

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**BASES PARA APROVEITAMENTO E GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS  
NA REGIÃO DE DOURADOS – MS**

**PAULA PINHEIRO PADOVESE PEIXOTO**

*Orientador:* **Prof. Dr. Lincoln Gehring Cardoso**

*Co-orientador:* **Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos de Amorim**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP  
Março - 2002

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E  
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO  
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - FCA  
UNESP - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

P379b Peixoto, Paula Pinheiro Padovese, 1959-  
Bases para aproveitamento e gerenciamento de recursos  
hídricos na região de Dourados - MS / Paula Pinheiro Pa-  
dovese Peixoto. -- Botucatu, [s.n.], 2002  
xii, 98f. : gráfs.

Tese (doutorado) -- Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrônômicas  
Orientador: Lincoln Gehring Cardoso  
Co-Orientador: Ricardo Ferreira Carlos de Amorim  
Inclui bibliografia

1. Escoamento 2. Águas subterrâneas - Escoamento -  
Dourados (MS) 3. Hidrografia 4. Água - Qualidade I.  
Cardoso, Lincoln Gehring II. Amorim, Ricardo Ferreira  
Carlos de III. Universidade Estadual Paulista Júlio de  
Mesquita Filho (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciên-  
cias Agrônômicas IV. Título

Palavras-chave: Escoamento superficial; Escoamento subterrâneo;  
Microbacia hidrográfica; Qualidade da água

"Luz do Sol"

Luz do sol, que a folha traga e traduz  
Em verde novo, em folha, em graça,  
Em vida, em força, em luz  
Céu azul, que vem até onde os pés  
Tocam a terra e a terra inspira  
E exala seus azuis

Reza, reza o rio, córrego  
*Pro rio, rio pro mar*  
Reza a correnteza, roça,  
Beira, doura a areia  
Marcha o homem sobre o chão, leva no  
  coração uma ferida acesa  
Dona do sim e do não diante da  
Visão da infinita beleza  
Finda por ferir com a mão  
Essa delicadeza  
A coisa mais querida, a glória da vida

Caetano Veloso

Aos meus amores José Augusto e Rafael,

**DEDICO**

### **Dedicatória Especial**

Ao professor **Dr. Paulo Rodolfo Leopoldo** (*in memoriam*), pela orientação, profissionalismo, apoio e colaboração nas etapas deste trabalho. Pelo seu exemplo de respeito e amor aos rios deste país, o meu muito obrigada.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela alegria da vida.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, pela oportunidade concedida.

Ao Prof. Dr. Lincoln Gehring Cardoso, pela orientação e paciência na execução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos de Amorim, pela co-orientação e inestimável auxílio em diversas etapas desta pesquisa.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação “Energia na Agricultura” da FCA/UNESP, que ministraram disciplinas no convênio UNESP/UFMS, pelo empenho e dedicação.

Aos professores Sérgio Hugo Benez e Edgard Jardim Rosa Júnior, pela gestão do convênio UNESP/UFMS.

Aos funcionários, Ismail e Célia, da Fazenda São Marcos, que autorizaram a instalação da estação hidrométrica.

À família do Sr. Rubens, em especial ao querido menino Robson, que proporcionou a coleta dos dados pluviométricos e a limpeza das margens do córrego.

Aos colegas de curso: Anísio, Edgard, Félix, Jair, Luiz Antônio, Manzine, Mara, Mário Carlos, Nausira, Tarcísio e Yara, pela amizade, colaboração e boas risadas.

Aos caros amigos da UFMS – Beatriz, Edgard, Edson Talarico, Elda, Eva, Fedatto, Hélio, Jesus, João Davino, Manoel, Mara, Maria Aparecida, Nilda, Omar, Silas, Vanderlei, Yara – que colaboraram em várias etapas deste trabalho.

Aos bolsistas de Iniciação Científica e PET, Cassiano, Fausto, Flávia, Milson e Ricardo, pela colaboração nas análises.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Rural e da Biblioteca da FCA/UNESP – Câmpus de Botucatu, pela amizade e eficiência no atendimento.

Ao meu filhinho José Augusto e ao meu marido Rafael, pela colaboração, apoio e carinho durante todo o tempo de desenvolvimento do Curso.

Aos meus queridos pais Moacir e Maria, grandes incentivadores.

Aos meus irmãos Luiz, Marcelo, Ricardo, Simone, Regina e Daniela e aos meus sobrinhos Tiago, Diogo e Beatriz, pelo carinho.

À minha sogra Odete, pelo estímulo e orações.

A todos que de alguma forma colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

**SUMÁRIO**

	Página
LISTA DE TABELAS .....	IX
LISTA DE FIGURAS .....	X
LISTA DE QUADROS .....	XII
1 RESUMO .....	01
2 SUMMARY .....	03
3 INTRODUÇÃO .....	05
4 REVISÃO DE LITERATURA .....	09
4.1. O ciclo hidrológico .....	09
4.2. Recursos hídricos .....	11
4.3. Legislação .....	17
4.4. Bacia hidrográfica .....	24
4.5. Aspectos quantitativos .....	28
4.6. Aspectos qualitativos .....	37
5 MATERIAL E MÉTODOS .....	49
5.1. Descrição da área de estudo .....	49
5.2. Hidrometria .....	56
5.3. Aspectos qualitativos analisados .....	60
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	64

6.1 Dados pluviométricos .....	64
6.2. Aspectos quantitativos .....	67
6.3. Aspectos qualitativos .....	73
7 CONCLUSÕES .....	84
8 SUGESTÕES .....	85
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	86

**LISTA DE TABELAS**

Tabela		Página
1	Características das ações de monitoramento das águas pelas instituições federais no Brasil .....	14
2	Recursos hídricos nas constituições estaduais do Brasil .....	21
3	Índices de nitrato permitidos em águas de abastecimento .....	40
4	Índices de sólidos totais dissolvidos permitidos em águas de abastecimento	40
5	Alturas de degradação do solo ou erosão líquida em diversas bacias hidrográficas .....	46

**LISTA DE FIGURAS**

Figura		Página
1	Rede hidrográfica do estado de Mato Grosso do Sul .....	16
2	Microbacia do córrego Curral do Arame e sua localização dentro da bacia do rio Dourados .....	50
3	Detalhe da área experimental e sua proximidade da malha urbana de Dourados .....	51
4	Área experimental inserida na microbacia do córrego Curral do Arame ...	52
5	Rede hidrográfica do município de Dourados .....	55
6	Linígrafo modelo LNG-9 utilizado no experimento .....	56
7	Curva chave do córrego Curral do Arame .....	57
8	Hidrograma característico .....	59
9	Aspecto geral do ponto 1, a montante do vertedor .....	61
10	Aspecto geral do ponto 2, a jusante do vertedor .....	62
11	Precipitação registrada na microbacia do córrego Curral do Arame, no período de setembro de 1999 a setembro de 2001 .....	67
12	Representação da precipitação e da vazão calculada para a microbacia do córrego Curral do Arame .....	68
13	Curva chave do córrego Curral do Arame, a jusante do vertedor .....	70
14	Temperatura da água e pH no ponto de amostragem 1 .....	74

15	Temperatura da água e pH no ponto de amostragem 2 .....	74
16	Valores de nitrogênio total e de precipitação .....	77
17	Sólidos em suspensão no ponto 1 de coleta e valores de precipitação .....	81
18	Sólidos em suspensão no ponto 2 de coleta e valores de precipitação .....	82
19	Sólidos totais dissolvidos no ponto 1 de coleta e valores de precipitação .	82
20	Sólidos totais dissolvidos no ponto 2 de coleta e valores de precipitação .	83

**LISTA DE QUADROS**

Quadro		Página
1	Características físicas da microbacia do córrego Curral do Arame.....	53
2	Análise textural do Gleissolo drenado pelo Córrego Curral do Arame .....	53
3	Precipitação registrada (mm) na microbacia experimental, no período de setembro de 1999 a setembro de 2000 .....	65
4	Precipitação registrada (mm) na microbacia experimental, no período de outubro de 2000 a setembro de 2001 .....	66
5	Representação dos valores obtidos para os hidrogramas analisados .....	72
6	Valores de temperatura da água e de pH nos pontos de amostragem 1 e 2...	75
7	Valores de nitrogênio total e precipitação nos dois locais de amostragem...	77

## 1 RESUMO

O objetivo principal desta pesquisa foi o estudo de parâmetros hidrológicos em uma pequena bacia hidrográfica da região rural de Dourados, estado de Mato Grosso do Sul, drenada pelo curso d'água Curreal do Arame. Dentro deste objetivo, observou-se a transformação de valores de precipitação em vazão, por meio da altura de água identificada nos respectivos hidrogramas de descargas. O período experimental foi de novembro de 1999 a setembro de 2001.

O córrego Curreal do Arame é um dos tributários do rio Dourados, que abastece 75% da população urbana do município. As vazões mínima e máxima do córrego Curreal do Arame, encontradas durante o período experimental foram de  $0,014 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e  $1,09 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , respectivamente. Do volume total escoado, 58% foi relativo ao escoamento superficial e 42% ao escoamento subterrâneo.

Aspectos qualitativos – temperatura da água, pH, sólidos em suspensão, sólidos totais dissolvidos e nitrogênio total – foram analisados em dois locais do córrego Curreal do Arame.

As águas superficiais da microbacia não apresentaram índices de qualidade incompatíveis com sua utilização para abastecimento, embora em determinados períodos o índice de sólidos totais dissolvidos tenha sido superior ao máximo preconizado pela Legislação.

BASES FOR IMPROVEMENT AND MANAGEMENT OF HYDRIC RESOURCES IN  
DOURADOS' REGION – MS. Botucatu, 2001. 98 p.

Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências  
Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: PAULA PINHEIRO PADOVESE PEIXOTO

Adviser: LINCOLN GEHRING CARDOSO

## **2 SUMMARY**

The aim of this research was the study of the hydrologic parameters in a watershed located in the rural area of Dourados, state of Mato Grosso do Sul, drained by the Curral do Arame stream. In the development of the research, it was observed the transformation of precipitation in flow, considering the height of the water identified in the discharge hydrographs. The experimental period occurred from November 1999 until September 2001.

The Curral do Arame stream is one of the Dourados' river tributary which supplies 75% of the urban community. The minimal and maximum flows registered during the experimental period were of  $0,014 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  and  $1,09 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , respectively. From the total discharge of the Curral do Arame stream, 58% and 42% were, respectively, the percentage of surface runoff and base flow.

Qualitative aspects – water temperature, pH, solids in suspension, dissolved solids and total nitrogen – were analysed in two different points of the stream. The watershed's superficial waters didn't show incompatible rates of quality to the provisioning.

---

**Keywords:** watershed, surface runoff, base flow, qualitative aspects.

### 3 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem estar social, considerado inesgotável quantitativamente, uma vez que se renova através do ciclo hidrológico.

Embora a água seja um composto abundante na superfície terrestre, a sua distribuição temporal e espacial não é uniforme, nem sua frequência ajustada às necessidades humanas. Sua disponibilidade em quantidade e qualidade compatíveis é um dos fatores que determinam o nível de desenvolvimento de um agrupamento humano.

Verifica-se um crescimento constante no consumo de água, decorrente do desenvolvimento de atividades industriais, uso doméstico, produção de energia e maior demanda no setor agropecuário devido ao aumento das áreas irrigadas. De acordo com Baeta (2000)<sup>1</sup>, da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, a água doce é consumida nas seguintes proporções, no mundo : 70% agricultura (incluindo água de irrigação); 23% consumo humano; 7% indústrias. A cada 21 anos, a demanda por água doce duplica. Esses fatos fazem

---

<sup>1</sup> Baeta, L.C. Secretaria de Recursos Hídricos – Ministério do Meio Ambiente. **Comunicação Pessoal**. Abril/2000.

com que a água, principalmente a potável, venha se tornando um produto cuja demanda possa gerar uma crise, em um futuro não muito distante.

A qualidade dos recursos hídricos também vem sendo comprometida pelo uso muitas vezes inadequado ao longo da história do ser humano. Esse comprometimento passou a ser mais acentuado a partir da industrialização, do desenvolvimento tecnológico, da explosão demográfica e com a concentração da população em áreas urbanas, resultando em um produto de qualidade degradada e de reutilização imediata inviabilizada, com conseqüente poluição do meio ambiente.

A preocupação com a degradação e o esgotamento dos recursos hídricos vem sendo tema constante de debates mundiais. No Brasil, a gestão dos recursos hídricos tem merecido, nos últimos anos, ampla discussão em função da degradação qualitativa e quantitativa desses recursos. No início, essa discussão detinha-se em torno de problemas relacionados à produção de energia, ao armazenamento de água e à contenção de cheias por meio da construção de barragens. Em um segundo momento, a preocupação foi com o controle dos despejos industriais e domésticos que, via de regra, são jogados sem tratamento nos cursos de água.

Avançando mais nessa discussão, verifica-se a necessidade de se pensar em termos de desenvolvimento sustentado, onde as decisões devem ser integralizadas e participativas, tendo sido recomendada, tanto pela Legislação sobre Recursos Hídricos como pela comunidade científica, a utilização de uma abordagem integrada envolvendo a bacia de drenagem e o conceito de ecossistema, para o planejamento e gerenciamento dessas unidades de trabalho.

A lei nº 9.433 do Sistema Nacional de Recursos Hídricos, de 8 de janeiro de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGRH) no Brasil (Brasil, 1997).

Entre os fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, previstos no art. 1<sup>o</sup> da Lei 9.433/97, consta que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e que a gestão destes deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. Atendendo aos seus fundamentos, a Lei 9.433/97 prevê, em seu artigo 33, os Comitês de Bacia Hidrográfica como uma das entidades integrantes do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Dentro desse contexto, os grupos envolvidos nas questões relativas à água devem estar conscientes do seu papel e colaborar efetivamente para o êxito das propostas, visando o uso e o manejo adequado dos recursos hídricos.

O estado do Mato Grosso do Sul está configurado em duas grandes bacias hidrográficas: a do rio Paraguai, a oeste, e a do rio Paraná, a leste, separadas pelo divisor de águas compreendido pela serra das Araras, serra de Camapuã e parte da serra de Maracajú. O rio Paraná é formado pelo rio Paranaíba, que se origina no planalto central, e pelo rio Grande, que surge nas serras da Canastra e da Mantiqueira. A partir daí, o rio Paraná toma a direção sul, separando os estados de São Paulo e Paraná do estado do Mato Grosso do Sul, percorrendo 620 km até deixar os limites do estado (Mato Grosso do Sul, 2000).

O objetivo principal desta pesquisa foi o estudo de parâmetros hidrológicos em uma pequena bacia hidrográfica da região rural de Dourados, estado de Mato Grosso do Sul. Dentro deste objetivo observou-se a transformação dos valores de precipitação em vazão, por meio da altura de água identificada nos respectivos hidrogramas de descargas. Alguns aspectos qualitativos, como temperatura da água, pH, sólidos em suspensão, sólidos totais

dissolvidos e nitrogênio total, foram analisados em dois locais próximos à nascente do córrego Curral do Arame.

A microbacia hidrográfica objeto do estudo é drenada pelo curso d'água natural Curral do Arame, tributário do rio Dourados. O rio Dourados une-se ao rio Brilhante e este, ao receber outros tributários, dá lugar ao rio Ivinhema, que abastece a bacia hidrográfica do rio Paraná. Cabe lembrar que a grafia correta é rio Dourado. Devido à semelhança entre os nomes do rio e da cidade de Dourados, a população sul matogrossense denomina-o rio Dourados, inclusive em documentos oficiais.

O levantamento dos dados relativos a esses aspectos quantitativos e qualitativos da água, analisados de forma descritiva, podem contribuir para a formação de um banco de dados que envolva a questão dos recursos hídricos da região de Dourados, a ser utilizado ou complementado por outras pesquisas.

## **4 REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 O ciclo hidrológico**

O ciclo hidrológico caracteriza-se como o comportamento natural da água quanto às suas ocorrências, transformações e relações com a vida humana.

O ciclo da água no globo terrestre é acionado pela energia solar. Esse ciclo inicia retirando água dos oceanos pela evaporação e o vapor resultante é transportado pelo movimento das massas de ar. Anualmente, cerca de  $5,5 \cdot 10^5 \text{ km}^3$  de água é evaporada, utilizando 36% de toda a energia solar absorvida pela Terra, cerca de  $1,4 \cdot 10^{24} \text{ J ano}^{-1}$ . Essa água faz parte do sistema de circulação geral da atmosfera, que depende das diferenças de absorção e de reflexão de energia entre os trópicos e as regiões de maior latitude. Em média, são transportados  $5 \cdot 10^9 \text{ Mw}$  de energia dos trópicos para as regiões polares, em cada hemisfério (Tucci e Clarke, 1997).

O sistema de circulação da atmosfera é extremamente dinâmico e não-linear, dificultando sua previsão quantitativa. Sob determinadas condições, o vapor é condensado, formando as nuvens que, por sua vez, podem resultar em precipitação. A precipitação sobre a superfície terrestre pode dispersar-se de várias formas. A maior parte fica temporariamente retida

no solo e retorna à atmosfera por evaporação e transpiração vegetal. Uma parte restante da água escoar sobre a superfície do solo, ou através do solo para os rios, enquanto a outra parcela, infiltrando profundamente no solo, supre o lençol de água subterrâneo.

O fluxo sobre a superfície terrestre é positivo (precipitação menos evaporação), resultando nas vazões dos rios em direção aos oceanos. O fluxo vertical dos oceanos é negativo, com maior evaporação que precipitação. O volume adicional evaporado desloca-se para os continentes, através do sistema de circulação da atmosfera e precipita, encerrando o ciclo hidrológico. Em média, a água vinda dos oceanos é reciclada 2,7 vezes sobre a superfície terrestre, antes de escoar em direção aos oceanos (Tucci e Clarke, 1997).

O ciclo hidrológico utiliza a dinâmica da atmosfera e os grandes reservatórios de água que são os oceanos ( $1,35 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ ), as geleiras ( $2,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) e os aquíferos ( $8,4 \cdot 10^5 \text{ m}^3$ ). Os rios e lagos, a biosfera e a atmosfera compreendem volumes insignificantes de água se comparados com os anteriores (Mota, 1988).

Os processos hidrológicos na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes de fluxo: vertical e longitudinal. O fluxo vertical é representado pelos processos de precipitação e evapotranspiração. O fluxo longitudinal é representado pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície (escoamento superficial e rios) e do subsolo (escoamento subterrâneo).

A parcela de precipitação que atinge o solo pode infiltrar ou escoar superficialmente, dependendo da capacidade de infiltração do solo. A capacidade de infiltração depende de condições variáveis, como a umidade do solo, características físicas deste e cobertura vegetal. A água que infiltra pode percolar para o aquífero ou gerar um escoamento sub-superficial

ao longo dos canais internos do solo, até a superfície ou um curso d'água. A água percolada até o aquífero é armazenada e transportada até os rios, criando condições para manter os rios perenes em períodos de estiagem.

## **4.2 Recursos hídricos**

Entre os recursos naturais que o homem dispõe a água aparece como um dos mais importantes, sendo indispensável para a sua sobrevivência. Em suas múltiplas atividades, o homem precisa da água. A utilização cada vez maior dos recursos hídricos tem resultado em problemas, não só de carência dos mesmos, como também de degradação de sua qualidade.

