

# APLICAÇÃO DO MÉTODO DO CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO NA AVALIAÇÃO DA RECARGA NO AQUÍFERO BAURU EM ARAGUARI - MG

Gisele Ana Bertol<sup>1</sup>; Cláudio Costa Camargos<sup>2</sup>; Leila Nunes Menegasse Velásquez<sup>3</sup>; Otávio Eurico de Aquino Branco<sup>4</sup> & Stela Dalva Santos Cota<sup>5</sup>

## Resumo

A estimativa da recarga aquífera é fundamental na análise hidrodinâmica dos fluxos subterrâneos. O método do balanço hídrico destaca-se por ser o mais utilizado na avaliação indireta da recarga. Para a sua execução uma série de informações hidrometeorológicas deve ser disponibilizada. Foram selecionadas as sub-bacias hidrográficas Ribeirão das Araras e Córrego Amanhece para a aquisição de dados. O balanço hídrico foi realizado para dois anos hidrológicos (2003/2005), utilizando-se o método de *Thornthwaite*. A temperatura média anual do ar é de 21,4°C (1987/2003), e o regime pluviométrico típico de áreas tropicais, sendo a média anual de 1305mm (2003/2005). Ressalta-se a dificuldade de separação de componentes do hidrograma, tendo em vista as extrações de água superficial e subterrânea existentes nas sub-bacias em estudo. Discute-se neste trabalho a metodologia utilizada para a separação do excedente determinado pelo balanço hídrico: recarga e escoamento direto. Os resultados indicaram valores elevados de recarga aquífera para ambas as sub-bacias. No ano hidrológico de 2003/2004 as sub-bacias apresentaram percentuais de recarga de 30% e 23% da precipitação total (1097,5mm), e no ano hidrológico de 2004/2005, no qual os valores de precipitação foram mais elevados (1512mm), elas apresentaram percentuais de recarga de 50% e 48%, respectivamente.

## Abstract

The evaluation of the groundwater recharge is of fundamental importance when studying the hydrodynamics of groundwater flows. One important method for the indirect evaluation of the groundwater recharge is the water balance method, which demands, for an adequate application, a thorough set of data from the water basin. In this case, the two sub-basins of rivers Araras and Amanhece were selected for the acquirement of hydrometeorological data. The *Thornthwaite* method was applied for the establishment of the water balance for the hydrologic years of 2003 to 2005. Air mean annual temperature is of 21.4°C (1987/2003), and the pluviometric regime is typical of tropical areas, with a mean annual value of precipitation of 1.305mm (2003/2005). It must be emphasized the difficulty in separating the hydrogram components as a consequence of the large abstraction of surface and groundwater in the sub-basins. In this paper the methodology used for the separation of the components of the exceedence determined by the water balance, that is, recharge and direct flow, is discussed. The results show high groundwater recharge values for both sub-basins. For the hydrologic year of 2003/2004, the figures for the recharge were 30% and

<sup>1</sup> Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Instituto de Geociências – IGC, Pós Graduação, Rua Augusto de Souza Coutinho, 176, Bairro Álvaro Camargos, Belo Horizonte – MG, fone (31) 3417-6074, giselebertol@hotmail.com

<sup>2</sup> Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN, Rua Mário Werneck S/N, Cidade Universitária Pampulha, Belo Horizonte, cep 30123970, fone/fax (31) 34993127, ccc@cdtn.br,

<sup>3</sup> Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Instituto de Geociências – IGC, Pós-Graduação, Av. Antônio Carlos 6627, Pampulha, Belo Horizonte, cep 31270901, fone (31) 34993220, menegase@yahoo.com.br.

<sup>4</sup> Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN, Rua Mário Werneck S/N, Cidade Universitária Pampulha, Belo Horizonte, cep 30123970, fone/fax (31) 349931277, oeab@cdtn.br

23% of the total precipitation (1097,5mm) for the two sub-basins. During the hydrologic year of 2004/2005, in which the total precipitation was higher (1512mm), the values of groundwater recharge were estimated as 50% and 48% of the precipitation for the respective basins.

Palavras Chaves: Recarga e Balanço Hídrico.

## **1 - Introdução**

A Bacia Sedimentar do Paraná abriga um enorme reservatório de águas subterrâneas, o Sistema Aquífero Guarani (SAG), que se estende pelo Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai, com extensão total aproximada de 1,2 milhão de km<sup>2</sup>. No Brasil distribui-se pelos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Minas Gerais. Este aquífero tem sido objeto de estudos sistematizados, inclusive com a participação de organismos internacionais de apoio ao desenvolvimento de projetos.

Dentro deste contexto, a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em parceria com Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) vem desenvolvendo projeto de pesquisa, financiado pela Organização dos Estados Americanos e Banco Mundial, intitulado “Avaliação dos Recursos Hídricos do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no município de Araguari, Estado de Minas Gerais”. Um dos objetivos específicos previstos no projeto em referência é avaliar a recarga aquífera na área de estudo, utilizando métodos diretos e indiretos.

A recarga subterrânea é resultante de um processo dinâmico da água que atinge a zona não saturada sob forças gravitacionais, ou em uma direção específica por condicionamento hidráulico (Vasconcelos, 2005). A recarga subterrânea pode ser definida de forma geral como a quantidade de água que contribui para aumentar a reserva subterrânea, permanente ou temporária de um aquífero.

A avaliação da recarga aquífera é um dos fatores determinantes dos estudos de caracterização hidrogeológica e de gerenciamento das explorações de água subterrânea, tendo em vista a definição de um valor de exploração seguro em termos de manutenção, a longo prazo, da quantidade e da qualidade da água do aquífero. Sua estimativa é também fundamental nos estudos de balanço hídrico de uma determinada bacia hidrográfica, tendo em vista constituir-se em um dos principais componentes do ciclo hidrológico.

Contudo, a quantificação da recarga de águas subterrâneas é um processo estimativo que pode ser feito de forma direta ou indireta. Muitas são as técnicas existentes para avaliar a recarga, cada qual com características e aplicações distintas.

### **1.1 - Localização**

O município de Araguari localiza-se no estado de Minas Gerais na região do Triângulo Mineiro (Figura 1), a aproximadamente 569 km da capital Belo Horizonte. O município possui uma área total de 2.731 km<sup>2</sup> e está situado entre as coordenadas geográficas 48°11'13" e 18°38'57".



Figura 1- Mapa de localização de Araguari. Fonte: Instituto de Geociências Aplicada (IGA).

### **1.2 - Unidades Aquíferas do Município**

O município de Araguari localiza-se no extremo da borda nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, sendo representado geologicamente por rochas sedimentares e vulcânicas de idades Juro-Cretácica. Essa Bacia abriga um importante sistema aquífero de dimensão transfronteiriço denominado de Sistema Aquífero Guarani (SAG), as unidades aquíferas pertencentes a esse sistema no município serão descritas de maneira sucinta.

O aquífero Botucatu ocorre de forma pouco expressiva, como finas e descontínuas lentes de arenito, portanto, incapaz de constituir aquíferos exploráveis no município de Araguari.

