



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**CAMPUS JATAÍ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**FLUXOS HÍDRICOS NA MICROBACIA DO CÓRREGO DO QUEIXADA NO  
MUNICÍPIO DE JATAÍ (GO)**

**FÁBIO CARVALHO**

**JATAÍ/ GO**

**2011**

**FÁBIO CARVALHO**

**FLUXOS HÍDRICOS NA MICROBACIA DO CÓRREGO DO QUEIXADA NO  
MUNICÍPIO DE JATAÍ (GO)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Goiás - Campus Jataí/CAJ-UFG, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Organização do espaço nos domínios do Cerrado brasileiro

Orientador: Prof. Dr. Iraci Scopel

Co-Orientador: Prof. Dr. Hildeu Ferreira da Assunção

**JATAÍ/ GO**

**2011**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)  
BSCAJ/UFG**

C331f

Carvalho, Fábio

Fluxos hídricos na microbacia do córrego do Queixada  
no município de Jataí (GO) / Fábio Carvalho. - 2011.

133 f. : il., figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Iraci Scopel; Co-orientador: Prof.  
Dr. Hildeu Ferreira da Assunção

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás,  
Campus Jataí, 2011.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, mapas, desenhos, fotografias, es-  
quemias, gráficos, tabelas, abreviaturas e siglas.

1. Bacias hidrográficas 2. Recursos hídricos – Goiás I.  
Título.

CDU: 556.51(81)

**FÁBIO CARVALHO**

**TÍTULO: "FLUXOS HÍDRICOS NA MICROBACIA DO CÓRREGO DO QUEIXADA NO MUNICÍPIO DE JATAÍ (GO) ".**

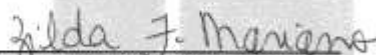
Dissertação DEFENDIDA e APROVADA em 23 de agosto de 2011, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:



Prof. Dr. Iraci Scopel  
Presidente – CAJ/UFG



Prof. Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho  
Membro Externo – UFG



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Zilda de Fátima Mariano  
Membro Interno - CAJ/UFG

**UFG**

Jataí - Goiás  
Brasil

Liberação para disponibilização?<sup>1</sup>                       total             parcial

Em caso de disponibilização parcial, assinale as permissões:

Capítulos. Especifique: \_\_\_\_\_

Outras restrições: \_\_\_\_\_

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Data: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Assinatura do (a) autor (a)

---

<sup>1</sup> Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e metadados ficarão sempre disponibilizados.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus dois filhos, Pedro e Isabela, a minha esposa, Edcarla, ao meu pai Alcivando (*in memoriam*) e minha mãe Mariana, sem os quais, não teria alcançado este prodígio.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade de estar realizando mais este objetivo de minha vida, e daqui em diante mais fortalecida. Agradeço aos meus pais, Alcivando de Carvalho - *in memoriam* - e Mariana Carvalho. Agradeço também a minha família nos momentos difíceis, quando serviram como suporte para prosseguir em minhas jornadas.

Se não fosse a colaboração e a dedicação para com os dados destas pesquisas de Luís Carlos dos Santos Pinheiro (SANEAGO), de Valdemis Barbosa dos Santos, de Gumercinda Carlos da Silva e de Lúcio Soares Ferreira não teríamos alcançado êxito na confecção deste trabalho. Agradeço aos meus orientadores Iraci Scopel e Hildeu Ferreira da Assunção pela paciência e dedicação para com o trabalho. Quero agradecer de forma que não há preço aos meus colaboradores: turma do Bacharelado de Geografia do ano de 2009 do Campus Jataí - UFG, Thiago Ferreira da Silva, Londe-Wande Claro de Lima, Fabiano Rodrigues da Silva e aos demais aqui não citados, que de uma forma ou de outra colaboraram para a realização deste.

**RESUMO:** O diagnóstico do fluxo hidrológico e da interceptação da chuva pela vegetação justifica-se pela necessidade de conhecimento da influência destes elementos em bacias hidrográficas, pois a vegetação e o uso adequado da terra são os responsáveis pela manutenção da qualidade das vertentes, evitando-se a erosão, a perdas de solos, o assoreamento dos cursos d'água e induz a manutenção das reservas de água subterrânea. Este trabalho foi um estudo piloto que obteve dados dos componentes do sistema hidrológico da microbacia do córrego do Queixada (MHQ), tributária do Rio Claro, representada na carta SE-22 de Jataí (GO), no quadrante compreendido pelas coordenadas UTM: E 419124.99 m, N 8028060.83 m, E 423105.19 m e N 8021056.99 m. A MHQ foi mapeada em seus aspectos de uso e ocupação da terra através de imagens de satélites dos anos de 2007/2008 (*Google Earth*) e por meio de uma fotografia aérea vertical pancromática do ano de 1965 (Força Aérea Americana - USAF). Instalou-se equipamentos específicos em uma mata de encosta da MHQ para a coleta de dados de precipitação total, de precipitação interna e de precipitação efetiva, obtendo-se os dados de interceptação da chuva pela vegetação e da abstração inicial. Foram instalados pluviômetros em pontos predefinidos da MHQ para a coleta de dados da precipitação total. Mediu-se mensalmente a vazão na foz do curso principal da MHQ para a obtenção dos dados de vazão média. Os dados necessários para os cálculos de evapotranspiração foram obtidos na Estação Meteorológica de Jataí do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A evapotranspiração real (ETR) foi obtida por meio da equação de Penman (TUCCI; BELTRAME, 2009). A recarga d'água subterrânea e o escoamento superficial para os usos da terra de 2007/2008 e de 1965 foram determinados através do método de Palmer (1965) *apud* Alley (1984). O armazenamento de água (S) foi determinado pelo método CN (*curve number - Soil Conservation Service "SCS"*), adotando-se para os usos considerados os seguintes valores de CN: capoeira - 71; cascalheira - 86; lavoura - 71; mata - 70; pastagem - 70; urbano - 90. Os dados foram manipulados por meio dos *softwares* Excel e Surfer. Verificou-se que as partições pluviométricas (precipitação interna, precipitação efetiva, interceptação e abstração inicial) apresentaram diferenças na análise de variância a partir da sazonalidade e, conseqüentemente, pelos volumes, intensidades das chuvas e da fitofisionomia analisada. Evidenciou-se que o maior escoamento superficial ocorreu em áreas mais impermeabilizadas, que foi o urbano, onde ocorreram as menores taxas relativas de recarga d'água subterrânea. Os menores deflúvios e as maiores taxas de recarga foram para as áreas de mata, capoeira e pastagens. Os resultados evidenciaram que a bacia perdeu 73.963.427 m<sup>3</sup> da capacidade armazenamento de água no uso da terra de 1965 em relação ao uso apresentado em 2007/2008. Conclui-se que necessitam-se de medidas que possam preservar as áreas de recarga, pois, com o avanço da mancha urbana poderá aumentar o escoamento superficial, reduzindo a recarga d'água subterrânea, provocando a redução do nível piezométrico, o assoreamento dos cursos d'água, processos erosivos, a morte das nascentes e dos cursos d'água, afetando todo o ecossistema. A preservação da Mata do Queixada deve ser mantida, a expansão urbana restrita e a área rural devem obedecer às determinações da legislação ambiental brasileira.

**PALAVRAS-CHAVE** - Bacia hidrográfica; interceptação; balanço hídrico;



**ABSTRACT:** The diagnosis of hydrological flow and the rainfall interception by vegetation is justified by the need for knowing the influence of these elements in river basins, where weeds and appropriate use of land are responsible for maintaining the quality of the slopes, avoiding erosion, soil loss, silting of waterways and induces the maintenance of groundwater reserves. This work is a pilot study that gathered data components of the hydrological system of the watershed of the stream Queixada (MHQ), tributary of Rio Claro, represented in the letter of Jataí SE-22 (GO), quadrant understood by the UTM coordinates: E 419124.99 m, N 8028060.83 m, E 423105.19 m e N 8021056.99 m. The MHQ was mapped in its aspects of land use and occupation through satellite images of the years 2007/2008 (Google Earth) and through a vertical panchromatic aerial photograph of 1965 (U.S. Air Force - USAF). Specific equipment was installed in a hillside forest of MHQ for data collection of rainfall, throughfall and effective precipitation, obtaining data from the rainfall interception by vegetation and the initial abstraction. Rain gauges were installed in predefined points of MHQ to collect rainfall data. We measured monthly flow at the mouth of the mainstream of MHQ to obtain the average flow data. Data required for calculation of evapotranspiration were obtained at Jataí Meteorological Station of the National Institute of Meteorology (INMET). The actual evapotranspiration (ETR) was obtained from the equation of Penman (TUCCI; BELTRAME, 2009). The ground water recharge and runoff for uses of land in 2007/2008 and 1965 were determined by the method of Palmer (1965) cited in Alley (1984). The water storage (S) was determined by CN method (curve number - Soil Conservation Service "SCS"), adopting for uses considered the following values of CN: capoeira - 71; gravel - 86; crops - 71; kills - 70; pasture - 70, urban - 90. The data were manipulated through the software Excel and Surfer. It was found that partitions rainfall (throughfall, effective precipitation, interception and initial abstraction) showed differences in the analysis of variance from the seasonality and, consequently, by volume, intensity of rainfall and vegetation type examined. It was found that the highest runoff occurred in impermeable areas, which was the city where there were lower rates for recharging groundwater. The lowest and the highest runoff rates went to the recharge areas of forest, scrub and grassland. The results showed that the basin has lost 73,963,427 m<sup>3</sup> of water storage capacity land use in 1965 in relation to the use made in 2007/2008. We conclude that need of measures to preserve recharge areas, because with the advancement may increase the urban runoff, reducing the recharge underground water, causing the reduction of water level, the silting of watercourses, erosion, death of springs and watercourses, affecting the entire ecosystem. Preserving the Forest of complaints should be maintained, restricted urban sprawl and rural areas must comply with the determinations of Brazilian environmental legislation.

**KEY-WORDS** - Watershed; interception; water balance;

## LISTA DE MAPAS

<b>Mapa 1</b> - Localização da microbacia hidrográfica do córrego do Queixada.....	72
<b>Mapa 2</b> - Uso da terra da microbacia do córrego do Queixada no ano de 2007/2008.....	98
<b>Mapa 3</b> - Precipitação total para os meses de outubro e de novembro de 2009.....	99
<b>Mapa 4</b> - Precipitação total para os meses de dezembro de 2009 e de janeiro de 2010.....	100
<b>Mapa 5</b> - Precipitação total para os meses de fevereiro e de março de 2010.....	101
<b>Mapa 6</b> - Precipitação total para os meses de abril e de maio de 2010.....	102
<b>Mapa 7</b> - Precipitação total para os meses de junho e de outubro de 2010.....	103
<b>Mapa 8</b> - Precipitação total para os meses de novembro e de dezembro de 2010.....	104
<b>Mapa 9</b> - Precipitação total para os meses de janeiro e de fevereiro de 2011.....	105
<b>Mapa 10</b> - Precipitação total do mês de março de 2011.....	106
<b>Mapa 11</b> - Escoamento superficial e recarga d'água subterrânea na microbacia do córrego do Queixada (mm) - verão (2009/2010).....	110
<b>Mapa 12</b> - Escoamento superficial e recarga d'água subterrânea na microbacia do córrego do Queixada (mm) - outono (2010).....	111
<b>Mapa 13</b> - Escoamento superficial e recarga d'água subterrânea na microbacia do córrego do Queixada (mm) - primavera (2010).....	112
<b>Mapa 14</b> - Escoamento superficial e recarga d'água subterrânea na microbacia do córrego do Queixada (mm) - verão (2010/2011).....	113
<b>Mapa 15</b> - Uso da terra microbacia do córrego do Queixada em 1965.....	115
<b>Mapa 16</b> - Simulações do escoamento superficial e da recarga no verão de 1964-1965 na microbacia do córrego do Queixada.....	117
<b>Mapa 17</b> - Simulações do escoamento superficial e da recarga a partir do uso da terra do outono de 1965 na microbacia do córrego do Queixada.....	118
<b>Mapa 18</b> - Simulações do escoamento superficial e da recarga a partir do uso da terra da primavera de 1965 na microbacia do córrego do Queixada.....	119
<b>Mapa 19</b> - Simulações do escoamento superficial e da recarga a partir do uso da terra do verão de 1965/1966 na microbacia do córrego do Queixada.....	120

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

<b>Fotografia 1 - A</b> - pluviômetro fixado na extremidade do cano galvanizado; <b>B</b> - trabalhos de fixação das estruturas no tronco da árvore; <b>C</b> - armação que mantém o cano galvanizado fixado ao tronco; <b>D</b> - pluviômetro totalizador acima das copas das árvores.....	80
<b>Fotografia 2 - A</b> - instantes da instalação do equipamento para a coleta da precipitação interna; <b>B</b> - perfil do equipamento com o reservatório da água captada; <b>C</b> - visão da área de captação e tela de proteção .....	81
<b>Fotografia 3 - A</b> - cilindro cortante no momento em que será inserido no solo para a retirada da camada superficial de solo; <b>B</b> - recipiente inserido no solo; <b>C</b> - local onde retirou-se os 20 cm de solo para instalação do pluviômetro efetivo; <b>D</b> - coleta dos dados de precipitação efetiva .....	82
<b>Fotografia 4</b> - Pluviômetro totalizador em área aberta de cano de PVC.....	84

## LISTA DE DESENHOS

<b>Desenho 1</b> - Perfil geológico da cidade de Jataí (GO), passando pela microbacia do córrego do Queixada localizando-se nos pontos de maior altitude apresentado no perfil indo além da localização das águas termais do clube Bees Thermas Park Internacional .....	76
--	----

## LISTA DE ESQUEMAS

<b>Esquema 1</b> - Compartimentação da água subterrânea.....	32
<b>Esquema 2</b> - Componentes do balanço hidrogeológico .....	86

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Microbacia do córrego do Queixada mostrando a altimetria e o volume da microbacia utilizado para o balanço hidrogeológico e as linhas de fluxo do escoamento superficial .....	107
--	-----

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Vazão média e precipitação total média do mês de outubro de 2009 ao mês de março de 2011 na MHQ .....	106
<b>Gráfico 2</b> - Correlação entre precipitação efetiva e recarga d'água subterrânea na Microbacia do Córrego do Queixada para os períodos do verão 2009/2010, outono 2010, inverno 2010 e primavera 2010 .....	113
<b>Gráfico 3</b> - Correlação mensal entre o escoamento superficial e a vazão média na foz da microbacia do córrego do Queixada para todo o período analisado.....	114

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Relação entre a área da bacia hidrográfica e o número mínimo de pluviômetros requeridos .....	26
<b>Tabela 2</b> - Alterações devido à urbanização e seus efeitos diretos.....	36
<b>Tabela 3</b> - Coordenadas UTM-22 dos pontos para a coleta de P, PI e PE.....	83
<b>Tabela 4</b> - Meses considerados nas análises sazonais das partições pluviométricas na microbacia hidrográfica do córrego do Queixada .....	84
<b>Tabela 5</b> - Localização dos pluviômetros totalizadores na microbacia do córrego do Queixada (Zona UTM-22) .....	85
<b>Tabela 6</b> - Partição pluviométrica na microbacia do córrego do Queixada para o período do verão .....	90
<b>Tabela 7</b> - Partição pluviométrica na Mata do Queixada para o período do outono .....	91

<b>Tabela 8</b> - Teste de média para a precipitação interna para as diferentes fitofisionomias no período inverno.....	91
<b>Tabela 9</b> - Teste de médias para a abstração inicial nas três fitofisionomias, no período inverno.....	93
<b>Tabela 10</b> - Teste de média para a interceptação para as fitofisionomias no período da primavera.....	95
<b>Tabela 11</b> - Totais das partições pluviométricas para as fitofisionomias (mm).....	96
<b>Tabela 12</b> - Áreas e contribuições da precipitação pluviométrica para as variáveis definidas nos usos da terra considerados na microbacia do córrego do Queixada .....	108
<b>Tabela 13</b> - Contribuições em volume de água no período de novembro/2009 a março/2011 para as variáveis definidas, nos usos considerados na microbacia do córrego do Queixada .	108
<b>Tabela 14</b> - Valores absolutos e relativos dos usos da terra na microbacia do córrego do Queixada no ano de 2007/2008 e 1965 .....	116

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\frac{dv}{dt}$  - balanço hídrico

**AI** - Abstração inicial

**APP** - Área de Preservação Permanente

**ARM** - Armazenamento

**CAD** - Capacidade de armazenamento de água no solo

**CN** - *Curve number*

**D** - Deflúvio ou escoamento superficial

**Et** - Escoamento pelo tronco

**ET** - Evapotranspiração

**ETP** - Evapotranspiração potencial

**ETR** - Evapotranspiração real

**EXC** - Excedente hídrico

**I** - Interceptação

**MHQ ou BHQXD** - Microbacia Hidrográfica do Córrego do Queixada

**P** - Precipitação total

**PE** - Precipitação efetiva

**PI** - Precipitação interna

**Q** - vazão

**R** - recarga

**RO** - *Runoff*

**S** - Armazenamento de água no solo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>20</b>
2.1 O ciclo hidrológico	20
2.2 Definição e caracterização de bacia hidrográfica	21
2.3 Fluxos hídricos em bacias hidrográficas	23
2.3.1 Precipitação	23
2.3.2 Interceptação da chuva pela vegetação: precipitação interna e escoamento pelo tronco	26
2.3.3 Precipitação efetiva e infiltração de água no solo	29
2.3.4 Armazenamento de água no solo e no subsolo	31
2.3.5 Escoamento superficial	34
2.3.6 Drenagem urbana	35
2.3.7 Vazão	39
2.3.8 Evaporação e evapotranspiração	41
2.3.9 Excedente e déficit hídrico	47
2.4 Hidrogeologia	48
2.4.1 Balanço hídrico	50
2.5 Gestão de bacias hidrográficas	54
2.5.1 Planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas - o caso do Cerrado	57
2.5.2 Uso da terra e gestão de bacias hidrográficas	63
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>72</b>
3.1 Localização e descrição geral da área de estudo	72
3.2 Procedimentos	78
3.2.1 Coleta e análise dos dados de interceptação da chuva pela vegetação	78
3.2.2 Aquisição, coleta e análises dos dados do balanço hidrogeológico	84
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>89</b>
4.1 Partição pluviométrica em uma mata de encosta da microbacia hidrográfica do córrego do Queixada	89
4.2 Balanço hidrogeológico - uso da terra 2007/2008	97

4.3	Simulações do escoamento superficial e da recarga d'água subterrânea para o uso da terra de 1965 ----	
	-----	115
5	CONCLUSÕES -----	123
6	REFERÊNCIAS -----	126



## 1 INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são referências em estudos geográficos e são comumente utilizados em estratégias para planejamento territorial dos Estados, o qual leva em consideração os seus limites, os aspectos físicos e de uso e ocupação da terra. As encostas das bacias são importantes objetos de estudos dentro de pesquisas geomorfológicas, essenciais para a compreensão dos processos físicos atuantes nas paisagens naturais. Neste sentido, as alterações no sistema geomorfológico de uma bacia hidrográfica geram conseqüências nefastas, que poderão ser sentidas em outros sistemas geomorfológicos, como o hídrico, afetando todo o funcionamento natural da bacia (GUERRA, 2009).

Os diversos usos e a ocupação da terra em uma bacia hidrográfica alteram as configurações naturais do sistema geomorfológico, como o hidrológico, que pode sofrer alterações no ciclo da água, acarretando problemas de inundações, erosões, deslizamentos e tragédias para a população, afetando todo o ecossistema (GUERRA, 2009).

As diversas atividades antrópicas sejam em áreas urbanas ou rurais, provocam mudanças nos fatores e elementos naturais atuantes no ciclo hidrológico. Um dos primeiros grandes impactos que as vertentes das bacias hidrográficas sofrem é o desmatamento. Com o processo de desmatamento várias conseqüências podem ser sentidas. A primeira delas é a propensão das áreas a terem seus solos compactados pelas atividades humanas, rurais e urbanas. Assim, se em uma vertente ocorrer à impermeabilização dos solos a água que deveria infiltrar irá escoar superficialmente, podendo provocar inundações, principalmente em áreas urbanas e erosões e assoreamento em áreas rurais.

O manejo correto das bacias hidrográficas tem-se mostrado eficiente na implantação do desenvolvimento sustentável proposto pelas reuniões e protocolos ambientais das últimas décadas. O conhecimento do funcionamento hidrológico das bacias hidrográficas torna-se importante na tomada de decisões por parte de entidades públicas e privadas. O uso incorreto dos recursos naturais das bacias hidrográficas pode levar a conseqüências negativas como o rebaixamento das águas subterrâneas, perdas de solos, erosões e assoreamento dos cursos d'água.

O levantamento e análise das características físicas, químicas, biológicas e sócio-econômicas atuais de uma bacia podem indicar a aptidão de uso e ocupação das terras, mais

adequada e conveniente, propondo, quando necessária, a utilização de técnicas que mitiguem os impactos ambientais. Neste sentido, as encostas, nas bacias hidrográficas, são importantes compartimentos geomorfológicos, essenciais para o diagnóstico da paisagem no seu todo. A avaliação do seu grau de fragilidade é uma condição que facilita o controle da erosão em terras agrícolas em seus diversos tipos como, por exemplo, os deslizamentos e/ou movimentos de massa. Portanto, o sistema geomorfológico de uma bacia, quando alterado, gera consequências, às vezes, nefastas que serão sentidas em outros sistemas, como o hídrico, o pedológico e a própria ocupação, afetando todo o funcionamento da bacia (GUERRA, 2009).

O desmatamento é um grande fator negativo para a qualidade e quantidade das águas subterrâneas, visto que as florestas mantêm o funcionamento de processos naturais que são fundamentais, como, a evapotranspiração, a infiltração e, portanto, a recarga dos lençóis freáticos nas bacias hidrográficas. Algumas regiões de maior escassez de água, como em áreas do Oriente Médio e algumas outras regiões desérticas, dependem fundamentalmente das águas subterrâneas e estas podem ter um valor comercial muito alto futuramente (TUNDISI, 2005).

O conhecimento do volume e da qualidade das águas subterrâneas torna-se importante fonte de informações para diversas finalidades como: as reservas explotáveis e qualidade da água. O planejamento técnico-científico objetivando o melhor uso da terra para as bacias hidrográficas preservará o ciclo da água, o que promoverá a manutenção de outros recursos naturais, como os solos e a biota. A vegetação de regiões de nascentes, de encostas de morros e de vegetação ciliar deve ser preservada ou restaurada. O uso para a agropecuária, indústrias e outras devem obedecer a lógicas de planejamento ambiental, observando aspectos como declividade, tipo de solo, proximidade do lençol d'água, respeitando a legislação ambiental sobre a emissão de efluentes.

Para a manutenção dos recursos naturais as diversas formas de planejamento devem ser adotadas por parte das entidades governamentais e que a sociedade seja conscientizada da necessidade do desenvolvimento sustentável. A região do Cerrado abriga nascentes de bacias hidrográficas importantes e deve ter seus usos adequados para a preservação da água juntamente com políticas voltadas para fins de atribuição de valor econômico a água do Cerrado, para que medidas sejam tomadas para a re-vegetação de nascentes e matas ciliares nos moldes científicos.

As bacias hidrográficas constituem-se em unidades por excelência para o planejamento e gestão ambiental, englobando variáveis físicas e bióticas, servindo de base para prognósticos de efeitos adversos que ocorrem ao meio ambiente. O objetivo geral desta pesquisa foi de avaliar os elementos que integram o sistema hidrológico da microbacia do córrego do Queixada (MHQ), no período que se estendeu de outubro de 2009 a março de 2011, visando diagnosticar: i) os mecanismos de manutenção do fluxo hidrológico; ii) os fatores que afetam esse fluxo e iii) propor medidas para o uso sustentável da microbacia.

Os objetivos específicos desta pesquisa consistem em:

- determinar as partições da precipitação pluviométrica em uma mata de encosta de cerrado para a obtenção dos dados de precipitação total (P), de precipitação interna (PI), de precipitação efetiva (PE), determinando-se, também, os valores da interceptação da chuva pela vegetação (I) e a abstração inicial (AI) na MHQ;
- espacializar a precipitação pluviométrica coletada para o período que se estende de outubro de 2009 a março de 2011 para a MHQ e estabelecer correlações com a recarga d'água subterrânea e a vazão fluvial;
- determinar os valores de escoamento superficial e recarga d'água subterrânea, considerando-se os diferentes usos da terra dos anos de 2007/2008 e 1965;
- estabelecer com base no uso da terra do ano de 1965 e 2007/2008 analogias entre o escoamento superficial e a recarga d'água subterrânea para estes dois períodos;
- propor medidas de uso sustentável da MHQ a partir dos dados de recarga d'água subterrânea, do escoamento superficial e verificar na legislação ambiental determinações que possa melhorar o funcionamento hidrológico;

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico constitui-se no movimento da água entre a atmosfera e a superfície terrestre, de forma contínua. É caracterizado como um movimento fechado da água a nível global, tendo como força propulsora a energia solar, associando-se ao movimento de rotação da Terra e ao efeito de gravidade (DUNNE; LEOPOLD, 1972; SILVEIRA, 2009; TUCCI; MENDES, 2006).

Baseado em Garcez e Alvarez (1988, p.3), didaticamente defini-se o ciclo da água nas seguintes séries:

- a) Precipitações atmosféricas (chuva, granizo, neve, orvalho);
- b) Escoamentos subterrâneos (infiltração, águas subterrâneas);
- c) Escoamentos superficiais (torrentes, rios e lagos);
- d) Evaporação (na superfície das águas e no solo) e transpirações dos vegetais e animais.

Corroborando com as idéias, Caicedo (2009, p.297), diz-se que o ciclo da água constitui-se de um sistema fechado [...]

[...] com armazenamento de água na superfície do terreno, em rios e lagos, nos oceanos, na atmosfera e no subsolo [...]. A força da gravidade provoca a precipitação (P) de água sobre o solo e o oceano, daí a água retorna à atmosfera através da evaporação (E). Da água que atinge o solo, parte transforma-se em escoamento ou deflúvio superficial (D), parte é armazenada em depressões (S<sup>1</sup>) e parte infiltra-se no solo (I). Também sobre o subsolo age a evaporação, além da água daí retirada pelas plantas através da transpiração (T). Parte da água infiltrada alimenta os reservatórios subterrâneos (W), que irão escoar e atingir rios e oceanos.

Da mesma forma Dunne e Leopold (1972), descrevem todos os caminhos percorridos pela água, desde os grandes processos de evapotranspiração que ocorrem nos oceanos e continentes, até o instante da precipitação em diversos pontos da Terra. Na parte terrestre do ciclo hidrológico a água circula “[...] no interior e na superfície dos solos e rochas, nos oceanos e nos seres vivos” (SILVEIRA, 2009, p.35).

Na atmosfera ocorrem os fenômenos meteorológicos associados ao ciclo da água, principalmente, entre, 8 e 16 km da superfície terrestre, camada atmosférica denominada troposfera. Nesta camada encontra-se a maior parte do vapor d'água responsável pela formação das nuvens na Terra. As nuvens constituem-se em um “[...] conjunto de aerossóis visíveis de micro gotículas de água, mais umidade, e, dependendo da região e estação do ano, partículas de gelo” (SILVEIRA, 2009, p.35). Outras camadas atmosféricas são importantes para a regulação e manutenção do ciclo hidrológico, como a estratosfera, por possuir a camada de ozônio que filtra a entrada dos raios solares e mantém o efeito estufa.

A água - no ciclo hidrológico - movimenta-se no sentido superfície terrestre-atmosfera e da atmosfera-superfície terrestre.

a) no sentido superfície atmosfera, onde o fluxo de água ocorre fundamentalmente na forma de vapor, como decorrência dos fenômenos de evaporação e de transpiração, este último um fenômeno biológico; b) no sentido atmosfera-superfície, onde a transferência de água ocorre em qualquer estado físico, sendo mais significativas, em termos mundiais, as precipitações de chuva e neve (SILVEIRA, 2009, p.35).

Como mencionado o fluxo d'água superfície terrestre-atmosfera ocorre na forma de vapor e da atmosfera para a superfície-terrestre ocorrendo, principalmente, chuvas e neves. Dentre todos os processos envolvidos no ciclo hidrológico, destaca-se: a evapotranspiração, a condensação, a sublimação, a precipitação e a infiltração. Todos estes fenômenos dependem de uma série de fatores e elementos para que ocorram de forma natural, e um necessita da ocorrência do outro para que ocorra. Alguns destes fatores e fenômenos mais importantes para a pesquisa serão analisados itens posteriores.

## **2.2 Definição e caracterização de bacia hidrográfica**

Bacia hidrográfica é definida como uma área que capta água da precipitação pluvial e que “[...] proporciona escoamento superficial para o canal principal [...]” (LIMA, 2000, p.55). O canal principal capta água dos tributários e segue em direção a sua foz, que pode ser em outro rio, em um lago, em uma lagoa, em mares e oceanos. Uma bacia hidrográfica é delimi-

tada na parte superior pelo “divisor de águas” e na parte inferior pela foz. Na citação abaixo tem-se a definição de uma bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. “A microbacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório [...]” (SILVEIRA, 2009, p.40).

Os canais de escoamento dos cursos d’água interligados de uma bacia hidrográfica formam a drenagem fluvial, também conhecida como bacia de drenagem, “[...] área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.102). Para Dunne e Leopold (1972, p.495), os termos, microbacia de drenagem e bacia hidrográfica são sinônimos, e assim os define: “A *drainage basin is the area of land that drains water, sediment, and dissolver materials to a common outlet at some point along a stream channel*”.

Concordando com Christofolletti (1980), o padrão de funcionamento hidrológico de uma bacia hidrográfica dependerá de características de área, de topografia e da forma, e também, dos aspectos físicos e biológicos, como a geologia, o solo e a cobertura vegetal. Para a compreensão do pleno funcionamento de uma bacia hidrográfica, devem-se entender as conexões existentes entre os aspectos morfológicos e os hidrológicos, avaliando-os quantitativamente.

A bacia hidrográfica deve ser entendida como sistema, formada por uma série de subsistemas, com fluxos de matéria e energia, tendo distinções por conta de aspectos, como: declividade, fitofisionomia, solos, litologia etc.. A precipitação representa a entrada do fluxo de energia em uma bacia hidrográfica e o deflúvio representa a saída e, conseqüentemente, alimenta outros sistemas, outras bacias, ou os oceanos (MORAGAS, 2005; SILVEIRA, 2009).

Bacia hidrográfica pode ser caracterizada como um geossistema (sistema geomorfológico), definido como a inter-relação de elementos e seus atributos, e, portanto, um sistema geomorfológico aberto, que recebe energia do clima e perde energia por meio do deflúvio, evaporação e evapotranspiração. Outro termo importante para o esclarecimento é “microbacia hidrográfica”, cada vez mais utilizado, mas, que vem carregado de controvérsias. O raciocínio mais claro que pode definir o que seja uma bacia hidrográfica é pensar que uma determinada bacia hidrográfica pode conter outras tantas sub-bacias, as quais drenam suas águas para uma seção transversal do canal fluvial. Estas sub-bacias seriam as microbacias, que sua rede de

drenagem não poderia ter ordens de canais elevados (BOTELHO, 2010). Portanto, uma microbacia hidrográfica seria de ordem dos canais de drenagem igual a zero. Neste sentido poder-se-ia definir uma microbacia pela sua ordem de canais, não sendo superior a 3° ou 4° ordem a composição de sua rede de drenagem.

Doravante as críticas, a utilização do termo “microbacia” deve ser esclarecido e incorporado pela comunidade científica, tornando-se uma arma para a conscientização da população na importância da gestão das microbacias hidrográficas brasileiras para a preservação ambiental. Desta forma os princípios de planejamento ambiental inserem-se perfeitamente na noção de microbacia hidrográfica. As microbacias hidrográficas são objetos de investigação na atualidade e trabalhos brasileiros utilizam o termo em projetos de planejamento ambiental e estudos de impactos ambientais das muitas microbacias hidrográficas espalhadas pelo território nacional.

### **2.3 Fluxos hídricos em bacias hidrográficas**

O fluxo hidrológico em bacias hidrográficas podem ser estudados a partir de dados de precipitação e a partir de então conhecer os diversos caminhos da água nas bacias hidrográficas como, infiltrando-se, escoando superficialmente e sub-superficialmente ou evapotranspirando-se diretamente para a atmosfera. Nos subitens seguintes analisar-se-á estes caminhos da água por uma bacia hidrográfica, tentando entender os elementos e os fatores atuantes.

#### **2.3.1 Precipitação**

A precipitação pode dar-se em forma de chuva, neve, granizo ou orvalho. A forma de precipitação a que se dará ênfase será a precipitação pluvial. No sistema do ciclo hidrológico, apenas uma pequena parcela da precipitação pluvial anual irá alimentar os lençóis d'água e os rios, sendo a maior parte evapotranspirada pela superfície do solo ou pela vegetação (LIMA, 2000).

A precipitação em uma dada área é em decorrência da umidade atmosférica (vapor d'água) e varia em conformidade com os fatores meteorológicos, que interferem na quantidade

de de vapor d'água, a exemplo, intensidade de radiação solar, cobertura vegetal, umidade do solo, etc.

A precipitação pluvial para a maioria das bacias hidrográficas brasileiras representa a entrada de água, onde parte será infiltrada, recarregando as águas subterrâneas e alimentando as plantas. Em pesquisas que objetivem o conhecimento do fluxo hidrológico, a mensuração da precipitação se faz necessária. Para a medição da precipitação pluvial, vários instrumentos são utilizados, desde modelos simples que podem ser construídos artesanalmente, até os mais sofisticados, elaborados em indústrias especializadas no ramo.

Os dados de precipitação em bacias hidrográficas são importantes na indicação da precipitação pluviométrica média da bacia em questão ou mesmo no conhecimento de dados pontuais, obtidos através de pluviômetros ou pluviógrafos (instrumentos registradores dos dados em diagramas). As análises médias dos dados de uma bacia hidrográfica podem ser feitas a partir do polígono de Thiessen e podendo ser espacializada em mapas de isoietas. A homogeneidade dos dados é obtida através da observação de séries históricas, podendo ser feitas inferências estatísticas com base na média aritmética, no polígono de Thiessen e no método das isoietas (LIMA, 2000).

Para Cobertt (1967) *apud* Lima (2000), estes três métodos citados anteriormente para as análises de precipitação possuem as seguintes características: a média aritmética é um método simples e eficiente, desde que os pluviômetros sejam em número suficiente para que forneçam dados coerentes e possam compor a média da precipitação da bacia em questão. O polígono de Thiessen é mais preciso que a média aritmética e não necessita da distribuição uniforme dos pluviômetros, mas, ainda, muito trabalhoso e por último o método das isoietas que permite boa precisão na visualização da precipitação na área, sendo bastante utilizados nos estudos de distribuição espacial da chuva.

Por vezes, algumas outras técnicas estatísticas podem ser utilizadas. Uma delas é a de frequência, que no caso da precipitação pluviométrica pode indicar a probabilidade de ocorrer uma determinada chuva em determinado lugar em uma região em um tempo futuro. Na realização das medidas pontuais há necessidade de ter claro o objetivo da pesquisa, pois, os objetivos requerem métodos, para que as questões levantadas no projeto-pesquisa possam ser respondidas. Para estudos em bacias hidrográficas muitas vezes é preciso conhecer a distribuição espacial pluviométrica, e, também, pode-se querer conhecer a distribuição pluviométrica tem-



poral e ainda saber qual foi à intensidade da chuva, onde, neste caso, utilizam-se instrumentos registradores.

Para a instalação do pluviômetro totalizador devem ser observados alguns aspectos geográficos, tais como a proximidade de árvores e edificações que impeçam a captação da precipitação, ou seja, os instrumentos não podem sofrer interferência na captação da chuva, pois aí os dados serão imprecisos. Conforme Lima (2000, p.81), a chuva [...]:

[...] é medida em termos de altura de água que se acumularia numa superfície plana e impermeável (mm de altura de água). A medição propriamente dita consiste em se expor um recipiente com abertura cilíndrica (pluviômetro), no qual a altura (mm) de chuva é calculada em função da área desta abertura cilíndrica.