Nos programas de usos múltiplos de recursos hídricos devem ser considerados os aspectos como a quantidade necessária e a qualidade desejada aos mesmos. Os projetos mais antigos de aproveitamento de recursos hídricos abordavam principalmente o aspecto quantitativo, procurando garantir as vazões necessárias aos diversos usos previstos. O crescimento populacional, acompanhado do desenvolvimento industrial e da intensificação de outras atividades humanas, resultou em maior utilização dos recursos hídricos e o fator qualidade passou a ter muita importância.

Quase todos os usos que o homem faz da água resultam na produção de resíduos, os quais são novamente incorporados aos recursos hídricos, causando a sua poluição. Por outro lado, certos usos são conflitantes, com algumas atividades causando problemas de modificações na qualidade da água, em prejuízo de outras. A qualidade da água depende das

atividades que se desenvolvem em suas margens e está relacionada com o uso que se faz do solo ao seu redor. Programas de preservação de recursos hídricos devem considerar o todo - água e solo - de modo que os usos dos mesmos resultem em menor impacto possível sobre a qualidade da água (Mota,1988).

Chama a atenção no território brasileiro a quantidade de grandes e caudalosos rios, que totalizam uma produção hídrica de superfície com média de aproximadamente  $250.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , sendo que o continente europeu produz em torno de  $100.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Apesar deste ser um valor médio ao longo do tempo e para todo o país, pode-se considerar o Brasil como privilegiado em termos de recursos hídricos. Por outro lado, o aproveitamento deste privilégio visando o desenvolvimento econômico e social, enfrenta, além da escassez de recursos financeiros, o problema denominado múltiplo uso da água. A água encontrada no sistema hidrográfico pode ser captada para, através de sistemas de abastecimento, promover o atendimento das necessidades básicas de água potável da população (abastecimento de residências), produção de bens e serviços (abastecimento de unidades industriais, comércio, governo, entre outras) e utilização em sistemas de irrigação. Pode-se optar por utilizar a água nos próprios rios e promover o transporte hidroviário, recreação, geração de energia elétrica, preservação de espécies e nichos ecológicos, diluição de esgotos e rejeitos industriais. A melhor forma de balancear os diversos usos é um problema cuja importância tem sido reconhecida pela análise de sistemas de recursos hídricos, que vem desenvolvendo técnicas de apoio que consideram o múltiplo uso de água no planejamento e gestão de recursos hídricos (Damázio *et al.*, 2000).

Magalhães Júnior (2000) retratou em sua pesquisa a situação atual do monitoramento das águas no país, considerando este como um processo essencial à implementação dos instrumentos de gestão das águas, determinados pela Lei 9.433/97.

O trabalho envolveu o levantamento sucinto das principais instituições federais responsáveis pelo monitoramento das águas no Brasil e os principais projetos e iniciativas em andamento. Um dos aspectos que se destacam neste trabalho é que o monitoramento das águas no Brasil apresenta uma segmentação quanto às instituições e informações monitoradas:

monitoramento quantitativo: realizado principalmente pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e suas subsidiárias estaduais.

monitoramento qualitativo: a maioria dos programas de monitoramento das águas no país contempla a qualidade. Quando dados quantitativos são necessários, as instituições demandam à ANEEL. Os parâmetros qualitativos monitorados dependem dos objetivos dos programas, mas predominam os físico-químico-biológicos voltados para análises de água para usos doméstico e de contato primário.

Verificou-se, no levantamento realizado por Magalhães Júnior (2000), a importância do papel das Universidades no monitoramento das águas no país, a nível local, principalmente nos estados de São Paulo, Sergipe, Santa Catarina, Goiás, Rio Grande de Sul e Minas Gerais (todos com 1/3 dos projetos a cargo das Universidades). A Tabela 1 apresenta as características das ações de monitoramento das águas pelas instituições federais.

Tabela 1 Características das ações de monitoramento das águas pelas instituições federais no Brasil

Instituição	Dados monitorados	Principais setores enfocados
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica/Ministério de Minas e Energia	Hidrometeorológicos (pluviométricos, fluviométricos, sedimentométricos e de qualidade das águas); Dados de quantidade e qualidade das águas	Energia hidráulica
CPRM – Ministério de Minas e Energia	Vazões, nível e dados de qualidade das águas subterrâneas	Usos múltiplos, com ênfase no abastecimento doméstico; irrigação
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia/Ministério da Agricultura e do Abastecimento	Dados meteorológicos (quantidade)	Usos múltiplos dependentes de dados meteorológicos
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Ministério da Ciência e Tecnologia	Dados meteorológicos (quantidade)	Previsão de tempo e clima
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	Dados meteorológicos (quantidade)	Uso agrícola
CODESAF – Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco	Dados climatológicos e fluviométricos; Monitoramento da qualidade das águas	Uso agrícola e abastecimento doméstico
Secretaria de Recursos Hídricos/Ministério do Meio Ambiente	Não monitora diretamente	Uso múltiplo das águas
IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente	Parâmetros de qualidade das águas	Uso múltiplo das águas
Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos-SSA/MMA	Não monitora diretamente	Usos múltiplos, com ênfase no abastecimento doméstico
Secretaria de Coordenação dos Assuntos da Amazônia	Não monitora diretamente	Usos múltiplos, com ênfase no abastecimento doméstico
Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente da Presidência da República	Não monitora diretamente	Ênfase no abastecimento doméstico

Fonte: Magalhães Júnior (2000).

Em três grandes unidades hidrográficas (Amazonas, São Francisco e Paraná) estão localizadas cerca de 80% da produção hídrica total do Brasil. Entretanto, o estigma da escassez de água fica caracterizado quando se verifica que a densidade populacional na região

amazônica é de 2 a 5 hab km<sup>-2</sup> e sua produção hídrica perfaz 78% do total nacional (Rebouças, 1997).

O estado do Mato Grosso do Sul está configurado em duas bacias hidrográficas de grande porte: a oeste a do rio Paraguai e a leste a do rio Paraná. O rio Paraná é formado pelo rio Paranaíba, que se origina no planalto central, e pelo rio Grande, que surge nas serras da Canastra e da Mantiqueira. A partir daí, o rio Paraná toma a direção sul, separando os estados de São Paulo e Paraná do estado do Mato Grosso do Sul, percorrendo 620 km até sair dos limites do estado.

No estado do Mato Grosso do Sul, a bacia do rio Paraná abrange uma área de 169.979,76 km<sup>2</sup>, equivalente a 47,6% da área total do estado, que é de 358.158,70 km<sup>2</sup>. A bacia hidrográfica do rio Paraná, dentro do estado, localiza-se entre as seguintes coordenadas geográficas: latitude entre 18°00' e 24°30' e longitude entre 50°30' e 55°00'. A rede hidrográfica do rio Paraná, no estado, é composta pelos afluentes da margem direita, os rios Iguatemi, Amambaí, Ivinhema, Pardo, Verde, Sucuriú, Quitéria, Santana e Aporé. O rio Ivinhema é formado pela junção dos rios Vacaria e o rio Brilhante, sendo que o último tem como afluentes os rios Dourados e Santa Maria. O rio Dourados nasce nas imediações da serra de Maracajú, na cidade de Antônio João, a uma altitude de aproximadamente 700 metros. Percorre todo o planalto, aproximadamente no sentido oeste-leste, até a cidade de Fátima do Sul, onde então toma a direção norte. Até desembocar no rio Brilhante, o rio Dourados percorre uma extensão de 374 km (Mato Grosso do Sul, 2000).

A Figura 1 mostra a rede hidrográfica de Mato Grosso do Sul, segundo Gressler e Swensson (1988).



O córrego Curral do Arame percorre 19,5 km desde sua nascente até encontrar as águas do rio Dourados, sendo deste um importante tributário. A microbacia objeto deste estudo é drenada pelas águas do córrego Curral do Arame.

O regime hidrológico destes cursos d'água é condicionado por chuvas de verão, com um período de cheias bem definido, de dezembro a abril, no qual os máximos ocorrem em março e com período de estiagens entre agosto e outubro. A vegetação nativa próxima a Dourados, onde dominava a Floresta Estacional Semidecidual, praticamente desapareceu. Esta foi substituída por pastagens e cultivos agrícolas, favorecidos pelos relevos aplanados propícios às práticas de mecanização e pelos solos argilosos, originados de sedimento terciário ou de rochas basálticas. As áreas com solos de textura média e arenosa também foram ocupadas com pastagens plantadas e reflorestamentos (Mato Grosso do Sul, 2000).

### **4.3 Legislação**

O abastecimento humano constitui o uso considerado como o mais nobre da água, pois dele depende a nossa sobrevivência. Devido à preocupação com os aspectos quantitativos e qualitativos da água, aumentou a necessidade de se estabelecerem leis e normas que regulamentem a utilização desse bem.

Silva e Ewen (2000) mostram a preocupação com os efeitos da mudança do uso do solo e o desenvolvimento urbano e industrial no meio ambiente. O desmatamento de florestas tropicais em larga escala tem enfocado os possíveis efeitos climáticos e as conseqüências na distribuição e disponibilidade dos recursos hídricos. Ao mesmo tempo, o aumento da concentração dos chamados gases estufa (como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ozônio

(O<sub>3</sub>), clorofluorcarbonetos (CFC), entre outros) na atmosfera, durante o período pós-industrial, tem levado a especulações sobre uma possível elevação da temperatura média da superfície do planeta. As consequências dessas alterações na disponibilidade e distribuição dos recursos hídricos não são inteiramente conhecidas. A água é essencial ao estabelecimento da vida e qualquer possível alteração na disponibilidade ou distribuição dos recursos hídricos precisa ser considerada criteriosamente.

A primeira tentativa de disciplinar a exploração das águas superficiais e subterrâneas no Brasil se deu em 1934, com o Código das Águas. Entretanto, mais de 60 anos após o código, os dispositivos que disciplinam o uso das águas subterrâneas nunca foram realmente aplicados, resultando no extrativismo não controlado, vigente em grande parte do território brasileiro. O Código das Águas, que não foi totalmente implantado, formulou alguns princípios para o uso múltiplo e para a qualidade dos recursos hídricos. A Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988) fez poucas alterações em relação ao Código das Águas. A alteração mais marcante foi a extinção do domínio privado das águas, passando os corpos d'água para o domínio público com sua gestão subordinada à esfera estadual. Antes da Constituição Federal de 1988, as águas subterrâneas tinham seu domínio indefinido (Finotti *et al.*, 2001).

Em 1995, a reestruturação do Estado criou a Secretaria Nacional de Recursos Hídricos, subordinada ao Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, com o objetivo de formular e executar o planejamento de recursos hídricos no Brasil. A implementação desta Secretaria foi o ponto de partida para a criação e aprovação da Lei 9.433 da Política Nacional de Recursos Hídricos em 1997 (Brasil, 1997). Esta lei é uma tentativa de disciplinar, modernizar e democratizar o uso das águas no Brasil, tanto as superficiais quanto as subterrâneas. A água subterrânea passa a estar ligada ao limite da bacia hidrográfica em que

está localizado o aquífero e deve ter sua gestão integrada a das águas superficiais. Nesta lei, para disciplinar o uso das águas, são introduzidas a cobrança e a outorga (Ferraz e Braga Júnior, 1998).

A outorga de uso é o principal instrumento para a administração da oferta da água, que se constitui na base do processo de gerenciamento de recursos hídricos. A tarifação pelo uso da água também se constitui em um instrumento de gestão, por incentivar a adoção de medidas que induzam ao decréscimo do consumo e torna-se um mecanismo de financiamento de serviços e obras necessários à melhoria das condições quali-quantitativas dos recursos hídricos. A adequada implementação do processo de gerenciamento de recursos hídricos depende de investimentos na coleta de dados e informações hidrológicas (redes de monitoramento) e no conhecimento dos usuários da água. A outorga, em essência, deve caracterizar-se por um processo rápido para a legalização dos usuários (Silveira *et al.*, 1998<sup>a</sup>).

A cobrança pelo uso da água pode ser usada para aperfeiçoar a eficiência do uso deste recurso. Dinar e Subramanian (1998) elaboraram uma revisão sobre experiências de cobrança pelo uso da água em 22 países (incluindo o Brasil) em vários setores. As informações mostram que os países têm diferentes razões para taxar a água, incluindo custos de recuperação, redistribuição, aumento na localização de nascentes e conservação da água. O trabalho compara os custos fixos e variáveis para os setores urbano, agrícola e industrial, variando muito de país a país. Os países de maior renda per capita são mais permeáveis às políticas de cobrança pelo uso da água.

Outra premissa estabelecida na Lei 9.433/97 é a gestão da qualidade conjunta com a gestão quantitativa dos recursos hídricos. A gestão da qualidade deve ter como premissa o controle de fontes poluidoras. A poluição urbana é crescente e a poluição rural,

geralmente difusa, tem sido negligenciada, apesar do Brasil ser o quinto país na lista mundial de consumidores de herbicidas e defensivos, que são comercializados e utilizados sem muito controle. No que diz respeito à quantidade, há também o problema do uso descontrolado da água subterrânea, colocando em risco o sistema aquífero (Finotti *et al.*, 2001).

Em âmbito estadual, a Tabela 2, reproduzida de Finotti *et al.* (2001), demonstra a situação das águas superficiais e subterrâneas nas constituições de cada estado brasileiro. Dos 27 estados, seis dão destaque especial às águas subterrâneas e 14 mencionam a gestão qualitativa de seus recursos. Apesar da preocupação legal, na prática a questão da qualidade é relegada e a contaminação dos mananciais se encontra bastante avançada no território nacional.

Finotti *et al.* (2001) realizaram um levantamento da legislação existente que trata do tema águas subterrâneas no Brasil. Segundo os autores, por não haver padrões específicos estabelecidos, as consultorias têm utilizado os padrões da Resolução nº 20 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 1986), a Portaria nº 36 do Ministério da Saúde (Brasil, 1990) ou qualquer legislação estrangeira.

A Resolução nº 20 do CONAMA estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Brasil. De acordo com seus usos preponderantes, são enquadradas em 9 classes, dentro de limites e condições indispensáveis, visando os diferentes usos e o equilíbrio ecológico dos corpos de água.

Tabela 2 Recursos hídricos nas constituições estaduais do Brasil

Região	UF	Gestão por bacias hidrográficas	Gestão integrada (águas superficiais e subterrâneas)	Gestão integrada de qualidade e quantidade	Destaque para águas subterrâneas
SUL	RS	S	S	S	S
	SC	-	-	-	-
	PR	N	N	N	N
SUDESTE	SP	S	S	S	S
	MG	S	S	N	N
	RJ	S	N	S	N
	ES	S	S	S	S
CENTRO-OESTE	GO	N	S	S	N
	MS	S	S	S	S
	MT	S	S	S	S
	DF	S	N	N	N
NORDESTE	BA	N	S	S	N
	AL	S	S	S	N
	SE	S	S	S	N
	PE	N	S	S	N
	PB	N	S	S	N
	RN	N	N	N	N
	CE	N	N	N	N
	PI	S	N	S	N
	MA	-	-	-	-
NORTE	TO	-	S	N	N
	PA	-	S	N	N
	AM	S	S	S	N
	RO	-	-	-	-
	AC	-	-	-	-
	AP	S	S	N	S
	RR	-	-	-	-

Fonte: Finotti *et al.* (2001).

A Portaria nº 1469, de 29 de dezembro de 2000, estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Esta portaria substitui a partir de dezembro de 2002, a portaria nº 36/90.

A constituição estadual do Mato Grosso do Sul é uma das mais completas em termos de gestão e qualidade de águas superficiais e subterrâneas, o que não implica que a legislação seja aplicada em sua totalidade.

As distorções apontadas na atual legislação brasileira poderão ser pivô de muitos problemas e necessitam de uma reflexão urgente em caráter nacional. A discussão de uma lei nacional de águas subterrâneas deve se retomada e os estados brasileiros devem começar a discutir legislações estaduais e políticas adequadas a seus problemas específicos no que se refere a contaminações subsuperficiais e proteção dos seus recursos hídricos.

A Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA) de Mato Grosso do Sul apresentou uma proposta que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e cria o Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, em junho de 2000. A proposta, em vias de aprovação, tem por finalidade:

- assegurar, em todo o território do Estado, a necessária disponibilidade de água, para os atuais usuários e gerações futuras, em padrões de qualidade e quantidades adequados aos respectivos usos;
- promover a compatibilização entre os múltiplos e competitivos usos dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável;

- promover a prevenção e defesa contra os eventos hidrológicos críticos, de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais, que ofereçam riscos à saúde e à segurança pública ou prejuízos econômicos ou sociais;
- incentivar a preservação, conservação e melhoria quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos (SEMA, 2000).

Outro ponto da lei 9.433/97 que merece destaque é o uso da bacia hidrográfica como unidade de gestão dos recursos hídricos. O limite da bacia hidrográfica quase nunca coincide com os limites dos aquíferos, que podem se estender por estados inteiros e mesmo ultrapassar limites das fronteiras dos países. Um aspecto importante instituído na lei da política nacional de recursos hídricos está no art 3º § V “*a articulação da gestão dos recursos hídricos com a do uso do solo*”. Sendo o solo a matriz que encerra a água subterrânea, a qualidade desta está intimamente relacionada ao controle daquele. Torna-se impossível gerir a qualidade da água subterrânea sem gerir e controlar a poluição do solo.

Tucci *et al.* (2000) também apresentam uma análise histórica minuciosa dos recursos hídricos no Brasil (desde 1945), a situação atual e cenários tendenciais. A análise é realizada dentro dos aspectos institucional, desenvolvimento urbano, rural, energia, eventos críticos, desenvolvimento de recursos humanos, científico e tecnológico. Os autores colocam que a gestão dos recursos hídricos no Brasil passa por um cenário de transição institucional com a privatização dos serviços públicos.

Considerando que a base institucional é a condição necessária para o gerenciamento dos recursos hídricos, Tucci *et al.* (2000) enumeram que as prioridades nacionais do setor de recursos hídricos devem incluir: proteção de mananciais e tratamento de esgotos;

preservação e aumento da disponibilidade de água nas áreas críticas; controle adequado das enchentes urbanas; conservação do solo rural.

A avaliação e a análise dos recursos hídricos do Brasil, considerando-se o cenário atual e a tendência de seu desenvolvimento até 2025, no âmbito da *World Water Vision*, faz parte de um esforço mundial, baseado na iniciativa de várias entidades internacionais. A *World Water Vision* foi apresentada no *2nd World Water Forum* que ocorreu em Haia, em março de 2000 (Orange e Rijsberman, 2000). Na América do Sul, a iniciativa coube ao SAMTAC (*South América Technical Advise Comitee*) do GWP (*Global Water Paternship*), que preparou um estudo básico da região, baseado em estudos de cada país.

#### **4.4 Bacia hidrográfica**

Uma bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural de água precipitada que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída. Da precipitação que atinge a superfície do solo parte se infiltra até o ponto de saturação do solo, quando tem início o processo de escoamento superficial, caso a precipitação persista. Pode ser considerada como um sistema físico onde a entrada de água é produto da precipitação e a saída é o volume de água escoada superficialmente, levando-se em consideração as diversas perdas intermediárias como evaporação, transpiração e as perdas por percolação profunda (Tucci, 1993).