O aquífero Serra Geral encontra-se associado aos derrames basálticos, sobrepostos às rochas cristalinas, com 200m a 250m de espessura, intercalados com níveis areníticos de espessuras métricas a

sub-métricas da Formação Botucatu. Em Araguari o aquífero Serra Geral, no geral, é de baixa produtividade, entre 5m<sup>3</sup>/h e 10m<sup>3</sup>/h (Fiumari, 2004). Porém, a registros de poços pertencentes a Superintendência de Água e Esgoto de Araguari (SAE) com vazões entre 40m<sup>3</sup>/h e 70m<sup>3</sup>/h, esses poços estão associados ao sistema de fraturamento regional N50°W e N45°E. O perfil litológico dos poços mostram que a profundidade dos mesmos atingiram 100m e 104m, alcançando o embasamento xistoso.

O aquífero Bauru está associado aos sedimentos arenosos do Grupo Bauru (Formação Marília) e das Coberturas Terciárias. Esta unidade hidrogeológica caracteriza-se como a mais importante na área de estudo. Compreende os depósitos não confinados de água subterrânea de natureza intergranular, de alta a média porosidade e permeabilidade, e com uma alta capacidade de armazenamento. Toda a área urbana de Araguari encontra-se edificada sobre esse sistema, elevando o risco de poluição desse aquífero. A espessura mais frequente a partir das informações das profundidades dos poços perfurados nessa seqüência está entre 50m e 60m, e a espessura saturada média está em torno de 40m (Fiumari, 2004).

As faces sedimentares do Grupo Bauru compõem a cobertura de chapada, e por isso, a recarga ocorre em praticamente em toda a sua área de abrangência. A recarga é favorecida pela feição suave do relevo e pela porosidade dos materiais que constituem a zona vadosa do aquífero, e pelo pacote de solos silto-arenosos, com espessuras variáveis entre 5m e 10m. Essa unidade pedológica torna-se importante no processo de recarga direta, por constituir-se, também, de níveis de material grosso, coluvionar, que recobre parte do topo e a quase totalidade das rampas do contato arenito/basalto.

Oliveira (2002) realizou testes de bombeamento em 14 poços de propriedade da SAE, que resultaram nos seguintes valores médios: condutividade hidráulica 3,1 x 10<sup>-3</sup>cm/s; transmissividade de 82,9m<sup>2</sup>/d; vazão média de 18,7m<sup>3</sup>/h e capacidade específica média de 1,3m<sup>3</sup>/h/m.

Segundo Fiumari (2004), esse sistema apresenta-se com uma reserva renovável de 345 milhões m<sup>3</sup>/ano e o atual nível de exploração anual é de 35 milhões de m<sup>3</sup>. O pH médio da água subterrânea em Araguari ficou em torno de 5,07 e associa-se ao grupo das águas bicarbonatadas sódicas.

Esse aquífero é o mais explotado no município, sendo elevada a densidade de poços em algumas áreas; pode-se se citar como exemplos a região do Amanhece, a zona urbana e em determinadas localidades agrícolas do município de Araguari. A natureza pouco profunda desse aquífero e do seu material litológico, facilitam a perfuração indiscriminada e ilegal de poços. A médio e longo prazos isso pode comprometer a produtividade dos poços nessas áreas. Por isso, torna-se essencial o estudo da recarga desse aquífero na região, visando estabelecer parâmetros para o adequado gerenciamento do aquífero local.

### 1.3 - Descrição das sub-bacias experimentais Ribeirão das Araras e Córrego Amanhece

Objetivando a caracterização hidrológica, e mais especificamente a estimativa de fluxo de base, foram implantadas duas sub-bacias experimentais na região de estudo. As sub-bacias hidrográficas Ribeirão das Araras (área de drenagem de 28,7 km<sup>2</sup>) e Córrego Amanhece (área de drenagem de 8,6 km<sup>2</sup>) (vide Figura 2) estão localizadas no município de Araguari e foram selecionadas como áreas experimentais dentro do contexto do projeto Araguari. A escolha dessas sub-bacias teve como fator preponderante a intensa exploração das suas disponibilidades hídricas aos níveis superficial e subterrânea, fato que vem gerado conflitos entre os diversos usuários, dentre os quais pode-se mencionar usuários do setor agrícola.

Nestas sub-bacias foram instaladas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM, em agosto de 2003, duas estações fluviométricas para a realização do monitoramento contínuo de vazões para a caracterização do regime hidrológico das áreas em questão.

As sub-bacias experimentais estão estabelecidas geologicamente sobre sedimentos do Grupo Bauru representados pela Formação Marília no município. Esta formação é composta por arenito grosso e arenito conglomerático, associados a calcários e calcretes (Barcelos, 1984).

Estudos de caracterização pedológica das sub-bacias apresentam como resultados solos do tipo: Latossolo vermelho amarelo alíco ou distrófico, e Latossolo vermelho escuro distrófico, ambos com textura muita argilosa (Carvalho Filho *et al.*, 2005).

A vegetação predominante no município de Araguari é o cerrado, mas sua degradação ambiental é evidente, principalmente no que diz respeito à remoção da cobertura vegetal natural gerada pelo avanço de atividades agropecuárias e agrícolas, principalmente no plantio de café, soja e hortifrutigranjeiro. A principal atividade nas sub-bacias é a agricultura que utiliza quase exclusivamente água subterrânea para a irrigação, principalmente nos meses onde o índice de precipitação é baixo. O sistema de irrigação em grande parte é feito através de micro-aspersão e gotejamento.

