

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO GEOGRAFIA E GESTÃO DO
TERRITÓRIO**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES NATURAIS E
ANTRÓPICOS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO ALTO CURSO
DO CÓRREGO TRÊS MARCOS: SUBSÍDIOS PARA GESTÃO
INTEGRADA DAS ÁGUAS SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA**

HÉRICA LEONEL DE PAULA RAMOS OLIVEIRA

**UBERLÂNDIA/MG
2012**

HÉRICA LEONEL DE PAULA RAMOS OLIVEIRA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES NATURAIS E
ANTRÓPICOS NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO ALTO CURSO
DO CÓRREGO TRÊS MARCOS: SUBSÍDIOS PARA GESTÃO
INTEGRADA DAS ÁGUAS SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Geografia.

Área de Concentração: Geografia e Gestão do Território.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Nishiyama.

Uberlândia/MG
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

O48a Oliveira, Hérica Leonel de Paula Ramos, 1974-
2012 Análise da influência dos fatores naturais e antrópicos na
disponibilidade hídrica no alto curso do Córrego Três Marcos:
subsídios para gestão integrada das águas superficial e subterrânea /
Hérica Leonel de Paula Ramos Oliveira. -- 2012.
176 f.: il.

Orientador: Luiz Nishiyama.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Geografia.
Inclui bibliografia.

1. Geografia - Teses. 2. Balanço hidrológico - Teses. 3. Solo -
Uso - Teses. 4. Córrego Três Marcos - Água - Qualidade - Teses. I.
Nishiyama, Luiz. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa
de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1



HÉRICA LEONEL DE PAULA RAMOS OLIVEIRA

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS NA
DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO ALTO CURSO DO CÓRREGO TRÊS
MARCOS: SUBSÍDIOS PARA GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS
SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA

Luiz Nishiyama

Professor(a) Dr. Luiz Nishiyama - UFU

Angela Maria Soares

Professor(a) Dr^a. Ângela Maria Soares – UFTM

Vânia Sílvia Rosolen

Professor(a) Dr. Vânia Sílvia Rosolen - UFU

Data: 06/07 de 2012

Resultado: Aprovada

Aos meus pais, irmãos e irmãs, pois vocês foram os meus primeiros professores, ensinando-me as primeiras lições da vida pautadas em valores como honestidade, caráter e justiça. Ao meu esposo pela paciência e, à grande pessoa, “anja”, que Deus mandou à Terra para fazer a diferença em minha vida.

AGRADECIMENTOS

*“O mundo não é dos inteligentes, mas dos esforçados, que acreditam que não há limites para sonhar!”
Suely Aparecida Gomes Moreira.*

A Deus por me abençoar sempre com coragem para enfrentar os desafios da vida, por me iluminar e por não me deixar desistir diante dos inúmeros obstáculos.

A Nossa Senhora Desatadora dos Nós e Nossa Senhora da Abadia por todas as bênçãos em minha vida. E, pela luz que direciona o meu caminho.

À minha mãe Dolmira, pessoa insubstituível, você é o meu sustento e a minha solidez. Ao meu pai Quintino (em memória), por ter me ensinado que a dignidade do homem é o trabalho.

Aos meus irmãos e irmãs: Jair, Gésio, Valter, Maria, Maria de Lourdes, Maria Irene e Angélica, pelo apoio, incentivo e ajudas em diferentes momentos da minha vida.

Ao meu esposo Milton Ramos de Oliveira, pelo seu companheirismo, pela ajuda nos levantamentos de campo e, também, pelas suas críticas que se transformaram em incentivo e tornaram-me cada vez mais forte e dedicada à realização dos meus objetivos. Valeu!

Ao Prof. Dr. Luiz Nishiyama, pela coragem ao aceitar-me como orientanda e, pela paciência, educação e presteza em todos os momentos. Muito obrigada por apoiar-me disponibilizando materiais, equipamentos e técnicos para os levantamentos de campo.

À minha amiga e eterna orientadora Prof.^a Dr.^a Ângela Maria Soares, pelo crédito, apoio, amizade, sabedoria, confiança e incentivo que me concede sempre. Muitas conquistas seriam inalcançadas sem o seu incentivo e confiança em minha pessoa. Muito obrigada por tudo minha madrinha.

À Prof.^a Dr.^a Suely Regina Del Grossi pelo carinho, apoio, confiança, sabedoria e alegria nos olhos quando me vê conquistando objetivos. Muito obrigada por tudo.

À Prof.^a Dr.^a Vânia Sílvia Rosolen, pela gentileza em aceitar o convite para compor a banca examinadora desta dissertação e pelas contribuições por ocasião da defesa do projeto de pesquisa.

Ao Prof. Dr. Luiz Antonio de Oliveira pelas considerações dadas no Exame de Qualificação.

A Prof.^a Dr^a. Claudete A. Dallevedove Baccaro pelo incentivo.

Ao Gelcimar dos Reis, pela elaboração dos desenhos de figuras contidas neste estudo, bem como, pelo carinho e preocupação.

Ao Marcos Costa e Silva, pela compreensão, carinho, preocupação em todos os momentos e pela dispensa de minha presença em alguns trabalhos para que eu me dedicasse mais a esta dissertação.

À minha grande amiga Denilza Raimunda Mesquita, pelo apoio em todas as horas e a seu filho, Rafael Mesquita, pela orientação dada à elaboração dos gráficos e tabelas.

Ao Josimar Silva e Rafael Tiago, pela assistência técnica na confecção dos mapas e pelo incentivo positivo em todos os momentos.

À querida Ma. Mônica Diene Rodrigues de Oliveira por toda ajuda, companheirismo e incentivo em todos os momentos dessa jornada. Ao seu esposo: Nélio, pela paciência e ajuda no último levantamento de campo.

Ao coordenador do curso de Geografia da Faculdade Católica de Uberlândia - Profº. Me. Giuliano Tostes Novais pela dispensa de minha presença em alguns momentos de trabalho para que eu pudesse me dedicar um pouco mais nesta dissertação.

À Patrícia Maioli pela colaboração na elaboração do *Abstract* deste estudo.

À D. Cleusa Helena pelas palavras de conforto em diversos momentos de incertezas.

Aos meus queridos professores Me. Mauro Mendonça, Dr^a. Suely Gomes, Me. Camacho, Me. Manoel, Ma. Letícia Guimarães, pelos incentivos em diferentes momentos da minha vida.

Ao Max Júnior e à Rosely pela colaboração, amizade e compreensão nos diversos momentos difíceis que passei.

Às amigas de jornada: Thalita Resende, Viviane Andrade, Lorennna Bitencourt, Arlene Rocha, em especial, à Beatriz Florêncio. Vocês foram fontes de motivação e abraço acolhedor.

Ao Valdemiro Paulino de Lima pelo grande apoio nos levantamentos de campo (ensaios de permeabilidade de solo e nas medidas de vazão). E, à Beatriz do Museu de Minerais e Rochas da UFU, pela eficiência, atenção e companheirismo em alguns trabalhos de campo.

À Aline M. Silva pelo companheirismo em alguns trabalhos de campo e pelos incentivos.

À Elaine e seu esposo, por permitir minha entrada na fazenda para mensurações de vazões.

Ao atendimento da Pós-Graduação em Geografia da UFU, especialmente a antiga e atual equipe da secretaria: Dilza, Cynara, João Fernandes e Yara.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos. Foram 11 meses de essencial auxílio para concretização deste estudo.

À Ma. Eleusa de Fátima do Laboratório de Cartografia, pela paciência e presteza sempre.

À equipe do Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos pela disponibilização dos dados climatológicos.

Enfim, a todos que incentivaram e colaboraram para a realização e finalização deste trabalho, pois não existe pesquisa que se faça sem a colaboração e ajuda de terceiros. Não é possível descrever o nome de todos aqui, mas deixo o meu muito obrigado a todos vocês.

Hoje, mais do que nunca, comprehendo a existência de uma força maior...

Embora o Brasil ostente a maior descarga de água doce do mundo nos seus rios, quando estes secarem ou só transportarem esgotos não tratados das nossas cidades, já não será possível produzir alimentos, plantar árvores e o dinheiro do bolso de pouco valerá.

Aldo da Cunha Rebouças, 2004.

RESUMO

A presença da água em nosso planeta é determinante para a existência das condições essenciais para origem e a manutenção da vida sobre sua superfície. O presente estudo buscou a análise do uso e ocupação do solo e a sua influência na disponibilidade hídrica no alto curso do córrego Três Marcos. A escolha do alto curso do córrego Três Marcos deveu-se a sua importância como um manancial de água utilizado para irrigação em pequenas propriedades rurais em sistema de agricultura familiar. Entretanto, parte dessa área é abrangida pelo perímetro urbano de Uberlândia, que tem apresentado um elevado índice de crescimento da ocupação urbana nas últimas décadas, resultando em graves impactos sobre os recursos hídricos. A área estudada localiza-se na porção leste do município de Uberlândia, ocupando uma área de 11.432.442,86 m², a qual é cortada pelas rodovias BR-365, orientada na direção nordeste - sudoeste e pela BR-452. Os procedimentos e métodos operacionais se constituíram na utilização de documentos cartográficos do IBGE e IBC/GERCA, da USAF; pesquisas bibliográficas; levantamentos de campo; mensurações de vazões; balanço hidrológico; levantamento dos fatores geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos da área estudada; ensaios *in situ* para obter coeficiente de permeabilidade (*k*) do solo; mapeamento da ocupação e evolução do uso do solo; mapeamento da área de contribuição. Tais mapeamentos foram desenvolvidos no *software* ArcGis 9.3. A partir dos resultados obtidos, observa-se que os solos analisados possuem relativa permeabilidade e, devido às suas características, principalmente por sua associação aos materiais inconsolidados residuais da formação Marília podem ser considerados de grande desempenho para recarga do aquífero. A maior parte da área da bacia de contribuição possui relevo bastante plano, caracterizado como áreas de recarga dos aquíferos locais e regionais. Nota-se a partir das informações acerca do uso e ocupação do solo, que a área estudada encontra-se intensamente ocupada, sendo que uma parcela significativa já se encontra urbanizada/construída, enquanto que o restante está dividido entre áreas de cultivo de ciclo curto, áreas de pastagem, bacias de infiltração de drenagem pluvial, remanescentes do Cerrado, sítios e outros. Além disso, constata-se que as lagoas de contenção e infiltração das águas pluviais oriundas do bairro Morumbi, implantadas próximas à nascente do córrego Três Marcos, não recebem manutenção adequada, pois há presença de resíduos sólidos em seu interior, bem como rupturas que deram origem à erosão. Considera-se que a área onde foi implantado o bairro Morumbi constitui-se na principal área de recarga da zona freática que alimenta a nascente do córrego Três Marcos, uma vez que seu relevo apresenta a forma característica de suave depressão, o que permite o acúmulo das águas pluviais e sua infiltração. De posse dos resultados da pesquisa espera-se fornecer subsídios para um melhor planejamento do uso de suas águas para o desenvolvimento das atividades econômicas, bem como a disponibilização de informações que permitam aos órgãos governamentais e não governamentais proporem um plano que contemple a avaliação integrada da água superficial e água subterrânea para a área estudada.

Palavras-chave: Água. Balanço hidrológico. Uso e ocupação do solo. Planejamento ambiental. Gestão ambiental.

ABSTRACT

The presence of water on our planet is crucial to the existence of the essential conditions for the origin and maintenance of life on its surface. This study sought to analyze the use and occupation and their influence on water availability in the upper course of the stream Três Marcos. The choice of the upper course of the stream Três Marcos was due to its importance as a source of water used for irrigation on small farms in the system of family farming. However, part of this area falls within the urban area of Uberlândia, which has shown a high growth rate of urban occupation in recent decades, resulting in severe impacts on water resources. The area studied is located in the eastern portion of the city of Uberlândia, occupying an area of 11,432,442.86 square meters, which is cut by highways BR-365, oriented in a northeast-southwest direction and by BR-452. The operational procedures and methods constituted on the use of cartographic documents from IBGE and IBC / GERCA, from USAF; literature researches; field surveys; streamflow measurement; water balance; survey of geological geomorphological and hydrogeological factors of the studied area; trials *in situ* to obtain the permeability coefficient (k) of the soil; mapping of the occupation and evolution of the use of soil; mapping the area of contribution. These mappings were developed in the software ArcGis 9.3. From the results obtained, it is observed that the soils analyzed have relative permeability and, due to their characteristics, mainly because of its association with residual unconsolidated materials of Marilia formation, can be considered of great performance for aquifer recharge. Most of the watershed area of contribution is very flat topography, characterized as recharge areas of local and regional aquifers. It is denoted from the information about the use and occupation of the soil that the studied area is intensely occupied, with a significant portion already urbanized / built, while the remaining area is divided between areas of short-cycle cultivation, grazing areas, watershed formed by pluvial infiltration, remnants of Cerrado, small farms and other. Furthermore, it concludes that the containment ponds and infiltration of pluvial water coming from the Morumbi neighborhood, which are established near the headwaters of the stream Três Marcos, do not receive proper maintenance, as there is presence of solid waste within, and disruptions that have led to erosion. It is considered that the area where it was developed in the Morumbi neighborhood constitutes in the main recharge area of groundwater zone that feeds the headwaters of the stream Três Marcos, once its topography shows the characteristic form of mild depression, which allows accumulation of pluvial water and its infiltration. With the results of the research is expected to provide subsidy for better planning of the use of its waters for the development of economic activities as well as the provision of information to government and non-governmental agencies to propose a plan that comprehends the integrated assessment of surface water and groundwater in the studied area.

Keywords: Water. Hydrological balance. Use and occupation of the soil. Environmental planning. Environmental management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa de localização da área de estudo e da bacia do córrego Três Marcos – Uberlândia-MG.	29
Figura 02 – Vista frontal da Escola da Tenda na bacia hidrográfica do córrego Tenda na década de 1846 – proximidades da área de estudo.	31
Figura 03 – Plantação de soja na área de estudo (2012).	33
Figura 04 – Plantação de tomate na bacia do córrego Três Marcos a jusante da área de estudo (2012).	33
Figura 05 – Plantação de banana e chuchu na bacia do córrego Olhos D’Água – a jusante da área de estudo (2011).	34
Figura 06 – Empresa localizada na área de estudo (2011).	34
Figura 07 – Clube de recreação e lazer na área de estudo (2011).	35
Figura 08 – Vista parcial de ruas do bairro Morumbi em 2011 – Uberlândia-MG.	35
Figura 09 – Mapa de localização dos tanques para infiltração das águas pluviais provenientes do bairro Morumbi – Uberlândia-MG.	36
Figura 10 – Mapa hipsométrico da área de estudo.	39
Figura 11 – Mapa de declividade da área estudada.	41
Figura 12 – Plantação de soja sobre o Latossolo Vermelho-Amarelo - margem esquerda do córrego Três Marcos dentro da área estudada (2011).	44
Figura 13 – Gleissolo na área estudada (2011).	45
Figura 14 – Cambissolo com camada com hidromorfismo e linha de seixos – margem esquerda do córrego Três Marcos (2011).	46
Figura 15 – Voçoroca existente na área de estudo – beira de um dos afluentes da margem esquerda do córrego Três Marcos (2011).	46

Figura 16 – Cambissolo háplico Tb Distrófico plíntico – voçoroca próxima à cabeceira do córrego Três Marcos (2011).	47
Figura 17 – Resíduos sólidos domésticos depositados na voçoroca à beira de um dos afluentes da margem esquerda do córrego Três Marcos (2011).	48
Figura 18 – Mata de Galeria e Cerrado <i>Stricto sensu</i> ; Vereda/Mata de Galeria – área estudada (2011).	49
Figura 19 – Empresa de Logística (Zona Urbana) e Propriedade rural (Zona Rural) – área estudada (2011).	50
Figura 20 – Ciclo hidrológico.	55
Figura 21 – Pluviômetro.	59
Figura 22 – Componentes da interceptação.	60
Figura 23 – Componentes do solo e arranjo espacial das partículas que controlam o tempo de viagem da água no solo.	64
Figura 24 – Distribuição da água no solo.	65
Figura 25 – Aquífero artesiano (formação geológica que contém água sobre pressão) e aquífero livre.	68
Figura 26 – Distribuição Global de Água.	71
Figura 27 – Bacia Hidrográfica.	73
Figura 28 – Ponto P1 – Determinação da vazão em trecho de 10 metros pelo método do flutuador (2011)	79
Figura 29 – Esquema da medição de vazão por flutuador	80
Figura 30 – Ilustração da medição da profundidade do canal superficial pelo método do flutuador.	81
Figura 31 – Modelo de um vertedor triangular com soleira delgada em ângulo de 90º.	83
Figura 32 – Ponto P2 – Determinação de vazão pelo método do vertedor triangular (2011).	83

Figura 33 – Processo de medição de vazão com o método volumétrico.	84
Figura 34 – Ponto P3 – local onde foram realizadas as determinações de vazão pelo método volumétrico (método do vasilhame) (2011).	85
Figura 35 – Ponto P3 – local onde foi realizada a determinação de vazão pelo método volumétrico (método do vasilhame) – Cano de PVC e Roda d’água (2011).	85
Figura 36 – Ponto P4 – local escolhido para determinação de vazão (travessia) – método da tubulação (2011).	86
Figura 37 – Esquema do Permeâmetro Guelph.	91
Figura 38 – Tela inicial do programa BH.xls.	95
Figura 39 – Mapa de localização dos pontos de ensaios de permeabilidade – bacia de contribuição da nascente do córrego Três Marcos – Uberlândia-MG.	99
Figura 40 – Representação gráfica dos coeficientes de permeabilidade do solo da área estudada.	102
Figura 41 – Localização dos pontos de determinação da vazão.	104
Figura 42 – Resultados de medidas de vazão na bacia do alto curso do córrego Três Marcos – Uberlândia-MG.	106
Figura 43 – Resultados de medidas de vazão – Variabilidade da vazão nos pontos de amostragem – área de estudo.	106
Figura 44 – Modelo hidrológico.	107
Figura 45 – Gráfico das precipitações dos meses que compõem o período de coleta de Vazões.	109
Figura 46 – Gráfico das precipitações totais anuais entre 1981 e 2011 em Uberlândia-MG.	111
Figura 47 - Gráfico das temperaturas médias dos meses que compõem o período de coleta de vazões.	113

Figura 48 – Gráfico das temperaturas médias anuais entre 1981 e 2011 em Uberlândia-MG.	115
Figura 49 – Gráfico das temperaturas médias mensais entre janeiro de 1981 a março 2012 em Uberlândia-MG.	117
Figura 50 – Relação entre precipitações e temperaturas – período de janeiro de 1981 a março de 2012.	117
Figura 51 – Relação entre precipitação e evapotranspiração na bacia do alto curso do córrego Três Marcos – período de coleta de vazões.	118
Figura 52 – Precipitação Média Mensal x Deflúvio Mensal na bacia do alto curso do córrego Três Marcos.	120
Figura 53 – Balanço hidrológico da bacia do alto curso do córrego Três Marcos.	121
Figura 54 – Deficiência, Excedente, Retirada e Reposição Hídrica ao longo do período de coletas de vazão.	123
Figura 55 – Totais de Deficiência, Excedente, Retirada e Reposição Hídrica ao longo do período de janeiro de 1981 a março de 2012.	123
Figura 56 – Mapa litológico da área de estudo e do seu entorno.	125
Figura 57 – Materiais rudáceos presentes na área estudada (2011).	126
Figura 58 – Afloramento do basalto da Formação Serra Geral à jusante da área estudada – 1 ^a cachoeira do córrego Três Marcos (2011).	127
Figura 59 – Perfil geológico da área de influência da bacia do alto curso do córrego Três Marcos – Uberlândia-MG.	128
Figura 60 – Mapa da bacia de contribuição da nascente do córrego Três Marcos – 2011.	130
Figura 61 – Mapa de localização das nascentes inseridas na unidade formação Marília – Uberlândia-MG.	133

Figura 62- Mapa com pontos de captações subterrâneas outorgadas (Poços Tubulares) localizados na área de estudo.	136
Figura 63 – Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do alto curso do córrego Três Marcos em 1964.	140
Figura 64 – Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do alto curso do córrego Três Marcos em 1979.	142
Figura 65 – Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do alto curso do córrego Três Marcos em 2002	145
Figura 66 – Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do alto curso do córrego Três Marcos em 2010.	146
Figura 67 – Cerrado em regeneração em áreas de pastagem abandonadas (2011).	147
Figura 68 – Plantação de soja na vertente esquerda do córrego Três Marcos (2011).	148
Figura 69 – Mata de Galeria e Vereda no córrego Três Marcos e Erosão existente na área de estudo, nas proximidades do córrego Três Marcos (2011).	149
Figura 70 – Empresas inseridas após 2002 ocupando áreas que foram acrescentadas na classe: Áreas Construídas/Urbanizadas de 2010 (2011).	150
Figura 71 – Vista parcial do Anel Viário Ayrton Senna nas proximidades do córrego Três Marcos (2011).	150
Figura 72 – Distribuição do uso e ocupação do solo do alto curso do córrego Três Marcos em Uberlândia-MG, em 1964, 1979, 2002 e 2010.	152
Figura 73 – Vista parcial de um dos tanques de contenção/infiltração com detalhe de alguns resíduos – cabeceira do córrego Três Marcos (2011).	154
Figura 74 – Vista parcial da voçoroca formada em um dos tanques de infiltração na cabeceira do córrego Três Marcos (2011).	155

Figura 75 – Vista parcial da mesma voçoroca na época de entulhamento – outubro de 2011. 155

Figura 76 – Vista parcial da mesma voçoroca – após fortes chuvas – dezembro de 2011. 156

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Classes altimétricas da área estudada.	38
Tabela 02 – Classes de declive da área estudada.	40
Tabela 03 – Dados para o parâmetro α .	93
Tabela 04 – Resultados dos ensaios de solo em campo com o Permeâmetro Guelph.	98
Tabela 05 – Medidas de vazão – alto curso do córrego Três Marcos – Uberlândia-MG.	105
Tabela 06 – Valores do total das precipitações – período de campanhas de dados de vazão.	108
Tabela 07 – Totais de precipitações mensais e anuais (mm) em Uberlândia-MG – 1981 a 2011.	110
Tabela 08 – Valores das temperaturas médias mensais – período de campanhas de dados de vazão.	113
Tabela 09 – Temperaturas médias mensais e anuais em Uberlândia-MG – jan/1981 a mar/2012.	114
Tabela 10 – Valores de ETP – período de campanhas de dados de vazão.	118
Tabela 11 – Valores de vazão e deflúvio.	119
Tabela 12 – Valores para o cálculo do balanço hidrológico na bacia do alto curso do córrego Três Marcos.	121
Tabela 13 – Usos de recurso hídrico outorgados na área estudada.	134
Tabela 14 – Uso e ocupação do solo da bacia do alto curso do córrego Três Marcos nos anos de 1964, 1979, 2002 e 2010.	138

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS e SÍMBOLOS

% – Porcentagem

A – O expoente a é função de I

Ac – Armazenamento nas copas

ALT – Alteração do armazenamento

ANA – Agência Nacional de Águas

ARM – Armazenamento de água no solo

At – Atravessamento das copas

BHC – Balanço Hídrico Climatológico

CAD – Capacidade de Água Disponível

CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica

CD – Condensação

CEASA – Central de Abastecimento de Uberlândia S/A

CEEIBH – Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas

cm/s – Centímetro por segundo

CNAEE – Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais de Minas Gerais

Cwa – Clima Tropical

DAC – Declaração de Área de Conflito

DEF – Deficiência Hídrica

DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia

DNAE – Departamento Nacional de Águas e Energia

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESp – Escoamento superficial

ESs – Escoamento subsuperficial

ET – Evapotranspiração

ETP – Evapotranspiração potencial

ETR – Evapotranspiração real

Ev – Evaporação

EXC – Excedente Hídrico

Ft – Fluxo nos troncos

GPS – *Global Position System* (Sistema de Posição Global)

H – Hidrogênio

H₂O – Água

ha – Hectare

I – Índice que expressa o nível de calor disponível na região

I – Infiltração

I e a – Índices de calor obtidos a partir de dados normais da região

IB – Infiltração Básica

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

IBC – Instituto Brasileiro do Café

IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGA – Instituto de Geociências Aplicadas

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

It – Interceptação pela vegetação

J (Joule) – Unidade de calor gerado

K – Coeficiente de Permeabilidade

Km – Quilômetro

m – Metro

m² – Metro quadrado

m³/h – Metro cúbico por hora

m³/s – Metro cúbico por segundo

MG – Minas Gerais

mm – Milímetro

mm.h – Milímetro por hora

N – Fotoperíodo

NDA – Número de dias acumulados

NEG-AC – Negativo acumulado;

NF – Nível freático

O – Oxigênio

°C – Grau Celsius ou Centígrado

P – Precipitação

PADAP – Programa de Assentamento Dirigido ao Alto Paranaíba

PCI – Programa de Crédito Integrado

PDRH – Planos Diretores de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas

PNMH – Programa Nacional de Microbacias Hidráulicas

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

POLOCENTRO – Programa de Desenvolvimento dos Cerrados

PRODECER – Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados

PVC – Policloreto de Vinila

Q – Vazão

SEMA – Secretaria Especial do Meio Ambiente

SGB – Serviço Geológico do Brasil

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos

SUDEPE – Superintendência do Desenvolvimento da Pesca

SUDHEVEA – Superintendência do Desenvolvimento da Borracha

T – Temperatura

UFLA – Universidade Federal de Lavras

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

UNAMA – Universidade da Amazônia

USAF – *United States Air Force*

Vt – Volume Total

ZR2 – Zona Residencial

ZT – Zona de Transição

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	28
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	51
3.1 Importância da água	51
3.2 Hidrologia e o Ciclo Hidrológico	53
3.2.1 A precipitação	56
3.2.2 A evaporação e a evapotranspiração	61
3.2.3 O escoamento superficial	62
3.2.4 Os aquíferos	67
3.2.5 Águas superficiais e subterrâneas	70
3.3 A bacia hidrográfica	72
3.4 Balanço Hídrico	74
4 MATERIAIS E MÉTODOS	77
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	97
5.1 Aquisição e tratamento dos dados	97
5.1.1 Ensaios de infiltração com Permeômetro Guelph	97
5.1.2 Determinação da vazão	103
5.2 O balanço hidrológico da bacia do alto curso do córrego Três Marcos	107
5.2.1 Precipitação	108
5.2.2 Evapotranspiração Potencial	112
5.2.3 Deflúvio mensal	119
5.3 Fatores geológicos e hidrogeológicos da bacia do alto curso do córrego Três Marcos	124

5.4 Os usos da água da bacia do alto curso do córrego Três Marcos	134
5.5 A evolução do uso e ocupação do solo na bacia do alto curso do córrego Três Marcos	137
CONSIDERAÇÕES FINAIS	157
REFERÊNCIAS	162
ANEXO I	171

1 INTRODUÇÃO

A presença da água em nosso planeta é determinante para a existência das condições essenciais para a origem e manutenção da vida sobre sua superfície. A água participa de uma série de processos geológicos que modificam constantemente a configuração da crosta terrestre e sua ampla distribuição sobre a Terra nos diversos estados físicos, regula o clima da Terra. Para o homem, a água é um elemento representativo de valores sociais e culturais; recurso natural essencial para produção de bens de consumo agrícolas e industriais; meio para locomoção, transporte, produção de energia e lazer, dentre outros.

Apesar de sua importância, a água é um dos recursos naturais mais atingidos pelas intervenções antrópicas sobre o meio físico. Assim sendo, as características físico-químicas apresentadas pela água é um indicador de sua qualidade que, por sua vez, reflete o nível e o tipo de interferência antrópica, seja este resultante do uso inadequado da terra, das atividades industriais, lançamento de efluentes domésticos, geração de energia, dentre outros.

A degradação dos recursos hídricos vem crescendo aceleradamente via assoreamento dos cursos d'água, poluição e contaminação, atingindo níveis críticos em algumas regiões da Terra. Tal condição tem contribuído para a redução da quantidade e da qualidade das águas e trazido sérias consequências para a deterioração do meio ambiente como um todo. Por outro lado, com o avanço tecnológico e o crescimento econômico acelerado em nível mundial verifica-se uma maior demanda pela água, situação que tende ao esgotamento desse recurso natural.

Para que não haja colapso na oferta de água na Terra é necessário que ocorra uma mudança de atitude no uso dos recursos hídricos, que leve em consideração a necessidade do manejo adequado como base de sustentação de gestão.

O propósito desta dissertação de mestrado é promover um estudo que avalie a ocupação do solo e sua influência na disponibilidade hídrica no alto curso do córrego Três Marcos.

A escolha do alto curso do córrego Três Marcos como área de pesquisa baseou-se na sua importância como um manancial de água utilizado para irrigação em pequenas propriedades rurais em sistema de agricultura familiar.

Parte da água da nascente do córrego Três Marcos é derivada para as bacias hidrográficas dos córregos Olhos D'Água e Tenda por meio de transposição realizada por um canal artificial escavado no solo, denominado regionalmente de rego d'água.

O conjunto formado pelas bacias do córrego Três Marcos, Olhos D'Água e Marimbondo constituem um importante cinturão verde responsável pela maior parte de produtos de horticultura que abastece a cidade de Uberlândia.