A bacia hidrográfica é necessariamente contornada por um divisor, assim designado por ser a linha de separação que divide as chuvas que precipitam em bacias vizinhas e que encaminha o escoamento superficial resultante para um ou outro sistema fluvial. O divisor

segue uma linha rígida em torno da bacia, atravessando o curso d'água apenas no ponto de saída. O divisor une os pontos de máxima cota entre bacias, o que não impede que no interior de uma bacia existam pontos isolados com cota superior a qualquer ponto do divisor (Villela e Mattos, 1975).

O deflúvio de uma bacia é composto pela água que atinge o leito após ter escoado superficialmente, assim como da água que chega aos cursos d'água após percorrer caminhos subsuperficiais e subterrâneos. As áreas de uma bacia hidrográfica são delimitadas por dois tipos de divisores de água: um divisor topográfico ou superficial e um divisor freático ou subterrâneo. O divisor topográfico fixa a área da qual provém o deflúvio superficial da bacia. O divisor freático geralmente é determinado pela estrutura geológica dos terrenos, estabelecendo os limites dos reservatórios de água subterrânea, de onde é derivado o deflúvio básico da bacia (Villela e Mattos, 1975).

O comportamento hidrológico de uma bacia de drenagem é extremamente influenciado pelas suas características físicas. Fatores como relevo, cobertura vegetal, área, declividade, rede de drenagem e outros condicionam o regime hidrológico da bacia, atuando na relação entre a precipitação e a geração de vazão (Leopoldo, 1986).

Segundo Villela e Mattos (1975), as características físicas de uma bacia são elementos de grande importância em seu comportamento hidrológico. Há estreita correspondência entre o regime hidrológico e estes elementos, pois, ao estabelecerem-se relações e comparações entre eles e os dados conhecidos, pode-se determinar indiretamente os valores hidrológicos em seções ou locais de interesse nos quais falem dados ou em regiões onde não seja possível a instalação de redes hidrométricas. As principais características físicas de uma bacia hidrográfica são: área de drenagem, coeficiente de compacidade, fator de forma, ordem dos

curso d'água, densidade de drenagem, declividade da bacia, curva hipsométrica, declividade do curso de água.

A fase do escoamento superficial trata da ocorrência e transporte da água na superfície terrestre e a maior parte dos estudos hidrológicos está ligada ao seu aproveitamento e à proteção contra fenômenos provocados pelo seu deslocamento.

O escoamento superficial abrange desde o excesso de precipitação que ocorre logo após uma chuva intensa e se desloca livremente pela superfície do terreno, até o escoamento de um rio, que pode ser alimentado tanto pelo excesso de precipitação como pelas águas subterrâneas. Os fatores que influenciam o escoamento superficial podem ser de natureza climática (relacionados à precipitação) ou de natureza fisiográfica (relacionados às características físicas da bacia).

As grandezas que caracterizam o escoamento superficial em uma bacia hidrográfica são a vazão, o coeficiente de escoamento superficial ou runoff, o tempo de concentração e o tempo de recorrência. O tempo de concentração é o intervalo de tempo contado a partir do início da precipitação para que toda a bacia hidrográfica correspondente passe a contribuir na secção em estudo. Corresponde à duração da trajetória da partícula de água que demore mais tempo para atingir a secção (Pinto *et al.*, 1976; Wanielista *et al.*, 1997).

A vazão ou volume escoado por unidade de tempo é a principal grandeza que caracteriza um escoamento. Pode ser medida por meio de flutuadores, vertedores, medidores Parshall, molinetes, curva-chave e linígrafos. Os linígrafos são aparelhos registradores das variações do nível da água em rios ou canais. O hidrograma ou hidrógrafa é a representação gráfica da variação da vazão de um curso d'água em relação ao tempo (Wanielista *et al.*, 1997).

A bacia hidrográfica, como unidade espacial coletora do ônus ecológico, se constitui na unidade mais adequada para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. A administração destes recursos torna-se imprescindível e requer fundamentos técnicos, legais e institucionais. Considerando que a água é um bem público, vital, finito e poluível, a outorga e cobrança pelo seu uso são instrumentos legais.

O planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica requerem um conhecimento profundo dos mesmos. Isto implica em dispor ao longo do tempo, assim como no espaço geográfico da bacia hidrográfica, de informações relativas às quantidades de água armazenadas, às vazões na rede de drenagem, aos usos dos recursos hídricos e a qualidade da água (Passerat De Silans *et al.*, 2000).

As medições hidrológicas constituem uma base importante de informações, porém, elas não são contínuas no espaço e no tempo. Em várias regiões do Brasil, principalmente no nordeste, são poucas as séries históricas de informações disponíveis quanto aos volumes armazenados nos açudes ou às vazões nos cursos de água e praticamente inexistentes aquelas relativas à qualidade da água. Já as informações sobre precipitações são muito mais densas e, geralmente, encontram-se séries históricas relativamente longas (Passerat De Silans *et al.*, 2000).

A bacia hidrográfica é um sistema aberto e em regime termodinâmico afastado do equilíbrio. A magnitude das cheias e das estiagens representa, para o sistema, uma medida de distanciamento do estado estacionário. Segundo Nicolis e Prigogine (1977), citados por D'Agostini e Martini (2000), o custo entrópico de sustentação de um sistema reduz-se a um mínimo na medida que o sistema alcança o estado estacionário. Por analogia, tanto maiores e melhores serão as possibilidades à sustentação dos processos biofísicos que constituem e

investem de significação o sistema bacia hidrográfica, quanto mais regulares forem os fluxos de entrada e de saída de matéria-energia.

#### **4.5 Aspectos quantitativos**

A água doce representa apenas 3% do total da água existente na natureza. Os restantes 97% encontram-se nos oceanos e mares. A maior parte da água doce, aproximadamente 2,3% dos 3% existentes, está congelada nas calotas polares e geleiras, ou em lençóis subterrâneos muito profundos. A evaporação e a precipitação reciclam um volume considerável de água anualmente, mas apenas uma parcela desse total precipita sobre os continentes. Apenas 0,5% do volume total de água do planeta encontra-se imediatamente disponível para o homem. A água, como os demais recursos naturais da biosfera, é escassa e seu uso racional inclui a preservação da sua qualidade. A degradação desse recurso por problemas de poluição vem agravando as dificuldades para o seu aproveitamento e intensificando sua escassez (Porto *et al.*, 1991).

No ciclo hidrológico circula água pura, uma vez que o processo evaporação-precipitação age como um gigantesco destilador. Entretanto, só encontramos água pura no estado de vapor, pois as impurezas começam a se acumular assim que inicia o processo de condensação. Gases dissolvem-se nas gotas de chuva e, uma vez que atinge a superfície, a água dissolve uma série de substâncias adquirindo outras impurezas como cálcio, magnésio, sódio, bicarbonatos, cloretos, sulfatos e nitratos. Podem surgir traços de metais como chumbo, cobre, manganês e uma série de compostos orgânicos provenientes em grande parte dos processos de decomposição da matéria orgânica de origem animal e vegetal. Os compostos

orgânicos podem incluir resíduos de áreas agrícolas e despejos de efluentes de origem doméstica e industrial. As águas superficiais e subterrâneas passam a conter impurezas, que variam com a vegetação local, o clima, a litologia da região, o ecossistema aquático e a influência do homem. Ou seja, a dinâmica hidrológica de superfície e sub-superfície é altamente afetada pelas características físicas da bacia hidrográfica, pelas características de estímulos meteorológicos e também pelas condições de superfície, que cada vez mais resultam da intervenção humana sobre o meio (Porto *et al.*, 1991; Mendiando e Tucci, 1997; Espírito Santo *et al.*, 2001).

A composição da água da chuva tem grande influência sobre a qualidade das águas superficiais. A chuva pode contribuir com uma série de elementos trazidos de outras regiões ou mesmo levar contaminantes ácidos para regiões distantes de pólos industriais. Porto *et al.* (1991) citam como exemplo a acidificação de lagos no Canadá como resultado da poluição do ar gerada na região nordeste dos Estados Unidos.

A responsabilidade pela qualidade e correspondentes implicações do uso e manejo das terras são, evidentemente, do mesmo ser humano que se percebe com direitos sobre o meio que usa e maneja. Identificando em quanto concorrem as condições de superfície para a promoção ou atenuação de flutuações de vazão em determinada bacia e sob determinado regime meteorológico, também se teria uma objetiva avaliação da qualidade das relações direitos/responsabilidade que os homens mantêm com esse meio. As relações homem-meio dizem respeito a toda e qualquer intervenção humana sobre o meio e que possa afetar a dinâmica hidrológica na bacia hidrográfica (D'Agostini e Martini, 2000).

Frente a essas dificuldades, os hidrólogos têm desenvolvido modelos matemáticos que transformam chuva em vazão, por meio de equações que representam as fases do ciclo hidrológico. Parâmetros devem ser incorporados ao modelo, tais como o relevo, a

geologia, o tipo de solo e sua ocupação. Os modelos hidrológicos concentrados consideram a bacia hidrográfica como uniforme e geram lâminas ou volumes escoados a partir de uma série histórica da precipitação média sobre a bacia. Os modelos hidrológicos distribuídos procuram incorporar a variabilidade espacial dos parâmetros descritivos da geologia, da natureza do solo, da ocupação do solo e do relevo, bem como a distribuição espacial da precipitação, e, eventualmente, da evapotranspiração potencial. Tanto um modelo quanto o outro devem ter os seus parâmetros calibrados. A calibração é feita ajustando os parâmetros de modo a obter vazões calculadas que representem as vazões observadas o mais fielmente possível (Passerat De Silans *et al.*, 2000).

Segundo Silveira *et al.*, (1998), os modelos hidrológicos são fortemente dependentes de dados locais, devido à grande incerteza na definição dos seus parâmetros. Para bacias sem dados fluviométricos, os modelos distribuídos parecem dar resultados melhores que um modelo concentrado, desde que informações básicas da bacia possam ser obtidas, como a posição das superfícies livres dos aquíferos.

A utilização de métodos diretos para determinar a vazão numa seção fluvial é uma tarefa demorada e, freqüentemente, envolve elevados custos. Geralmente procede-se a estimativa da descarga de forma indireta, mediante o uso da curva-chave, na maioria das vezes representada na forma exponencial:

$$Q = C.(h+a)^b$$

Sendo,

**Q** = vazão

**h** = nível da régua correspondente à vazão

**C** e **b** = coeficientes próprios de uma estação, calculados mediante regressão linear entre  $\ln Q$  e  $\ln (h+a)$

**a** = diferença em altura entre o zero da régua e o nível que representa a descarga nula.

Esta equação, freqüentemente, apresenta bons resultados para interpolar valores entre as cotas máximas e mínimas para a qual foi definida. Porém, quando é necessário extrapolar a curva-chave para cotas maiores (menores) aos máximos (mínimos) observados, é freqüente o surgimento de erros na estimativa (Brusa e Clarke, 1999).

Varella e Campana (2000) e Schuler *et al.* (2000) aplicaram o modelo chuva-vazão Topmodel à bacias hidrográficas distintas, com o objetivo de avaliar o desempenho global do modelo, identificando as dificuldades na sua aplicação, além de aproveitar as potencialidades que as técnicas de geoprocessamento oferecem para aquisição e manipulação de dados e informações espaciais. O modelo possibilita o cálculo da vazão, em determinada seção de um rio, considerando a bacia como um todo ou subdividindo-a em várias sub-bacias.

Marc *et al.* (2001) estudaram os processos de geração de enchentes em uma microbacia na região de Cevennes, a 80 km do mar Mediterrâneo, utilizando traçadores químicos e isotópicos. O índice pluviométrico médio da região é de 2000 mm/ano, distribuídos na primavera e no outono, sendo que os verões e os invernos são as épocas mais secas. Os autores estudaram três episódios de magnitudes desiguais de enchentes, durante o outono de 1996. O uso combinado de traçadores realçou a velocidade de transferência da água das partes mais altas até o ponto de saída da microbacia, bem como a contribuição do curto tempo de residência da água.

Os autores demonstraram que a drenagem subsuperficial através dos macroporos do solo foi um processo dominante na formação do fluxo de água. A separação das hidrógrafas demonstrou que as chuvas antecedentes foram o maior contribuinte na formação do

volume de água escoado. Assim, para o último episódio de enchente (13-15 de outubro), quase 1/3 do volume do fluxo originou-se da precipitação e 50% do primeiro evento de chuva do outono (19 de setembro). Os resultados mostraram que o volume de água subterrânea originou-se da mistura dos sucessivos eventos de chuva, não envolvendo a água pré-existente armazenada nas camadas superiores de solo. Os mecanismos da microbacia podem ser explicados por um sistema duplo de reservatório, cada qual distinto geoquimicamente: o reservatório superficial, contendo a água das precipitações e o reservatório subsuperficial, formado pela água das chuvas antecedentes.

Leopoldo *et al.* (1988), com resultados obtidos para 13 hidrogramas analisados pelo método do  $O^{18}$ , mostraram que a descarga superficial direta é relativamente pequena desde o início do evento até um ponto próximo do pico do hidrograma. Após esse ponto, durante a fase de recessão, há um relativo aumento na contribuição proveniente do fluxo superficial direto. Estas observações, de modo geral, estão de acordo com Freeze (1972). As observações deste autor indicam que um relativo aumento da contribuição do fluxo de base pode ocorrer logo após uma precipitação, causada pela rápida infiltração da água no solo, sobretudo se o solo da bacia for altamente permeável. Como consequência, têm-se uma elevação do gradiente hidráulico próximo às margens do curso de água, aumentando-se, por essa razão, a descarga da água subterrânea.

Em uma bacia hidrográfica de 103 hectares, na região montanhosa de Sierra Nevada, Califórnia, ocupada por florestas de carvalhos, Lewis *et al.* (2000) coletaram durante 17 anos dados de precipitação e de vazão. Estes foram combinados com medidas de evapotranspiração potencial, para desenvolver um balanço hídrico e investigar as mudanças na produção de água, a partir da remoção das árvores. As médias anuais durante o período de estudo

foram 708, 344 e 364 mm, respectivamente, para a precipitação, escoamento superficial e evapotranspiração potencial. Em um clima mediterrâneo a evapotranspiração potencial é menos dependente da precipitação que o escoamento superficial, porque a maior parte da precipitação anual coincide com o período de menor evapotranspiração (verões quentes e secos, invernos úmidos).

Nichols e Verry (2001) trabalharam na região centro-norte do estado de Minnesota (EUA), em microbacias hidrográficas reflorestadas. As alterações do lençol freático foram medidas em poços de observação e utilizadas para calcular as taxas de recarga da água subterrânea. Durante o período de inverno, a precipitação foi armazenada sobre a superfície do solo como neve e a recarga de água subterrânea cessou. Mesmo variando de bacia a bacia, o volume de água subterrânea constituiu cerca de 40% da produção total do curso d'água.

Ladouche *et al.* (2001) determinaram os componentes do fluxo em uma pequena bacia hidrográfica na região leste da França, para uma precipitação pluviométrica de 40 mm, utilizando traçadores químicos e isotópicos, com ênfase nas variações espaciais e temporais da bacia. Foram amostradas a precipitação, a solução do solo, a água da nascente e a água superficial e analisadas em termos de isótopos estáveis ( $O^{18}$  e  $H^+$ ). Parâmetros químicos também foram analisados ( $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $H^+$ ,  $H_4SiO_4$ , alcalinidade e condutividade), carbono orgânico dissolvido e elementos traço (Al, Rb, Sr, Ba, Pb e U). A separação isotópica da hidrógrafa mostrou que as chuvas antecedentes contribuíram com apenas 2% no início da enchente até 13% no pico da hidrógrafa. Durante o primeiro estágio do evento, parte significativa do escoamento superficial (30-39%) teve origem em pequenas áreas saturadas, localizadas nas partes de menor altitude da bacia. Durante o segundo estágio, a contribuição de água das camadas mais profundas das áreas de maior altitude da bacia tornaram-se mais significativas. O estágio

final foi caracterizado por uma contribuição balanceada entre os aquíferos localizados em áreas de menor altitude e de declives acentuados. O estudo demonstrou a importância de combinar uma variedade de dados hidrométricos, traçadores geoquímicos e isotópicos para identificar os componentes do fluxo total de água na microbacia hidrográfica.

Ribolzi *et al.* (2000) analisaram os mecanismos de fluxo em um curso d'água, em uma microbacia hidrográfica (0,91 km<sup>2</sup>) cultivada com uva, em Hérault, França. Os pesquisadores analisaram dois eventos de outono, de características diferentes. O primeiro, com pico de fluxo de 20 Ls<sup>-1</sup>km<sup>-2</sup> e o segundo, com pico de 944 Ls<sup>-1</sup>km<sup>-2</sup>. Houve predomínio de escoamento superficial, sendo que sua contribuição variou entre 12 e 82%, de acordo com a magnitude do evento.

Falkenmark (1989), citado por Lopes *et al.* (1999), define hidrologia comparativa como o estudo das características dos processos hidrológicos que são influenciados pelo clima e pela natureza da superfície da terra. O entendimento das interações entre a resposta hidrológica e o meio ambiente é extremamente importante para que estimativas hidrológicas possam ser transferidas de uma região para outra. A transferência de resultados de uma bacia experimental para outra sem dados, é um problema enfrentado pelos hidrólogos, visto a dificuldade no processo de generalização de informações obtidas em bacias. Um dos propósitos da hidrologia comparativa é delimitar regiões onde similaridades hidrológicas possam ser assumidas, justificando a aplicação de técnicas de transferência das informações dos processos hidrológicos.

Lopes *et al.* (1999) realizaram uma análise comparativa para investigar a hipótese de que pequenas bacias com uma mesma classificação global de clima-vegetação apresentariam um mesmo comportamento hidrológico. Quatro relações de precipitação-

escoamento foram usadas para descrever o comportamento hidrológico de nove pequenas bacias "ecologicamente semelhantes" classificadas como terras arbustivas de clima tipo Mediterrâneo. Os coeficientes da análise de regressão da relação precipitação-escoamento indicaram um comportamento significativamente diferente entre as bacias estudadas, sugerindo que mesmo as bacias estando sob o mesmo tipo de clima-vegetação, seus comportamentos hidrológicos são controlados por dissimilaridades locais, conforme o tamanho da bacia. As análises de componente principal e regressão múltipla indicaram que muito da variabilidade no comportamento de cada bacia foi devido às mudanças das características geomorfológicas destas e, numa menor extensão, aos padrões das chuvas de verão.

Berger e Entekhabi (2001) realizaram trabalho semelhante em dez bacias hidrográficas, em diversas regiões edafo-climáticas. Concluíram que nem os fatores climáticos e nem a fisiografia puderam sozinhos explicar a variabilidade observada entre as bacias hidrográficas.

A avaliação de disponibilidades hídricas de pequenas bacias, com área inferior a 100 km<sup>2</sup>, é condição necessária para o estudo de pequenos aproveitamentos de recursos hídricos, preservação ambiental e instrução de processos para a outorga de uso dos recursos hídricos. A falta de dados hidrológicos em pequenas bacias gera incertezas que comprometem o gerenciamento dos recursos hídricos. Silveira e Tucci (1998) e Silveira *et al.* (1998<sup>b</sup>) monitoraram pequenas bacias para estimativa de disponibilidade hídrica e quantificaram a vazão em microbacias sem dados, no Rio Grande do Sul, com resultados promissores e baixo custo de implantação.