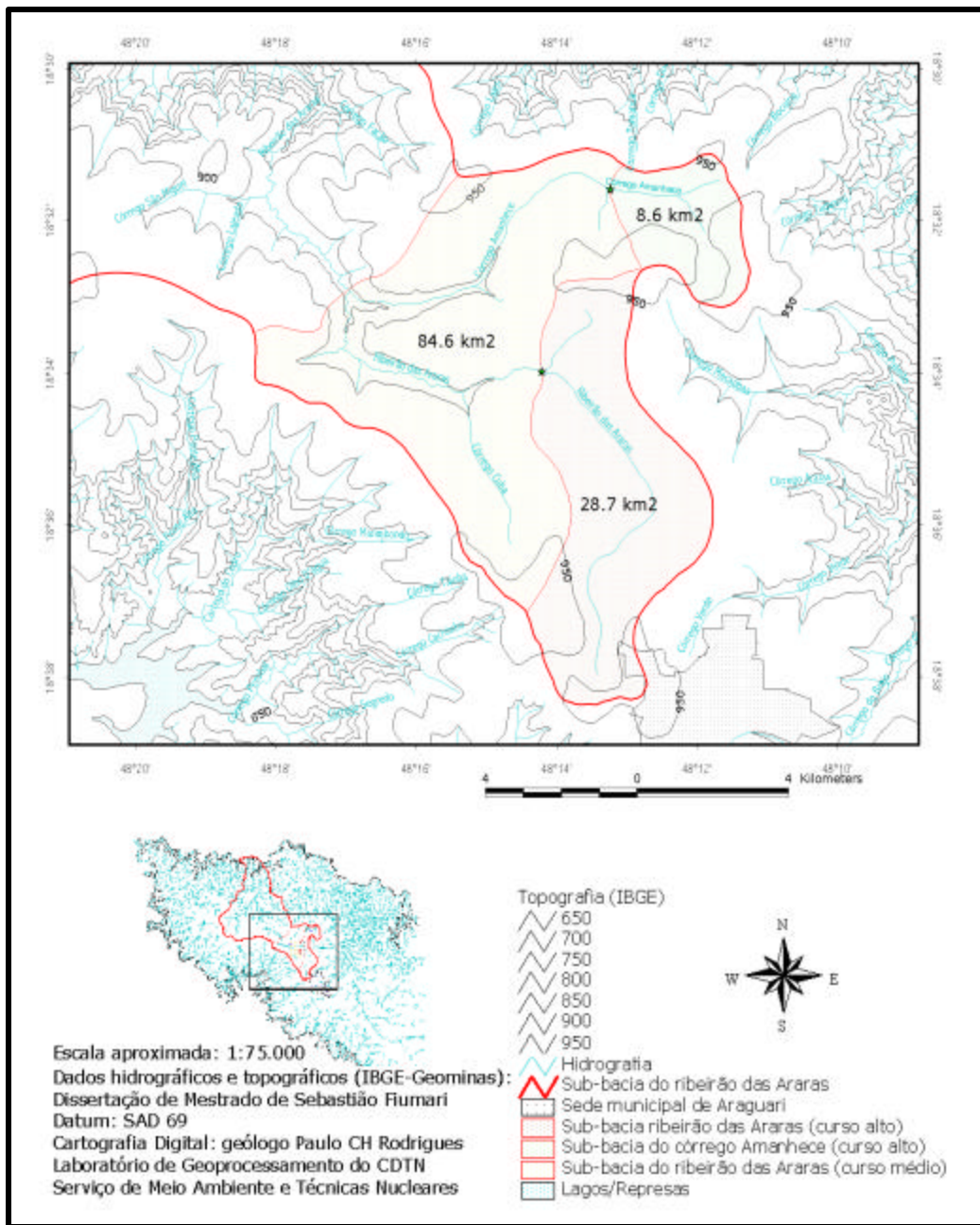


Figura 2 – Mapa das sub-bacias experimentais Ribeirão das Araras e Córrego Amanhece

## 2 - Metodologia

Para avaliação da recarga aquífera nas sub-bacias experimentais no município de Araguari, optou-se pelo método indireto do balanço hídrico. Apresenta-se a seguir a descrição da metodologia utilizada nesse estudo.

## 2.1 - Descrição da metodologia para o cálculo do balanço hídrico

O balanço hídrico considera o solo como um reservatório delimitado pela região da zona de raízes, suprido pelas precipitações e com volumes máximos dados pela capacidade de campo (teor de água presente no solo apta de ser utilizada pela planta). A remoção de água contida nesse reservatório se faz pela evaporação direta e transpiração vegetal, através da absorção radicular. Durante os períodos em que o solo se encontra na capacidade de campo, os excedentes de infiltração podem percolar profundamente, vindo a transformar-se em recarga, e os excedentes superficiais podem escoar diretamente para a rede de drenagem fluvial.

O balanço hídrico inclui um grupo de métodos estimativos, cujo princípio é que os outros fluxos podem ser medidos ou estimados mais facilmente do que a própria recarga, que constitui no residual de todos os outros fluxos. Os componentes do balanço hídrico precipitação, evapotranspiração, temperatura, entre outros, podem ser medidos *in situ* ou estimados de forma indireta. Habitualmente a precipitação e a temperatura são medidas de forma direta, os outros componentes são estimados através de fórmulas semi-empíricas, tais como as evapotranspiração potencial e real. Tais balanços são normalmente realizados com periodicidade, por exemplo, diária ou mensal (Wahnfried, 2005).

A evapotranspiração potencial constitui-se em um elemento climatológico definido, como outro qualquer, característico da região e dependente apenas de suas condições meteorológicas. A evapotranspiração potencial foi avaliada com o método de Thornthwaite.

Custódio & Llamas (1976) propuseram o balanço hídrico estruturado para subsidiar o planejamento agrícola na análise das deficiências hídricas dos cultivos mediante a avaliação da evapotranspiração real. O modelo proposto simula parte do ciclo hidrológico a partir da equação 1:

$$P = ETR + EX + \Delta R \quad (1)$$

Onde:

P = precipitação em mm;

ETR = evapotranspiração real em mm;

EX = excedente de água (escoamento e infiltração);

$\Delta R$  = variação da reserva de água utilizada pelas plantas.

Este modelo de balanço hídrico é processada no intervalo mensal e tem como base física um reservatório que contempla parte do solo não saturado para o qual ocorre o processo da evapotranspiração. O reservatório denominado “reserva de água utilizável pelas plantas” é definido por

uma profundidade específica dada em mm, que depende de algumas características do solo, tais como capacidade de campo e ponto de murchamento, e da cobertura vegetal.

As variáveis de entrada são a precipitação e a evapotranspiração potencial, tendo como variáveis de saída a evapotranspiração real, a variação da reserva de água utilizável pelas plantas e o excedente de água. A variável excedente (EX) é, na realidade, a somatória da infiltração além da “reserva de água utilizável pelas plantas” (recarga) e os escoamentos direto e subsuperficial potencial. Portanto, a dificuldade do método do balanço hídrico para a avaliação da recarga está na separação das componentes da variável excedente (EX).

A separação e quantificação do fluxo de base e do escoamento superficial direto pode ser feita a partir de diversas técnicas de separação de hidrogramas, podendo ser utilizadas técnicas manuais ou técnicas automatizadas (Wahl & Wahl, 1995 *in* Costa, 2005). Dentre as técnicas automatizadas na separação do hidrograma optou-se pela *smoothed mínima*. Nessa técnica é identificado o menor valor de vazão a cada 10 dias consecutivos. Cada valor mínimo é comparado com seus vizinhos mais próximos. Se 90% de uma dada vazão mínima é menor que a vazão correspondente aos mínimos anterior e posterior, tem-se um *turning point* (pontos de inflexão que definem a separação entre o fluxo superficial e o fluxo de base).

### **3 - Aquisição e Tratamento dos Dados Monitorados**

Neste item serão apresentados as formas de aquisição e tratamento dos dados de temperatura, precipitação e vazão utilizados para o cálculo do balanço hídrico.

#### **3.1 - Dados de Temperatura**

Os valores de temperatura média mensal foram coletados na estação climatológica da Prefeitura Municipal de Araguari. Esta estação está situada no perímetro urbano desse município e, atualmente, encontra-se desativada. Os dados de temperatura média mensal tratados correspondem a dezesseis anos hidrológicos (1987/1988 a 2002/2003), cujos valores médios mensais característicos encontrados foram os seguintes: mínima 21,3°C, máxima 21,5°C e média 21,4°C. Conforme se pode verificar os valores extremos tem pouca variação. Com esses dados foi possível fazer uma estimativa da variação da temperatura média mensal no Município de Araguari.

#### **3.2 - Dados de Precipitação**



A precipitação é entendida em hidrologia como toda água (chuva, granizo, orvalho, geada, etc.) proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. As grandezas que caracterizam uma chuva são: i) altura pluviométrica (P ou r) – espessura média da lamina d’água precipitada que recobriria a região atingida pela precipitação admitindo-se que essa água não se infiltrasse, não se evaporasse, nem escoasse para fora dos limites da região; ii) duração (t) – é período de tempo durante o qual a chuva cai; iii) intensidade (i) – é a precipitação por unidade de tempo, obtida com a relação  $i = P/t$ . (Bertoni *et al.* 2001).