Outro fator que justifica a pesquisa é a localização da área estudada. Parte da bacia do alto curso é abrangida pelo perímetro urbano de Uberlândia, que tem apresentado um elevado índice de crescimento da ocupação urbana nas últimas décadas. Tal crescimento urbano tem resultado em graves impactos sobre os recursos hídricos, e dentre os mais comuns estão: incremento nas vazões máximas nos canais fluviais em razão do aumento do escoamento superficial e, este por sua vez, decorrente da impermeabilização do solo e acréscimo na produção de sedimentos oriundos da erosão dos terrenos.

De um lado a água do córrego Três Marcos exerce um papel fundamental para a produção agrícola nos minifúndios. De outro, o crescimento urbano acelerado da cidade de Uberlândia, especialmente nas duas últimas décadas, vem ocupando parcelas cada vez maiores da área de recarga da nascente desse córrego. Desse modo, a impermeabilização do solo na área da bacia de contribuição tem aumentado na mesma proporção, o que poderá contribuir para a redução da vazão da nascente e do córrego como um todo. Além disso, a

parcela das águas pluviais não infiltradas através do solo é lançada diretamente no curso d'água.

Tucci *et al.* (2000) destacam que os impactos mais comuns relacionados à urbanização estão relacionados ao aumento das vazões de pico causado pela impermeabilização do solo. Dentre eles são considerados: o aumento da vazão nos canais fluviais; aumento da carga de sedimentos devido à desproteção das superfícies; deterioração da qualidade da água devido à lavagem das ruas, ao transporte de material sólido e às ligações irregulares de esgoto.

Além dos impactos causados pelo processo de urbanização, há ainda outros impactos sobre os recursos hídricos a exemplo daqueles relacionados à redução localizada da recarga de aquíferos, sobretudo os freáticos, com consequência direta na redução das quantidades de água nas nascentes e/ou surgências.

Diante disso, o objetivo principal desta pesquisa foi analisar os fatores naturais e antropogênicos relacionados ao uso e ocupação do solo na área estudada, que interferem na quantidade de água na bacia do alto curso do córrego Três Marcos. Para atingir esse objetivo, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Delimitar a área de contribuição da nascente do córrego Três Marcos;
- Caracterizar os fatores geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos da área estudada, responsáveis pela perenidade e características de vazão do córrego Três Marcos;
- Caracterizar a evolução do uso e ocupação do solo na área da contribuição e na bacia do alto curso do córrego Três Marcos;
- Efetuar o balanço hidrológico da bacia do alto curso do córrego Três Marcos.

Espera-se que os resultados do estudo constituam subsídios ao planejamento do uso de suas águas para o desenvolvimento das atividades econômicas na área estudada como a agricultura e a pecuária. Espera-se, ainda, a disponibilização de informações que permitam

aos órgãos governamentais e não governamentais proporem um plano que conte a avaliação integrada da água superficial e água subterrânea para a área estudada.

A ocupação da área das bacias hidrográficas dos córregos Três Marcos, Olhos D'Água, Marimbondo e Tenda remonta à primeira metade de Século XIX, período que coincide com a formação do povoado que deu origem à cidade de Uberlândia, principalmente com os Carrejos e Alves Carrejos. Desde então, as águas que formam as bacias desempenharam um importante papel na ocupação local. Das grandes glebas de terras de início, restam apenas pequenas propriedades como resultado de sucessivas partilhas entre os herdeiros.

Assim, para apresentação, discussão e considerações sobre o assunto, a presente dissertação de mestrado foi organizada em sete capítulos, a saber:

- Capítulo 1: Introdução: apresenta uma noção geral do tema a ser tratado no trabalho. É apresentada também a problemática / situação em estudo, com as justificativas e os objetivos gerais e específicos deste trabalho.
- Capítulo 2: apresenta a localização e caracterização geral da área de estudo, onde se retratam os dados relativos à localização da área e aos aspectos físicos.
- Capítulo 3: Revisão Bibliográfica: apresenta o referencial teórico metodológico utilizado na dissertação;
- Capítulo 4: Materiais e procedimentos metodológicos - descrição da metodologia operacional relativa a: atividades de campo; mensuração da vazão; mapeamento da área de contribuição; evolução do uso e ocupação do solo da área em estudo e o balanço hidrológico;
- Capítulo 5: Resultados e discussões: apresenta os dados obtidos, bem como a delimitação da bacia de contribuição da nascente do córrego Três Marcos, a caracterização dos fatores geológicos e hidrogeológicos da área estudada, o balanço hidrológico do alto

curso do córrego Três Marcos, análise da evolução do uso e ocupação do solo e dos usos da água na bacia do alto curso do córrego Três Marcos, bem como análises dos resultados alcançados;

- Capítulo 6: Considerações finais: apresenta as considerações finais do estudo;
- Capítulo 7: Referências: apresenta as referências utilizadas na elaboração do presente trabalho.

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na porção leste do município de Uberlândia, no oeste do estado de Minas Gerais, na Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. A área é cortada pelas rodovias BR-365, orientada na direção Nordeste-Sudoeste e pela BR-452, na direção aproximada Norte-Sul, que dão acesso à área de estudo. (Figura 01).

O município de Uberlândia-MG situa-se aproximadamente a 537 km da capital mineira Belo Horizonte, interligadas pelas rodovias BR-452 e BR-262. O município conta com localização geográfica privilegiada e é cortado por uma extensa malha rodoviária que permite a ligação com os grandes centros nacionais, como: São Paulo, Rio de Janeiro, Goiânia e Brasília.

A bacia do alto curso do córrego Três Marcos se insere, parte na zona urbana de Uberlândia e parte na da zona rural do município. Na área estudada localizam-se a nascente do referido córrego e dois pequenos afluentes sem denominação. Por sua vez, o córrego Três Marcos é um dos afluentes do córrego Olhos D'Água, e este, afluente direto do Rio Araguari.

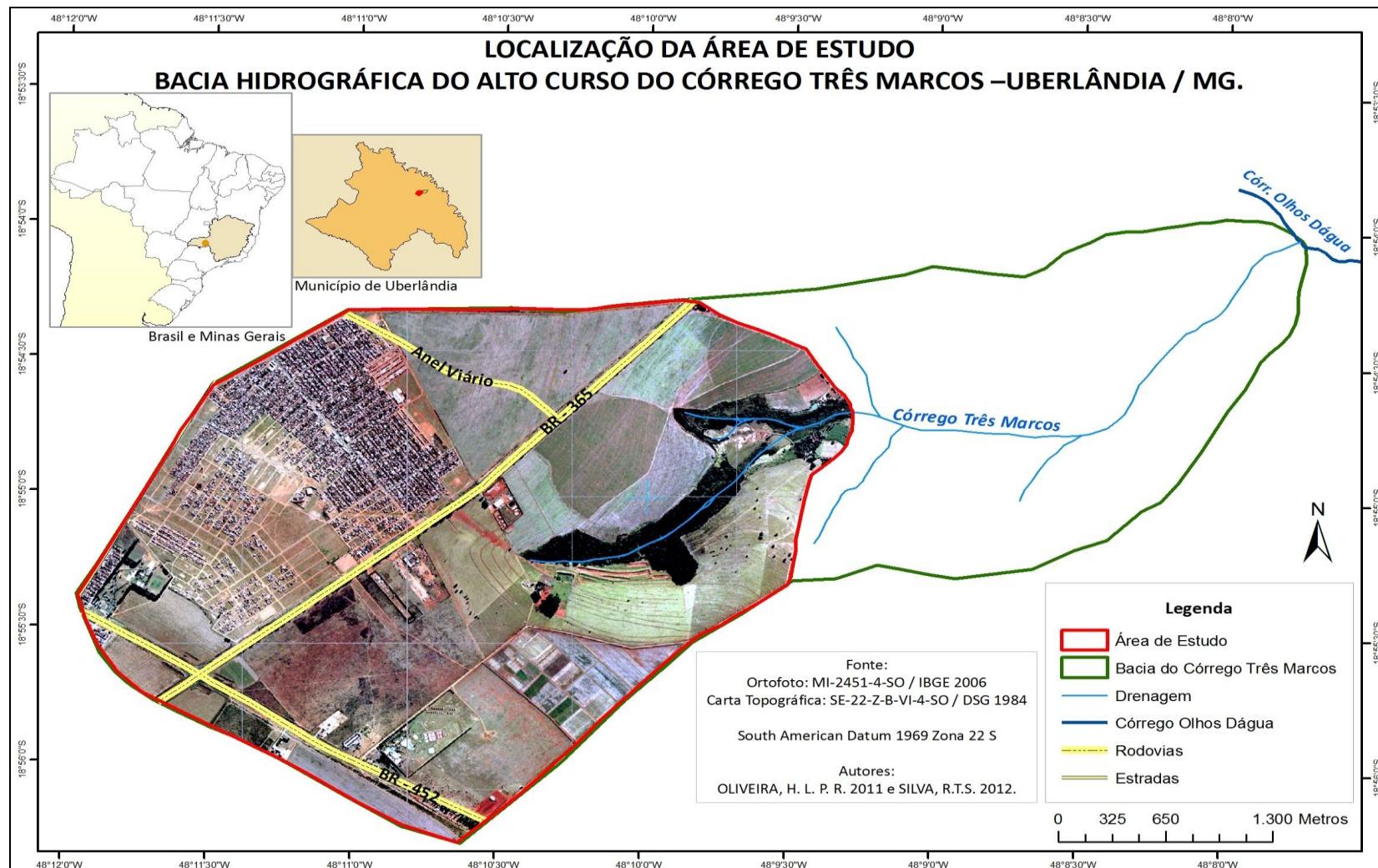


Figura 01 – Mapa de localização da área de estudo e da bacia do córrego Três Marcos – Uberlândia-MG.

A ocupação da região do Triângulo Mineiro, anteriormente conhecido como “Sertão da Farinha Podre”, ocorreu com a passagem de Bartolomeu Bueno da Silva, o “Anhanguera I”, o primeiro bandeirante a cruzar a região rumo a Goiás em busca das riquezas minerais. Já os primeiros povoados surgem no Século XVIII, quando foi aberta a “picada de Goiás”. (PESSOA e SILVA, 1999).

A ocupação humana da porção do município onde estão localizadas as bacias hidrográficas dos córregos Três Marcos, Marimbondo, Tenda e Olhos D’Água teve inicio com a chegada de procedentes da região oeste da Província de Minas Gerais (Campo Belo, Oliveira, Tapicirica, Formigas e Santana do Jacaré), em 1827. (ARANTES, 2003). Ainda, segundo o autor, os procedentes eram os quatro irmãos: Luiz Alves Carrejo, Antônio Alves Carrejo, Francisco Alves Carrejo e Felisberto Alves Carrejo, que adquiriram terras devolutas na região, onde posteriormente, dividiram as fazendas Olhos D’Água, Lage, Tenda e Marimbondos. Essa divisão ficou estabelecida, respectivamente para: Luiz, Francisco, Felisberto e Antônio. Formada essa agregação, ficou esse núcleo conhecido por “Carrejos”.

Tempos depois chegaram as famílias Peixoto, Moraes, Barboza, Rodrigues, Gomes Martins, Ferreira e Carvalho, que se avizinharam e aliaram-se às famílias “Carrejos” e constituíram novos lares. Desmataram a mata virgem para plantio de gêneros alimentícios, para criação de gados, utilizaram-se do tradicional carro de bois, ampliando os trilheiros para as estradas de rodagem do trânsito comercial.

Segundo Arantes (2003) nessa região foram instaladas as primeiras indústrias agrícolas do município de Uberlândia, entre elas: engenho de cana, monjolo, carpintaria, tenda de ferreiro, as fandeiras que fabricavam os tecidos de lã e algodão e outras. Na tenda de ferreiro, a pioneira e a que trouxe maior benefício à população da região, eram fabricados vários instrumentos como: facas, enxadas, foices, ferragens para carros, entre outros. Nela trabalhava o hábil ferreiro Joaquim Martins, filho de Felisberto Carrejo.

A população do núcleo “Carrejos” foi se expandindo, formando assim, grande número de crianças na idade escolar. Contudo, o velho mestre-escola, como era conhecido Felisberto Carrejo, resolveu instituir uma escola de alfabetização para essas crianças, a Escola da Tenda, a qual pode ser identificada na figura 02. (ARANTES, 2003). Esse mestre, como era chamado, preocupava-se muito com a instrução escolar da população do local.

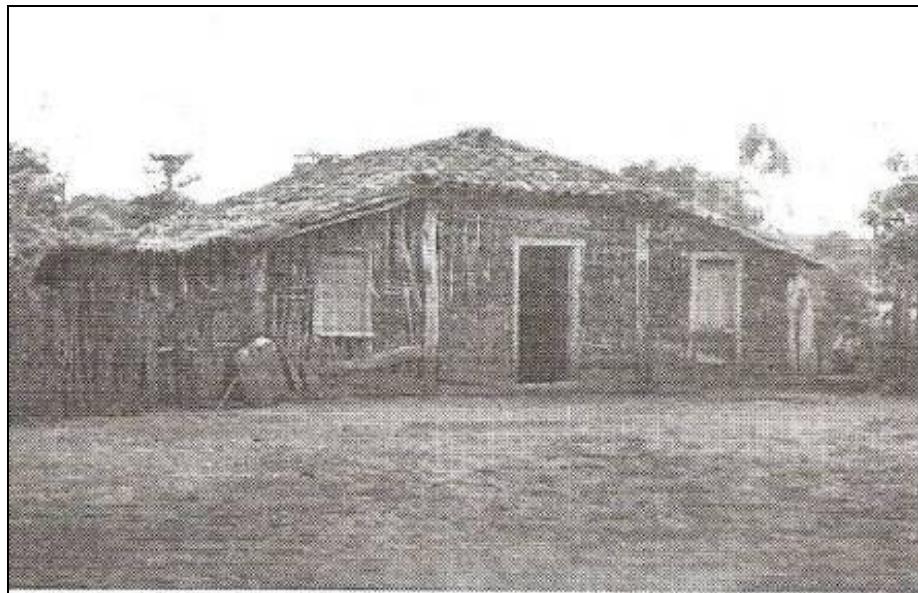


Figura 02 – Vista frontal da Escola da Tenda na bacia hidrográfica do córrego Tenda na década de 1846 – proximidades da área de estudo.

Fonte: ARANTES, 2003.

Em 1846 o “mestre Carrejo” adquiriu uma parcela de terra na fazenda do Salto e fixou residência na localidade chamada de “São Sebastião da Barra” (hoje bairro Tabajaras), situada à margem do rio Uberabinha entre o córrego Cajubá (hoje sob a Av. Getúlio Vargas) e ribeirão São Pedro (hoje sob a Av. Rondon Pacheco). Passados seis anos da instalação do arraial, em 1852, cria-se o distrito de São Pedro de Uberabinha fazendo parte do município de Uberaba. Transcorridos trinta e seis anos, origina-se o município de São Pedro de Uberabinha, passando à comarca em 1891 e em 1929 passa a ser denominado Uberlândia (“terra fértil”).

Sabe-se que na fase de ocupação, tanto das áreas das bacias hidrográficas dos córregos Marimbondo, Tenda, Três Marcos e Olhos D’Água, quanto da fazenda do Salto, as

características naturais, água, campos, florestas e clima, propiciaram a presença dos primeiros plantios para subsistência e, consequentemente, dos primeiros povoados.

Em suma, a região da área de estudo foi sendo ocupada, primeiramente, pelo pequeno povoado inicial “Carrejos” e hoje, encontram-se inseridos em parte dela, alguns bairros da periferia da cidade de Uberlândia, evidenciando-se a expansão urbana à área de estudo.

Na porção Leste do município de Uberlândia, onde se localiza a bacia estudada, outras bacias hidrográficas são destacadas pela horticultura, sendo elas: Marimbondo, Tenda e Olhos D’Água. Essas bacias são grande relevância para o município de Uberlândia, pois nelas estão inseridos os produtores agrícolas responsáveis pela maior parte da produção de hortifrutigranjeiros que abastecem a Central de Abastecimento de Uberlândia S/A - CEASA Uberlândia. Suas nascentes estão localizadas dentro ou muito próximas do perímetro urbano. Em decorrência do acelerado crescimento da malha urbana de Uberlândia, parte das bacias dos citados córregos encontra-se urbanizada. As figuras 03, 04 e 05 mostram atividades agrícolas praticadas na área de estudo e no seu entorno. As figuras 06 e 07 apresentam alguns dos equipamentos urbanos existentes na área.

Inserido na área de estudo, o bairro Morumbi ocupa uma porção de relevo plano relacionado à grande chapada que se estende desde o município de Sacramento até Araguari.

Após sua implantação, os habitantes do bairro vêm enfrentando alagamentos constantes em decorrência de a superfície do terreno apresentar uma suave depressão na porção central. Tal característica morfológica não permite a drenagem das águas pluviais e, ao mesmo tempo, o solo argiloso presente no local dificulta a sua infiltração. (Figura 08). Para a solução dos problemas de alagamentos, a Prefeitura Municipal implantou uma rede de drenagem pluvial interligada a tanques de contenção e infiltração. Os tanques foram implantados na Área de Preservação Permanente (APP) do córrego Três Marcos, conforme ilustrados na figura 09.



Figura 03 – Plantação de soja na área de estudo.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.



Figura 04 – Plantação de tomate na bacia do córrego Três Marcos a jusante da área de estudo.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.



Figura 05 – Plantação de banana (à esquerda) e chuchu (à direita) na bacia do córrego Olhos D'Água – a jusante da área de estudo.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.



Figura 06 – Empresa localizada na área de estudo.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.



Figura 07 – Clube de recreação e lazer na área de estudo.
Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.



Figura 08 – Vista parcial de ruas do bairro Morumbi em 2011 – Uberlândia-MG.
Fonte: <http://megaminas.globo.com/2011/01/07>

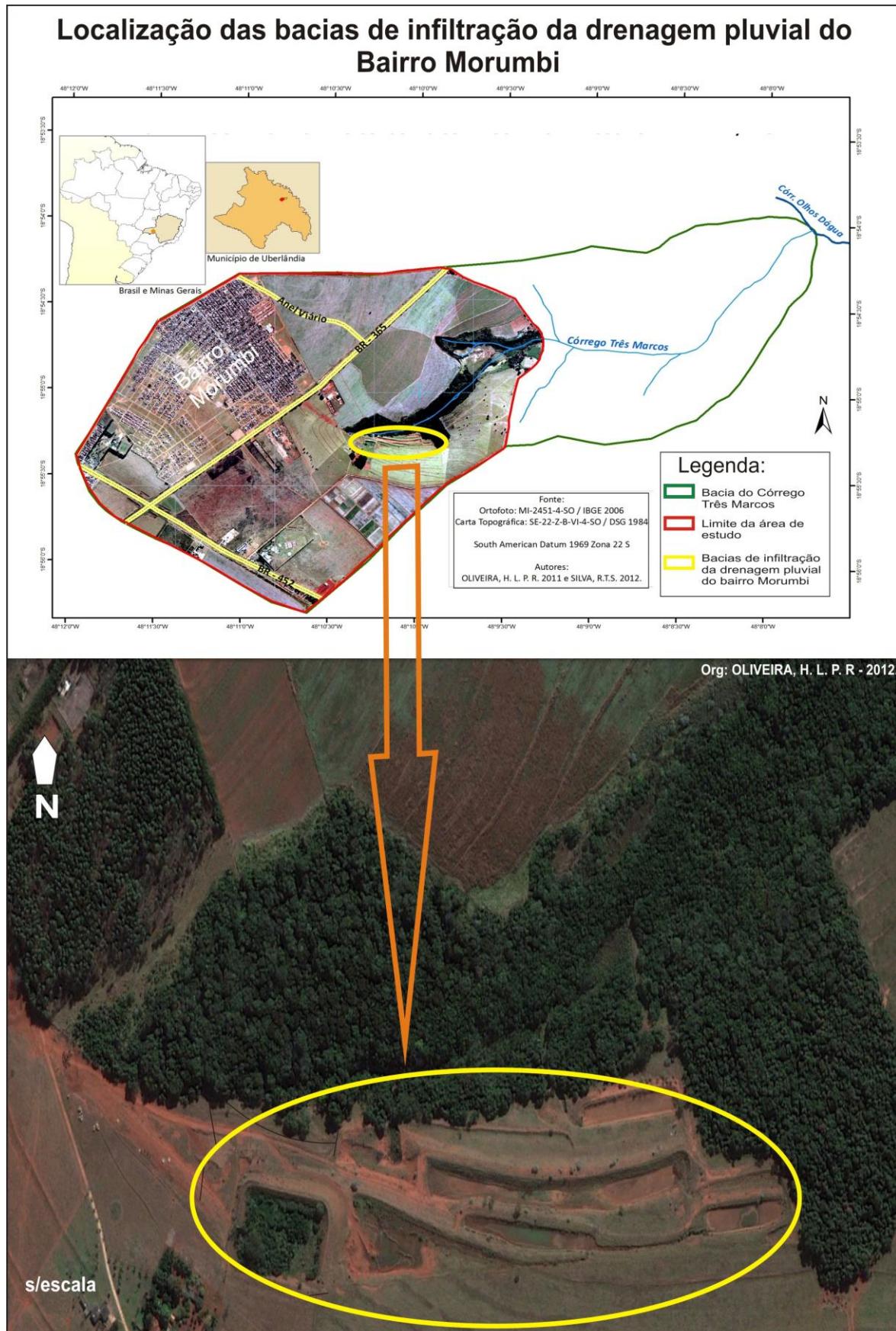


Figura 09 – Mapa de localização dos tanques para infiltração das águas pluviais provenientes do bairro Morumbi – Uberlândia-MG.

Fonte: Google Earth (2012). Data da Imagem: 12/06/2010.

A área de estudo está inserida na unidade de relevo denominada Domínio dos Chapadões Tropicais recobertos por cerrados e penetrados por florestas de galerias (AB'SABER, 1977). Para RadamBrasil (1983) está inserida nos Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná.

A compartimentação topomorfológica e estrutura superficial regional, baseada na geologia, forma e nível de dissecação do relevo, realizada por Baccaro (1990), caracterizam o relevo do Triângulo Mineiro em quatro compartimentos: áreas de relevo residual, áreas elevadas de cimeira, áreas de relevo medianamente dissecado e áreas de relevo intensamente dissecado.

Para a compartimentação geomorfológica do município de Uberlândia-MG, Baccaro (1989) levou em consideração o relevo, a declividade, a geologia e os processos erosivos, o que levou a referida autora a evidenciar três compartimentos de relevo: áreas de relevo com topo plano, áreas de relevo dissecado e áreas de relevo intensamente dissecado.

Segundo Baccaro (1989) as áreas de relevo intensamente dissecado correspondem às bordas da ampla chapada Uberlândia-Araguari, onde os canais de drenagem desse compartimento apresentam vertentes abruptas, corredeiras e cachoeiras. Denominam como áreas de relevo medianamente dissecado, as porções com topos nivelados entre 700 e 900m, com vertentes suaves, cobertas pelo cerrado. Caracteriza como áreas de relevo com topo plano, a superfície de chapada desenvolvida no intervalo de altitude entre 950 e 1050m, vales fluviais amplos, largos, vertentes com declividades que variam entre 3° e 5° e baixa densidade de drenagem. As superfícies de topo plano, segundo Baccaro (1989), desenvolveram-se sobre arenitos da Formação Marília e estes, por sua vez, encontram-se recobertos pelos sedimentos cenozóicos.

A bacia hidrográfica onde está inserida a área de estudo situa-se na vertente esquerda do rio Araguari que apresenta superfície topográfica bastante movimentada. Já a área de

estudo caracteriza-se por apresentar relevo muito plano.

As classes hipsométricas verificadas na área de estudo estão representadas na tabela 01 e na figura 10.

A maior parte da área de estudo encontra-se entre as cotas altimétricas de 940 e 920 metros, ou seja, cerca de 77% da área de estudo. A nascente do córrego Três Marcos situa-se entre as cotas 920 e 900 metros.

Tabela 01 – Classes altimétricas da área estudada

Classes altimétricas (m)	Área total		
	m²	ha	%
Menor que 860	118897,40	11,89	1,04
860 – 880	490451,80	49,04	4,29
880 – 900	739679,06	73,97	6,47
900 – 920	1280433,60	128,04	11,20
920 – 940	8802981,00	880,30	77,00
Total	11432442,86	1143,24	100,00

Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

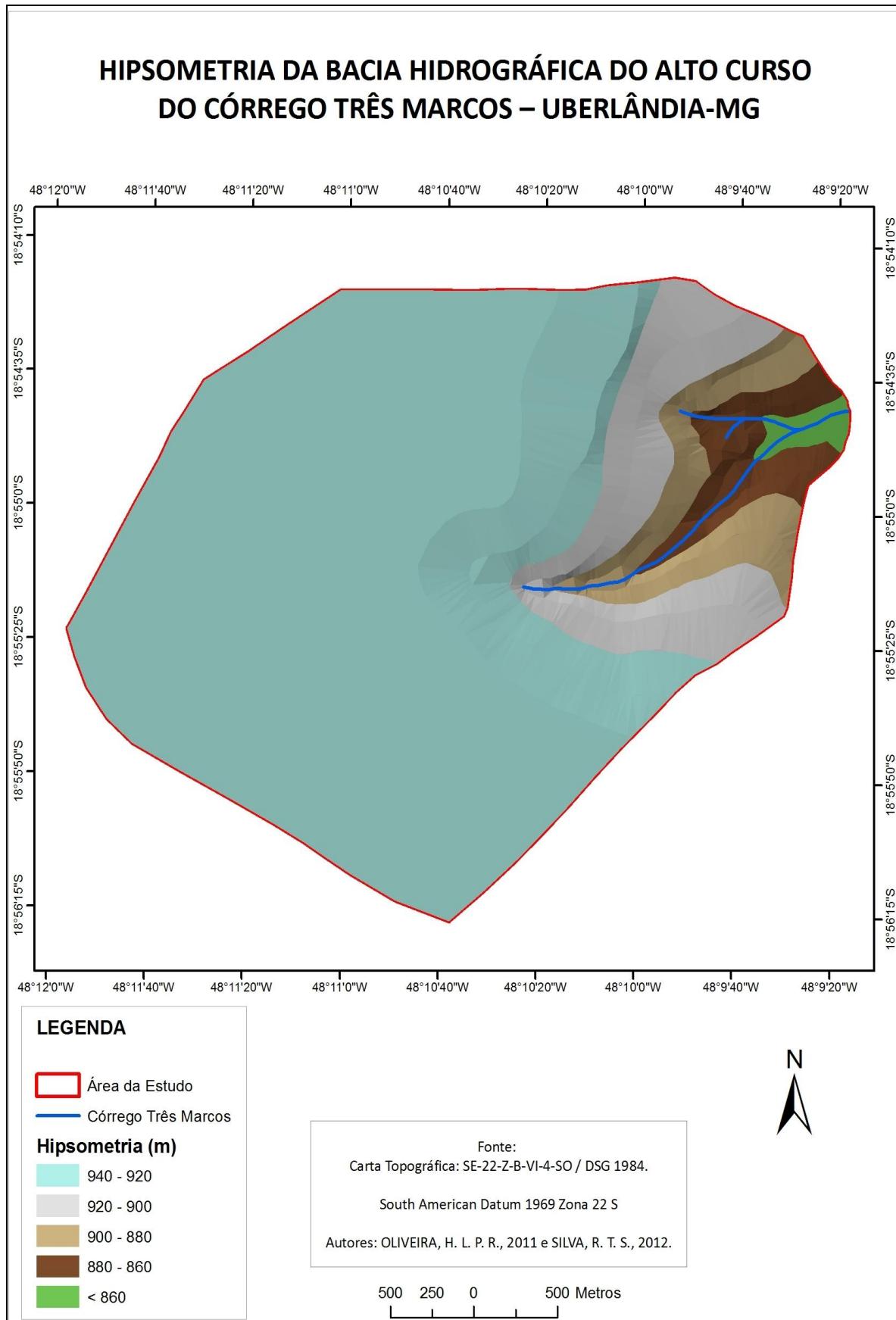


Figura 10 – Mapa hipsométrico da área de estudo.

Dados de declividade apresentados na tabela 02 e na figura 11 mostram que a maior parte da área estudada encontra-se em terrenos com declives que variam entre 0 e 7%, correspondendo a 81,42%, ou seja, a maior parte da área estudada é representada por relevo plano. Outras duas parcelas que possuem declividade de 7 a 20%, totalizam 210,70 ha, representando 18,43% do total da área da pesquisa. O restante da área, apenas 0,15%, ou seja, 1,71 ha estão inseridos em terrenos com declividade maior que 20%.

Tabela 02 – Classes de declive da área estudada

Classes de declividade (%)	Área		
	m²	ha	%
00 – 07	9308294,97	930,83	81,42
07 – 15	1409620,21	140,96	12,33
15 – 20	697379,01	69,74	6,10
>20	17148,67	1,71	0,15
Total	11432442,86	1143,24	100,00

Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

DECLIVIDADE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO CÓRREGO TRÊS MARCOS - UBERLÂNDIA / MG.