Sophocleous (2000) apresenta uma síntese acerca do conceito de sustentabilidade da água, a partir de uma perspectiva hidrológica. No geral, a produção

sustentável de um aquífero deve ser consideravelmente menor que a recarga deste. Para garantir sustentabilidade, é imperativo que os limites da água sejam estabelecidos baseados nos princípios hidrológicos do balanço de massa. Para estabelecer políticas de usos da água, é necessário desenvolver modelos numéricos capazes de gerar curvas de transição dos aquíferos. O manejo dos recursos hídricos em Kansas (EUA) mostra que as decisões a nível local foram o melhor caminho para o desenvolvimento sustentado destes recursos.

Rebouças (1997) fez uma análise sobre a disponibilidade hídrica de cada região brasileira, comparando-as com regiões do mundo. Em Pernambuco, o estado brasileiro mais carente em água, a disponibilidade é de  $1,32 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , enquanto um alemão dispõe de  $1,16 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . O autor cita que o limite considerado razoável pela OMS é de  $2 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e que a escassez em algumas cidades brasileiras deve-se às condições de uso inadequado dos potenciais hídricos de que dispõem.

Herrera (1996) estudou o consumo de água potável para a cidade de Botucatu-SP, no ano de 1995 e obteve um consumo médio de  $164,87 \text{ L hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ . Entretanto, as perdas de água tratada, ocorridas no sistema de abastecimento de Botucatu, no mesmo ano, foram de 36,59%.

Considerando a população abastecida no município de Dourados-MS, Ayres (2000) estimou uma demanda de água tratada de  $251 \text{ L hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , um consumo *per capita* de  $106 \text{ L dia}^{-1}$  e um índice de perdas de 57,78%. O sistema de abastecimento público em Dourados é misto, com captação subterrânea (25%) e superficial (75%). O rio Dourados, onde é captada a água para abastecimento, apresenta vazão mínima de  $28 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e vazão máxima de  $56 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Para novos projetos e ampliação do sistema de captação de água do rio a situação é

favorável, pois com esta vazão pode-se abastecer uma população de 800.000 habitantes, sem prejudicar o volume a jusante.

Entretanto, segundo Ayres (2000), a estação de tratamento de água de Dourados (SANESUL) comporta um volume máximo de  $375 \text{ L s}^{-1}$  para tratamento. Se a população e o consumo em Dourados mantiverem os índices de crescimento de acordo com as previsões realizadas, a capacidade máxima de utilização da estação de tratamento de água será atingida a partir de 2003.

#### **4.6 Aspectos qualitativos**

As pesquisas destinadas a analisar a qualidade da água estão voltadas, principalmente, às águas superficiais, pois estas constituem-se nas principais fontes de abastecimento. Nestas análises, a qualidade da água é definida em função de variáveis físicas, químicas e biológicas. A utilização de determinados grupos de variáveis depende do objetivo de cada estudo, seja ele voltado ao padrão de qualidade que se refere a todos os usos possíveis da água, ou ao padrão de potabilidade que diz respeito ao consumo humano.

Libânio *et al.* (2000) citam que o primeiro sistema de abastecimento de água na América, empregando tubos de madeira, data de 1799, na Filadélfia (EUA). Entretanto, a preocupação com o padrão de potabilidade iniciou apenas em 1914, com a constatação realizada pelo médico inglês John Snow em 1855, comprovando a associação entre uma epidemia de cólera em Londres e o abastecimento de água. Snow constatou que a população atingida pela moléstia se abastecia em um poço contaminado por esgotos. A partir disso, no intervalo de

aproximadamente 15 anos, diversos padrões de potabilidade foram elevando progressivamente as restrições quanto às características físicas, químicas e biológicas das águas de abastecimento.

Na literatura sobre a qualidade dos recursos hídricos, as variáveis são analisadas segundo critérios estabelecidos por meio de legislação específica. Como descrito anteriormente, a Resolução nº 20 do CONAMA (Brasil, 1986) estabelece limites, com teores máximos permitidos para substâncias potencialmente prejudiciais e condições para o enquadramento dos corpos de água, segundo os seus diferentes usos. Critérios de potabilidade da água, em relação a compostos orgânicos e inorgânicos que afetam a saúde, além dos compostos organolépticos (odor, sabor, cor), são estabelecidos pela Portaria nº 36 do Ministério da Saúde (Brasil, 1990), que será substituída pela Portaria nº 1469/2000, a partir de dezembro de 2002 (Brasil, 2000).

Von Sperling (1998) analisou os padrões de qualidade das águas de corpos receptores e os padrões de lançamento de efluentes líquidos, cobertos pela Resolução nº 20 do CONAMA. Foi feita uma análise retrospectiva, concluindo-se que, apesar da sua importância, a legislação não foi suficiente para alavancar o processo de controle da poluição hídrica. O autor apresentou a trajetória histórica da legislação da qualidade das águas do Brasil, os aspectos principais da Resolução e a comparação entre os padrões de alguns estados brasileiros. Comparou ainda os padrões de corpos d'água potencialmente utilizáveis para abastecimento com os padrões de potabilidade. Em função das considerações efetuadas, propôs que seja implementada a prática do escalonamento da qualidade, visando viabilizar a implantação gradual de sistemas de controle da poluição das águas.

Diversos autores, como pode ser constatado nesta revisão, têm-se preocupado com o problema da eutrofização e sua relação com a quantidade de nutrientes que

chegam aos corpos d'água, oriundos principalmente do despejo de esgotos domésticos e das atividades agropecuárias.

Outro índice importante para caracterizar a qualidade da água é a aferição do teor de matéria orgânica. Este é efetuado pela avaliação da DBO e por intermédio do carbono orgânico total (COT). Em águas superficiais, o teor de COT varia de 1 a 20 mgL<sup>-1</sup>, elevando-se até 1000 mg L<sup>-1</sup> em águas residuárias. Alterações neste parâmetro indicam fontes poluidoras, embora a Portaria 36/90, (Brasil, 1990) não o mencione (Libânio *et al.*, 2000).

O uso extensivo dos compostos de cloro como desinfetantes passou a conferir maior importância ao parâmetro COT, pois os ácidos fúlvicos, assim como a biomassa de algas verdes e azuis, são importantes precursores da formação de trihalometanos ao reagirem com o cloro livre presente na água. A partir do final da década de 1970 inseriu-se os trihalometanos como parâmetro de qualidade da água para consumo humano, em função das propriedades carcinogênicas dos mesmos. Diversos estudos epidemiológicos e toxicológicos realizados nos Estados Unidos comprovaram a correlação entre o emprego de compostos de cloro e as propriedades carcinogênicas dos subprodutos da desinfecção (Libânio *et al.*, 2000).

Outro problema atual diz respeito à degradação dos solos, devido à intensa intervenção antrópica em áreas de atividades agropecuárias. Os índices de sólidos totais, sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos nas águas superficiais têm aumentado consideravelmente.

Segundo CEPIS (2001), há diferenças consideráveis entre as quantidades permitidas de elementos na água para consumo humano. As Tabelas 3 e 4 comparam os índices de nitrato e de sólidos totais dissolvidos na água, para diversos países.

Tabela 3 Índices de nitrato permitidos em águas de abastecimento

Países	Nitrato (mgL <sup>-1</sup> )
México	até 5,0
BRASIL, Colômbia, Chile, Equador, Peru, Uruguai, USA, Austrália, África do Sul, Taiwan	até 10,0
Tailândia	até 18,0
Argentina, Indonésia, Guatemala, Canadá, República Dominicana	até 45,0
OMS(1995), Costa Rica, Nicarágua, União Econômica Européia, Reino Unido, Alemanha, Itália, Espanha	até 50,0

Fonte: CEPIS (2001)

Tabela 4 Índices de sólidos totais dissolvidos permitidos em águas de abastecimento

Países	Sólidos totais dissolvidos (mgL <sup>-1</sup> )
Canadá, USA, Taiwan, Tailândia	até 500
BRASIL, OMS, Bolívia, Costa Rica, Equador, Uruguai, Austrália	até 1000
Argentina, Indonésia, Guatemala, República Dominicana, União Econômica Européia, Reino Unido, Itália, Espanha	até 1500

Fonte: CEPIS (2001)

Fortes e Cunha (1995) e Von Sperling (1998) foram os únicos autores, entre os vários consultados, que citaram o índice limite de nitrogênio total em águas superficiais (10 mgL<sup>-1</sup>), encontrado na Constituição Estadual do Rio Grande do Sul. No geral, as legislações referem-se aos teores máximos de nitrogênio que pode estar presente nos corpos de água, nas formas amoniacal, nitrato e nitrito.

Conte (1999) caracterizou aspectos quantitativos e qualitativos das águas drenadas pela Bacia Experimental do Rio Pardo, em função do aumento na demanda de água gerada pelo crescimento urbano e de áreas irrigadas, bem como em função de fontes pontuais de poluição, representadas por lançamento de efluentes domésticos e industriais, e de fontes de origem difusa representadas pelas atividades agropecuárias da região. A autora verificou que grande parte das amostras coletadas apresentaram concentrações superiores ao máximo permitido de nitrogênio, embora em termos médios não tenham atingido o limite máximo. Com relação aos

sólidos totais em suspensão, os valores encontrados foram inferiores aos preconizados pela Legislação.

A população norte americana está preocupada com fontes difusas de poluição nas águas superficiais e subterrâneas. Estes aspectos são particularmente críticos nas planícies da Costa Leste, devido à pouca profundidade dos lençóis freáticos e à presença de inúmeros estuários. O problema, bem como as perdas econômicas, podem ser reduzidos se for utilizado um manejo adequado dos nutrientes incorporados ao solo. Isto acentua-se em bacias hidrográficas com concentrada produção animal, como a do rio Cape Fear, em Duplin County - Carolina do Norte. Stone *et al.*(1998<sup>a</sup>)trabalharam em projetos de qualidade da água nesta bacia hidrográfica, em uma fazenda produtora de suínos, que ampliou suas instalações, passando de 3300 a 14000 animais. O teor de nitrato na água subterrânea aumentou significativamente em três dos sete poços localizados nas imediações das áreas pulverizadas com resíduo animal e nas regiões ribeirinhas, alcançando teores maiores que  $10 \text{ mgL}^{-1}$ , limite para águas próprias para consumo. As concentrações de nitrato apresentaram-se mais elevadas nos meses mais frios e diminuíram nos meses mais quentes. O teor de amônia também aumentou, após a expansão do número de suínos. A concentração de nitrato na água dos poços não apresentou diferenças significativas nas épocas mais quentes, devido a alta capacidade de denitrificação do curso d'água e a presença da vegetação ribeirinha. Nas épocas mais frias, devido ao menor crescimento vegetativo e a menor denitrificação microbológica, a vegetação ripária não assimilou o aumento da carga poluidora. A vegetação ripária teve efeito significativo na capacidade de retenção de nutrientes, nos meses mais quentes, não afetando significativamente as águas superficiais e subterrâneas.

Stone *et al.* (1998<sup>b</sup>) mediram os níveis de nitrato na água subterrânea em dois locais da mesma bacia hidrográfica em Duplin County e avaliaram o modelo GLEAMS (groundwater loading effects of agricultural management systems) de simulação de nitrato em águas subterrâneas. Amostras de água subterrânea foram analisadas em um sistema de rotação de culturas (milho/trigo/soja) e em uma pastagem que recebeu resíduo líquido de suínos. A concentração de nitrato nas amostras de água variou de 6,5 mgL<sup>-1</sup> (rotação de culturas) a 80 mgL<sup>-1</sup> (pastagem com resíduo de suínos).

Stone *et al.* (1998<sup>c</sup>) monitoraram a água de 84 poços, no período de agosto de 1991 a março de 1993, na mesma bacia hidrográfica dos trabalhos anteriores. Em 74 % (62) dos poços a água apresentou níveis de nitrato inferiores a 10 mgL<sup>-1</sup>. Concentrações de nitrato entre 10 e 20 mgL<sup>-1</sup> foram encontradas em 19% (16) dos poços amostrados. Em 7% (6) dos poços a água apresentou níveis superiores a 20 mgL<sup>-1</sup> de nitrato. Os poços cujas águas apresentaram níveis superiores a 10 mgL<sup>-1</sup> de nitrato localizavam-se em fazendas que utilizavam água residuária de suínos, pulverizada sobre pastagens.

O objetivo principal do trabalho de Guimarães Júnior *et al.* (1998) foi o de avaliar o estado da qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Ibitinga, através da determinação de uma série de parâmetros limnológicos. Coletaram-se, durante o período de março de 1989 a março de 1992, amostras de água do reservatório em cinco diferentes pontos e três profundidades, analisando-as para os parâmetros temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, alcalinidade, transparência, nutrientes (nitrogênio e fósforo) e clorofila a. O reservatório não apresentou níveis críticos de eutrofização, embora tenha se observado uma acentuada tendência ao desenvolvimento do processo em função do tempo. Essa tendência seria decorrente das atividades agrícolas implantadas na bacia e de efluentes urbanos

lançados em seu reservatório, sobretudo provenientes de seus principais afluentes, o Jacaré-Pepira e o Jacaré-Guaçu.

Pionke *et al.* (1999) mostraram que a sazonalidade é importante quando se deseja determinar as amostragens para controle de exportação de nutrientes em bacias hidrográficas. Principalmente naquelas onde as condições climáticas, a produção de biomassa e o uso e manejo do solo mudam substancialmente de uma estação para outra, como em regiões temperadas. Os autores estudaram os efeitos da sazonalidade na exportação de nutrientes por um curso d'água, em uma microbacia agrícola de 7,3 km<sup>2</sup>, na Pensilvânia, no período de 1984 a 1996. As concentrações de fósforo dissolvido foram mais altas durante chuvas intensas (0,030 mgL<sup>-1</sup>), principalmente no verão (0,039 mgL<sup>-1</sup>). As concentrações de nitrato na água superficial variaram de 5,36 mgL<sup>-1</sup> a 7,12 mgL<sup>-1</sup> através das estações.

Nakagawa e Iwatsubo (2000), para determinar os processos e fatores responsáveis pela composição química de cursos d'água em regiões montanhosas, estabeleceram correlações entre as concentrações de solutos na água em 13 bacias hidrográficas florestadas (no Japão, sul da China e norte da Tailândia). Todas as bacias estudadas apresentavam condições climáticas distintas e os materiais de origem do solo também eram diferentes. A concentração de Na<sup>+</sup> na água superficial foi significativamente correlacionada com as concentrações de Cl<sup>-</sup> e de Si nas bacias hidrográficas próximas do mar. Em alguns locais a concentração de Si foi correlacionada com o Cl<sup>-</sup>, provavelmente refletindo as condições climáticas mais secas. Em outros locais, concentrações de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> na água foram inversamente correlacionadas com o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> sugerindo que nitrificação inibiu a descarga de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, enquanto denitrificação e absorção de nitrato pelo sistema radicular aumentaram-na. A alcalinidade foi devida principalmente ao HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e ácidos orgânicos. De acordo com a teoria do equilíbrio de troca iônica, a alcalinidade elevada

relacionou-se mais com cátions bivalentes ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) do que com o  $\text{Na}^+$ . Nas águas onde as concentrações de  $\text{SO}_4^{2-}$  e cátions bivalentes foram baixas, a alcalinidade relacionou-se com o  $\text{Na}^+$ , refletindo sua produção pelo intemperismo do solo.

Townsend e Douglas (2000) compararam a qualidade da água em rios, em uma savana tropical no norte da Austrália, sob três regimes de fogo:

- queima no início da estação seca (junho);
- queima no final da estação seca (setembro);
- sem queima.

Encontraram maiores concentrações de sedimentos totais em suspensão, sedimentos voláteis em suspensão, N, P, Fe e Mn, no curso d'água que passou por queima no final da estação seca. O nitrogênio foi o nutriente mais perdido com a queima, pois grandes quantidades são volatilizadas e perdidas para a atmosfera. Em contraste, o fósforo perdido para a atmosfera com as cinzas das queimadas, retornou pela precipitação.

Para Worrall e Burt (2001), os níveis de nitrato em águas de bacias hidrográficas agricolamente utilizadas continua a aumentar, principalmente em países desenvolvidos. De acordo com a EC, 1991, esse nível não deve exceder  $11,3 \text{ mgL}^{-1}$ . Neste estudo, os autores mostram que é possível estimar a quantidade máxima de pastagem que pode ser removida em um ano, mantendo as reservas de nitrogênio no solo e minimizando sua contribuição para a exportação deste nutriente.

Pesquisas dos aspectos sedimentológicos de uma bacia hidrográfica têm maior importância hoje devido aos problemas resultantes da atividade humana no uso dos solos. Características dessa erosão vão desde a exaustão dos solos agrícolas até a sedimentação de canais fluviais, com restrição à navegação e perda da vida útil dos reservatórios. O assoreamento

dos canais de drenagem, especificamente aqueles de bacias hidrográficas urbanizadas, por provocar a redução da capacidade de escoamento da água, é uma das causas das inundações registradas nos grandes centros urbanos. Deslizamentos de terra, de causas naturais ou antrópicas, estão presentes nas áreas mais elevadas de uma bacia, enquanto as áreas mais planas têm apresentado processos de desertificação. Como grande parte do sedimento erodido numa área de drenagem vai com o escoamento das águas de chuva para as calhas dos rios, a produção de sedimentos, o assoreamento, o rebaixamento do leito dos rios, bem como outros fenômenos afins são estudados pela medição da carga sólida dos cursos d'água da bacia. Alguns reservatórios destinados à geração de energia elétrica no Brasil apresentam volumes de sedimentos que estão provocando reflexos consideráveis na sua manutenção, como o reservatório da usina Mascarenhas - ES. Outros estão sendo abandonados por serem economicamente inviáveis em termos de geração de energia elétrica. Entretanto, o monitoramento está sendo reduzido pela diminuição, em qualidade e quantidade, dos postos sedimentométricos, devido ao custo de operação destes (Carvalho, 1994; Henklein e Coiado, 1999).

Um diagnóstico sedimentológico da bacia hidrográfica do rio São Francisco foi realizado por Carvalho (1995), que comparou os valores de altura de degradação em várias bacias hidrográficas do mundo com valores de postos sedimentométricos no rio São Francisco. A Tabela 5 apresenta os resultados.

Diversas curvas de massa, apresentando o somatório da produção de sedimentos em relação ao somatório da vazão correspondente, mostraram que um aumento da carga sólida do rio está ocorrendo, traduzindo o aumento de erosão na bacia. Mesmo tendo outras causas que influenciam o fenômeno, provavelmente o aumento da população e o maior uso da terra têm contribuído (Carvalho, 1995).