A aquisição dos dados de precipitação nas sub-bacias experimentais foi realizada com pluviômetro do tipo “Ville de Paris”, o mesmo permite o registro diário das chuvas em milímetros. As leituras foram realizadas por monitores no período da manhã (09:00 h). Inicialmente os dados foram anotados em planilhas específicas e posteriormente transcritos para planilhas do “*excel*” para então serem tratados.

Na análise de caracterização da pluviosidade das sub-bacias Ribeirão das Araras e Córrego Amanhece foram selecionadas duas estações pluviométricas: Fazenda Maringá, código Pluv-10, e Fazenda Bocaina, código Pluv-11. Os registros diários dessas estações foram totalizados ao nível mensal e para as análises em questão, a série histórica foi delimitada no espaço temporal dos anos hidrológicos de 2003/2004 e 2004/2005, conforme se apresenta nas Figuras 3 e 4.

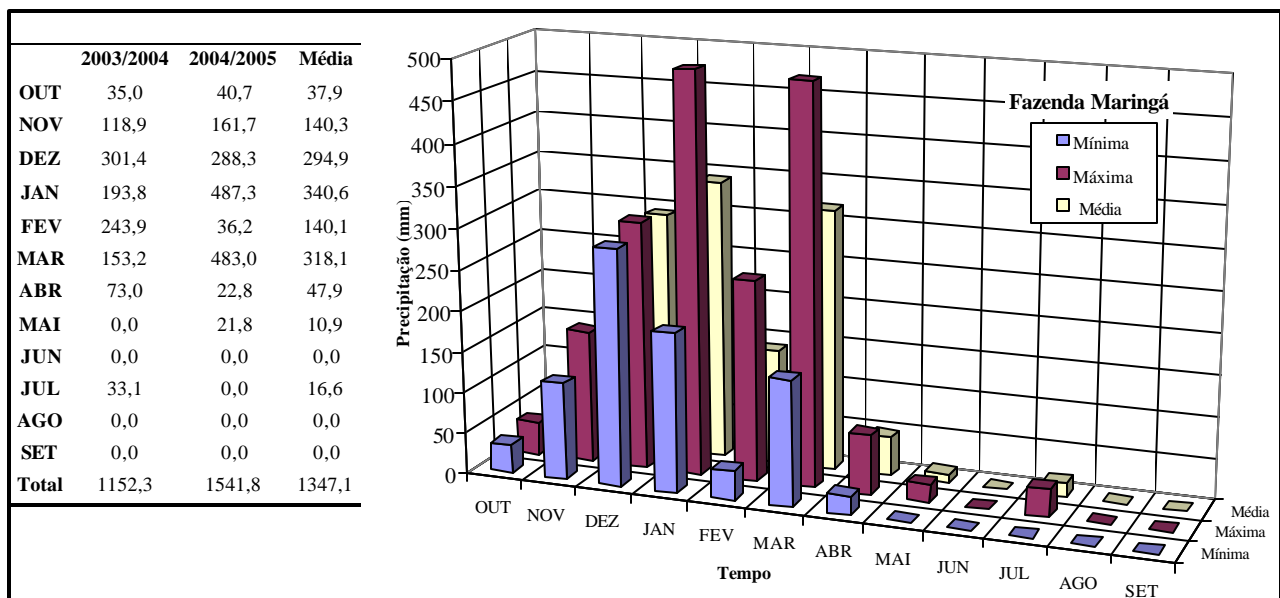


Figura 3 – Distribuição e série dos valores característicos das precipitações mensais da estação Fazenda Maringá – Pluv-10.

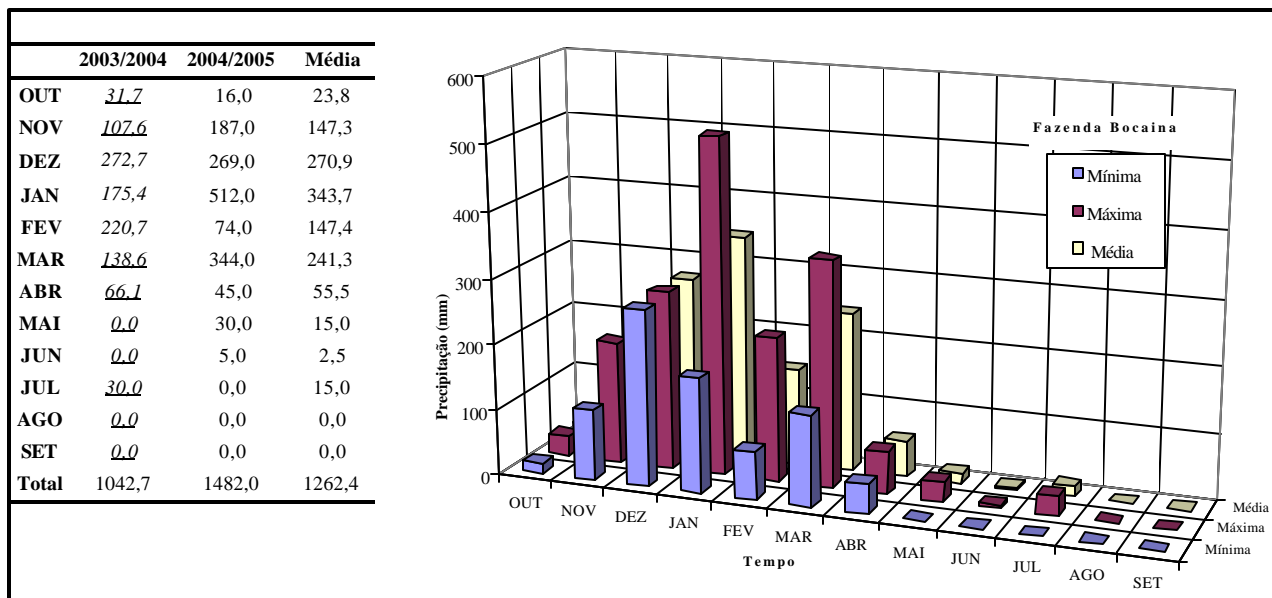


Figura 4 – Distribuição e séries dos valores característicos das precipitações mensais da estação Fazenda Bocaina – Pluv-11.

Ressalta-se que a estação Fazenda Bocaina – Pluv-11 só disponibilizava de informações a partir de outubro de 2004. As informações do ano hidrológico anterior foram preenchidas através de uma correlação com a estação Fazenda Maringá – Pluv-10, possibilitando a consolidação de dois anos hidrológicos completos.

Nos históricos dos dados monitorados das duas estações observou-se, claramente, os divisores dos períodos úmido, entre outubro e março, e seco, entre abril e setembro, sendo que mais de 90% da precipitação anual ocorrem no período úmido e nos meses do período seco, a precipitação pode atingir valores nulos.

### 3.3 - Dados de vazão do Córregos Amanhece e do Ribeirão das Araras

A vazão ou descarga de um rio pode ser definido como o volume de água que passa através de uma seção transversal na unidade de tempo. A seqüência de observações contínuas dessa variável permite o conhecimento do regime hidrológico no ponto, que delimita uma área de drenagem que é conhecida como bacia hidrográfica.