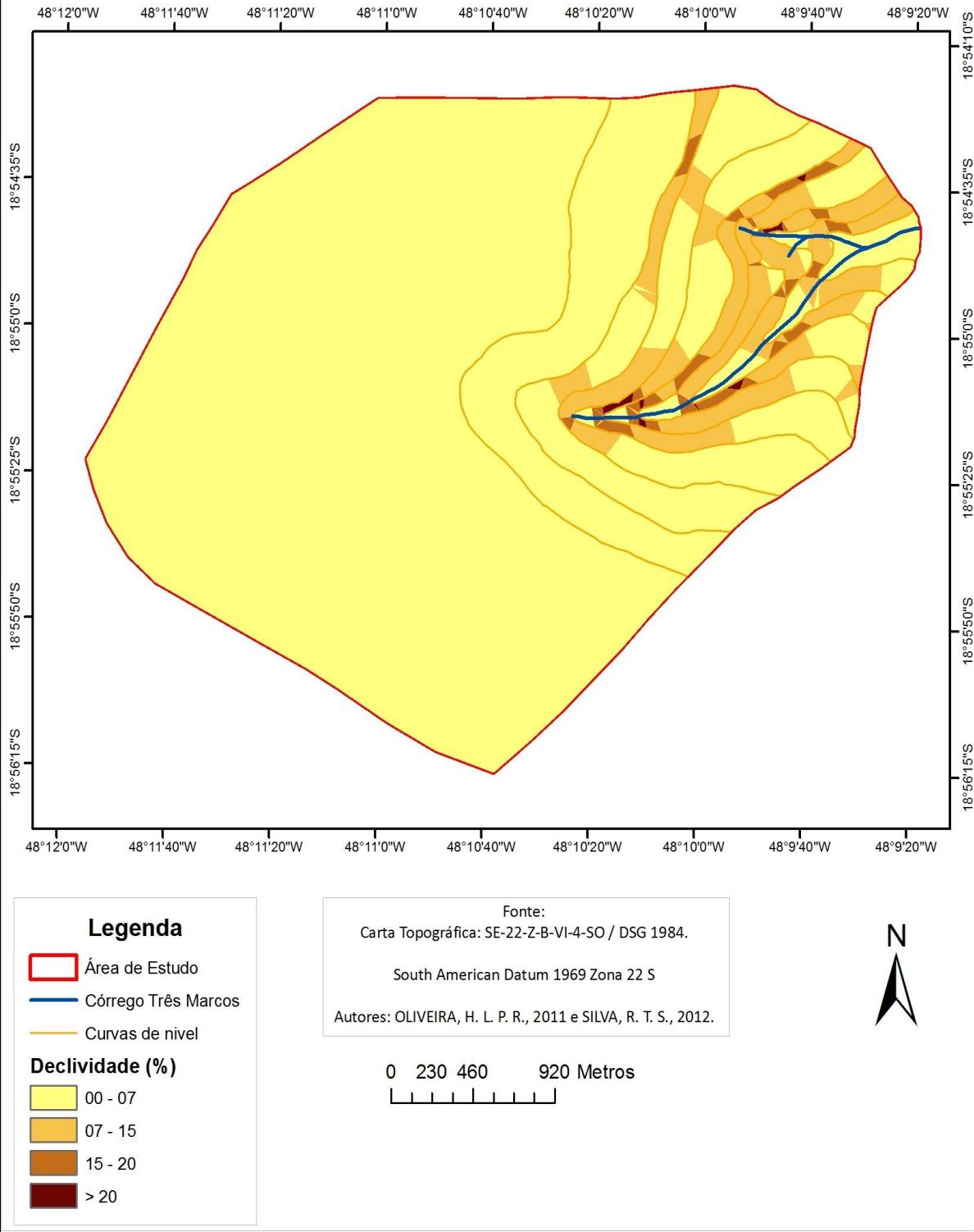


Figura 11 – Mapa de declividade da área estudada.

No município de Uberlândia acham-se presentes as seguintes unidades geológicas: Complexo Basal Goiano, Grupo Araxá, Formação Botucatu, Formação Serra Geral, Formação Adamantina, Formação Marília e Cenozóico. (NISHIYAMA, 1989).

Segundo Nishiyama (1989) o conjunto litológico da Bacia Sedimentar do Paraná encontra-se assentado em rochas metassedimentares do Grupo Araxá do embasamento arqueano.

Conforme Del Grossi (1991) a Formação Marília caracteriza-se por espessas camadas de arenitos imaturos e conglomerados superpostos a níveis carbonáticos. Para Nishiyama (1989) essa formação geológica no município de Uberlândia é representada pelo membro Serra da Galga. Encontra-se assentada diretamente sobre os basaltos da Formação Serra Geral nas vertentes do rio Araguari ou transgredindo sobre as rochas da Formação Adamantina a oeste do ribeirão Bom Jardim.

Nos topos dos chapadões, a Formação Marília é constituída predominantemente por arenitos imaturos em tons que variam de róseo a esbranquiçado, com níveis argilosos ou siltosos intercalados, sobrepostos a arenitos conglomeráticos e lentes de calcário. (NISHIYAMA, 1989).

Especificamente na área estudada estão presentes os arenitos da Formação Marília. Os basaltos da Formação Serra Geral afloram em uma pequena porção situada abaixo da cota de 860m. Na porção correspondente à chapada, a formação Marília encontra-se recoberta por uma espessa camada pedológica, caracterizada como cobertura detritica, que pode chegar a 30 metros de espessura.

O clima característico da região onde se insere a área estudada é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como clima temperado úmido com inverno seco e verão quente e chuvoso.

Segundo Del Grossi (1993) a temperatura média mensal em Uberlândia nos meses de junho e julho fica em torno de 18°C e a precipitação pluviométrica média do mês mais seco do ano é de 9,1mm. Durante o verão, ocorre instabilidade da Massa Polar Atlântica decorrente do aquecimento do continente, o que provoca fortes precipitações. A temperatura média nos meses mais quentes fica próxima de 22°C. Já as temperaturas médias anuais ficam entre 20° e 22°C.

Segundo Feltran Filho (1997) as massas de ar que exercem maior influência na região são a Tropical e a Polar Atlântica, sendo que a segunda domina a região entre os meses de setembro a março. É nesse período que ocorre a concentração das precipitações, graças ao aquecimento continental. No inverno (abril a agosto) o tempo fica estável e a umidade do ar é baixa, os dias são quentes e as noites mais frias. Nessa época, ocorre também o avanço da massa Polar, provocando chuviscos ocasionais.

Conforme os dados de temperatura e precipitação obtidos no Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, referentes aos últimos cinco anos (2007 a 2011) as médias pluviométricas e de temperatura encontradas foram, respectivamente, 1.461 mm e 23,1°C.

Os solos encontrados na área de estudo são os Latossolos Vermelho-Amarelos, Gleissolos e Cambissolos, sendo os latossolos os que predominam na área estudada. Os latossolos são solos profundos, constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico, muito espesso com sequência de horizontes A, B e C pouco diferenciados. São solos muito intemperizados, bastante evoluídos, não-hidromórficos, e suas cores variam de amarela passando por bruno-acinzentadas até vermelhas muito escuras. Geralmente, são solos ácidos e pobres em nutrientes. (EMBRAPA, 2006) (Figura 12).



Figura 12 – Plantação de soja sobre o Latossolo Vermelho-Amarelo - margem esquerda do córrego Três Marcos dentro da área estudada.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

Os gleissolos são solos hidromórficos, constituídos por material mineral, apresentando horizontes A mineral ou H orgânico. Possuem cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, dentro de 50 cm da superfície. São solos mal drenados, que podem apresentar textura variável ao longo do perfil. Podem ser de alta ou baixa fertilidade natural e têm nas condições de má drenagem a sua maior limitação de uso. Localizam-se em áreas de várzeas normalmente com vegetação de vereda, campos higróficos ou hidrófilos, em relevo plano que permite o acúmulo de água durante todo o ano ou na maior parte dele. (EMBRAPA, 2006) (Figura 13).



Figura 13 – Gleissolo na área estudada.
Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

O outro solo existente na área estudada, o Cambissolo, é pouco desenvolvido e possui horizonte B incipiente. É pouco profundo e muitas vezes, pedregoso e cascalhento. As características físicas desse solo variam muito de uma área para outra, devido à diversidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas. Diante disso, a classe comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruno-amarelada até vermelho escuro, de baixa ou alta saturação por bases e atividade química na fração argila. (EMBRAPA, 2006). Podem surgir nesse solo associado a pouca permeabilidade, processos erosivos que são facilmente formados pela enxurrada, mesmo quando utilizados pela pastagem. (Figuras 14 e 15).



Figura 14 – Cambissolo com camada com hidromorfismo e linha de seixos – margem esquerda do córrego Três Marcos.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.



Figura 15 – Voçoroca existente na área de estudo – beira de um dos afluentes da margem esquerda do córrego Três Marcos.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

De acordo com Del Grossi *et. al.* (2010) ocorre um Cambissolo háplico Tb Distrófico plíntico na voçoroca existente próxima à cabeceira do córrego Três Marcos, o qual possui horizonte A moderado, textura muito argilosa, e relevo suave ondulado. (Figura 16).

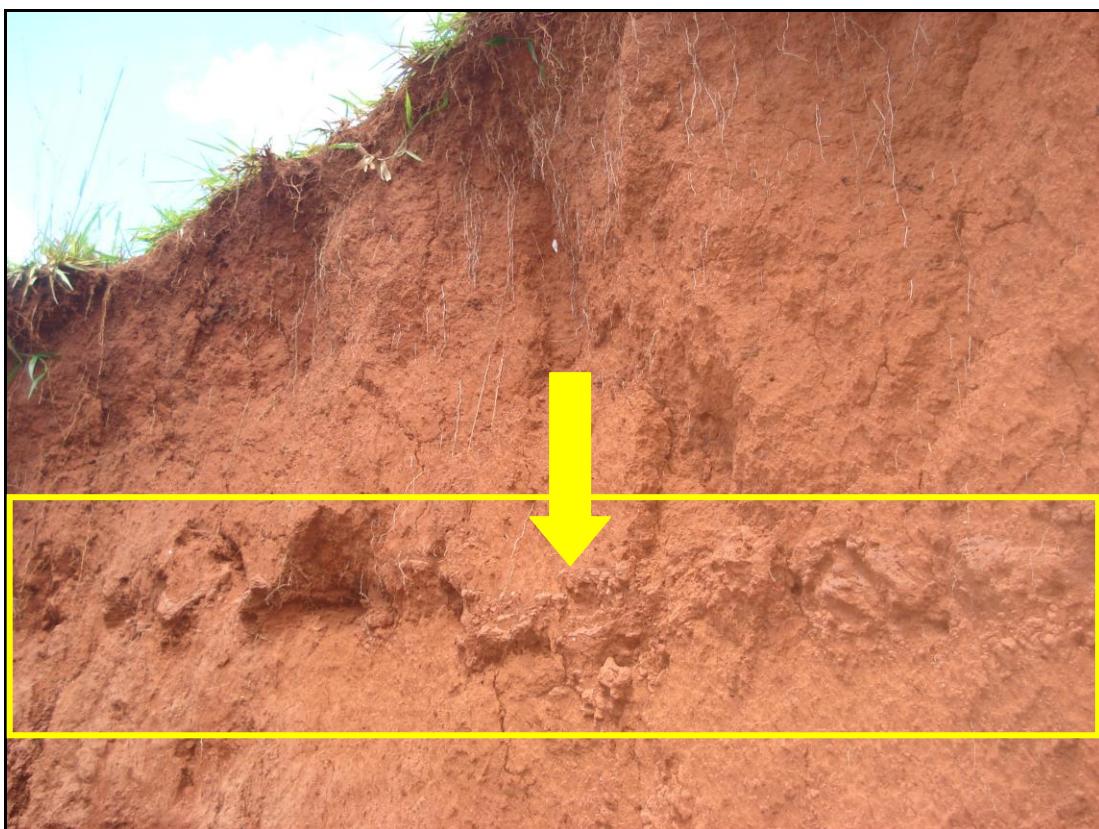


Figura 16 – Cambissolo háplico Tb Distrófico plíntico – voçoroca próxima à cabeceira do córrego Três Marcos.
Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

Verifica-se que a feição erosiva localizada próxima à mata de galeria de um dos afluentes do córrego Três Marcos está sendo utilizada como depósito de resíduos sólidos domésticos, conforme pode ser observado na figura 17.



Figura 17 – Resíduos sólidos domésticos depositados na voçoroca à beira de um dos afluentes da margem esquerda do córrego Três Marcos.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

A vegetação natural da área de estudo foi bastante alterada, porém ainda restam alguns remanescentes de Cerrado *Stricto sensu*, Vereda e Mata de Galeria. A figura 18 mostra as fisionomias do Cerrado existentes na área da bacia do alto curso do córrego Três Marcos.

O Cerrado *Stricto sensu*, caracterizado por árvores tortuosas de porte médio a baixo, compostas por cascas grossas, foi praticamente extinto, restando apenas uma pequena parcela na porção mais plana da área de estudo, inserida na área urbana.

A Vereda está associada aos solos hidromórficos, saturados de água durante a maior parte do ano. Geralmente, ocorrem em vales ou áreas planas, acompanhando linhas de drenagem mal definidas, e também são muito comuns em áreas de nascentes e em borda de Matas de Galeria. Essa fisionomia do Cerrado na área de estudo está associada à Mata de Galeria existente na cabeceira do córrego Três Marcos e em seus afluentes.

De acordo com Ribeiro & Walter (1998) as Matas de Galeria compreendem a vegetação florestal que acompanha os rios de pequeno porte e córregos dos planaltos do

Brasil Central, formando córregos fechados (galerias) sobre o curso d'água. Geralmente localizam-se nos fundos dos vales ou nas cabeceiras de drenagem onde os cursos d'água ainda não escavaram um canal definitivo. (RIBEIRO *et al.*, 1983).

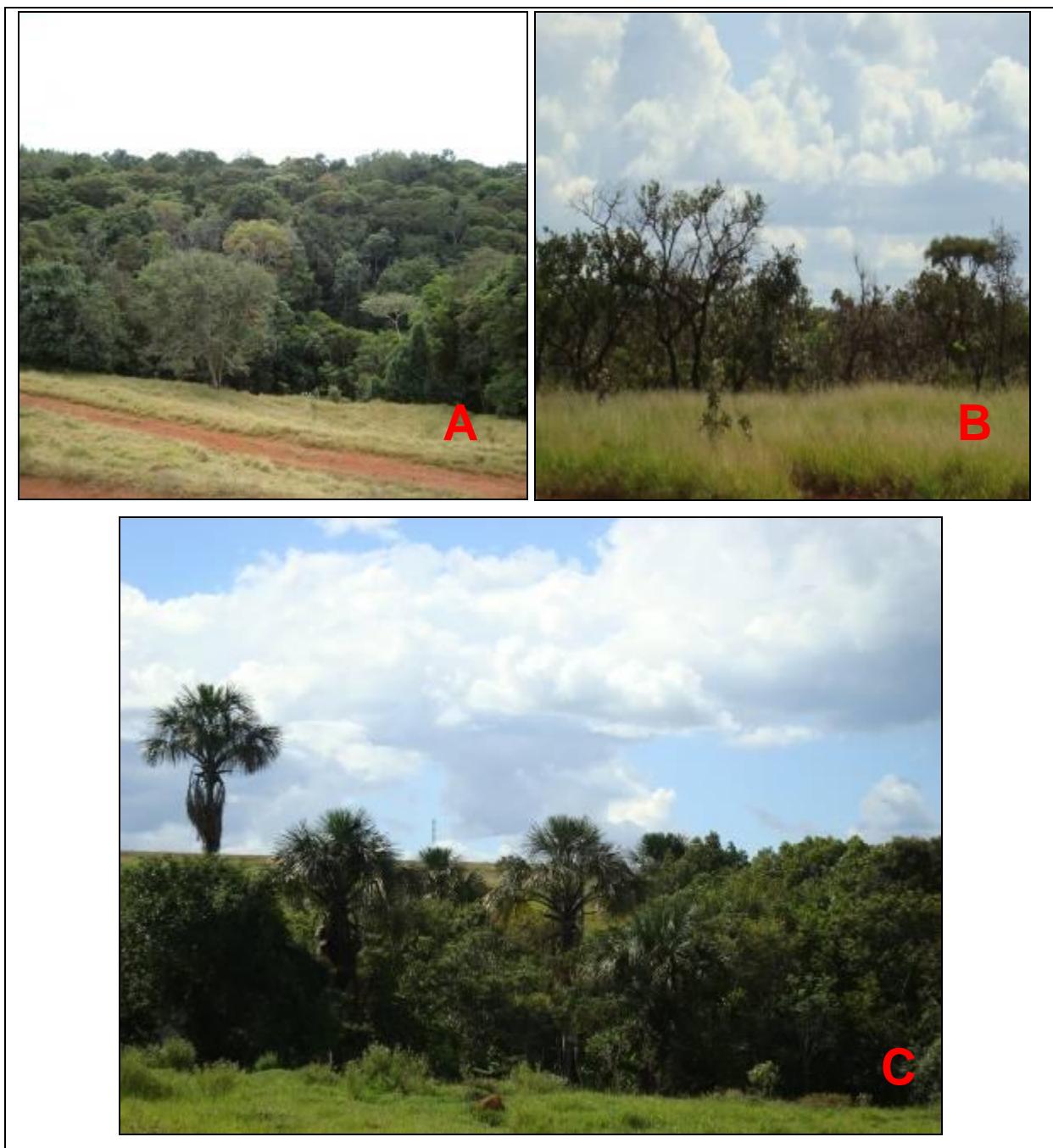


Figura 18 – A: Mata de Galeria; B: Cerrado *Stricto sensu*; C: Vereda/Mata de Galeria – área estudada.
Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

Os ambientes naturais vêm sendo destruídos de forma acelerada, o que ocasiona o desaparecimento de inúmeras espécies da fauna silvestre. Pode-se relacionar essa destruição ao crescimento das populações humanas, aos avanços tecnológicos e à grande demanda de recursos naturais o que resulta em um impacto contínuo e crescente sobre o meio ambiente, fazendo com que várias espécies sejam extintas antes mesmo de terem sido identificadas. Isso não é muito diferente na área de estudo.

Diante disso, os remanescentes de vegetação ainda existentes na área de estudo, atuam como importantes locais de refúgio para algumas espécies animais.

A área estudada está inserida parte na malha urbana e parte no zona rural do município de Uberlândia. Na porção localizada no perímetro urbano encontram-se os bairros Morumbi e Alvorada e, também, espaços ocupados por empreendimentos voltados ao setor de logística, como o entreposto de produtos da Zona Franca de Manaus, ou em vias de ocupação por centros empresariais chamados de *Business Park*. A porção da área estudada correspondente à zona rural é ocupada por pequenas propriedades rurais. A figura 19 ilustra partes da área de estudo inseridas nas zonas urbana e rural.



Figura 19 – A: Empresa de Logística (Zona Urbana); B: Propriedade rural (Zona Rural) – área estudada.
Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi imprescindível fazer um resgate de conceitos básicos relacionados à importância da água para todos os seres vivos, aos estudos hidrológicos e à legislação ambiental relacionada aos recursos hídricos.

Essa revisão conceitual também tratará dos componentes do ciclo hidrológico e das principais características de uma bacia hidrográfica, destacando o valor da bacia hidrográfica como unidade de análise, planejamento e gerenciamento.

3.1 Importância da água

A água é uma substância ou composto químico natural existente no nosso planeta e aparece como uma das substâncias mais importantes para a sobrevivência dos seres vivos. Esse recurso natural é fundamental até mesmo para os organismos que vivem no deserto, pois dependem dela para eclosão dos seus ovos. A água nutre a agricultura, as florestas, pastagens, mantém a biodiversidade, os ciclos no planeta e produz paisagens de grande e variada beleza. (TUNDISI, 2009).

Quimicamente, a água é um elemento composto por dois átomos de hidrogênio (H) e por um átomo de oxigênio (O), cuja fórmula estrutural é representada por H₂O. É uma das substâncias mais abundantes na Terra e pode ser encontrada em três estados físicos: sólido (geleiras), líquido (oceanos e rios) e gasoso (vapor d'água na atmosfera). Embora a água seja considerada uma substância abundante em nosso planeta, ela possui propriedades que, combinadas, fazem-na bastante singular. A sua propriedade mais importante é a capacidade de dissolver quase todas as outras substâncias, sendo considerada como solvente universal. (SOARES, 2008).

Rebouças (2004, p.11) expõe que:

...embora a água tenha uma fórmula química tão simples, nunca tenha sido possível produzi-la artificialmente. O máximo que tem sido feito até agora é ajustar a qualidade da água aos diferentes tipos de consumo. Por exemplo, reduzem-se os teores de Sólidos Totais Dissolvidos mediante o processo conhecido por dessalinização; materiais em suspensão são retidos em filtros lentos de areia; métodos de tratamento ou purificação da água podem torná-la potável ou adequada ao consumo humano ou aos diferentes usos industriais.

Historicamente, a água está relacionada diretamente à propagação do homem na Terra. As grandes civilizações surgiram, prosperaram e se desenvolveram no entorno de áreas providas de muita água, enquanto outras decaíram ou findaram quando o fornecimento de água deixou de ser farto. (REBOUÇAS, 2004).

O controle dos rios, como forma de dominação dos povos que habitavam os setores hidrográficos de jusante, foi praticado desde, pelo menos, 4 mil a.C. na Mesopotâmia. O controle das inundações do Rio Nilo foi a base do poder da civilização Egípcia, desde cerca de 3,4 mil anos a.C. O controle do Rio Eufrates foi a base do poder da Primeira Dinastia da Babilônia, possibilitando ao rei Hamurábi – 1792 a 1750 a. C. – unificar a Mesopotâmia, desde sua Região Norte a uma posição hegemônica...(REBOUÇAS, 2006, p.17).

Nos dias atuais, o homem em suas múltiplas atividades necessita de volume cada vez maior da água. Entre seus múltiplos usos, podem-se citar: abastecimento humano; abastecimento industrial; irrigação; recreação; função estético-paisagística; trabalho pastoril; preservação da flora e fauna; geração de energia elétrica; transporte; diluição e afastamento de despejos. (MOTA, 1988).

Por outro lado, sabe-se que a demanda crescente pela água tem resultado em problemas, não só de carência da mesma, como também de degradação de sua qualidade.

Segundo Lima (2008) a civilização moderna é caracterizada por alta demanda de água. O autor mostra que nos tempos passados o consumo doméstico *per capita* diário, considerando todos os tipos de usos, era de aproximadamente 12 a 20 litros e que, atualmente, esse consumo é de 300 litros/dia. Somados todos os tipos de usos da água (doméstico,

irrigação, industrial, na agricultura, dentre outros) o consumo gira em torno de 15.000 litros por pessoa/dia.

Segundo Flauzino (2008) o uso crescente da água pelo homem está relacionado ao crescimento demográfico, ao estágio de desenvolvimento das sociedades, ao grau de urbanização e aos usos múltiplos que exercem influência direta na sua qualidade e quantidade.

Em algumas regiões da Terra existe intensa demanda por água. Geralmente, são regiões onde se desenvolvem os grandes aglomerados urbanos, os polos industriais e a agricultura irrigada, os quais podem demandar uma quantidade superior de água ao que está em oferta.

Uma das causas que resultam na escassez de oferta da água, segundo Braga (2005), é a sua qualidade inadequada ao uso em razão da poluição, que afeta a oferta e também gera graves problemas de desequilíbrio ambiental.

3.2 Hidrologia e o Ciclo Hidrológico

Hidrologia é a ciência que trata do estudo da água em todas as suas formas, sobre e sob a superfície da terra, incluindo sua ocorrência, circulação, comportamento, suas propriedades físicas e químicas, abrangendo suas relações com a vida. (LIMA, 2008).

A Hidrologia é considerada uma ciência multidisciplinar, pois integra conceitos de diversas áreas do conhecimento humano, onde atuam diferentes profissionais das várias subáreas. Entre esses profissionais há químicos, biólogos, engenheiros, matemáticos, estatísticos, geógrafos, geólogos, agrônomos, entre outros. Algumas das áreas em que a Hidrologia foi subdividida são: hidrometeorologia (água na atmosfera), potamologia (água nos rios), limnologia (água nos lagos), criologia (geleiras), oceanologia (oceânos), pedohidrologia (água do solo), hidrogeologia (água subterrânea).

Segundo Tucci (2004 p. 25),

a Hidrologia evoluiu de uma ciência preponderantemente descritiva e quantitativa, para uma área de conhecimento onde os métodos quantitativos têm sido explorados através de metodologias matemáticas e estatísticas, melhorando de um lado os resultados e de outro explorando melhor as informações existentes.

As metodologias de quantificação da disponibilidade hídrica de uma determinada área dão embasamento para o projeto e planejamento dos recursos hídricos. Nesse sentido, nota-se que no passado, a ocupação de bacias hidrográficas pelo homem foi efetuada com pouco ou nenhum planejamento. Levava-se em consideração o mínimo custo e o máximo benefício, sem maior preocupação com a preservação do meio ambiente.

De acordo com Tucci (2004) o planejamento da ocupação de uma bacia hidrográfica é extremamente necessário diante de uma sociedade com usos da água crescentes, que ocupa áreas de riscos e degrada o meio ambiente.

A ocorrência da água na natureza se manifesta nos três estados físicos: líquido, sólido e gasoso. A água no estado líquido é encontrada na superfície (oceano, corpos d'água e seres vivos), em subsuperfície (lençóis freáticos ou subterrâneos) e na atmosfera, formando as precipitações. No estado sólido a água é encontrada na Terra compondo as geleiras e em precipitações de neve e granizo. Já no estado gasoso, a água é encontrada próxima à superfície, na forma de neblina além de estar presente também na atmosfera.

Os oceanos constituem importantes reservatórios de água, armazenando 97% das águas do planeta; os gelos representam cerca de 2,1%; as águas subterrâneas totalizam 0,7% e mais, entre lagos doces e salinos (0,016%), umidade do solo (0,005%), atmosfera (0,001%), biosfera (0,0002%) e, nos rios, apenas 0,00009%. O total de evaporação da água da Terra e o total de precipitação que retorna a Terra se equivalem, mostrando que não há perdas no balanço hídrico global. (COELHO NETO, 1995 p. 96).

De acordo com Coelho Neto (1995) os movimentos e as mudanças do estado da água no ciclo hidrológico podem ser ilustrados conforme a figura 20.

Para melhor compreender as complexas questões associadas aos recursos hídricos, torna-se necessário levar em conta as suas peculiaridades, iniciando com a abordagem do ciclo hidrológico. De acordo com Soares (2008, p. 41),

O ciclo hidrológico representa o comportamento natural da água em relação à sua ocorrência, circulação e distribuição na Terra, assim como as relações e transformações que condicionam a evolução da vida no planeta. A água é o componente fundamental para a dinâmica da natureza, participando, dinamizando e impulsionando todos os ciclos ecológicos.

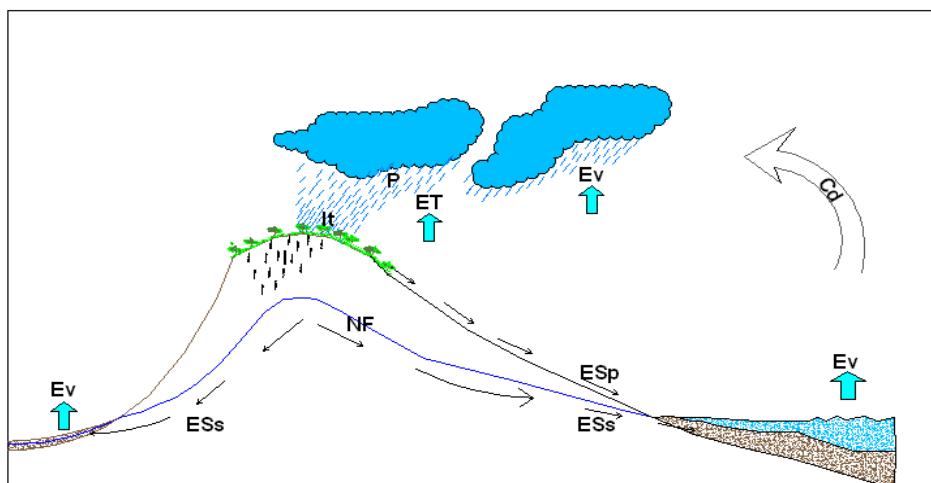


Figura 20 – Ciclo hidrológico. Ev = evaporação; ET = evapotranspiração; CD = condensação; P = precipitação; It = interceptação pela vegetação; I = infiltração; ESs = escoamento subsuperficial; ESp = escoamento superficial; NF = nível freático. Desenho: OLIVEIRA & REIS, 2011. Fonte: Adaptado de COELHO NETO, 1995.

O ciclo hidrológico pode ser conceituado como o movimento e a troca de água nos seus diferentes estados físicos, ocorrendo na hidrosfera, entre os oceanos, as calotas polares, as águas superficiais, as águas subterrâneas e a atmosfera.

De acordo com Carvalho e Silva (2006) a energia térmica solar é a principal responsável pelo movimento da água, elevando-a da superfície terrestre para a atmosfera, através da evaporação e da gravidade que faz com que a água condensada se precipite. Assim, essa precipitação, quando chega à superfície, espalha-se através do escoamento superficial chegando aos corpos d'água até atingir os oceanos ou se infiltra nos solos e nas rochas, através dos seus poros, fissuras e fraturas (escoamento subterrâneo). No entanto, nem sempre

a água precipitada consegue chegar à superfície da terra, pois uma parte, ao cair, pode ser interceptada pela vegetação, de onde voltam por evaporação para a atmosfera.