Tabela 5 Alturas de degradação do solo ou erosão líquida em diversas bacias hidrográficas

Curso d'água	País	Descarga sólida total (t.ano <sup>-1</sup> )	Altura de degradação do solo (mm.ano <sup>-1</sup> )
Lo	China	1,9.10 <sup>8</sup>	4,18
Ching	China	4,01.10 <sup>8</sup>	4,09
Amarelo	China	1,9.10 <sup>9</sup>	1,60
Ganges	Índia	1,45.10 <sup>9</sup>	0,37
Bramaputra	Bangladesh	7,26.10 <sup>8</sup>	0,62
Vermelho	Vietnam	1,3.10 <sup>8</sup>	0,62
Yangtze	China	4,99.10 <sup>8</sup>	0,15
Colorado	EUA	1,35.10 <sup>8</sup>	0,12
Mekong	Tailândia	1,7.10 <sup>8</sup>	0,12
Mississipi	EUA	3,12.10 <sup>8</sup>	0,06
Amazonas	Brasil	3,63.10 <sup>8</sup>	0,04
Nilo	Egito	1,11.10 <sup>8</sup>	0,02
São Francisco (Pirapora)	Brasil	8,4.10 <sup>6</sup>	0,08
São Francisco (Manga)	Brasil	2,1.10 <sup>7</sup>	0,07
São Francisco (Morpará)	Brasil	3,2.10 <sup>7</sup>	0,04

Fonte: adaptado de OEA/PLANVASF,1986, citado por Carvalho (1995).

Paiva *et al.* (1995) apresentaram a metodologia utilizada para a avaliação da contribuição de sedimentos da bacia do riacho Logradouro e sua distribuição no Braço de Assunção, do rio São Francisco, onde está projetada a estação elevatória São Francisco I, do projeto de transposição das águas do rio São Francisco. Os resultados permitiram estimar que sob as condições simuladas: a produção anual de sedimentos da bacia do riacho Logradouro corresponde a  $9,58.10^4$  t ou uma lâmina de  $0,28 \text{ m.ano}^{-1}$ ; o total depositado de material com diâmetro maior que 0,1 mm será de  $1,98.10^4 \text{ t.ano}^{-1}$ , correspondendo a 17,4% do total afluente ao trecho; passarão pelo vertedouro aproximadamente  $3,96.10^4 \text{ t.ano}^{-1}$  de sedimentos com diâmetro inferior a 0,1 mm, correspondendo a 35% do total afluente ao trecho.

Russel *et al.* (2001) mostraram que o aumento de sedimentos nas águas superficiais pode prejudicar os ecossistemas aquáticos, reduzindo a penetração de luz, obstruindo a vegetação aquática e diminuindo a qualidade da água. Os sedimentos em suspensão também têm se mostrado um importante vetor para o transporte de nutrientes, metais pesados e

contaminantes orgânicos. Os autores estudaram as fontes de sedimentos em suspensão nos cursos d'água de duas microbacias cultivadas ( $< 4 \text{ km}^2$ ), ambas sob drenagem, no Reino Unido. Os drenos contribuíram com 27 a 55% do total de sedimentos em suspensão nas águas. A erosão das margens contribuiu com cerca de 10% dos sedimentos. As fontes superficiais contribuíram com 34 a 65% dos sedimentos em suspensão.

Durante sete anos Picouet *et al.* (2001) monitoraram o transporte de sedimentos do rio Niger, estudando as relações entre a concentração de sedimentos em suspensão e a descarga do rio, no período de enchentes. Os autores testaram dois modelos matemáticos. O primeiro modelo utilizou duas relações: uma para o estágio de ascensão das hidrógrafas e outra para o estágio de recessão. O segundo modelo supôs que o fluxo observado de sedimentos no rio originou-se de duas fontes, por eles denominadas de reservatórios. A primeira, limitada no tempo, representava a erosão das áreas mais elevadas, observada durante o escoamento superficial. A segunda, ilimitada em tempo e quantidade, representava a contribuição da erosão das margens e a movimentação de depósitos no leito do rio.

Mato Grosso do Sul (2000) analisou 41 parâmetros e indicadores de qualidade das águas da microbacia do rio Dourados, em 10 locais distintos. Em nenhum dos locais os níveis de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito e sólidos totais dissolvidos atingiram os limites preconizados pela Resolução nº 20 – CONAMA. O rio Dourados apresentou, de maneira geral, um perfil de qualidade boa, alcançando, em alguns pontos, a qualidade ótima. Um dos pontos analisados, a montante da captação de água pela SANESUL em Dourados, é o local onde o córrego Curral do Arame encontra as águas do rio Dourados.

Segundo cadastramento realizado por Mato Grosso do Sul (2000), além das áreas de lavoura e de pastagem, as terras drenadas pelo córrego Curral do Arame comportam duas aviculturas e um depósito de prensagem de embalagens.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Descrição da área de estudo**

A microbacia experimental do córrego Curral do Arame, tributário do rio Dourados e objeto deste estudo, abrange terras do município de Dourados, situado geograficamente a 22°14'S, 54°49'W e 450 m de altitude média, na região sul do estado de Mato Grosso do Sul (SGE, 1969). Segundo o critério introduzido por Horton e modificado por Strahler (1964), citados por Villela e Mattos (1975), o córrego Curral do Arame é formado por duas nascentes intermitentes e por não possuir tributários, é classificado como rio de primeira ordem. Desde sua nascente até receber o córrego São Lourenço, aproximadamente 3,5 km de distância, formam um curso d'água de segunda ordem, com a mesma denominação de Curral do Arame. O Curral do Arame constitui-se em um tributário do rio Dourados, que une-se ao rio Brilhante. O rio Brilhante, após receber outros tributários, dá lugar ao rio Ivinhema, que desemboca no rio Paraná.

O rio Dourados é de suma importância para o município de Dourados, pois suas águas superficiais abastecem 75% da população urbana do município. Os principais

usos da água do rio Dourados são: abastecimento público; irrigação; dessedentação de animais; recepção e diluição de efluentes líquidos industriais e de esgoto sanitário; uso industrial (Ayres, 2000).

As Figuras 2, 3 e 4, imagens do satélite LANDSAT-7, com precisão de 12,5 m x 12,5 m, composição colorida das bandas 3, 4 e 5, obtidas em abril de 2001, apresentam a área experimental da microbacia do córrego Curral do Arame inserida em uma grande área da bacia do rio Dourados.

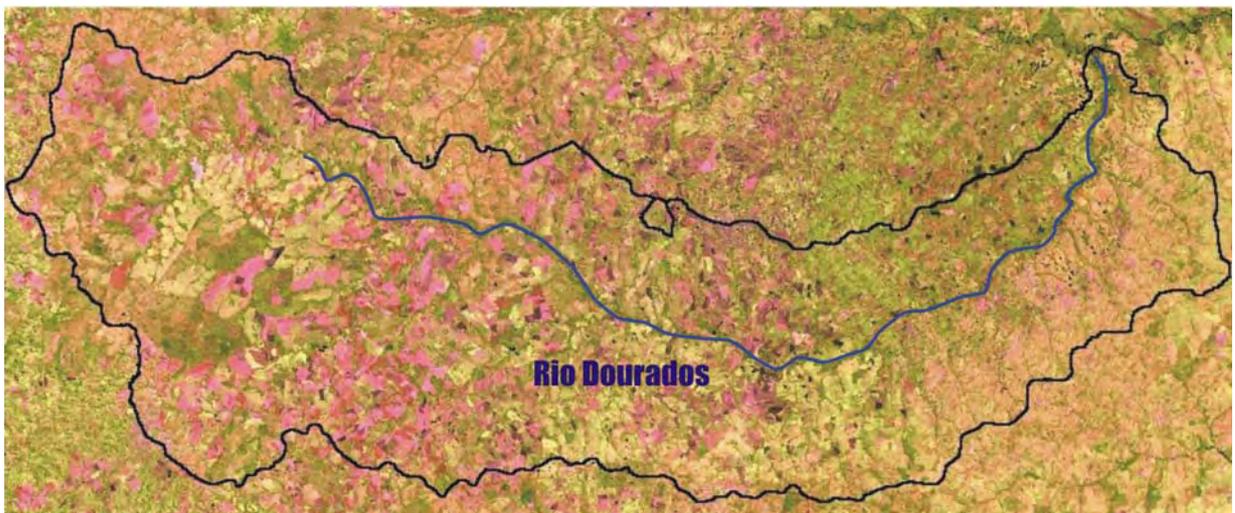


Figura 2 Microbacia do córrego Curral do Arame e sua localização dentro da bacia do rio Dourados.

Na Figura 2, o divisor de águas da bacia hidrográfica do rio Dourados está representado pelo traço preto.

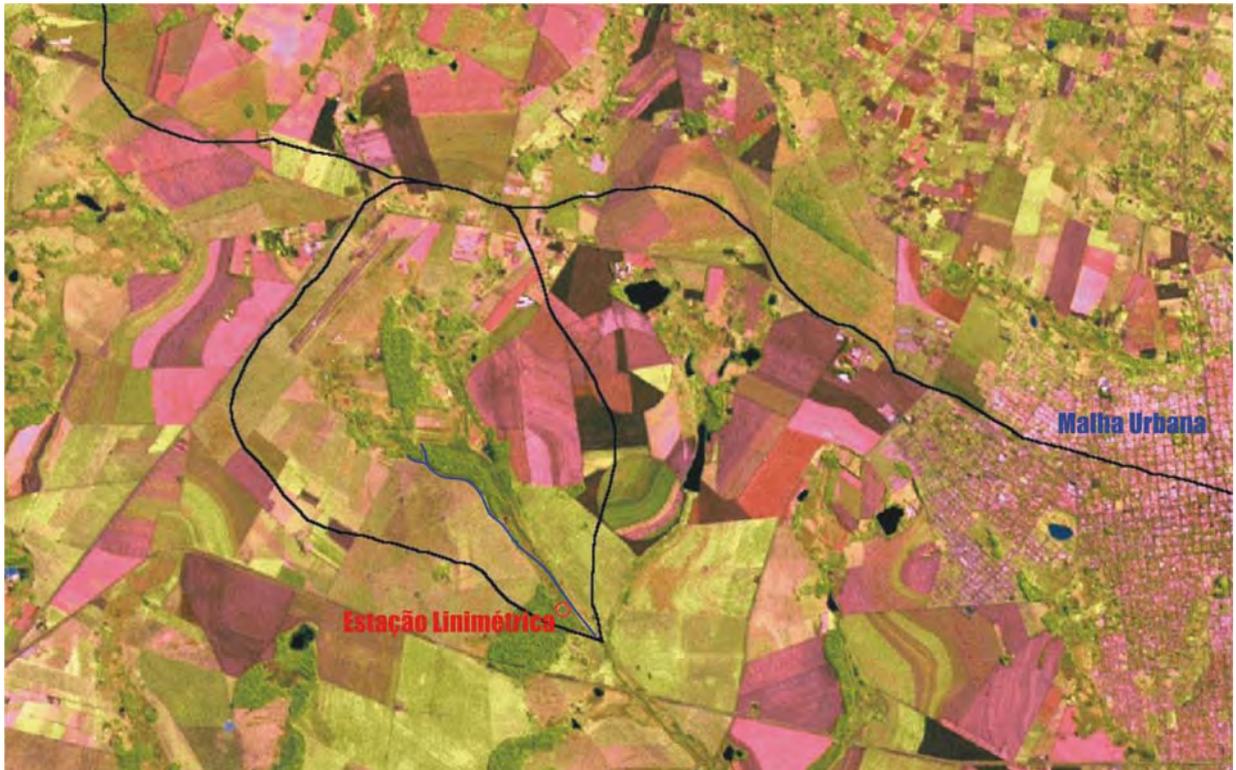


Figura 3 Detalhe da área experimental e sua proximidade da malha urbana de Dourados.

O local escolhido para estudo compreende um trecho do córrego Curral do Arame, desde a sua nascente até um ponto antes deste receber as águas do córrego São Lourenço. O Quadro 1 mostra algumas características físicas do trecho estudado da microbacia, calculadas de acordo com Villela e Mattos (1975).

O solo predominante na microbacia é o Latossolo Vermelho distroférico, textura muito argilosa. Na área experimental o solo é um Gleissolo Háptico, textura muito argilosa (Embrapa, 1999). A análise textural do Gleissolo Háptico, realizada segundo Embrapa (1997), encontra-se no Quadro 2.



Figura 4 Área experimental da microbacia do córrego Curral do Arame.

Quadro 1 Características físicas da microbacia do córrego Curral do Arame

<b>Características físicas</b>	<b>Curral do Arame</b>
Área (km <sup>2</sup> )	18,4
Perímetro (km)	18,2
Comprimento do canal principal (km)	3,5
Índice de compacidade	1,19
Fator de forma	1,5
Densidade de drenagem (km km <sup>-2</sup> )	0,19
Sistema de drenagem (ordem)	1 <sup>a</sup>
Declividade média da bacia (%)	2,2
Declividade total do curso principal (%)	1,43
Tempo de concentração da bacia (minutos)	54

Quadro 2 Análise textural do Gleissolo drenado pelo córrego Curral do Arame

<b>TEXTURA (%)</b>	
Argila	64
Silte	25
Areia grossa	3
Areia fina	8

As pastagens, que representam a vegetação predominante na área experimental, estão em grande parte degradadas. Como pode ser observado nas Figuras 2, 3 e 4 a microbacia do Curral do Arame mantém parte da vegetação original, constituída pela fitofisionomia da Floresta Estacional Semidecidual. Esta cobertura vegetal predominava ao sul da bacia do rio Paraná, a partir das imediações da cidade de Dourados e numa faixa ao longo do rio Paraná até a altura de Bataguassu. Também se prolongava por meio dos vales de muitos cursos d'água do lado oeste da bacia do rio Paraná (Mato Grosso do Sul, 2000).

O clima local caracteriza-se como quente e úmido no verão e ameno e seco no inverno, com possibilidade de ocorrência de geadas. A precipitação média anual é de 1400 mm e as temperaturas médias variam de 18°C a 25°C nos meses mais frio e mais quente, respectivamente (Lazarotto, 2000)<sup>1</sup>.

A Figura 5 apresenta a rede hidrográfica do município de Dourados, com destaque para o rio Dourados e seus tributários.

---

<sup>1</sup> LAZAROTTO, C. Informação pessoal: dados meteorológicos. Dourados: Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2000.



## 5.2 Hidrometria

Com a finalidade de registrar continuamente a variação do nível da água em uma secção do córrego Curral do Arame, foi instalada uma estação hidrométrica com o emprego de um linígrafo modelo LNG-9, da Hidrologia S.A., conforme Figura 6. O linígrafo tinha autonomia de 7 dias e foi instalado na escala 1:5, além de uma régua linimétrica de referência. O local escolhido para instalação do linígrafo foi a jusante de um vertedor simples retangular, contraído quanto à sua largura relativa, já existente no córrego Curral do Arame, em área da Fazenda São Marcos. Optou-se pela utilização do vertedor, devido à dificuldade de instalação de uma calha Parshall no córrego.



Figura 6 Linígrafo modelo LNG-9 utilizado no experimento.

A montante do vertedor, seguindo especificação de Azevedo Netto e Alvarez (1988), instalou-se uma régua linimétrica para medida da altura de água, que posteriormente foi utilizada para o cálculo da vazão. A régua foi nivelada com a soleira do vertedor e travada. Por ser um vertedor contraído, utilizou-se a Equação 1, proposta por Francis, para cálculo da vazão :

$$Q = 1,838.(L - 0,2.H).H^{3/2} \quad (1)$$

Sendo,

Q= vazão, em  $m^3s^{-1}$

L= largura do vertedor, em m

H= altura do nível da água, em m

A vazão calculada originou a curva-chave que se encontra na Figura 7.

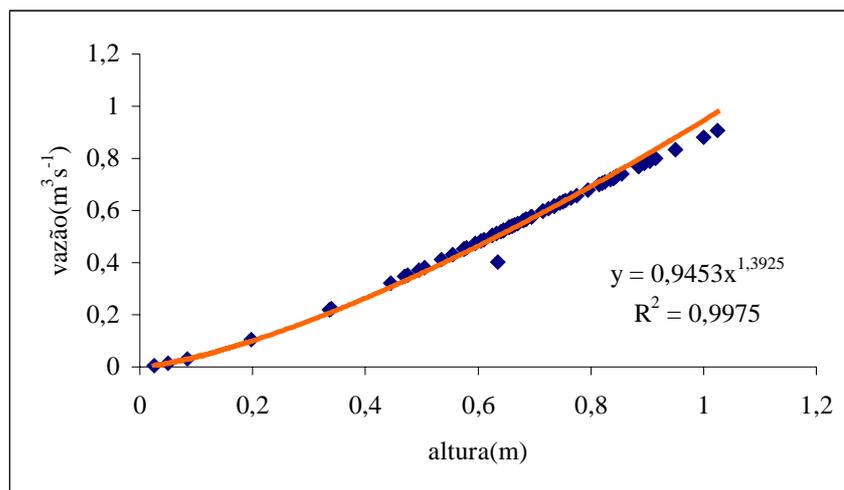


Figura 7 Curva chave do córrego Curral do Arame.

As leituras da régua instalada na estação hidrométrica foram correlacionadas com as leituras da régua a montante do vertedor. A partir desta correlação e com os dados de vazão calculados a partir da Equação 1, obteve-se uma equação de regressão exponencial, utilizada para calcular os volumes de água superficial e de água subterrânea obtidos nos hidrogramas, para cada evento de precipitação pluviométrica.

Os registros dos hidrogramas selecionados para análise foram obtidos no período de novembro de 1999 a dezembro de 2000. Neste período foram obtidos 43 hidrogramas, sendo alguns compostos. Entre os hidrogramas obtidos durante o período experimental foram selecionados 20 hidrogramas simples.

As precipitações que geraram os hidrogramas foram medidas em um pluviômetro localizado a 500 m da área experimental, na Fazenda São Marcos, que coleta dados pluviométricos há 5 anos.

A Figura 8 apresenta o exemplo de um hidrograma característico, gerado por uma precipitação com descarga em função do tempo. Os parâmetros característicos de um hidrograma são:

$T_c$ = tempo de concentração, dado pelo tempo entre o término da precipitação efetiva e o término do escoamento superficial.

$T_b$ = tempo de base do hidrograma, dado pela soma dos tempos de elevação e de recessão da hidrógrafa,  $T_b = T_p + T_r$ .

$T_p$ = diferença em horas do início do escoamento até o pico máximo da hidrógrafa.

$T_r$ = tempo de recessão da hidrógrafa, dado pelo tempo entre o pico máximo do hidrograma e o término do escoamento total produzido pelo evento.

$L$  = tempo lag, ou intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o pico da hidrógrafa resultante.

