo mais amplo de gestão dos recursos hídricos na bacia irá permitir a minimização dos conflitos existentes e potenciais pelo uso da água e a manutenção da capacidade de suporte do meio como provedor dos recursos necessários ao desenvolvimento.



8. ANEXOS

8.1. Anexo A – Filtros em *Structured Query Language* (SQL), para seleção das áreas conforme a aptidão agrícola

Seleção de áreas com aptidão boa para lavoura – Grupo 1

```
SELECT jdata.*
FROM jdata
WHERE
DFA <=2 and DAA <=4 and EAA <=3 and SEA <=3 and IMC <=5
```

Seleção de áreas com aptidão regular para lavoura – Grupo 2

```
SELECT jdata.*
FROM jdata
WHERE
DFA <=3 and DAA <=5 and EAA <=5 and SEA <=4 and IMC <=6
and
( DFA >2 or DAA >4 or EAA >3 or SEA >3 or IMC >5 )
```

Seleção de áreas com aptidão restrita para lavoura – Grupo 3

```
SELECT jdata.*
FROM jdata
WHERE
DFA <=5 and DAA <=6 and EAA <=7 and SEA <=6 and IMC <=7
and
( DFA >3 or DAA >5 or EAA >5 or SEA >4 or IMC >6 )
```

Seleção de áreas com aptidão boa para pastagem natural – Grupo 5

```
SELECT jdata.*
FROM jdata
WHERE DFA <=6 and DAA <=7 and EAA <=7 and SEA <=7 and IMC
<=7
and ( DFA >5 or DAA >6 or EAA >7 or SEA >6 or IMC >7 )
```

Seleção de áreas com aptidão regular para pastagem natural – Grupo 5

```
SELECT jdata.*
FROM jdata
WHERE DFA <=7 and DAA <=8 and EAA <=8 and SEA <=7
and ( DFA >6 or DAA >7 or EAA >7 or SEA >7 or IMA >7 )
```

Seleção de áreas com aptidão restrita para pastagem natural – Grupo 5

```
SELECT jdata.*  
FROM jdata  
WHERE DAB <=7 and EAB <=4 and IMB <=7  
and ( DFB >7 or DAB >6 or EAB >3 or SEB >7 or IMB >7 )
```

Seleção de áreas com aptidão para preservação de fauna e flora – Grupo 6

```
SELECT jdata.*  
FROM jdata  
WHERE SEA >7
```

8.2 Anexo B – Quadros guia para avaliação da aptidão agrícola

Tabela 10.1 Quadro-guia de avaliação da aptidão agrícola das terras (região de clima tropical semi-árido).

Aptidão agrícola			Graus de limitação das condições agrícolas das terras para os níveis de manejo A, B e C															Tipo de utilização indicado
Grupo	Sub-Grupo	Classe	Deficiência de Fertilidade			Deficiência de água			Excesso de água			Suscetibilidade à erosão			Impedimentos à Mecanização			
			A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
1	1ABC	Boa	N/L	<u>N1</u>	<u>N1</u>	L/M	L/M	L/M	L	<u>L1</u>	<u>N/L1</u>	L	<u>N/L1</u>	<u>N1</u>	M	L/M	N	Lavouras
2	2abc	Regular	L	<u>L1</u>	<u>L2</u>	M	M	M	M	<u>L/M1</u>	<u>L2</u>	L/M	<u>L1</u>	<u>N/L2</u>	M/F	N	L	
3	3(abc)	Restrita	M	<u>L/M1</u>	<u>L/M2</u>	M/F	M/F	M/F	F	<u>M1</u>	<u>M2</u>	M/F	<u>M1</u>	<u>L/N2</u>	F	N/F	M	
4	4P	Boa	M1			M			F			M/F1			M			Pastagem plantada
	4p	Regular	M/F1			M/F			MF			F1			M/F			
	4(p)	Restrita	F1			F			MF			F/MF			F			
5	5S	Boa	M/F1			M			<u>L1</u>			F1			M/F			Silvicultura e/ou
	5s	Regular	F1			M/F			<u>L1</u>			F1			F			
	5(s)	Restrita	MF			F			L/M1			MF			F			
6	5N	Boa	M/F			F			F			F			F			Pastagem Natural
	5n	Regular	F			F/MF			F/MF			F			MF			
	5(n)	Restrita	MF			MF			MF			F			MF			
6	6	Sem aptidão Agrícola	-			-			-			-			-			Preservação da fauna e da flora

Fonte: RAMALHO e BEEK (1994)

NOTAS: Os algarismos sublinhados correspondem aos níveis de viabilidade de melhoramento das condições agrícolas das terras.
 Terras sem aptidão para lavouras em geral, que devido ao excesso de água podem ser indicadas para arroz de inundação.
 No caso de grau forte por suscetibilidade à erosão, o grau de limitação por deficiência de fertilidade não deve ser maior do que ligeiro a moderado para classe restrita – 3 (a).
 A ausência de algarismos sublinhados acompanhando a letra representativa do grau de limitação indica não haver possibilidade de melhoramento naquele nível de manejo.