As medidas de precipitação podem ser alteradas com a ocorrência de alguns imprevistos, que poderá interferir nas leituras em 10%, onde o vento na maioria das vezes é o responsável pelos erros nas leituras de precipitação, mas, também, eventualmente podem ocorrer outros, como:

[...] c) parte da precipitação captada no pluviômetro pode ser perdida por evaporação;  
d) parte pode, ainda, ser perdida por aderência às paredes do recipiente e das provetas medidoras;  
e) deformação na abertura cilíndrica pode conduzir a erros no cálculo da altura de chuva;  
f) a medição do volume de água coletada pode dar origem a erros;  
g) em algumas situações, respingos de dentro para fora ou de fora para dentro do recipiente podem, também, contribuir para alterar a medição da quantidade verdadeira de chuva (LIMA, 2000, p.82).

Na **Tabela 1** observa-se a relação entre a área da bacia hidrográfica e o número de pluviômetros necessários para os experimentos.

Sugere que uma área de 150 ha tenha aproximadamente 4 pluviômetros para áreas abertas. As áreas de zero a 12 ha utilizam-se apenas um pluviômetro. Veja que em áreas maior que 2000 ha, basta um 1 pluviômetro a cada 500 ha. Obedecendo esta lógica o pesquisador terá uma amostragem confiável sobre os dados de precipitação pluviométrica (LIMA, 2000).

**Tabela 1** - Relação entre a área da bacia hidrográfica e o número mínimo de pluviômetros requeridos

Área da microbacia (ha)	Número mínimo de pluviômetros
0 - 12	1
12 - 40	2
40 - 80	3
80 - 200	1/40 ha
200 - 1000	1/100 ha
1000 - 2000	1/150 ha
> 2000	1/500 ha

Fonte: Lima (2000, p.93)

### 2.3.2 Interceptação da chuva pela vegetação: precipitação interna e escoamento pelo tronco

As florestas têm papel importante no balanço hídrico, mas, muita das vezes ignoradas pelos trabalhos científicos. Esta influência é sentida principalmente em grandes áreas florestadas, como na região Amazônica, que influencia além da própria região, outras áreas do território brasileiro (OLIVEIRA *et al.* 2008).

Durante muito tempo foi atribuído ao desmatamento as causas das secas em determinadas áreas, e que há uma grande interferência das florestas na ocorrência de chuvas. Sabe-se que o desmatamento pode interferir na atividade eólica o que por sua vez interferirá na pluviosidade. As florestas têm a capacidade de formar micro-climas, aumentando a umidade do ar, e, portanto, aumentando a probabilidade de formação de nuvens e conseqüentemente de chuvas. No mar onde, a umidade do ar é elevada a precipitação pluvial também é mais intensa. Contudo, é notório que há uma grande inter-relação entre as chuvas e as florestas, que, todavia, se desenvolvem somente em áreas chuvosas (LIMA, 2000).

Em períodos de estiagem, a transpiração das plantas e a evaporação da água do solo representam o maior consumo de água de uma área. Em períodos chuvosos, a interceptação representa também perdas de água do ecossistema. Cita-se o caso em que uma chuva de pequena duração e intensidade poder-se-á ficar toda retida pela vegetação, portanto, sendo esta chuva totalmente interceptada. Em uma chuva de grande intensidade e duração, a interceptação pode não chegar a 5% do total (LIMA, 2000).

A interceptação da chuva pela vegetação caracteriza-se como o processo em que a chuva é retida nas copas das árvores, podendo posteriormente gotejar no solo, escoar pelo tronco, infiltrar no solo e/ ou ser evaporada para a atmosfera (DUNNE; LEOPOLD, 1972; HELVEY; PATRIC, 1965 *apud* LIMA, 2000). A PI é a chuva que passa pelas copas das árvores (dossel) e atinge a serrapilheira, através das gotas que pingam no chão da floresta. Também, no processo de interceptação há o escoamento da chuva pelo tronco. Neste a fisiologia vegetal determinará o percentual de água interceptado pelo tronco (LIMA, 2000). Ainda, ressalta-se que há grandes diferenças entre a quantidade de precipitação total, com a água que chega ao solo, pois, da precipitação total em uma floresta parte é retida pela copa das árvores, onde está água poderá ser absorvida pela vegetação ou mesmo evaporada, é o que se denomina de “perdas por interceptação”. Outra parte da precipitação poderá escoar pelos troncos, parte atravessar as copas das árvores e atingir os solos e infiltrar (PE).

As florestas exercem influência na precipitação de uma determinada região, pelo poder do microclima - diferenças de temperatura - e pela interferência na atividade eólica. Entretanto, salientam-se que a precipitação pluvial no continente provem em sua maior parte dos oceanos, obedecendo à circulação geral da atmosfera e aos fatores fisiográficos, como montanhas ou planícies.

Um método capaz de apresentar o percentual de interceptação da chuva pela vegetação é a utilização de fórmulas preestabelecidas, cujos resultados são obtidos a partir do simples dado da precipitação total. A partir do índice da precipitação total para uma determinada localidade, empregando-se fórmulas obtêm-se o índice de interceptação (LIMA, 2000).

Em seu artigo, Oliveira *et al.* (2008) menciona que para as florestas tropicais a PI varia de 75% e 96% da precipitação total. O escoamento pelo tronco (Et) é entre 1% e 2% do total da precipitação e a interceptação está entre 4,5% e 24% da precipitação total. Lima e Leopoldo (1999) em experimentos, realizados em uma parcela de mata ciliar com característica de vegetação da fitofisionomia do tipo “cerradão”, estimaram os percentuais de interceptação (I), do escoamento pelos troncos (Et), da PI e da PE, no intervalo de outubro de 2006 a setembro de 2007, a média de 37,6 % para a “I”; 0,9 % para a “Et”; 61,5 % para a “PI” e 62,4 % e para a “PE”.

Neste estudo realizado na Fazenda Experimental São Manuel, pertencente ao Campus Botucatu/ UNESP, a precipitação total foi obtida a partir da instalação de um pluviômetro

com área de captação de 176,7 cm<sup>2</sup> em local aberto distando aproximadamente 100 m da borda da vegetação em estudo. A PI foi obtida com a utilização de 24 pluviômetros - área de 175,1 cm<sup>2</sup> instalados no interior da mata ciliar. As leituras eram realizadas após duas horas do término da chuva, para que o gotejamento fosse cessado. O Et foi obtido a partir de 20 árvores previamente selecionadas do extrato superior. Com a ajuda de mangueiras plásticas de ¾ de polegada cortadas longitudinalmente constituindo-se em calhas coletoras, fixadas em espiral ao longo do tronco das árvores obteve-se os dados do Et. O líquido captado era armazenado em um reservatório para posteriormente serem medidos (LIMA; LEOPOLDO, 1999).

Estes dados foram obtidos a partir da utilização da equação proposta por Helvey e Patric (1965), *apud* Lima e Leopoldo (1999, p.30):

$$I = PT - (PI+Et), \text{ onde:} \quad (1)$$

I = perda por interceptação (mm)  
 PT = precipitação total (mm)  
 PI = precipitação interna (mm)  
 Et = escoamento pelo tronco (mm)

Nos estudos da interceptação da chuva pela vegetação, a maior parte dos dados da precipitação total foi obtida com a instalação de pluviômetros em área aberta e próxima às matas, distando no máximo 200 metros de onde se localizavam os “interceptômetros”. Geralmente utilizados cinco pluviômetros no interior da floresta - para dados de PI - para cada pluviômetro em áreas abertas.

Em alguns trabalhos foram negligenciados os dados do Et, justificados por ser uma pequena porcentagem do total que é interceptada, e que uma parcela deste poderá ser detectada na PE.

Estudos estimaram o percentual de água interceptada em áreas de vegetação herbácea. As gramíneas podem interceptar chuva tão quanto às árvores, mas, este percentual ao longo do ano pode variar devido ao rápido crescimento deste tipo de vegetação. Existem modelos matemáticos para a estimativa da interceptação em áreas de vegetação herbácea, como os propostos por Merriam (1961) e Crouse *et al.* (1966) *apud* Dunne e Leopold (1972). Experimentos foram realizados em diversas culturas, como na alfafa, no milho e na soja. Na alfafa

os valores de interceptação foram da ordem de 36%, no milho de 16% e na soja 15% do total precipitado (DUNNE; LEOPOLD, 1972).

A abstração inicial (AI) refere-se à parcela da precipitação total “[...] que ocorreu anteriormente à PE, referindo-se àquela quantidade de chuva produzida desde o seu início até que haja início de escoamento superficial na seção de controle” (MELLO *et al.*, 2003, p.495).

Conforme Sheeder *et al.* (2002), existem dois tipos de abstração, a inicial e a contínua. A abstração contínua é aquela absorção da água pelo solo até que haja o escoamento superficial. A abstração contínua foi estimada no artigo apresentado por Sheeder *et al.*, através do método visual, comparando o momento da precipitação e o aumento significativo da vazão no ponto de controle após alguns instantes. O volume que inicialmente foi precipitado até o instante da detecção na vazão do ponto de controle na secção determinada, refere-se à abstração contínua.

A AI se dá pela absorção de parte da precipitação que não foi interceptada, que precipitou internamente e/ ou escoou pelo tronco (em caso de uma formação florestal) e ficou retida na serrapilheira e raízes, e que não contribui para as recargas subterrâneas e nem com o escoamento superficial. Portanto, a AI em diferentes usos da terra é distinta e as diferentes fitofisnomias do Cerrado podem fornecer dados de AI e contínua e a interceptação da chuva pela vegetação de forma ímpar, justificando os estudos de interceptação da chuva pela vegetação e a AI em bacias hidrográficas do Cerrado.

### 2.3.3 Precipitação efetiva e infiltração de água no solo

Para Nimer e Brandão (1989), a PE é a dedução entre a precipitação total da evapotranspiração potencial sendo que:

Se a PRE [precipitação total] é superior a EP [evapotranspiração potencial], a PEF [precipitação efetiva] é positiva, isto é, a quantidade de água precipitada excede às necessidades de suprimentos [...] se é inferior, a PEF é negativa, o que significa um suprimento hídrico atmosférico inferior a demanda ambiental, e conseqüentemente, o volume de água disponível para o solo é inferior a EP. Neste caso, há deficiência de água [...] e não se verifica *runoff* [...] ao contrário, se a disponibilidade supera a EP ocorre excedente hídrico (EXC) e, conseqüentemente, *runoff*.

Portanto, em áreas que possuem taxas de precipitação total maior que a evapotranspiração potencial, a PE é positiva. Se a evapotranspiração potencial é maior que a precipitação total se diz que é negativa, não se verificando o escoamento superficial.

A PE é a “[...] chuva que efetivamente chega ao solo, logo:  $PE=PI+Et$  [...]”, onde, o PI é a precipitação interna e Et o escoamento pelo tronco (LIMA, 2000, p.111). A PE é responsável pela “[...] água do solo, pela absorção através das raízes, pela transpiração das plantas e, também, pela alimentação dos rios” (ARCOVA *et al.*, 2003, p.258).

Outro processo de suma importância é a infiltração, sendo caracterizado como a:

[...] passagem de água da superfície para o interior do solo [...] processo que depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da sua superfície e das quantidades de água e ar [...] (SILVEIRA *et al.*, 2009, p.335).

Dunne e Leopold (1972) definem a infiltração como o movimento da água no solo, à passagem da água precipitada em uma superfície para o interior do solo. Quando cessa a infiltração as camadas superiores reduzem os teores de umidade. Após o início do processo de infiltração “[...] as camadas superiores do solo vão-se umedecendo de cima para baixo [...] Enquanto há aporte de água [...] a superfície, naturalmente, o primeiro nível a saturar” (SILVEIRA *et al.* 2009, p.335). Inversamente, com o fim da infiltração há a redistribuição da umidade no interior do solo, e daí, as camadas superiores possuindo menores teores de umidade do que às camadas inferiores do solo. A capacidade de infiltração de um solo é a diferenciação do [...]

[...] potencial que o solo tem de absorver água pela superfície, em termos de lâmina por tempo, da taxa real de infiltração que acontece quando há disponibilidade de água para penetrar no solo. Uma curva de taxas reais de infiltração no tempo somente coincide com a curva das capacidades de infiltração de um solo, quando o aporte superficial de água [...] tem intensidade superior ou igual à capacidade de infiltração (SILVEIRA *et al.* 2009, p.335-336).

Neste processo há também a água que pode ser evaporada diretamente para a atmosfera e absorvida pela vegetação e evapotranspirada. À medida que as camadas superiores do solo vão se tornando seca, o mesmo solo retoma sua capacidade inicial de infiltração. Uma precipi-

tação inferior a capacidade de infiltração, toda a água será absorvida pelo solo. A partir do momento que há saturação total do solo, em precipitações maior que a capacidade de infiltração, ocorrerá o escoamento superficial ou *runoff*. Possuem modelos matemáticos que possibilitam o equacionamento geral da infiltração, os movimentos da água em solo não saturado, como a equação de Darcy (REICHARDT; TIMM, 2004).

Nas regiões do Cerrado os índices de PE anuais são positivos, fator de extrema importância para o desenvolvimento, devido ao excedente hídrico produzido para a manutenção dos sistemas hídricos, bióticos etc. Tendo como a capacidade de armazenamento máximo de água dos solos de 100 mm, valores de precipitação a mais seria a água disponível para “[...] o consumo das comunidades humanas, podendo alimentar as represas e serem utilizadas nas estações de natural carência de oferta” (NIMER; BRANDÃO, 1989, p.19).

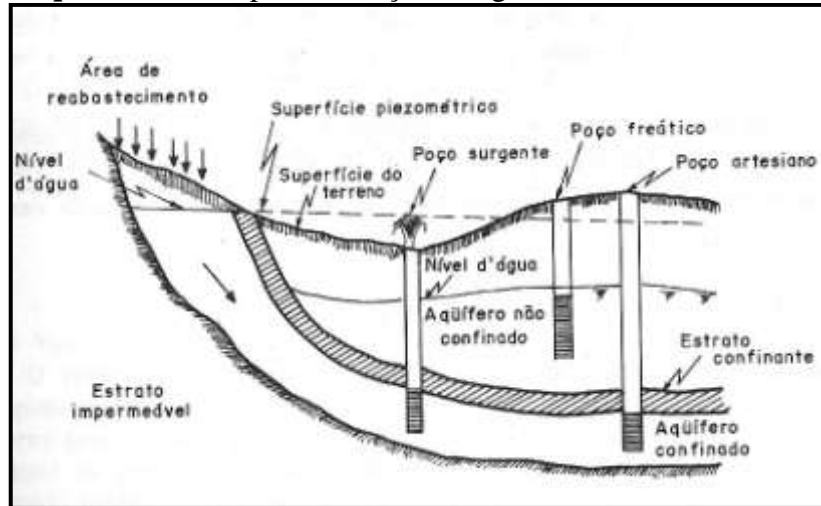
Para a maior parte do Cerrado os índices de PE positiva são superiores a 200 mm, podendo ultrapassar os 800 mm em áreas dos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Nos estados de Goiás, de Minas Gerais e de Mato Grosso os excessos hídricos ocorrem a partir do período da primavera, concentrando-se no período do verão. Algumas regiões do Cerrado há PE anual negativa como em “[...] todas as áreas de cerrados no Maranhão e Piauí [...], partes do oeste da Bahia [...] os vales dos rios São Francisco e Jequitinhonha e o Pantanal Mato-Grossense [...]” (NIMER; BRANDÃO, 1989, p.19).

#### 2.3.4 Armazenamento de água no solo e no subsolo

Após o término do processo de infiltração a água tenderá a passar das camadas superiores para as inferiores, obedecendo aos gradientes gravitacionais e de pressão. Estes movimentos de água no solo são denominados de redistribuição interna. A redistribuição interna da água no solo é em conformidade com a capacidade de armazenamento do mesmo (capacidade de campo). O armazenamento de água no solo é um “[...] fenômeno temporário ditado pela dinâmica da água no solo”. Com o passar do tempo após o início da redistribuição interna, a velocidade de redistribuição reduz. A redistribuição interna em solos com textura média ou fina tende a ter maior tempo de duração que em solos arenosos. A quantidade de água no solo é em conformidade com o tamanho e quantidade de poros, atrelando-se a isto a umidade do solo, relacionada por vez com a pressão capilar (SILVEIRA *et al.*, 2009, p.356).

Conforme Caicedo (2009), as formações hidrogeológicas são classificadas em aquíferos, aquíclude e aquítardo. As estruturas verticais a partir da litosfera podem ser divididas nas zonas de saturação que compreende as águas subterrâneas e nas zonas de aeração - localizadas logo acima da água subterrânea. Observa-se no **Esquema 1** o esquema do perfil da compartimentação de água subterrânea em aquíferos confinados e não-confinados.

**Esquema 1** - Compartimentação da água subterrânea



**Fonte:** Todd (1967) *apud* Caicedo (2009, p.291)

Verifica-se as áreas de recabastecimento do aquífero confinado e do não-confinado, e que entre os dois, há o estrato confinante, camada que separa as duas regiões hídricas subterrâneas, geralmente formadas por rochas resistentes igualmente as formações basálticas.

Fator importante para o recabastecimento das águas subterrâneas é a porosidade do terreno, que são vazios que conduzem a água. “A porosidade de um material granular depende da forma, do grau de compactação e da distribuição do tamanho das partículas.” (CAICEDO, 2009, p.291). Alguns solos possuem maior facilidade de transporte da água do que outros tipos de solos, como os solos do Cerrado que possuem grande capacidade de infiltração. Neste sentido a [...]:

[...] a recarga é inversamente proporcional ao aumento do grau de dissecação e diretamente proporcional a hipsometria [as áreas de] dissecação muito fraca compõe as melhores zonas de recarga e áreas com dissecação muito forte compõem regiões com baixa potencialidade de recarga.



As áreas mais elevadas também favorecem a recarga, uma vez que apresentam maior gradiente e em geral maior carga hidráulica em aquíferos regionais que favorecem as condições de infiltração e transferência das águas de precipitação para zonas mais profundas dos aquíferos (GOIÁS, 2006, p.47).

Portanto, as recargas d'água subterrânea agem em conformidade com alguns fatores, como a hipsometria e o grau de dissecação do relevo. Também, as elevações do relevo são responsáveis pelo potencial de recarga, ou seja, quanto mais elevado for o relevo, mais propício será a recarga de água de um aquífero. De acordo com Tundisi (2005, p.1), a cobertura vegetal em uma bacia hidrográfica tem o poder de recarregar os aquíferos. O descarte de efluentes líquidos e sólidos nos corpos d'água, “[...] a destruição das áreas alagadas e das matas galeria têm produzido continua e sistemática deterioração e perdas extremamente elevadas em quantidade e qualidade da água”.

O fluxo subterrâneo pode ser descrito a partir de equações matemáticas, como observado em Caicedo (2009, p.306):

A equação diferencial que descreve o movimento de água subterrânea é obtida pela combinação da equação de Darcy com a equação da continuidade. A equação da continuidade envolve entradas, saídas e taxas de variação do armazenamento em um volume elementar.

Dos materiais analisados em relação ao item condutividade hidráulica dos materiais porosos a maior média foi o da areia grossa e a menor do silte (CAICEDO, 2009, p.306). A litosfera terrestre é constituída de diferentes formações geológicas que combinam com outros fatores e determinam tipos de solos e estes a recargas d'águas subterrâneas.

Há uma grande interação das águas superficiais (rios) e subterrâneas (aquíferos), “O trecho do rio é completamente penetrante, o fundo do rio coincide com o fundo do aquífero” (CAICEDO, 2009, p.325). A troca de água que há entre um rio e um aquífero podem ser conhecidos por meio do emprego de equações ou da teoria linear dos sistemas.

As bacias hidrogeológicas isoladas podem ser conhecidas pela “[...] resposta a uma retirada de água do aquífero. Neste método estima-se o rebaixamento médio estendido a todo aquífero [...]” (CAICEDO, 2009, p.317). Também podem ser utilizados métodos de parâmetros concentrados - por meio das equações diferenciais - e distribuídos - através das equações diferenciais parciais.

As águas subterrâneas possuem importância fundamental na manutenção dos cursos d'água e algumas cidades possuem abastecimento total através das águas subterrâneas. Os aquíferos são verdadeiras caixas d'água que possuem valor econômico muito alto dentro do quadro das transformações socioeconômicas do século XXI.

### 2.3.5 escoamento superficial

Quando da ocorrência da precipitação pluvial em uma determinada área, esta água poderá infiltrar-se e parte dela ser interceptada pela vegetação, como visto anteriormente. Os destinos dela serão muitos e um deles é escoar superficialmente ou, também, sub-superficialmente. O escoamento superficial ocorre na superfície do solo e o sub-superficial entre as raízes da vegetação, nas camadas mais superficiais dos solos. Há ainda o fluxo subterrâneo onde as características dos aquíferos determinam este fluxo<sup>2</sup>. O escoamento sub-superficial é a menor parte do total escoado (TUCCI, 2009).

Defini-se escoamento superficial como “[...] a fase do ciclo hidrológico que trata do conjunto das águas que, por efeito de gravidade, se desloca na superfície da terra” (GARCEZ; ALVAREZ, 1988, p.211).

Tucci (2009, p.391) define o momento em que há predominância do escoamento superficial, conforme citação a seguir:

O comportamento do hidrograma típico de uma bacia, após a ocorrência de uma seqüência de precipitações [...] Verifica-se que após o início da chuva, existe um intervalo de tempo em que o nível começa a elevar-se. Este tempo retardado de resposta deve-se às perdas iniciais por interceptação vegetal e depressões do solo [...]. A elevação da vazão até o pico apresenta, em geral, um gradiente maior que a parte posterior ao mesmo. O escoamento superficial é o processo predominante neste período, refletindo a resposta ao comportamento aleatório da precipitação.

Além do escoamento superficial tem-se o sub-superficial, que é influenciado pela infiltração, nível do aquífero e da percolação da água no mesmo. Com o término do escoamento superficial predomina o escoamento sub-superficial. O comportamento dos escoamentos superficial e sub-superficial são em conformidade com os seguintes fatores: “[...] relevo, cober-

---

<sup>2</sup> O fluxo de água subterrâneo será discutido em itens posteriores.

tura da bacia, modificações artificiais no rio, distribuição, duração e intensidade da precipitação, solo [...]” (TUCCI, 2009, p.393). No trabalho apresentado por Gaspar (2006), o valor do escoamento superficial para a área de pesquisa - parte do Aquífero Urucuia - foi de 2% em média do valor precipitado.

Em certas regiões do Cerrado “[...] o fluxo de água no leito dos rios durante [os meses de maior precipitação] são originários de *runoff* das áreas a montante. Estas regiões assemelham-se com o Sertão nordestino, onde se encontram os ecótonos Cerrado-Caatinga”. No Pantanal são encontradas regiões que as chuvas possuem pouca participação nas cheias, sendo estas “[...] alimentadas principalmente pelos excessos e *runoff* das áreas situadas nas cabeceiras dos rios dessa bacia” (NIMER; BRANDÃO, 1989, p.27).

### 2.3.6 Drenagem urbana

A drenagem urbana é formada por dutos que destinam o excesso de água para os cursos d’água. Estas drenagens geralmente são constituídas pela macro e microdrenagem. A macro drenagem é caracterizada pelos:

[...] escoamentos em fundos de vale que normalmente são bem definidos mesmo que não correspondam a um curso de água perene [...] O termo microdrenagem aplica-se a áreas onde o escoamento natural não é bem definido e, portanto, acaba sendo determinado pela ocupação do solo. Em uma área urbana, a microdrenagem é essencialmente definida pelo traçado das ruas (PORTO *et al.*, 2009, p.823).

Cidades que não possuem uma infra-estrutura adequada para o escoamento das águas pluviais, sofrem com problemas de inundações e todas as suas conseqüências. Neste sentido Porto *et al.* (2009, p.805), afirma que medidas “[...] estruturais são necessárias e mesmo essenciais para a solução de um grande número de problemas de inundações urbanas”.

Se estas cidades fossem devidamente edificadas nos métodos de planejamento urbano, muitos problemas de enchentes, inundações, deslizamentos poderiam ser minimizados. A citação a seguir, de uma forma muito abstrata, afirma que:

Melhores soluções para esses problemas são alcançadas a partir de uma compreensão mais integrada do ambiente urbano e das relações entre os sis-

temas que o compõem. Dependem também de uma atuação mais abrangente por parte dos responsáveis pelo setor que necessariamente deve envolver aspectos legais, institucionais, tecnológicos e sociológicos (PORTO *et al.*, 2009, p.823).

Com a impermeabilização das áreas urbanas o maior impacto sobre a drenagem urbana é o aumento do escoamento superficial, onde “[...] verifica-se que o pico da cheia numa bacia urbanizada pode chegar a ser seis vezes maior do que o pico desta mesma bacia em condições naturais” (PORTO *et al.*, 2009, p.806). A **Tabela 2** traz as causas e conseqüências do processo de urbanização sobre as inundações.

**Tabela 2** - Alterações devido à urbanização e seus efeitos diretos

CAUSAS	EFEITOS
<b>Impermeabilização</b>	Maiores picos e vazões
<b>Redes de drenagem</b>	Maiores picos a jusante
<b>Lixo</b>	Degradação da qualidade da água
	Entupimento de bueiros e galerias
<b>Redes de esgotos deficientes</b>	Degradação da qualidade da água;
	Moléstias de veiculação hídrica;
	Inundações: conseqüências mais sérias
<b>Desmatamento e</b>	
<b>Desenvolvimento Indisciplinado</b>	Maiores picos e volumes;
	Mais erosão;
	Assoreamento em canais e galerias.
<b>Ocupação das várzeas</b>	Maiores prejuízos;
	Maiores picos
	Maiores custos de utilidades públicas

Fonte: Porto *et al.* (2009, p.807)

Observa-se na **Tabela 2** o que muito se vê na mídia brasileira em determinadas épocas, por vezes associados a fenômenos como, o *El Niño* e a *La Niña*. Quando da ocorrência de chuvas com altas intensidades e volumes de precipitação pluviométrica em áreas urbanas muito impermeabilizadas, que possuem drenagens problemáticas (lixo que entopem os bueiros), para onde são carreados resíduos sólidos urbanos depositados de forma incorreta na área urbana, provocam enchentes por vezes catastróficas (aumento do pico de vazões máximas), além de degradar a qualidade da água que são destinadas aos cursos d’águas. Os cursos d’água por sua vez sofrem impactos (assoreamento), processos erosivos são iniciados e as áreas me-

nos drenadas inundam, veiculando doenças que são transmitidas por meio da água contaminada.

Não raro vidas são ceifadas e muitos prejuízos são sentidos, como a falta de alimento e comprometimento do funcionamento de setores públicos e privados essenciais, como, a saúde, educação, transporte etc. Estas catástrofes são sentidas em locais que são inadequados para edificações, como em várzeas e nas encostas altamente declivosas. Estes problemas podem ser evitados com vontade política dos nossos governantes, sanando os conflitos de interesses - especulação imobiliária, invasões - que acabam por trazer estes impasses para a comunidade.

O impacto da urbanização tende a aumentar a necessidade de ampliar a capacidade dos condutos com conseqüente aumento de custo. Normalmente este processo evolui a partir das pequenas áreas dentro de um contexto de aprovação de loteamentos. A drenagem secundária, que são os principais condutos pluviais são sobrecarregados pelo aumento do fluxo, mas os impactos maiores ocorrem sobre a macrodrenagem (PORTO *et al.*, 2009, p.809).

Porto *et al.* (2009, p.810), aponta soluções e ações preventivas para se evitar problemas com inundações e enchentes em áreas urbanas, como o controle sobre a impermeabilização de lotes e ruas. Ampliação e construção de calhas em rios, reservatórios e diques podem ser evitadas com a ocupação planejada do espaço. As bacias hidrográficas devem ter sua ocupação planejada de forma a evitar os problemas e os “[...] planos diretores de drenagem urbana [...]” são recomendados para soluções dos problemas e na execução de obras de drenagem urbana. Na citação a seguir tem-se os benefícios dos planos diretores:

- estudar a bacia hidrográfica como um todo e, conseqüentemente, chegar a soluções de grande alcance no espaço e no tempo, evitando medidas de caráter restrito que não raro apenas deslocam e mesmo agravam as inundações em outros locais;
- estabelecer normas e critérios de projeto uniformes para toda a bacia, tais como o período de retorno a ser adotado, gabaritos de pontes e travessias, etc.;
- identificar áreas que possam ser preservadas ou adquiridas pelo poder público antes que sejam ocupadas ou seus preços se tornem proibitivos;
- elaborar o zoneamento da várzea de inundação;
- estabelecer o escalonamento da implantação das medidas necessárias de forma tecnicamente correta e de acordo com os recursos disponíveis;
- possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica pela articulação do plano de drenagem com outros existentes na região (planos viários, de transporte público, de abastecimento de água, etc.);

- esclarecer a comunidade a respeito da natureza e magnitude dos problemas e formas de solução propostas;
- dar respaldo técnico e político à solicitação de recursos e
- privilegiar a adoção de medidas preventivas de menor custo e maior alcance (PORTO *et al.*, 2009, p.810).

O planejamento de uma bacia hidrográfica passa pela “[...] determinação das características da bacia [...] simulação do comportamento hidrológico da bacia para condições atuais e futuras [...] identificação das possíveis medidas estruturais e não-estruturais cabíveis;” (*Idem*). Políticas de atuação no setor devem ser tomadas para a implantação dos planos diretores para a drenagem urbana, fazendo as planilhas de custos e os benefícios das obras para a sociedade.

Porto *et al.* (2009, p.811), traz os princípios necessários para a implantação dos planos diretores de drenagem urbana, a saber:

- o subsistema de drenagem é parte de um ambiente urbano muito mais complexo e deve ser articulado com os outros subsistemas. O subsistema de drenagem não deve ser um fim por si só, mas um meio que possibilite a melhoria do ambiente urbano de forma mais ampla;
- várzea de inundação são áreas de escoamento e armazenamento naturais cuja conformação foi delineada pelo próprio rio. Nenhuma ocupação da várzea pode ser feita sem que se tenha de adotar medidas compensatórias muito onerosas. A preservação da várzea é invariavelmente a solução mais barata para os problemas de inundação, além de oferecer outras vantagens como preservar o ecossistema, criar áreas verdes e oportunidades de recreação;
- águas pluviais requerem espaço. Uma vez sobre o solo, a água irá escoar exista ou não um sistema de drenagem adequado. Sempre que se elimina o armazenamento natural sem que se adotem medidas compensatórias, o volume eliminado será exigido em outro local. Canais, galerias, desvios e reversões deslocam a necessidade de espaço e devem ser projetados tendo esse fato em vista. Em síntese, todo o problema de drenagem é um problema de alocação de espaço e
- quantidade e qualidade da água são variáveis do mesmo problema e devem ser consideradas em conjunto. Em áreas onde a qualidade da água está deteriorada, as consequências das inundações são mais graves e medidas como, por exemplo, a construção de reservatórios de amortecimento podem-se tornar inviáveis. Ao contrario, águas pluviais de boa qualidade constituem recursos potencialmente utilizáveis para irrigação, abastecimento industrial, recarga de aquíferos, reservatórios de recreação, combate a incêndios, etc.

A ocupação de bacias hidrográficas deve ser amparada em planos que contemplem a necessidade da sociedade e respeite a natureza, pois no caso das drenagens urbanas, se mal executadas ou inexistentes, podem trazer problemas graves para a cidade, como as enchentes

e doenças de veiculação hídrica, mas, por outro lado, se bem executadas podem trazer muitos benefícios, como a recarga das águas subterrâneas, abastecimento industrial etc.

A hidrologia urbana é definida “[...] como o estudo dos processos hidrológicos em ambientes afetados pela urbanização”. Os estudos de hidrologia urbana são aplicados para bacias hidrográficas de médio e pequeno porte (bacias hidrográficas), sendo necessário “[...] dispor de algum critério de distinção entre essas bacias para poder escolher os métodos e os parâmetros hidrológicos mais adequados a cada tipo de bacia” (PORTO *et al.*, 2009, p.811-812). Os cálculos dos efeitos da urbanização sobre as vazões máximas e hidrograma [...]:

[...] pode ser obtido através das equações do método do SCS [...]. O método do *Soil Conservation Service* recomenda que o valor de CN, para uma ocupação mista do solo, seja calculado pela média ponderada dos CNs, adotando como fator de ponderação as áreas correspondentes a cada valor de CN. A expressão usada para uma bacia urbana é:  $CNm = p CNp + i CNi$ , onde  $CNm$  = número de curva para ocupação mista;  $CNp$  = número de curva da parcela permeável da bacia;  $CNi$  = número da curva da parte impermeável da bacia. Admite-se  $CNi = 95$ ;  $p$  = fração permeável da bacia;  $i$  = fração impermeável da bacia  $i = 1 - p$  (PORTO *et al.*, 2009, p.821).

O processo de urbanização afeta diretamente o ciclo da água, alterando o processo de infiltração e escoamento superficial, o que pode trazer conseqüências nefastas ao meio ambiente, como as inundações (PORTO *et al.*, 2009, p.811).

Carvalho (2005) traz em sua obra o mapa da rede esgoto da cidade de Jataí-GO que no ano de 2005 possuía 50% da área urbana servida por rede de esgoto, sendo o restante do esgoto destinado a fossas sépticas, sumidouros ou mesmo em “esgotos clandestinos”. De acordo com o mapa da rede de esgoto fornecido pela empresa de saneamento da cidade (SANEAGO - Saneamento do Estado Goiás), os bairros que estão sitiados na MHQ não possuem rede de esgoto conectada a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), sendo o esgoto destinado a fossas e sumidouros - deteriorando a qualidade da água subterrânea - e as águas pluviais destinadas a dutos que jogam o excesso através de boca de lobos na vertente esquerda da microbacia em questão, contribuindo para o escoamento superficial da MHQ.

### 2.3.7 Vazão

Os dados de vazão são comumente utilizados para fins de planejamento e gestão dos recursos hídricos. Neste tipo de pesquisa são identificados os aumentos ou reduções na vazão por conta de diversos fatores, como os impactos provocados pelas atividades humanas (ZHANG *et al.*, 2009). A vazão fluvial é o “[...] volume de água em movimento pelo tempo, comumente medidos em m<sup>3</sup>/s [...]” (RODRIGUES; ADAMI, 2005, p.151).

A vazão na foz de uma bacia hidrográfica é em conformidade com a sua área, já a forma e o relevo influencia a produção de água bem como no processo de sedimentação na bacia. O volume de água debitado em uma vazão será em conformidade com a dimensão da bacia, “[...] da precipitação total e de seu regime, e das perdas devidas à evapotranspiração e à infiltração” (MORAGAS, 2005, p.32).

Conforme Chevallier (2001, p.501), existem vários métodos para conhecer a vazão de um curso d’água:

[...] por capacidade; por medição das velocidades do fluxo da água; por diluição de um traçador; por fórmulas hidráulicas e/ou dispositivos hidráulicos correspondente; por outros métodos (óptico, eletromagnético, similitude com modelo reduzido em laboratório, avaliação visual, etc.) [...].

Os dados de vazão fluvial compõem os dados hidrodinâmicos com relação aos fluxos hídricos em bacias hidrográficas. “Esse tipo de dado pode ser tratado estatisticamente ou auxiliar na proposição de modelos e simulações físicos (como os modelos reduzidos), matemáticos ou conceituais” (RODRIGUES; ADAMI, 2005, p.151).

Nas análises de vazão podem-se obter os dados das vazões máximas, das mínimas e das médias. As vazões máximas “[...] refere aos valores extremos que podem produzir enchentes nas margens” (TUCCI, 2009, p.577). Estas enchentes podem ser controladas por edificações da engenharia, como vertedouros e bueiros que permitem a drenagem do excesso de água em um evento de vazão máxima. O conhecimento das vazões máximas de uma bacia hidrográfica é importante no controle de inundações para a construção de obras hidráulicas e de modo a evitar risco de enchentes e inundações.