A vazão é, basicamente, uma função das características de precipitação e suas interações com os atributos físicos e bióticos do meio. O seu monitoramento se realiza através de uma estação fluviométrica,

que consiste em um local de observação no curso d'água, onde são colocadas escalas no plano vertical para leitura direta do nível d'água ao longo do tempo, e periodicamente são medidos valores das descargas.

Para o monitoramento do regime fluvial nas sub-bacias experimentais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM instalou, em agosto de 2003, as estações fluviométricas: Fazenda Maringa (28,7km<sup>2</sup>) no Ribeirão das Araras e Fazenda Bocaina (8,6 km<sup>2</sup>) no curso alto do córrego Amanhece (vide Figura 2).

A operação das estações está sendo realizada pelo IGAM, que periodicamente disponibiliza uma equipe de hidrometria para a realização das medições de descarga líquida e pela SAE que efetua as leituras diárias das réguas duas vezes ao dia, uma no período da manhã (7:00 h) e outra no final da tarde (17:00 h).

É importante ressaltar que as medidas de leituras das réguas limnimétricas realizadas apenas duas vezes ao dia, por vezes deixou de registrar alguns picos de vazão por terem ocorridos em horários diferentes ao das leituras. Outro fator influente e que faz-se necessário ressaltar é a retirada de água, tanto do leito dos rios ao nível superficial como do sistema aquífero mediante poços, ambos influenciam o escoamento de base. A quantificação das extrações ao nível de volume anual é extremamente complexa, já que não se tem um histórico de funcionamento destas captações.

As informações relativas as medições de descarga líquida foram levantadas, sistematizadas e consistidas, possibilitando a definição das relações das curvas-chave nas duas estações fluviométricas e, conseqüentemente, a definição de suas respectivas séries de vazões médias diárias.

Partindo das séries de vazões médias mensais apresentadas para as duas sub-bacias, pode-se avaliar os deflúvios do período monitorado como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Deflúvios monitorados nas sub-bacias experimentais em Araguari.

| Sub-bacias           | Araras          |           |           | Amanhece |           |           |       |
|----------------------|-----------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-------|
|                      | Ano Hidrológico | 2003/2004 | 2004/2005 | Média    | 2003/2004 | 2004/2005 | Média |
| <b>Deflúvio (mm)</b> |                 | 405       | 546       | 475      | 370       | 354       | 362   |
| <b>Run-off</b>       |                 | 35%       | 35%       | 35%      | 36%       | 24%       | 30%   |

Observa-se que a relação do deflúvio e a precipitação anual (*run-off*) foi de 35% para a sub-bacia do Ribeirão Araras e de 30% para a sub-bacia do Córrego Amanhece. Estes valores estão influenciados pelas retiradas das águas para a irrigação, tanto superficial como subterrânea, no período de deficiência hídrica do ano hidrológico. Portanto, dificilmente se poderia avaliar o fluxo de base mediante técnicas de

separação de hidrogramas. Não obstante, os escoamentos direto e subsuperficial potencial do período de excedente hídrico não são interferidos pelas retiradas, já que a precipitação, teoricamente, devesse suprir a evapotranspiração real das culturas.

Partindo da hipótese descrita, utilizou-se a técnica automatizada na separação do hidrograma denominada “*smoothed minima*” com o objetivo de caracterizar os escoamentos direto e subsuperficial potencial. Nas figuras 5 e 6 são apresentadas as delimitações do fluxo de base dos escoamentos direto e subsuperficial para as duas sub-bacias.

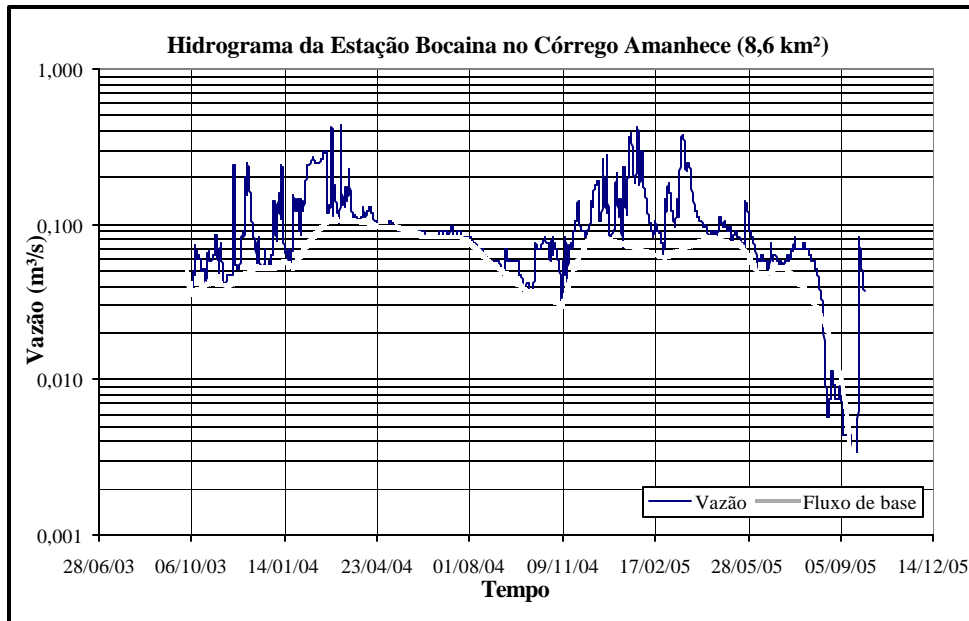


Figura 5 – Separação do Hidrograma com o método “*smoothed minima*” no Córrego Amanhece.

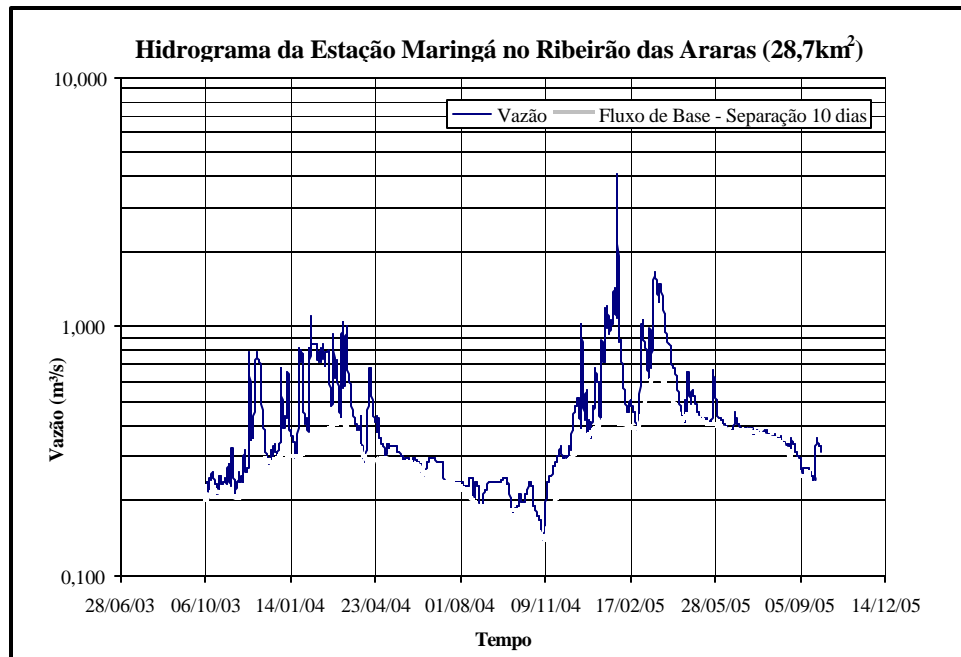


Figura 6 – Separação do Hidrograma com o método “*smoothed minima*” no Ribeirão Araras.