Grau de limitação: N - nulo
 L - ligeiro
 M - moderado
 F - forte
 / - intermediário
 MF - muito forte

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. (1994). Bases conceituais e papel do conhecimento na previsão de impactos. In: AB'SABER, A.N.; MÜLLER-PLANTEMBERG, C. (orgs.). *Previsão de Impactos*. Edusp, São Paulo, p.35, 36.
- ALVES, C.M.A. (1997). *A ponderação dos fatores ambientais - Com uso de sistemas de informações geográficas - Na localização de atividades econômicas e na cobrança pelo uso da água para irrigação*. SP. São Carlos. 138p. Tese (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ARBHABHIRAMA, A.; ANGEL, S.; BREWSTER, M.R. (1981). Emphasis on Distribution: Strategies for Small Scale Water Resources Development in Thailand. *Water Resources Bulletin of American Water Resources Association*, v.17, n.3, p.483-493.
- ASSAD, M.L.L.; HAMADA, E.; CAVALIERI, A. (1998). *Sistema de Informações Geográficas na Avaliação de Terras para Agricultura*. In: ASSAD, E.D.; Sano, E.E. (orgs) *Sistema de Informações Geográficas Aplicações na Agricultura*. 2ª Edição. Brasília. EMBRAPA.
- BARTH, F.T. ; POMPEU, C.T. (1987). *Modelos para gerenciamento de recursos hídricos*. Coleção ABRH de recursos hídricos. Vol. 1, Nobel/ABRH

- BERNARDO, S. (1995) Impacto ambiental da irrigação no Brasil. *A água em revista*. ano III, n.5, ago., p.30-35.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (1993). *Conservação do Solo*. 3.ed. São Paulo, Ícone. (Coleção Brasil Agrícola).
- BEZERRA, J.R.C. et al. (1996). Influência da velocidade do vento na distribuição de água em aspersores. In: XI CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM.
- BISWAS, A.K. (1980). Water: A perspective on Global Issues and Politics. In: BISWAS et al. (orgs.). *Water management for arid lands in developing countries - (Water development, supply and management; vol 13)*. Pergamond Press, England, p.10-27.
- BISWAS, A.K. (1993). Management of international waters: Problems and perspectives. *International Journal of Water Resources Resources Development*. v.9, n.2, p.168.
- CAVALCANTI, C. (1997). Condicionantes biofísicos da economia e suas implicações quanto à noção do desenvolvimento sustentável. In: ROMEIRO et al. (orgs.). *Economia do meio ambiente*. Unicamp, São Paulo. p.61-82.
- CHEVALLIER, P. (1993). Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI, C.E.M. (org.) *Hidrologia, Ciência e Aplicação*. Editora da Universidade/UFRGS. Porto Alegre. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4)
- CONEJO (1980). *Boletim técnico DAEE*. 3(2). p.81-224 mai/ago.

- CUNHA, G.M. (1998). Bacia do rio Itapemirim: O solo, sua utilização e o risco para o meio ambiente. *A Água em Revista*. ano VI, n.10, p.50-63, jun.
- CURI, N.; DO CARMO, D.N.; BAHIA, V.G.; FERREIRA, M.M.; SANTANA, D.P. (1992). Problemas relativos ao uso, manejo e conservação do solo em Minas Gerais. *Informe Agropecuário*, v.16, n.176, p.5-16.
- DE LIMA, E.R.V.; KUX, H.J.H.; SAUSEN, T.M. (1992). Sistemas de Informações Geográficas e técnicas de sensoriamento remoto na elaboração de mapa de riscos de erosão no sertão da Paraíba. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. n.16, p.257-263.
- ECOPLAN - Engenharia Ltda. (1994). Memorial descritivo e peças gráficas. In: *Plano de proteção e preservação. Bacia do rio Juramento. Montes Claros - MG*. v.1
- ELGABALY, M.M. (1980). Problems of soils and salinity. In: BISWAS et al. (orgs.). *Water management for arid lands in developing countries - (Water development, supply and management; vol 13)*. Pergamond Press, England, p.47-57.
- ÉPURA, Consultoria e Projeto. (1997). *Proposta de criação de unidade de conservação no município de Juramento*. Prefeitura Municipal de Juramento.