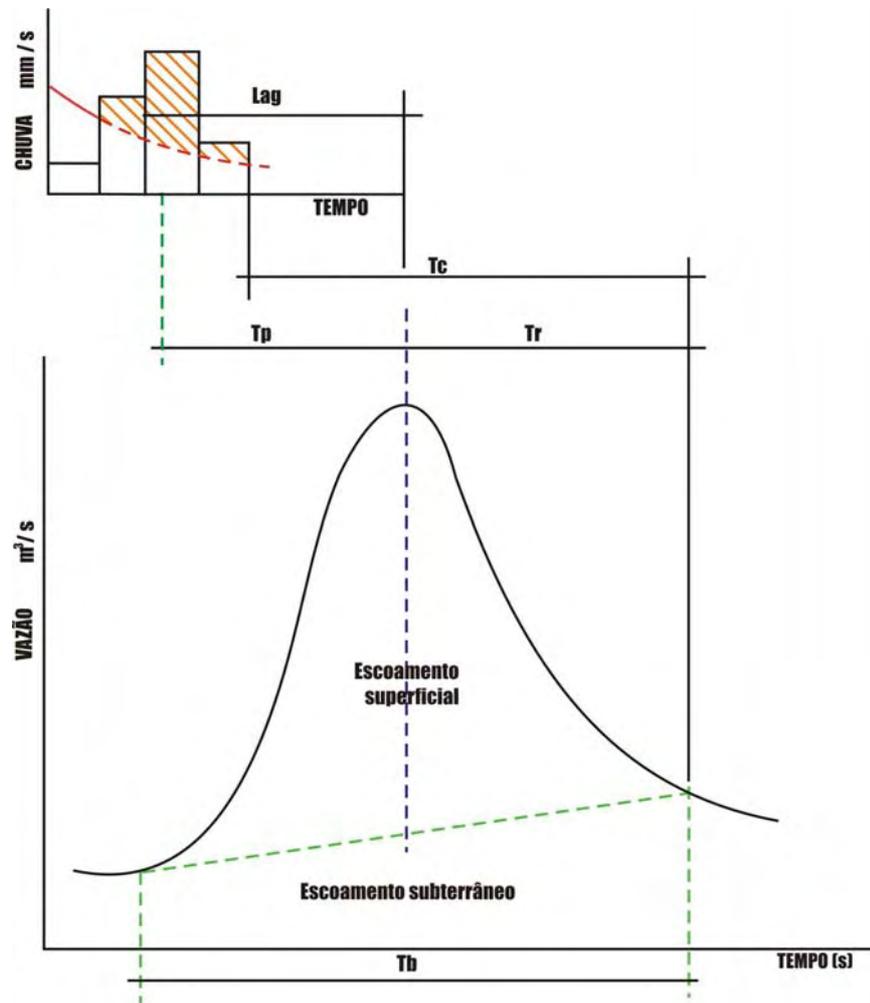


Figura 8 Hidrograma característico.

O programa computacional SPLAN, desenvolvido no Centro de Informática na Agricultura (CINAG), na Fazenda Experimental Lageado-UNESP, foi utilizado para analisar os dados dos hidrogramas, com o auxílio da mesa digitalizadora da DIGICON-MDD 18/2. O programa SPLAN permitiu a obtenção da área ( $\text{cm}^2$ ) de cada hidrograma, previamente dividido em escoamento superficial e escoamento subterrâneo ou de base.

Posteriormente, os dados de área foram convertidos em vazão média ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), vazão de pico ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), volume de escoamento superficial ( $\text{m}^3$ ) e volume de escoamento subterrâneo ( $\text{m}^3$ ), utilizando a equação obtida com a correlação entre as réguas linimétricas instaladas a montante e a jusante do vertedor.

### **5.3 Aspectos qualitativos analisados**

Em dois locais previamente determinados do córrego em estudo, os pontos 1 e 2, foram coletadas amostras de água superficial, com frequência semanal, durante o período de setembro de 2000 a setembro de 2001. O ponto 1 localizava-se 2 metros a montante do vertedor, conforme Figura 9. O ponto 2 localizava-se aproximadamente 35 metros a jusante do vertedor, conforme Figura 10.

Apesar da frequência de coleta ser semanal, nem todos os dados foram utilizados.



Figura 9 Aspecto geral do ponto 1, a montante do vertedor.

Na Figura 9 pode-se observar o vertedor retangular e a régua linimétrica utilizados no experimento.



Figura 10 Aspecto geral do ponto 2, a jusante do vertedor.

No momento da coleta das amostras foi verificada a temperatura da água, por meio de termômetro de mercúrio com escala de  $-10^{\circ}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ , graduação de  $0,2^{\circ}\text{C}$ .

No Laboratório de Bioquímica do Núcleo Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul foram determinadas as seguintes variáveis:

-Potencial hidrogeniônico (pH): a leitura do pH das amostras foi realizada em pH-metro da marca Micronal, modelo B 374.

-Nitrogênio total: pelo método micro Kjeldahl, segundo Embrapa (1997).

As amostras de água destinadas ao cálculo de nitrogênio total foram acidificadas e mantidas sob refrigeração até o momento da análise.

-Sólidos totais, sólidos em suspensão e sólidos totais dissolvidos: determinados pelo método gravimétrico, de acordo com a NBR 10664 da ABNT (1989).

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Como já ressaltado, o presente trabalho visa fornecer subsídios ao planejamento do uso da água e gerenciamento da microbacia hidrográfica do córrego Curral do Arame, importante tributário do rio Dourados, referentes ao aspecto quantitativo e algumas variáveis qualitativas de suas águas.

### **6.1 Dados pluviométricos**

Os dados de precipitação obtidos na área experimental, no período de setembro de 1999 a setembro de 2001 encontram-se na Figura 11. Os Quadros 3 e 4 apresentam as precipitações diárias no mesmo período, com o intuito de mostrar a sua distribuição irregular na região estudada.



Quadro 4 Precipitação (mm) registrada na microbacia experimental, no período de outubro de 2000 a setembro de 2001

Datas	2000												2001				
	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set					
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	60	-	-	-	22	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	40	42	10	50	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	25
14	-	-	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	30	-	-	-	40	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	110	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50
22	-	-	-	-	-	-	-	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	20	23	-	-	23	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	20	35	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40
26	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	20	-	-	-	-	-	-	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	73	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-
29	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>70</b>	<b>103</b>	<b>326</b>	<b>56</b>	<b>213</b>	<b>150</b>	<b>60</b>	<b>108</b>	<b>52</b>	<b>27</b>	<b>30</b>	<b>115</b>					

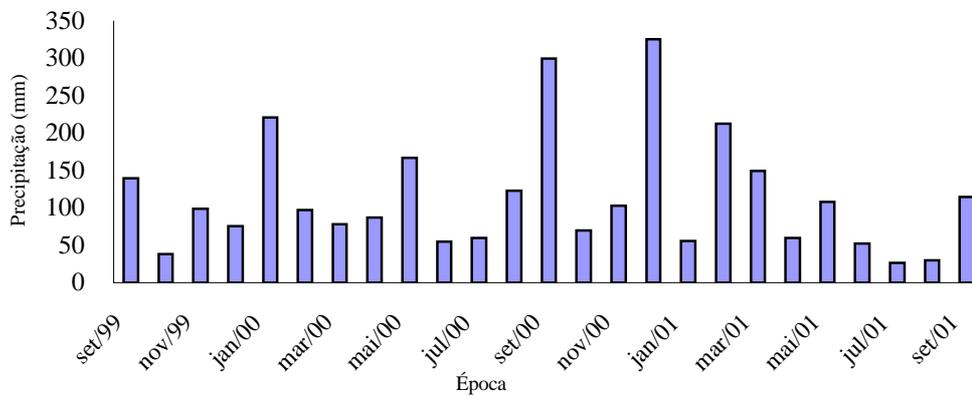


Figura 11 Precipitação registrada na microbacia do córrego Curral do Arame, no período de setembro de 1999 a setembro de 2001.

A precipitação no período de estudo, de setembro de 1999 a setembro de 2001 totalizou 2850,6mm. A média anual em Dourados, como já referenciado, é de 1400mm (Lazarotto, 2000). Entretanto, na área experimental, no ano de 2000, ocorreu um total de 1686,6mm de precipitação, com distribuição irregular e apenas 45 dias com chuva. Segundo classificação de Zavatini (1992), este ano pôde ser considerado chuvoso para Dourados, com padrão não habitual das épocas em que ocorreram as precipitações.

## 6.2 Aspectos quantitativos

Devido à importância do rio Dourados no abastecimento de água para a cidade de Dourados, são necessárias medidas quantitativas de seus tributários, objetivando o melhor aproveitamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

De acordo com Ayres (2000), o sistema de abastecimento público em Dourados é misto, com captação subterrânea e superficial. O rio Dourados, onde é captada a água

para abastecimento, tem capacidade de vazão mínima de  $28 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e máxima de  $56 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Com esta vazão pode-se abastecer uma população de 800000 habitantes, sem prejudicar o volume a jusante. Entretanto, se a população do município de Dourados e o consumo de água mantiverem os índices atuais de crescimento, o autor prevê que a capacidade máxima de utilização da Estação de Tratamento de Água (ETA) será atingida a partir de 2003.

A Figura 12 apresenta os dados de precipitação, no período de setembro de 1999 a dezembro de 2000, e de vazão, no período de novembro de 1999 a dezembro de 2000, na área experimental. A vazão foi calculada a partir dos dados de altura de água da régua linimétrica instalada a montante do vertedor e com a Equação 1.

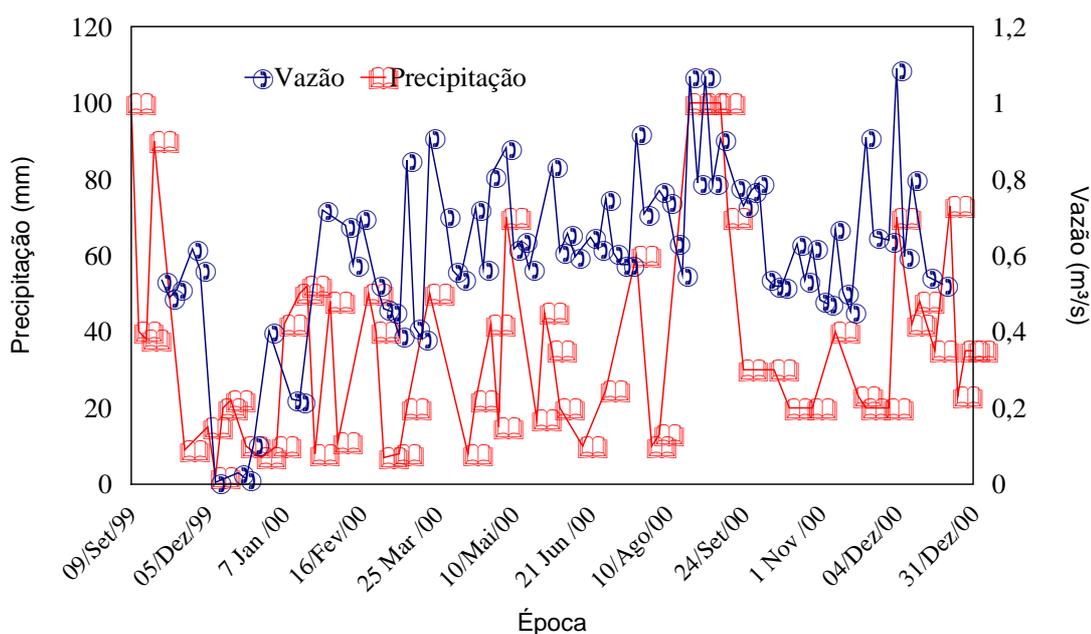


Figura 12 Representação da precipitação e da vazão calculada para a microbacia do córrego Curral do Arame.

A vazão na microbacia do córrego Curral do Arame apresentou grande variação durante o decorrer do experimento. A menor vazão determinada ocorreu em 22 de dezembro de 1999 ( $0,014 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) e a maior vazão ocorreu em quatro de dezembro de 2000 ( $1,09$

$\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ), após precipitação de 70 mm. Em 27 de agosto de 2000 e primeiro de setembro de 2000, as vazões alcançaram índice de  $1,07 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , após precipitações de 100mm. Como o tempo de concentração da microbacia é de 54 minutos, o índice de compacidade é 1,19 e a densidade de drenagem é 0,19 (Quadro 1), entende-se a tendência da microbacia em ser mais susceptível a enchentes. O solo da microbacia apresenta uma textura muito argilosa (Quadro 2), diminuindo a taxa de infiltração de água no solo. Estas considerações estão de acordo com Villela e Mattos (1975), Leopoldo (1986) e Wanielista *et al.* (1997).

A partir da correlação das leituras da régua linimétrica a montante do vertedor e da régua instalada na estação hidrométrica (ao lado do linígrafo e a jusante do vertedor), obteve-se uma equação de regressão exponencial. A Equação 2 e a Figura 13 apresentam a correlação obtida.

$$Q = 0,326 \text{ Ln}(h) + 1,1796 \quad (2)$$

$$R^2 = 0,9456$$

Sendo,

Q= vazão, em  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$

h= altura do nível da água a jusante do vertedor, em m

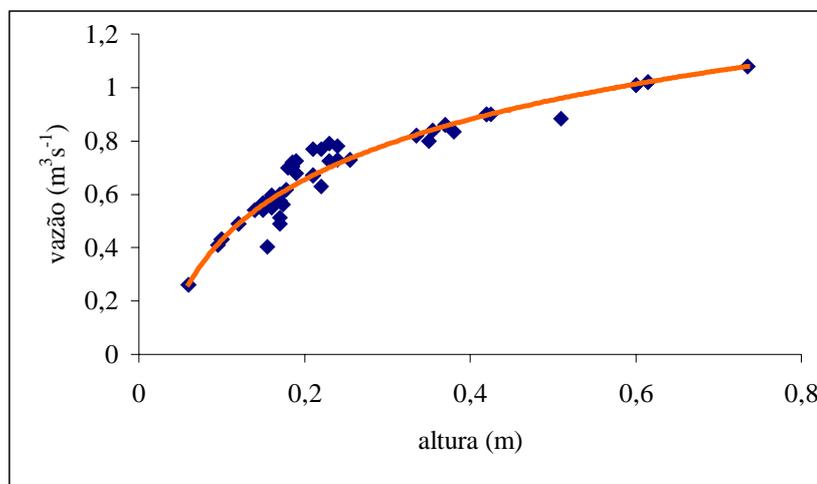


Figura 13 Curva chave do córrego Curral do Arame, a jusante do vertedor.

Com a obtenção da Equação 2 pôde-se calcular, para os hidrogramas selecionados, os volumes de água superficial e de água subterrânea.

Os registros dos 20 hidrogramas simples selecionados para análise foram obtidos no período de novembro de 1999 a dezembro de 2000. O Quadro 5 apresenta os valores obtidos para os hidrogramas analisados. Neste quadro são mostrados os valores das precipitações que geraram os hidrogramas, o tempo de base das hidrógrafas, o volume total escoado, o volume de água superficial (escoamento superficial), o volume de água subterrânea (escoamento subterrâneo), a vazão média e a vazão de pico.

No Quadro 5 observam-se os valores máximos encontrados de volume total escoado, escoamento superficial e escoamento subterrâneo que foram 189664 m<sup>3</sup>, 117666 m<sup>3</sup> e 75836 m<sup>3</sup>, respectivamente. Estes valores ocorreram após precipitações de 100mm, nos dias 27 de agosto de 2000 e primeiro de setembro de 2000. Os valores mínimos encontrados de volume total escoado, escoamento superficial e escoamento subterrâneo foram 14385 m<sup>3</sup>, 5675 m<sup>3</sup> e 8710 m<sup>3</sup>, respectivamente, após uma precipitação de 8mm, em três de março de 2000.

Os valores médios, no período estudado, de vazão média, vazão de pico, volume escoado, volume escoado superficialmente e volume escoado subterraneamente foram  $0,32 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ,  $0,69 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ,  $62366,65 \text{ m}^3$ ,  $36142,30 \text{ m}^3$  e  $26224,35 \text{ m}^3$ , respectivamente.

Do volume total escoado, 58% foi relativo ao escoamento superficial e 42% ao escoamento subterrâneo. A maior parcela do volume total escoado foi proveniente do escoamento superficial, provavelmente devido à textura muito argilosa do solo da microbacia.

Quadro 5 Representação dos valores obtidos para os hidrogramas analisados

Data do evento	Precipitação (mm)	Tempo de Base (horas)	Vazão média ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )	Vazão de pico ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )	Volume total escoado ( $\text{m}^3$ )	Escoamento superficial ( $\text{m}^3$ )	Escoamento subterrâneo ( $\text{m}^3$ )
11/12/99	20,0	18	0,49	0,90	53.994	31.749	22.245
28/02/00	7,0	32	0,15	0,41	27.865	17.042	10.823
03/03/00	8,0	18	0,09	0,26	14.385	5.675	8.710
06/03/00	20,0	24	0,39	0,82	46.430	33.410	13.020
24/03/00	50,0	35	0,33	0,86	82.175	42.059	40.116
27/04/00	42,0	36	0,35	0,73	80.995	45.258	35.737
03/06/00	20,0	28	0,13	0,43	45.143	13.416	31.727
30/06/00	24,6	23	0,25	0,67	43.394	20.540	22.854
22/07/00	60,0	27	0,51	0,84	91.864	49.937	41.927
27/08/00	100,0	48	0,68	1,02	189.664	117.666	71.998
01/09/00	100,0	46	0,61	1,01	177.108	101.272	75.836
24/09/00	30,0	26	0,23	0,67	41.958	21.611	20.347
16/10/00	30,0	11	0,19	0,43	16.451	7.331	9.120
24/10/00	20,0	28	0,18	0,56	42.253	17.747	24.506
27/10/00	20,0	28	0,18	0,54	36.697	17.787	18.910
13/11/00	40,0	28	0,24	0,60	43.152	24.453	18.699
24/11/00	23,0	29	0,39	0,90	54.493	40.848	13.645
25/11/00	20,0	18	0,22	0,57	27.648	14.170	13.478
29/11/00	20,0	18	0,19	0,49	23.682	12.209	11.473
04/12/00	70,0	37	0,66	1,08	107.982	88.666	19.316
<b>TOTAL</b>	<b>724,6</b>				<b>1.247.333</b>	<b>722.846</b>	<b>524.487</b>

Dentre os autores consultados, Ribolzi *et al.*(2000) e Nichols e Verry (2001) chegaram a resultados semelhantes, encontrando maior contribuição do escoamento superficial na formação do volume total escoado. Estes autores trabalharam em locais com solos mais argilosos.

Leopoldo *et al.* (1988) e Ladouche *et al.* (2001) trabalharam com traçadores e os resultados obtidos mostraram maior contribuição do escoamento subterrâneo na formação do volume total escoado. Solos mais arenosos compunham as microbacias estudadas por estes autores.

Microbacias hidrográficas semelhantes ou enquadradas sob uma mesma classificação global de clima-vegetação nem sempre apresentam um mesmo comportamento hidrológico. Lopes *et al.* (1999) e Berger e Entekhabi (2001) foram alguns dos pesquisadores que mostraram a grande variabilidade que ocorre no comportamento hidrológico de microbacias consideradas semelhantes.

### **6.3 Aspectos qualitativos**

Com relação à qualidade da água, foram analisadas as variáveis temperatura da água, pH, nitrogênio total, sólidos em suspensão e sólidos totais dissolvidos .

As variações verificadas na temperatura da água exercem influência direta em organismos aquáticos e no teor de gases dissolvidos na água, principalmente o oxigênio e o gás carbônico. Para a maioria dos corpos de águas naturais, o valor do pH é influenciado pela concentração de íons  $H^+$  originado da dissociação do ácido carbônico, um dos responsáveis pela sua acidez. O pH das águas também pode ser alterado pelo despejo de efluentes domésticos e

industriais, intemperismo de rochas, decomposição de matéria orgânica e erosão de áreas agrícolas, onde são utilizados corretivos e fertilizantes (Conte, 1999).

O Quadro 6 e as Figuras 14 e 15 apresentam os valores de temperatura da água e de pH, em dois pontos da microbacia do córrego Curral do Arame, no período de setembro de 2000 a setembro de 2001.