Observa-se nos hidrogramas, que os períodos de estiagens apresentam valores espúrios de supostos escoamentos: direto e subsuperficial. Este erro é causado pela seqüência alternada de retiradas (início e fim de bombeamento), o que provoca alterações na geometria da curva de recessão, fazendo com que o método entenda que ocorram falsas subidas e descidas influenciadas por precipitações.

Após a análise do balanço hídrico se poderá definir os meses de excedentes e portanto de escoamentos direto e subsuperficial, excluindo aqueles meses que tiveram valores espúrios.

#### **4 - Apresentação dos Resultados**

O balanço hídrico é uma metodologia de análise simples, que possibilita uma avaliação das deficiências e dos excedentes hídricos de uma determinada região, sem necessidade de um grande volume de informações de campo.

A metodologia proposta por Thornthwaite (1948) consiste na aplicação do princípio da conservação de massa, contabilizando as entradas (precipitações), as saídas (evapotranspiração real, percolação e escoamentos: direto e subsuperficial) e as variações da água armazenada no reservatório superficial.

A evapotranspiração real é uma variável dependente da precipitação e da evapotranspiração potencial, sendo esta última um elemento climático ligado ao balanço de energia solar, portanto, dependente da temperatura média do ar. Assim, partindo dos dados monitorados ao nível mensal, precipitação e temperatura, inicia-se o processo estimando a evapotranspiração potencial e mediante o processamento do balanço hídrico define-se as variáveis: evapotranspiração real, deficiência e excedente hídrico.

Para o cálculo da evapotranspiração potencial utilizou-se a fórmula empírica de Thornthwaite que emprega um fator tabelado do comprimento do dia, que dependente da latitude, e da variável monitorada, temperatura média do ar. Devido a inexistência de dados nos anos hidrológicos de 2003/2004 e 2004/2005, período base do estudo, a baixa variabilidade mensal dos valores da temperatura do ar, admitiu-se para a estimativa da evapotranspiração potencial das sub-bacias experimentais do Córrego Amanhece e Ribeirão das Araras os valores médios mensais avaliados para o período 1987/1988 a 2002/2003, conforme se mostra na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores da evapotranspiração potencial na área do Projeto Araguari.

| OUT | NOV  | DEZ | JAN | FEV  | MAR  | ABR | MAI  | JUN | JUL | AGO | SET | TOTAL |
|-----|------|-----|-----|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------|
| 114 | 99,2 | 102 | 100 | 87,6 | 93,5 | 83  | 63,9 | 59  | 55  | 75  | 80  | 1013  |

De posse das informações de precipitação mensal, dos valores mensais da evapotranspiração potencial e com a adoção do limite de 100 milímetros para a capacidade de retenção da umidade no solo, processou-se o balanço hídrico para os anos hidrológicos de 2003/2004 e 2004/2005 para as duas sub-bacias experimentais do Córrego Amanhece e Ribeirão Araras. Os resultados das séries avaliação das deficiências e dos excedentes hídricos, assim como da evapotranspiração real estão apresentados nas Figuras , 7, 8, 9 e 10.

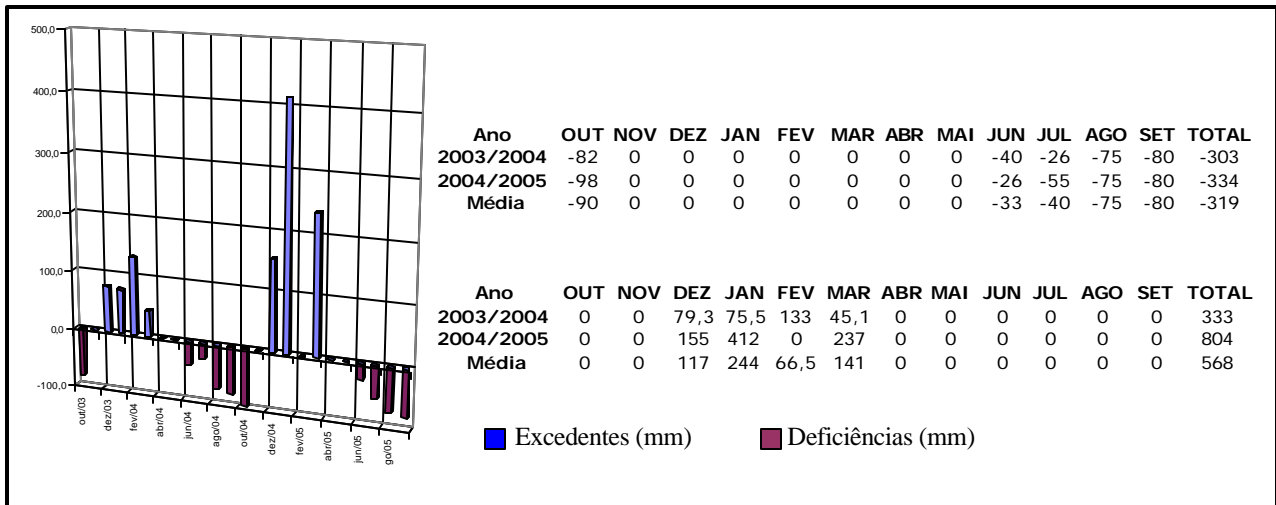


Figura 7 – Série de valores de deficiência e excedentes da Sub-bacia do Córrego Amanhece.

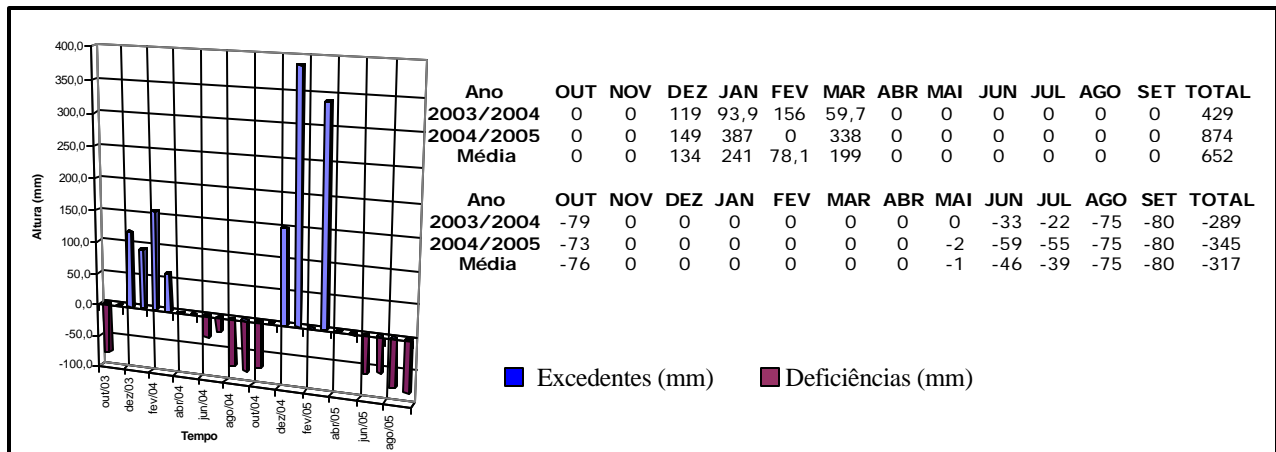


Figura 8 – Série de valores de deficiência e excedentes da Sub-bacia do Ribeirão das Araras.