Teixeira *et al.* (2000, p. 114) definem o ciclo hidrológico ou movimento de água no sistema Terra como:

A água distribui-se na atmosfera e na parte superficial da crosta até uma profundidade de aproximadamente 10 km abaixo da interface atmosfera/crosta, constituindo a hidrosfera, que consiste em uma série de reservatórios com os oceanos, geleiras, rios, lagos, vapor de água atmosférica, água subterrânea e água retida nos seres vivos. O constante intercâmbio entre estes reservatórios compreende o ciclo da água ou ciclo hidrológico, movimentado pela energia solar, e representa o processo mais importante da dinâmica externa da Terra.

Assim sendo, o ciclo hidrológico, não tem começo nem fim e é fundamental para o desenvolvimento da vida na Terra.

3.2.1 A precipitação

Precipitação é toda água oriunda do meio atmosférico, ou seja, se refere às diferentes formas líquidas e congeladas de água como: chuva, neve, granizo, orvalho, geada e nevoeiro. No entanto, o que distingue essas formas de precipitações é o estado físico em que a água se encontra. (BERTONI; TUCCI, 2004).

De acordo com Tomasella e Rossato (2005) é comum tratar a precipitação somente sob forma de chuva por ser mais fácil a mensuração. Outro fator relevante é a não ocorrência de neve em nossa região e também porque as outras formas de precipitação contribuem pouco para a vazão dos rios.

A precipitação é considerada o elemento básico em estudos hidrológicos e isso se dá a partir do momento em que ela atinge o solo. E são as precipitações em forma de chuvas que mais contribuem para o regime hidrológico de uma região. (SOARES, 2008).

A formação da precipitação se dá pelo seguinte processo:

o ar úmido das camadas baixas da atmosfera é aquecido por condução, torna-se mais leve que o ar das vizinhanças e sofre uma ascensão adiabática. Nessa ascensão ele expande e se resfria na razão de 1°C por 100m (expansão adiabática seca) até atingir a condição de saturação (nível de condensação). A partir desse nível, em condições favoráveis, e com a existência de núcleos higrocópicos, o vapor d'água condensa, formando minúsculas gotas em torno desses núcleos. Essas gotas, entretanto, não possuem massa suficiente para vencer a resistência do ar, sendo, portanto mantidas em suspensão até que, por um processo de crescimento, ela atinja tamanho suficiente para precipitar. (VILLELA; MATTOS, 1975 p. 41).

Existem três tipos de precipitação classificadas de acordo com as condições que causam o movimento vertical do ar, que são: ciclônico, orográfico e convectivo.

As precipitações ciclônicas estão associadas com o movimento de massas de ar de regiões de alta pressão para regiões de baixa pressão (...) A precipitação ciclônica pode ser classificada como frontal ou não frontal (...) As precipitações ciclônicas são de longa duração e apresentam intensidades de baixa a moderada, espalhando-se por grandes áreas. São importantes, principalmente, no desenvolvimento e manejo de projetos em grandes bacias hidrográficas. As precipitações orográficas resultam de ascensão mecânica de correntes de ar úmido horizontal sobre barreiras naturais, tais como montanhas (...) As precipitações convectivas são típicas das regiões tropicais. (...) Essas precipitações são de grande intensidade e curta duração, concentradas em pequenas áreas. São importantes para projetos em pequenas bacias. (VILLELA; MATTOS, 1975 p.42 e 43).

Os dados de distribuição e de variações das precipitações, no tempo e no espaço são utilizados para determinar o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica. A precipitação média sobre uma bacia pode ser calculada com base em um temporal isolado, ou com totais de uma estação do ano, ou ainda com base em totais anuais, utilizando-se três métodos de determinação: o método aritmético; o método de Thiessen e o método das Isoietas (VILLELA e MATTOS, 1975). Segundo esses autores o primeiro método mencionado é considerado o mais simples para a determinação da precipitação média. Pode ser utilizado em áreas planas ou de relevo muito suave e seus resultados podem ser mais confiáveis quando as estações forem distribuídas uniformemente pela área da bacia.

O segundo método, o de Thiessen, determina uma média ponderada das alturas registradas, que é diretamente proporcional à área de influência da bacia. Essas áreas de influência são determinadas através de alguns passos, como: sobre o mapa da bacia as

estações são ligadas por linhas, determinando-se polígonos; mediatrizes são traçadas para cada lado, de maneira que o encontro dessas com o contorno da própria bacia delimitam as áreas de influência para cada estação. (LUGON Jr; RODRIGUES, 2008). A precipitação média é calculada pela média ponderada entre a precipitação (P_i) de cada estação e o peso a ela atribuído (A_i). (VILLELA; MATTOS, 1975). A fórmula para esse cálculo pode ser expressa do seguinte modo:

$$\bar{h} = \frac{\sum P_i A_i}{\sum A_i} \quad \text{sendo,}$$

\bar{h} – precipitação média

$\sum A_i$ – área total da bacia

P_i – precipitação de cada ponto

A_i – área de influência de P_i

Já o terceiro e último método, o método das Isoetas, é o mais preciso para o cálculo da precipitação média de uma bacia hidrográfica.

São as curvas de mesma precipitação, construídas a partir de dados pluviométricos, que determinam sobre uma bacia o que se denominam isoetas. As isoetas, juntamente com os contornos da bacia, delimitam áreas que servem como peso no cálculo da precipitação média ponderada sobre a bacia. (LUGON Jr; RODRIGUES, 2008 p. 95).

A fórmula para calcular a média entre as isoetas (curvas de igual precipitação) é expressa da seguinte forma:

$$\bar{h} = \frac{\sum \left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) A_i}{A} \quad \text{sendo,}$$

h_i : valor da isleta de ordem i

h_{i+1} : valor da isleta de ordem $i+1$

A_i : área entre duas isoetas

A : área total

Coelho Neto (1995) destaca a importância da precipitação. Segundo a autora, a precipitação é um importante fator-controle do ciclo hidrológico e, por conseguinte, regulador das condições ecológicas e geográficas de uma determinada região. Ela ainda enfatiza que:

As quantidades relativas de precipitações (volume), seus regimes sazonais (distribuição temporal) e as intensidades de chuvas individuais (volume/temperatura) são algumas das características que afetam a natureza e a magnitude do trabalho geomorfológico em bacias de drenagem e, portanto, o planejamento de áreas urbanas, industriais ou rurais. (COELHO NETO, 1995 p.100).

A quantidade da precipitação pode ser medida por meio de pluviômetros ou pluviógrafos. (Figura 21). Os pluviômetros são aparelhos cilíndricos, coletores da chuva que se precipita sobre a área do anel superior do cilindro, durante intervalos regulares de tempo. A quantidade de água aglomerada no cilindro é lida com o apoio de provetas graduadas. Para esse cálculo é utilizada a fórmula:

$$P(\text{mm}) = \frac{r^2 h}{R} \quad \text{onde,}$$

P: altura de precipitação (mm)

R: raio de pluviômetro

r: raio da proveta

h: altura da coluna d'água na proveta.

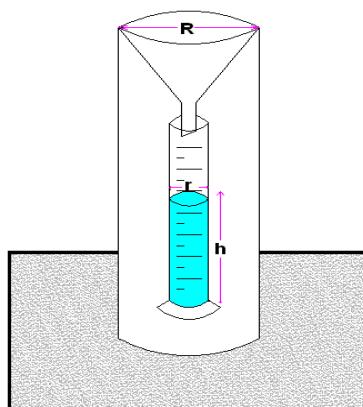


Figura 21 – Pluviômetro. Desenho: OLIVEIRA & REIS, 2011. Adaptado de COELHO NETO, 1995.

Os pluviógrafos são aparelhos gráficos automatizados que registram, continuamente, as alturas de chuvas, sua distribuição no tempo e intensidade (altura/tempo). (COELHO NETO, 1995).

Nem sempre a totalidade de uma precipitação chega ao seu destino final, pois uma parte dela pode ser interceptada pela cobertura vegetal e retornar à atmosfera por evapotranspiração, durante e após as chuvas. Outra parte pode atravessar as copas das árvores e arbustos e atingir o solo e, pode ainda, acontecer de uma parte escoar pelos troncos. Outra parte da chuva pode ser retida na porção extrema superior do solo que compreende a serrapilheira. (Figura 22). Segundo Coelho Neto (1995) a natureza da cobertura vegetal, bem como as características físicas das chuvas, constitui importante variável-controle do processo de intercepção.

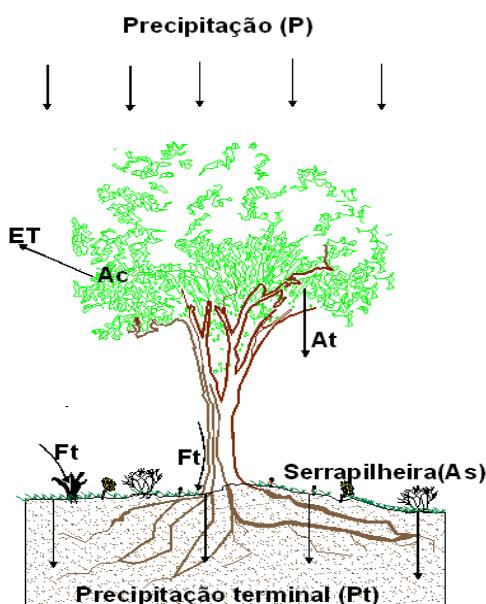


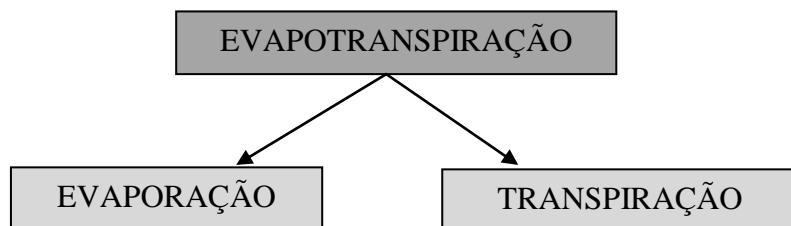
Figura 22 – Componentes da interceptação: P é precipitação; ET é evapotranspiração; Ac é armazenamento nas copas; At é atravessamento das copas; e Ft é fluxo nos troncos. Desenho: OLIVEIRA & REIS, 2011. Adaptado de COELHO NETO, 1995.

3.2.2 A evaporação e a evapotranspiração

A evaporação e a evapotranspiração são elementos importantes para o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica, sendo considerados os processos de transferência da água da superfície para a atmosfera. A evaporação é o processo de transformação da água do estado líquido para o estado de vapor, ou seja, é o processo pelo qual as moléculas de água na superfície líquida na umidade do solo, adquirem energia suficiente (através da radiação solar e outros fatores climáticos) passando, assim, do estado líquido para o de vapor. (VILLELA; MATTOS, 1975).

Os fatores que mais influenciam na evaporação são: temperatura; pressão atmosférica; pressão de vapor; umidade relativa; vento; natureza da superfície; radiação solar.

A evapotranspiração é o processo conjunto da evaporação do solo mais transpiração das plantas. Esse processo pode ser representado da seguinte forma:



onde,

Transpiração é a perda da água para a atmosfera devida às ações físicas e fisiológicas dos vegetais, através dos estômatos, que são estruturas localizadas nas epidermes, e constantemente podem ser encontrados nas folhas, caules, flores e frutos. Evaporação potencial é perda de água para a atmosfera de uma superfície líquida exposta livremente às condições ambientais. Evapotranspiração potencial é a perda de água observada por evaporação e transpiração de uma superfície natural que esteja totalmente coberta e o teor de umidade esteja próximo à capacidade de campo. Evaporação real ou atual é a perda de água observada por evaporação ou transpiração nas condições atmosféricas e de umidade do solo (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 83-84).

Segundo Villela e Mattos (1975) existem vários aparelhos e fórmulas para calcular a evaporação e a evapotranspiração de uma área, porém nenhum deles apresenta precisão almejada. Logo, existem dois métodos comumente utilizados que são o método de estimativa e o método de medidas.

Os métodos de estimativa são divididos em:

- Método aerodinâmico: baseado na difusão do vapor, o qual apresenta sérias dificuldades devidas à equação universal da difusão possuir solução simples apenas em condições especiais;
- Método do balanço energético: fundamentado no princípio da conservação da energia;
- Métodos combinados: que combinam os métodos balanço energético e aerodinâmico;
- Método de Penman-Bavel: em razão da fórmula desse método ser bastante complexa e trabalhosa, Van Bavel propôs uma simplificação do mesmo, construindo um nomograma simples para determinar a evapotranspiração potencial diária;
- Método de Thornthwaite: correlaciona dado de evapotranspiração potencial, medida em evapotranspirômetros e em bacias hidrológicas, com dados de temperatura média mensal e comprimento do dia;
- Método de Blaney & Criddle: como o método de Thornthwaite, utiliza temperatura media mensal e um fator ligado ao comprimento do dia.

Já nos métodos de medidas são utilizados diversos tipos de instrumentos. Dentre eles: evaporímetro ordinário, atmômetros e evapotranspirômetro.

3.2.3 O escoamento superficial

O escoamento superficial pode ser definido como o movimento das águas que, por efeito da gravidade, se deslocam na superfície do terreno, ou seja, é a quantidade de água que

não consegue se infiltrar durante uma precipitação. Essa parte da água precipitada se desloca, escoando pela superfície em direção ao canal fluvial.

A parte restante se infiltra no interior do solo, onde uma parcela pode se acumular na porção superior e voltar à atmosfera através da evapotranspiração. Outra parcela caminha em profundidade até atingir os lençóis freáticos e vai compor o escoamento subterrâneo (TOMASELLA; ROSSATO, 2005). Os corpos d'água são alimentados, diretamente ou indiretamente, pelo escoamento superficial, bem como pelo escoamento subsuperficial.

Segundo Villela e Mattos (1975) o escoamento superficial é influenciado por diversos fatores que facilitam ou prejudicam a sua ocorrência, os quais podem ser de natureza climática (precipitação) ou de natureza fisiográfica (características físicas da bacia) que vão influenciar na infiltração das águas no solo.

Os solos definem as quantidades de chuvas que infiltram ou que excedem para escoar na superfície do terreno. Pode-se ainda dizer, que os solos determinam o volume do escoamento da chuva, a sua distribuição temporal e as descargas máximas, tanto na superfície como em subsuperfície. (COELHO NETO, 2007, p.114).

De acordo com Coelho Neto (1995 apud Soares, 2008) atributos pedológicos (constituição, estrutura e porosidade) são relevantes para a infiltração da água da chuva. O arranjo estrutural dos materiais que constituem o solo, bem como o tamanho desses materiais determinará os níveis de porosidade e a capacidade que o solo tem de absorver a umidade. (Figura 23).

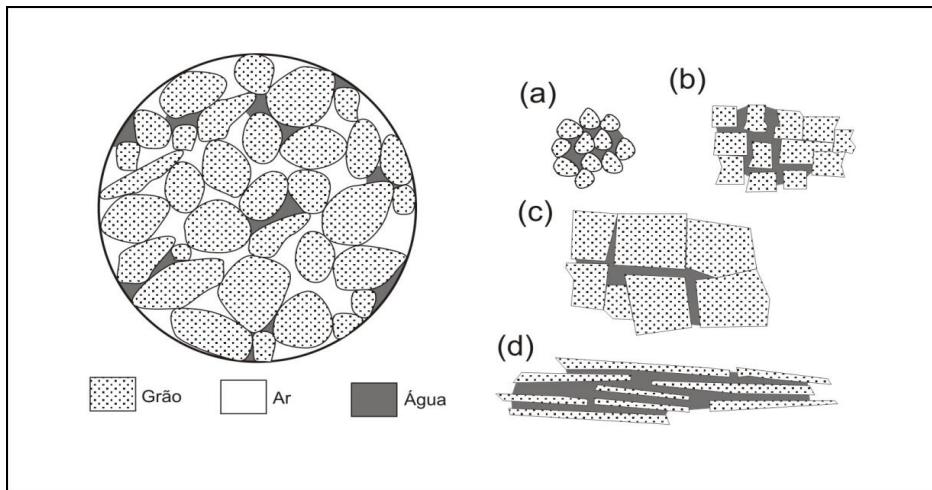


Figura 23 – Componentes do solo e arranjo espacial das partículas que controlam o tempo de viagem da água no solo: a) estrutura granular; b) estrutura em bloco; c) estrutura prismática; d) estrutura em placa.

Fonte: COELHO NETO (1995).

Segundo Coelho Neto (2007) a capacidade de infiltração da água no solo é regulada por diversas variáveis-controle, que são:

- a) características físicas das chuvas – a intensidade da chuva, junto com as demais variáveis do solo, define o que entra e o que excede a capacidade de infiltração; as chuvas mais intensas causam maiores impactos no solo exposto, e os picos de chuva de longa duração preenchem o potencial de estocagem e eventualmente conduzem os solos à saturação; b) condições de cobertura dos solos – a cobertura vegetal tende a aumentar a capacidade de infiltração (...); c) condições especiais dos solos – se por um lado, a compactação pelo impacto das chuvas e a selagem por partículas finas deslocadas pelo salpico das gotas de chuvas promovem uma diminuição da água infiltrada, por outro, o aumento da carga hidráulica na superfície ou das rachaduras de ressecamento do solo ou do declive da superfície aumentam a infiltração; d) condições de textura, profundidade e umidade antecedente do solo – estas variáveis importam na definição da quantidade de água que poderá ser estocada antes do solo atingir a saturação: solos profundos e bem drenados, com textura grosseira e grandes quantidades de matéria orgânica apresentarão alta capacidade de infiltração; já os solos rasos e mais argilosos mostrarão baixas taxas e volumes de infiltração (...); e) atividade biogênica no topo dos solos – a formação de bioporos pela atividade da fauna escavadora e do enraizamento dos vegetais aumenta a capacidade de infiltração (...) (p. 120).

O solo é considerado um armazenador e fornecedor de água e nutrientes às plantas.

Através dos fenômenos absorção e capilaridade, o solo retém a umidade das chuvas que as plantas necessitam. (TOMASELLA; ROSSATO, 2005).

Segundo Soares (2008) a permanência da água no solo está relacionada com a força capilar, ou seja, a água que infiltra no solo está submetida a duas forças fundamentais, a gravidade e a força de adesão de suas moléculas às superfícies das partículas do solo.

A força capilar pode ser entendida conforme a explicação descrita abaixo:

(...) os poros são vazios interconectados, e geralmente possuem tamanhos diferentes, podem suportar certa pressão negativa ou sucção. À medida que esta pressão aumenta a água é sugada dos poros e substituída pelo ar, até que a água remanescente se restrinja aos microporos, onde a força capilar é maior. Esse processo é responsável pela alteração do teor de umidade do solo e, quando este chega a esse limite é chamado de capacidade de campo. Se a água continuar a sair do solo, devido à extração da água pelas plantas, atingindo valores menores do que a capacidade de campo ocorrerá o murchamento da vegetação que não consegue mais retirar água dos microporos. Ao contrário, quando a água é estocada no solo, ocorre aumento do teor de umidade. O volume máximo de água que o solo pode estocar é dado pela porosidade. O grau de saturação do solo é dado pela relação: $S = p_{(\text{água})} / p_{(\text{vazios})}$ (%); sendo que: S = grau de saturação e p = poros. À medida que o solo gradativamente torna-se saturado, a força capilar também é proporcionalmente reduzida até ficar neutra com a saturação total do solo. (SOARES, 2008, p. 53).

A figura 24 exemplifica a descrição acima e enfatiza, ainda, que a umidade pode ser dividida em zona de saturação, quando todos os espaços vazios encontram-se completamente ocupados pela água e, zona de aeração, quando os poros contêm água e ar. (CAICEDO, 2004).

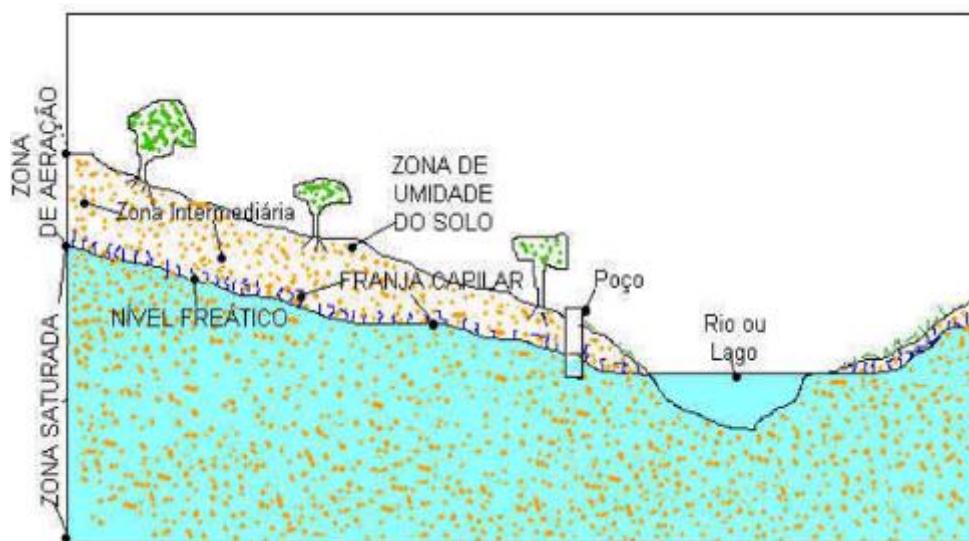


Figura 24 – Distribuição da água no solo. Fonte: PEDROSA & CAETANO (2002).

Conforme a figura acima, primeiramente a água chega ao solo através da precipitação e vai se infiltrando até atingir o aquífero. Para isso, a água passa pela zona não saturada ou zona de aeração, a qual está localizada entre o nível freático e a superfície. É uma zona de um aquífero livre onde se verifica uma intensa circulação vertical da água e pode ser subdividida em três zonas:

- Zona de evapotranspiração – zona onde se processam trocas com a atmosfera, através da evaporação direta da superfície ou através das plantas devido à transpiração. Aqui, parte da água pode continuar descendo, no perfil do solo, até chegar à zona da água capilar ou intermediária;
- Zona capilar – zona onde a água fica retida no solo através da atração molecular e pela ação da capilaridade.

A atração molecular retém uma fina película de água sobre a superfície das partículas do solo. A força capilar retém água nos poros menores e só quando a quantidade de água excede a capacidade de retenção, pela capilaridade, é que a água passa a infiltrar-se. (SOARES, 2008 p. 55).

- Zona intermediária – zona compreendida entre as duas zonas anteriormente descritas, porém com umidade menor do que na franja capilar e maior que na zona superficial do solo.

Podemos, então, distinguir na zona de aeração: a faixa de umidade do solo, a faixa intermediária e a franja de capilaridade. A primeira faixa é a parte mais superficial, onde a perda de água de adesão para a atmosfera é intensa. A faixa intermediária é a região compreendida entre a faixa de umidade do solo e a franja capilar, mas com umidade menor do que na franja capilar e maior do que na zona superficial do solo. É nessa faixa, segundo Soares (2008, p. 55), “que ocorre o mesmo embate entre a força capilar e a força gravitacional”. A água é retida, por capilaridade, até o limite, quando os poros vão se

saturando e as forças gravitacionais superam as forças capilares, ocorrendo percolação da água rumo à zona saturada.

A zona de saturação (zona saturada) é uma zona mais profunda, fica situada abaixo da superfície freática e corresponde ao local onde os poros ou interstícios da rocha se encontram saturados em água. Nessa zona, a água tem um movimento mais ou menos longo sob influência da pressão hidrostática. A água, então, se mantém nos poros do solo ou das rochas, formando os aquíferos.

3.2.4 Os aquíferos

Os aquíferos são unidades geológicas com suficiente permeabilidade e porosidade, capazes de armazenar e transportar quantidades significativas de água sob gradientes hidráulicos naturais. Etimologicamente, aquífero significa: aqui = água; fero = transfere; ou do grego, suporte de água. Podem ter extensão de poucos quilômetros quadrados a milhares de quilômetros quadrados ou podem também, apresentar espessuras de poucos metros a centenas de metros (REBOUÇAS *et al.*, 2002).

Aquíferos possuem boa permeabilidade, dada por materiais com porosidade interconectada. Todavia, existem os Aquidartes que são formações geológicas que armazenam água, mas não permitem boa movimentação dessa água. Já os Aquicludes, são as rochas que apesar de apresentarem grande porosidade, possuem baixa permeabilidade não permitindo que a água flua em seu meio. Essa última formação geológica, apesar de armazenar água não pode ser chamada de aquífero, pois possuem muitos poros, porém não se comunicam entre si porque os diâmetros dos poros são muito pequenos e a força de atração entre as moléculas de água e as partículas argilosas é suficientemente grande para evitar a ação da força de gravidade. (CAICEDO, 2004).

Os aquíferos são classificados em confinados e não confinados. O aquífero confinado é aquele constituído por uma formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis. É uma formação geológica que contém água sob pressão podendo causar artesianismo nos poços que captam suas águas. (BORGHETTI *et al.*, 2004). (Figura 25). O aquífero não confinado (ou livre, ou freático) é aquele cujo limite superior é a superfície de saturação ou freático na qual todos os pontos se encontram à pressão atmosférica. (CPRM, 2012).

Quando um poço é perfurado, até encontrar um aquífero confinado, a água se eleva no poço até o nível do topo do aquífero. Essa altura da lâmina de água representa a pressão artesiana do aquífero ou nível piezométrico. Quando a pressão hidrostática em um aquífero artesiano é capaz de elevar a água do poço acima da superfície do solo, o poço é chamado de poço artesiano jorrante. (SOARES, 2008, p. 52).

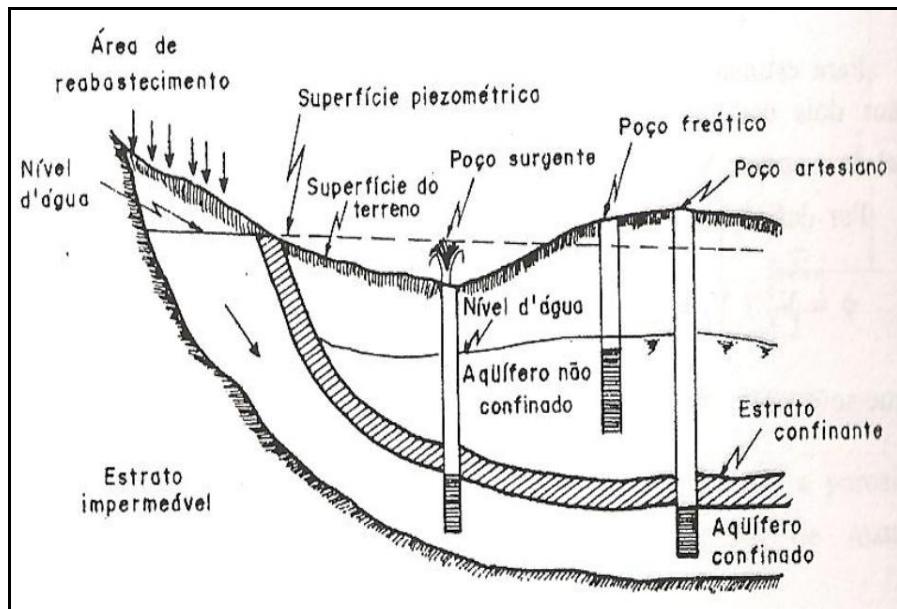


Figura 25 – Aquífero artesiano (formação geológica que contém água sobre pressão) e aquífero livre.
Fonte: CAICEDO (2004).

Percebemos através da história da humanidade como foi e são importantes as águas subterrâneas na vida e trajetória do homem, principalmente no que concerne ao abastecimento público. Dessa forma, constata-se que a humanidade foi e ainda é beneficiada por essas águas

ao longo da história, e assim é justa e necessária uma nova consciência a manutenção e preservação destes reservatórios. (SILVA, 2011).

Desde o início, a captação da água subterrânea tornou-se uma das importantes possessões dos povos primitivos, face à escassez ou irregularidade das chuvas nessas áreas. Certamente que, inicialmente, as obras de captação eram simples buracos d'água, como faziam o cavalo selvagem e o lobo. (REBOUÇAS, 2006, p. 112).

O uso de água subterrânea, conforme o histórico da humanidade e através de registros arqueológicos mostra que os homens, desde o início de sua existência, usavam técnicas capazes de captar essas águas para saciar necessidades diversas.

Desde pelo menos 8.000 a.C., as escavações feitas para extração de água subterrânea para consumo passaram a ser revestidas de pedra e betume, como é o caso do “cacimbão” mais antigo até agora descoberto na cidade fortificada de Jericó. (REBOUÇAS, 2006, p. 112).

E o autor ainda completa:

A perfuração de poços profundos com varas de bambu teve início em cerca de 5.000 a.C. na China. Porém, as galerias e túneis horizontais ou “canates” de até centenas de quilômetros de cumprimento, construídos pelos povos antigos nas rochas fraturadas — calcários, arenitos e/ou vulcânicas — do Oriente Médio, ainda representam as obras mais espetaculares de captação de água subterrânea. (REBOUÇAS, 2006. p.112).

A utilização das águas subterrâneas tem crescido de forma acelerada nas últimas décadas, e há indicações de que essa tendência deverá continuar. Portanto, é importante que sejam tomadas medidas para se efetivar obras de captação, pois quando feitas fora dos padrões das normas técnicas, podem se constituir em fontes de possível contaminação natural, ou induzida dos aquíferos. (PEDROSA; CAETANO, 2002).