- FORMAGGIO, A.R.; ALVES, D.S.; EPIPHANIO, J.C.N. (1992). Sistemas de Informações Geográficas na Obtenção de Mapas de aptidão Agrícola e de Taxa DE Adequação de Uso das Terras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. n.16, p.249-256
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC (1981). *2º Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro: Recursos Naturais*. Série de Publicações Técnicas, v.2. Belo Horizonte
- GARRIDO, R.J.S. (1996). A Importância da Cobrança pelo Uso da água como Instrumento de Gestão. /Apresentado para debate no Seminário Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos da ABES – Seção Ceará, Fortaleza 1996/
- GENOVEZ, A.M. (1987). *Avaliação da regularização de vazões em pequenas bacias com dados esparsos*. São Carlos. 169p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- GOLUBEV, G.N. (1993). Sustainable water development: Implications for the future. *International Journal of Water Resources Resources Development*. v.9, n.2, p.127-153.
- GONÇALVES, M.A. (1996). Novos paradigmas da administração: Uma avaliação de conceitos e de seus impactos nas organizações. *Cadernos da Fundap*. n.20, mai/ago.
- GRIGG, N.S. (1985). *Water Resources Planning*. Mc Graw Hill

- GRIGG, N.S. (1998). *A New Paradigm for Water Management*. Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins.
- HELM, D.; PEARCE, D. (1991). Economic Policy towards the Environment: An Overview. In: HELM, D. (org.). *Economic Policy towards the Environment*. Blackwell Publishers, Oxford. p.1-25.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE (1996). *Landsat*. <http://www.dgi.inpe.br/html/landsat.htm>
- JACOBI, P.R. (1996). A escassez da água nos grandes centros urbanos. *Debates sócio ambientais*. Ano I, n.3 fev/mar/abr/mai. p.2.
- KRÜGER, C.M.; KAVISKI, E.; MÜLLER, I.I. (1998). Modelagem estatística da precipitação diária no estado do Paraná. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v.3, n.2 abr/jun, p.87-94.
- MÜLLER, L.A.; VICTORIA, R.L.; KRUSCHE, A.V. (1998). Trends in Hydrological Parameters of a Southern Brazilian Watershed and its Relation to Human Induced Changes. *Water Resources Management*. n.12, p.295-311.
- LANDERS, J.N. (1996). O plantio direto na agricultura: O caso do cerrado. In: LOPES, I.V. et al (orgs.). *Gestão ambiental no Brasil - Experiência e sucesso*. Editora Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, p.3-33.

- LANNA, A.E. (1993). Elementos de estatística e probabilidades. In: TUCCI, C.E.M. (org.) *Hidrologia, Ciência e Aplicação*. Editora da Universidade/UFRGS. Porto Alegre. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4)
- LANNA, A.E. (1997). Modelos de gerenciamento das águas. *A água em revista*. ano V, n.8, mar., p.24-33.
- LANNA, A.E.; PEREIRA, J.S.; SILVA, L.M. (1997). Análise de critérios de outorga de direitos de uso da água. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Vitória. *Anais*. v.1, p.145-152.
- LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI, JR.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. (1983). *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- LIMA, P.M.P.; BAHIA, V.G.; CURI, N.; SILVA, M.L.N. (1992). Princípios de Erodibilidade do solo. *Informe Agropecuário*. v.16, n.176, p.38-43.
- LIVINGSTON, M.L. (1995) Designing Water Institutions: Market Failures and Institutional Response. *Water Resources Management*. n.9, p.203-220.
- LOUKAS, A e QUICK, M.C. (1993). Rain Distribution in a Mountainous Watershed. *Nordic Hydrology*. n.24, p.225-242.