Na citação abaixo afirma que pode-se ter as estimativas das vazões máximas a curto e a longo prazo para uma determinada bacia hidrográfica.



A estimativa a curto prazo é o acompanhamento de um evento a tempo real resultante de uma precipitação. A previsão a longo prazo é a previsão estatística da vazão máxima (diária ou instantânea) em qualquer ano. A vazão máxima esta ligada a um determinado risco e pode ser obtida por uma distribuição de probabilidade [...] (TUCCI, 2009, p.579).

Então, uma vazão em curto prazo seria a análise da vazão de curso d'água relacionado a um determinado evento pluviométrico isolado. A vazão determinada longo prazo é obtida por métodos estatísticos (distribuição de probabilidades) através de dados diários ou instantâneo de um ano hidrológico qualquer.

Outro dado de vazão que pode-se obter é a média anual, sendo a média diária para um ano. “A vazão média de longo período [...] é a média das vazões médias anuais ou a média das médias”. A vazão média é importante, pois indica a capacidade hídrica, potencial energético de uma bacia hidrográfica. “A vazão média de longo período é a maior vazão possível de ser regularizada numa bacia” (TUCCI, 2009, p.579). Os menores valores medidos em um ano seriam as vazões mínimas, sendo, no entanto, de pouca utilidade a vazão de um dia, tendo maior importância a vazão mínima semanal, mensal ou anual.

A partir dos métodos de avaliação do escoamento superficial (*runoff*) conhece-se o nível da água, a velocidade, a vazão, o modulo de deflúvio anual, a vazão específica, a altura média e a declividade da linha de água, sendo que todos estes métodos atribuem-se as medidas de vazão. Para a obtenção destes dados pode-se lançar mão instrumentos como o limnímetros (fluviômetros) e limnígrafos (fluviógrafos). Muitas das vezes para o conhecimento da vazão de um curso d'água opta-se pela determinação “[...] do campo de velocidades de uma seção transversal [...]” (GARCEZ; ALVAREZ, 1988, p.227).

### 2.3.8 Evaporação e evapotranspiração

Estudos científicos objetivando o conhecimento da evaporação natural ocorreram com Dalton em 1934 (DAECON *et al.*, 1958 *apud* CAMARGO; CAMARGO, 2000). De acordo com Tucci e Beltrame (2009, p.253), os processos de evaporação e evapotranspiração ocorrem no momento da passagem da água do estado líquido para a condição de vapor d'água, que vai para a atmosfera. O Sol e a interação com a atmosfera representam a fonte de energia que provocam estes processos. A energia solar radiada para a Terra “[...] será controlada pela taxa

de energia, na forma de vapor de água que se propaga da superfície da Terra”. O termo evaporação é definido pelo processo [...]

[...] físico no qual um líquido ou sólido passa ao estado gasoso. Em meteorologia, o termo evaporação restringe-se à mudança da água no estado líquido para vapor devido à radiação solar e aos processos de difusão molecular e turbulenta. Além da radiação solar, as variáveis meteorológicas que interferem na evaporação, particularmente de superfícies livres de água, são a temperatura do ar, vento e pressão de vapor. [...] a evaporação depende fundamentalmente da energia disponível proveniente da radiação solar. A temperatura do ar está associada à radiação solar e, desta forma, correlaciona-se positivamente com a evaporação (CAMARGO; CAMARGO, 2000, p.253-254).

A temperatura é o principal fator meteorológico atuante no processo de evaporação e transpiração - evapotranspiração (BARRETO; GODOY, 1961; CAMARGO; CAMARGO, 2000). Em solos descobertos, saturados ou nível do lençol freático elevado, o processo de evaporação ocorre sob o comando de fatores meteorológicos, “[...] na condição de solo não-saturado ou nível freático à grande profundidade, o processo de evaporação passa a depender também das propriedades do perfil do solo [...] [e da] condutividade hidráulica [...]” (TUCCI; BELTRAME, 2009, p254).

Segundo Hurtado *et al.* (2005, p.302), o conhecimento da condutividade hidráulica é fundamental para estudos que objetivem o compreender o movimento da água em solos, e também, na análise de bacias hidrográficas. A condutividade hidráulica obterá os maiores valores em solos saturados e muito dependentes dos teores de umidade do solo, que possui uma alta de variabilidade espacial. Um método utilizado com sucesso foi “[...] o do perfil instantâneo - MPI [...]”, sendo que esta metodologia parte da “[...] análise dos componentes da equação de Richards em perfis de potenciais e fluxos transientes durante a drenagem vertical que ocorre após a saturação do solo por uma chuva [...]”. Tensiômetros e tensímetros são utilizados para a obtenção dos dados para a estimativa da condutividade hidráulica de solos.

De acordo com Tucci e Beltrame (2009, p.254) os seguintes métodos são sugeridos para a determinação da evaporação: “transferência de massa; balanço de energia; equações empíricas; balanço hídrico; e, evaporímetros”. Conforme a Eq.2 pode-se calcular a evaporação de uma determinada área, lago, reservatório:

$$E_o = \frac{I-Q}{A} + P - \frac{dV}{dt}, \text{ onde:} \quad (2)$$

$E_o$  = evaporação;

$I$  = vazão total de entrada no reservatório;

$Q$  = vazão de saída do reservatório;

$A$  = área do reservatório;

$P$  = precipitação sobre o reservatório;

$\frac{dV}{dt}$  = Balanço hídrico (TUCCI; BELTRAME, 2009, p.254);

Como mencionado anteriormente a evapotranspiração compreende a perda de água do solo pela evaporação e a transpiração de plantas. A evapotranspiração em plantas é considerável no sistema de trocas de água da planta com a atmosfera. A estrutura da vegetação seria a responsável pelo controle da evapotranspiração, e com a diminuição da “[...] umidade do solo ocorrem restrições à transferência de água para a atmosfera, que passa a depender não somente das condições meteorológicas, mas também do sistema radicular das plantas [...]” (TUCCI; BELTRAME, 2009, p.270).

O solo, as plantas e a atmosfera podem ser considerados como componentes de um sistema fisicamente inter-relacionado e dinâmico, no qual os vários processos de fluxo estão interligados [...]. Neste sistema, é valioso e aplicável o conceito de potencial hídrico, ou seja, o fluxo de água ocorre dos pontos de maior potencial hídrico para os de menor potencial [...] (TUCCI; BELTRAME, 2009, p.270).

Como observado na citação anterior o fluxo de água no processo de evapotranspiração ocorre dos locais onde possuem o maior potencial hídrico para os de menores. Devido à evapotranspiração ser condicionada por aspectos fisiológicos das plantas e de condições do tempo, tem-se a evapotranspiração potencial (ETP) e a evapotranspiração real (ETR). A seguir apresenta-se os conceitos de ETP e ETR.

Evapotranspiração potencial (ETP): quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, na unidade de tempo, de uma superfície extensa completamente coberta de vegetação de porte baixo e bem suprida de água (PENMAN, 1956 *apud* TUCCI; BELTRAME, 2009, p.270).

Evapotranspiração real (ETR): quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais (existentes) de fatores atmosféricos e umidade do solo. A evapotranspiração real é igual ou me-

nor que a evapotranspiração potencial ( $ETR < ETP$ ) (GANGOPADHYAYA *et al.*, 1968 *apud* TUCCI; BELTRAME, 2009, p.270).

Em outras palavras, a ETP [...]:

[...] representa a chuva necessária, é o processo de perda de água para a atmosfera, através de uma superfície natural gramada, padrão, sem restrição hídrica para atender às necessidades da evaporação do solo e da transpiração (CAMARGO; CAMARGO, 2000, p. 126).

E a ETR “[...] constitui a perda de água de uma superfície natural, em qualquer condição de umidade e de cobertura vegetal” (*Idem*). Conforme Tucci e Beltrame (2009, p.270), ETR são difíceis de obtenção, demandando muito tempo de observação e gastos pesados. Mas, com a aplicação de modelos físicos e relações empíricas é possível a obtenção ETP de forma rápida e precisa. “[...] várias teorias, relacionam a ETR e ETP em função da disponibilidade de água no solo [...] informações associadas ao conceito de ETP, nos permitem estimativas suficientemente confiáveis para a grande maioria dos nossos objetivos”. O desenvolvimento do conceito de ETP veio solucionar problemas na obtenção de dados de evapotranspiração.

De acordo com Camargo e Camargo (2000), Thornthwaite desenvolveu o balanço hídrico climático com dados em uma única unidade de medida, milímetros. A contabilização dos parâmetros de precipitação e ETP fornecem o denominado “balanço hídrico climatológico”, apresentando os *déficits* e os excedentes hídricos. Os maiores valores de ETP são registrados no verão. Se há disponibilidade hídrica a evapotranspiração depende da quantidade e intensidade de energia solar recebida para o processo de evapotranspiração. A ETP nos trópicos é mais elevada que nas regiões de clima temperado (CAMARGO; CAMARGO, 2000).

A citação abaixo apresenta os momentos em que a evapotranspiração potencial (ETP) deixa de acontecer e ocorre a evapotranspiração real (ETR).

Se faltar água no solo a evapotranspiração ficará reduzida, deixando de ser potencial; ocorrerá, então, a evapotranspiração real, menor que a potencial. A evapotranspiração real é um caso especial da evapotranspiração, não se constituindo em um elemento meteorológico (CAMARGO; CAMARGO, 2000, p.127).

A ETP representa a necessidade de água de uma determinada vegetação “[...] em condições similares à da água fornecida pela precipitação pluvial [...]” (CAMARGO; CAMARGO, 2000, p.127). Tucci e Beltrame (2009, p.271), apresentam alguns métodos para a estimativa da evapotranspiração:

- medidas diretas;
- métodos baseados na temperatura;
- métodos baseados na radiação;
- método combinado; e
- balanço hídrico;

As medidas diretas mencionadas acima são realizadas através da utilização de lisímetros. Também, podem ser obtidos dados de evapotranspiração por meio de medidas de umidade do solo, com “[...] sucessivas medidas da umidade do solo permitem, por diferença, estabelecer um valor de evapotranspiração na ausência de precipitação e/ou irrigação” (TUCCI; BELTRAME, 2009, p.271).

Os métodos baseados em dados de temperatura do ar são propostos por Thornthwaite e por Blaney-Criddle. No método apresentado por Thornthwaite leva em conta dados de precipitação e de escoamento superficial. Suas primeiras experiências se deram regiões estadunidenses de clima temperado, correlacionando a temperatura a estimativa de evapotranspiração. Não recomenda este método para regiões de verões chuvosos e invernos secos, que é o caso da região dos Cerrados.

Já Blaney-Criddle desenvolveu sua metodologia em regiões semi-áridas, analisando a disponibilidade hídrica das vegetações, não sendo recomendado para regiões equatoriais. Existem ainda metodologias que se baseiam em dados da radiação solar que são aplicados em equações matemáticas. O empecilho é que muitas das vezes estes dados só estão disponíveis em estações meteorológicas.

Outro método bastante utilizado é a equação de Penman (método combinado), que é utilizado para estimativas da evapotranspiração potencial, metodologia na qual leva em consideração dados de radiação solar (TUCCI; BELTRAME, 2009).

A evapotranspiração potencial pode ser ainda, calculada por meio do balanço hídrico, obtido a partir de dados de precipitação e de vazão. Sugere-se a equação a seguir para cálculos da evapotranspiração por meio de uma equação do balanço hídrico.

$$\frac{dV}{dt} = I - Q - E_o \cdot A + P \cdot A, \text{ onde:} \quad (3)$$

V = volume de água contido no reservatório;

t = tempo;

I = vazão total de entrada no reservatório;

Q = vazão de saída do reservatório;

E<sub>o</sub> = evaporação;

P = precipitação sobre o reservatório;

A = área do reservatório (TUCCI, BELTRAME, 2009, p.267).

Para uma bacia hidrográfica a equação pode ser adaptada para:

$$V_t = V_o + (P - Q - ETP)\Delta t, \text{ onde:} \quad (4)$$

V<sub>t</sub> = V<sub>o</sub> = são armazenamento total de umidade na bacia no final e início do intervalo de tempo Δt;

P = Precipitação total;

Q = Vazão;

ETP = evapotranspiração no período (TUCCI; BELTRAME, 2009, p.278).

As regiões do Cerrado possuem altos valores de evapotranspiração potencial, principalmente, nas estações de primavera e do verão, e é neste semestre que ocorrem os maiores índices evapotranspiração real, concentrando-se no verão e em algumas períodos do outono. Na citação a seguir compreendem-se as altas taxas de evapotranspiração real para as regiões do Cerrado no período do verão e do outono:

As razões das taxas mais elevadas nessas estações são as seguintes: radiação solar mais intensa e maior volume de água disponível. Com efeito, nessas estações a radiação solar é mais intensa por unidade de tempo e o comprimento do tempo diurno solar (*sunlight*) é mais longo. Contudo, para alimentar o processo de evapotranspiração real não basta a energia de radiação solar. Considerando que tanto a oferta de energia como a necessidade ambiental de água são ambas muito grandes nessa região, sobretudo naquelas estações, é de se esperar que o processo de retorno de água à atmosfera pela evapotranspiração seja muito intenso (NIMER; BRANDÃO, 1989, p.20).

A evapotranspiração na região dos Cerrados varia entre 800 e 1.000 mm anuais e possuem regiões com altas taxas de evapotranspiração e com baixos volumes de precipitação, em regiões de ecótono do Cerrado com a Caatinga (NIMER; BRANDÃO, 1989).

### 2.3.9 Excedente e *déficit* hídrico

O excedente hídrico ocorre no momento em que a saturação da capacidade de campo de um determinado tipo de solo, sendo todo o volume de água após atingir a capacidade máxima de armazenamento daquele solo, o excedente hídrico. Conforme Nimer e Brandão (1988), muitas regiões da Terra possuem regime hídrico com períodos de excedentes e de *déficits* hídricos.

O volume de água armazenado no solo e disponível as plantas denomina-se de “armazenamento (ARM)” e o *déficit* potencial de água no solo de “negativa acumulada (NEGAC)”. A entrada de água neste sistema é o (*input*) definido pela precipitação, e a saída (*outputs*) é representada pela evapotranspiração real “[...] e, de certa forma, o EXC [*excedente*]”. O armazenamento (ARM) seria o reservatório de água neste sistema. “Pode-se, portanto, afirmar que o ARM de certo período é função dos *inputs* do período considerado (t) e do ARM anterior (t - 1). A textura, a espessura e as exigências da vegetação determinam a capacidade máxima deste reservatório, ou seja, a capacidade de água disponível (CAD). Quando o valor do ARM supera o da CAD, ocorrem as perdas referidas por EXC” (NIMER; BRANDÃO, 1989, p.21).

A deficiência hídrica é evidenciada no instante que a evapotranspiração potencial é maior que a real. A evapotranspiração de um determinado local é função da precipitação e do nível do ARM, e esta água retorna a atmosfera incessantemente, em todas as estações. Na citação abaixo pode-se entender o papel do solo no processo de evapotranspiração de um local (NIMER; BRANDÃO, 1989).

[...] a quantidade de água que o solo fornece à evapotranspiração, num determinado período [ER (t)], é função do nível de ARM do período anterior [ARM (t - 1)] e da diferença entre o volume de água precipitada e a evapotranspiração do período em questão (t). Assim, quanto menor o ARM (t - 1), tende a ser menor a ER (t); e quanto maior a PEF [*precipitação efetiva*] positiva (t), tende a ser maior a ER (t). Se num determinado período (t) a PEF é positiva, a evapotranspiração real e a potencial são iguais [ER (t) = EP (t)] e esta diferença é adicionada no ARM do período anterior (t - 1), *ocorrendo reposição de água no solo*. A reposição hídrica se verifica toda vez que o nível de precipitação supera o da evapotranspiração potencial (PRE > EP) e o armazenamento é inferior a capacidade de campo (ARM > CAD). Essa reposição prossegue até que o armazenamento atinja a capacidade de campo

(ARM=CAD), o que, quando se dá, propicia excedente hídrico (EXC (t)) (NIMER; BRANDÃO, 1988, p.21).

Portanto, as características químicas, físicas e biológicas dos solos permitem uma maior ou menor capacidade de retenção de água e, conseqüentemente, favorecem ou não a infiltração, escoamento superficial e determinando as características do fluxo hidrológico. Quando a PE é negativa é o momento da utilização da água armazenada no reservatório do solo. “A esse processo de reposição e utilização de água do solo denomina-se *alteração de água no solo* (ALTR) [...]” (NIMER; BRANDÃO, p.22). Os dados de excedente e deficiência hídrica de uma bacia hidrográfica justificam-se na tomada de decisões sobre a implantação de atividades econômicas e para o manejo ambiental etc.

## 2.4 Hidrogeologia

A hidrogeologia moderna nasceu no século XIX e desenvolveu-se no século seguinte com os conhecimentos produzidos por inúmeros estudos dos fluxos d'águas subterrâneos, entre os quais destaca-se os de Charles V. Theis, que disserta sobre a relação entre os níveis da superfície piezométrica e a utilização de água de poços subterrâneos (THEIS, 1952).

O levantamento hidrogeológico traz conhecimentos importantes, fornecendo bases científicas para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos, como: “[...] previsão de riscos de contaminação, caracterizando possíveis pontos de sobrexploração dos aquíferos [...]” (GOIÁS, 2006, p.22). O estudo visando conhecer as características e funcionamentos dos aquíferos podem subsidiar os zoneamentos urbanos, uma vez que fornecem informações das vulnerabilidades e potencialidades que as águas subterrâneas podem apresentar no processo de urbanização.

Segundo Gaspar (2006, p.90), o balanço hidrogeológico “[...] consiste na quantificação das variáveis participantes dos processos de transferência de água das chuvas para um aquífero e deste para os meios circundantes [...]”. De acordo com Theis (1938) *apud* Fetter Jr. (2001), o sistema hidrogeológico opera em equilíbrio dinâmico, sendo as “saídas” das águas subterrâneas iguais as reposições. Se a recarga d'água cair, a vazão reduzirá-se até que um novo equilíbrio seja estabelecido naturalmente por meio das recargas. Conforme Gaspar a equação do balanço hidrogeológico seria a seguinte:



$$P - ET - Q - R = \frac{dv}{dt}, \text{ onde:} \quad (5)$$

P = é a precipitação pluviométrica sobre a área do sistema;

Q = vazão total de saída do sistema;

ET = evapotranspiração na área do sistema;

$\frac{dv}{dt}$  = variação do armazenamento dentro do sistema (GOIÁS, 2006, p.92).

Em sua obra Gaspar (2006, p.94) apresenta que para a obtenção do balanço hidrogeológico da zona vadosa do Aquífero Urucuia optou-se pela seguinte equação, que é uma simplificação da anterior:

$$R = (P.A) - (ET.A) - E, \text{ onde:} \quad (6)$$

R = recarga do sistema aquífero;

P = é precipitação;

E = escoamento superficial e o interfluxo;

A = área;

ET = evapotranspiração;

O conhecimento hidrogeológico de uma região requer o entendimento da relação entre os rios e os aquíferos, e as influências de fatores como “[...] litotipos, solos, relevo, clima, regime de precipitação [...]” (GASPAR, 2006, p.99). Os rios perenes são alimentados por águas provenientes de aquíferos adjacentes e os intermitentes são alimentados por “[...] infiltração a partir de seu leito o aquífero subjacente” (*Idem*). Outro fator que deve ser levado nas análises hidrogeológicas são as ações antrópicas presentes em bacias hidrográficas porque nestas encontra-se diversos usos da terra, como, edificações e áreas urbanas, áreas de pastagens e de agriculturas das mais diversas culturas e métodos de manejo.

No território goiano encontramos diversos tipos de aquíferos, como os freáticos e profundos, cársticos, fissuro-cársticos e intergranulares. Na obra Hidrogeologia do Estado de Goiás são descritas as características de 23 aquíferos profundos que compõem todo o território do Estado de Goiás. Neste trabalho é realizado um perfil topográfico que recobri a MHQ em Jataí - GO.

Através do perfil topográfico visualiza-se que a área urbana de Jataí e a MHQ (que possui sua vertente esquerda parcialmente urbanizada pela cidade de Jataí e que segundo o perfil

topográfico a MHQ em seu divisor de águas norte possui uma altitude de aproximadamente 800 metros e que a partir daí em direção ao centro da Terra tem-se: 800 metros a aproximadamente 700 metros tem-se o Sistema Aquífero Serra Geral com predomínio dos basaltos da Formação Serra Geral; dos 700 metros de altitude a aproximadamente 550 metros encontra-se o Sistema Aquífero Guarani com a presença dos arenitos da Formação Botucatu; a partir desta altitude tem-se, mesmo abaixo do nível do mar, o Sistema Aquífero Aquidauana, de onde são extraídas as águas quentes do *Bees Thermas Park* (clube de águas termais de Jataí - GO).

#### 2.4.1 Balanço hídrico

O norte-americano Thornthwaite fora o precursor na utilização do “balanço hídrico” para estudos dos recursos hídricos, introduzindo este termo em 1944. O balanço hídrico foi definido como o equilíbrio entre a entrada de água por meio da precipitação, a saída de água por evapotranspiração, a recarga das águas subterrâneas e a vazão. O balanço hídrico é uma ferramenta muito útil que reúne uma série de informações hidrológicas, hidrogeológicas, hidrometeorológicas e de física dos solos, quantificando os valores de entrada, de armazenamento e de saída de água de um determinado sistema (DUNNE; LEOPOLD, 1972; RITTER, 2006).

Portanto, o balanço hídrico de uma determinada região ou bacia hidrográfica são obtidos a partir dos dados de entrada, de armazenamento e de saída de água. Na citação a seguir os Autores o definem da seguinte forma:

O balanço hídrico é a somatória das quantidades de água que entram e saem de uma certa porção do solo em um determinado intervalo de tempo. O resultado é a quantidade líquida de água que nele permanece disponível às plantas (TOMASELLA; ROSSATO, 2005, p.4).

Corroborando Reichardt e Timm (2004), caracteriza o balanço hídrico pela soma das quantidades de água que entram e saem de uma determinada porção de solo em certo intervalo de tempo, sendo o resultado o volume de água que permanece naquela porção de solo. O balanço pode ser realizado para uma determinada porção do solo ou para a bacia hidrográfica inteira. Em uma determinada bacia hidrográfica a entrada de água é representada pela precipitação (pluviométrica, niveal etc.), que será armazenada em lençóis d'água e/ ou aquíferos, e que a poder-se-á se dá por meio da evapotranspiração e do deflúvio.

O balanço hídrico pode ser utilizado para o conhecimento de parâmetros climáticos, daí podendo estabelecer analogias entre regiões, indicando a potencialidade hídrica da área para as mais variadas atividades antrópicas. A determinação do balanço hidrológico de uma determinada região pode ser realizada por meios de dados meteorológicos. Neste sentido ressalva-se que estes [...]

[...] tipos de estudos ficam restritos a pequenas áreas e tem o objetivo de apenas verificar modelos matemáticos desenvolvidos para simular o balanço hídrico. As medidas necessárias ao balanço hídrico exigem equipamentos sofisticados e de mão-de-obra especializada (TOMASELLA; ROSSATO, 2005, p.4).

Os métodos de determinação do balanço hídrico utilizam-se de dados de umidade do solo, de evapotranspiração, de recargas d'água subterrâneas e de vazão. Dever-se-á levar em consideração o tipo de solo e a cobertura vegetal da bacia hidrográfica em questão. O balanço hídrico fora utilizado para cálculo das demandas sazonais para efeitos de irrigação, de previsões de vazões e para as variações do nível da água de um lago. A partir de dados meteorológicos o balanço hidrológico poder-se-á ser utilizado para fins de estudos de viabilidade econômicas, ecológicas e para a determinação dos impactos de ações antrópicas na natureza, prevenindo impactos ambientais em bacias hidrográficas e apontando propostas de minimização dos impactos (DUNNE; LEOPOLD, 1972).

A existência de estações meteorológicas nos continentes facilita a composição do banco de dados necessário para a realização do balanço hídrico. Há diversos métodos para a determinação do balanço hídrico, como os comumente utilizados pela comunidade científica, de Thornthwaite (1948) adaptado por Mather (1955) e o de Palmer (1984).

A principal função do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather é dar subsídios para a realização de classificações climáticas pelo mundo afora. “O método proposto por Thornthwaite e Mather tem sido amplamente utilizado por possibilitar a previsão da variação temporal do armazenamento de água no solo” (TOMASELLA; ROSSATO, 2006, p.4). A citação a seguir dá a importância do balanço hídrico para diversas finalidades: “*A few weeks or years of direct measurements of the water balance can yield a large amount of hydrologic information about the interrelationships of climate, land use, groundwater and runoff*” (DUNNE; LEOPOLD, 1972, p.238).

O método proposto por Thornthwaite e Mather leva em conta dados de “[...] evapotranspiração real, *déficit* hídrico e excedente hídrico” (*Idem*). Nesta metodologia são consideradas que as taxas de perda de água por evapotranspiração variam em razão do armazenamento de água subterrânea. No trabalho de Tomasella e Rossato (2005, p.5), sugere-se a seguinte fórmula para a determinação do balanço hidrológico:

$$P + I - ET - R \pm D \pm \Delta A = 0, \text{ onde:} \quad (7)$$

P = Precipitação;

I = Irrigação;

ET = Evapotranspiração;

R = Escoamento superficial;

D = Drenagem profunda;

$\Delta A$  = Variação da água armazenada no solo;

A precipitação e a irrigação representam a entrada de água em um sistema, e em muitas bacias hidrográficas brasileiras, às únicas entradas seriam definidas pela precipitação pluvial ou niveal. As perdas de água seriam representadas pela evapotranspiração e pelo escoamento superficial. A litosfera é uma grande unidade armazenadora de água e a variação no volume em consonância com a precipitação na área. A drenagem profunda é definida pelo movimento de água no solo impulsionado pela força da gravidade que alimentará rios, lagos e o lençol d'água subterrâneo.

É indicado que para a realização do balanço hídrico o primeiro passo é determinar a camada de solo que irá realizar o balanço, devendo estar incluso a zona de absorção das raízes, sendo os fluxos positivos representados, principalmente, pela precipitação. Esta água pode ser perdida por meio do escoamento superficial, ocorrendo, também, perdas de água por evaporação e evapotranspiração.

Após entrada de água no fluxo hidrológico, esta pode tomar diversos caminhos, compondo o ciclo da água, que é conhecido por meio do balanço hídrico, que leva em conta como já mencionado, a água que entra, a que é armazenada e a que sai do sistema, conforme descrito a seguir:

A força da gravidade provoca a precipitação (P) de água sobre o solo e o oceano, daí a água retorna à atmosfera através da evaporação (E). Da água que atinge o solo, parte transforma-se em escoamento ou deflúvio superficial

(D), sobre o subsolo age a evaporação, além da água daí retirada pelas plantas através da transpiração (T). Parte da água infiltrada alimenta os reservatórios subterrâneos (W), que irão escoar e atingir rios e oceanos (CAICEDO, 2009, p.298).

A bacia hidrográfica representa o espaço de entrada de água do balanço hídrico por meio da precipitação, que possibilita o emprego de equações para o conhecimento do balanço de água em determinado espaço-tempo.

A equação do balanço hídrico pode ser escrito da seguinte forma:

$$(P - E - D - I) \Delta T = \Delta S^1, \text{ onde:} \quad (8)$$

$\Delta S^1$  - representa a variação de volume armazenado na superfície;  
 P - significa a precipitação;  
 E - significa a evaporação;  
 D - o deflúvio superficial;  
 I - a água que infiltra no solo (CAICEDO, 2009, p.298).

Existem ainda métodos que permitem conhecer as águas dos aquíferos, entretanto, o conhecimento real do fluxo subterrâneo é impossível, adotando para isso valores médios dos componentes hidrológicos. Um dos métodos empregados com valores médios são a Lei de Darcy ou velocidade de escoamento subterrâneo, que leva em conta dados como o de pressão, sendo o, “[...] fluxo volumétrico definido pelo volume escoado por unidade de área real (grãos e vazios) e por unidade de tempo [...]” (CAICEDO, 2009, p.300). Importante frisar é a necessidade de conhecimento do fluxo de água nos meios porosos para o emprego dos modelos matemáticos de estimativas do fluxo hidrológico subterrâneo. Em laboratório é possível conhecer a condutividade hidráulica dos materiais porosos, entretanto, sendo extremamente difícil de ser realizada, sendo as medidas em campo feitas com o auxílio de um permeâmetro. Dunne e Leopold (1972, p.237), sugere a seguinte equação para determinação do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica:

$$P = I + AET + OF + \Delta SM + \Delta GWS + GWR, \text{ onde:} \quad (9)$$

P = precipitação;  
 I = interceptação;  
 AET = evapotranspiração real;  
 OF = escoamento superficial;  
 $\Delta SM$  = umidade do solo;

$\Delta GWS$  = variações no armazenamento de água subterrânea;

$GWR$  = escoamento da água subterrânea;

Estes dados requeridos pelo balanço hídrico podem ser obtidos a partir da instalação de instrumentos fabricados por indústrias, ou por via das vezes instrumentos artesanais que requerem baixos investimentos. Várias obras apresentadas aqui sugerem métodos para a obtenção dos dados necessários a determinação do hidrológico e hidrogeológico de uma bacia ou bacia hidrográfica. O que ficou evidenciado é que os dados de evapotranspiração são de difícil obtenção, onde a existência de uma estação meteorológica é uma forma eficaz para obter os dados de evapotranspiração.

## 2.5 Gestão de bacias hidrográficas

A gestão dos recursos hídricos e a proteção da natureza tiveram suas primeiras discussões oficiais na Conferencia de Estocolmo (1972) e na Rio-92, gerando documentos importantes para a proteção da natureza, como a Agenda 21, de que boa parte tratava de assuntos relativos proteção dos recursos hídricos e na manutenção da qualidade das águas, com fins para a proteção dos ecossistemas.

Na Rio-92 com as proposições da Agenda 21 enfatiza-se a integração entre desenvolvimento econômico-social e proteção dos recursos naturais. Discute-se nesta Conferência o desenvolvimento econômico até então alcançado pelas nações e os conseqüentes impactos ambientais provocados pelo então modelo de desenvolvimento vigente. Traz que é necessária a implantação nos planos políticos governamentais dos sistemas de manejo e planejamento que integrem, o meio ambiente e o desenvolvimento sócio-econômico.

A Agenda 21 determina ações nos vários campos humanos e ambientais, e propõem mudanças nas tomadas de decisões por parte das autoridades (ECOLNEWS, 2011). No Brasil foi criada a “Agenda 21 - Brasil”, com adaptações setoriais.

Como mencionado na década de 1960/1970 surgem às primeiras preocupações e debates com as questões ambientais, e neste sentido são criadas as primeiras leis contra as poluições provocadas pelas atividades do homem ao meio ambiente a nível mundial. Nos Estados Unidos são criadas as primeiras leis federais para a proteção do meio ambiente e, dentre estas, destacam-se [...]:

[...] a Lei da Qualidade do Ar de 1967, a Emenda à Lei de Ar puro, de 1970 [...] a Lei de Controle de Resíduos Sólidos, de 1970, a Lei de Controle de Poluição da Água, de 1971 [...]”. Destaca ainda outra lei de suma importância, que é “A Lei Nacional de Controle Ambiental de 1969 (LNCA) (SEWELL, 1978, p.15).

A Lei Nacional de Controle Ambiental de 1969 (LNCA/1969) foi tratada como um empecilho ao desenvolvimento econômico dos EUA, pois, determina que em qualquer atividade potencialmente causadora de impacto ambiental que uma determinada pessoa fosse responsabilizada (assinasse um documento) pelo referido impacto provocado à natureza. De acordo com o Autor o objetivo desta Lei era de “[...] obter a harmonia produtiva entre o homem e a natureza e satisfazer as necessidades das gerações presentes e futuras” (SEWELL, 1978, p.16). Estas leis ambientais criadas e em especial no caso da LNCA dos EUA aparecem para uma parte da sociedade como entraves ao desenvolvimento econômico.

As leis ambientais devem ser vistas pela sociedade como forma de garantir a manutenção dos ecossistemas saudáveis para as gerações futuras, promovendo assim o desenvolvimento sustentável. Os recursos naturais presentes nas bacias hidrográficas precisam ser explorados de forma sustentável, preservando elementos importantes como as águas e os solos. A sociedade precisa compreender que o uso e ocupação da terra precisam ser feita de forma minimizar os impactos na natureza.

Neste sentido as bacias hidrográficas constituem-se em unidades de planejamento por excelência no “[...] manejo e gestão ambiental dos recursos naturais, por integrar o solo e a água, essenciais para a sustentação e manutenção da vida”. As análises das bacias hidrográficas possibilitam “[...] estabelecer as inter-relações dos elementos constituintes da paisagem (clima, vegetação, solos...) e os processos que atuam na sua esculturação (sol, chuvas, ventos...)” (ARAUJO; PINESE, s/d).

O planejamento ambiental e a gestão das bacias hidrográficas devem ser executados com a máxima eficácia na prevenção e minimização dos impactos à natureza. O uso e ocupação não planejada das bacias hidrográficas podem gerar prejuízos ao meio ambiente e ao homem, como a perda de solos, erosão e assoreamento dos cursos d’água, alterações no fluxo pluvial e fluvial, podendo gerar condições para as inundações.

O processo de urbanização e a construção de usinas hidroelétricas podem modificar completamente o sistema hidrológico natural de uma bacia hidrográfica, podendo surgir conflitos entre usuários da água, localizados a montante e a jusante das barragens, em casos do uso da água de uma determinada bacia hidrográfica para fins de irrigação, consumo humano e animal, ou até mesmo, para descarte de efluentes. Alterações em bacias hidrográficas a montante podem comprometer áreas a jusante, como erosões e ravinas, assoreamento dos rios e poluição das águas. Outros impactos podem ser provocados pela urbanização, como maior escoamento superficial, redução da infiltração, produção efluentes domésticos e industriais que comprometem a quantidade e a qualidade da água (DUNNE; LEOPOLD, 1972).

As preocupações com as bacias hidrográficas possuem fundamentos como os apresentados pelos relatórios do Instituto Mundial de Recursos do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, que traz gravíssimas crises que serão provocadas pela falta de águas. A seguir elucidam-se os impactos e as crises que serão provocadas pela falta de água potável.

Os relatórios apontam seis grandes alterações nos mecanismos e legislação sobre os usos da água, a avaliação dos impactos, a disponibilidade de água per capita e as necessidades de gerenciamento integrado - controle do desperdício e dos desastres que podem ocorrer (enchentes e secas):

1. água potável e de qualidade para todos;
2. aumento do suprimento e alternativas;
3. crescimento populacional e usos da água na agricultura;
4. controle de enchentes e secas;
5. mudanças climáticas e seus efeitos; e
6. impactos sociais e econômicos nos usos da água (TUNDISI, 2005, p.3).

Vê-se a necessidade planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos para que todos estes itens sejam atendidos e que os problemas devido à escassez de água não se tornem tão grave que possa desencadear complicações de ordem mundial, como os que ocorrem já em algumas regiões no mundo.

O planejamento e gestão ambiental caminham juntos na definição de parâmetros para a tomada de medidas no controle da qualidade do meio ambiente das bacias hidrográficas. A água é um elemento essencial para a manutenção da vida e a sua condição de potabilidade representa saúde e bem estar, pois várias doenças são veiculadas por meio da água que é utilizada para as necessidades diárias. A maioria das atividades humanas utiliza água, sendo um



“[...] bem de consumo final ou intermediário [...]” (LANNA, 2009, p.727). Muitos conflitos futuros podem ocorrer devido a falta de água potável, e a gestão dos recursos hídricos é uma forma de amenizar estes problemas presentes e futuros.