Ainda, segundo os autores citados, a água subterrânea nem sempre é suficiente para suprir o abastecimento de grandes centros populacionais. Portanto, essa captação deve ser complementada com a utilização da água superficial.

3.2.5 Águas superficiais e subterrâneas

Entende-se por água superficial aquela que escoa ou se armazena na superfície terrestre após a precipitação. Na superfície ela pode ser armazenada em lagos, rios e represas enquanto que na região subterrânea ela pode se acumular em aquíferos.

Já a água subterrânea é aquela que ocupa a zona saturada do solo, correspondendo à parte da precipitação que infiltra no subsolo, sendo armazenada nos interstícios e atinge os sistemas aquíferos. (INSTITUTO GEOLÓGICO E MINEIRO, 2001).

As águas superficiais e as águas subterrâneas não são necessariamente independentes, pois as mesmas possuem ligações diretas ou indiretas. Isso pode ser explanado da seguinte maneira: de um lado, a água superficial pode se transformar em água subterrânea através da infiltração das águas oriundas das precipitações, dos rios, lagos e outros corpos d'água. Por outro lado, a água subterrânea pode se transformar em água superficial, através da descarga em nascentes, rios e outros corpos d'água.

As ligações diretas e indiretas das águas subterrâneas e superficiais são importantíssimas para assegurar a preservação da quantidade e qualidade da água subterrânea, que pode ficar comprometida pela infiltração de água superficial contaminada.

Segundo Silva (2007) os recursos hídricos superficiais representam importante reserva de água, sendo considerada uma fonte de fácil captação para diversos usos humanos. Contudo, são mananciais que representam menor porcentagem de água na distribuição global, contando com apenas 9% do total de água doce. Além disso, as águas subterrâneas correspondem a cerca de 30% do total de água doce no planeta e são consideradas como um recurso estratégico no caso de falha das outras fontes. (Figura 26).

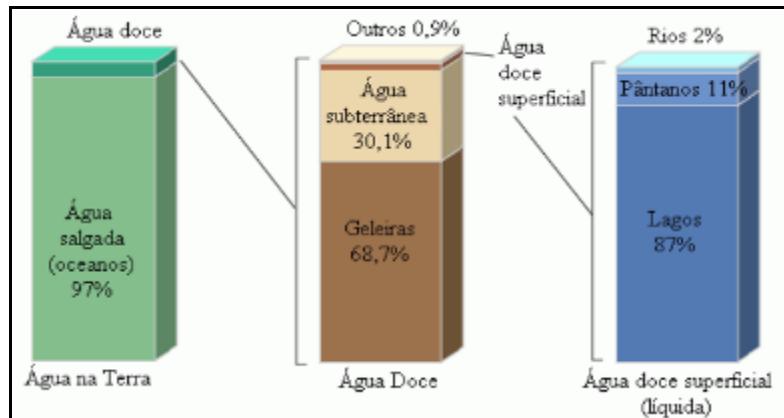


Figura 26 – Distribuição Global de Água.

Fonte: ESTADOS UNIDOS (2006 apud SILVA, 2007).

Nosso país é considerado um dos mais ricos do mundo em termos de disponibilidade de volume de água doce superficial. Segundo Brasil (2002 apud Silva, 2007) aproximadamente 10% de toda a água doce superficial do mundo encontra-se no Brasil. No entanto, a distribuição dessa água varia de um ano a outro e também espacialmente pelo território nacional. E, por isso, existem regiões brasileiras com grande quantidade e boa qualidade de água, enquanto que outras regiões padecem com a escassez hídrica.

Os estudos relacionados à interação entre as águas superficiais e subterrâneas vêm aumentando nos últimos anos. Eles buscam analisar os efeitos da exploração dessas águas sobre os diversos cursos d'água. Assim, “a perspectiva em se considerar a interação que um manancial exerce sobre o outro é essencial para o gerenciamento dos recursos hídricos dentro de uma visão integrada do ciclo hidrológico na bacia. (SILVA, 2007 p. 8). O autor ainda completa que,

a extração de água de corpos hídricos superficiais, principalmente daqueles com características predominantemente influentes, ou seja, que contribuem para o fluxo subterrâneo, pode provocar a diminuição da contribuição superficial ao aquífero e, consequentemente, promover uma depleção do lençol freático. Da mesma forma, todo volume de água subterrânea retirado de um aquífero implica, também, em uma redução da sua contribuição aos corpos hídricos superficiais. Por isso, as alocações de água superficial e subterrânea de forma segregada não são apropriadas em virtude dos efeitos inter-relacionados entre esses sistemas. (SILVA, 2007 p. 8).

Vale ressaltar que essas interligações são extremamente importantes para preservação dos recursos hídricos, tanto na quantidade, quanto na qualidade de suas águas. Assim, planejamento e gestão dos recursos hídricos devem levar em consideração os recursos hídricos superficiais e subterrâneos e suas interligações, de forma a poder controlar a influência de um sobre o outro.

A interação entre as águas superficiais e subterrâneas sofre interferência de alguns fatores físicos como: topografia, geologia e clima.

Para Silva (2007, p. 13),

a topografia e a geologia interferem de forma expressiva na dinâmica de trocas entre os corpos superficiais e os aquíferos. Geralmente, em um aquífero não confinado, a linha freática segue forma semelhante à da topografia do terreno, sendo, também, bastante dependente das características geológicas da região. Esses dois mecanismos, por outro lado, determinam apenas a distribuição espacial das zonas de recarga e descarga, e não as taxas em que elas ocorrem, as quais são mais influenciadas pelo clima. Dessa forma, o tripé: topografia, geologia e clima, constituem o principal responsável pela interação entre águas superficiais e subterrâneas. (TÓTH, 1970 apud SILVA, 2007).

As águas subterrâneas podem influenciar e/ou serem influenciadas por praticamente todos os tipos de corpos hídricos superficiais, dependendo das características fisiográficas e climáticas de uma região. (SILVA, 2007).

Vale lembrar ainda que as interações entre águas superficiais e subterrâneas têm significado ecológico, ou seja, o fluxo entre os corpos d'água superficiais e o aquífero é responsável pela existência de um *habitat* dinâmico para a fauna aquática.

3.3 A bacia hidrográfica

Existem na literatura várias definições para o termo bacia hidrográfica. Pode ser definida como uma compartimentação geográfica natural delimitada por divisores de água, ou

seja, é uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, em determinado ponto de um canal fluvial. (COELHO NETO, 2007).

Segundo Silveira (2004, p. 40) “a bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma bacia de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório”.

A bacia hidrográfica, considerada como um sistema hidrológico vem sendo utilizada para os estudos dos processos que compõem o ciclo hidrológico. (SOARES, 2008).

A autora ainda completa:

As bacias hidrográficas contiguas, de qualquer hierarquia, estão interligadas pelos divisores topográficos, formando uma rede que drena água, material sólido e dissolvido para uma saída comum ou ponto terminal, que pode ser outro rio de hierarquia igual ou superior, lago ou oceano. A bacia de drenagem é considerada um sistema aberto onde ocorre entrada, que é o volume de água precipitado, e saída, que é o volume de água escoado pelo exutório. Entre a entrada e a saída existem perdas intermediárias, que são os volumes evaporados, transpirados e infiltrados profundamente. A energia é fornecida pela atuação do clima e da tectônica locais, eliminando fluxos energéticos pela saída da água, sedimentos e solúveis. (SOARES, 2008, p.59).

Segundo Coelho Neto (2007) as bacias hidrográficas podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias de drenagem. Isso dependerá do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor. (Figura 27).

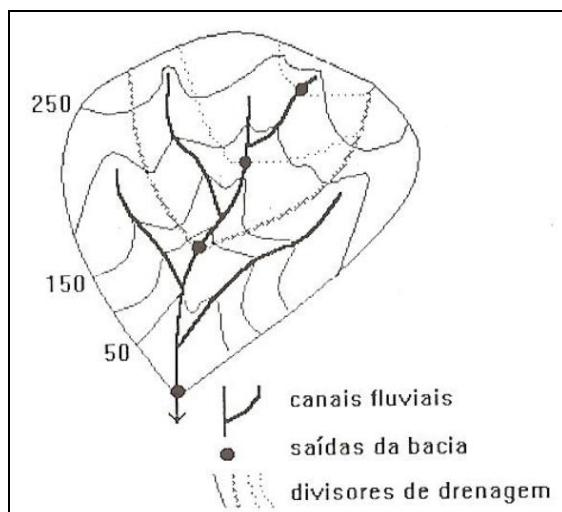


Figura 27 – Bacia Hidrográfica. Fonte: COELHO NETO (2007).

Conforme Silveira (2004) o papel hidrológico da bacia hidrográfica é o de transformar uma entrada de volume concentrada no tempo (precipitação) em uma saída de água (escoamento).

De acordo com Soares (2008) a bacia hidrográfica é um referencial geográfico para adquirir práticas de planejamento ou de manejo dos recursos naturais e, atualmente, ela vem sendo utilizada como unidade de planejamento e gestão, compatibilizando os diversos usos e interesses pela água e fazendo garantir a sua qualidade e quantidade.

3.4 Balanço Hídrico

O balanço hídrico corresponde ao balanço de água, que verifica a entrada e saída de água de uma bacia hidrográfica, de modo a constatar a variação de volume de água presente nos aquíferos. A principal entrada de água de uma bacia é a precipitação. A saída de água da bacia pode ocorrer por evapotranspiração e por escoamento. Essas variáveis podem ser medidas com diferentes graus de precisão. O cálculo dos componentes do balanço hídrico reflete a quantidade de água armazenada no solo.

O balanço hídrico é, portanto, importante para o acompanhamento da quantidade de água armazenada no solo. Esta quantidade deve ser mantida em níveis ótimos para maximizar a produtividade agrícola. Assim, através do balanço hídrico, podem-se estabelecer critérios para a drenagem de um solo (em caso de excesso de água) ou para irrigação (reposição de água em caso de falta). (REICHARDT, 1987 apud SILVA, 2007, p. 45).

Os principais componentes do balanço hídrico para definir a demanda e a disponibilidade hídrica são: precipitação (P), evapotranspiração real (ETR), evapotranspiração potencial (ETP), armazenamento de água no solo (ARM), deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC). (SENTELHAS *et al.*, 1999).

Reichardt (1987 apud SILVA, 2007, p. 45) distingue o balanço hídrico em Balanço Hídrico Real e Balanço Hídrico Climatológico:

O primeiro é a contabilidade de todas as adições e retiradas de água que realmente ocorrem em dada área, utilizada na produção agrícola [...] nos mostra a situação hídrica pela qual uma cultura realmente passa e nos fornece critérios para definir quanto e quando irrigar. O segundo é uma estimativa do que ocorreria em dada área sendo a estimativa estritamente baseada em séries de dados climatológicos coletados durante anos em uma certa localidade [...] é mais uma previsão do que vai ocorrer em dada localidade no que se refere à situação hídrica.

O balanço hídrico climatológico (BHC) foi desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) para determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo. Para o cálculo desse balanço é necessário definir o armazenamento máximo no solo (CAD - Capacidade de Água Disponível), ter a medida da chuva total e também, a estimativa da evapotranspiração potencial em cada período. Com essas três informações básicas, o BHC permite deduzir a evapotranspiração real, a deficiência ou o excedente hídrico e o total de água retida no solo em cada período.

Existem diversos métodos para o cálculo do balanço hídrico, sendo que cada um tem uma finalidade diferente, porém um dos modelos mais conhecidos é o citado acima, o qual ficou conhecido como Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather. A principal função deste balanço é servir como base para uma classificação climática. Esse modelo tem sido amplamente utilizado por possibilitar a previsão da variação temporal do armazenamento de água no solo. Ele inclui estimativas da evapotranspiração real, déficit hídrico e excedente hídrico. (TOMASELLA; ROSSATO, 2005).

Sentelhas *et al.* (2000 apud SILVA, 2007, p. 46) descrevem sucintamente o método desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) para contabilizar a variação do armazenamento de água no solo:

[...] contabilização do suprimento natural de água ao solo (chuva, P) e da demanda atmosférica (evapotranspiração potencial, ETP), e com um nível máximo de armazenamento ou capacidade de água disponível (CAD) apropriado ao tipo de

planta cultivada. O balanço fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água do solo (ARM). Essa contabilização pode ser feita tanto na escala diária como em escalas maiores como a mensal, utilizando-se dados médios de vários anos (normal climatológica). O balanço hídrico, assim calculado, torna-se um indicador climatológico da disponibilidade hídrica.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados para o desenvolvimento da presente dissertação de mestrado procedimentos metodológicos para a realização do trabalho, buscando atingir os objetivos propostos.

Foi realizada uma pesquisa em referências que abordassem o tema pesquisado em livros, teses, dissertações, artigos científicos, anais de congresso, revistas especializadas, mapas diversos, dentre outros. Com base no acervo disponível, foi elaborada a revisão bibliográfica.

Foi realizado o levantamento do material cartográfico da área de estudo e das fotos aéreas dos anos de 1964 e 1979. A primeira foi obtida pela United States Air Force (USAF) na escala 1:60.000, e a segunda, elaborada pelo extinto Instituto Brasileiro do Café (IBC/GERCA), na escala 1:25.000, disponibilizada pelo Laboratório de Cartografia e Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Além dessas fotografias foram também utilizadas Ortofoto IBGE, de 2002, adquiridas no *site* do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)¹ e a imagem de 2010, do *software* Google Earth, o qual pode ser adquirido no *site* do Baixaki².

Foram efetuados trabalhos de campo para reconhecimento da área de estudo e definição dos pontos de mensurações de vazões e a periodicidade das mesmas. Foram definidos quatro pontos para as medidas de vazão com as suas respectivas coordenadas geográficas, obtidas por meio de aparelho GPS marca Garmin e modelo Etrex Legend H para que as suas localizações pudessem ser inseridas no mapa dos pontos de medição de vazão. Os pontos de medição foram identificados no mapa que está inserido no capítulo *Resultados e Discussões*, por letras/números: P1, P2, P3 e P4.

¹ www.ibge.gov.br

² <http://www.baixaki.com.br/download/google-earth.htm>

Determinados os pontos de mensuração das vazões, efetuou-se a escolha dos métodos para determinação das vazões.

A vazão ou descarga de um curso d'água pode ser definida como o volume de água que passa através de uma seção transversal na unidade de tempo, sendo expressa em metros cúbicos por segundo (m^3/s) ou em metros cúbicos por hora (m^3/h).

Para realização da medição de vazão é necessária a utilização de medidores de vazão. Esses medidores devem ser adequados às características físicas da área. Para Trielli (2012) um medidor de vazão é todo dispositivo que permite, de forma indireta, determinar o volume de fluido que passa através de uma dada seção de escoamento por unidade de tempo.

Inicialmente, pretendeu-se utilizar somente o método do vertedor triangular. No entanto, já na primeira tentativa, constatou-se que seria necessária a utilização de outros métodos para determinação da vazão, pois em alguns trechos ficou inviável o emprego do método inicialmente escolhido em razão da erosão do fundo do canal sob o vertedor triangular.

Diante das dificuldades encontradas para o uso do vertedor triangular em todas as seções, as medições de vazões foram efetuadas mediante quatro métodos: método do flutuador que foi realizado no ponto P1; método do vertedor triangular no ponto P2; método volumétrico (método do vasilhame) no ponto P3 e em galeria circular (tubulação) no ponto P4. As determinações da vazão foram realizadas em alguns meses nos períodos secos e chuvosos, entre os meses de maio de 2011 a fevereiro de 2012. A razão da escolha de métodos distintos para medições das vazões deve-se às condições locais, tais como: leito constituído de materiais erodíveis; grande largura do canal; sinuosidade, presença de vegetação na margem; grande volume do fluxo de água do local estudado; além da existência de condições adequadas para determinação (tubulação).

A definição da periodicidade das campanhas de coleta de dados de vazão seguiu a sazonalidade climática regional, que influencia a variação da quantidade de água nos períodos chuvosos e secos do ano.

O método do flutuador consiste em determinar a velocidade de deslocamento de um objeto flutuante, medindo o tempo necessário para que o mesmo se desloque em um trecho de curso d'água de comprimento conhecido. (ALMEIDA JUNIOR, 2012).

Esse método foi utilizado para medir a vazão no ponto P1, pois este ponto apresenta leito constituído de materiais erodíveis, apresentando erosão do fundo do canal sob o vertedouro triangular. Além disso, esse canal possui trechos retilíneos, o que caracteriza o mesmo adequado à utilização do método do flutuador. Esse método foi realizado conforme descrito a seguir:

- Em primeiro lugar, realizou-se a escolha do trecho mais retilíneo do local, estabelecendo-se um comprimento de 10 metros que foi marcado por estacas e fitas métricas. Assim, o ponto superior foi denominado de Ponto A e o ponto inferior de Ponto B. (Figura 28).



Figura 28 – Ponto P1 – Determinação da vazão em trecho de 10 metros (Ponto A e Ponto B) pelo método do flutuador.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

Em seguida, deu-se inicio à medição, a qual consiste basicamente em cronometrar o tempo, em segundos, que um objeto flutuante leva para fazer o percurso delimitado, prosseguindo da seguinte forma:

- Solta-se o flutuador a montante do Ponto A, sobre a água, no centro do trecho delimitado e, quando o flutuador chega à marca do Ponto A, dá-se início à contagem do tempo, através de cronômetro digital, finalizando o tempo quando o flutuador chega à parte inferior do trecho (Ponto B). Esse processo de lançamento do flutuador foi repetido por dez vezes para, posteriormente, efetuar o cálculo da média do tempo percorrido pelo flutuador. A figura 29 apresenta o esquema de mediação de vazão por flutuador de acordo com Melo e Pereira (2012).

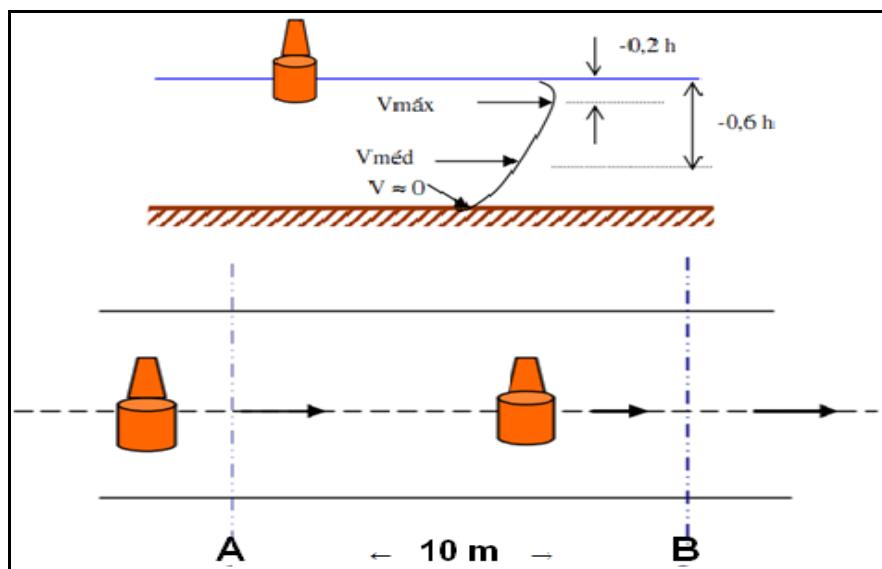


Figura 29 – Esquema da medição de vazão por flutuador

Fonte: MELO; PEREIRA - Departamento de Engenharia – Universidade Federal de Lavras – UFLA – 2012. Adaptado por: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

Depois de anotados os tempos percorridos pelo flutuador, procedeu-se às determinações das profundidades e larguras do trecho. Para tal, foram estabelecidas cinco seções iniciadas no Ponto A e finalizadas no Ponto B, onde foram aferidas as profundidades e larguras com uso da trena. A determinação da largura foi efetuada por meio de uma trena de margem a margem, para cada seção. Já a profundidade das seções foi determinada com

intervalos de 30 cm de acordo com a figura 30. Ainda nesse momento foram anotadas as profundidades e as larguras de cada seção, para, posteriormente, serem feitas as médias das mesmas.

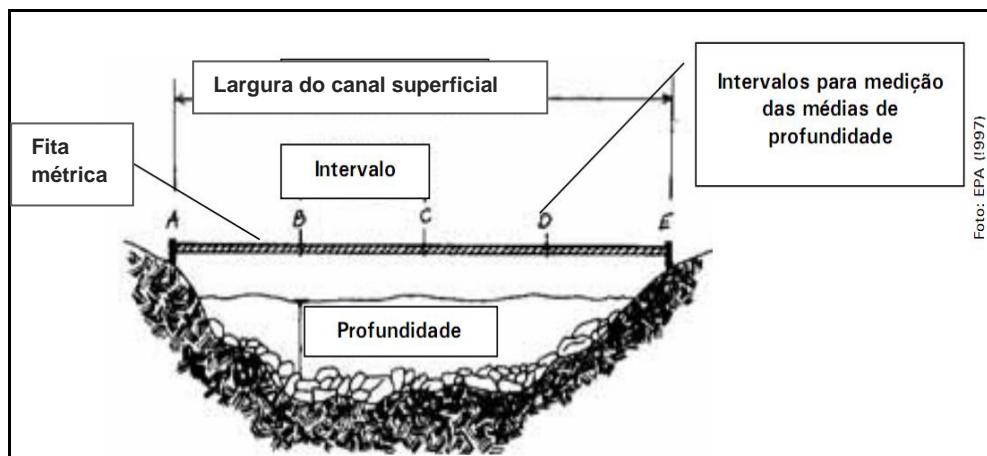


Figura 30 – Ilustração da medição da profundidade do canal superficial pelo método do flutuador.
Fonte: PALHARES, 2007 - Adaptado por: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

Já em escritório, foram calculadas todas as médias de tempo do flutuador, profundidades e áreas das seções. Em seguida, procedeu-se ao cálculo da velocidade média da água no trecho determinado para medição de vazão, chegando ao valor da velocidade superficial a partir da equação:

$$V = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

onde:

V: Velocidade m/s;

Δx : comprimento do trecho;

Δt : o tempo que o flutuador gastou para percorrer o trecho.

Assim sendo, passou-se ao cálculo da velocidade média, usando o fator de correção de 0,85 a partir da seguinte equação:

$$V_{med} = 0,85 \cdot V_{sup}$$

onde:

V_{med} : velocidade média de o flutuador percorrer o trecho;

0,85: fator de correção;

V_{sup} : é o valor da velocidade superficial encontrado no cálculo anterior.

Para finalizar a medição de vazão usou-se a seguinte fórmula:

$$Q = V_{\text{média}} * A_{\text{média}}$$

onde:

Q: Vazão;

V: velocidade média do flutuador percorrer o trecho;

A: média das áreas das seções.

O segundo método, o método do vertedor ou vertedouro, pode ser definido como sendo uma abertura sobre a qual um líquido escoa. Serve para medir e/ou controlar a vazão em um escoamento em canal e é considerado ideal para controle/medição de vazão em pequenos cursos d'água. (UNAMA, 2012).

Os vertedores possuem formas geométricas diferenciadas, podendo ser retangulares, triangulares, circulares, especiais ou trapezoidais. O método do vertedor triangular foi o escolhido para ser utilizado nas medidas de vazão realizadas no ponto P2, pois neste ponto o canal d'água é bastante sinuoso, existe vegetação na margem e não apresenta erosão do fundo do canal sob o vertedor, características locais ideais à utilização desse método.

O vertedor triangular de soleira delgada foi construído especialmente para esta pesquisa, utilizando-se de chapa metálica, com modelo e medidas idênticas ao ilustrado na figura 31. Esse vertedor é colocado perpendicularmente à corrente, barrando-a e obrigando a passagem da água através da seção triangular. Ele possui uma régua horizontal com nível de bolhas que tem a função de medir com maior precisão a altura da lâmina d'água, que é medida a partir do vértice do triângulo. (Figura 32).

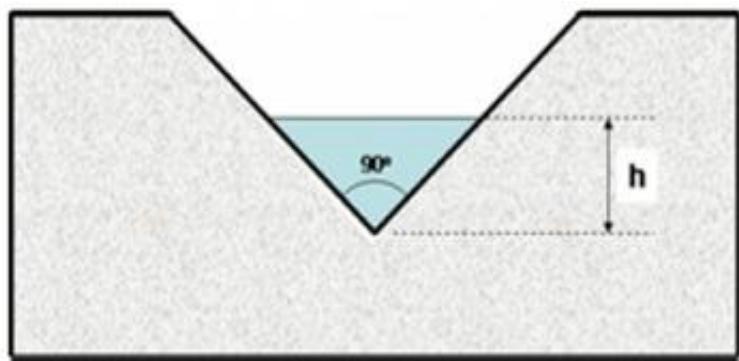


Figura 31 – Modelo de um vertedor triangular com soleira delgada em ângulo de 90º.
Fonte: Avix Geo Ambiental. Adaptado por: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.



Figura 32 – Ponto P2 – Determinação de vazão pelo método do vertedor triangular, A: vertedor (chapa metálica); B: régua horizontal com nível de bolha.
Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

Para o cálculo da vazão medida através de vertedor triangular utilizou-se a fórmula de Thompson ($\theta = 90^\circ$):

$$Q = 1,4 * H^{5/2}$$

onde:

Q = vazão em m^3/s .

H = altura da lâmina d'água medida a partir do vértice do triângulo, em metros (m).

O método volumétrico (método do vasilhame) é considerado o método mais simples para medição de vazão e consiste no tempo gasto para que um determinado fluxo d'água preencha completamente um recipiente com volume conhecido. (MELO; PEREIRA, 2012). (Figura 33).

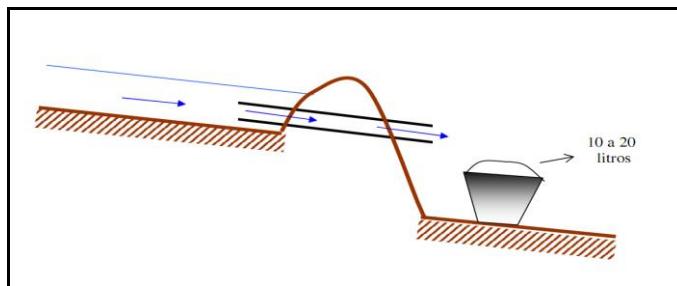


Figura 33 – Processo de medição de vazão com o método volumétrico.

Fonte: MELO; PEREIRA - Departamento de Engenharia – Universidade Federal de Lavras – UFLA – 2012. **Adaptado por:** OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

Desse modo, prosseguiram-se as medidas de vazão no ponto P3, mediante a existência de tubulação, representando condições adequadas para determinação de vazões por meio desse método. Nesse ponto, foram anotados os tempos gastos para completar o volume do recipiente em cada um dos 4 canos de PVC, sendo três deles instalados no tanque e um na roda d'água. (Figuras 34 e 35).

Para as medidas de vazão, utilizou-se um recipiente de volume conhecido (20L) e assim, registrou-se o tempo gasto para preencher o recipiente. Repetiu-se esse processo por várias vezes antes do cálculo da vazão. Para tanto, primeiramente, efetuou-se a média dos tempos gastos para encher o recipiente e logo em seguida, foram encontradas as vazões após dividir o volume do vasilhame pelo tempo gasto com a seguinte equação:

$$Q = \frac{Vol}{t}$$

onde:

$$Q = \text{l/s};$$

$$\text{Vol} = \text{litros};$$

$$t = \text{Segundos}.$$



Figura 34 – Ponto P3 - local onde foram realizadas as determinações de vazão pelo método volumétrico (método do vasilhame).

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.