- LUNDQVIST, J. et al. (1985). River basin strategy for coordinated land and water conservation: Synthesis and conclusions. In: LUNDQVIST, J.; LOHM, U.; FALKENMARK, M. (orgs.). *Strategies for river basin development*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 346p.
- MAGYAR, A.N.; MIYASHITA, H.; ASSIS, R.B. (1996). Modelo paulista de gestão das águas: Momento atual e desafios. *Cadernos Fundap*. n.20, mai/ago.
- MARQUES, J.Q.A. (1971). *Manual Brasileiro para Levantamento da Capacidade de Uso da Terra*. 3 aproximação. Escritório Técnico de Agricultura Brasil-Estados Unidos.
- MELLEROWICZ, K., T.; REES, H.W.; CHOW, T.L.; GHANEM, I. (1994). Soil conservation planning at the watershed level using the Universal Soil Loss Equation with GIS and microcomputer technologies: A case study. *Journal of soil and water conservation*. Ankeny, U.S., v.49, n.2, p.194-199. mar./apr.
- MERICO, L.F.K. (1996). *Introdução à economia ecológica*. Editora da Furb, Blumenau. 160p.
- MORAES, J.M.; PELLEGRINO, G.Q.; BALLESTER, M.V.; MARTINELLI, MÜLLER, I.I.; KRÜGER, C.M.; KAVISKI, E (1998). Análise de Estacionariedade de Séries Hidrológicas na Bacia Incremental de Itaipu. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v.3, n.4 out/dez, p.51-71.
- MUZZILI, O. (1998) O Manejo sustentável do Solo. *Ação Ambiental*. Ano I, n.2, out/nov. p.16-19.

- PALERMO, M.A. & LIN, M. (1983). Modelo de geração de precipitação diária. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Blumenau. *Anais*. v. 2, p.25-36.
- PEARCE, D.W.; TURNER, R.K. (1990). *Economics of natural resources and the environment*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore. 378p.
- POMPÊO, C.A. & RIGHETTO, A.M. (1983). Modelação de precipitação diária e horária para a bacia do rio Jacaré-Guaçu, SP. . In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Blumenau. *Anais*. v. 2, p.37-61.
- RAMALHO FILHO, A. & BEEK, K.J. (1995). *Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras*. 3.ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA.
- RANIERI, S.B.L. (1996). *Avaliação de métodos e escalas de trabalho para determinação de risco de erosão em bacia hidrográfica utilizando sistema de informações geográficas (SIG)*. 128p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ROMANO, P.A. (1996). Água, recurso estratégico. *Minas Rurais*. Publicação da secretaria de estado de agricultura, pecuária e abastecimento de Minas Gerais. Ano iv, n.9, dez. p.18.
- ROSS, J.L.S. (1994) Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. *Revista do Depto de Geografia - FFLCH/USP* n.8, p.63-74

- SACHS, I. (1997). Prefácio. In: ROMEIRO et al. (orgs.). *Economia do meio ambiente*. Unicamp, São Paulo. p.9.
- SILVEIRA, G.L.; TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A.L.L. (1998). Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v.3, n.3 jul/set, p.111-131.
- SIMONETT, O. (1993). *Geographic Information Systems for Environment and Development*. Zurich. Geographisches Institut der Universität Zurich, v.22, (Geoprocessing Series).
- SOUZA, I.S.T. et al. (1995). Manejo integrado de sub-bacias hidrográficas Um modelo de planejamento ambiental. *Água em revista. Revista técnica e informativa da CPRM*. Ano. III, n.5. ago.
- SOUZA, M.P. (1992). A cobrança sobre o uso dos recursos hídricos. *Ambiente. Revista Cetesb de tecnologia*. v.6., n.1. p.25-35.
- SOUZA, M.P. (1995). A cobrança e a água como bem comum. In: *Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos*. v.13, n.1, jun. p.25-54.
- SOUZA, M.P. (1996). *Textos de apoio às aulas para o curso de graduação de arquitetura e urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos - USP*.
- SPAROVEK, G. e LEPSCH, I.F. (1998). *Diagnóstico de Uso e aptidão das Terras Agrícolas de Piracicaba*. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- TAHER, S. e ALSHAIKH, A. (1998). Spatial Analysis of Rainfall in Southwest of Saudi Arabia using GIS. *Nordic Hydrology*. n.9(2), p.91-104.
- THOM, H.C.S. (1958). A note on the Gamma Distribution. *Monthly Weather Review*. v.86, n.4, p.117-122.
- THOM, H.C.S. (1971). *Some Methods of Climatological Analysis*. Technical Note No 81. World Meteorological Organization. Geneva.
- TIETENBERG, T. (1994). *Environmental economics and policy*. Harper Collins College Publishers. N.Y. 432p.
- TUCCI, C.E.M. (1998). *Modelos Hidrológicos*. Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos
- WANIELISTA, M. (1990). *Hydrology and Water Quantity Control*. John Wiley & Sons Inc.