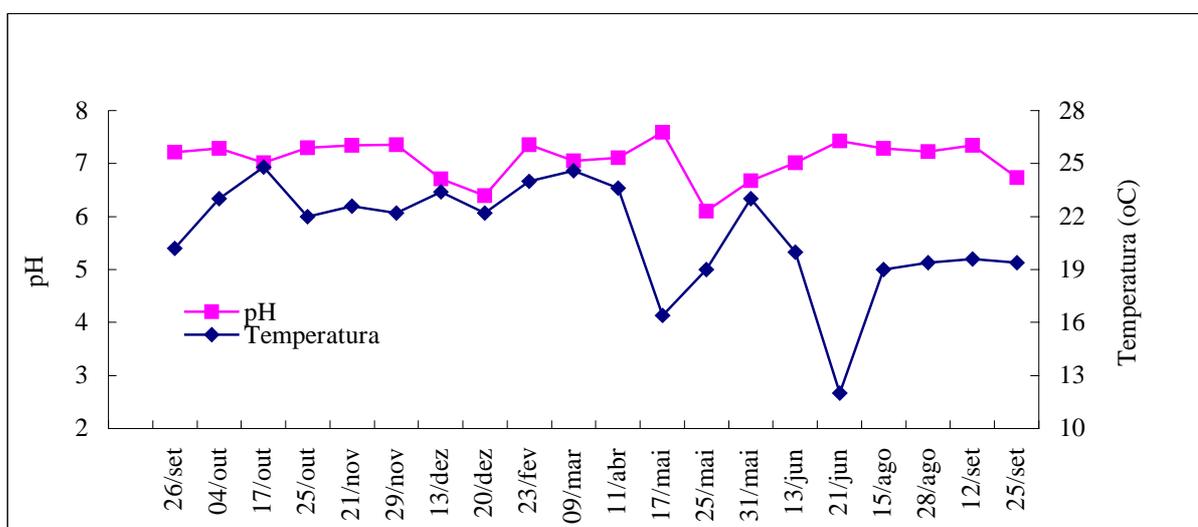


Figura 14 Temperatura da água e pH no ponto de amostragem 1.

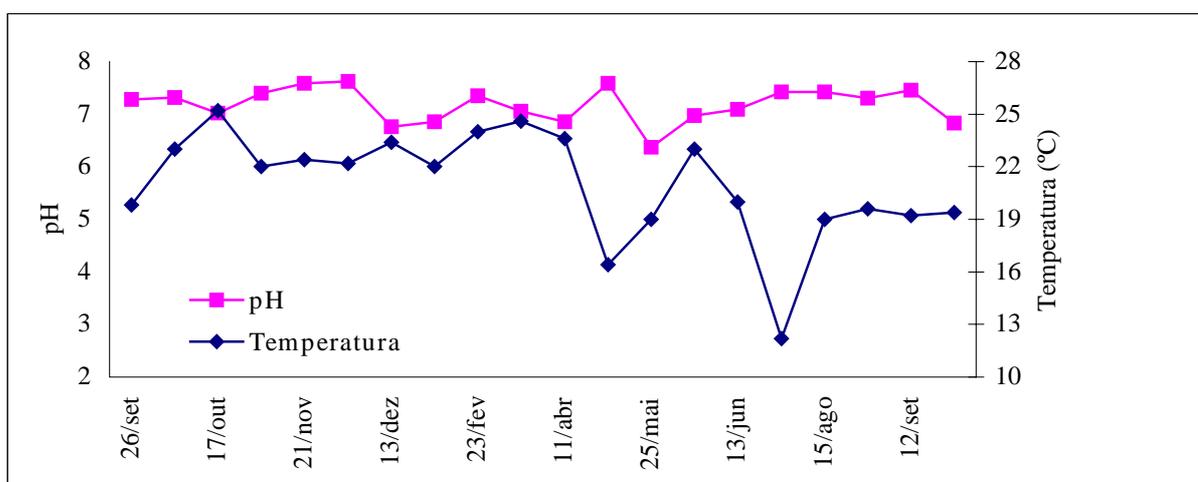


Figura 15 Temperatura da água e pH no ponto de amostragem 2.

Quadro 6 Valores de temperatura da água e de pH nos pontos de amostragem 1 e 2

Época	Local 1		Local 2	
	pH	T(°C)	pH	T(°C)
26/09	7,22	20,2	7,28	19,8
04/10	7,28	23,0	7,31	23,0
17/10t	7,02	24,8	7,02	25,2
25/10	7,30	22,0	7,40	22,0
21/11	7,34	22,6	7,59	22,4
29/11	7,35	22,2	7,62	22,2
13/12	6,71	23,4	6,76	23,4
20/12	6,40	22,2	6,85	22,0
23/02	7,35	24,0	7,35	24,0
09/03	7,05	24,6	7,05	24,6
11/04	7,11	23,6	6,85	23,6
17/05	7,59	16,4	7,59	16,4
25/05	6,10	19,0	6,37	19,0
31/05	6,67	23,0	6,97	23,0
13/06	7,01	20,0	7,09	20,0
21/06	7,42	12,0	7,42	12,2
15/08	7,29	19,0	7,42	19,0
28/08	7,23	19,4	7,30	19,6
12/09	7,34	19,6	7,46	19,2
25/09	6,73	19,4	6,83	19,4

O ponto 1 de amostragem localizava-se dois metros a montante do vertedor. Neste local, a água ficava temporariamente represada, até escoar pelo vertedor. O ponto 2 de amostragem localizava-se aproximadamente 35 metros a jusante do vertedor, com fluxo livre de água. Analisando-se o Quadro 6 e as Figuras 14 e 15, observa-se pequena diferença nos valores de temperatura da água e pH entre os dois pontos de amostragem. A área da microbacia estudada mantém parte da cobertura vegetal natural da região, que é a Floresta Estacional Semidecidual, segundo Mato Grosso do Sul (2000). As temperaturas da água, registradas no momento da coleta das amostras, apresentaram um ciclo característico do tipo climático da região, com maiores valores no verão e menores valores no inverno.

O ponto 1 de amostragem apresentou valores de pH da água inferiores aos do ponto 2, em todas as épocas de coleta. Entretanto, o pH da água da microbacia do córrego Curral do Arame apresentou valores adequados em termos de potabilidade, nos dois locais de amostragem, em todas as amostras coletadas, de acordo com as legislações estudadas.

Com relação aos teores de nitrogênio, as literaturas consultadas referem-se com mais frequência ao elemento na forma de nitrato. O índice máximo de nitrato permitido no Brasil em águas para abastecimento é de  $10 \text{ mgL}^{-1}$ , variando de acordo com o país (Tabela 3). De maneira geral, países localizados em regiões temperadas permitem índices mais elevados de nitrato em águas superficiais e subterrâneas.

Stone *et al.* (1998<sup>a</sup>, 1998<sup>b</sup> e 1998<sup>c</sup>) encontraram índices de nitrato superiores ao permitido, pois as áreas estudadas foram irrigadas com águas residuárias de suinocultura. As concentrações de nitrato em águas superficiais e subterrâneas foram maiores nos meses mais frios.

Conte (1999) verificou que grande parte das amostras coletadas na bacia experimental do rio Pardo apresentaram concentrações de nitrogênio total superiores ao máximo permitido pela legislação, embora em termos médios, não tenham atingido o nível máximo permitido.

O Quadro 7 e a Figura 16 apresentam os valores de nitrogênio total nos pontos 1 e 2 de coleta e sua relação com as precipitações ocorridas na área experimental. O período de amostragem foi de setembro de 2000 a setembro de 2001.

Quadro 7 Valores de nitrogênio total e precipitação nos dois locais de amostragem

Época	Local 1 N total (mg L <sup>-1</sup> )	Local 2 N total (mg L <sup>-1</sup> )	Precipitação (mm)
20/09	8,34	7,68	100
27/09	9,10	8,01	100
04/10	8,85	7,68	70
17/10	7,84	6,33	30
25/10	0,78	2,30	30
29/11	2,80	2,30	20
01/03	1,51	1,40	20
08/03	0,95	1,51	40
19/04	9,18	9,69	23
26/04	10,19	8,90	20
03/05	10,70	9,69	20
11/05	11,20	10,19	70
31/05	7,81	7,56	42
07/06	6,78	5,01	48
13/06	5,26	4,25	35
21/06	7,61	6,35	73
15/08	2,02	1,76	23
27/08	1,51	1,01	35
12/09	3,53	4,09	46

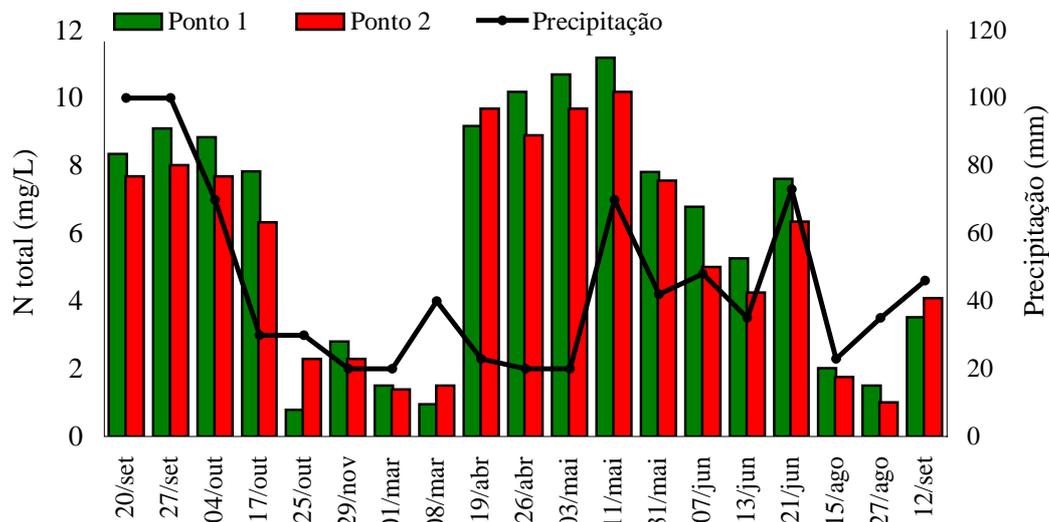


Figura 16 Valores de nitrogênio total e de precipitação.

Os únicos autores encontrados que citaram os limites de nitrogênio total em águas para abastecimento foram Fortes e Cunha (1995) e Von Sperling (1998), em legislação em vigor no estado do Rio Grande do Sul. Este valor não deve exceder  $10 \text{ mg L}^{-1}$  em águas superficiais e subterrâneas.

Os valores encontrados de nitrogênio total, durante o período de amostragem, excederam o limite de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  apenas nos meses de abril e maio, mas em quantidades muito pequenas. Como pode ser observado na Figura 16, não se encontrou relação entre o total precipitado e a quantidade de nitrogênio nas amostras de água superficial. Provavelmente, devido a presença de lavouras nas partes mais elevadas da bacia, nutrientes como o nitrogênio podem estar sendo carregados para o córrego Curral do Arame. A vegetação ripária nos locais de amostragem pode ter minimizado os índices de carreamento de nutrientes. Observação semelhante foi feita por Conte (1999).

De acordo com Mato Grosso do Sul (2000), as águas do rio Dourados, do qual o córrego Curral do Arame é um tributário, não apresentaram índices elevados de nitrogênio total. Seria importante realizar amostragens de água superficial em outros pontos da microbacia do córrego Curral do Arame, para comprovar estes resultados, principalmente onde o córrego encontra as águas do rio Dourados, pois este é um dos locais onde a Sanesul (Empresa de Saneamento do Estado de Mato Grosso do Sul) capta água para abastecimento.

Todas as impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos presentes nos corpos d'água. Os sólidos podem ser classificados de acordo com o seu tamanho e características químicas. Quanto ao tamanho, podem ser classificados em sedimentáveis, em suspensão, colóides e dissolvidos. Na prática, a classificação é feita separando-se os sólidos em suspensão e os sólidos dissolvidos, também

denominados sólidos totais filtrados. A separação entre sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos é feita utilizando-se uma membrana filtrante com porosidade de 1,2  $\mu\text{m}$ . Qualquer partícula que passe é considerada dissolvida e aquela que fica retida é considerada em suspensão (Porto *et al.*,1991).

Em águas naturais, a concentração de sólidos totais dissolvidos dá uma idéia das taxas de intemperismo de rochas. Segundo Porto *et al.*(1991), regiões com elevados índices pluviométricos e rochas mais resistentes ao intemperismo como o granito apresentam baixos valores de sólidos totais dissolvidos nas águas superficiais. O material de origem do solo da microbacia estudada é o basalto. Devido às condições de hidromorfismo nas áreas que margeiam o córrego Curral do Arame, o solo pode ter predomínio de minerais de argila 2:1, do grupo das smectitas.

O excesso de sólidos dissolvidos na água pode causar alterações de sabor e problemas de corrosão. Para águas de abastecimento, a Resolução nº20 CONAMA (Brasil, 1986) permite valores máximos de 500  $\text{mgL}^{-1}$ .

Quanto aos sólidos em suspensão, estes são limitados na legislação por meio dos valores de turbidez. Os sólidos em suspensão aumentam a turbidez, prejudicando aspectos estéticos da água e a produtividade do ecossistema pela diminuição da penetração de luz (Porto *et al.*, 1991; Fortes e Cunha, 1995).

Citando Conte (1999), a turbidez é um critério primário a ser observado para avaliar a potabilidade da água e determinar a aceitabilidade visual de águas residuárias. A turbidez é a condição de um corpo d'água causada pela presença de material em suspensão finamente dividido e depende basicamente do tamanho e forma das partículas. Pode ser provocada pelo plâncton, bactérias, argilas e silte em suspensão. A presença de material sólido

em suspensão na água pode ter origem em processos naturais (presença de microrganismos e decomposição da vegetação) ou em atividades antrópicas (erosão, atividades agrícolas, efluentes domésticos e industriais, lixo).

Não foi possível medir a turbidez durante o período experimental, por falta de turbidímetro. Pesquisas posteriores nesta área devem considerar a necessidade de medir a turbidez das águas do córrego Curral do Arame e correlacioná-las com os índices de sólidos em suspensão.

As Figuras 17 e 18 apresentam os sólidos em suspensão nos pontos 1 e 2, no período de setembro de 2000 a setembro de 2001 e as precipitações ocorridas. As Figuras 19 e 20 apresentam os sólidos totais dissolvidos (sólidos totais filtrados) nos pontos 1 e 2, no mesmo período.

No ponto 1, os sólidos em suspensão foram maiores após períodos de precipitação mais intensa. Conte (1999) encontrou relação semelhante nas águas da bacia do rio Pardo, porém com valores menores que os encontrados para o córrego Curral do Arame. No ponto 2, não se observou relação entre a precipitação e os teores mais elevados de sólidos em suspensão. Os valores máximos de sólidos em suspensão para os pontos 1 e 2 de amostragem do córrego Curral do Arame foram  $1599,6 \text{ mgL}^{-1}$  e  $1765,5 \text{ mgL}^{-1}$ .

Os sólidos totais dissolvidos (Figuras 19 e 20) ultrapassaram o máximo preconizado pelo CONAMA, principalmente no ponto 1. Nem sempre os valores mais elevados de sólidos totais dissolvidos ocorreram após ou durante precipitações mais intensas.

No ponto 1, a montante do vertedor, a água fica represada, como pode ser visto na Figura 9. No ponto 2, a jusante do vertedor, a água escoava livre, como se vê na Figura 10.

Os valores de pH das águas amostradas no córrego foram maiores que 6,0, chegando até valores superiores a 7,5, provavelmente favorecendo a dispersão das argilas do solo que compõe o leito do rio. Conseqüentemente, este fato pode estar relacionado aos elevados valores encontrados de sólidos totais dissolvidos. Pesquisas posteriores devem analisar os teores de cálcio e magnésio das águas do córrego Curral do Arame.

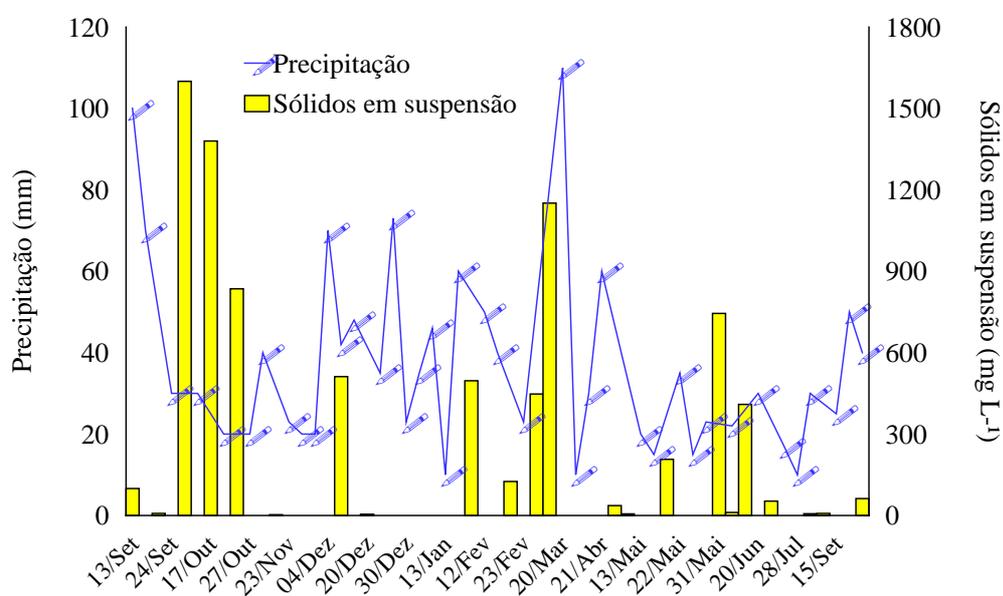


Figura 17 Sólidos em suspensão no ponto 1 de coleta e valores de precipitação.