Figura 35 – Ponto P3 - local onde foi realizada a determinação de vazão pelo método volumétrico (método do vasilhame) – A: Cano de PVC; B: Roda d’água.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

Para a medição das vazões no ponto P4 foi utilizado método da tubulação devido às condições físicas do ponto, as quais são adequadas a esse método. Diante disso, foi utilizada a tubulação (manilha) de passagem sob uma estrada de terra. (Figura 36). O procedimento consistiu basicamente na determinação da altura da lâmina d'água, do diâmetro da tubulação, da extensão do trecho canalizado e da declividade, por meio de fórmulas específicas descritas a seguir:

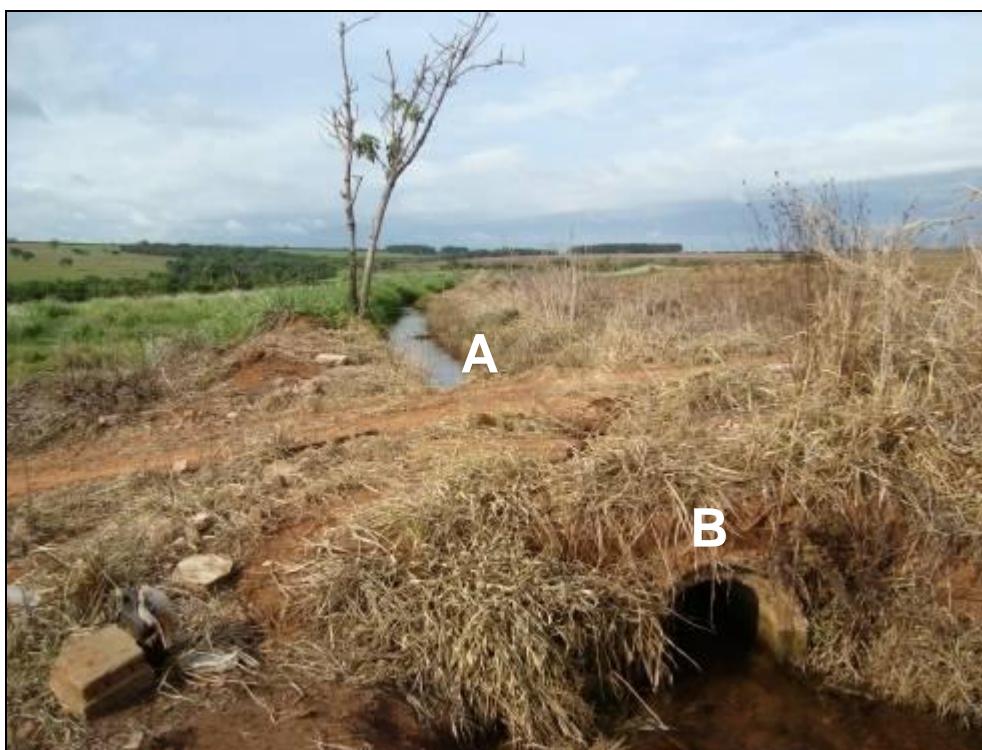
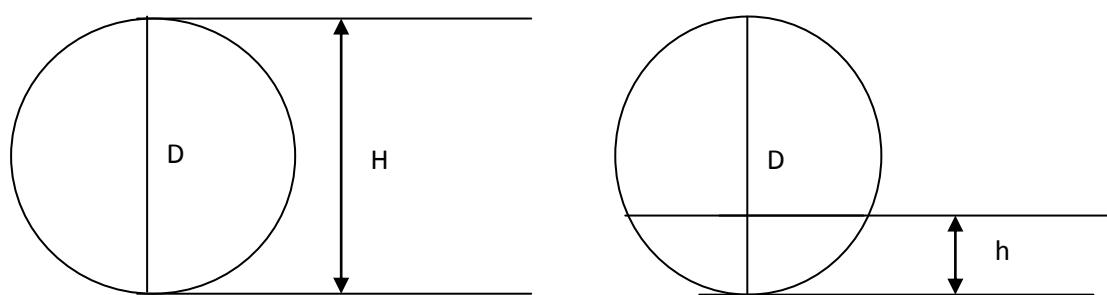


Figura 36 – Ponto P4 - local escolhido para determinação de vazão (travessia). A: Montante da manilha; B: Jusante da manilha – método da tubulação.
Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

O procedimento de cálculo utilizado foi:





onde:

D = diâmetro da tubulação;

h = profundidade da lâmina de água (a montante do ponto de escoamento crítico);

$\frac{h}{D}$ = Relação da altura da lâmina de água pelo diâmetro da tubulação;

i = declividade (m/m);

Q_1 = vazão em seção plena na condição de declividade i (Ganguillet- Kutter);

V_1 = velocidade da água na tubulação em seção plena e declividade i ;

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{h}{D}$$

Q_2 = vazão para a condição levantada no campo (diâmetro da tubulação D , declividade i , altura da lâmina d'água h);

$\frac{V_2}{V_1}$ = Relação entre a velocidade na condição de campo pela velocidade em seção plena.

Produziram-se neste trabalho todos os mapas temáticos apresentados no presente estudo, os quais são: mapa de localização; mapa dos pontos de medidas de vazão; mapa de declividade; mapa hipsométrico; mapa da área de contribuição; mapa geológico e mapa das captações subterrâneas outorgadas. E, buscando compreender a evolução do uso e ocupação do solo na área estudada e os possíveis reflexos dessa ocupação aos recursos hídricos foi realizado o levantamento do uso e da ocupação do solo nos anos de 1964, 1979, 2002 e 2010.

Para isso, foram adotadas as seguintes classes de uso e ocupação do solo na bacia do alto curso do córrego Três Marcos:

- Área de pastagem;
- Áreas Construídas / Urbanizadas (áreas urbanas ocupadas por residências, comércios e diversos equipamentos urbanos; áreas com construções em solo de expansão urbana e solo rural);
- Áreas Úmidas;
- Bacias de Infiltração (tanques de contenção e infiltração da drenagem pluvial do bairro Morumbi);
- Cultura Perene (áreas ocupadas por plantação de café);
- Culturas de ciclo curto;
- Erosão (área degradada);
- Remanescente de Cerrado;
- Represa;
- Silvicultura (áreas ocupadas por plantação de eucaliptos);
- Sedes (áreas ocupadas por sede e quintais da fazenda);
- Solo exposto (áreas desprovidas de qualquer vegetação protetora nativa ou plantada);
- Mata de Galeria / Vereda (Fitofisionomias do Cerrado);
- Outros (estradas, rodovias e trevos).

A base cartográfica, os mapas de hipsometria e declividade foram confeccionados sobre a carta topográfica do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a carta Cachoeira do Sucupira, folha SE-22-Z-B-VI-4-SO, na escala 1:25.000 de 1984, do Ministério do Exército, disponibilizada pelo Laboratório de Cartografia e Sensoriamento Remoto da

Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Essa carta foi produzida pelo Exército Brasileiro cujos voos de cobertura para elaboração da mesma foram realizados em 1982.

Os mapas de uso e ocupação do solo foram elaborados a partir da interpretação de fotos aéreas, ortofoto e imagem de satélite, na seguinte sequência:

- Uso e ocupação do solo em 1964, fotos aéreas: 9295 e 9297 USAG;
- Uso e ocupação do solo em 1979, fotos aéreas IBC: 1005 e 100104;
- Uso e ocupação do solo em 2002, Ortofoto IBGE _ MI-2451-4-SO;
- Uso e ocupação do solo em 2010, imagem *GeoEye* do *Google Earth*³.

Os trabalhos de geoprocessamento foram desenvolvidos no *software ArcGis 9.3*, que é um conjunto modular de software que constituem um SIG, desenvolvido pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), que abrange *ArcView*, *ArcEditor* e *ArcInfo*, os quais compartilham da mesma arquitetura, base de códigos, modelos de extensão e um ambiente simples para desenvolvimento e customização. Nesse *software* foram elaborados todos os mapas, onde foram vetorizadas as curvas de nível, resultando os mapas de declividade e hipsométrico.

Nos mapas de uso do solo, os diferentes usos foram digitalizados manualmente tendo em vista a pequena extensão da área de estudo e a qualidade exigida. Para conferir os tipos de usos atuais do solo foram realizados trabalhos de campo para averiguação.

Ainda no ambiente ArcGis 9.3 efetuou-se a vetorização e o cálculo da bacia hidrográfica; a delimitação da bacia de contribuição e dos pontos de medidas de vazão, além do mapa de localização da área de estudo.

Efetuaram-se a caracterização dos condicionantes geológicos e hidrogeológicos da área de contribuição e da bacia do córrego Três Marcos como um todo. Primeiramente, realizou-se uma compilação das informações existentes sobre a área de estudo, onde se

³ Data da Imagem: 06/11/2010, disponibilizada em: earth.google.com/geoeye.

efetuou ampla revisão bibliográfica, coletando dados a partir de mapas geológicos, cartas topográficas e levantamento de campo. Além disso, realizaram-se ensaios *in situ* para obter coeficiente de permeabilidade (k) do solo.

O reconhecimento geológico da área de estudo foi realizado no campo com o intuito de identificar as litologias, os contatos geológicos e as principais feições estruturais e suas possíveis implicações no condicionamento da zona saturada freática responsável pela alimentação da nascente do córrego Três Marcos.

Para o reconhecimento geológico foram utilizados: o Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB/MINAS GERAIS) em escala de 1:1.000.000, do ano de 2003; o Mapa de Geologia do Estado de Minas Gerais, elaborado pelo IGA Instituto de Geociências Aplicadas em escala de 1:1.000.000, do ano de 2003; a carta topográfica Cachoeira do Sucupira, folha SE-22-Z-B-VI-4-SO, na escala 1:25.000 e também, estudos acadêmicos já realizados anteriormente na área do município de Uberlândia.

Para os ensaios de infiltração, foram escolhidos alguns pontos dentro da área de estudo, com o intuito de caracterizar os solos quanto à sua capacidade de permitir a passagem da água. Esses pontos foram definidos, levando-se em consideração, a topografia e os diferentes usos e ocupação do solo.

Segundo Soto (1999 apud SOARES, 2008) há diversos tipos de ensaios de campo que podem determinar a condutividade hidráulica dos solos, sendo que os ensaios de infiltração são os mais comuns na determinação da condutividade hidráulica saturada e não saturada dos solos. Para a realização desses ensaios, podem ser utilizados equipamentos como os permeâmetros e os infiltrômetros.

Para realização dos ensaios de infiltração, na área de estudo, utilizou-se o Permeâmetro de Guelph, que foi desenvolvido por Reynolds e Elrick, em 1983 e aperfeiçoado

em 1985, na Universidade de Guelph, no Canadá. (SOTO, 1999 apud COSTA e NISHIYAMA, 2007).

O Permeâmetro de Guelph consiste em um conjunto de tubos concêntricos. Nesse conjunto, o tubo central tem a função de permitir a entrada de ar e regular o nível d'água dentro do furo de sondagem, enquanto que os demais fazem a função de reservatório e suporte. (Figura 37).

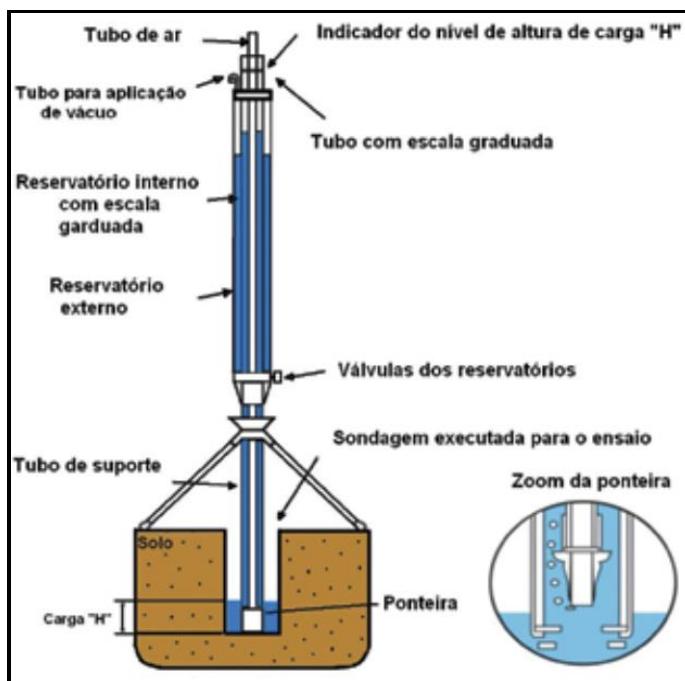


Figura 37- Esquema do Permeâmetro Guelph segundo Soto (1999).

Fonte: BARBOZA (et. al., 2007). Adaptado por: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

Para a execução do ensaio com o Permeâmetro Guelph foram seguidos os passos determinados nos estudos de Martinello (2006). Foi realizado um furo de sondagem, através de um trado tipo caneco e, logo em seguida, um trado especial para a remoção do material solto no fundo do furo. Na sequência, foram conectados tubos de água e de ar ao corpo do permeâmetro e com um tripé ajustada a verticalidade do equipamento. Após o ajuste do equipamento, os dois reservatórios do permeâmetro foram preenchidos com água desaerada e, então, fechada a entrada de água para aplicação do vácuo. Assim, passou-se à fase de percolação, em que de início o fluxo encontra-se no regime transitório, sendo que o solo vai

aos poucos se tornando saturado, sendo possível a identificação de diferentes permeabilidades devido à estratificação, ao bloqueamento dos poros ou à compactação.

De acordo com Costa & Nishiyama (2007) os resultados dos ensaios passaram a ser interpretados seguindo o método teórico desenvolvido por Reynolds e Elrick em 1983, baseado na equação de Richards de 1931, para fluxo permanente num furo cilíndrico. O fluxo permanente é aproximado por uma equação em que a vazão (Q) é determinada da seguinte forma:

$$Q = R \cdot A$$

sendo que:

Q : é a vazão do regime permanente;

R : é a razão da vazão constante obtida durante os ensaios;

A : é a área do reservatório do permeâmetro utilizado (cm^2).

A determinação dos parâmetros correspondentes à infiltração dos solos analisados foi efetuada pela utilização do método de uma carga hidráulica (ELRICK *et. al.*, 1989 apud COSTA & NISHIYAMA, 2007). Tal método consiste em aplicar uma altura de carga hidráulica H constante e quando o regime permanente é atingido, a vazão Q e a condutividade hidráulica de campo (K_{fs}) são determinadas aplicando-se a fórmula descrita abaixo:

$$K_{fs} = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + \pi a^2 C + 2\pi H/a)}$$

onde:

C : é o parâmetro fator de forma, que depende da relação H/a e do tipo do solo, que de acordo com Soto (1999 apud COSTA & NISHIYAMA, 2007), a *Soilmoisture Equipment Corp*, fornece o fator C para três classes de solos de acordo com a macroporosidade e textura;

H : é altura da carga hidráulica utilizada (3 cm);

a : é o diâmetro do orifício aberto pelo trado no solo (3,1 cm).

Para o cálculo da permeabilidade foi feita uma estimativa de α , em que o solo foi avaliado visualmente quanto à sua macroporosidade e textura, de acordo com a tabela 03.

Tabela 03 – Dados para o parâmetro α

α (cm ⁻¹)	TIPO DE SOLO
0,01	Argilas compactadas (aterros, <i>liners</i> , sedimentos lacustres e marinhos)
0,04	Solos de textura fina, principalmente sem macroporos e fissuras
0,12	Argilas até areias finas com alta a moderada quantidade de macroporos
0,36	Areia grossa inclui solos com macroporosidade e fissuras evidentes

Fonte: Soto (1999 apud COSTA & NISHIYAMA, 2007).

Na presente pesquisa foi o utilizado o valor 0,12 para o parâmetro α , por ser o que melhor se ajustava nas características dos solos da área estudada.

Os dados obtidos foram calculados em uma planilha eletrônica da *Microsoft Office Excel* para melhor visualização e discussão dos resultados.

Tomando-se por base os levantamentos dos dados hidrológicos e as características das formações superficiais, torna-se possível caracterizar e quantificar os processos hidrológicos. Desse modo, com o cruzamento dos dados foi possível estabelecer uma análise comparativa entre a evolução do uso e ocupação do solo na área de estudo, bem como o balanço hidrológico que proporciona melhor compreensão da disponibilidade hídrica na área estudada.

Para o cálculo do balanço hídrico na bacia do alto curso do córrego Três Marcos, utilizaram-se os dados mensais de precipitação (mm), evapotranspiração potencial (ETP) (mm) e deflúvios superficiais (mm). A equação adotada para o cálculo da evapotranspiração na área de estudo encontra-se descrita em TUCCI (2004):

$$V_t = V_0 + (P - Q - ETP) \Delta t$$

onde:

V_t e V_0 = são o armazenamento total de umidade na bacia no final e no início do intervalo de tempo Δt ;

P = Precipitação (mm);

Q = Vazão no período (mm);

ETP = Evapotranspiração potencial no período.

No presente trabalho calculou-se apenas a evapotranspiração potencial, pois a evapotranspiração real, por ser um processo complexo e dinâmico, apresenta inúmeras dificuldades de cálculo.

Para o cálculo da evapotranspiração potencial, utilizou-se o método proposto por Thornthwaite e Mater (1955), que correlaciona os dados de temperatura média mensal, latitude, radiação solar e um fator de ajuste conforme a estação do ano. A equação proposta por Thornthwaite e Mater, foi feita com adaptação disposta em um *software* desenvolvido por Sentelhas (1999), levando em consideração a Capacidade de Água Disponível (CAD) nos solos de 125 mm, como padrão para todos os anos do período. (Figura 38).

A equação proposta por Thornthwaite e Mater (1955) encontra-se a seguir:

$$\text{ETP} = \text{Fc} \cdot 16 \cdot (10 * T/I)^a$$

onde:

T = Temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$);

ETP = Evapotranspiração potencial para meses de 30 dias e comprimento de 12 horas (mm/mês);

Fc = Fator de correção em função da latitude e mês do ano.

Para Pereira *et. al.*, (1997) o valor de I depende do ritmo anual da temperatura, de preferência utilizando-se valores normais. O efeito térmico de cada mês é calculado conforme a equação descrita abaixo:

$$I = \sum_{i=1}^{12} (T_i/5)^{1,514}$$

O expoente “a” é função de I, e também é um índice térmico regional podendo ser calculado pela seguinte equação:

$$a = 67,5 * 10^{-8} I^3 - 7,71 * 10^{-6} I^2 + 0,01791 I + 0,492$$

Balanço Hídrico Sequencial por Thornthwaite & Mather (1955)																
Glauco de Souza Rolim Paulo Cesar Sentelhas																
DCE - ESALQ / USP BH.xls V6.0 1999																
CIDADE	UBERLÂNDIA		ANO	1983												
CAD	125		LATITUDE	-18,91												
Número de Linhas	12	Ajustar	NDA inicial	1												
Tempo	Num de	NDA	T	P	N	I	ETP	P-ETP	NEG-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC		
MESES	Dias		°C	mm	horas		Thornthwaite 1948	mm	mm	mm	mm	mm	mm			
Jan	31	1	22,70	400,40	13,12	10,48		104,71	295,7	0,0	125,0	0,0	104,7	0,0	295,7	
Fev	28	32	23,30	231,60	12,83	10,28	I =	112,3	98,72	132,9	0,0	125,0	0,0	98,7	0,0	132,9
Mar	31	60	22,70	226,90	12,38	9,88	a =	2,50	98,85	128,1	0,0	125,0	0,0	98,8	0,0	128,1
Abr	30	91	22,60	89,10	11,82	9,81			90,29	-1,2	-1,2	123,8	-1,2	90,3	0,0	0,0
Mai	31	121	21,40	38,70	11,30	9,04			77,88	-39,2	-40,4	90,5	-33,3	72,0	5,9	0,0
Jun	30	152	20,40	6,20	10,94	8,41			64,72	-58,5	-98,9	56,7	-33,8	40,0	24,7	0,0
Jul	31	182	20,20	50,60	10,88	8,28			64,91	-14,3	-113,2	50,5	-8,1	56,7	8,2	0,0
Ago	31	213	20,10	1,20	11,15	8,22			65,72	-64,5	-177,7	30,2	-20,4	21,6	44,1	0,0
Set	30	244	21,90	119,90	11,64	9,36			82,26	37,6	-76,5	67,8	37,6	82,3	0,0	0,0
Out	31	274	22,00	240,80	12,19	9,42			90,02	150,8	0,0	125,0	57,2	90,0	0,0	93,6
Nov	30	305	22,50	234,60	12,72	9,75			96,13	138,5	0,0	125,0	0,0	96,1	0,0	138,5
Dez	31	335	21,90	323,00	13,07	9,36			95,38	227,6	0,0	125,0	0,0	95,4	0,0	227,6
TOTAIS			261,7	1963,0				1029,6	933,4		0,0	946,7	82,9	1016,3		
MEDIAS			22	164				86			± 95	79	7	85		

Figura 38 - Tela inicial do programa BH.xls

Fonte: ROLIM & SENTELHAS (1999). Adaptado por: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

onde:

CAD = capacidade de água disponível;

NDA = número de dias acumulados;

T = temperatura;

P = precipitação;

N = fotoperíodo;

I = índice que expressa o nível de calor disponível na região;

I e a = são índices de calor obtidos a partir de dados normais da região;

ETP = evapotranspiração potencial;

NEG-AC = negativo acumulado;

ARM = armazenamento de água no solo;

ALT = alteração do armazenamento;

ETR = evapotranspiração real;

DEF = deficiência hídrica;

EXC = excedente hídrico.

Os dados de temperatura e precipitação foram disponibilizados pelo Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Os dados do período de 1981 a 1996 são oriundos da Estação Climatológica da UFU, a qual estava instalada no Parque do Sabiá e os dados de 1997 a 2012 da estação inserida no próprio campus da referida universidade, o campus Santa Mônica.

Assim, o balanço hídrico foi realizado com os dados de temperatura e precipitação no período de janeiro de 1981 a março de 2012, abrangendo uma série de 31 anos e 3 meses.

O deflúvio ou escoamento superficial é a fase que trata da ocorrência e do transporte da água na superfície terrestre. É calculado em (mm) pela seguinte equação:

$$\text{Deflúvio (mm)} = \frac{\text{média da vazão em } m^3/h * 24 * 1000 * n^o \text{ de dias do mês}}{\text{Área}}$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos dados levantados na literatura e em campo, além dos resultados obtidos é possível avaliar a relevância do tema para o avanço do conhecimento a respeito da questão hídrica da área de estudo, bem como analisar a efetividade da abordagem metodológica escolhida.

5.1 Aquisição e tratamento dos dados

Para efetuar a avaliação hídrica da área estudada, foram caracterizados os principais componentes do meio ambiente que podem interferir diretamente no seu balanço hídrico: precipitação e evapotranspiração; escoamento; as características do meio receptor (geologia, vegetação, solo e relevo), conforme Chevallier (2004).

5.1.1 Ensaios de infiltração com Permeâmetro Guelph

Com o objetivo de verificar a influência antrópica na percolação da água através do solo, foram realizados 7 ensaios de permeabilidade *in situ* de solos na área de contribuição da nascente do córrego Três Marcos, com uso do Permeâmetro Guelph, sob diferentes tipos de usos do solo.

Na área em questão, predominam os Latossolos Vemelho-Amarelos sobre os quais se desenvolvem diferentes formas de ocupação: agriculturas de ciclo curto; Cerrado Sentido Restrito; Cerrado em regeneração; área de pastagem coberta pela braquiária (*Brachiaria decumbens*); área urbanizada com presença de braquiária (*Brachiaria decumbens*) e área urbanizada coberta por gramíneas.

Os ensaios foram realizados a 10 centímetros de profundidade nos diferentes tipos de usos de solo da área. Os resultados dos ensaios bem como as localizações dos pontos ensaiados estão apresentados, respectivamente, na tabela 04 e na figura 39, a seguir:

Tabela 04 – Resultados dos ensaios de solo em campo com o Permeâmetro Guelph

ENSAIOS DE PERMEABILIDADE		
Ponto	Uso do solo	K a 10 cm de profundidade (cm/s)
1	Solo Agrícola (área de culturas de ciclo curto)	5.4×10^{-4}
2	Solo coberto pelo Cerrado Sentido Restrito	2.0×10^{-3}
3	Solo coberto pelo Cerrado em regeneração e presença de braquiária (<i>Brachiaria decumbens</i>)	8.5×10^{-4}
4	Solo coberto pela braquiária (<i>Brachiaria decumbens</i>) (área de pastagem)	7.1×10^{-4}
5	Solo com presença de gramíneas (área urbanizada)	5.4×10^{-4}
6	Solo coberto por braquiária (<i>Brachiaria decumbens</i>) (área urbanizada)	9.6×10^{-4}
7	Solo coberto por braquiária (<i>Brachiaria decumbens</i>) (área urbanizada)	4.0×10^{-4}

Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

A permeabilidade é uma característica que os solos têm de permitir o escoamento da água por meio de seus vazios, sendo a sua avaliação realizada através do coeficiente de permeabilidade (k). Assim, o coeficiente de permeabilidade está diretamente relacionado às propriedades físicas do solo como a textura, estrutura, porosidade, grau de saturação do solo, temperatura, entre outros.



Figura 39 – Mapa de localização dos pontos de ensaios de permeabilidade – bacia de contribuição da nascente do córrego Três Marcos – Uberlândia-MG.

Ao avaliar os resultados de k para os pontos analisados é possível verificar que os valores obtidos para os pontos 1 e 5 são iguais, com k da ordem de grandeza de 10^{-4} cm/s. O ponto 1 foi definido em área de culturas de ciclo curto o qual recebe anualmente a presença de maquinários pesados na preparação, plantio, manejo e colheita, agravando o grau de compactação e o ponto 5 no interior do bairro Morumbi implantado na década de 1990, que também sofreu compactação do solo por meio de maquinários nas aberturas de vias e limpeza dos terrenos.

O ponto 2 pode ser considerado o que possui maior permeabilidade em relação aos demais pontos (2.0×10^{-3} cm/s) por estar em uma área de solo coberto pelo Cerrado Sentido Restrito. Geralmente, os solos cobertos por essa vegetação apresentam maior capacidade de infiltração em função de sua preservação, da matéria orgânica, da serrapilheira e das raízes.

Em segundo lugar de coeficiente de permeabilidade está o ponto 6 localizado em uma área central do bairro Morumbi, a qual possui solo coberto por braquiária e alguns pequenos arbustos com tamanho inferior a 60 cm. Nesse ponto, o solo apresentou boa capacidade de infiltração, provavelmente devido à quantidade de raízes, matéria orgânica ali presentes e também por esse terreno não sofrer constantemente compactação, pois a limpeza desse local não é realizada sempre por maquinário.

O solo do ponto 3 pode ser considerado o que se enquadra em terceiro lugar em grau de permeabilidade em relação aos outros realizados neste estudo. Apesar de estar localizado em área onde o Cerrado encontra-se em regeneração entremeio a solo exposto, possui menor permeabilidade do que o ponto 6. No entanto, constata-se através dos levantamentos efetuados neste trabalho que a área foi anteriormente utilizada como pastagem, o que pode ser consideravelmente compactada devido ao pisoteio constante do gado. Já a área onde se localiza o ponto 6, apesar de estar em área urbanizada, está totalmente coberta por gramínea, a qual se encontra bastante enraizada no solo, proporcionando melhor infiltração.

O ponto 4 localizado em área de pastagem coberto pela braquiária (*Brachiaria decumbens*) possui solo com coeficiente de permeabilidade inferior a área do ponto 3 onde o Cerrado está em regeneração e do ponto 6 onde o solo encontra-se totalmente coberto pela braquiária. Pode-se justificar essa inferioridade de capacidade de infiltração à substituição da vegetação natural dos cerrados, à compactação do solo devido à inserção e manejo inadequados das pastagens e ao pisoteio do rebanho bovino.

O solo do ponto 7 foi o que apresentou menor coeficiente de permeabilidade em relação aos demais ($k = 4.0 \times 10^{-4}$ cm/s). É importante destacar que o ponto 7 localiza-se em área de influência do bairro Morumbi, com o solo compactado, mas com cobertura de gramínea (braquiária). Dada a localização da área em que se insere o ponto 7, é possível afirmar que o solo local apresenta maior intensidade de compactação decorrente da implantação do bairro Morumbi na década de 1990 e, mais recentemente, da implantação do Anel Viário Ayrton Senna.

Ao se compararem os resultados dos ensaios de permeabilidade do solo com os tipos de uso e ocupação do solo é possível notar que os coeficientes de permeabilidade dos solos decrescem segundo a seguinte sequência de usos: Cerrado Sentido Restrito; Cerrado em regeneração; área com solo coberto de braquiária; culturas de ciclo curto; áreas compactadas sob influência do bairro Morumbi e da rodovia (Anel Viário).

A figura 40 representa o nível dos coeficientes de permeabilidade do solo na área estudada.

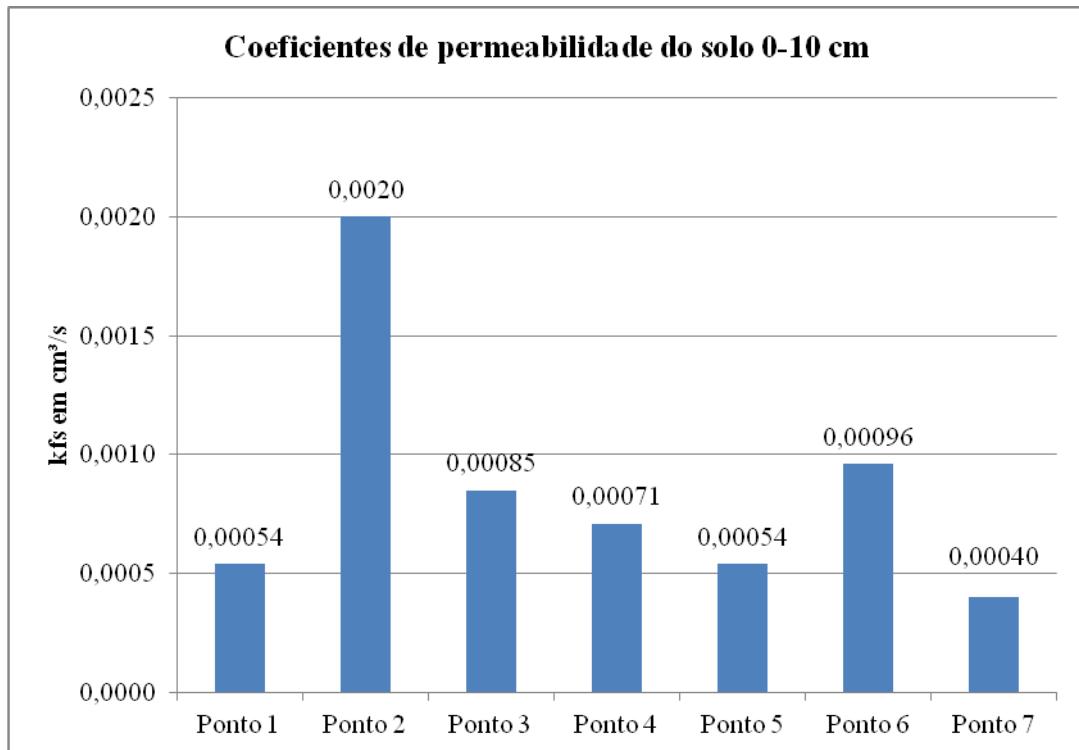


Figura 40 – Representação gráfica dos coeficientes de permeabilidade do solo da área estudada.
Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

O solo da área cuja cobertura é a vegetação do Cerrado Sentido Restrito apresenta-se mais permeável em razão da ausência de compactação e com a estrutura física do solo mais conservada.