Para isto devem-se utilizar técnicas de planejamento, sendo que “[...] o planejamento dos recursos hídricos aparece como uma atividade complexa, que envolve grande número de disciplinas e que deve ser aplicado por equipes multi e interdisciplinares” (LANA, 2009, p.727).

Dentre as várias formas de gerenciamento dos recursos hídricos está o gerenciamento dos usos setoriais da água, o gerenciamento interinstitucional, o gerenciamento das intervenções em bacias hidrográficas, o gerenciamento da oferta da água e o gerenciamento ambiental. Este último trata-se do “[...] planejamento, monitoramento, licenciamento, fiscalização e administração das medidas indutoras do cumprimento dos padrões de qualidades ambiental efetivada através de um amplo leque de instrumentos administrativos [...]” (LANNA, 2009, p.764). O gerenciamento ambiental abrange os diversos recursos naturais e é um instrumento gerencial que permiti através da determinação dos padrões de emissão de efluentes e cobranças de multas e taxas, em casos de alterações nocivas aos ecossistemas, a proteção dos recursos do meio ambiente.

Um passo importante na política ambiental e para o processo gestão de bacias hidrográficas no Brasil foram à criação da Política Nacional de Recursos Hídricos e da Agência Nacional das Águas (MARTINS, 2009).

No artigo apresentado por Nascimento e Villaça (2008, p.115) é citada a figura do gerente da gestão da qualidade da água, que são os “[...] responsáveis ou como parceiros, nos cuidados referentes à qualidade e à quantidade da água nos sistemas aquáticos continentais”. Ressalta que é de extrema importância a mudança de atitudes do público em geral para a sustentabilidade ambiental, introduzindo ações para propor mudanças para preservação da natureza.

### 2.5.1 Planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas - o caso do Cerrado

As bacias hidrográficas são unidades por excelência e possui aceitação mundial porque possui limites geograficamente predefinidos, e, onde, há uma integração dos recursos naturais como o solo, a água e o ar. As bacias hidrográficas precisam ser preservadas devido ao alto custo de obtenção da água potável por métodos da engenharia convencional, sendo no planejamento e no gerenciamento dos mananciais de água necessário meios para o suprimento de água potável, desde a fonte até o consumo (NASCIMENTO; VILLAÇA, 2008).

Conforme Tundisi (2003, p.7-8), os impactos antrópicos nos recursos hídricos são crescentes, alterando as reservas hídricas superficiais e subterrâneas. Dentre os impactos destacam-se a “[...] construção de represas, construção de diques e canais, alteração do canal natural dos rios, drenagem de áreas alagadas, desmatamento do solo, poluição não controlada, remoção excessiva da biomassa, introdução de espécies exóticas, poluentes do ar e metais pesados”. Na citação abaixo é elencado os impactos da interferência antrópica nos recursos hídricos:

- degradação da qualidade da água superficial e subterrânea.
- aumento das doenças de veiculação hídrica e impactos na saúde humana.
- diminuição da água disponível per capita.
- aumento no custo da produção de alimentos.
- impedimento ao desenvolvimento industrial e agrícola e comprometimento dos usos múltiplos.
- aumento dos custos de tratamento de água (TUNDISI, 2003, p.8-9).

Além de todos estes impactos mencionados podem ainda ocorrer os de ordem biológica, afetando todo o ecossistema natural de uma determinada área. Estas mudanças poderão afetar as atividades econômicas e toda ordem dos sistemas terrestres. Desta forma as bacias hidrográficas devem ser preservadas para que os recursos hídricos estejam sempre ao nosso alcance.

Nas bacias hidrográficas as áreas de mananciais são consideradas áreas de riscos e possuem uma legislação ambiental específica no Brasil (OLIVEIRA, 2010). A Política Nacional de Recursos Hídricos foi estabelecida pela Lei Federal nº 002/ 97, atribuindo valor econômico a água e sendo a mesma destinada prioritariamente para o consumo humano e a dessedentação dos animais.

Esta Lei define que “[...] a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;” (LEI FEDERAL nº002/ 97). Estabelece os planos de recursos hídricos que são realizados a partir de bacias hidrográficas, determinando os usos da água e criando os comitês de bacias.

Garcez e Alvarez (1988, p.54) recomendam que a utilização dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica requer estudos de todas as características naturais da bacia.

Os fatos e números referentes à disponibilidade, à quantidade, à qualidade, aos usos e ao controle e à conservação dos recursos hídricos constituem os dados básicos para o planejamento integrado de uma bacia hidrográfica.

O “planejamento integrado de bacias hidrográficas” é definido pelos parâmetros listados a seguir:

- a) Dados sobre a quantidade de água: dados fluviométricos e limnimétricos, ocorrência e níveis da água subterrânea, conformação topográfica, cobertura vegetal da bacia, infiltração de água no solo, clima, temperaturas, umidade, evaporação, quantidade e distribuição de chuva, uso da água na configuração atual.
- b) Dados sobre a qualidade da água: avaliação qualitativa e quantitativa do estágio de poluição e contaminação dos cursos de água na bacia (poluição física, química, bacteriológica e radioativa).
- c) Dados cartográficos da bacia: mapas, cartas, levantamentos existentes, fotografias aéreas, e assim por diante.
- d) Dados morfológicos e geológicos da região.
- e) Dados sócio-econômicos da região onde se localiza a bacia em estudo (GARCEZ; ALVAREZ, 1988, p.54).

Todos estes dados necessários para o planejamento integrado de bacias hidrográficas são difíceis de obtenção e uma equipe multi e interdisciplinar são indispensáveis para o sucesso deste tipo de planejamento.

O Brasil é conhecido por possuir uma legislação ambiental adequado para fins de proteção do meio ambiente, mas, que não são implantadas de forma eficiente em um país de dimensões continentais. As áreas de florestas que devem ser preservadas nas bacias hidrográficas são determinadas por uma legislação eficiente, mas, que somente nos últimos anos ganhou dedicação por parte do poder público para sua implantação.

O Cerrado brasileiro foi palco da expansão da fronteira agrícola nas últimas décadas e com isso veio grandes infra-estruturas, intensificação das atividades econômicas, crescimento demográfico e urbano, que acabaram por devastar a maior parte deste bioma. Programas como o Polocentro (1975) e o Prodecer (1980), acabaram por intensificar a devastação do cerrado, o que iniciara no século XVII e XVIII com a mineração (BACCARO, 2010). Estes e vários outros programas levaram destruição ao Cerrado que estende-se por vários estados brasileiros.

Conforme Baccaro (2010, p.197), em 1984 um relatório de avaliação de impactos ambientais do Cerrado foi elaborado, referenciando o “[...] empobrecimento genético, à compactação e erosão dos solos, à contaminação química das águas e da biota [...] rebaixamento do lençol freático nos vales em “veredas”, onde as planícies aluviais estão sendo drenadas pelos projetos de irrigação”.

Evidencia-se desde este momento um acelerado processo de utilização e transformação dos recursos naturais, com a alteração dos processos geomorfológicos naturais das bacias hidrográficas. Na citação abaixo traz alguns dos mecanismos corretos de utilização das áreas de Cerrado, como:

A sustentabilidade ambiental do Cerrado encontra nos indicadores geomorfológicos, índices valiosos e engloba os procedimentos de mensuração e a qualificação dos indicadores para operacionalizar o desenvolvimento sustentável.

[...] só com a interação do sistema processual geomorfológico com o sistema do uso do solo podem ser identificados os riscos, como base para o manejo, reduzindo custos e minimizando os grandes impactos da paisagem (BACCARO, 2010, p.198).

Como já mencionado o uso e ocupação das bacias hidrográficas devem ter seu uso e ocupação planejadas, e que este planejamento deve obedecer a indicadores geomorfológicos, e deste modo operacionalizando o desenvolvimento sustentável.

Conforme Lanna (2009, p.751), o planejamento é a “[...] Gestão dos Recursos Hídricos que trata da realização de estudos e preparo de documentos, com vistas a orientar e adequar as intervenções humanas no setor de recursos hídricos [...]”. Os estudos das vertentes possibilitam um prognóstico dos possíveis impactos de alterações em suas feições geomorfológicas naturais, atuando no controle de processos erosivos, de sedimentação e de assoreamento dos cursos d’água.

O planejamento ambiental surge como uma proposta para o uso adequado das bacias hidrográficas, funcionando como uma ferramenta que leva em consideração os atributos físicos e socioeconômicos de uma determinada área.

Os dados climáticos e de balanço hídrico de uma bacia hidrográfica permite conhecer: “[...] período de maior potencialidade de erosiva das chuvas, riscos de estiagem, geadas [...] perdas de água do solo por evapotranspiração [...]”. Estes dados para uma bacia hidrográfica são escassos e difíceis de obter, onde muitas das vezes optam por utilizar dados de estações meteorologias mais próximas (BOTELHO, 2010).

Salienta-se que geralmente as bacias hidrográficas possuem dados meteorológicos bastante homogêneos para sua área, mas, podendo ocorrer variações climáticas internas em bacias com altos desníveis entre a foz e as nascentes.

A geologia da bacia responde a aspectos importantes e a “[...] permite a reconstrução histórica da evolução da paisagem e do seu comportamento atual”. Indica as áreas onde há propensão a ocorrer movimento de massas, sendo as “[...] propriedades mineralógicas e texturais das rochas, existência de fraturas, planos de esfoliação e diaclases, foliação e bandamento composicional e posição estratigráfica [...]” sendo os indicadores que permitem determinar a probabilidade para que o fenômeno ocorra (BOTELHO, 2010, p.279).

Da mesma forma que os atributos geológicos, o relevo indica as propensões para que determinada bacia hidrográfica possa ter, posteriormente as alterações antrópicas, a qual gera impactos diretos e indiretos ao sistema ambiental de uma porção da superfície terrestre. O relevo aliado [...]:

[...] a outras variáveis, como cobertura vegetal e rugosidade do terreno, a inclinação das encostas é responsável pela maior ou menor velocidade dos fluxos de água, que, por sua vez, podem conduzir à atuação de processos erosivos (BOTELHO, 2010, p.279).

Os solos de uma bacia hidrográfica constituem-se em informações importantes para o planejamento ambiental, visto que é o material erodido e que se constituem de alto valor para a sociedade. A partir do mapa pedológico de uma bacia é possível estabelecer os usos adequados da terra. Os mapas existentes muitas das vezes são definidos em uma escala que não abrange os objetivos de investigação de uma bacia, sendo necessário levantamento em escalas maiores, recorrendo a trabalhos de campo.

As características de uma rede de drenagem (nascentes, padrão, densidade de canais, velocidade do fluxo d'água, grau de turbidez, propriedades físicas e químicas da água) de uma bacia hidrográfica permitem identificar uma série de fatores que possam ocorrer, como, a identificação do potencial para a irrigação ou o nível de assoreamento da bacia.

Também, o padrão de uma rede de drenagem de uma bacia hidrográfica permite identificar o potencial para a irrigação, estado de degradação e o grau de assoreamento da bacia. A cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica indica o atual uso da terra e a partir do planejamento ambiental eleger as áreas que estão com uso inadequado, e propor as medidas sugeridas no planejamento ambiental.

Os atributos ambientais de uma bacia precisam ser integrados para uma leitura fácil da mesma e onde são definidas as unidades de planejamento “[...] que buscam sintetizar as informações levantadas durante a etapa de diagnósticos ou inventário ambiental e sobre as quais serão efetuadas as propostas de uso e ocupação do território”. O método de integração das informações do inventário ambiental pode ser sintético e/ ou analítico. O segundo método é mais adequado as análises de bacias hidrográficas “[...] onde são conjugadas informações referentes a cada parâmetro ambiental selecionado, originando um mapa cujas células cartográficas correspondem a áreas o mais homogêneas possível” (BOTELHO, 2010, p.287).

Para a criação das “unidades ambientais” os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) apresentam como ferramenta de apoio aos técnicos, aos cientistas e aos demais interessados na determinação do planejamento ambiental, pois, permite a agregação e análise de uma gama de variáveis, decisivas no processo de gestão de bacias hidrográficas.

Conforme Porta Casanellas *et al.* (1994) *apud* Botelho (2010), existem vários métodos para a avaliação das unidades ambientais, podendo ser: direto, indireto, qualitativo, quantitativo, atual ou potencial. Para Boix (1996) *apud* Botelho (2010, p.289), os métodos de avaliação são direcionados pelas “[...] capacidades ou potencialidades de uso e ocupação de um determinado território [...] ou no estudo dos impactos que a implantação e desenvolvimento dessas atividades produziram ao meio ambiente [...]”. Este método de avaliação está muito estritamente relacionado aos Estudos de Impactos Ambientais - EIA's.

No processo de delimitação das unidades ambientais a avaliação da capacidade, potencialidades e possibilidades de uso devem preceder. A avaliação das unidades ambientais deve “[...] realizar o julgamento de todos os atributos ou elementos considerados essenciais na de-

terminação da capacidade do meio físico de suportar ou acolher determinada atividade em cada ponto do território considerado” (BOTELHO, 2010).

Na obra de Sewell (1978), encontram-se métodos para controle da poluição no meio ambiente, onde os ônus ambientais serão repassados para empresários poluidores ou seus respectivos consumidores em caso de produtos industrializados.

Outra questão relevante refere-se ao fato dos limites jurisdicionais que geralmente não coincide com os limites dos problemas ambientais, acarretando problemas na aplicação da legislação. Portanto, um determinado problema ambiental local pode influenciar outras regiões que estejam distantes do lugar do problema.

### 2.5.2 Uso da terra e gestão de bacias hidrográficas

As vertentes das bacias hidrográficas possuem propriedades que lhes conferem aptidões de uso da terra específicas para aquela área. A retirada da vegetação nativa traz impactos profundos no funcionamento hidrológico de uma bacia, alterando o escoamento superficial, a infiltração e outros processos fundamentais para o ciclo hidrológico como a evapotranspiração.

Estudos pioneiros dos impactos das alterações de uso da terra de bacias hidrográficas ocorrem na década de 1910 nos EUA, investigando as mais diversas alterações no uso da terra. De acordo Sewell (1978, p.48), o planejamento do “[...] uso do solo é a conceituação, coordenação e encorajamento do uso particular e público da terra a fim de satisfazer os interesses públicos a longo prazo”. É no solo que acontece a maioria dos problemas ambientais, como a contaminação por efluentes que são lançados sem a mínima preocupação com as consequências.

Neste sentido Sewell (1978, p.48) traz que a “[...] estética urbana-rural depende do uso ou abuso de espaço. As falhas ecológicas ocorrem quando se usa mal os recursos espacialmente localizados para satisfazer necessidades econômicas, sociais e recreacionais”. Os problemas ambientais têm aumentado proporcionalmente ao crescimento das cidades e a intensificação do uso do solo. Já em 1978, Sewell elucidava o uso da terra de forma não planejada.

Os habitantes urbanos têm testemunhado a marcha inexorável dos subúrbios para as outrora férteis fazendas, floretas e terras pantanosas. Estradas, “centros de compras”, fábricas e prédios de escritório têm proliferado juntamente com o desenvolvimento habitacional. O solo tem sofrido erosão e obstruído os rios, os resíduos sólidos se acumulam em velocidade crescente, os rios estão contaminados pelos reservatórios sépticos dos subúrbios e os serviços públicos ficaram sobrecarregados. Até áreas naturais remotas têm sofrido com o desenvolvimento [...] (SEWELL, 1978, p.48).

Pode-se concluir que o desenvolvimento das atividades urbanas e rurais e o crescimento demográfico têm provocado alterações nefastas aos sistemas ambientais, como a erosão, o assoreamento e contaminação dos rios por resíduos sólidos, fossas sépticas e os efluentes acumulados de uma forma geral. Concordando com Sewell (1978, p.50), “[...] a qualidade do solo e a sua contribuição potencial para maior bem-estar da sociedade [...] tiveram menor prioridade do que o lucro financeiro obtido através da especulação e exploração do solo”.

Os recursos naturais eram tidos como infinitos e que o desenvolvimento econômico deveria ser alcançado a qualquer preço e alterações nas feições naturais das vertentes das bacias hidrográficas eram vistas como caminhos para o desenvolvimento.

As alterações de uso e manejo do solo de uma vertente são classificadas em: “[...] (i) ao tipo de mudança; (ii) ao tipo de uso da superfície ou; (iii) a forma de alteração da superfície” (TUCCI, 2005, p.498). As mudanças na superfície referem-se ao desmatamento e ao reflorestamento; o uso da superfície refere-se à urbanização, ao reflorestamento comercial e as culturas comerciais em geral; as alterações da superfície são realizadas através de queimadas, manualmente ou com o uso de ferramentas. O desmatamento de uma bacia pode ser classificado como alto, e trazer conseqüências nefastas para bom funcionamento dos sistemas naturais das bacias hidrográficas. Em geral o reflorestamento pode trazer infra-estruturas e reduzir o excesso de escoamento de uma bacia, induzindo a infiltração da água, mas, em outros momentos poder-se-á favorecer erosões, nos momentos que há a extração da madeira que poderá favorecer o processo de escoamento superficial. O desmatamento de áreas nativas gera alterações em todos os setores do ciclo hidrológico. A citação a seguir elenca os problemas provocados pelo desmatamento na precipitação.

- aumento do albedo. A floresta absorve maior radiação de onda curta e reflete menos;



- maiores flutuações da temperatura e déficit de tensão de vapor das superfícies das áreas desmatadas;
- o volume evaporado é menor devido à redução da interceptação vegetal pela retirada da vegetação das árvores;
- menor variabilidade da umidade das camadas profundas do solo, já que a floresta pode retirar umidade de profundidades superiores a 3,6 m, enquanto que a vegetação rasteira como pasto age sobre profundidades de cerca de 20 cm (TUCCI, 2005, p.503).

Estudos mostram que na Amazônia as altas taxas de desmatamento na porção brasileira provocarão impactos no clima regional, provocando mudanças na diversidade de espécies e na química atmosférica. Mesmo em grandes áreas como as de Floresta Amazônica é difícil determinar os impactos do desmatamento sobre os fatores climáticos precipitação, temperatura etc.. Verificou-se que na floresta tropical em áreas degradadas houve um aumento do albedo, uma menor rugosidade do espaço, maior resistência estomática das plantas e modificações nos sistemas radiculares das plantas, sendo mais superficial e esparso, e a perda da capacidade armazenamento hídrico do solo. Concluíram que as temperaturas do solo em áreas de desmatamento são mais elevadas, 1° a 3°C e uma drástica redução no processo de evapotranspiração. A evapotranspiração é uma dos mecanismos formadores de chuvas na Amazônia, podendo haver com devido a isto, alterações drásticas no regime pluviométrico da região amazônica (SHUKLA; NOBRE; SELLERS, 1990). Entretanto, não há evidências científicas de que o desmatamento de uma área tenha interferência na precipitação daquela mesma área, pelo menos até o momento.

O escoamento superficial é seriamente afetado com o processo de desmatamento de uma bacia hidrográfica, desregularizando as vazões. A retirada da vegetação em regiões com chuvas concentradas no verão tende alterar as configurações naturais do escoamento superficial.

Experimentos mostraram duas situações devido ao desmatamento: “1° - a redução da cobertura de floresta aumenta a vazão média; 2° - o estabelecimento de cobertura florestal em áreas de vegetação esparsa diminui a vazão média. Neste estudo, verificou-se que a remoção de vegetação conífera ou eucaliptos aumentou em 40 mm a vazão anual para 10% de alteração da cobertura vegetal e que em áreas de gramíneas esta vazão aumenta somente de 10 a 25 mm para a mesma área alterada (TUCCI, 2005, p.505). Concluí-se que com a retirada da vegeta-

ção natural há um aumento significativo nas vazões. Já em casos de reflorestamento poder-se-á ocorrer uma redução da vazão.

Os efeitos de uma área urbana no ciclo hidrológico das bacias hidrográficas são significativos e trazem problemas, a saber:

Aumento dos escoamentos médio e superficial, tendo como consequência o aumento das enchentes; redução da evaporação e do escoamento subterrâneo; aumento da produção de sedimentos e material sólido; degradação da qualidade da água dos pluviais e contaminação dos aquíferos (TUCCI, 2005, p.505).

Todos estes problemas referidos como, o aumento do escoamento superficial, redução do escoamento subterrâneo e da evaporação e o aumento da produção de sedimentos e degradação da qualidade das águas são sentido nas bacias hidrográficas brasileiras e os resultados destas alterações em suas feições naturais são a total ausência de vegetação, incluindo a mata ciliar, assoreamento dos cursos d'água e a necessidade de canalização dos córregos. As degradações da qualidade da água dos aquíferos são problemas gravíssimos conhecidos pela comunidade acadêmica.

Conforme Tucci (2005, p.499), as modificações impostas à paisagem pelo processo de urbanização levam as seguintes alterações nefastas ao meio ambiente:

- aumento das vazões máximas devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies;
- aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos (lixo);
- e a deterioração da qualidade da água, devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido e ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial.

As bacias hidrográficas brasileiras localizadas em áreas urbanas retratam uma situação deplorável, onde evidencia uma total despreocupação com a qualidade destas bacias, onde efluentes são lançados no curso d'água sem a mínima preocupação e problemas são sentidos pelo ecossistema destas bacias, onde os seres vivos são contaminados e suas águas possuem suas qualidades e quantidades naturais alteradas. Os efeitos da urbanização em uma bacia hidrográfica são relatados conforme citação a seguir:

1. Redução da infiltração no solo;
2. O volume que deixa de infiltrar fica na superfície, aumentando o escoamento superficial. Além disso, como foram construídos condutos pluviais para o escoamento superficial, tornando-o mais rápido, ocorre redução do tempo de deslocamento. Desta forma as vazões máximas também aumentam, antecipando seus picos no tempo [...]
3. Com a redução da infiltração, os aquíferos tendem a diminuir o nível do lençol freático por falta de alimentação (principalmente quando a área urbana é muito extensa), *reduzindo o escoamento subterrâneo*. As redes de abastecimento e cloacal possuem vazamentos que podem alimentar os aquíferos, tendo efeito inverso do mencionado;
4. Devido a substituição da cobertura natural ocorre uma redução da evapotranspiração, já que a superfície urbana não retém água como a cobertura vegetal e não permite a evapotranspiração das folhagens e do solo (TUCCI, 2005, p.513-514).

Os dados de evapotranspiração, de escoamento superficial e de escoamento subterrâneo para bacias urbanas e pré-urbanas, mostram que em bacias pré-urbanas a evapotranspiração maior que em totalmente urbanas, o escoamento superficial chega a ser quatro vezes mais e a redução do escoamento subterrâneo em bacias urbanas é inevitável com a redução das impermeáveis e muito ajudado pela compactação do solo.

A introdução do cultivo de culturas nas bacias hidrográficas leva a alterações nos processos naturais, pois, freqüentemente toda a vegetação nativa é removida. Em áreas de plantio de subsistência o desmatamento das florestas é realizado manualmente e as queimadas são ferramentas de “limpeza” da área que é realizada em épocas de estiagem, sendo o plantio realizado sobre as cinzas. “Após alguns anos, a produtividade diminui, a área é abandonada e o agricultor se desloca para outra área” (TUCCI, 2005, p.500). A citação a seguir apresenta os impactos da remoção da vegetação sobre o balanço hídrico de uma determinada região:

Quando ocorre o desmatamento sobre uma determinada área e ao dos anos seguintes recupera a sua cobertura, o impacto sobre o balanço hídrico da área apresenta [...] aumento na vazão média, com redução da evapotranspiração devido a retirada da cobertura. Com o crescimento da vegetação [...] o balanço tende a voltar as condições iniciais devido a recuperação das suas condições prévias (TUCCI, 2005, p.500).

As culturas permanentes, como o café e as pastagens, não sofrem grandes alterações ao longo do ano em sua estrutura principal. Com a introdução das culturas permanentes o escoamento superficial pode ser alterado e o balanço hídrico seria ditado pelo comportamento da

cultura. Nas áreas de culturas anuais são implantadas várias espécies de plantas ao longo de um ano, onde o solo é arado, se necessário, mais de uma vez ao ano, o que faz com que o solo fique desprotegido e poderá sofrer impactos da precipitação e seus desfechos. O escoamento superficial tende a aumentar e as técnicas agronômicas (curvas de nível) minimizam os impactos derivados do aumento do escoamento superficial.

O plantio sem nenhum cuidado com a conservação do solo tende a aumentar consideravelmente a erosão, com grande aumento no escoamento com relação as condições prévias de floresta. Adicionalmente, as estradas e as divisas de propriedades são geradores de alterações do solo devido à erosão e à compactação que se forma (TUCCI, 2005, p.500).

Os cultivos no geral devem ser precedidos de análise do potencial do uso de técnicas e tecnologias recomendadas para preservação das encostas e das propriedades do solo. As práticas de manejo agrícola são seguintes: conservacionista e plantio direto. As duas práticas são definidas a seguir:

- (i) *Conservacionista*, que utiliza o terraceamento, que acompanha as curvas de nível, para direcionar o escoamento e evitar a erosão e o dano às culturas. Este tipo de plantio tende a criar melhores condições para a infiltração, nas chuvas de baixa e media intensidade, mas quando ocorre o rompimento do terraço nas cheias maiores, a água pode provocar ravinamento na direção da maior declividade do escoamento. Essa prática tem sido acompanhada pelo planejamento de bacia, que retira as divisas das propriedades, organizando o uso do solo de acordo com bacias e planejando as estradas vicinais;
- (ii) O *plantio direto* tem sido incentivado. Este tipo de plantio não revolve a terra e é realizado diretamente sobre o que restou do plantio anterior. A tendência é de que praticamente toda a água se infiltre, e o escoamento ocorra predominantemente na camada subsuperficial. Este tipo de plantio pode gerar problemas em áreas com grande declividade, pois o escoamento subsuperficial, ao brotar na superfície, pode gerar erosão regressiva (como o *piping*). Em declividade mais suave a erosão é reduzida já que o escoamento superficial é mínimo (TUCCI, 2005, p.501).

A utilização do plantio direto tende a aumentar o escoamento superficial se comparado com as áreas de floresta e tendem manter a umidade do solo em períodos de estiagem. O escoamento superficial em áreas de plantio direto tende a aumentar pelo fato de a evapotranspiração e a interceptação ser reduzida nestas regiões. “A tendência é que a substituição da floresta

por plantio com prática conservacionista [...] apresente aumento do escoamento médio, podendo reduzir o escoamento durante as estiagens, dependendo das características do solo e aquífero” (*Idem*, p.502).

O tipo de método utilizado no desmatamento - manual; uso de tratores de arraste; tratores com lâminas para arado - interferem no escoamento superficial, e seus valores, são respectivamente: 1%, 6,5% e 12% da precipitação, ou seja, o uso de tratores aumenta a compactação dos solos, reduzindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial (LAL, 1981 *apud* TUCCI, 2005). “O efeito da compactação do solo limita-se a profundidades de cerca de 20 cm” (DIAS; NORTCLIFF, 1985 *apud* TUCCI, 2005, p.502).

Em áreas desflorestadas ocorrem maiores valores do albedo que em áreas florestadas, também, sendo registradas maiores oscilações nas temperaturas. Reduzem-se também os índices de interceptação da chuva pela vegetação e evapotranspiração. Em experimento na floresta Amazônica verificou-se que a floresta possui maior capacidade armazenamento da água do que em áreas de pastagens. A utilização da água a profundidades maiores que 2 metros só fora alcançados pela floresta e não por pastagens.

O balanço hídrico em áreas de pastagens apresentou que as taxas de evaporação tendem ao declínio se comparado as áreas de floresta. Ficou evidenciado no estudo que a floresta foi capaz de absorver água a profundidades maiores que 3,6 m. O armazenamento de água em áreas de floresta foi maior que em áreas de pastagens (HODNETT *et al.*, 1995).

A vazão média em áreas desflorestadas tem aumento significativo em função do aumento do escoamento superficial, ao passo, que o reflorestamento reduz a vazão média (BOCH; HEWLETT, 1982). A vazão mínima em bacias hidrográficas é alterada devido à retirada da vegetação nativa e a função posterior de seu uso e ocupação. Após um desmatamento o processo de infiltração poderi-se-a alterar-se em função da compactação do solo, onde “[...] a capacidade de infiltração pode ficar reduzida e aumentar o escoamento superficial, com redução da alimentação do aquífero [...] quando o excedente de precipitação que não é evaporado pela nova superfície tem melhores condições de se infiltrar, o aquífero tem uma maior recarga [...]”. Estas modificações nas vazões mínimas são determinadas pelo uso e ocupação da terra e quando “[...] o desmatamento é utilizado em culturas anuais como o plantio direto, a tendência será de maior regularização da vazão média e mínima” (TUCCI, 2005, p.508).

Existem modelos empregados na simulação do comportamento de uma bacia hidrográfica que sofreu alterações, e dentre estas alterações, as que frequentemente são estudadas, são em consequência do desmatamento para a agricultura e a urbanização.

Devido ao uso e ocupação da terra de forma não planejada, onde muitas áreas impróprias para a realização de atividades humanas são ocupadas gerando processos erosivos e de perda de solos. O uso e ocupação de bacias hidrográficas devem ter seus usos e ocupações planejados, com base nos atributos físicos da bacia. Os processos erosivos podem ser identificados por mecanismos atuantes para o controle de erosão em bacias hidrográficas, como os processos de ravinamento e vossorocamento.

Quando um sistema natural (encosta, bacia hidrográfica, etc.) não é eficiente para dissipar a energia disponível, o sistema se adapta, de forma a mudança na quantidade de energia disponível (intensidade e frequência de precipitações, teor de umidade dos solos, etc.), quanto a alteração das características do sistema (uso do solo, cobertura vegetal, grau de estruturação, etc.) podem levar a uma situação de desequilíbrio entre energia disponível e capacidade de dissipação de energia (OLIVEIRA, 2010, p.58).

Os processos erosivos são causados frequentemente por atividades antrópicas, onde a água e seus fluxos são principais mecanismos responsáveis, ocasionando o deslocamento de partículas de solo, momento em que se inicia a formação de uma ravina podendo vir a transformar-se em uma vossoroca e futuramente em uma erosão.

O transporte de partículas que é o início de todo processo erosivo pode ser provocado pelo escoamento superficial - podendo transformar-se no “fluxo concentrado” - e sub-superficial (OLIVEIRA, 2010). Também, as quedas d’águas, que se originam muitas das vezes pelo escoamento superficial, podem provocar erosões de grandes dimensões se não tratadas.

Os movimentos de massa são comuns em vossorocas e são determinados pela resistência, composição e textura dos materiais constituintes. As áreas desmatadas geralmente são susceptíveis aos processos erosivos e de perda de solos. Estas áreas, agora sem a presença da vegetação original e desprovida de técnicas agrônômicas como as curvas de nível e terraços podem levar a perda econômicas, sociais, e principalmente, ambientais.

As feições das ravinas e vossorocas indicam o processo formador daquela erosão, sendo então, propostas medidas de recuperação. Oliveira *et al.* (1994) *apud* Oliveira (2010, p.87), salienta que [...]

[...] áreas de cabeceiras de vale, ou vales não canalizados, têm sido identificadas como áreas particularmente suscetíveis a desequilíbrios ambientais. Voçorocas tendem a estabelecer em cabeceiras de vale que possuem uma rede de eixos de drenagem relativamente densa, em área de substrato cristalofiliano [...]

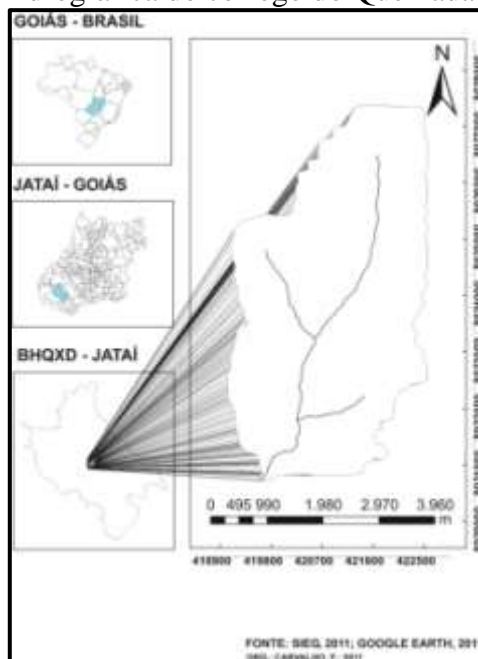
As áreas susceptíveis a erosão podem ser identificadas a partir de análises da “[...] coberturas móveis (saprolito, solo, colúvios e alúvios) [...]”, onde a utilização de fotografias aéreas e imagens de satélites podem ajudar na identificação das áreas susceptíveis à erosão. No caso das imagens a respostas espectrais podem indicar características importantes, como o teor de umidade em uma determinada área.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e descrição geral da área de estudo

A microbacia do córrego do Queixada (MHQ) ou bacia hidrográfica do córrego do Queixada (BHQXD) deságua no Rio Claro que, por sua vez, é afluente do Paranaíba o qual é um dos principais formadores do rio Paraná. A MHQ localiza-se próxima à área urbana de Jataí, município do Sudoeste de Goiás à aproximadamente 5 km ao oeste do centro da cidade, possuindo área de 1.863 ha, estando mapeada na carta identificada pela quadrícula UTM-22, sendo pelo quadrante formado pelas coordenadas 419.124,99 m E, 8.028.060,83 m e N, 423.105,19 m E, N 8.021.056,99 m. A altitude mínima e máxima da microbacia está entre 619 metros em sua foz e 868 metros em seu divisor de águas no norte (**Mapa 1**).

**Mapa 1** - Localização da microbacia hidrográfica do córrego do Queixada



A Mata do Córrego do Queixada, local onde foram coletados os dados das partições pluviométricas em vegetação de cerrado localiza-se na porção norte do mapa da MHQ, possuindo três fitofisionomias consideradas, a saber: cerrado, cerradão e mata ciliar. A área das três



fitofisionomias perfaz um total de 713,47 ha. Algumas áreas da fitofisionomia cerrado serviram como pastagem e atualmente são consideradas “cerrado em regeneração”.

A MHQ, geologicamente, pertence à formação Serra Geral (Jksg), Grupo São Bento, caracterizada por derrames basálticos. Estes basaltos continentais possuem composição química semelhantes aos basaltos do platô intra-cratônico, ou seja, são caracterizadas como rochas constituídas de minerais predominantemente básicos. O regime hídrico e a localização dessa microbacia nos altiplanos e bordos da bacia do Paraná torna-a suscetível à ação do intemperismo físico e aos processos erosivos (RADAMBRASIL, 1983; GOIÁS, 2006).

A descrição geomorfológica informa-nos que a MHQ está inserida no Planalto Setentrional da Bacia do Paraná, caracterizada pela presença de relevos dissecados, de planaltos e de chapadões, apresentando relevos em formas aguçadas, convexas e tabulares, especificamente na sua borda sul (RADAMBRASIL, 1983). A região onde se insere o município de Jataí é denominada de Superfície Regional de Aplainamento (SRA) III, com relevos [...]

[...] suave ondulado e [...] bordejado por outras SRA's. Este compartimento apresenta excelentes condições de recarga e circulação das águas de infiltração, mesmo sendo, na maior parte, desenvolvida sobre basaltos da Formação Serra Geral e áreas com contribuição de areias residuais do Grupo Bauru, o que amplia a condutividade hidráulica e a porosidade efetiva, culminando em uma sensível melhora das condições de recarga (GOIÁS, 2006, p.51).

Como já mencionado, o Estado de Goiás, em sua quase totalidade, é região de nascentes e, devido às características pedológicas, geológicas e geomorfológicas, funciona como uma “esponja” que “suga” a pluviosidade que irá alimentar as águas subterrâneas, muito abundantes na região.

O clima desta região é classificado por Köppen como Tropical de Savana (Aw), com a presença de chuvas no verão e seca no inverno. Conforme Nimer e Brandão (1989, p.13), a região do Cerrado possui a atuação de “[...] três sistemas principais de *perturbação atmosférica* geradores de tempos instáveis e chuvas, a saber”:

- os *Sistemas de Oeste*, representados por “linhas” de *instabilidades tropicais* (IT) que atuam principalmente no verão sobre os Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Bahia e Minas Gerais [...];

- os *Sistemas de Norte*, representados pela *convergência intertropical* (CIT), que são mais freqüentes no verão e outono, principalmente nesta última estação.