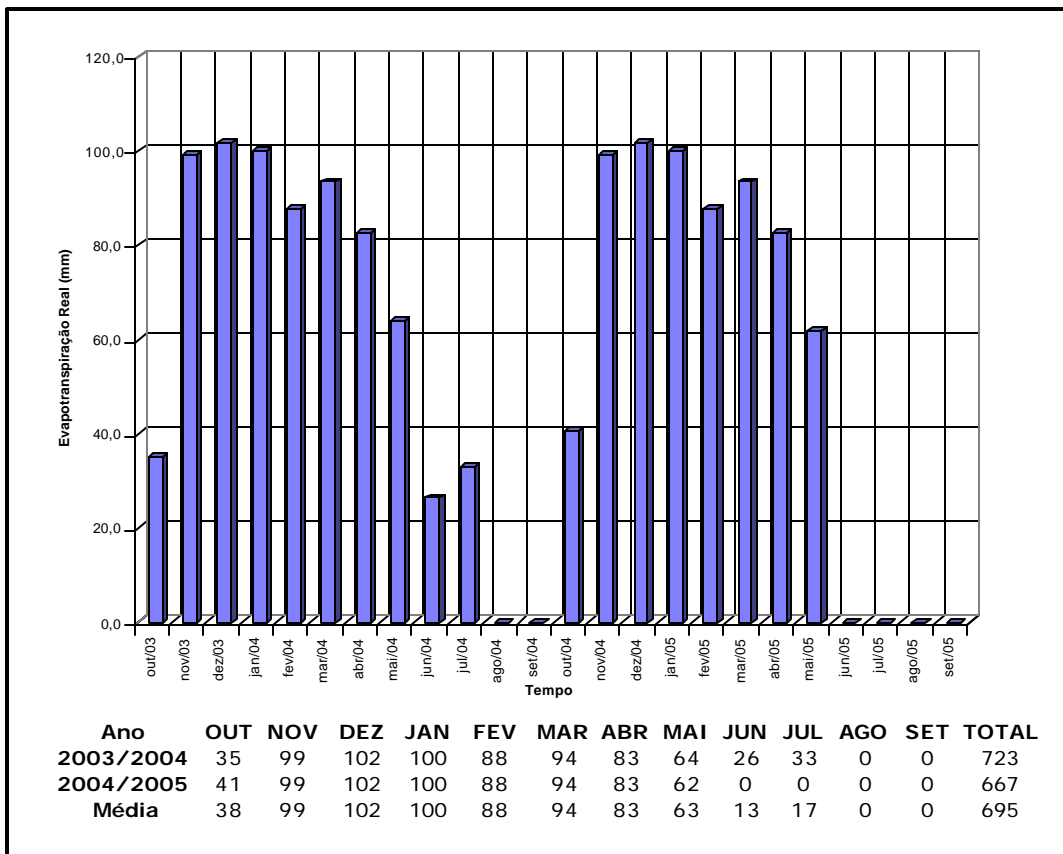


Figura 9 – Séries das ETR da Sub-bacia do Córrego Amanhece.

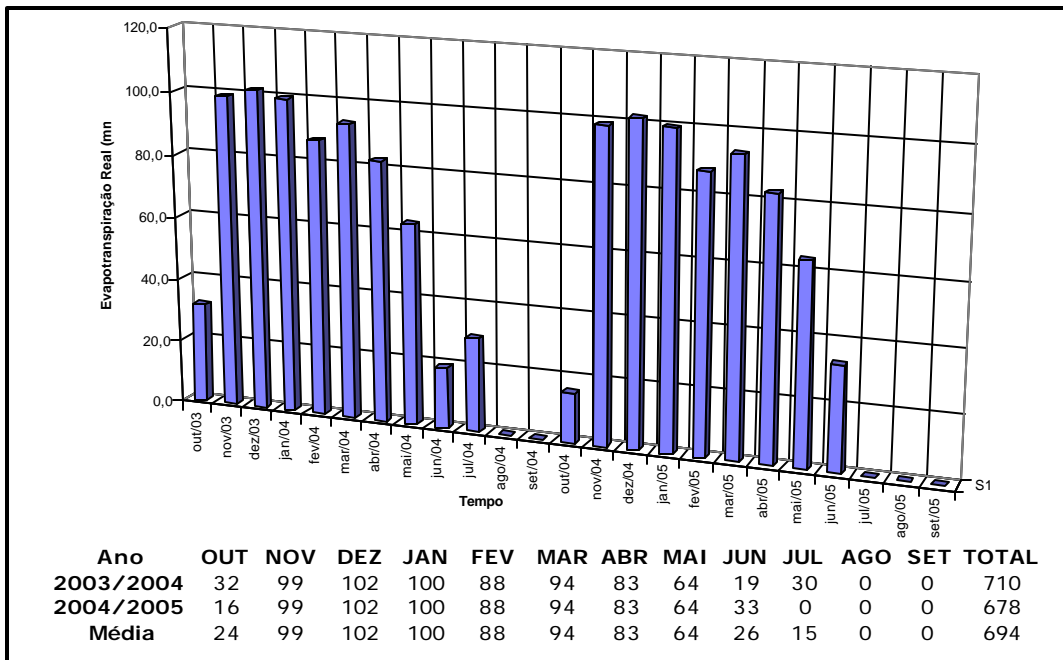


Figura 10 – Séries das ETR da Sub-bacia do Ribeirão das Araras.

Nas duas sub-bacias analisadas observou-se que o excedente hídrico dos anos hidrológicos avaliados ocorreu no período entre dezembro e março. Assim, mantendo este período como o de ocorrência de escoamento superficial, exclui-se os demais meses e a separação do hidrograma das vazões monitoradas permite definir as seguintes séries de escoamento superficial (mm) dada em milímetros (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3 – Série dos escoamentos superficiais (mm) da estação da sub-bacia do Córrego Amanhece.

| <b>Ano</b>       | <b>OUT</b> | <b>NOV</b> | <b>DEZ</b> | <b>JAN</b> | <b>FEV</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAI</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SET</b> | <b>TOTAL</b> |
|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| <b>2003/2004</b> | 0          | 0          | 13,3       | 16,5       | 43,3       | 17,2       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 90,2         |
| <b>2004/2005</b> | 0          | 0          | 18,4       | 37,7       | 18         | 38,5       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 112,1        |
| <b>Média</b>     | 0          | 0          | 15,8       | 27,1       | 30,4       | 27,8       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 101,2        |

Tabela 4 – Série dos escoamentos superficiais (mm) da estação da sub-bacia do Ribeirão das Araras.

| <b>Ano</b>       | <b>OUT</b> | <b>NOV</b> | <b>DEZ</b> | <b>JAN</b> | <b>FEV</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAI</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SET</b> | <b>TOTAL</b> |
|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| <b>2003/2004</b> | 0          | 0          | 14,1       | 16,3       | 34,4       | 20,3       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 85,1         |
| <b>2004/2005</b> | 0          | 0          | 10,7       | 38,4       | 0          | 47,5       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 96,5         |
| <b>Média</b>     | 0          | 0          | 12,4       | 27,3       | 17,2       | 33,9       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 90,8         |

Considerando que o excedente hídrico constitui-se na recarga acrescida de parcela relativa aos escoamentos superficiais (direto e subsuperficial), pode-se avaliar a recarga para as duas sub-bacias como a diferença entre o excedente hídrico e o escoamento superficial, que são apresentados nas Tabelas 5 e 6 abaixo.