O solo utilizado para culturas de ciclo curto evidenciou coeficiente de permeabilidade de água inferior ao solo de um dos pontos localizado em área urbanizada (ponto 6). E, apesar dos solos dos dois pontos serem compactados por máquinas de grande porte é o solo do ponto 1 que sofre anualmente, ou até mesmo mais de uma vez por ano, com a influência direta dos pesos das máquinas agrícolas.

A impermeabilização de maiores porções do solo para construção civil, o peso elevado dos implementos agrícolas, o cultivo constante e o pisoteio bovino constante, destroem a estrutura física natural dos solos, diminuindo o coeficiente de permeabilidade assim como a capacidade de infiltração da água.

A infiltração básica (IB) dos solos da região que compreende a área estudada apresenta o valor médio de 129,95mm.h⁻¹ de acordo com Nishiyama (1998).

Em síntese, os ensaios de solo mostraram que eles possuem diferentes valores de coeficiente de infiltração de água de acordo com o seu uso. O maior coeficiente de permeabilidade encontrado foi do solo localizado em área de Cerrado Sentido Restrito e o menor, em solo atualmente coberto por braquiária, mas que sofreu efeitos da implantação do bairro Morumbi e da construção do Anel Viário Ayrton Sena. Já os solos cobertos por culturas de ciclo curto possuem menor permeabilidade do que aqueles com a função de pastagem, que por sua vez possuem menor permeabilidade do que os solos onde o Cerrado encontra-se em regeneração. Em igualdade de infiltração estão os solos que foram e são compactados (Pontos 1 e 5).

Diante da avaliação da permeabilidade dos solos, podemos observar que os mesmos possuem relativa permeabilidade e devido às suas características, principalmente por sua associação aos materiais inconsolidados residuais da formação Marília, podem ser considerados de grande desempenho para recarga do aquífero.

5.1.2 Determinação da vazão

Conforme descrito no capítulo 4 – *Materiais e Métodos*, as medidas de vazão foram realizadas em quatro pontos da área estudada. (Figura 41). Os pontos identificados como P1 e P4 foram posicionados em um canal artificial (rego d’água) que parte da cabeceira do córrego Três Marcos. O ponto P2 está localizado no curso d’água, aproximadamente a 1.200 metros da nascente do córrego Três Marcos. O ponto P3 foi posicionado em tanque que recebe água de um segundo canal artificial situado a jusante do primeiro.

A escolha dos pontos para a mensuração das vazões parciais foi condicionada pela facilidade de acesso e melhores condições locais para a realização do trabalho, além de representarem as saídas de água da área de estudo.

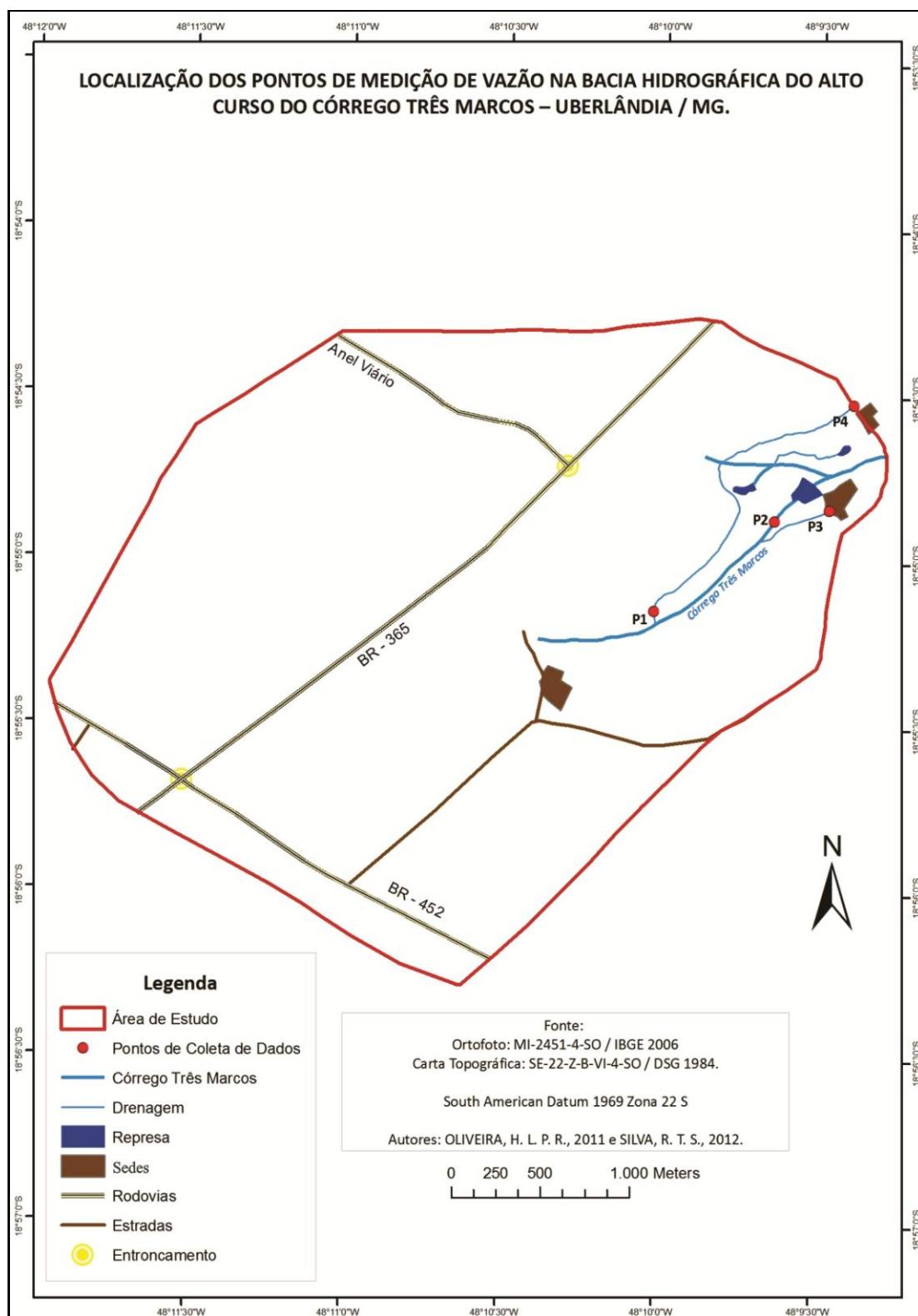


Figura 41 – Localização dos pontos de determinação da vazão.

Os resultados obtidos nas mensurações das vazões dos pontos escolhidos estão apresentados na tabela 05, conforme a periodicidade das campanhas de coleta de dados de vazão.

Tabela 05 – Medidas de vazão – alto curso do córrego Três Marcos – Uberlândia-MG.

DATA Mês/ano	MEDIDAS DE VAZÃO				SOMATÓRIA DAS VAZÕES PARCIAIS DO FLUXO em m³/h
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	
Maio/11	248,49	64,50	31,43	258,45	602,87
Junho/11	227,52	65,16	25,34	248,50	566,52
Agosto/11	259,20	69,12	21,74	302,46	652,52
Outubro/11	261,72	59,76	24,73	275,45	621,66
Novembro/11	295,20	64,55	29,16	356,47	745,38
Dezembro/11	352,44	104,40	25,73	383,47	866,04
Fevereiro/12	365,76	121,00	23,68	501,19	1011,63

Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

Os valores de vazão obtidos na bacia do alto curso do córrego Três Marcos estão representados nos gráficos das figuras 42 e 43.

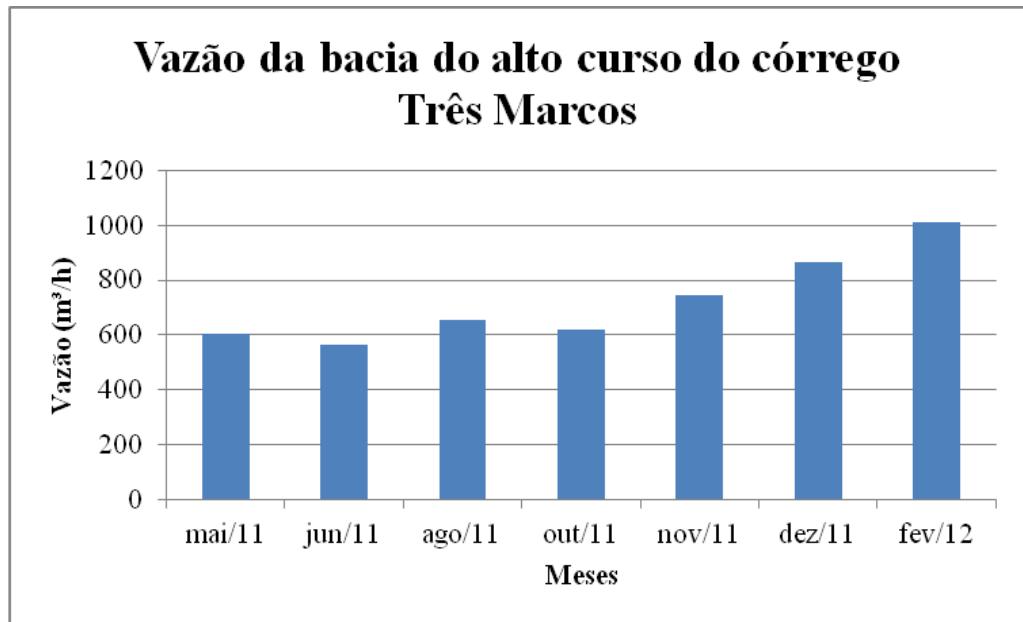


Figura 42 – Resultados de medidas de vazão na bacia do alto curso do córrego Três Marcos – Uberlândia-MG. Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

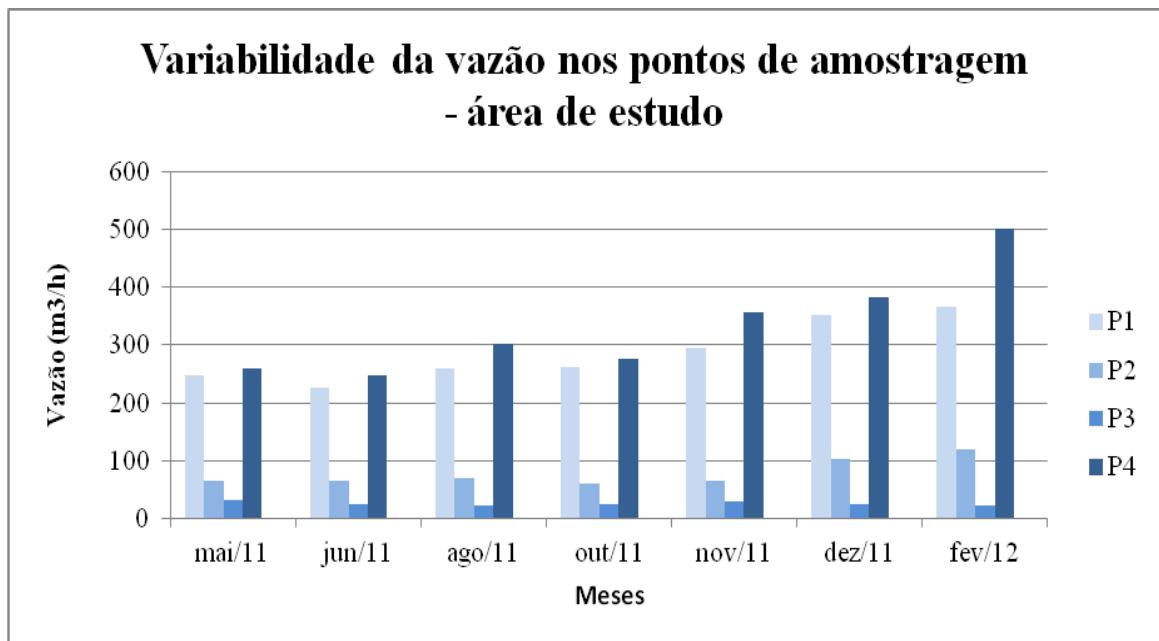


Figura 43 – Resultados de medidas de vazão – Variabilidade da vazão nos pontos de amostragem – área de estudo. Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

As vazões encontradas durante o período das campanhas de coleta de dados mostraram que seus valores sofrem certa influência da sazonalidade climática relacionada a períodos secos e chuvosos do ano. Contudo, observa-se por meio desses dados que os valores das vazões são diretamente influenciados pela infiltração das águas de superfície, como das áreas

de topos, que alimentam a zona saturada encontrada sob essa superfície, gerando a manutenção e regularização da vazão. Isso pode ser justificado com a comparação dos gráficos de vazão e precipitação. (Ver figuras 42 e 45 e itens subsequentes).

Os valores evidenciaram também que existe um acréscimo de vazão entre os pontos 1 (canal próximo da nascente) e 4 (canal em local situado a jusante do ponto 1), o que sugere uma contribuição ao longo do canal.

Os valores mensurados diretamente no campo mostram que o alto curso do córrego Três Marcos possui uma vazão considerável.

5.2 O balanço hidrológico da bacia do alto curso do córrego Três Marcos

O balanço hidrológico da área estudada seguiu o modelo hidrológico apresentado na figura 44, onde estão destacadas as entradas (*input*) e saídas (*output*) do sistema hidrológico. (GONÇALVES, 2003 apud SOARES, 2008).

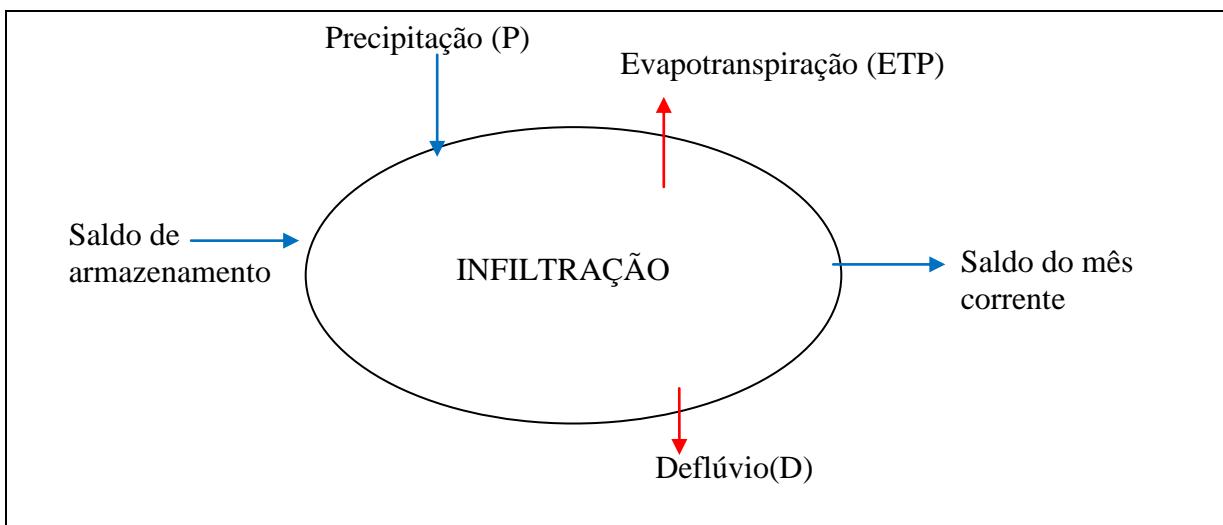


Figura 44 – Modelo hidrológico.
Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012 – Adaptado de SOARES, 2008.

5.2.1 Precipitação

Os dados de precipitação, conforme já descrito anteriormente, foram coletados em duas estações, sendo os dados referentes ao período de 1981 a 1996 oriundos da estação que existia na área do Parque do Sabiá, do 5º Distrito Meteorológico e os dados de 1997 a 2012, da Estação Climatológica da UFU. A escolha dos dados dessas estações deve-se à longa série histórica de 31 anos.

Na tabela 06 e figura 45 estão apresentados os totais mensais das precipitações pluviais durante o período das campanhas de coletas de dados de vazão.

Nesse estudo, foram também levantados os dados de precipitações totais do período entre 1981 e 2011. (Tabela 07 e figura 46).

Tabela 06 – Valores do total das precipitações – período de campanhas de dados de vazão.

PRECIPITAÇÕES MENSAIS		
MESES	LOCAL	TOTAL mm
Maio/11	Estações Climatológicas da UFU – Campus Santa Mônica	4,80
Junho/11	Estações Climatológicas da UFU – Campus Santa Mônica	16,60
Agosto/11	Estações Climatológicas da UFU – Campus Santa Mônica	0,00
Outubro/11	Estações Climatológicas da UFU – Campus Santa Mônica	134,60
Novembro/11	Estações Climatológicas da UFU – Campus Santa Mônica	124,10
Dezembro/11	Estações Climatológicas da UFU – Campus Santa Mônica	253,70
Fevereiro/12	Estações Climatológicas da UFU – Campus Santa Mônica	178,70

Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

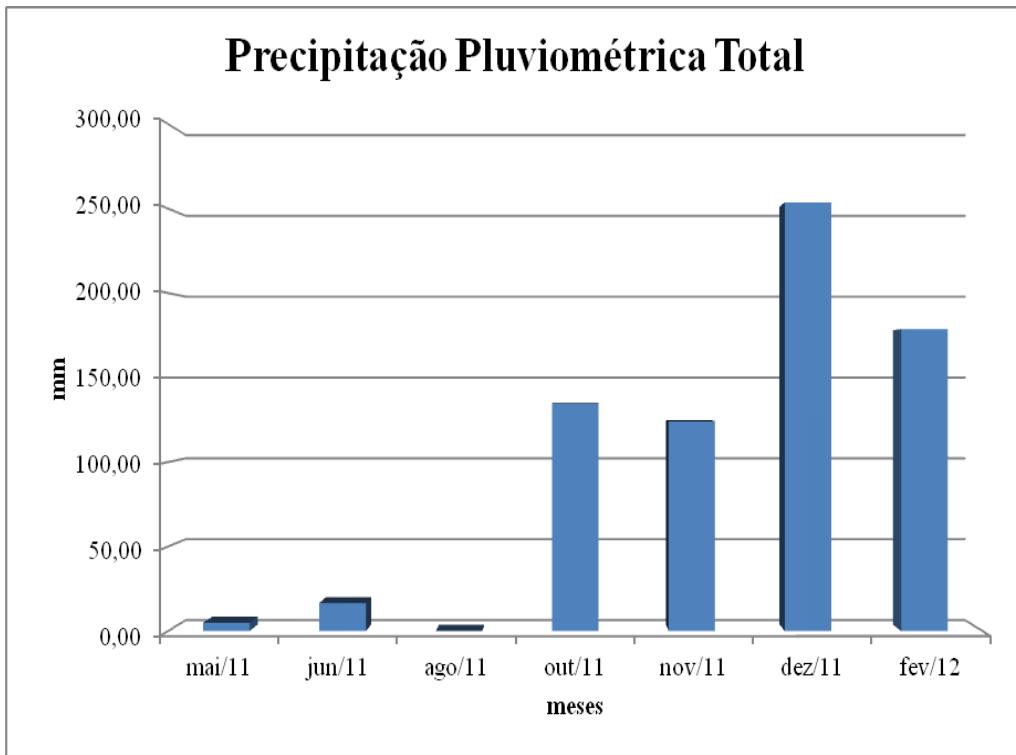


Figura 45 – Gráfico das precipitações dos meses que compõem o período de coleta de vazões.
Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

Tabela 07 – Totais de precipitações mensais e anuais (mm) em Uberlândia-MG – 1981 a 2011

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1981	256,2	99,1	169,0	41,1	17,0	59,9	0,0	0,1	0,9	155,7	273,0	431,6	1503,6
1982	647,4	124,3	321,6	105,7	73,6	40,0	19,0	42,6	23,7	188,1	218,8	402,3	2207,1
1983	400,4	231,6	226,9	89,1	38,7	6,2	50,6	1,2	119,9	240,8	234,6	323,0	1963,0
1984	191,3	82,2	233,1	93,6	43,6	0,0	0,0	45,9	36,0	76,4	189,6	286,3	1278,0
1985	570,0	111,3	291,5	75,4	20,2	0,0	0,0	0,0	23,6	66,5	150,8	263,4	1572,7
1986	215,3	176,4	164,8	99,8	27,6	0,0	1,6	50,0	42,0	125,0	107,6	545,0	1555,1
1987	238,2	201,2	169,3	102,1	28,0	10,0	0,0	0,0	37,8	59,2	282,5	348,9	1477,2
1988	174,8	285,2	256,4	150,1	43,0	5,4	0,0	0,0	42,3	124,2	116,6	316,5	1514,5
1989	223,1	248,4	127,5	44,6	3,5	0,0	55,2	22,2	70,1	34,5	312,3	265,1	1406,5
1990	110,9	150,1	97,6	25,3	68,7	0,0	43,3	37,8	51,5	103,3	168,4	155,7	1012,6
1991	383,5	255,0	469,4	178,7	4,7	0,0	0,0	0,0	39,3	79,3	113,4	258,7	1782,0
1992	398,8	383,7	112,8	119,5	46,2	0,0	0,0	4,8	80,9	148,7	363,5	310,6	1969,5
1993	180,9	285,0	137,8	107,2	30,2	72,2	0,0	18,8	78,0	199,8	98,6	433,5	1642,0
1994	385,3	142,6	340,6	26,6	35,9	9,4	9,4	0,0	7,4	135,0	177,3	351,9	1621,4
1995	288,2	422,2	239,1	57,1	121,6	3,4	1,6	0,0	22,0	65,2	133,5	308,2	1662,1
1996	279,8	137,6	176,6	39,8	56,1	8,4	6,8	6,9	103,2	69,5	263,8	295,2	1443,7
1997	297,4	131,0	390,4	127,4	36,3	105	0,0	0,0	32,9	79,0	302,4	312,3	1814,2
1998	144,7	162,7	97,4	61,3	57,2	21,2	0,0	85,4	4,4	189,9	178,5	311,0	1313,7
1999	282,5	185,1	166,3	45,8	10,6	8,8	0,2	0,0	59,9	60,3	247,1	217,4	1284,0
2000	345,4	280,6	446,3	54,3	0,0	0,9	10,7	9,4	164,3	5,2	161,1	350,5	1828,7
2001	307,9	104,9	152,1	18,8	70,1	1,2	0,0	29,6	86,7	118,4	199,2	339,7	1428,6
2002	325,9	319,0	105,9	53,0	19,4	0,0	1,3	0,1	57,5	45,1	216,4	341,5	1485,1
2003	556,1	97,0	310,2	97,8	62,1	0,0	1,2	2,7	38,4	67,1	234,2	179,7	1646,5
2004	290,7	265,9	165,9	161,6	9,8	14,1	23,9	0,0	2,9	136,5	138,7	345,4	1555,4
2005	434,2	63,8	273,6	22,1	47,1	44,1	0,0	16,9	33,7	55,2	244,6	218,0	1453,3
2006	208,3	189,5	258,1	96,5	6,4	6,4	0,0	15,5	104,1	265,8	253,3	460,4	1864,3
2007	415,2	229,6	54,6	32,8	11,7	25,7	37,5	0,0	25,2	113,1	244,6	341,6	1531,6
2008	252,5	264,8	244,6	260,3	80,8	9,0	0,0	0,5	17,5	148,2	59,9	363,3	1701,4
2009	256,4	202,4	103,1	70,2	58,8	8,5	8,5	19,8	101,3	87,5	125,5	346,6	1388,6
2010	169,5	150,2	89,0	89,5	10,4	12,1	1,6	0,0	47,8	140,2	267,7	280,2	1258,2
2011	233,7	195,0	303,4	160,4	4,8	16,6	0,0	0,0	0,1	134,6	124,1	253,7	1426,4
Média	305,3	199,3	216,0	87,3	36,9	15,8	8,8	13,2	50,2	113,5	200,1	321,2	1567,5

Fonte: Ministério da Agricultura – 5º Distrito de Meteorologia – Estação Uberlândia

Os dados a partir de maio de 1996, inclusive, são da Estação de Climatologia da Universidade Federal de Uberlândia.

Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

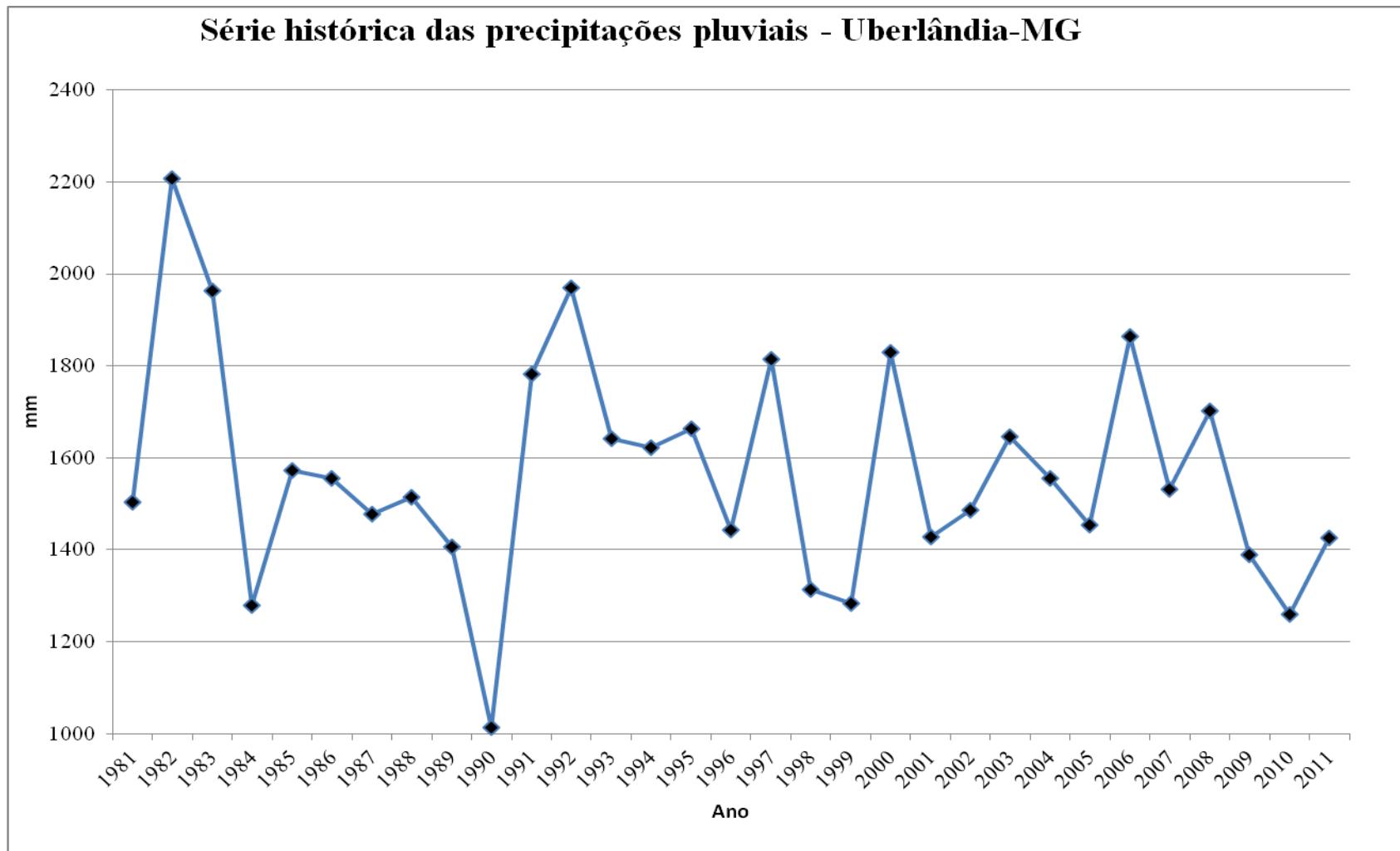


Figura 46 – Gráfico das precipitações totais anuais entre 1981 e 2011 em Uberlândia-MG.

Os resultados obtidos por meio do levantamento de precipitações e temperatura da área estudada evidenciam a particularidade da sazonalidade climática da região. Os dados da série histórica das precipitações (1981 a 2011) mostraram que o ano de 1990 foi o que registrou o menor índice pluviométrico, com apenas 1012,60 mm, enquanto que, nos outros anos, a média observada esteve acima dos 1200 mm.

De acordo com os dados de precipitação, entre 1981 e 2011, conforme destacado em gráfico, foram os anos de 1982, 1983, 1992, 1997, 2000 e 2006 que apresentaram maiores índices pluviométricos, sendo o primeiro da lista, o ano que apresentou maior índice de chuvas (2.207 mm).

Observa-se por meio dos dados que nos últimos 5 anos, foi em 2008 que ocorreu maior volume de chuvas e o ano de 2010 apresentou o menor índice pluviométrico.

Já os dados de precipitações pluviais durante o período de campanhas de coleta de dados de vazão, evidenciaram que o mês de dezembro de 2011 apresentou o maior volume pluviométrico com 253,70 mm.