- os *Sistemas de Sul*, representados pelas frentes polares (FP). A ação destas instabilidades *frontais* são mais freqüentes no inverno e decrescem brusca-mente para norte.

Segundo Nimer e Brandão (1989, p.14), os sistemas de norte e de oeste são os mais atuantes, provocando chuvas, principalmente no verão, sendo que na primavera e no inverno ocorre o enfraquecimento dos mesmos, razão das secas “[...] quando a região fica sob regime predominante dos ventos divergentes e anticiclônicos das *altas tropicais*”.

Em 1999 foi publicado um artigo sobre a caracterização espacial do clima no município de Jataí - GO, a partir de dados pluviométricos de vinte pontos de coleta. O objetivo foi o de caracterizar a variabilidade e as características pluviométricas do município de Jataí. Observou-se que há uma grande variabilidade espacial das chuvas, apresentando oscilação entre 702 mm, em 1998, na Cuesta do Caiapó, região norte do Município, e 2.138,2 mm, em 1983, no Campus Jataí - Universidade Federal de Goiás/ CAJ-UFG, no centro-sul do município (ASSUNÇÃO *et al.*, 1999).

Segundo os Autores, os índices pluviométricos, acima de 1.600 mm para o município de Jataí (GO), apresentam-se [...]:

[...] em ilhas dispostas ao longo de um pseudo-cinturão no sentido sudoeste-noroeste e pontos isolados ao norte e a noroeste. As menores dispersões são observadas na faixa centro-sul e centro norte com valores variando entre 1400 e 1600 mm anuais, enquanto que as alturas pluviométricas entre 1200 a 1400 mm/ano estão dispersas em “ilhas” ao longo da área municipal. Observa-se também a menor freqüência espacial da pluviosidade ao sul do município com valores entre 1000 a 1200 mm (ASSUNÇÃO *et al.*, 1999, p.3-4).

Estas variações pluviométricas são justificadas por conta do relevo e das latitudes na qual se encontra o território de Jataí. Apresentando dados muito próximos, Nimer e Brandão (1989) trazem que a pluviosidade na região do Cerrado varia de 1.000 a 2.000 mm, decrescendo no sentido noroeste-sudeste do Bioma. Algumas regiões no interior do Cerrado podem variar em relação aos dados apresentados, tanto para mais como para menos, devido a influências específicas, em geral, de cunho local, como o tipo de solo.

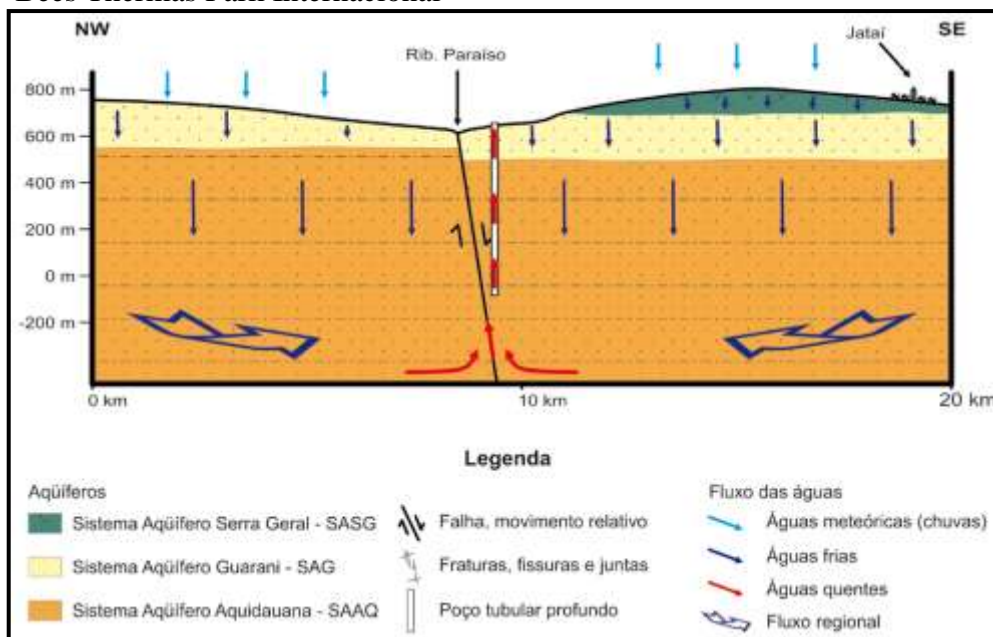
A temperatura média anual da região de Jataí (GO) sofre variações de “[...] 18,2 °C para o mês mais frio (julho) a 24,4 °C para o mês mais quente (outubro)” (ASSUNÇÃO *et al.*, 1999, p.4). As análises do balanço hídrico mostraram que os “índices de deficiência hídrica” foram observados nos meses que se estendem de maio a setembro e os excedentes hídricos de novembro a abril. Assunção *et al.* (1999) classificam o território do Município em sub-tipos climáticos, através dos índices hídricos de umidade e de aridez através do método de Thornthwaite.

Através do índice efetivo de umidade (THORNTHWAITE), a área da MHQ insere-se na intersecção do clima B1 (20 a 40 % de umidade) com o B2 (40 a 60% de umidade), ou seja, classificado como úmido. Pelo índice de aridez é classificado como “r”, ou seja, pequena ou nenhuma deficiência hídrica. Através dos índices de eficiência térmica foi classificado como mesotérmico, com os maiores índices pluviométricos e com os menores índices de temperatura e evapotranspiração, se comparado com outras microbacias de Jataí (GO) (ASSUNÇÃO *et al.*, 1999).

O solo predominante na MHQ é o Latossolo Vermelho Distroférrico, com horizonte A moderado e textura muito argilosa (RADAMBRASIL, 1983), conseqüentemente, refletindo na atuação dos fatores de formação do solo e dos processos pedológicos de intemperização. Os solos da região de cerrado são geralmente ácidos e pobres em nutrientes, como o cálcio, o magnésio, o fósforo, o enxofre, o zinco, etc., porém com abundância do alumínio, normalmente tóxico à maioria das culturas. Conforme Conti e Furlan (2003, p.181), a “[...] heterogeneidade das formações de cerrados reflete-se também nas propriedades dos solos. De acordo com as diferentes condições geológicas, geomorfológicas e climáticas, os solos dos cerrados variam em textura, estrutura, perfil e profundidade”.

A hidrogeologia é caracterizada como pertencente ao Sistema do Aquífero Guarani (SAG), sendo “[...] representado pelos arenitos eólicos da Formação Botucatu [e] regionalmente configurado por aquíferos livres ou confinados, sendo que a camada confinante é representada pelos basaltos da Formação Serra Geral” (GOIÁS, 2006, p.159). O SAG ainda possui porosidades, provenientes da ação tectônica nas rochas da Formação Botucatu, formando fissuras, e do próprio solo (**Desenho 1**).

**Desenho 1** - Perfil geológico da cidade de Jataí (GO), passando pela micro-bacia do córrego do Queixada localizando-se nos pontos de maior altitude apresentado no perfil indo além da localização das águas termais do clube Bees Thermas Park Internacional<sup>3</sup>



**Fonte** - Goiás (2006, p.195)

Ainda no **Desenho 1**, apresenta-se um perfil hidrogeológico que se estende da cidade de Jataí (GO) a aproximadamente 10 km para frente do Lago Bom-sucesso (a 12 km da cidade de Jataí) no sentido noroeste. Na ordena encontra-se a altitude e na abscissa a distancia em quilômetros.

A MHQ está sobre as formações do Sistema Aquífero Serra Geral - SASG (Formação Serra Geral - basalto) que por sua vez encontra-se sobre o Sistema Aquífero Guarani SAG (Formação Botucatu - arenito) que localiza-se sobre o Sistema Aquífero Aquidauana - SAAQ.

Através da cota altimétrica da foz da MHQ que é de aproximadamente 619 m verifica-se que suas nascentes encontra-se no SASG e sua encontra-se foz no SAG, evidenciando uma intercambialidade entre as águas dos aquíferos.

A ocorrência do bioma Cerrado está relacionada tanto a fatores climáticos como edáficos, compondo, juntamente com a Caatinga, a savana brasileira (NIMER; BRANDÃO, 1989;

<sup>3</sup> Este perfil geológico apresenta o modelo do fluxo hidrogeológico para Jataí (GO) baseado em dados fornecidos pela Petrobrás

CONTI; FURLAN, 2003). A vegetação do Cerrado foi reduzida drasticamente no último século, dando lugar aos diversificados usos da terra, com pastagens, lavouras e áreas urbanas.

O Cerrado é definido como uma região de ecótono, onde encontra-se formações florestais e savânicas - “[...] floresta-ecótono-campo” (CONTI; FURLAN, 2003, p.177). A formação de campo seria caracterizada pelo campo limpo e pelo campo sujo, com predomínio de espécies herbáceas e arbustivas. Já a formação florestal seria constituída pelo Cerrado, *stricto sensu*, e pelo Cerradão, encontrando-se espécies arbóreas e arbustivas. Entre estas formações estaria uma região de ecótono.

Atualmente a vegetação nativa do cerrado é encontrada principalmente nas unidades de conservação da natureza. Analisando-se uma amostra significativa do Cerrado, que é o Estado de Goiás, acredita-se que o histórico de ocupação portuguesa, que teve início com a mineração, foi o momento onde ocorreram as primeiras alterações nos ambientes naturais, trouxeram junto à poluição das águas e o desmatamento. Em princípios do século XIX chegaram os migrantes sulistas (paulistas e mineiros) ao sul de Goiás, fundando cidades como Caiapônia e Jataí, intensificando-se os impactos ambientais. Daí em diante a pecuária foi expandindo sua área e, a partir da década de 1970, os migrantes do Rio Grande do Sul, do Paraná e de Santa Catarina transformaram a região em um pólo-agroindustrial, com produção intensiva de soja, milho, aves, etc., com destaque para as cidades de Rio Verde e Jataí no Sudoeste de Goiás.

Os impactos das ações antrópicas foram sentidos nos segmentos urbanos e rurais, como no caso da contaminação das águas superficiais e sub-superficiais dos corpos d’água. A vegetação nativa do cerrado foi reduzida drasticamente a valores, ao redor de, 20% do original.

Atualmente a MHQ apresenta expansão da área urbana na sua vertente esquerda, a Mata do Córrego do Queixada (Mata do Queixada), onde obtivesse os dados das partições pluviométricas das nuances do cerrado, localiza-se ao norte do mapa da MHQ, onde se encontra em processo de criação o Parque Ecológico Epaminondas Cunha (CARVALHO; SCOPEL, 2010).

O município de Jataí (GO) apresentou no ano de 2009 uma população de 86.447 habitantes (IBGE, 2010). A economia da região é baseada na atividade agrícola, onde a integração agricultura e pecuária cada vez mais mostra ser um fator importante, constituindo o complexo grão-carne, com a presença da agricultura e pecuária intensiva nos moldes da Revolução Verde.

## 3.2 Procedimentos

### 3.2.1 Coleta e análise dos dados de interceptação da chuva pela vegetação

Para o monitoramento das partições pluviométricas na Mata do Queixada, foram confeccionados instrumentos específicos para a coleta dos dados da P, da PI e da PE para compor as variáveis da equação da interceptação da chuva pela vegetação que foi usado neste trabalho:

$$I = P - PI - Et, \text{ onde:} \quad (10)$$

I = precipitação interceptada;

P = precipitação;

PI = precipitação que atravessa a vegetação;

Et = parcela que escoia pelo tronco das árvores; (TUCCI, 2009, p.245).

Admitindo que o Et é a menor parcela dentre as variáveis para se determinar a interceptação, podendo ser inferior a 5% (LIMA, 2000), em termos práticos não foi considerada a atuação desta componente. Sendo assim, considerou-se a seguinte expressão para a determinação da interceptação vegetal:

$$I = P - PI, \text{ onde:} \quad (11)$$

I = interceptação da chuva

P = precipitação total

PI = precipitação interna

A AI foi outro parâmetro determinado neste trabalho e de acordo com Mello *et al.* (2003), a AI é a parcela da P que ocorre antes do início da PE. O *Soil Conservation Service* (SCS) adota a AI como sendo 20% da capacidade máxima de armazenamento de água pelo solo. Portanto, neste trabalho a AI foi atribuída como sendo a fração total da interceptação, ou seja:

$$AI = \frac{P-PE}{P}, \text{ onde:} \quad (12)$$

AI = abstração inicial;

P = precipitação total;

PE = precipitação efetiva;

Para a determinação da AI das áreas de cerrado desta pesquisa levou-se em conta os dados de PE que foram obtidas a 15 cm abaixo da superfície do solo e que serão apresentados logo a seguir.

Os dados de P foram obtidos com a instalação de um pluviômetro acima da copa das árvores. Estes pluviômetros - de formato cilíndrico - com área de captação de 162 cm<sup>2</sup> foram instalados com a ajuda de barras de cano de ferro galvanizado, que fixados no tronco das árvores, mantinha o pluviômetro acima das copas das árvores.

Na **Fotografia 1** visualizam-se alguns passos para a instalação do pluviômetro totalizador. Em cada fitofisionomia considerada - cerrado, cerradão e mata ciliar - foi instalado um instrumento. O pluviômetro totalizador (**Fotografia 1 - D**) já fixado acima das copas conectava-se a uma mangueira que transportava a água captada a um reservatório na superfície que era armazenado um reservatório para as leituras.

**Fotografia 1** - **A** - Pluviômetro fixado na extremidade do cano galvanizado; **B** - Trabalhos de fixação das estruturas no tronco da árvore; **C** - Armação que mantém o cano galvanizado fixado ao tronco; **D** - Pluviômetro totalizador acima das copas das árvores



Fonte - Carvalho (2011)

Pluviômetros foram instalados na superfície da mata para obtenção dos dados da PI, com uma área de captação de 452 cm<sup>2</sup>, onde a chuva era captada e armazenada em um reservatório (**Fotografia 2 - B**) para as leituras. Em cada uma das três fitofisionomias foram instalados 4 pluviômetros similares para a coleta dos dados de PI.



**Fotografia 2 - A** - instantes da instalação do equipamento para a coleta da precipitação interna; **B** - perfil do equipamento com o reservatório da água captada; **C** - visão da área de captação e tela de proteção



Fonte - Carvalho (2011)

Os dados de PE foram obtidos através da instalação de um recipiente a 15 cm abaixo da superfície do solo - superfície da floresta. Estes 15 cm foram retirados com a ajuda de um “cilindro cortante”, que possui 50 cm de diâmetro por 15 cm de altura, onde o mesmo foi cravado no solo, retirando a porção de solo intacta (**Fotografia 3 - A e C**). Posteriormente foi escavada mais uma profundidade de 40 cm, onde o recipiente com área de 452 cm<sup>2</sup> e com capacidade de armazenamento de água de aproximadamente nove litros foi inserido, e por cima encaixa-se uma “tampa-peneira” especial. Uma pequena quantidade de brita foi colocada por cima da tampa-peneira para a retenção de sedimentos percolados juntamente com a água (**Fotografia 3 - B**).

**Fotografia 3** - **A** - cilindro cortante no momento em que será inserido no solo para a retirada da camada superficial de solo; **B** - recipiente inserido no solo; **C** - local onde retirou-se os 20 cm de solo para instalação do pluviômetro efetivo; **D** - coleta dos dados de precipitação efetiva



Fonte - Carvalho (2011)

Uma mangueira instalada no fundo do recipiente com uma saída para a superfície possibilita a retirada da água infiltrada, com o auxílio de uma seringa. A água retirada foi mensurada em uma proveta graduada em mililitros (**Fotografia 3 - D**). O banco de dados da PE foi composto por quatro repetições em cada uma das três fitofisionomias analisadas.

Todos os dados de P, de PI e da PE foram registrados e manipulados através do *software* Excel, convertendo-os para milímetros de chuva por meio da seguinte equação:

$$H (mm) = \frac{V (mL)}{A (cm^2)} \times 10, \text{ onde:} \quad (13)$$

H= altura da chuva em milímetros;

V= volume captado em mililitros;

A= área de captação do pluviômetro em cm<sup>2</sup>;

As coletas dos dados tiveram início em outubro de 2009 e se estenderam até março de 2011 e a localização geográfica de cada instrumento mencionado anteriormente pode ser conferida na **Tabela 3**.

**Tabela 3** - Coordenadas UTM-22 dos pontos para a coleta de P, PI e PE

FITOFISIONOMIA	INSTRUMENTO	REPETIÇÕES	LON.	LAT.	ALT.	
MATA CILIAR	P	1	421.462 E	8.024.564 N	733 m	
		PI	1	421.479 E	8.024.546 N	749 m
	PE	PI	2	421.484 E	8.024.536 N	748 m
			3	421.487 E	8.024.557 N	748 m
			4	421.466 E	8.024.563 N	745 m
			1	421.480 E	8.024.547 N	749 m
		PE	2	421.484 E	8.024.536 N	747 m
			3	421.485 E	8.024.555 N	747 m
			4	421.467 E	8.024.562 N	748 m
			1	421.224 E	8.024.714 N	759 m
	CERRADÃO	P	1	421.224 E	8.024.714 N	759 m
			PI	1	421.221 E	8.024.712 N
PE		PI	2	421.205 E	8.024.719 N	754 m
			3	421.213 E	8.024.708 N	771 m
			4	421.231 E	8.024.730 N	758 m
			1	421.220 E	8.024.730 N	752 m
		PE	2	421.191 E	8.024.717 N	762 m
			3	421.207 E	8.024.715 N	771 m
			4	421.241 E	8.024.727 N	757 m
			1	420.525 E	8.024.915 N	780 m
CERRADO		P	1	420.525 E	8.024.915 N	780 m
			PI	1	420.527 E	8.024.897 N
	PE	PI	2	420.537 E	8.024.909 N	780 m
			3	420.528 E	8.024.924 N	807 m
			4	420.457 E	8.024.993 N	791 m
			1	420.535 E	8.024.906 N	779 m
		PE	2	420.539 E	8.024.905 N	779 m
			3	420.530 E	8.024.922 N	786 m
			4	420.511 E	8.025.004 N	796 m

**P** - precipitação total

**PI** - precipitação interna

**PE** - precipitação efetiva

As análises das partições pluviométricas foram feitas periodicamente conforme **Tabela 4**. Os dados do período do verão foram compostos pelos dados dos meses de novembro, de dezembro e de janeiro. Para o período do outono os dados foram compostos pelos meses de fevereiro, de março e de abril. O inverno ficou definido com os dados dos meses de maio, de junho e de julho. A primavera foi composta pelos dados dos meses de agosto, de setembro e de outubro.

**Tabela 4** - Meses considerados nas análises sazonais das partições pluviométricas na microbacia hidrográfica do córrego do Queixada

<b>PERÍODO</b>	<b>MESES</b>
<b>INVERNO</b>	MAIO, JUNHO, JULHO
<b>PRIMAVERA</b>	AGOSTO, SETEMBRO, OUTUBRO
<b>VERÃO</b>	NOVEMBRO, DEZEMBRO, JANEIRO
<b>OUTONO</b>	FEVEREIRO, MARÇO, ABRIL

Todos os dados das partições pluviométricas foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade e as diferenças ou semelhanças entre as variâncias foram discutidas.

### 3.2.2 Aquisição, coleta e análises dos dados do balanço hidrogeológico

Os dados de P em áreas abertas foram obtidos a partir da instalação de cinco pluviômetros totalizadores confeccionados com canos de PVC (**Fotografia 4**).

**Fotografia 4** - Pluviômetro totalizador em área aberta de cano de PVC



Fonte - Carvalho (2011)

Na **Tabela 5** observa-se a localização dos pluviômetros totalizadores da MHQ.

**Tabela 5** - Localização dos pluviômetros totalizadores na Microbacia do Córrego do Queixada (Zona UTM-22)

<b>PLUVIÔMETROS</b>	<b>LONG.</b>	<b>LAT.</b>	<b>ALT. (m)</b>
<b>CENTRO TÉCNICO SUCAM<sup>4</sup></b>	E 422.560 m N 8.024.588 m		788
<b>RIACHUELO<sup>5</sup></b>	E 422.945 m N 8.022.718 m		766
<b>SANEAGO</b>	E 406.993 m N 8.083.230 m		646
<b>PESQUE-PAGUE</b>	E 420.492 m N 8.022.495 m		675
<b>FAZ. LUCIO</b>	E 418.990 m N 8.022.297 m		771
<b>MATA CILIAR*</b>	E 421.462 m N 8.024.564 m		733
<b>CERRADÃO*</b>	E 421.224 m N 8.024.714 m		759
<b>CERRADO*</b>	E 420.525 m N 8.024.915 m		780

\* Estes são os pluviômetros totalizadores para as fitofisionomias consideradas nos estudos de interceptação da chuva pela vegetação

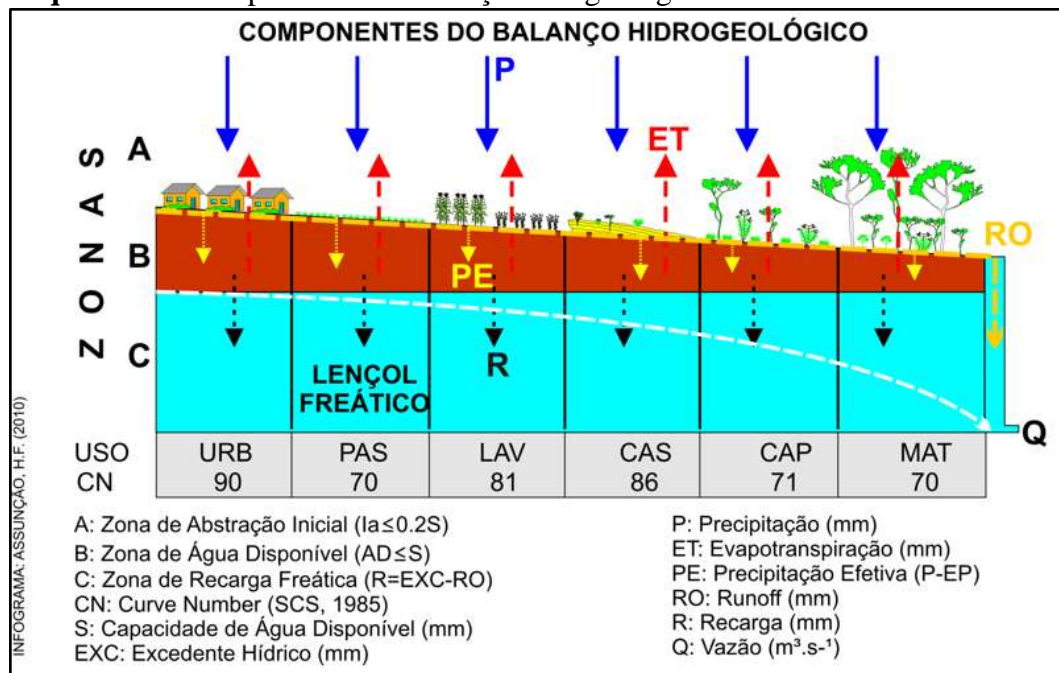
Os dados dos pluviômetros totalizadores em áreas abertas foram coletados diariamente.

No **Esquema 2** observam-se os componentes do balanço hidrogeológico utilizados para esta pesquisa: precipitação total (P), evapotranspiração (ET), PE, *runoff* (RO) - (deflúvio ou escoamento superficial), recarga (R) e vazão (Q).

<sup>4</sup> Dados gentilmente fornecidos pelo projeto “O Clima Urbano de Jataí” coordenado pela Prof. Dr<sup>a</sup> Zilda de Fátima Mariano.

<sup>5</sup> *Idem.*

**Esquema 2 - Componentes do balanço hidrogeológico<sup>6</sup>**



**URB** - Urbano; **PAS** - Pastagem; **LAV** - Lavoura; **CAS** - Cascalheira; **CAP** - Capoeira; **MAT** - Mata;

**Fonte** - Assunção (2011)

A Zona onde ocorre a AI corresponde à zona “A”, onde, encontram-se, as vegetações no geral, as edificações e todos os demais usos presentes na microbacia. A zona “B” corresponde à água disponível e onde ocorre a PE, água que alimentará as raízes das plantas e a recarga d’água subterrânea (R). No **Esquema 2** verificam-se os valores do *curve number* (CN) adotado neste trabalho para cada uso da terra para a determinação do escoamento superficial na MHQ.

Os dados de vazão média foram coletados mensalmente na foz do Córrego do Queixada próximo ao leito do Rio Claro de coordenadas UTM-22 E 419.833 m, N 8.020.824 m com 619 m de altitude. As coletas da vazão iniciaram-se em 31 de outubro 2009 e estenderam-se até 31 de março de 2011.

O método utilizado para a determinação da vazão foi o do flutuador, onde a área da seção transversal média foi calculada com base em cinco medidas da secção transversal de largura e de profundidade, obtendo-se a média das secções transversais em dez metros no com-

<sup>6</sup> O uso “lavoura” (LAV) que no **Esquema 2** traz o “uso CN” o valor de “81” foi substituído pelo valor de “71”, devido à adoção de práticas agrícolas (curvas de nível; plantio direto) na maioria das áreas de lavoura na MHQ.

primento do leito do córrego. Portanto, definiu-se o comprimento de dez metros ao longo do leito do córrego, medindo-se a largura e a profundidade da seção transversal a cada dois metros. Geralmente em cada largura obteve-se cinco profundidades. A partir de então se tem a média das larguras e das profundidades e a velocidade média foi calculada utilizando-se de uma bóia que era colocada no leito do córrego para determinar o tempo que leva para percorrer todo o trajeto definido no leito do córrego de dez metros. A vazão média mensal foi determinada pela seguinte fórmula:

$$Q = V \times L \times Z, \text{ onde:} \quad (14)$$

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);

V = velocidade média (m/s);

L = largura (m);

Z = profundidade (m);

A recarga d'água subterrânea e o escoamento superficial foram determinados pelo método de Palmer<sup>7</sup> *apud* Aley (1984), que utiliza dados de precipitação (P), de temperatura (T), de evapotranspiração (ETP) e de armazenamento de água no solo (S). Os dados de evapotranspiração foram calculados através da equação de Penman - Monteith<sup>8</sup> (TUCCI; BELTRAME, 2009; ALLEN *et al.*, 1998) a partir dos dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia/INMET. O volume de água armazenado pelo solo (S) foi obtido através da seguinte equação:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254, \text{ onde esta [...] :} \quad (15)$$

[...] expressão foi obtida em unidades métrica, a equação original, em unidades inglesas, estabelece o valor de CN numa escala de 1 a 100. Esta escala retrata as condições de cobertura e solo [...]. Esse fator foi tabelado para diferentes tipos de solo e cobertura [...] (TUCCI, 2009, p.403-404).

---

<sup>7</sup> PALMER, W.C. Meteorologic drought. U.S. Weather Bureau, Res. Pap. n° 45. 1965. 58 p.

<sup>8</sup> PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. Netherland. Journal of Agriculture Science, Wageningen, v.4, p.9-29, 1956.

Na qual “S” corresponde ao armazenamento de água no solo e o valor “CN” foi conforme **Esquema 2**.

A espacialização da precipitação pluviométrica foi feita mensalmente, os dados de escoamento superficial e recarga se deram por períodos (**Tabela 4**).

Através da fotografia aérea vertical pancromática, escala nominal de 1:60.000 (USAF - Força Aérea dos Estados Unidos) da MHQ de 05 de maio de 1965 teve-se acesso ao uso da terra daquele período para que pudesse ser feitas analogias e inferências dos processos hidrológicos alterados na MHQ com base do uso da terra de 1965 e do uso de 2007/2008.

As análises dos dados do balanço hidrogeológico foram manipulados por meio dos *softwares* Excel e Surfer. Os mapas de usos da terra foram confeccionados através de imagens do *Google Earth* 2007/2008.

Os dados de P utilizados para as simulações do escoamento superficial e da recarga d’água subterrânea do uso da terra de 1965 foram os mesmos obtidos de outubro de 2009 a março de 2011. A partir de então foram feitas inferências e analogias entre os dados de escoamento superficial e de recarga do período de outubro de 1964 a março de 1966, comparados os coletados para esta pesquisa que vão de outubro de 2009 a março de 2011.

Os resultados de 1965 e da atualidade distinguem-se em função do tipo do uso da terra nestes dois períodos distintos. Através dos resultados do diagnóstico do fluxo hidrológico e com base nas literaturas consultadas formularam-se propostas para o uso sustentável da MHQ.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e as discussões para este trabalho foram sub-divididos em duas partes, onde inicialmente discute-se os resultados da partição da precipitação pluviométrica na Mata do Córrego do Queixada, onde obteve-se os dados de P, de PI, de PE, da interceptação da chuva pela vegetação e da AI. Os dados de interceptação da chuva pela vegetação foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade.

Em sequência apresenta-se a espacialização dos dados de precipitação total para toda a MHQ e faz-se uma correlação com os dados de vazão média mensal. Em seguida apresenta-se os valores de recarga d'água subterrânea e do escoamento superficial a partir dos usos da terra do ano de 2007/2008.

Os mesmos dados de chuva coletados no período de outubro de 2009 a março de 2011 são simulados para o escoamento superficial e para a recarga d'água subterrânea para o uso da terra do ano de 1965, determinando-se as alterações no fluxo hídrico da MHQ em relação ao uso 2007/2008. Por final, a partir dos resultados do fluxo hídrico e com base nas literaturas e na legislação ambiental brasileira, propõem-se medidas de uso da terra sustentável para a MHQ.

### 4.1 Partição pluviométrica em uma mata de encosta da microbacia hidrográfica do córrego do Queixada

A seguir, apresentam-se as partições pluviométricas em uma mata de encosta na MHQ para o período do verão de 2009/2010 ao verão de 2010/2011. Na **Tabela 6** verificam-se os valores absolutos e percentuais das partições pluviométricas - PI; PE; I e AI em três fitofisio-nomias de cerrado de uma mata de encosta da MHQ para o período do verão de 2009/2010.

**Tabela 6** - Partição pluviométrica na microbacia do córrego do Queixada para o período do verão

<b>FITOFISIONOMIA</b>	<b>P</b> <b>(mm)</b>	<b>PI</b> <b>(mm)</b>	<b>PI</b> <b>(%)</b>	<b>PE</b> <b>(mm)</b>	<b>PE</b> <b>(%)</b>	<b>I</b> <b>(mm)</b>	<b>I</b> <b>(%)</b>	<b>AI</b> <b>(mm)</b>	<b>AI</b> <b>(%)</b>
<b>CERRADÃO</b>	464,5	335,3	72,2	114,5	24,7	120,3	25,9	220,8	47,5
<b>CERRADO</b>	464,5	332,7	71,6	111,4	24	129,3	27,8	221,3	47,6
<b>MATA CILIAR</b>	464,5	333,2	71,7	94,7	20,4	94,7	20,4	238,4	51,3

**P** - precipitação; **PI** - precipitação interna; **PE** - precipitação efetiva; **I** - interceptação; **AI** - abstração inicial;

Todas as partições pluviométricas das fitofisionomias durante o verão, submetidas à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, não diferiram entre si. As variâncias similares das fitofisionomias no período do verão podem ser explicadas por fatores como o volume e intensidade da precipitação pluviométricas, sendo o segundo período em volume de precipitação, e onde as plantas encontram-se com suas necessidades hídricas estabelecidas em relação aos outros períodos.

O percentual em relação à precipitação total da média para as três fitofisionomias para o período do verão da PI foi de 71,8%, da I foi de 27,6%, da PE foi de 23% e de AI foi de 48,8%. Onozawa *et al.* (2009) trazem dados de interceptação pluviométrica em florestas de bambu no Japão, que é da ordem de 10,8 %, sendo que para um ano foi inferior a 20%, exceto no mês de outubro, mês de menor precipitação. A PI na floresta de bambu do Japão foi de 73,9%, valores próximos aos encontrados no período do verão para as fitofisionomias do cerrado. Os valores de I, de PI variam em conformidade com diversos fatores, como espécie vegetal, grau de desenvolvimento da espécie e outros fatores que interferem diretamente, como a insolação, o volume e a intensidade da precipitação. Os valores reduzidos da I no cerrado em relação a florestas de bambu explicam-se pela fitofisionomia da vegetação e o período comparado, que foi o do verão. Os valores de I em florestas da Amazônia Oriental foram de 21,5%, valores próximos aos encontrados para a Mata do Queixada (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

Na **Tabela 7** verificam-se os percentuais e os valores absolutos das partições pluviométricas PI, PE, I e AI para as três fitofisionomias de cerrado da mata de encosta da MHQ para o período do outono de 2010.

**Tabela 7** - Partição pluviométrica na Mata do Queixada para o período do outono

<b>FITOFISIONOMIA</b>	<b>P</b> <b>(mm)</b>	<b>PI</b> <b>(mm)</b>	<b>PI</b> <b>(%)</b>	<b>PE</b> <b>(mm)</b>	<b>PE</b> <b>(%)</b>	<b>I</b> <b>(mm)</b>	<b>I</b> <b>(%)</b>	<b>AI</b> <b>(mm)</b>	<b>AI</b> <b>(%)</b>
<b>CERRADÃO</b>	775,8	557,2	71,8	158,0	20,4	237,0	30,5	399,2	51,5
<b>CERRADO</b>	775,8	551,1	71,0	168,0	21,7	227,6	29,3	383,1	49,4
<b>MATA CILIAR</b>	775,8	586,4	75,6	199,2	25,7	165,1	21,3	387,2	49,9

**P** - precipitação total; **PI** - precipitação interna; **PE** - precipitação efetiva; **I** - interceptação; **AI** - abstração inicial;

As análises da variância, ao nível de 5% de probabilidade, mostraram-se semelhantes. Na Amazônia Oriental os valores de PI registrados foram de 76,8%, bem próximos aos encontrados no período do verão de 2009/2010 para a Mata do Queixada.

No período do outono foram registrados os maiores índices pluviométricos para todo o período analisado e as fitofisionomias experimentadas não diferiram enquanto as partições pluviométricas submetidas às análises de variância. A média de PI para as três fitofisionomias foi de 564,9 mm (72,8%), de PE foi de 175,1 mm (22,6%), de I foi de 209,9 mm (27,1%) e da AI para as três fitofisionomias foi de 389,8 mm (50,2%). Oliveira *et al.* (2008) apresentam os seguintes valores percentuais para a PE de 78,5%, a PI de 76,8% e a I de 21,5% do total precipitado.

Na **Tabela 8** verificam-se os resultados da análise de variância da PI das fitofisionomias para o período de inverno que registrou uma precipitação total média de 49,5 mm para as três fitofisionomias. Pela análise de variância a 5% probabilidade, as fitofisionomias apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

**Tabela 8** - Teste de média para a precipitação interna para as diferentes fitofisionomias no período inverno

<b>FITOFISIONOMIA</b>	<b>MÉDIA (mm)</b>	<b>PI (%)</b>	<b>EQUIVALÊNCIA<sup>1</sup></b>
<b>CERRADO</b>	47,3	95,6	A
<b>CERRADÃO</b>	39,8	80,4	A
<b>MATA CILIAR</b>	32,5	65,7	B

<sup>1</sup> Letras iguais denotam médias iguais a 5% de probabilidade  
PI - precipitação interna

Houve diferença significativa entre a PI da mata ciliar e do cerrado, e entre a mata ciliar e o cerradão. A maior PI na fitofisionomia do cerrado deve-se à menor densidade de área foliar e maior penetração das gotas das chuvas ao alcance dos pluviômetros que captam a PI. Esta fitofisionomia possui plantas de menor porte e volume de biomassa, ou seja, espécies relativamente menores quando comparadas às espécies das outras fitofisionomias. Além da fitofisionomia cerrado possuir uma grande quantidade de gramíneas e arbustos, os instrumentos captadores da PI ficaram a 1 m da superfície (**Fotografia 2 - B**) e, portanto, não sofrendo a interferência das gramíneas. Teoricamente, na fitofisionomia cerrado as gotas de chuva possuem maior chance de não ficar retida pelas copas das árvores visto que possuem menor área foliar em seu dossel. No caso do cerrado, os vegetais que mais interceptariam a chuva estão abaixo dos instrumentos captadores da PI.