Tabela 5 – Série das recargas (mm) na sub-bacia do Córrego Amanhece.

| <b>Ano</b>       | <b>OUT</b> | <b>NOV</b> | <b>DEZ</b> | <b>JAN</b> | <b>FEV</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAI</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SET</b> | <b>TOTAL</b> |
|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| <b>2003/2004</b> | 0          | 0          | 66,0       | 59,0       | 89,8       | 27,9       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 243          |
| <b>2004/2005</b> | 0          | 0          | 137        | 374        | 0          | 198        | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 709          |
| <b>Média</b>     | 0          | 0          | 101        | 217        | 44,9       | 113        | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 476          |

Tabela 6 – Série das recargas (mm) na sub-bacia do Ribeirão das Araras.

| <b>Ano</b>       | <b>OUT</b> | <b>NOV</b> | <b>DEZ</b> | <b>JAN</b> | <b>FEV</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAI</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SET</b> | <b>TOTAL</b> |
|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| <b>2003/2004</b> | 0          | 0          | 105        | 77,6       | 122        | 39,4       | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 344          |
| <b>2004/2005</b> | 0          | 0          | 138        | 349        | 0          | 291        | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 778          |
| <b>Média</b>     | 0          | 0          | 122        | 213        | 60,9       | 165        | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 561          |



Tudo indica, que o período base de recarga ocorre entre os meses de dezembro e março com possibilidades de interrupções em alguns destes meses, tendo em vista a ocorrência do fenômeno conhecido como “veranico”.

O mês de fevereiro de 2004/2005 ilustra este fato com a repercussão de ausência de recarga. Este processo é consequência do baixo índice pluviométrico, que costuma ocorrer aleatoriamente neste período do ano hidrológico, propiciando elevado déficit hídrico causado pela evapotranspiração real.

Observa-se, que apesar da ocorrência do veranico, o ano de 2004/2005 alcançou um valor expressivo de recarga média (744 mm) nas duas sub-bacias experimentais analisadas, ou seja, próximo de 49% do total precipitado durante o ano citado. Cabendo ressaltar, que a precipitação média (1.512 mm) do ano 2004/2005 representa um ano médio ao nível das precipitações médias de longo termo.

O outro ano analisado (2003/2004) com precipitação média (1.098 mm) abaixo da média de longo termo, teve uma recarga média (294 mm) mais modesta, ou seja, uma média aproximada de 27% do total precipitado para as duas áreas em análise.

## **5 - Conclusões**

A recarga média avaliada pelo método do balanço hídrico para as duas sub-bacias experimentais (Córrego Amanhece e Ribeirão Araras), considerando a seqüência dos dois anos hidrológicos (2003/2004 e 2004/2005), foi de 38% do total médio precipitado com uma análise conjunta de um ano seco de 27% (2003/2004) e um ano médio de 49% (2004/2005).

Estas duas sub-bacias refletem a situação atual de uso e ocupação agrícola da região de Araguari, que se destaca, atualmente, pela intensa extração hídrica aos níveis superficial e subterrâneo, fato que vem gerando conflitos entre os diversos usuários.

Um fato interessante do método do balanço hídrico é que além da possibilidade de avaliar a recarga, ele fornece subsídios para a análise da deficiência hídrica do ano hidrológico, que para as áreas estudadas foi de 25% do total médio precipitado com uma média de 27% para o ano mais seco (2003/2004) e 23% para o ano mais úmido (2004/2005).

Verificando os resultados das duas variáveis: recarga e deficiência hídrica, observa-se que a variação da deficiência hídrica nos dois anos hidrológicos analisados é pouco expressiva, enquanto que a variação da recarga é bastante significativa tendo em vista a variável precipitação para os dois casos.

Confrontando os valores médios entre a recarga e o déficit pode-se concluir que as condições hídricas regionais são favoráveis no balanço hídrico, o que indica a possibilidade de autogestão dos

próprios recursos hídricos, sobretudo, na agricultura, no período de estiagem, ou seja, a utilização conjunta do escoamento de base dos mananciais e do sistema aquífero regional. Cabendo ressaltar também, a importância e a viabilidade de implantação de um plano de gerenciamento de recursos hídricos regionais com abordagem conjunta das águas superficiais e subterrâneas.

## **6 - Referências Bibliográficas**

BARCELOS J. H., 1984 – Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do Grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do Estado de São Paulo. Tese Livre Docência, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 190 p.

BERTONI J. C., & Tucci C. E. M., 2001 – Precipitação. In: Hidrologia Ciência e Aplicação. Pp 177 – 241.

CARVALHO FILHO, C. A.; Branco, O. E. A., e Diaz, J. I., 2005 – Avaliação dos recursos hídricos do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no município de Araguari-MG. 1º campanha para estudo de vulnerabilidade. 14 p.

COSTA F. M., 2005 – Análise por Métodos Hidrológicos e Hidroquímicos de Fatores Condicionantes do Potencial Hídrico de Bacias Hidrográficas – Estudo de Casos no Quadrilátero Ferrífero (Mg). Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia Universidade Federal de Ouro Preto, 147 p.

CUSTÓDIO, E., e Lhamas, M. R., 1976 – Hidrologia Subterrânea. Barcelona, Ed. Omega.2v.

FIUMARI, S. L., 2004 – Caracterização do Sistema Hidrogeológico Bauru no Município de Araguari – MG. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Minas Gerais, 117 p.

OLIVEIRA, L. A., 2002 – O Sistema Aquífero Bauru na Região de Araguari/MG: Parâmetros Dimensionais e Proposta de Gestão. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 118 p.

VASCONCELOS, S. M. S., 2005 – Avaliação da recarga subterrânea através da variação do nível potenciométrico no Aquífero Dunas/Paleodunas, Fortaleza, Ceará. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. V. 10, 49 – 56 p.

VELÁSQUEZ, L. N. M., 1996 – Efeitos da urbanização sobre o sistema hidrológico: aspectos da recarga no aquífero freático e escoamento superficial – área piloto: subbacias Sumaré e Pompéia, município de São Paulo. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. 124 p

WAHNFRIED, I. e Hirata, R., 2005 – Comparação dos Métodos de Estimativa de Recarga de Aquíferos em uma Planície Aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (São Paulo). In: ABRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos. 15 – 25 p.