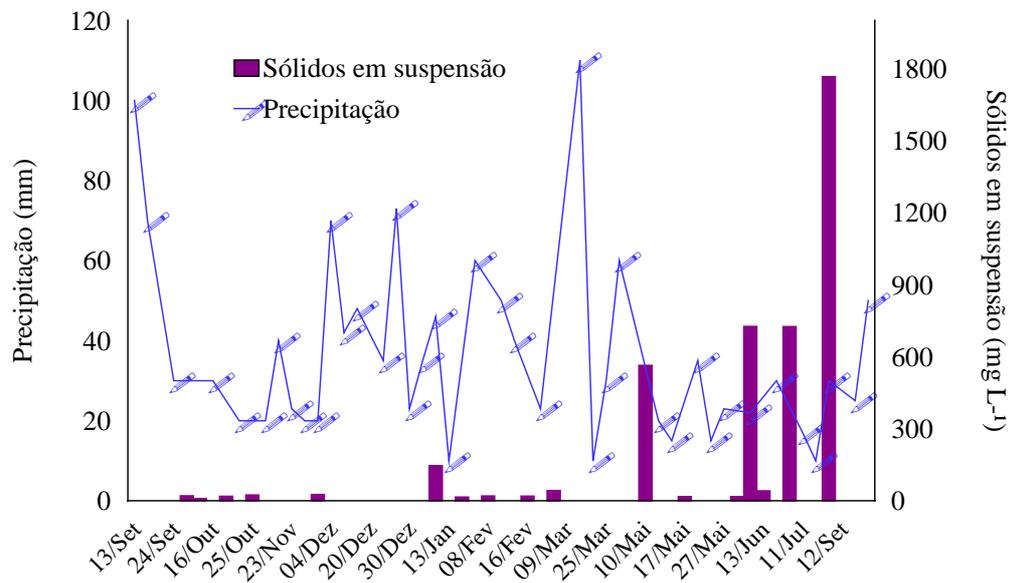


Figura 18 Sólidos em suspensão no ponto 2 de coleta e valores de precipitação

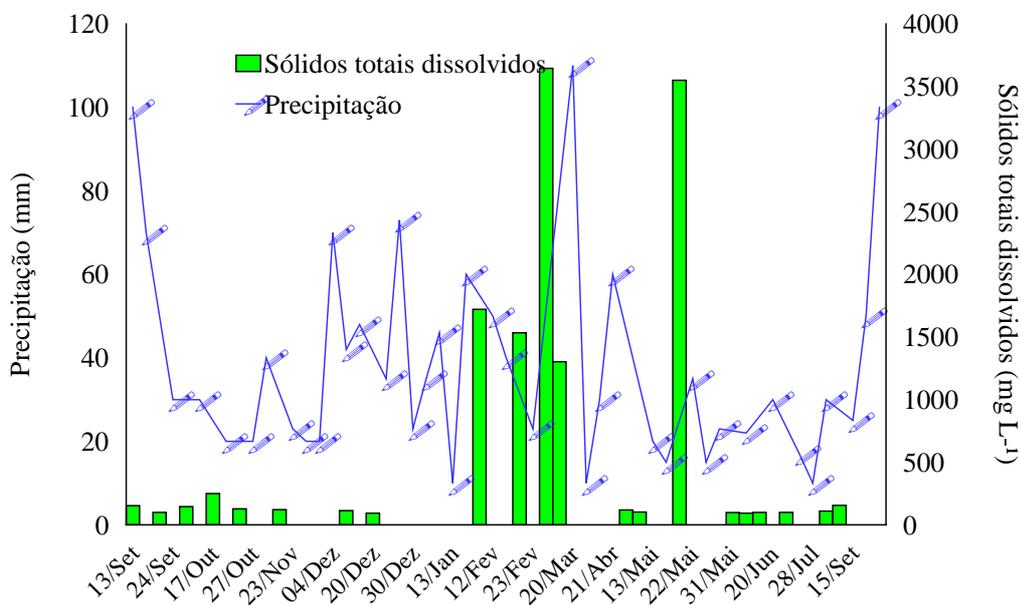


Figura 19 Sólidos totais dissolvidos no ponto 1 de coleta e valores de precipitação

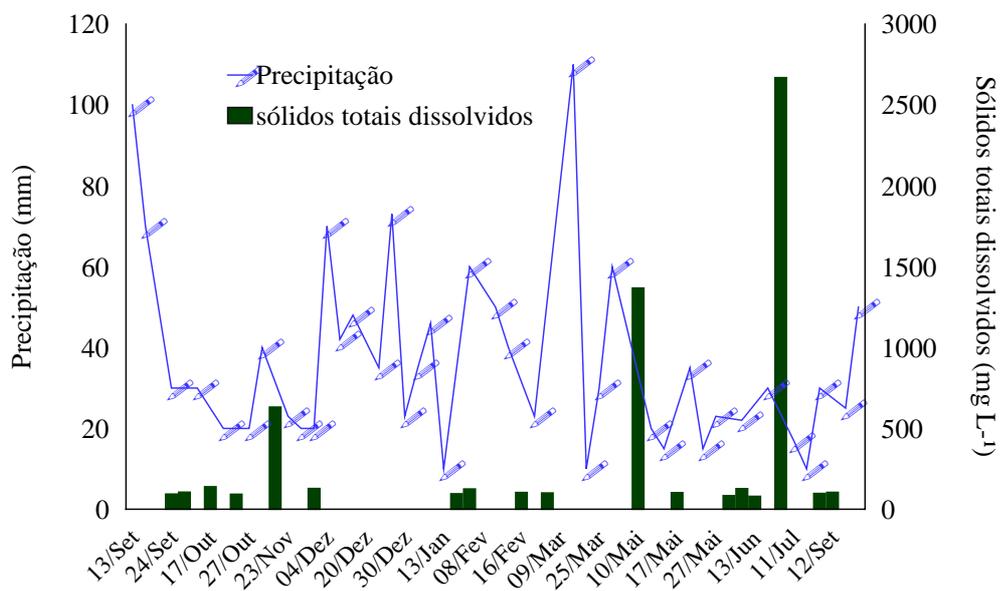


Figura 20 Sólidos totais dissolvidos no ponto 2 de coleta e valores de precipitação.

## 7 CONCLUSÕES

Findo o período experimental e com base nos resultados obtidos, envolvendo alguns aspectos quantitativos e qualitativos das águas da microbacia do córrego Curral do Arame, pode-se concluir que:

- As vazões mínimas e máximas do córrego Curral do Arame foram  $0,014\text{m}^3\text{s}^{-1}$  e  $1,09\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , respectivamente;
- Do volume total de água escoado na área da microbacia, 58% foi relativo ao escoamento superficial e 42% ao escoamento subterrâneo;
- Devido às características físicas da microbacia, entende-se a sua tendência a ser mais susceptível a enchentes;
- Os índices de nitrogênio total e pH mostraram-se adequados para águas de abastecimento;
- Os teores de sólidos em suspensão e de sólidos totais dissolvidos ultrapassaram, em algumas épocas, os máximos permitidos pela legislação.

## **8 SUGESTÕES**

Sugere-se que as pesquisas posteriores devam medir os teores de cálcio e magnésio e o índice de turbidez das águas superficiais da microbacia do córrego Curral do Arame.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10664*: águas: determinação de resíduos (sólidos). Método gravimétrico. Rio de Janeiro, 1989. 14p.

AYRES, M.C.R. *Sistema de abastecimento de água potável no Município de Dourados – MS: caracterização e análise*. Botucatu, 2000. 78p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

AZEVEDO NETTO, J.M., ALVAREZ, G.A. *Manual de hidráulica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 335p.

BERGER, K.P., ENTEKHABI, D. Basin hydrologic response relations to distributed physiographic descriptors and climate. *J. Hydrol.*, v.247, p.169-82, 2001.

BRASIL Lei n. 9.433, 8 jan 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal e altera o art.10 da Lei n. 8.001, 13 de mar. 1990, que modificou a Lei n. 7.990, 28 dez. 1989. *Diário Oficial (da República Federativa do Brasil)*, Brasília, 1997.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 20, 18 jun. 1986. Estabelece a classificação das águas do Território Nacional e disciplina o enquadramento dos cursos de água nas classes. 1986.

BRASIL. Congresso Nacional Constituinte. *Constituição Federal da República Federativa do Brasil*. Brasília, 1988. p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 36, 19 jan. 1978. Institui as normas e os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano. Brasília: Gabinete do Ministro da Saúde, 1990.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 1469, 29 dez. 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 17p., 2000.

- BRUSA, L.C., CLARKE, R.T. Erros envolvidos na estimativa da vazão máxima utilizando curva-chave. Caso de estudo: bacia do rio Ibicuí, RS. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.4, n.3, p.91-5, 1999.
- CARVALHO, N.O. Erosão crescente na Bacia do São Francisco. *Rev. Bras. Eng. Cad. Rec. Hídricos*, v.13, n.2, p.37-46, 1995.
- CARVALHO, N.O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1994. 371p.
- CEPIS. *Normas internacionais para la calidad del agua de bebida*. Disponível em: <<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/normas.html>>. Acesso em 04 set. 2001.
- CONTE, M.L. *Aspectos quantitativos e qualitativos das águas da bacia experimental do Rio Pardo - Região de Botucatu-SP*. Botucatu, 1999. 157p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- D'AGOSTINI, L.R., MARTINI, L.C.P. Um coeficiente de regularização da vazão: quantificando a qualidade de condições de superfície. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.5, n.2, p.27-37, 2000.

- DAMÁZIO, J.M., MALTA, V.F., MAGALHÃES, P.C. Uso do modelo gráfico para resolução de conflitos em problemas de recursos hídricos no Brasil. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.5, n.4, p.93-109, 2000.
- DINAR, A., SUBRAMANIAN, A. Policy implications from water pricing experiences in various countries. *Water Policy*, v.1, p.239-50, 1998.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed.rev.atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Documentos, 1).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- ESPÍRITO SANTO, C.M., BRAGA, B., LOBO, G.A., MELFI, A.J. Simulação hidrológica de pequena bacia na Amazônia tropical. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.6, n.2, p.107-15, 2001.
- FERRAZ, A.R.G., BRAGA JÚNIOR, B.P.F. Modelo decisório para a outorga de direito ao uso da água no estado de São Paulo. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.3, n.1, p.5-19, 1998.
- FINOTTI, A.R., CAICEDO, N.O.L., RODRIGUEZ, M.T.R. Contaminações subterrâneas com combustíveis derivados de petróleo: toxicidade e a legislação brasileira. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.6, n.2, p.29-46, 2001.

FORTES, J., CUNHA, C. Influência das águas continentais sobre as regiões costeiras: enfoque da legislação atual. In: SEMINÁRIO DE ÁGUAS CONTINENTAIS NO MERCOSUL, 1, 1994, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995. p.25-40.

FREEZE, R.A. Role of subsurface flow in generating runoff. I. Base flow contributions to channel flow. *Water Resour. Res.*, v.8, p. 609-12, 1972.

GRESSLER, L. A., SWENSSON, L. J. *Aspectos históricos do povoamento e da colonização do Estado de Mato Grosso do Sul: destaque especial ao Município de Dourados*. São Paulo: DAG Gráfica e Editorial Ltda, 1988. 163p.

GUIMARÃES JÚNIOR, C., LEOPOLDO, P.R., CRUZ, J.A., FONTANA, S.C. Aspectos limnológicos do reservatório de Ibitinga-SP. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.3, n.1, p.89-103, 1998.

HENKLEIN, J.M., COIADO, E.M. Correlações visando reduzir o número de medições fluvio-sedimentométricas. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.4, n.2, p.49-59, 1999.

HERRERA, O.M. *Caracterização e análise do sistema de abastecimento de água potável no Município de Botucatu, SP*. Botucatu, 1996. 100p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

- LADOUCHE, B., PROBST, A., VIVILLE, D., IDIR, S., BAQUÉ, D., LOUBET, M., PROBST, J.-L., BARIAC, T. Hydrograph separation using isotopic, chemical and hydrological approaches (Strengbach catchment, France). *J. Hydro.*, v.242, p.255-74, 2001.
- LEOPOLDO, P.R., MARTINEZ, J.C., MORTATTI, J. Estimativa da contribuição do fluxo de base através do oxigênio-18. *Rev. Bras. Eng.*, v.6, n.1, p.43-54, 1988.
- LEOPOLDO, P.R. *Hidrologia aplicada: aspectos gerais sobre bacias hidrográficas e precipitação: curso básico de irrigação e drenagem*. Botucatu: Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1986. 51p. (Apostila).
- LEWIS, D., SINGER, M.J., DAHLGREN, R.A., TATE, K.W. Hydrology in California oak woodland watershed: 17-year study. *J. Hydrol.*, v. 240, p.106-17, 2000.
- LIBÂNIO, M., LIBÂNIO, A.C., COSTA, B.M.P., VON SPERLING, E. Avaliação da relevância do carbono orgânico total como parâmetro de caracterização de águas de abastecimento. *Rev. Bras. Rec. Hídricas*, v.5, n.4, p.41-55, 2000.
- LOPES, L.V., ANDREASSIAN, V.P., ANDRADE, E.M. Análise comparativa do comportamento de bacias sob clima tipo Mediterrâneo. *Rev. Bras. Rec. Hídricas*, v.4, n.1, p.49-56, 1999.

- MAGALHÃES JÚNIOR, A.P. A situação do monitoramento das águas no Brasil - instituições e iniciativas. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.5, n.3, p.113-35, 2000.
- MARC, V., DIDON-LESCOT, J.F., MICHAEL, C. Investigation of the hydrological processes using chemical and isotopic tracers in a small Mediterranean forested catchment during autumn recharge. *J. Hydrol.*, v.247, p. 215-29, 2001.
- MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Fundação Estadual de Meio Ambiente Pantanal. Coordenadoria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental. Divisão Centro de Controle Ambiental. *Microbacia hidrográfica do Rio Dourados: diagnóstico e implantação da rede básica de monitoramento da qualidade das águas*. Campo Grande, 2000. 78p.
- MENDIONDO, E.M., TUCCI, C.E.M. Escalas hidrológicas I: conceitos. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.2, n.1, p.59-79, 1997.
- MOTA, S. *Preservação de recursos hídricos*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1988. 222p.
- NAKAGAWA, Y., IWATSUBO, G. Water chemistry in a number of mountainous streams of east Asia. *J. Hydrol.*, v.240, p.118-30, 2000.

NICHOLS, D.S., VERRY, E.S. Stream flow and ground recharge from small forested watersheds in north central Minnesota. *J. Hydrol.*, v.245, p.89-103, 2001.

ORANGE, H.R.H., RIJSBERMAN, F.R. Summary report of the 2nd World Water Forum: from vision to action. *Water Policy*, v.2, p.387-95, 2000.

PAIVA, J.B.D., PAIVA, E.M.C.D., VILLELA, S.M. Avaliação da descarga de sedimentos afluente à captação da estação elevatória I do projeto de transposição das águas do rio São Francisco. *Rev. Bras. Eng. Cad. Rec. Hídricos*, v.13, n.2, p.47-79, 1995.

PASSERAT DE SILANS, A.M.B., ALMEIDA, C. das N., ALBUQUERQUE, D.J.S.DE, PAIVA, A.E.D.B. Aplicação do modelo hidrológico distribuído AÇUMOD à bacia hidrográfica do rio do Peixe-Estado da Paraíba. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.5, n.3, p.5-19, 2000.

PICOUET, C., HINGRAY, B., OLIVRY, J.C. Empirical and conceptual modeling of the suspended sediment dynamics in a large tropical African river: The Upper Niger river basin. *J. Hydrol.*, v.250, p.19-39, 2001.

PINTO, N.L.S., HOLTZ, A.C.T., MARTINS, J.A., GOMIDE, F.L.S. *Hidrologia básica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. 278p.

- PIONKE, H.B., GBUREK, W.J., SCHNABEL, R.R., SHARPLEY, A.N., ELWINGER, G.F.  
Seasonal flow, nutrient concentrations and loading patterns in stream flow draining an agricultural hill-land watershed. *J. Hydrol.*, v.220, p. 62-73, 1999.
- PORTO, M.F.A., BRANCO, S.M., LUCA, S.J. Caracterização da qualidade da água. In:  
PORTO, R.L.L. *Hidrologia ambiental*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1991. v.3, p.27-66.
- REBOUÇAS, A.C. *Panorama da água doce no Brasil*. In: REBOUÇAS, A.C. (Org)  
*Panoramas da degradação do ar, da água doce e da terra no Brasil*. São Paulo: Instituto de Economia Agrícola, Universidade de São Paulo, 1997. 150p.
- RIBOLZI, O., ANDRIEUX, P., VALLES, V., BOUZIQUES, R., BARIAC, T., VOLTZ, M.  
Contribution of groundwater and overland flows to storm flow generation in a cultivated Mediterranean catchment. Quantification by natural chemical tracing. *J. Hydrol.*, v.233, p.241-57, 2000.
- RUSSELL, M.A., WALLING, D.E., HODGKINSON, R.A. Suspended sediment sources in two small lowland agricultural catchments in the UK. *J. Hydrol.*, v.252, p.1-24, 2001.
- SCHULER, A.E., MORAES, J.M., MILDE, L.C., GROPPPO, J.D., MARTINELLI, L.A.  
VICTORIA, R.L. Análise da representatividade física dos parâmetros do topmodel em uma

bacia de meso escala localizada nas cabeceiras do Rio Corumbataí, São Paulo. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.5, n.2, p.5-25, 2000.

SEMA. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Proposta de Projeto de Lei que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e dá outras providências. Campo Grande, 2000. 10p.

SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO. *Região Centro-Oeste do Brasil*. Serviço Geográfico do Exército, 1969. Mapa color, 55 x 52 cm. SF.21-Z-B-II. Escala 1:100.000.

SILVA, L.P., EWEN, J. Modelagem hidrológica de grandes bacias hidrográficas: a necessidade de novas metodologias. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.5, n.4, p.81-92, 2000.

SILVEIRA, G.L., ROBAINA, A.D., GIOTTO, E., DEWES, R. Outorga para uso dos recursos hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.3, n.3, p.5-16, 1998a.

SILVEIRA, G.L., TUCCI, C.E.M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.3, n.3, p.97-110, 1998.

SILVEIRA, G.L., TUCCI, C.E.M., SILVEIRA, A.L.L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.3, n.3, p.111-31, 1998.

SOPHOCLEOUS, M. From safe yield to sustainable of water resources - the Kansas experience.

*J. Hydrol.*, v.235, p.27-43, 2000.

STONE, K.C., HUNT, P.G., HUMENIK, F.J., JOHNSON, M.H. Impact of swine waste application on ground and stream water quality in an Eastern Coastal Plain watershed. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.41, n.6, p.1665-1670, 1998a.

*ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.41, n.6, p.1665-1670, 1998a.

STONE, K.C., HUNT, P.G., JOHNSON, M.H., COFFEY, S.W. Gleams simulation of groundwater nitrate-N from row crop and swine wastewater spray fields in the eastern Coastal Plain. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.41, p.51-7, 1998b.

STONE, K.C., HUNT, P.G., JOHNSON, M.H., MATHENY, T.A. Nitrate-N distribution and trends in shallow groundwater on an Eastern Coastal Plains watershed. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.41, n.1, p.59-64, 1998c.

TOWNSEND, S.A., DOUGLAS, M.M. The effect of three fire regimes on stream water quality, water yield and export coefficients in a tropical savanna (northern Australia). *J. Hydrol.*, v.229, p.118-37, 2000.

TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Ed. da Universidade, ABRH: EDUSP, 1993. 943 p. (Coleção ABRH de Recursos hídricos, 4).

- TUCCI, C.E.M., CLARKE, R.T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.2, n.1, p.135-52, 1997.
- TUCCI, C.E.M., HESPANHOL, I., CORDEIRO NETTO, O.M. Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “visão mundial da água”. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.5, n.3, p.31-43, 2000.
- VARELLA, R.F., CAMPANA, N.A. Simulação matemática do processo de transformação de chuva em vazão: estudo do modelo TOPMODEL. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.5, n.4, p.121-39, 2000.
- VILLELA, S.M., MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.
- VON SPERLING, M. Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d’água e de lançamento de efluentes líquidos. *Rev. Bras. Rec. Hídricos*, v.3, n.1, p.111-32, 1998.
- WANIELISTA, M.P., KERSTEN, R., EAGLIN, R. *Hydrology: water quantity and quality control*. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley, 1997. 567p.
- WORRALL, F., BURT, T.P. Inter-annual controls on nitrate export from an agricultural catchment - how much land-use change is safe? *J. Hydrol.* , v.243, p.228-41, 2001.

ZAVATINI, J. A. Dinâmica climática no Mato Grosso do Sul. *Geografia*, v.17, n.2, p.65-91, 1992.