No artigo de Ferreira *et al.* (2005) são analisados dados de PI e de I para uma região de floresta de terra firme da Amazônia Central por um período de mais de dois anos -1994 a 1996 - em áreas onde havia extração seletiva de madeira. Utilizou-se de uma área piloto para analogias e a PI oscilou entre 74,2 e 87,1% em áreas intocadas, e nas áreas de extração entre 86,9 e 92,9%, ou seja, a PI foi maior em áreas onde havia extração de madeiras. Nesse estudo, evidenciou-se que as áreas de extração seletiva de madeira reduziram a quantidade de água interceptada, o que, segundo os autores, reduz a probabilidade de formação de novas chuvas, pois, a água interceptada pela vegetação contribui para a formação de novas chuvas, principalmente na floresta Amazônica.

A média da PI para as três fitofisionomias da Mata do Queixada no período do inverno foi de 80,6%. Ferreira *et al.* (2005), encontraram valores de PI em floresta de terra firme na Amazônia Central próximos aos encontrados para o período do inverno para as três fitofisionomias da Mata do Queixada.

No caso da Mata do Queixada a menor PI na fitofisionomia mata ciliar é devida à maior área foliar de seu dossel, onde as gotas das chuvas possuem a maior probabilidade de serem interceptadas, corroborando com os dados da Amazônia Central (FERREIRA *et al.*, 2005).

Os dados de I apresentaram para o período de inverno na mata ciliar um valor de 10,6 mm (21,4%), no cerradão de 7,1 mm (14,3%) e no cerrado de 6,1 mm (12,3%). Para o período de um ano os valores de I para florestas estacionais decíduas são da ordem de 13% do total precipitado. Em florestas de coníferas estes valores podem chegar a 22% da precipitação

(DUNNE; LEOPOLD, 1972). Para o inverno o cerrado apresentou um valor de PE de 2,2 mm (4,4%), o cerrado de 1,3 mm (2,6%) e a mata ciliar de 1,1 mm (2,2%). Através da análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, a I e a PE mostraram-se semelhantes entre si. Os baixos índices de PE justificam-se pelas altas taxas de AI.

Na **Tabela 9** verificam-se os resultados da análise de variância da AI para as fitofisionomias no período de inverno.

**Tabela 9** - Teste de médias para a abstração inicial nas três fitofisionomias, no período inverno

<b>FITOFISIONOMIA</b>	<b>MÉDIA (mm)</b>	<b>AI (%)</b>	<b>EQUIVALÊNCIA<sup>1</sup></b>
<b>CERRADO</b>	46,0	92,9	A
<b>CERRADÃO</b>	37,6	76,0	AB
<b>MATA CILIAR</b>	31,4	63,4	B

<sup>1</sup> Letras iguais denotam médias iguais a 5% de probabilidade

AI - abstração inicial

Os dados da **Tabela 9** indicam que para o período do inverno a fitofisionomia cerrado foi a que teve a maior média de AI em valores absolutos e a mata ciliar a menor AI. Neste período as plantas estão em estresse hídrico e isto explica os altos valores de AI que vão de 63,4 a 92,9% da precipitação total.

Os valores da AI para o inverno, superior a 90% na fitofisionomia cerrado se devem a uma série de fatores naturais e antrópicos. Primeiramente devido à presença de vegetação herbácea e uma grande quantidade de arbustos que levam a inferir que os sistemas radiculares destas plantas interferem na PE, e em segundo lugar estas áreas da fitofisionomia cerrado serviram como pastagens, encontrando-se atualmente como testemunhas, como as trilhas de gado, o que induz a ser um solo mais compactado em relação às outras fitofisionomias, propiciando um maior escoamento superficial e menor recarga d'água subterrânea.

Dunne e Leopold (1972) trazem que a I por gramíneas são da ordem 10 a 20%, podendo variar em conformidade com a sazonalidade e o grau de desenvolvimento do vegetal. No caso específico da fitofisionomia cerrado chegou-se ao período de inverno a um valor de 92,9% de AI, o que evidencia alto poder de retenção de água pelas plantas e nas camadas superiores da superfície da fitofisionomia cerrado, principalmente em estações seca quando tem-se baixos volumes e intensidades pluviométricas.

As diferenças estatísticas pela análise de variância a 5% de significância da AI entre as fitofisionomias, cerrado e mata ciliar são explicadas pela compactação do solo devido a ser no passado uma área de pastagem e juntamente com declividade induzir ao escoamento superficial.

O método CN (*curve number*) desenvolvido pelo Departamento Americano de Agricultura (USDA) é um dos métodos mais usados nos estudos de microbacias hidrográficas e considera a AI como sendo de 20 % do total precipitado. Este método foi desenvolvido para as condições dos EUA, ocorrendo distorções até mesmo neste território, não sendo recomendados para a obtenção de dados com precisão em áreas tropicais. Os valores de AI no período do inverno para o cerrado da Mata do Queixada são superiores aos usados pelo método do *curve number*.

De acordo com Mello *et al.* (2003, p.497), os valores da AI devem ser determinados levando-se em conta dados do comportamento da precipitação pluviométrica total, e não somente o total do volume precipitado. “Assim, por exemplo, se a PE ocorrer logo no início do evento, sua AI será zero [...]”. Portanto, os índices de AI variam em consonância com diversos fatores de onde ocorre o evento pluviométrico, como a intensidade da precipitação, características físicas da microbacia hidrográfica e sazonalidade.

Concluindo a discussão sobre as análises das partições pluviométricas sazonais, na primavera houve uma precipitação pluviométrica de 140,5 mm, uma PI na mata ciliar de 132,9 mm (94,6%), no cerrado de 122,1 mm (86,9%) e no cerradão de 114,1 mm (81,2%). Aplicando a análise de variância ao nível de 5% de probabilidade as precipitações internas das fitofisionomias para o período da primavera mostraram-se semelhantes.

Na **Tabela 10** verificam-se os dados da I no período da primavera onde se verifica uma diferença estatisticamente significativa, ao nível de 5% de probabilidade, entre a mata ciliar e o cerrado e entre o cerradão e a mata ciliar. Por outro lado, os dados não evidenciam diferenças significativas entre a mata ciliar e o cerradão.

**Tabela 10** - Teste de média para a interceptação para as fitofisionomias no período da primavera

<b>FITOFISIONOMIA</b>	<b>MÉDIA (mm)</b>	<b>I (%)</b>	<b>EQUIVALÊNCIA<sup>1</sup></b>
<b>MATA CILIAR</b>	27,2	19,4	A
<b>CERRADÃO</b>	20,5	14,6	A
<b>CERRADO</b>	13,9	9,9	B

<sup>1</sup> Letras iguais denotam médias iguais a 5% de probabilidade

I - Interceptação

Observa-se que, devido à maior biomassa e à capacidade de retenção de água pelas copas da fitofisionomia mata ciliar, obtiveram-se maiores índices de I da chuva pela vegetação no período da primavera. As literaturas consultadas informam que uma maior I ocorre em consonância com o maior volume de biomassa. A I do período da primavera é indicativa desta evidência, quando a maior I foi encontrada fitofisionomia “mata ciliar”, onde há árvores mais altas e grossas, com maior cobertura do dossel, enquanto a fitofisionomia cerrado há uma menor I na primavera, de 9,9%, devido, provavelmente, ao seu menor volume de biomassa, logo, retendo uma menor quantidade de água na copa das árvores. Este fato não indica que a fitofisionomia cerrado terá uma maior PE devido à menor I, pois, nesta fitofisionomia foi uma área de pastagem com a presença de trilhas do gado e tendo uma propensão a um solo mais compactado, dificultando a infiltração da água, o que teoricamente favorece o escoamento superficial.

No período da primavera de 2010, observou-se uma média de PE na fitofisionomia mata ciliar de 47,9 mm (34,1 %), no cerrado, encontrou-se o valor de 36,3 mm (25,8 %) e no cerradão de 36,5 mm (25,9 %). Na análise de variância não encontrou diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade. Observe-se que, como mencionado anteriormente, a menor PE deu-se na fitofisionomia cerrado seguido do cerradão. A maior PE deu-se na fitofisionomia mata ciliar justificando a importância desta faixa de floresta para os cursos d’água das microbacias hidrográficas. Na primavera os índices de AI foram para o cerrado de 85,8 mm (61,1 %), para a mata ciliar de 85,0 mm (60,5 %) e para o cerradão de 77,6 mm (55,2 %). As análises de variância não apresentam variâncias estatisticamente significativas ao nível de 5% de probabilidade. A menor AI atribuída ao cerradão é explicada pela alta capacidade de infiltração desta fitofisionomia o que reduz os índices de AI para o período da primavera.

A soma da precipitação total para o período de chuva analisado foi de 1.430 mm para uma média da PI para as três fitofisionomias de 1.061,6 mm. A I foi de 363,1 mm, a PE foi de 323,7 mm com uma AI de 737,7 mm. Transformando os valores em percentagens da PI, I, PE e AI, em relação ao total precipitado têm-se os seguintes valores, respectivamente: 76%, 25,6%, 24,3% e 51,6%.

Kittredge *et alii* (1941), *apud* Lima (2000), encontraram os valores de I de 17 a 28% em plantações de pinheiros, sendo valores próximos a média encontrada para as três fitofisionomias consideradas da Mata do Córrego do Queixada que foi da ordem de 25,6%. Voigt (1960) *apud* Lima (2000) encontrou em plantações de pinheiro o valor de 19% e 25%, podendo ter valores superiores aos encontrados. Low (1972) *apud* Lima (2000), afirma que as taxas de I em florestas da Malásia podem chegar a 50%, podendo variar para mais ou para menos como é evidenciado em outros trabalhos.

Geiger (1966) *apud* Lima (2000) encontraram os valores de PI e de I de respectivamente: 34% e 38%. Durante o período de estudo na Mata do Córrego do Queixada os valores de PI foram de 76%. Na **Tabela 11** observa-se os dados da PI, da PE, da AI e da I para todo período analisado nas três fitofisionomias consideradas.

**Tabela 11** - Totais das partições pluviométricas para as fitofisionomias (mm)

FITOFISIONOMIAS	PI (mm)	PI (%)	PE (mm)	PE (%)	AI (mm)	AI (%)	I (mm)	I (%)
<b>CERRADO</b>	1.083,3	75,7	339,3	23,7	736,2	51,5	376,9	26,4
<b>CERRADÃO</b>	1.063,6	74,3	331,5	23,2	735,2	51,4	384,9	26,9
<b>MATA CILIAR</b>	1.113,9	77,8	372,9	26,1	742,0	51,9	338,0	23,6

PI - precipitação interna

PE - precipitação efetiva

AI - abstração inicial

I - Interceptação

A partir da observação da **Tabela 11**, verifica-se em valores absolutos e relativos que a maior PI ocorreu na fitofisionomia mata ciliar e a menor no cerradão. Em função da maior PI ter ocorrido na mata ciliar, encontrou-se também uma PE menor no cerradão. O maior índice de I foi encontrado na fitofisionomia cerradão. Isto explicado pela menor PI, pois as copas das árvores possuem um maior poder de retenção de água.

Os menores índices de AI foram encontrados na fitofisionomia mata ciliar, evidenciando uma maior contribuição desta com o abastecimento dos aquíferos. A AI que definiu-se



para as áreas de cerrado para a MHQ foi de 51,58 %, sendo muito superior aos índices sugeridos pelo método do Curve Number (CN) de 20 %.

No trabalho de Mello *et al.* (2003), é proposto a aplicação de modelo matemática para a determinação da AI em microbacias de escoamento efêmero e em função das variáveis que um determinado evento pluviométrico possa apresentar. Os resultados apresentaram que para microbacias de escoamento efêmero os valores de AI podem ter uma alta variabilidade e que podem ser muito inferiores aos 20 % sugeridos pela USDA (*United States Department of Agriculture*). Ressalta-se que a utilização do método CN em território brasileiro deve ser adaptada.

Os dois períodos com maiores índices pluviométricos foram o outono e o verão (1240,3 mm). Considerando os dois períodos tem-se uma PI de 898,6 mm (72,5 %) e uma PE de 282 mm (22,7 %). A I atingiu um valor de 338,2 mm (27,3 %) contra 616,6 mm (49,7 %) de AI.

As análises dos dados dos outros períodos, inverno e primavera, têm-se uma precipitação total de 190 mm e uma PI de 160 mm (84,2 %). A PE apresentou o valor de 41,7 mm (21,9 %) e a AI foi de 121,1 mm (63,8 %). O volume de I apresentado para os dois períodos de menor (inverno e primavera) precipitação foi de 24,9 mm (13,1 %).

Observa-se que a AI no período de seca atingiu um percentual de 63,8 ao passo que no período chuvoso atingiu apenas 49,7 %. Quando da precipitação pluviométrica em períodos de seca há uma tendência de maior I relativa e uma maior AI devido à menor umidade neste período, quando ocorrem chuvas de baixo volume e intensidade. Em geral em períodos de estiagem, as chuvas possuem menores intensidades e onde plantas, animais etc. absorvem parte da precipitação total. Ao contrário nas estações chuvosas a I e a AI tendem a ser menores, intensificando, por exemplo, o processo de escoamento superficial.

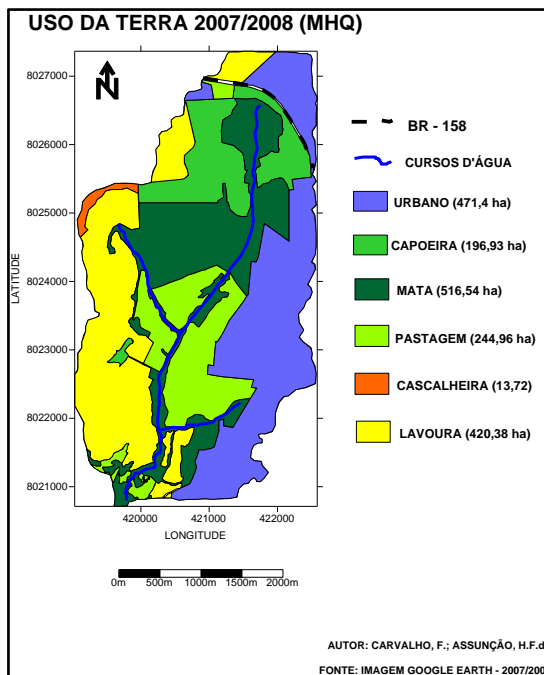
#### **4.2 Balanço hidrogeológico - uso da terra 2007/2008**

Conforme o **Mapa 2** observa-se que as classes do uso da terra na MHQ foram classificadas em seis para o ano de 2007/2008.

A maior área foi a de mata (cerradão e mata ciliar - 27,7% do total), seguido do urbano (25,3%), da lavoura (22,5%), da pastagem (13,1%), da capoeira (10,6%) e da cascalheira

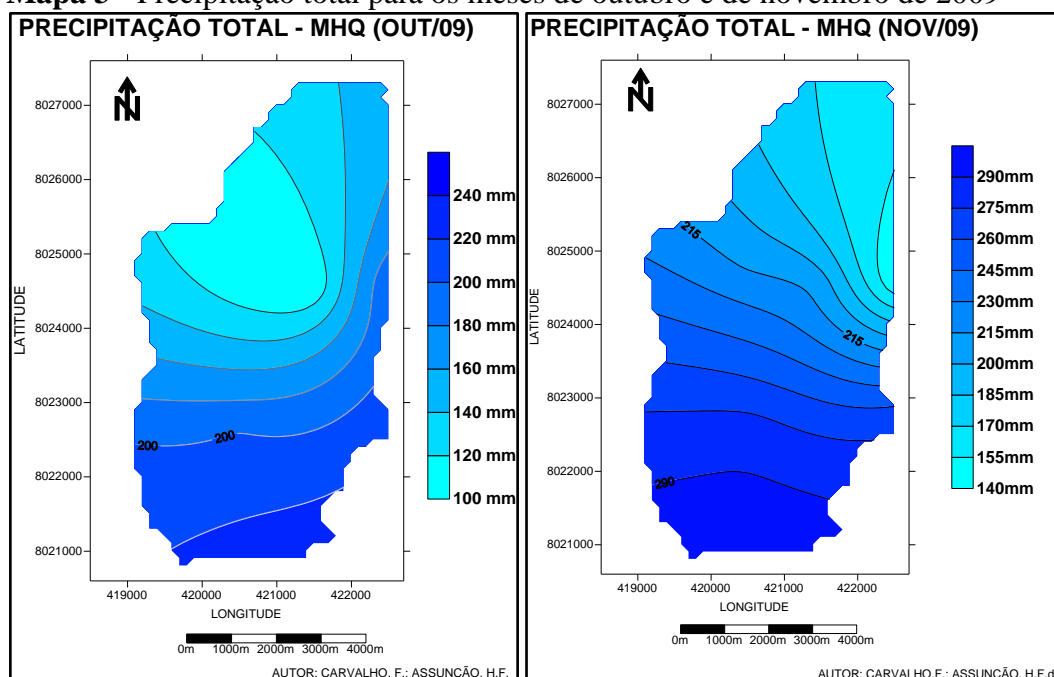
(0,7%). As áreas de cada uso da terra servirão como parâmetro para a estimativa dos valores do escoamento superficial e da recarga d'água subterrânea apresentados neste trabalho.

**Mapa 2** - Uso da terra da microbacia do córrego do Queixada no ano de 2007/2008



Para o período analisado a média da precipitação pluviométrica para todos os pluviômetros coletada na MHQ foi de 2.859,6 mm. Considerando-se a média da precipitação na área da MHQ tem-se um volume de água que entrou de  $53,3 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. Este volume de água pode tomar vários destinos, podendo ser evapotranspirada diretamente para a atmosfera, provocar o escoamento sub e superficialmente ou infiltrar no solo.

A seguir, apresenta-se a espacialização da precipitação pluviométrica mensal e a vazão média mensal para o período analisado na MHQ. No **Mapa 3** observa-se a precipitação pluviométrica para os meses de outubro e de novembro de 2009.

**Mapa 3** - Precipitação total para os meses de outubro e de novembro de 2009

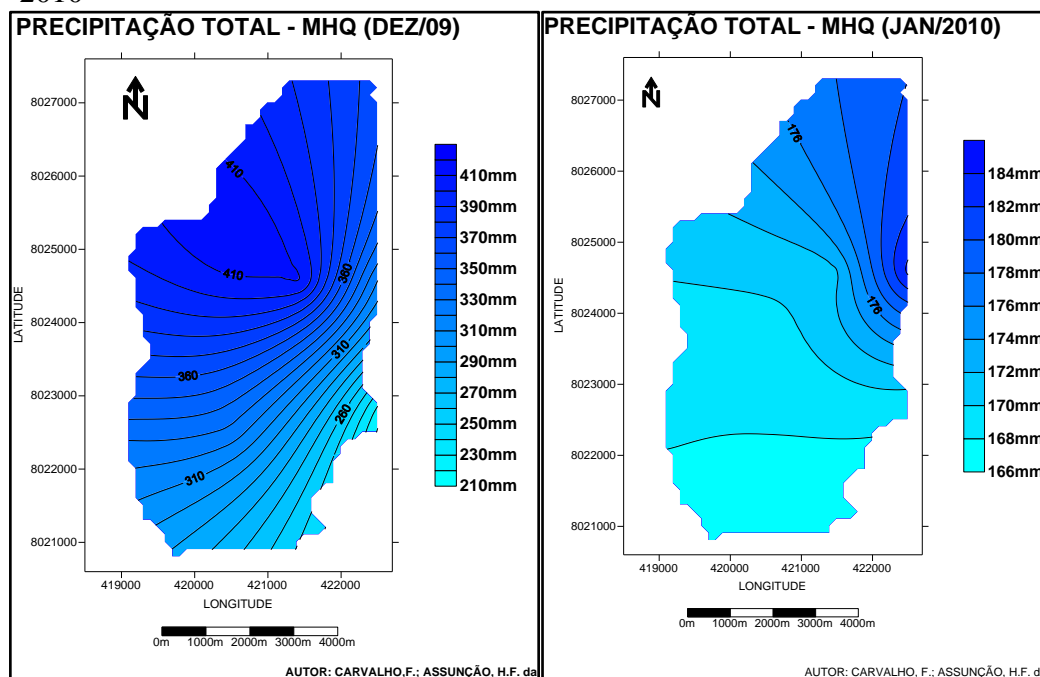
Fonte - Carvalho; Assunção (2011)

Observa-se uma precipitação máxima para o mês de outubro de 2009 de 260 mm na parte sul da MHQ, decrescendo em direção a região noroeste apresentando uma precipitação pluviométrica mínima de 100 mm para o referido mês. Novembro de 2009 apresentou um valor máximo de precipitação pluviométrica ao sul da MHQ (305 mm) e um valor mínimo de 140 mm ao nordeste da microbacia (**Mapa 3**). O mês de novembro de 2009 o volume de precipitação pluviométrica aumentou em relação ao mês anterior.

A espacialização da precipitação pluviométrica na MHQ para os meses de dezembro de 2009 e de janeiro de 2010 podem ser observados no **Mapa 4**.

O mês de dezembro de 2009 apresentou um valor máximo de precipitação pluviométrica para a MHQ de 430 mm na região noroeste e um mínimo de 210 mm no sudeste. O mês de janeiro 2010 houve uma redução no volume de precipitação pluviométrica chegando a apresentar na região sul uma mínima de 166 mm, sendo que o maior volume precipitado foi de 186 mm no nordeste da MHQ.

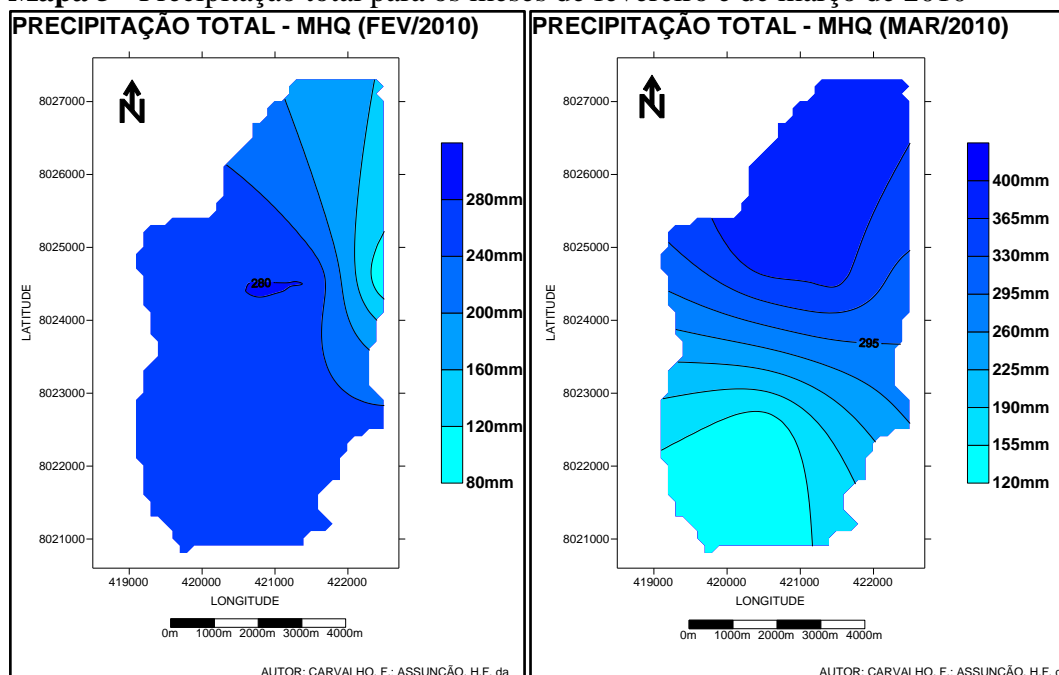
**Mapa 4** - Precipitação total para os meses de dezembro de 2009 e de janeiro de 2010



Fonte - Carvalho; Assunção (2011)

No **Mapa 5** visualiza-se a espacialização de precipitação pluviométrica para os meses de fevereiro e março de 2010.

Verifica-se que o nordeste da MHQ apresentou os menores índices pluviométricos para o mês de fevereiro de 2010, e que na maior parte da microbacia houve uma precipitação de 240 a 320 mm. O mês de março de 2010 apresentou os maiores índices de precipitação pluviométrica entre todos os meses analisados até o momento, com uma máxima de 435 mm ao norte da MHQ, e na região sul encontrou-se os menores índices pluviométricos (120 mm).

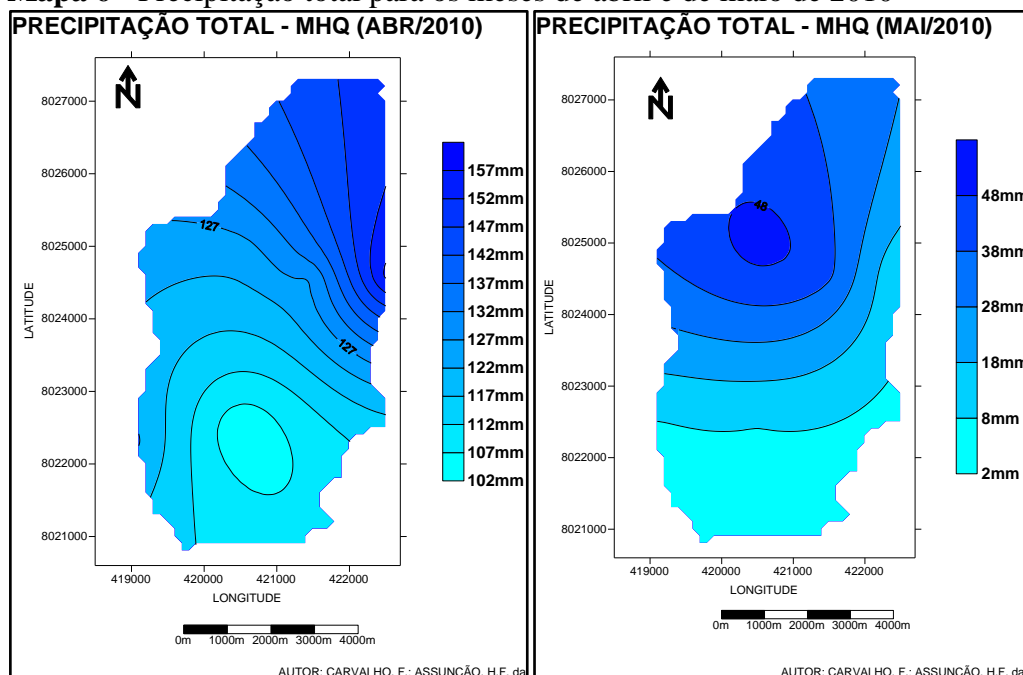
**Mapa 5** - Precipitação total para os meses de fevereiro e de março de 2010

Fonte - Carvalho; Assunção (2011)

A partir do mês de abril apresentou tendência de redução do volume de precipitação pluviométrica na MHQ. O **Mapa 6** apresenta a precipitação total para os meses de abril e maio de 2010.

O mês de abril de 2010 apresentou o menor volume de precipitação pluviométrica para a MHQ entre todos os meses analisados até aqui, apresentando uma máxima de 162 mm ao nordeste. No sul da MHQ apresentou o menor índice (102 mm), valores próximos a precipitação de mínima de março do mesmo ano que foi de 120 mm (**Mapa 5**).

No mês de maio de 2010 observa-se uma precipitação pluviométrica máxima na MHQ de 48 mm a 58 mm ao noroeste, em área de cerrado. A evapotranspiração nas áreas de cerrado explica os maiores volumes de precipitação pluviométrica registrados, evidenciando esta característica para períodos com poucos índices pluviométricos para a região que inclui o mês de maio, onde os eventos pluviométricos são quase que ausentes.

**Mapa 6 - Precipitação total para os meses de abril e de maio de 2010**

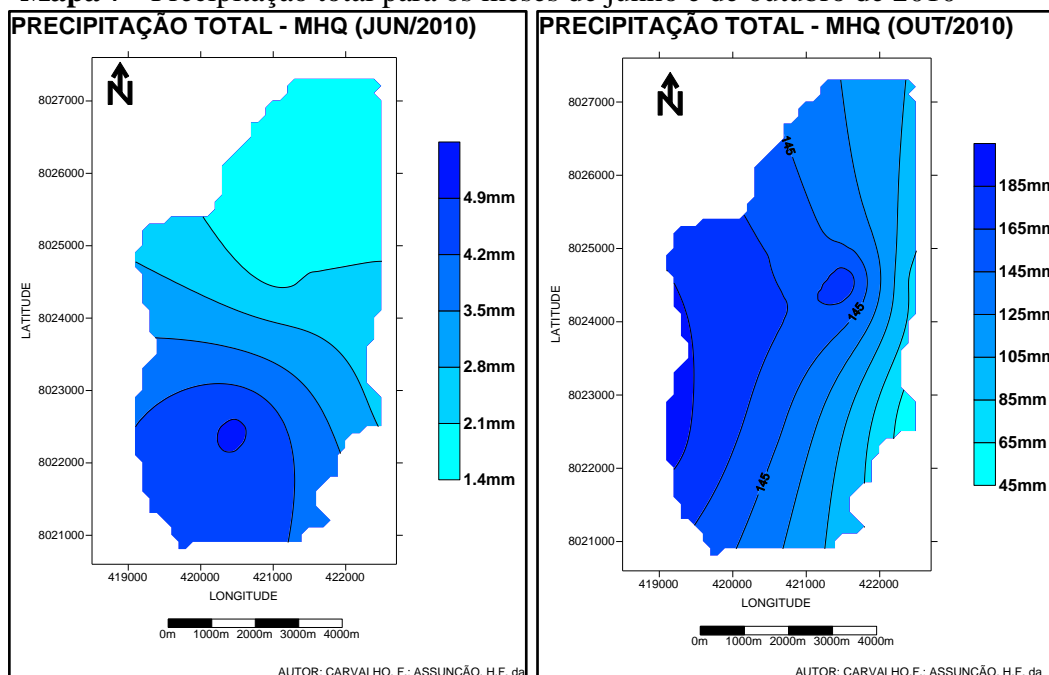
Fonte - Carvalho; Assunção (2011)

No mês de junho 2010 registrou-se uma precipitação máxima e mínima de, respectivamente: 5,6 mm e 1,4 mm (**Mapa 7**). No Item “Referencial Teórico”, encontra-se que um volume de precipitação como o que foi registrado para o mês de junho de 2010 poder-se-á ser todo interceptado por vegetação, especialmente em casos de formações florestais. A AI, também, ter-se-á um percentual elevado para períodos de baixos volumes e intensidades de chuva. Não foram registradas precipitações pluviométricas nos meses de julho, de agosto e de setembro para a MHQ, ficando a precipitação restrita a outros eventos, como o orvalho e as geadas. Nestes períodos a I em áreas de mata como em outras áreas de florestadas são elevadas.

Novos eventos de precipitação pluviométrica para o ano de 2010 foram registrados a partir do mês de outubro na MHQ e encontra-se no **Mapa 7**.

Das mínimas registradas de 1,4 mm a 5,6 mm para todo o período analisado tem-se o início das chuvas com o mês de outubro que apresentou uma precipitação máxima de 205 mm no oeste da microbacia, decrescendo em direção ao leste, chegando a 45 mm em área urbana. Os finais do mês de setembro e principalmente em outubro registram-se as primeiras chuvas após fim do inverno e início da primavera.

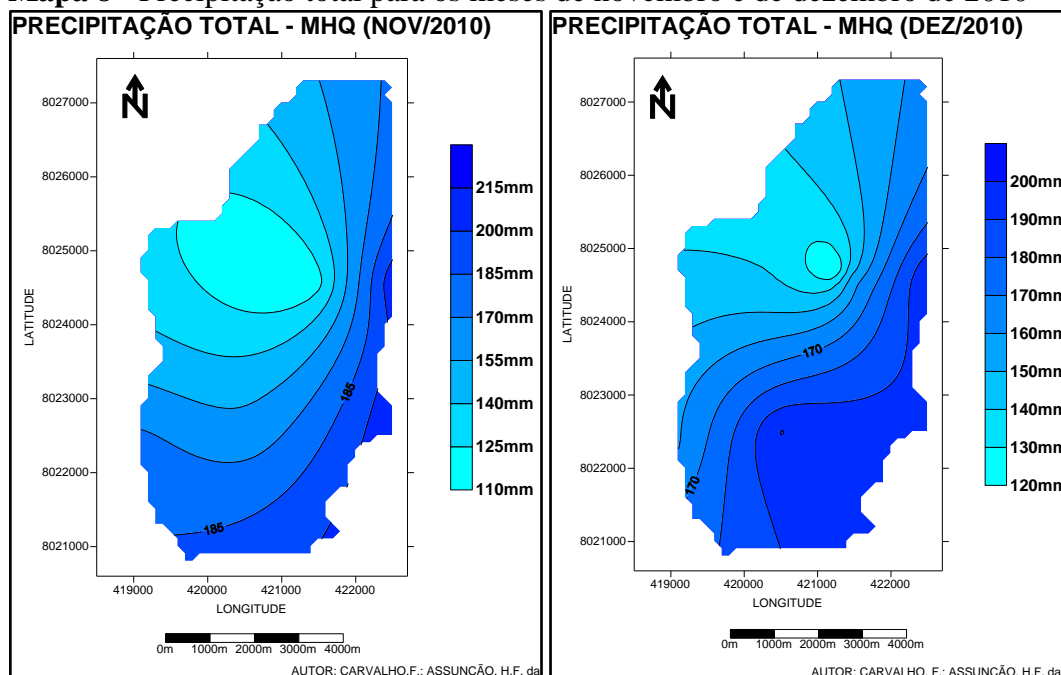
**Mapa 7 - Precipitação total para os meses de junho e de outubro de 2010**



Fonte - Carvalho; Assunção (2011)

O **Mapa 8** apresenta precipitação pluviométrica dos meses de novembro e dezembro de 2010.

Ao se examinar as distribuições pluviométricas na MHQ no mês de novembro de 2010 observam-se maiores índices pluviométricos ocorreu na região leste, alcançando os 230 mm e os menores índices registrados foram da região centro-oeste. No mês de dezembro de 2010 fora registrada uma precipitação pluviométrica de 210 mm à sudeste da MHQ com um mínimo de 120 mm a noroeste.

**Mapa 8** - Precipitação total para os meses de novembro e de dezembro de 2010

Fonte - Carvalho; Assunção (2011)

O mês de janeiro de 2011 fora registrada uma das maiores precipitações pluviométricas para todo o período analisado.

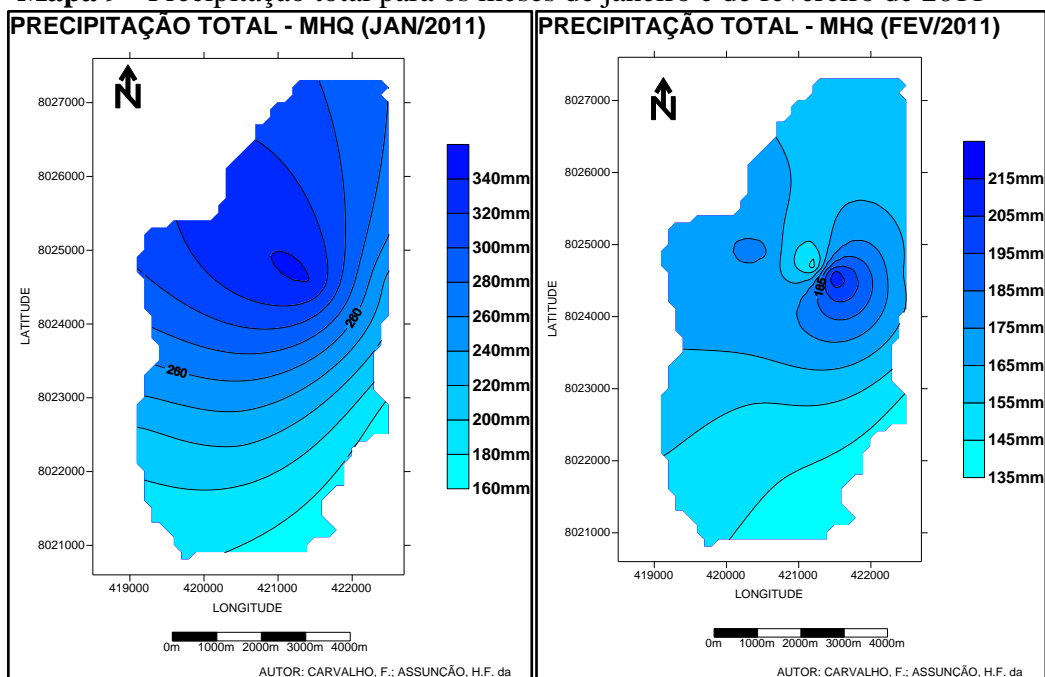
O volume de precipitação de janeiro para fevereiro de 2011 decresce, conforme apresenta a **Mapa 9**.

O mês de janeiro de 2011 apresentou um maior volume pluviométrico de 360 mm na região noroeste e a mínima de 160/180 mm ao sul da MHQ.

No mês de fevereiro 2011 o volume precipitado cai para uma máxima de 225 mm e uma mínima de 135 mm (**Mapa 9**).



**Mapa 9** - Precipitação total para os meses de janeiro e de fevereiro de 2011

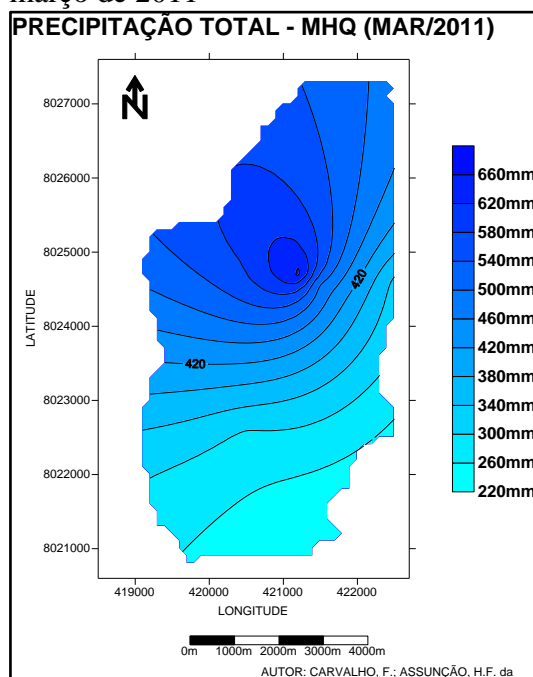


Fonte - Carvalho; Assunção (2011)

A precipitação pluviométrica máxima registrada para todo o período analisado se deu no mês de março de 2011 (700 mm), conforme apresenta o **Mapa 10**.

Ao norte da MHQ registrou-se uma precipitação máxima de 700 mm para o mês de março de 2011 e o mínimo de 220 mm foi registrado ao sul da MHQ.

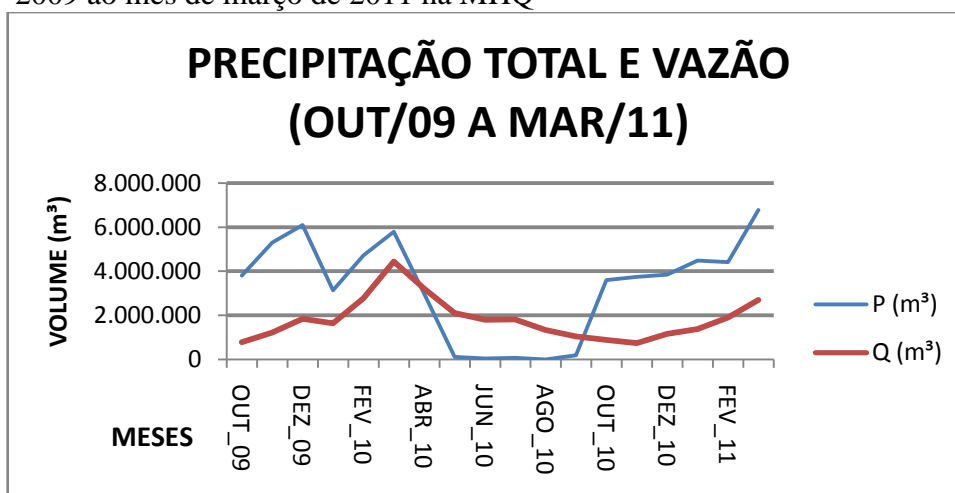
**Mapa 10** - Precipitação total do mês de março de 2011



Fonte - Carvalho; Assunção (2011)

Os dados de precipitação total serão correlacionados com os dados de vazão média (**Gráfico 1**) na foz do córrego do Queixada. A seguir tem-se a vazão média mensal e a precipitação total média mensal para a MHQ durante o período analisado.

**Gráfico 1** - Vazão média e precipitação total média do mês de outubro de 2009 ao mês de março de 2011 na MHQ

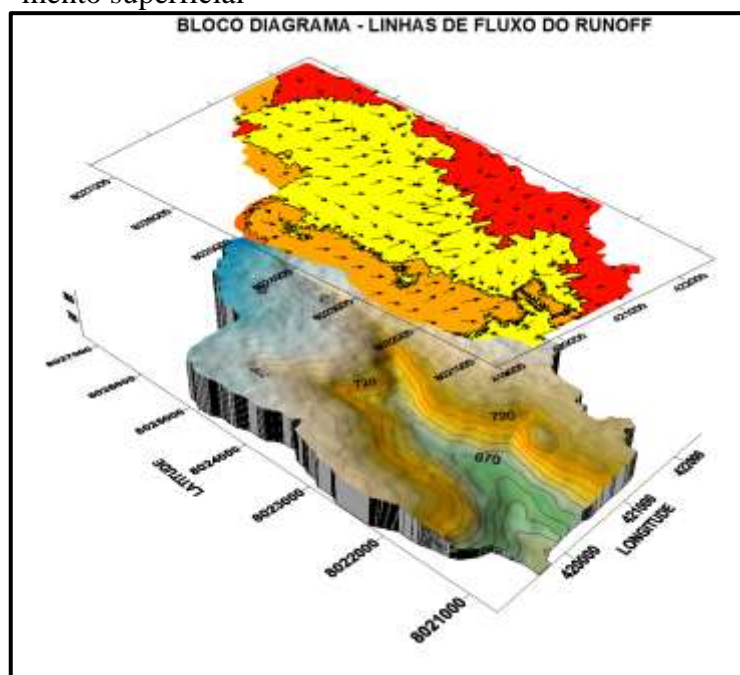


Fonte - Carvalho (2011)  
P - Precipitação; Q - Vazão

Os dados de vazão correlacionados com os dados de precipitação total evidenciam que as vazões máximas são registradas nos períodos chuvosos e as mínimas nos períodos de seca. No caso das vazões mínimas são registrados momentos antes de iniciar um aumento dos volumes de vazão, que no caso foi em meados de novembro de 2010, período em diante que registra-se as primeiras chuvas de volume consideráveis para a região.

Na **Figura 1** observam-se aspectos da altimetria e as linhas de fluxo do escoamento superficial nos usos da terra considerados da MHQ dos anos 2007/2008. Em três dimensões é apresentado o volume da MHQ que foi utilizado para a realização do balanço hidrogeológico (recarga d'água).

**Figura 1** - Microbacia do córrego do Queixada mostrando a altimetria e o volume da microbacia utilizado para o balanço hidrogeológico e as linhas de fluxo do escoamento superficial



Fonte - Assunção (2011)

Na foz da MHQ tem-se uma altitude de 619 m e as suas principais nascentes possuem uma altitude de aproximadamente 791 m possuindo uma amplitude altimétrica de 248 m. Visualiza-se na **Figura 1** as linhas do fluxo do escoamento nos usos considerados para o ano de 2007/2008. Conforme o uso da terra de 2007/2008 todo o escoamento superficial na área ur-

bana são direcionados para as áreas de pastagem, de mata e de agricultura, podendo ser infiltrada, armazenada, evapotranspirada ou mesmo escoar em direção vazão na foz.

Foram analisados, para cada uso da terra na MHQ, a precipitação pluviométrica, a evapotranspiração, o deflúvio e a recarga subterrânea para o período considerado. Na **Tabela 12** verifica-se as contribuições para as variáveis consideradas para os diversos usos terra dos anos 2007/2008 da MHQ.

**Tabela 12** - Áreas e contribuições da precipitação pluviométrica para as variáveis definidas nos usos da terra considerados na microbacia do córrego do Queixada

USO CONSIDERADO	P (média) mm	ET mm	D mm	R mm	ÁREA ha
Urbano	2.859,6	1.349,6	1.166,7	648,5	471,4
Capoeira	2.859,6	1.709,2	409,0	1.041,9	196,9
Cascalheira	2.859,6	1.420,6	964,8	780,4	13,7
Lavoura	2.859,6	1.709,2	409,0	1.041,9	420,4
Mata	2.859,6	1.717,4	388,9	1.047,4	516,5
Pastagem	2.859,6	1.717,4	388,9	1.047,4	245,0
Total	2.859,6	9.623,4	3.727,30	5.607,5	1.863,9

**P** - Precipitação pluviométrica; **ET** - Evapotranspiração real; **D** - Deflúvio; **R** - Recarga;

As maiores recargas se deram nas áreas de mata, de pastagem, de capoeira e de lavoura, sendo este fato atribuído a maior capacidade de infiltração se comparado à área urbana, que possui uma menor participação da recarga d'água subterrânea. A área urbana foi onde apresentou o maior escoamento superficial devido à impermeabilização do terreno, por possuir ruas asfaltadas e edificações, o que reduz as áreas onde ocorra o processo de infiltração de água, como em áreas de mata.

Os volumes e os respectivos percentuais de precipitação total, do deflúvio e da recarga d'água subterrânea para todo período na MHQ são apresentados na **Tabela 13**.

**Tabela 13** - Contribuições em volume de água no período de novembro/2009 a março/2011 para as variáveis definidas, nos usos considerados na microbacia do córrego do Queixada

USO CONSIDERADO	ÁREA (ha)	ÁREA (%)	P (m <sup>3</sup> )	P (%)	D (m <sup>3</sup> )	D (%)	R (m <sup>3</sup> )	REC (%)
Urbano	471,4	25,3	13.480.154	25,3	5.499.824	49,5	3.057.029	17,4
Capoeira	196,9	10,6	5.631.410	10,6	805.444	7,2	2.051.814	11,7

<b>Cascalheira</b>	13,7	0,7	392.337	0,7	132.371	1,2	107.071	0,6
<b>Lavoura</b>	420,4	22,6	12.021.186	22,6	1.719.354	15,5	4.379.939	24,9
<b>Mata</b>	516,5	27,7	14.770.977	27,7	2.008.824	18,1	5.410.240	30,8
<b>Pastagem</b>	245,0	13,1	7.004.876	13,1	952.649	8,6	2.565.711	14,6
<b>Total</b>	1.863,9	100	53.300.942	100	11.118.467	100	17.571.804	100

**P** - Precipitação pluviométrica; **D** - Deflúvio; **R** - Recarga;

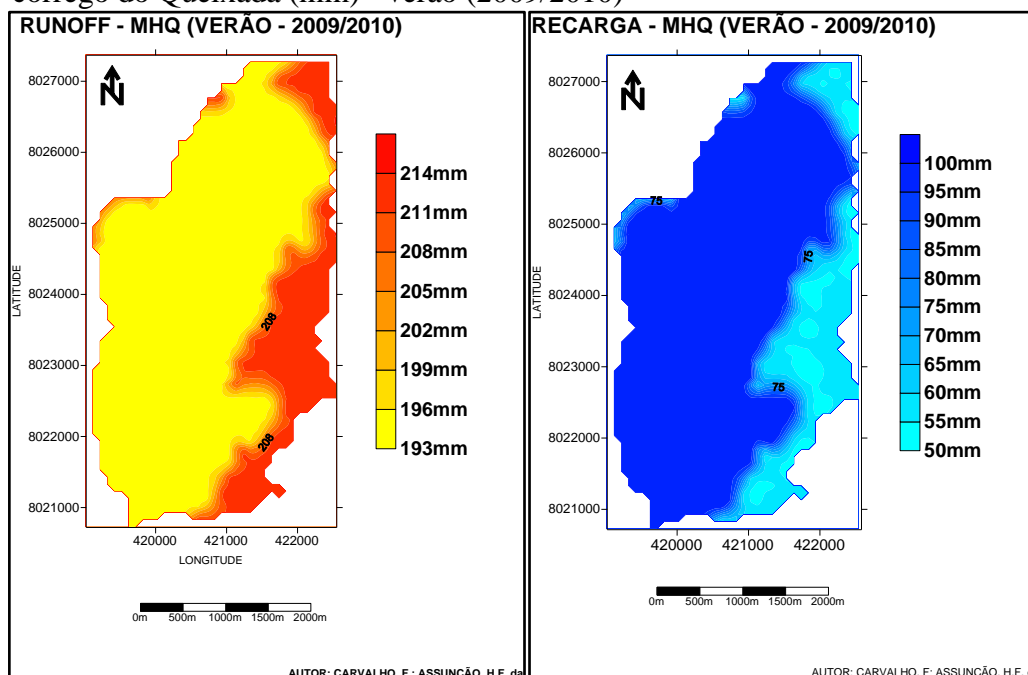
A área de cada uso da terra considerado reflete no volume que cada uso recebe de água proveniente das chuvas. As suas características, como o grau de impermeabilização e a declividade definem os percentuais de chuvas que serão escoados superficialmente e/ou recarregados na área da bacia hidrográfica. Observa-se que a área de 25,3% do uso urbano, representa 49,5% do total precipitado que foi transformado em escoamento superficial (deflúvio) e sua área corresponde a apenas 17,4% do total da recarga d'água subterrânea da MHQ.

O escoamento superficial do uso mata (27,7% da área da MHQ) representa apenas 18% do total escoado superficialmente enquanto que o mesmo uso representa 30% da recarga d'água entre todos os usos na MHQ.

As médias mensais de escoamento superficial e de recarga d'água subterrânea serão espacializados para o período do verão de 2009/2010 (novembro de 2009, de dezembro de 2009 e de janeiro de 2010), do outono de 2010 (fevereiro, março e abril de 2010), da primavera de 2010 (agosto, setembro e outubro de 2010) e do verão de 2010/2011 (novembro de 2010; dezembro de 2010; janeiro de 2011). Vale ressaltar que o período do inverno não apresentou deflúvio e recarga, devido à ausência de precipitação, ou a mesma ser de pequena intensidade e volume.

O **Mapa 11** apresenta os deflúvios e a recarga d'água da MHQ para o período do verão de 2009/2010. A partir de sua análise pode-se concluir que os diversos usos da terra contribuem de forma diferenciada com o escoamento superficial e com a recarga d'água subterrânea. Devido à maior impermeabilização do solo em áreas urbanas têm-se um maior escoamento superficial médio para o período do verão, da ordem de 217 mm em contraposição as áreas de agricultura, de pastagem e de mata que apresentaram um deflúvio de 193/200 mm (**Mapa 11**).

**Mapa 11** - Escoamento superficial e recarga d'água subterrânea na microbacia do córrego do Queixada (mm) - verão (2009/2010)



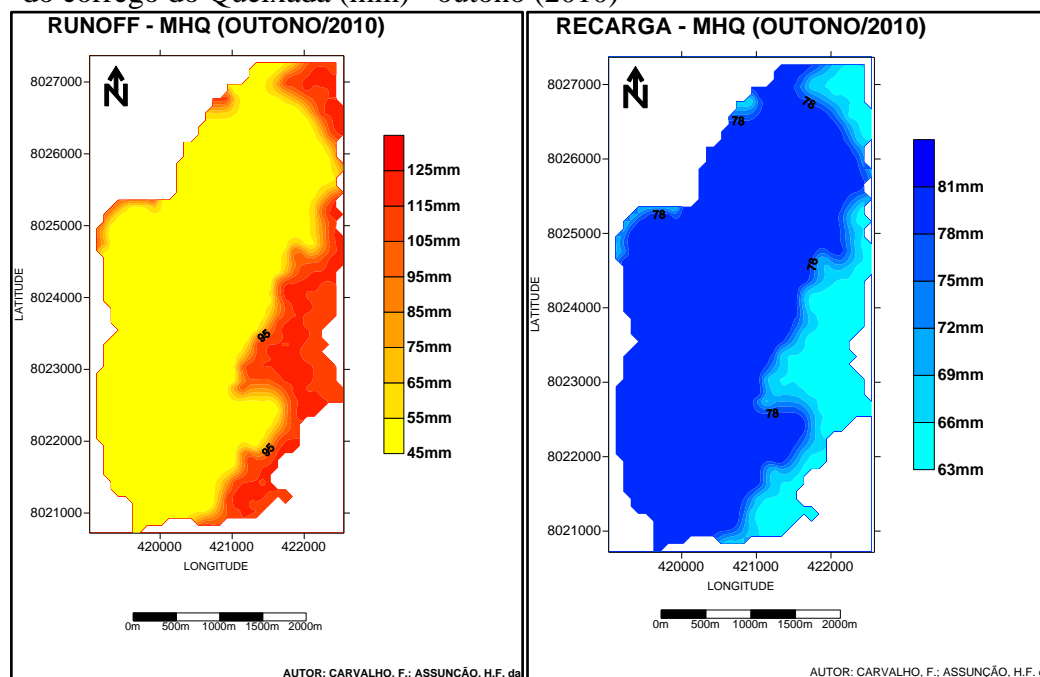
Fonte - Carvalho; Assunção (2011)

Verifica-se que as áreas onde ocorrem os menores deflúvios, apresentam as maiores recargas d'água subterrânea. As áreas de mata, de pastagem e de agricultura, apresentam os maiores valores de recarga média para o período de verão, que foi de 105 mm, sendo que os menores valores de recarga são observados na área urbana, 50 mm, menos de 50% do valor das outras áreas.

Os valores médios mensais de escoamento superficial e de recarga d'água subterrânea para a MHQ no período do outono de 2010 é apresentado no **Mapa 12**.

Os valores máximos de escoamento superficial para o período do outono foram registrados na área urbana e de cascalheira, e os menores foram observados nas áreas de pastagens, de lavouras e de mata. A recarga d'água subterrânea apresentou os maiores valores médios para o período do outono nas áreas de mata, de pastagens e de agricultura, que foram da ordem de 63 mm a 84 mm de chuva.

**Mapa 12** - Escoamento superficial e recarga d'água subterrânea na microbacia do córrego do Queixada (mm) - outono (2010)

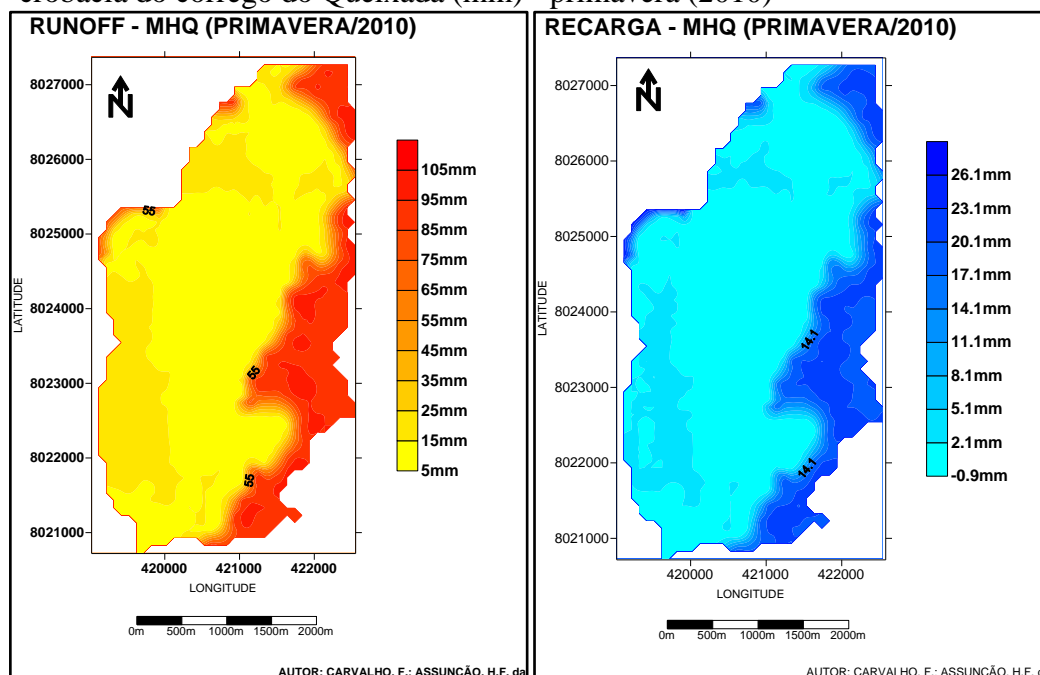


Fonte - Carvalho; Assunção (2011)

No **Mapa 13** são apresentados o escoamento superficial e a recarga média mensal para a MHQ para o período da primavera de 2010.

O escoamento superficial para o período da primavera do ano de 2010 apresentou um valor médio mensal de 85-115 mm para a área urbana e 5-25 mm para as áreas de agricultura, de pastagens e de mata.

**Mapa 13** - Escoamento superficial e recarga d'água subterrânea na microbacia do córrego do Queixada (mm) - primavera (2010)<sup>9</sup>



Fonte - Carvalho; Assunção (2011)

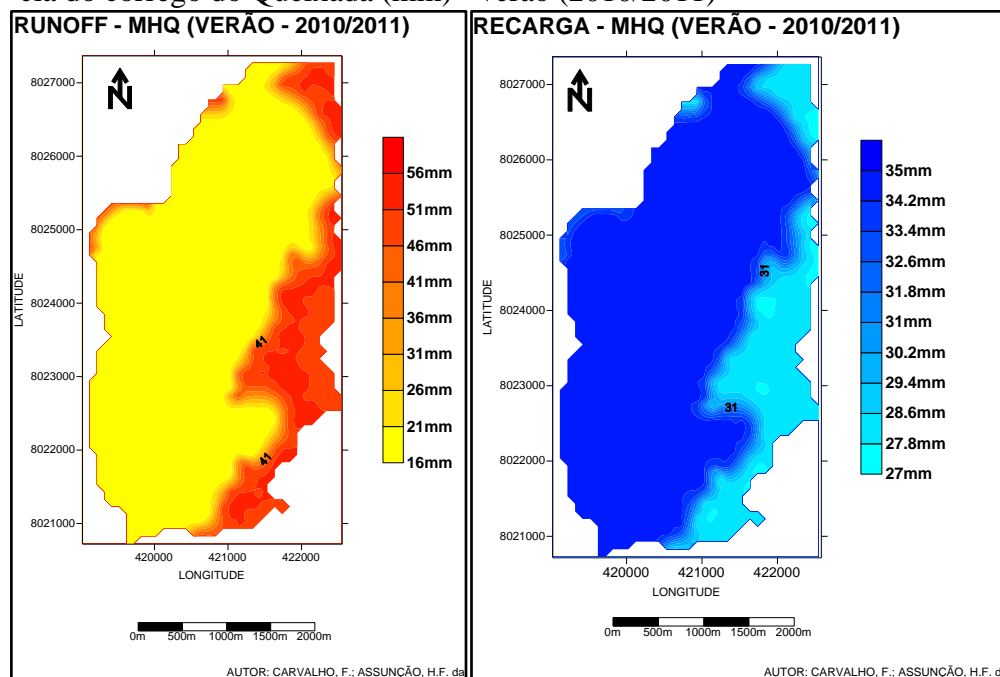
Por final será apresentado os deflúvios e recargas d'água subterrânea média mensal para a MHQ no período do verão de 2010/2011 (**Mapa 14**).

Os dados do escoamento superficial médio mensal para o período do verão de 2010/2011 são o seguinte: urbano e cascalheira - 51-61 mm; capoeira, pastagem, agricultura e mata - 16-26 mm. Os valores de recarga d'água subterrânea variam de 27 mm (área urbana) a mais de 35 mm (pastagem, lavoura e mata).

<sup>9</sup> Os dados da recarga d'água subterrânea do período primavera estão invertidos (**Mapa 13**). As maiores taxas de recarga são onde apresentam as menores que são em áreas de mata, de pastagem e de agricultura e vice-versa.



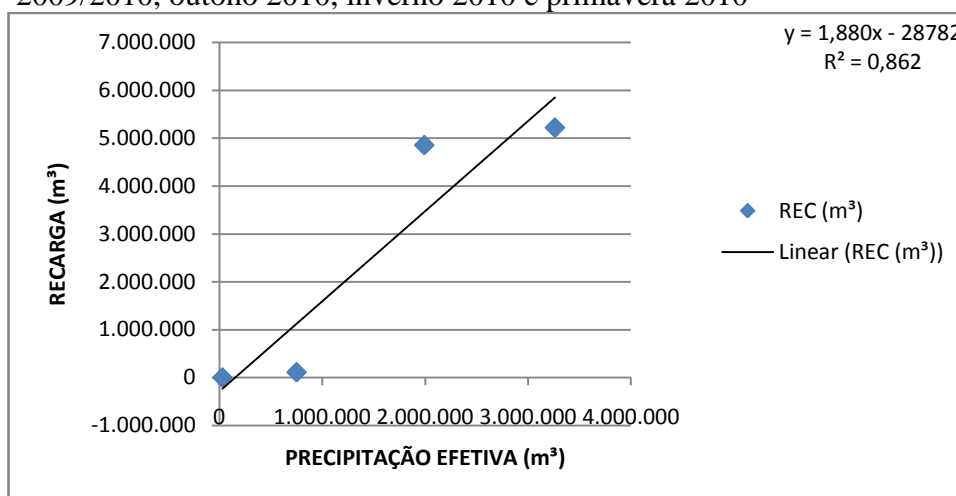
**Mapa 14** - Escoamento superficial e recarga d'água subterrânea na microbacia do córrego do Queixada (mm) - verão (2010/2011)



Fonte - Carvalho; Assunção (2011)

A partir dos dados de PE obtidos nas áreas de cerrado fez-se uma correlação com os dados de recarga d'água subterrânea que pode ser visualizada no **Gráfico 2**.

**Gráfico 2** - Correlação entre precipitação efetiva e recarga d'água subterrânea na Microbacia do Córrego do Queixada para os períodos do verão 2009/2010, outono 2010, inverno 2010 e primavera 2010

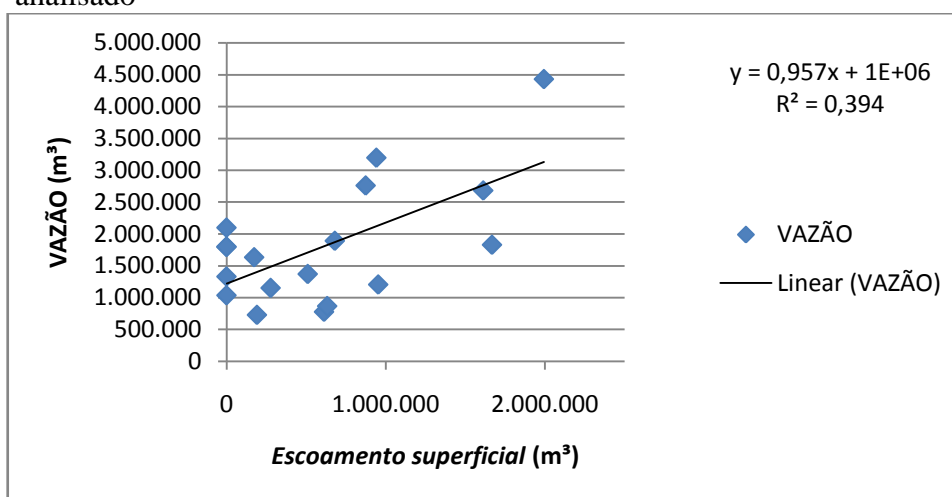


Fonte - Carvalho (2011)

O **Gráfico 2** indica que 86% da recarga d'água subterrânea são explicadas pela ocorrência da PE na MHQ e que há 92% de correlação entre a PE e a recarga d'água subterrânea. Evidentemente que em um evento pluviométrico, a recarga d'água subterrânea ocorre somente após iniciar a PE, pois, a I e a AI já tiveram seus ápices estabelecidos, ou quase. A análise de regressão não se mostrou significativa, embora exista 56% de associação entre a ocorrência da PE e das recargas subterrâneas de água.

No **Gráfico 3** são apresentados os dados de dispersão entre as variáveis, vazão e escoamento superficial.

**Gráfico 3** - Correlação mensal entre o escoamento superficial e a vazão média na foz da microbacia do córrego do Queixada para todo o período analisado



Fonte - Carvalho (2011)

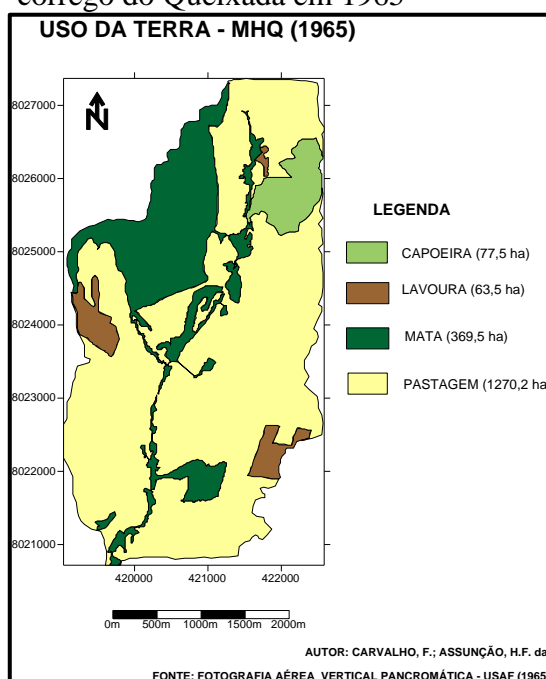
Observa-se que apenas 39% do escoamento superficial na MHQ foram responsáveis pela vazão média detectada na foz da MHQ, sendo este fator explicado pela manutenção da vazão em períodos de seca pela perenidade dos cursos d'água da MHQ que são alimentados pelas águas subterrâneas. A correlação entre o escoamento superficial e a vazão foi de 62%.

Os dados de evapotranspiração real para todo o período analisado foi de 30.186.269,5 m³, com um escoamento superficial de 11.118.605,9 m³ e uma recarga d'água subterrânea de 17.571.964,4 m³. A capacidade de armazenamento de água a partir do uso da terra de 2007/2008 foi de 175.624.355 m³.

### 4.3 Simulações do escoamento superficial e da recarga d'água subterrânea para o uso da terra de 1965

O **Mapa 15** apresenta o uso da terra na MHQ para o ano de 1965, confeccionado a partir de uma fotografia aérea vertical pancromática do mesmo ano.

**Mapa 15** - Uso da terra microbacia do córrego do Queixada em 1965



Através da classificação do uso da terra no **Mapa 15** verifica-se que 71,3% da área são constituídas por pastagens. A predominância de pastagem na MHQ evidencia a economia principal da época, que era constituída de grandes áreas para a pecuária extensiva e a agricultura de subsistência.

Em seguida tem-se o uso mata e vegetação ciliar, os quais correspondem a 20,8 % da área. As áreas de agricultura e de capoeira correspondem a uma pequena parcela do total. Possivelmente na MHQ a área de capoeira era utilizada como pastagem para o gado dos fazendeiros da região nos anos 1960.

Na **Tabela 14** são apresentados os valores relativos e absolutos dos usos da terra para a MHQ no ano de 1965 e 2007/2008.

**Tabela 14** - Valores absolutos e relativos dos usos da terra na microbacia do córrego do Queixada no ano de 2007/2008 e 1965

USOS	ÁREA	ÁREA	ÁREA	ÁREA
	2007/2008 (ha)	2007/2008 (%)	1965 (ha)	1965 (%)
URBANO	471,4	25,3	0	0
CAPOEIRA	196,9	10,6	77,5	4,4
MATA	516,5	27,7	369,5	20,8
PASTAGEM	245,0	13,1	1.270,2	71,3
CASCALHEIRA	13,7	0,7	0	0
LAVOURA	420,4	22,6	63,5	3,6

Fonte - Carvalho (2011)

Observa-se que em 1965 havia predomínio das áreas de pastagem, representando mais de 71% da área da MHQ e que em 2007/2008 estes valores reduzem-se para pouco mais de 13%. Em contrapartida em 1965 não havia área urbana na MHQ e em 2007 ocorreu um percentual de 25,3% de área urbana que é crescente na atualidade (CARVALHO; SCOPEL, 2010). As áreas de lavoura saltaram de 3,6% em 1965 para 22,6% no uso da terra 2007/2008. Todas as alterações no uso da terra de 1965 até os anos 2007/2008 representam alterações significativas nos processos de escoamento superficial e de recarga d'água subterrânea.

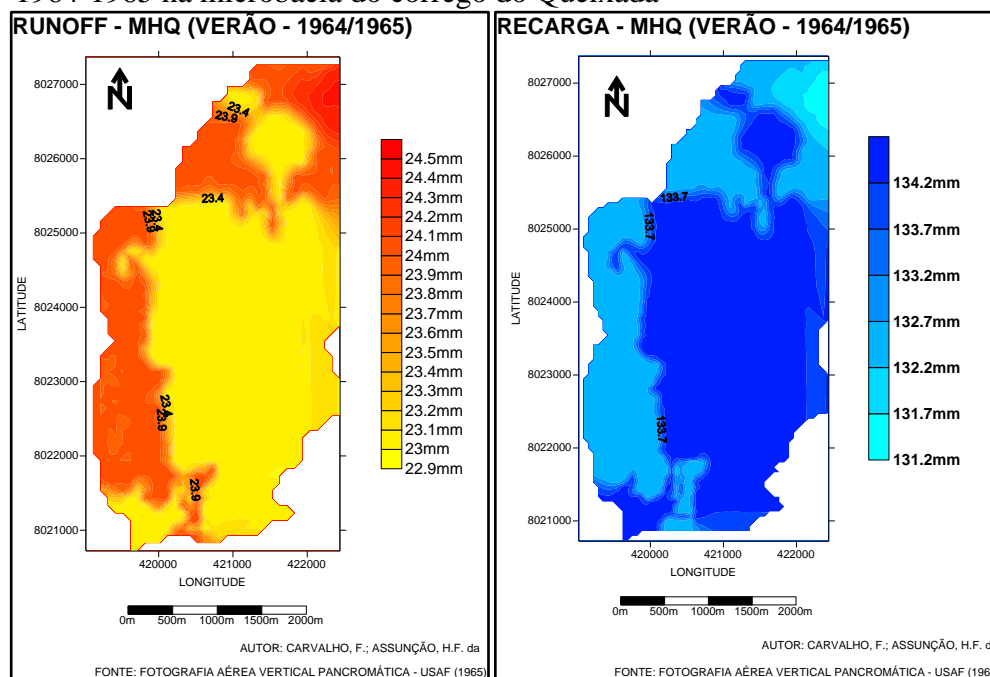
Um aspecto positivo foi o aumento da área de mata do ano de 1965 para 2007, pelo menos do ponto de vista da preservação das nascentes da MHQ e reduto de flora e fauna do Cerrado. Atualmente a área de mata da MHQ encontra-se em fase de implantação do Parque Ecológico Epaminondas Cunha (CARVALHO; SCOPEL, 2010) e representa mais de 27% da área na atualidade da MHQ.

Os dados do escoamento superficial e de recarga d'água subterrânea do uso da terra do ano de 1965 e as analogias com o uso da terra de 2007/2008 serão apresentados a seguir.

O **Mapa 16** apresenta o escoamento superficial e a recarga de água subterrânea média mensal a partir do uso da terra de 1965 para o período do verão do ano de 1964/1965.

Verifica-se que a média mensal do escoamento superficial do período do verão de 1964/1965 variou de 22,9 mm à 24,5 mm (**Mapa 16**), e no uso da terra de 2007/2008 o escoamento superficial do verão de 2009/2010 foi muito superior, com valores que vão da ordem de 193 mm à 214 mm (**Mapa 11**).

**Mapa 16** - Simulações do escoamento superficial e da recarga no verão de 1964-1965 na microbacia do córrego do Queixada



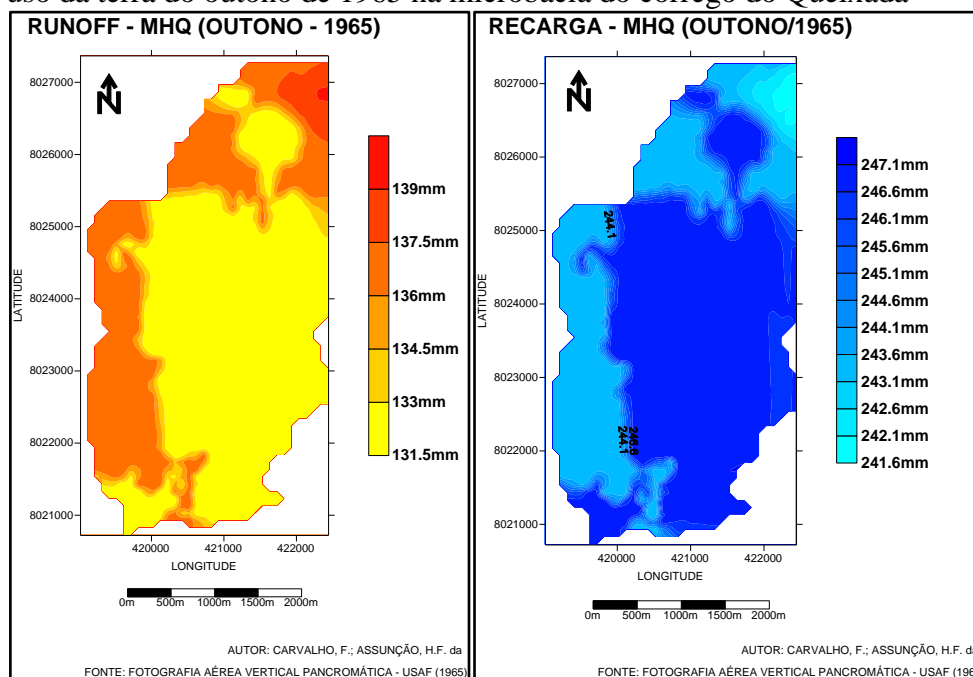
**Fonte** - Carvalho; Assunção (2011)

Uma das explicações para os altos valores de escoamento superficial para o verão de 2009/2010 foi devido à presença do uso da terra ‘urbano’. Já o período do verão de 1964/1965 não apresentou valores de escoamento superficial inferiores aos registrados em 2007/2008, fato atribuído a ausência da área urbana e o predomínio das pastagens, que representa mais de 71% da área do uso da terra de 1965.

A recarga d’ água subterrânea média mensal para o período do verão de 1964/1965 foi bastante uniforme, variando de 131,2-134,7 mm, valores superiores aos registrados no uso da terra dos anos 2007/2008 que foram de 50 a 100 mm, pois uso da terra urbana (25,3% da área) induz ao escoamento superficial e as baixas taxas de recarga que são atribuídas aos menores valores registrados para a recarga do período do verão de 1964/1965, que foi de 50 mm. Os maiores valores de recarga d’ água subterrânea para o uso da terra de 2007/2008 foi atribuída às áreas de mata.

O escoamento superficial e a recarga d’ água subterrânea média mensal para o período do outono de 1965 são apresentados na **Mapa 17**.

**Mapa 17** - Simulações do escoamento superficial e da recarga a partir do uso da terra do outono de 1965 na microbacia do córrego do Queixada



Fonte - Carvalho; Assunção (2011)

O período do outono de 1965 apresentou os maiores valores médio mensais de escoamento superficial e de recarga d'água subterrânea entre todos os períodos simulados para o uso da terra de 1965. Evidentemente que houve um maior escoamento superficial para o período do outono de 2010 se comparado com os dados do outono de 1965. Também, a recarga d'água subterrânea no uso de 1965 apresentou valores muito superiores aos do uso de 2007/2008.

As imensas áreas de pastagem e de matas do uso de 1965 justificam os altos valores de recarga d'água subterrânea e os baixos valores de escoamento superficial. Os altos índices de escoamento superficial para o período do outono de 2010 foi devido a presença da área urbana, o que contribui para o aumento dos picos de vazão máxima nos períodos chuvosos, e outora, os picos de vazão mínima em períodos de seca.

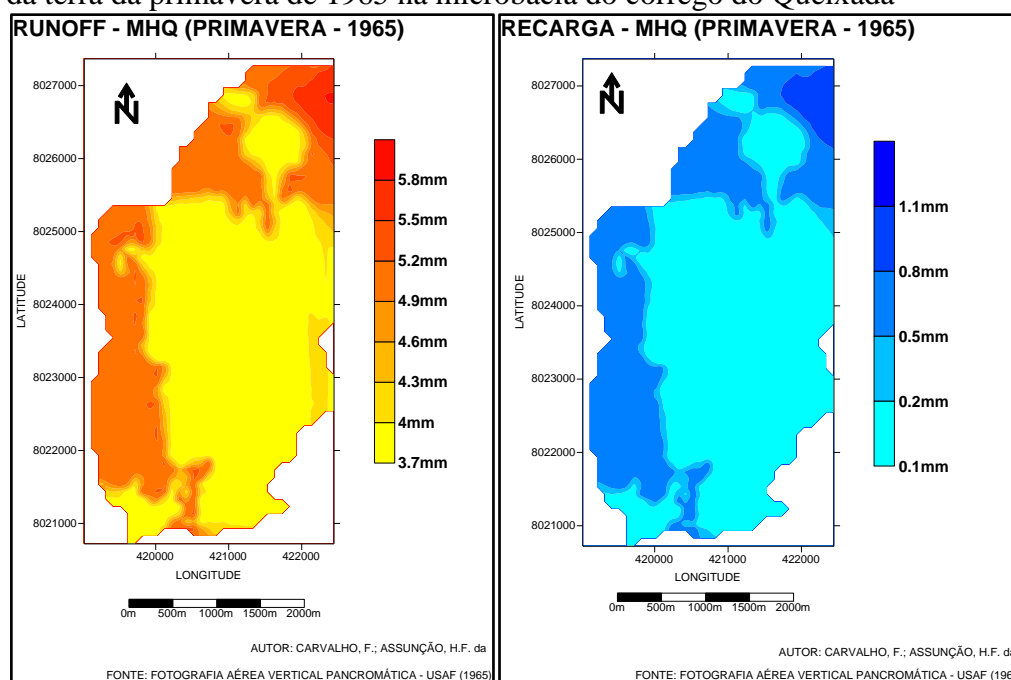
De acordo com o **Mapa 17** em 1965 o escoamento superficial na MHQ variou de 131,5 mm a 140,5 mm e no outono de 2010 variaram 45 mm a 135 mm, mais uma vez evidenciando os altos valores de escoamento superficial que apresenta a área urbana presente na classificação do uso da terra de 2007/2008. A recarga d'água subterrânea de 2007/2008 foi de 50 mm a 105 mm em contraposição aos valores de 1965 que variou de 241,6 mm a mais de 247,1 mm.

Os valores de 45 mm de escoamento superficial detectados no uso da terra de 2007/2008 foram registrados em áreas de mata e os valores de 135 mm foram registrados em áreas urbanas. Da mesma forma, os valores de 50 mm para a recarga d'água subterrânea foram para o período do outono de 2010 conferem a áreas urbanizadas e a recarga de 105 mm as áreas de mata e capoeira.

No **Mapa 18** são apresentados os mapas de escoamento superficial e a recarga de água subterrânea média mensal a partir do uso da terra de 1965 para o período da primavera de 1965.

O escoamento superficial médio mensal da primavera de 1965 apresentou-se menor do que o apresentado no outono de 2010, explicado pela grande área urbana do ano de 2010, sendo que os valores de *runoff* variam de 5-115 mm para o uso de 2007/2008.

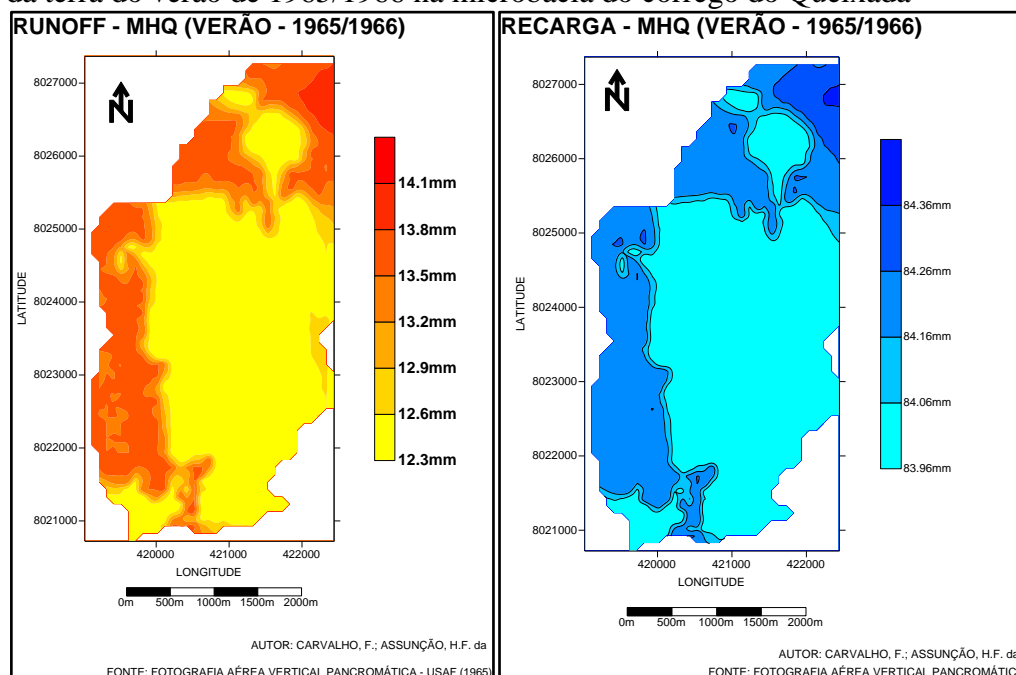
**Mapa 18** - Simulações do escoamento superficial e da recarga a partir do uso da terra da primavera de 1965 na microbacia do córrego do Queixada



**Fonte** - Carvalho; Assunção (2011)

Os valores de escoamento superficial e recarga d'água subterrânea média mensal para o período do verão do ano de 1965/1966 são apresentados no **Mapa 19**.

**Mapa 19** - Simulações do escoamento superficial e da recarga a partir do uso da terra do verão de 1965/1966 na microbacia do córrego do Queixada



**Fonte** - Carvalho; Assunção (2011)

Observa-se que o verão de 2010/2011 apresentou valores de escoamento superficial médio mensal superiores aos apresentados com simulações do uso da terra para o período de 1965/1966. Neste mesmo sentido as recargas d'água foram distintas, sendo que no verão de 1965/1966 as recargas variaram entorno de 84 mm no centro da MHQ e os maiores valores de recarga para o verão de 2010/2011 foram próximos a 35 mm.

A partir das análises da capacidade de armazenamento de água pelos usos da terra de 1965 e 2007/2008, verifica-se que a MHQ perdeu em relação ao ano de 1965 uma capacidade de armazenamento (CAD) hídrico de 73.963.427 m<sup>3</sup>, sendo que a CAD em 1965 é de 249.587.728 m<sup>3</sup> e na atualidade é de 175.624.355 m<sup>3</sup>.

Esta redução na capacidade de armazenamento de água se deve as alterações do uso e ocupação da terra. Um dos principais aspectos negativos da mudança do uso da terra foi o aparecimento do uso urbano que induz ao escoamento superficial e reduz a recarga d'água subterrânea. A expansão da área urbana sobre a MHQ em 2007/2008 representava 25% do total da área da bacia e isto implica na impermeabilização do solo o que induz ao escoamento superficial o que se poderá provocar erosão e impede a recarga das águas subterrâneas.



A gestão dos recursos hídricos deve ser direcionada as águas superficiais e subterrâneas evitando problemas de abastecimento. Práticas de gestão devem ser implantadas como a recarga artificial dos aquíferos e a descontaminação dos aquíferos (GOIÁS, 2006). Há necessidade de medidas de controle da poluição das águas subterrâneas devido às fossas sépticas, sumidouros e postos de gasolina.

De acordo com Carvalho (2005), os bairros da cidade de Jataí (GO) presentes na área urbana da MHQ não eram providos de redes de esgoto que fossem interligadas com a Estação de Tratamento de Esgoto da cidade, sendo todo o esgoto destinado a fossas sépticas e sumidouros.

Há necessidade de criação do Parque Ecológico Epaminondas Cunha sendo uma área de preservação permanente que será transformada em uma unidade, dando continuidade à expansão da Mata do Queixada e que impeça a expansão urbana na MHQ, fazendo com haja a manutenção do fluxo hidrológico na MHQ. Neste sentido, também, de acordo com a legislação, devem ser respeitados os limites das matas ciliares da MHQ, e que para que isso ocorra, deve ser destinados métodos de fiscalização e cumprimento da legislação ambiental (CARVALHO; SCOPEL, 2010).

Essas ações de preservação das características naturais da MHQ podem ser iniciadas com programas de educação ambiental para os proprietários de terra e da comunidade em geral.

O consumo da água subterrânea deve ser controlado e a utilização de agrotóxicos nas áreas agrícolas deve ser consciente em relação aos poluentes. É preciso mecanismo que não deixem que o fluxo de água proveniente da área urbana não provoque erosões possa provocar inundações em áreas à jusante da microbacia. Necessita-se de estudos que avaliem a contaminação que a microbacia recebe provenientes das atividades antrópicas nas áreas rurais e urbanas.

O uso de defensivos agrícolas deve ser consciente e se possível evitado para a preservação da água, necessária a manutenção do ecossistema natural da MHQ. As áreas de nascentes precisam ser totalmente protegidas e no caso da MHQ o fato da BR-158 cortar os divisores de água norte e prejudicar a recarga d'água subterrânea (**Mapa 2**). A maior área de pastagens no anos de 1965 determina maior recarga d'água se comparado ao ano de 2007/2008.

Com o crescente processo de urbanização da MHQ, sua capacidade de armazenamento poder-se-á reduzir e aumento os processos de escoamento superficial e o, conseqüentes, processos de erosão, de assoreamento, de enchentes e de inundações.

## 5 CONCLUSÕES

Considerando-se o período analisado de novembro de 2009 a outubro de 2010, relativo a uma precipitação total de 1430,3 mm e a partir das observações, dos resultados e das discussões apresentadas, concluí-se que as partições pluviométricas tiveram o seguinte comportamento em relação às fitofisionomias analisadas e à sazonalidade:

As análises de variância, ao nível de 5% de probabilidade, mostraram que no período do verão e do outono não houve diferenças significativas entre as três fitofisionomias (cerrado, cerradão e mata ciliar) para as partições pluviométricas PI, PE, AI e I;

No período do inverno a PI foi maior no cerrado e no cerradão em relação à mata ciliar, provavelmente devido à menor interceptação do dossel destas duas fitofisionomias, elevando os valores de PI;

No inverno, a I e a PE não foram diferentes estatisticamente em relação as três fitofisionomias. No entanto, a AI no inverno foi menor na fitofisionomia mata ciliar em relação ao cerrado, provavelmente, devido ao maior escoamento superficial no cerrado, uma vez que a AI é deduzida a partir da PE e supõe-se que o dossel da mata ciliar absorva um maior volume de água;

No período da primavera, a I no cerrado foi menor do que no cerradão e na mata ciliar, provavelmente, devido à menor área foliar do dossel;

As médias das partições pluviométricas das três fitofisionomias no período total considerado foram de: 76% para a PI, 25,6% para a I, 24,3% para a PE e de 51,6% para a AI. No caso específico da AI, torna-se importante caracterizar, além do tipo e densidade de vegetação, o evento pluviométrico, ou seja, a intensidade de cada chuva, pois, o escoamento superficial é dependente desta condição e da capacidade de infiltração de água no solo;

Tornou-se evidente que a recarga d'água subterrânea esteve atrelada em 86% à PE e que apenas 39% da vazão foram explicadas pelo escoamento superficial.

O avanço da área urbana na MHQ alterou o sistema hidrológico natural como demonstrado, provocando impactos consideráveis no escoamento superficial e recarga d'água subterrânea. Assim, em 2007/2008 houve um aumento percentual do escoamento superficial de 6,5, em relação ao uso classificado de 1965. Já em relação à recarga d'água subterrânea houve

uma redução menor, de 1,8 %, uma vez que o aumento da área de mata compensou, em parte, a expansão da área urbana.

Da mesma forma como os processos de escoamento superficial e recarga d'água subterrânea são alterados, os processos, como a evapotranspiração, também são alterados. O elevado coeficiente de impermeabilização do solo urbano aumenta os picos de vazão no período chuvoso, provocando enchentes e inundações e, em épocas estiagem, a vazão média reduz-se.

Por outro lado, verifica-se que o abastecimento das águas subterrâneas foi prejudicado, comprometendo o funcionamento hidrológico natural.

Com relação ao uso da terra, verifica-se que em 1965 as áreas de mata constituíam 20,8% e em 2007/2008 aumentaram para 27,7% da área da MHQ. As áreas de lavoura aumentaram de 3,6% em 1965 para 22,5% em 2007/2008. As áreas de pastagem foram reduzidas de 71,3% em 1965 para 13,1% em 2007/2008.

O aumento da área urbana foi de 25,3%, uma vez que na MHQ não havia área urbana em 1965. Uma das conseqüências disso foram um maior escoamento superficial, um potencial maior de ocorrência de processos erosivos e uma alteração importante no fluxo fluvial da microbacia.

Conforme demonstrado, os usos da terra que mais contribuíram para o escoamento superficial na MHQ foram: a área urbana e, em menor monta a cascalheira, a capoeira, a lavoura, a pastagem e a mata. Portanto, a área urbana foi a que apresentou a menor contribuição para a recarga d'água subterrânea na microbacia.

Assim, demonstra-se que o processo de urbanização comprometeu o fluxo hidrológico na MHQ, devendo ser readequado para aumentar a capacidade de infiltração de água no solo e reduzir o prejuízo ambiental.

Estes dados evidenciam que o processo de urbanização deve ser readequado para que haja possibilidade de infiltração de águas pluviais neste uso específico que corresponde a 25,3% de toda a área da MHQ. O avanço da urbanização compromete o fluxo hidrológico da MHQ e todo o ecossistema poder-se-á ser afetado.

A implantação das áreas de mata na MHQ proporcionara maior qualidade ambiental e regularização do fluxo hídrico da MHQ, sendo também necessário o controle das águas pluviais oriundas do uso urbano, esta que se não bem drenada poderá provocar desequilíbrios ambientais, como erosões, inundações e assoreamento dos cursos d'água.

A preservação da Mata do Córrego do Queixada deve ser mantida com a criação de uma unidade de conservação da natureza e o avanço da área urbana comprometerá os processos benéficos a natureza de escoamento superficial e recarga d'água subterrânea. O uso de agrotóxicos na MHQ deve ser precedido de estudos que visem minimizar os impactos ao ecossistema e as edificações presentes na MHQ devem ser avaliadas para o favorecimento da recarga d'água subterrânea e um adequado escoamento superficial. Este fato é de suma importância, pois as nascentes principais do córrego do Queixada encontram-se em áreas que estão ocorrendo avanço das áreas de mata, lembrando que o Código Florestal brasileiro determina que estas áreas sejam de preservação permanente (APP).

## 6 REFERÊNCIAS

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. de; ROCHA, P.A.B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, mar.-abr., v. 27, n.002, p.257-262, 2003. Disponível em: <<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/488/48827214.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2010.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper**. 1998. Nº 56. Disponível em: <<http://www.kimberly.uidaho.edu/ref-et/fao56.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2011.

ALLEY, W.M. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, Reston-VA, v.23, p.1100-1109, 1984.

ARAUJO, P.R. de; PINESE, J.P.P. **Planejamento ambiental em microbacias hidrográficas**: aplicação de uma matriz de impacto ambiental na microbacia hidrográfica do Ribeirão Lindóia, zona norte de Londrina - PR. Programa de Mestrado: Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento. Universidade Estadual de Londrina. s/d. Disponível em: <<http://www.fag.edu.br/professores/praraujo/EAIA/Planejamento%20ambiental%20em%20microbacias%20hidrograficas.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2011.

ASSUNÇÃO H.F.; SCOPEL I.; SANTOS W.B. Caracterização espacial do clima no município de Jataí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, 1999, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. Editado em CD-ROM.

BARRETO, G.B.; GODOY, H. Correlação entre dados de evaporação e outros dados meteorológicos. **Bragantia**, Campinas-SP, Vol.20, Fev., 1961, p.V-IX, nota nº2. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v20nunico/51.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2011.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Presidência da República. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm)>. Acesso em: 12 abr. 2011.

BRASIL. **Lei nº 4.771**, de 15 de setembro de 1965. Casa Civil. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm)>. Acesso em: 14 jun. 2011.

BACCARO, C.A.D. Processos Erosivos no Domínio do Cerrado. *In*: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. da; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

BOTELHO, R.G.M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. *In*: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. da; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, Holanda, nº55, p.3-23, 1982. Disponível em:  
<<http://www.google.com.br/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fcoweeta.uga.edu%2Fpublications%2F2117.pdf&rct=j&q=A%20REVIEW%20OF%20CATCHMENT%20EXPERIMENTS%20TO%20DETERMINE%20THE%20EFFECT%20OF%20VEGETATION%20CHANGES%20ON%20WATER%20YIELD%20AND%20EVAPOTRANSPIRATION&ei=z2SsTaeWIZStgQeSmPnzBQ&usg=AFQjCNGXuo1V-IHV44x6h8gDhgNF7pMCXA&cad=rja>>. Acesso em: 18 abr. 2011.

CAICEDO, N.L. Água subterrânea. *In*: Tucci, C.E.M; Silveira, A.L.L da [*et al.*] (Orgs.) **Hidrologia**: Ciência e aplicação. 4.ed.; 1.reimpr. - Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2009.

CAMARGO, A.P. de; CAMARGO, M.B.P. de Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas-SP, 59(2), 125-137, 2000. Disponível em:  
<<http://www.scielo.br/pdf/brag/v59n2/a02v59n2.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2011.

CARVALHO, F.; GÖRGEN, L. **Os processos de tratamento de efluentes líquidos e análise da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Jataí - GO**. Monografia de Graduação. Jataí - GO: Universidade Federal de Goiás - UFG, 2005.

CARVALHO, F.; SCOPEL, I. Reflexões sobre a expansão urbana em Jataí - GO e a necessidade de criação do Parque Ecológico das Nascentes da Mata do Córrego do Queixada. *In*: Encontro Nacional de Geógrafos: Crise, práxis e autonomia: espaços de resistência e de esperanças. XVI. 2010, Porto Alegre. **Anais ...**, UFRGS, 2010. Disponível em:  
<[www.agb.org.br/evento/download.php?idTrabalho=486](http://www.agb.org.br/evento/download.php?idTrabalho=486)>. Acesso em: 15 mar. 2011.

CHEVALLIER, P. Aquisição e processamento de dados. *In*: Tucci, C.E.M; Silveira, A.L.L da [*et al.*] (Orgs.) **Hidrologia**: Ciência e aplicação. 4.ed.; 1 reimpr. - Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. rev. e ampl. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1980.

CONTI, J.B.; FURLAN, S.A. Geocologia: O clima, os solos e a biota. In: Ross, J.L.S (Org.) **Geografia do Brasil**. São Paulo: Edusp, 2003.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L.B. **Water**: in environmental planning. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1972.

ECOLNEWS. **Agenda 21**. Disponível em: <<http://www.ecolnews.com.br/agenda21/>>. Acesso em: 25 abr. 2011.

FERREIRA, S.J.F; LUIZÃO, F.J.; DALLAROSA, R.L.G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, vol.35 (1), p.55-62. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aa/v35n1/v35n1a08.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2011.

FETTER, Jr., C.W. **Historical Knowledge of Ground Water**. 2001. Disponível em: <http://www.appliedhydrogeology.info/>. Acesso em: 19 abr. 2011.

GARCEZ, L.N.; ALVAREZ, G.A. **Hidrologia**. 2 ed. rev. e atual. São Paulo: Edgard Blücher, 1988.

GASPAR, M.T.P. **Sistema Aquífero Urucuia**: caracterização regional e proposta de gestão. Tese de Doutorado n°76. Brasília-DF: Universidade de Brasília - Instituto de Geociências - UNB, 2006.

GOIÁS (ESTADO). **Hidrogeologia do Estado de Goiás**. Secretaria de Indústria e Comércio: Superintendência de Geologia e Mineração. Goiânia, 2006. Disponível em: <[http://www.sieg.go.gov.br/downloads/Livro\\_Hidrogeologia.pdf](http://www.sieg.go.gov.br/downloads/Livro_Hidrogeologia.pdf)>. Acesso em: 18 mai. 2011.

GUERRA, A.J.T. Encostas e a Questão Ambiental. In: Cunha, S.B. da; GUERRA, A.J.T. (Orgs.). **A questão ambiental**: diferentes abordagens. - 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.



HODNETT, M.G.; PIMENTEL da SILVA, L.; da ROCHA, H.R.; CRUZ SENNA, R. Seasonal soil water storage changes beneath central Amazonian rainforest and pasture. **Journal of Hydrology**: Tucson-Arizona-EUA, n°170, p.233-254, 1995. Disponível em: [http://www.google.com.br/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2F002216949402672X&rct=j&q=Seasonal%20soil%20water%20storage%20changes%20beneath%20central%20Amazonian%20rainfo-rest%20and%20pasture&ei=nkGsTcjhBMORgQe7\\_4z0BQ&usg=AFQjCNENHMedlVW7GI2ZxQtFuQertys8nw&cad=rja](http://www.google.com.br/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url=http%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2F002216949402672X&rct=j&q=Seasonal%20soil%20water%20storage%20changes%20beneath%20central%20Amazonian%20rainfo-rest%20and%20pasture&ei=nkGsTcjhBMORgQe7_4z0BQ&usg=AFQjCNENHMedlVW7GI2ZxQtFuQertys8nw&cad=rja). Acesso em: 18 abr. 2011.

HURTADO, A.L.B.; CICHOTA, R.; VAN LIER, Q. de J. Parametrização do método do perfil instantâneo para a determinação da condutividade hidráulica do solo em experimentos com evaporação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**: Viçosa, 29:301-307, 2005. Disponível em: <[www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n2/24167.pdf](http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n2/24167.pdf)>. Acesso em: 27 jan. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **IBGE - Cidades@**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 23 set. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo 2010**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/censo2010/dados\\_divulgados/index.php?uf=52](http://www.ibge.gov.br/censo2010/dados_divulgados/index.php?uf=52)>. Acesso em: 23 mar. 2011.

LANNA, A.E. Gestão dos recursos hídricos. *In*: Tucci, C.E.M; Silveira, A.L.L da [et al.] (Orgs.) **Hidrologia**: Ciência e aplicação. 4.ed.; 1ª.reimpr. - Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2009.

LIMA, P.R.de A.; LEOPOLDO, P.R. Interceptação de chuva por mata ciliar na região central do Estado de São Paulo. **Energia na Agricultura**, Botucatu-SP, v.14, n.3, p.25-33, 1999.

LIMA, W. P. **Precipitação**. Notas de aula: Piracicaba-SP, 2000.

MARTINS, A.P. **Microbacia do ribeirão Cachoeira de Cima, Itapagipe (MG)**: Avaliação ambiental integrada e alternativas de uso. Dissertação de Mestrado. Uberlândia-MG: Universidade Federal de Uberlândia - UFU, 2009.

MELLO, C.R. de; LIMA, J.M. de; SILVA, A.M. da; LOPES, D. Abstração inicial da precipitação em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. **Revista Brasileira de Engenharia**

**ria Agrícola e Ambiental.** Campina Grande-PB, DEAg/UFCG, V.7, n.3, p.494-500, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v7n3/v7n3a15.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2011.

MORAGAS, W.M. **Análise dos sistemas ambientais do alto Rio Claro - Sudoeste de Goiás:** contribuição ao planejamento e gestão. Rio Claro - SP: Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2005.

NASCIMENTO, W.M. do; VILLAÇA, M.G. Microbacias hidrográficas: planejamento e gerenciamento. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros - Seção Três Lagoas - MS**, n°7, mai, p.102-121, 2008. Disponível em: <[http://www.ceul.ufms.br/revista-geo/Art507\\_W.Nascimento\\_M.Vila%E7a.pdf](http://www.ceul.ufms.br/revista-geo/Art507_W.Nascimento_M.Vila%E7a.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2011.

NIMER, E.; BRANDÃO, A.M.P.M. (Coords). **Balço hídrico e clima da região dos Cerrados.** Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

OLIVEIRA, L.L. de; COSTA, R.F.; SOUSA, F.A.S.; COSTA, A.C.L.; BRAGA, A.P. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, n.4, p.723-732, 2008.

OLIVEIRA, M.A.T. de Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. *In:* GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. da; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos:** conceitos, temas e aplicações. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

ONozAWA, Y.; CHIWA, M.; KOMATSU, H.; OTSUKI, K. Rainfall interception in a moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forest. **The Japanese Forest Society and Springer**, 2009, 14: 111-116. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/w42384781p93h115/>>. Acesso em: 17 mai. 2011.

PORTO, R.L.; ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C.E.M.; BIDONE, F. Drenagem urbana. *In:* Tucci, C.E.M; Silveira, A.L.L da [*et al.*] (Orgs.) **Hidrologia:** Ciência e aplicação. 4.ed.; 1ª.reimpr. - Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2009.

PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SE. 22 Goiânia:** geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra / Projeto RADAMBRASIL. - (Levantamento de recursos naturais; v. 31) il., mapas. - Rio de Janeiro: O Projeto, 1983.

RAKHMATULLAEV, S.; HUNEAU, F.; KAZBEKOV, J.; LE COUSTOMER, P.; JUMANOV, J.; EL OIFI, B.; MOTELICA-HEINO, M.; HRKAL, Z. Groundwater Resources Use and Management in the Amu Darya River Basin (Central Asia). **Environmental Earth Sciences**, 59, 1183-1193, 2009. Disponível em: [http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/44/29/03/PDF/manuscript\\_text\\_Amu\\_Darya-1.pdf](http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/44/29/03/PDF/manuscript_text_Amu_Darya-1.pdf). Acesso em: 20 mai. 2011.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera**. Barueri-SP: Manole, 2004.

RITTER, M.E. **The Physical Environment**: an Introduction to Physical Geography. 2006. Disponível em: <[http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/title\\_page.html](http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/title_page.html)>. Acesso em: 25 jan. 2011.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas fundamentais para o estudo de microbacias hidrográficas. *In*: Venturi, L.A.B. (Org.) **Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

SEWELL, G.H. **Administração e controle da qualidade ambiental**. Tradução: Gildo Magalhães dos Santos Filho. - São Paulo: EPU: Ed. da Universidade de São Paulo: CETESB, 1978.

SHIVA, V. **Monoculturas da mente**: perspectivas da biodiversidade e da biotecnologia. Tradução: Dinah de Abreu Azevedo. - São Paulo: Gaia, 2003.

SHEEDER, S.A.; ROSS, J.D.; CARLSON, T.N. Dual urban and rural hydrograph signals in three small watersheds. **Journal of the American Water Resources Association** - American Water Resources Association. V.38, n°4, 2002. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1752-1688.2002.tb05543.x/abstract>>. Acesso em: 26 abr. 2011.

SILVEIRA, A.L.L. da Ciclo hidrológico e microbacia hidrográfica. *In*: Tucci, C.E.M; Silveira, A.L.L da [*et al.*] (Orgs.) **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4.ed.; 1ª.reimpr. - Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2009.

SILVEIRA, A.L. da; LOUZADA, J.A.; BELTRAME, L.F. Infiltração e armazenamento no solo. *In*: Tucci, C.E.M; Silveira, A.L.L da [*et al.*] (Orgs.) **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4.ed.; 1ª reimpr. - Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2009.

SHUHLA, J.; NOBRE, C.; SELLERS, P. Amazon deforestation and climate change. **Science**, v.247, n° 4948, p.1322-1325, mar.1990. Disponível em: <http://www.sciencemag.org/content/247/4948/1322.short>>. Acesso em: 14 abr. 2011.

THEIS, C.V. **The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground water storage**. Department of the Interior Geological Survey - Water Resources Division Ground Water Branch. Washington D.C., Ago. 1952. N°5. P.54-62. Disponível em: <http://core.ecu.edu/geology/spruill/spruill/Groundwater%20Notes%20No.%205.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2011.

TOMASELLA, J.; ROSSATO, L. **Balanço hídrico**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2005. Disponível em: [http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris%401915/2005/11.08.13.25/doc/09\\_Balan%e7o\\_h%eddrico.pdf](http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris%401915/2005/11.08.13.25/doc/09_Balan%e7o_h%eddrico.pdf)>. Acesso em: 26 jan. 2011.

TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana. **Ciência e Cultura [online]**. Campinas-SP, 2003, v. 55, n. 4, p. 36-37. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v55n4/a20v55n4.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2011.

\_\_\_\_\_. Escoamento superficial. *In*: Tucci, C.E.M; Silveira, A.L.L da [*et al.*] (Orgs.) **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4.ed.; 1reimpr. - Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2009.

\_\_\_\_\_. Interceptação. *In*: Tucci, C.E.M; Silveira, A.L.L da [*et al.*] (Orgs.) **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4.ed.; 1 reimpr. - Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2009.

\_\_\_\_\_. Regionalização de vazões. *In*: Tucci, C.E.M; Silveira, A.L.L da [*et al.*] (Orgs.) **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4.ed.; 1 reimpr. - Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2009.

\_\_\_\_\_. **Modelos hidrológicos**. 2ª ed. - Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

\_\_\_\_\_; BELTRAME, L. F.S. Evaporação e evapotranspiração. *In*: Tucci, C.E.M; Silveira, A.L.L da [*et al.*] (Orgs.) **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4.ed.; 1 reimpr. - Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2009.

\_\_\_\_\_ ; MENDES, C.A. **Avaliação Ambiental Integrada de Microbacia Hidrográfica**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2006.

TUNDISI, J.G. **Recursos hídricos**. São Carlos-SP: Instituto Internacional de Ecologia, 2003.

Disponível em:

<[http://www.google.com.br/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.multiciencia.unicamp.br%2Fartigos\\_01%2FA3\\_Tundisi\\_port.PDF&rct=j&q=tundi-si&ei=XAm2TaTLPMXqgQez35jmCg&usg=AFQjCNEGywx42vAMKlbla1yDIBCW6FXJkQ&cad=rja](http://www.google.com.br/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.multiciencia.unicamp.br%2Fartigos_01%2FA3_Tundisi_port.PDF&rct=j&q=tundi-si&ei=XAm2TaTLPMXqgQez35jmCg&usg=AFQjCNEGywx42vAMKlbla1yDIBCW6FXJkQ&cad=rja)>. Acesso em: 25 abr. 2011.

TUNDISI, J.G. **Água no Século XXI: enfrentando a escassez**. 2ª ed. São Carlos: RiMa, IIE, 2005.

ZHANG, Z.; DEHOFF, A.D.; PODY, R.D.; BALAY, J.W. Detection of streamflow change in the Susquehanna River Basin. **Water Resour Manage**, v.24, p.1947-1964, nov.2009. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/g283470n7074415u/fulltext.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2011.