E, conforme já mencionado no item 5.1.2, ao observarmos os gráficos, 45 (precipitações) e 42 (vazões), nota-se que nos meses em que não ocorreu nada ou quase nada de chuvas precipitadas, a vazão do alto curso do córrego Três Marcos apresentou volume significante.

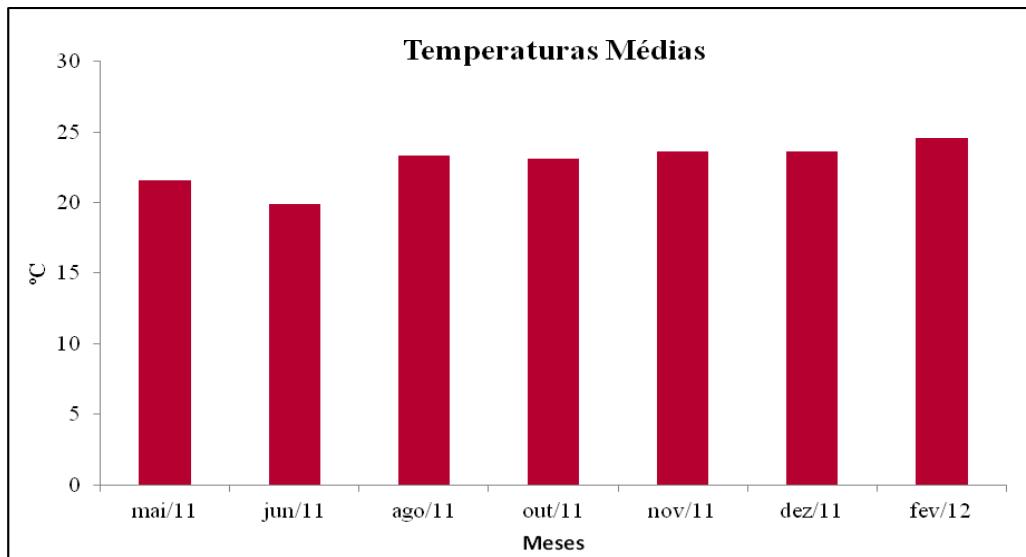
5.2.2 Evapotranspiração Potencial

Dados de temperatura utilizados neste trabalho também foram adquiridos nas estações climatológicas da UFU, conforme descrito anteriormente. (Tabela 08 e figura 47). Além disso, foram levantados os dados de temperatura das médias mensais e anuais do período entre 1981 e 2011. (Tabela 09 e figura 48).

Tabela 08 – Valores das temperaturas médias mensais – período de campanhas de dados de vazão.

TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS		
MESES	LOCAL	TOTAL °C
Maio/11	Estações Climatológicas da UFU – Campus Santa Mônica	21,60
Junho/11	Estações Climatológicas da UFU – Campus Santa Mônica	19,90
Agosto/11	Estações Climatológicas da UFU – Campus Santa Mônica	23,30
Outubro/11	Estações Climatológicas da UFU – Campus Santa Mônica	23,10
Novembro/11	Estações Climatológicas da UFU – Campus Santa Mônica	23,60
Dezembro/11	Estações Climatológicas da UFU – Campus Santa Mônica	23,60
Fevereiro/12	Estações Climatológicas da UFU – Campus Santa Mônica	24,60

Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

**Figura 47 - Gráfico das temperaturas médias dos meses que compõem o período de coleta de vazões.**
Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

Os dados levantados acima mostram que durante o período de coleta de dados de vazão, a temperatura mensal variou entre 19,9°C e 24,6°C, sendo o maior valor registrado no mês de fevereiro de 2012 e o menor em junho de 2011.

Tabela 09 – Temperaturas médias mensais e anuais em Uberlândia-MG – jan/1981 a mar/2012.

Ano/ Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1981	23,5	23,7	23,8	21,8	20,2	17,5	18,2	21,0	22,2	22,5	22,7	24,7	21,8
1982	22,0	22,4	22,7	21,0	19,0	19,8	19,0	21,0	22,6	23,2	23,9	22,3	21,6
1983	22,7	23,3	22,7	22,6	21,4	20,4	20,2	20,1	21,9	22,0	22,5	21,9	21,8
1984	23,9	24,3	23,8	22,0	21,8	19,8	19,8	20,4	20,7	23,9	23,7	22,9	22,3
1985	22,6	24,3	24,2	22,6	20,9	16,5	17,8	21,1	23,0	24,2	23,3	23,3	22,0
1986	23,5	23,2	23,0	23,0	20,9	18,3	18,2	20,8	21,5	22,8	23,4	22,5	21,8
1987	23,5	23,0	22,7	22,7	21,1	19,2	20,1	20,9	23,1	25,0	23,6	23,2	22,3
1988	24,4	23,4	23,3	23,0	21,4	18,3	17,4	20,4	24,1	22,9	22,7	23,1	22,0
1989	23,1	23,2	23,1	22,8	19,7	18,7	18,2	20,0	22,4	23,6	22,8	23,0	21,7
1990	23,2	23,7	23,8	23,4	20,0	19,1	18,6	20,4	21,1	24,0	24,9	23,9	22,2
1991	23,0	23,5	22,8	22,6	20,6	19,9	19,3	20,1	22,7	23,3	23,6	23,6	22,1
1992	23,3	22,6	22,6	22,8	21,6	19,4	19,7	21,0	21,0	22,9	22,9	22,9	21,9
1993	23,6	22,4	23,8	22,3	19,9	18,6	19,4	20,7	23,2	23,5	24,5	23,1	22,1
1994	23,0	24,7	22,9	22,7	21,6	19,3	18,9	21,1	24,5	24,8	24,0	24,1	22,6
1995	24,4	23,4	23,9	22,3	20,9	19,1	20,5	22,6	23,3	24,0	23,3	23,4	22,6
1996	23,9	24,5	23,7	22,9	21,3	19,1	20,1	22,7	22,5	24,4	23,1	23,8	22,7
1997	22,3	23,9	22,6	21,7	19,7	18,4	19,0	20,6	25,2	25,0	25,3	24,0	22,3
1998	24,7	25,0	24,9	24,2	20,5	20,0	20,0	22,4	23,8	23,8	23,8	23,8	23,1
1999	24,4	24,3	23,8	22,6	19,7	20,0	20,9	20,6	23,3	24,4	23,9	23,8	22,6
2000	23,7	22,8	23,2	22,6	20,8	19,8	18,3	21,9	22,4	25,5	23,4	23,8	22,4
2001	24,2	25,1	24,1	24,6	20,8	20,2	21,3	21,3	23,2	23,7	24,1	23,5	23,0
2002	24,2	23,3	24,6	24,7	22,4	21,5	21,0	23,0	22,6	27,0	24,5	23,7	23,5
2003	23,4	25,1	23,6	23,3	19,6	21,1	20,5	21,2	23,9	24,1	23,8	24,8	22,9
2004	23,9	23,2	23,5	22,9	20,9	19,4	19,3	21,6	25,3	24,3	24,0	23,7	22,7
2005	23,7	24,7	24,1	24,8	21,4	19,3	19,9	22,1	23,9	26,1	23,1	22,6	23,0
2006	24,5	24,2	23,6	23,1	20	21,3	20,4	22,9	22,6	23,0	23,2	23,5	22,7
2007	23,5	23,9	25,0	24	21,3	20,7	20,5	21,8	24,6	25,3	23,8	23,8	23,2
2008	23,4	23,2	23,0	22,9	20,5	20,9	20,2	23,3	23,4	24,6	23,7	23,3	22,7
2009	23,6	24,2	24,0	21,8	21,8	19,9	22,0	22,1	24	24,2	24,9	23,6	23,0
2010	24,4	25,3	24,4	23,6	21,4	20,2	21,5	22,2	24,5	24,4	24,9	24,8	23,5
2011	24,0	24,8	23,5	23,5	21,6	19,9	21,1	23,3	24,7	23,1	23,6	23,6	23,1
2012	23	24,6	24,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,9
Média	23,6	23,8	23,6	22,9	20,8	19,5	19,7	21,4	23,1	24,0	23,7	23,5	22,5

Fonte: Ministério da Agricultura – 5º Distrito de Meteorologia/Estação Uberlândia - Estação de Climatologia da Universidade Federal de Uberlândia (a partir de 05/1996).

Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

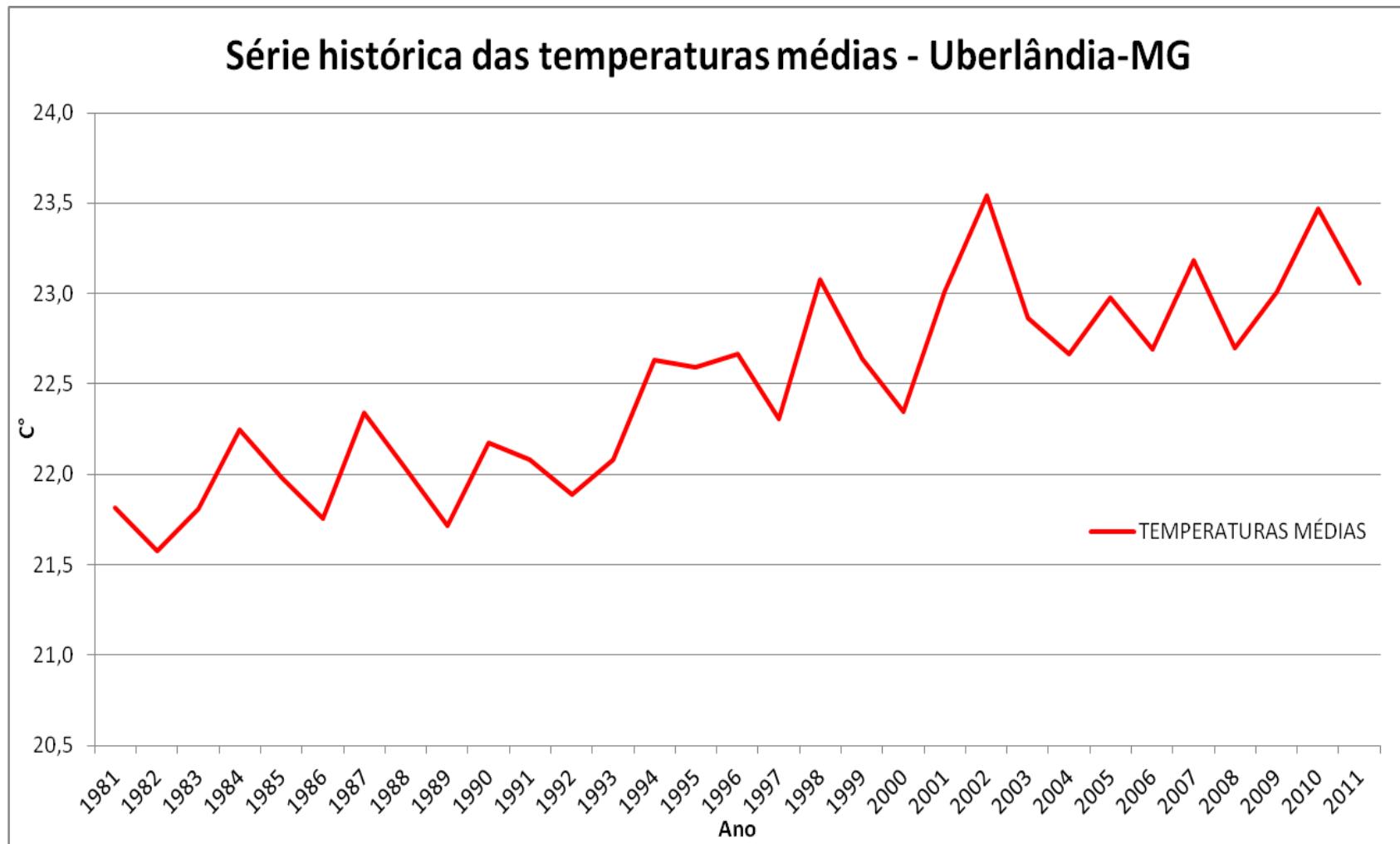


Figura 48 – Gráfico das temperaturas médias anuais entre 1981 e 2011 em Uberlândia-MG.

Os dados contidos na tabela e na figura acima mostraram que durante os últimos 31 anos, foi o ano de 1982 que apresentou menor valor das temperaturas médias ($21,6^{\circ}\text{C}$), enquanto que os anos 2002 e 2010 apresentaram temperatura média de $23,5^{\circ}\text{C}$, sendo considerada a maior média registrada ao longo da série histórica. É importante destacar que, apesar de estar inclusa na tabela de temperaturas, a média do ano de 2012 não pode ser considerada, uma vez que representa apenas 3 meses do ano.

Analizando os dados de temperatura média anual dos últimos 5 anos (2007 a 2011) nota-se que o ano de 2008 obteve a menor média de temperatura ($22,7^{\circ}\text{C}$) e o ano de 2010 a maior média ($23,5^{\circ}\text{C}$).

A análise dos dados de temperatura evidenciou que as médias mensais não ultrapassam os 23°C e a mínima fica em torno de 18°C . Estes valores podem ser notados tanto no período de 1981 a 2011, quanto no período de campanhas de medição de vazões. No geral, verifica-se que a temperatura mantém-se estável nos três primeiros meses do ano e, em seguida, sofre uma queda gradual até junho, caracterizando esse mês como o mais frio do ano, com a menor temperatura registrada de $16,5^{\circ}\text{C}$ no ano de 1985. A partir desse mês, a temperatura se eleva gradativamente, sendo o mês de outubro o que apresenta uma das maiores médias do ano. (Figura 49).

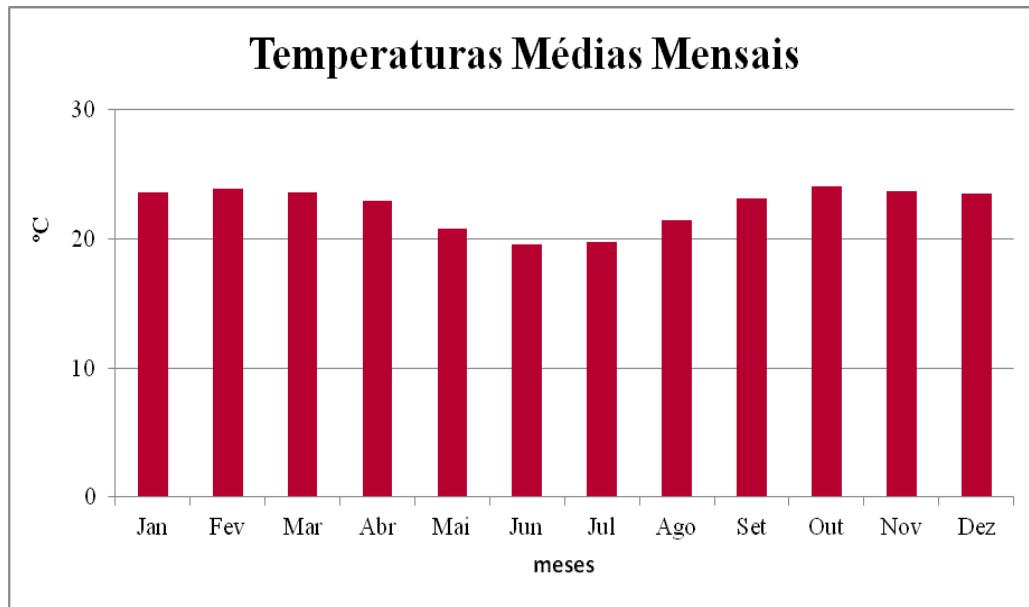


Figura 49 – Gráfico das temperaturas médias mensais entre janeiro de 1981 a março 2012 em Uberlândia-MG. Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

Relacionando os dados de precipitação x temperatura dos últimos 31 anos, podemos verificar que o período chuvoso, que se estende de outubro a março, apresenta as maiores médias de temperaturas associadas com o elevado índice pluviométrico. Já os meses mais secos e frios, entre abril a setembro, apresentam as menores médias de temperaturas integradas ao baixo índice de chuvas precipitadas. (Figura 50).

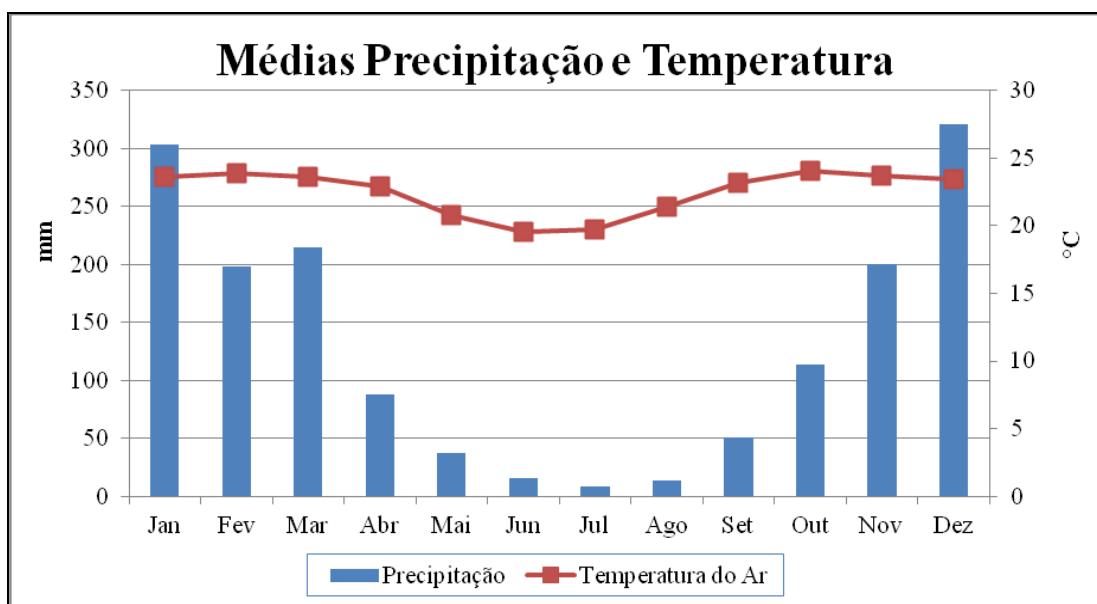


Figura 50 – Relação entre precipitações e temperaturas - período de janeiro de 1981 a março de 2012. Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

Os valores da evapotranspiração potencial calculada nesse estudo estão representados na tabela 10 e figura 51.

Tabela 10 – Valores de ETP – período de campanhas de dados de vazão.

VALORES DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL			
MESES	TEMPERATURA MÉDIA °C	I J	ETP mm
Maio/11	21,6	9,164787354	75,90488
Junho/11	19,9	8,095114037	56,75687
Agosto/11	23,3	10,278654729	92,21037
Outubro/11	24,7	11,228005086	109,3648
Novembro/11	23,1	10,145371418	98,45651
Dezembro/11	23,6	10,479683967	111,8996
Fevereiro/12	24,6	9,164787354	126,5541

I = 121,30
a = 2,75

I: Índice que expressa o nível de calor disponível na região; a: o expoente a é função de I e também é um índice térmico regional; J (Joule): unidade de calor gerado.

Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

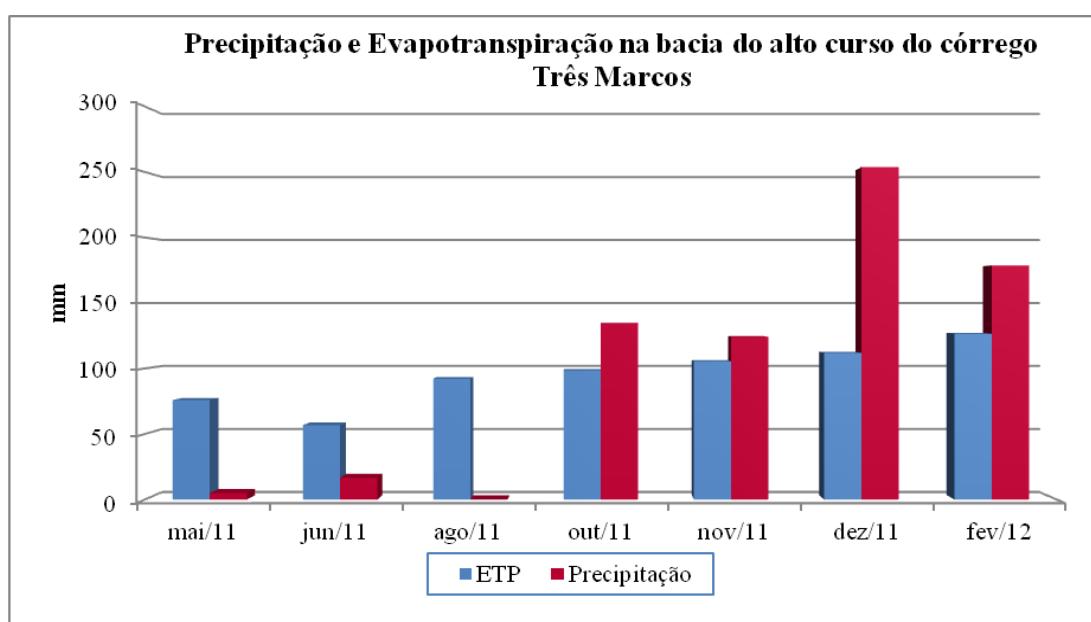


Figura 51 – Relação entre precipitação e evapotranspiração na bacia do alto curso do córrego Três Marcos - período de coleta de vazões.

Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

5.2.3 Deflúvio Mensal

Para o cálculo do deflúvio foram consideradas as medidas de vazão em m³/h e a área da bacia do alto curso do córrego Três Marcos, calculada em 11.432.442,86 m². O valor do deflúvio mensal foi obtido segundo a fórmula a seguir e os dados obtidos estão representados na tabela 11 e na figura 52.

$$\text{Deflúvio (mm)} = \frac{\text{média da vazão em m}^3\text{h} * 24 * 1000 * \text{nº de dias do mês}}{\text{Área}}$$

Tabela 11 – Valores de vazão e deflúvio

VALORES DO DEFLÚVIO MENSAL NA BACIA DO ALTO CURSO DO CÓRREGO TRÊS MARCOS

DATA	SOMATÓRIA DAS VAZÕES PARCIAIS DO FLUXO (Pontos 1 a 4) em m ³ /h	DEFLÚVIO MENSAL (mm)
Maio/11	602,87	39,2335
Junho/11	566,52	35,6787
Agosto/11	652,52	42,4647
Outubro/11	621,66	40,4564
Novembro/11	745,38	46,9430
Dezembro/11	866,04	56,3601
Fevereiro/12	1011,60	61,5856

Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

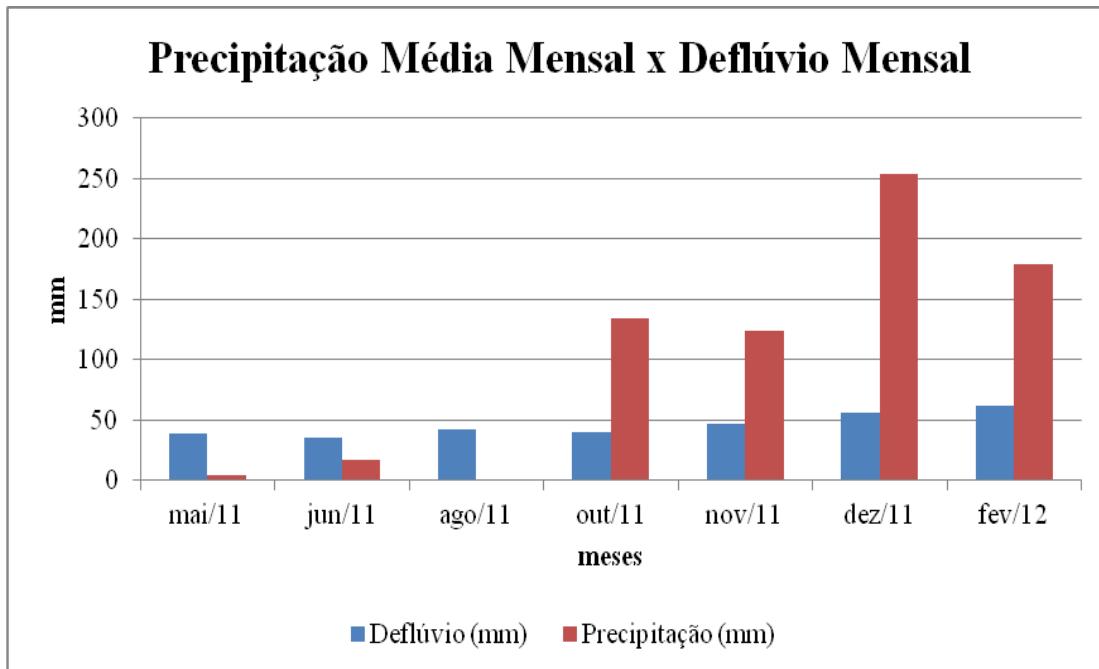


Figura 52 – Precipitação Média Mensal x Deflúvio Mensal na bacia do alto curso do córrego Três Marcos.
Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

Na análise da relação precipitação/deflúvio na área estudada, no mesmo período de coleta de vazões, observa-se que mesmo havendo a diminuição das alturas de chuvas precipitadas, manteve-se o fluxo do escoamento fluvial, ocorrendo a manutenção do alto curso do córrego Três Marcos pelas reservas hídricas armazenadas durante o período chuvoso. O armazenamento de água, na parte superior da área de contribuição é que alimenta, gradativamente, no período seco, o referido córrego.

Os valores utilizados para o balanço hidrológico da área estudada estão apresentados na tabela 12 e na figura 53.

Tabela 12 – Valores para o cálculo do balanço hidrológico na bacia do alto curso do córrego Três Marcos

MÊS	P (mm)	Q (mm)	ETP (mm)	Vt (mm)
Maio/11	4,80	39,2335	75,90488	-110,3384
Junho/11	16,60	35,6787	56,75687	-75,8356
Agosto/11	0,00	42,4647	92,21037	-134,6751
Outubro/11	134,60	40,4564	109,3648	-15,2212
Novembro/11	124,10	46,9430	98,45651	-21,2995
Dezembro/11	253,70	56,3601	111,8996	85,4403
Fevereiro/12	178,70	61,5856	126,5541	-9,4397
TOTAL	712,50	322,7220	671,1471	-281,3692

P: Precipitação; Q: Vazão; ETP: Evapotranspiração; Vt: Volume Total.

Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

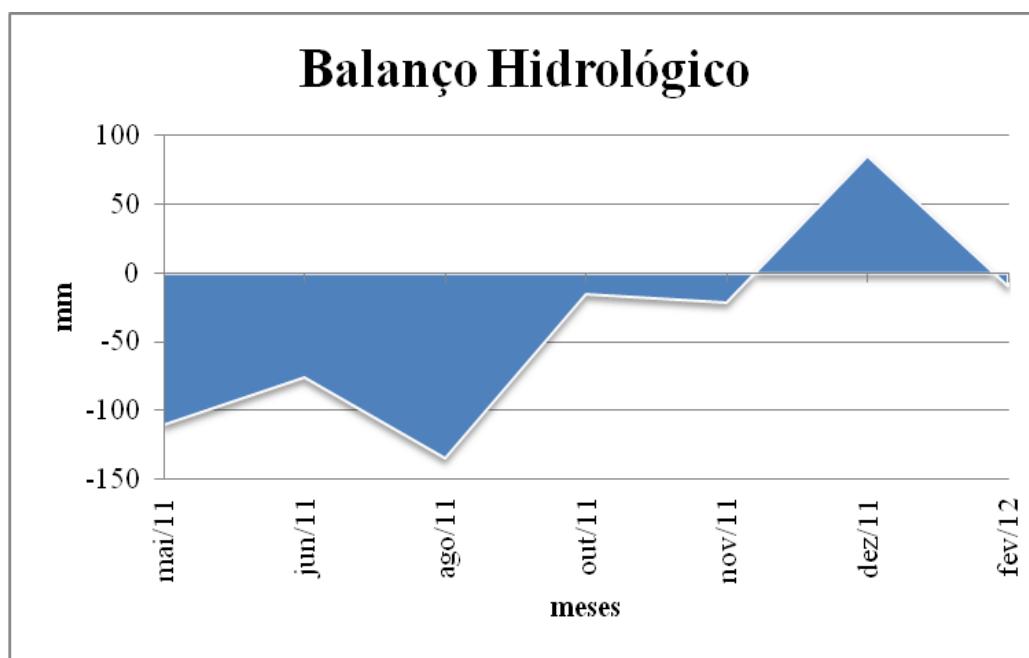


Figura 53 – Balanço hidrológico da bacia do alto curso do córrego Três Marcos.
Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

O balanço hidrológico da bacia do alto curso do córrego Três Marcos, no período de maio de 2011 a fevereiro de 2012, apresentou um *déficit* de -281,36 mm, sendo o maior valor

encontrado no mês de agosto de 2011 de -134,67mm. O mês em que a ETP apresentou valor elevado foi em fevereiro de 2012. No geral, o sistema hidrológico da área estudada apresentou *déficits* no período seco e *superávit* na estação chuvosa.

Outros fatores foram levantados neste estudo, tais como: quantidade de água disponível, visando as estimativas do *déficit* de água, do excedente hídrico, da retirada e da reposição hídrica na área estudada, tanto no período compreendido entre janeiro de 1981 e março de 2012, como no período de coletas de vazão.

Contata-se, a partir dos resultados obtidos, que os meses de outubro, novembro e dezembro de 2011 e fevereiro de 2012, apresentaram maior concentração de chuva, sendo registrado um excedente hídrico durante os meses de dezembro de 2011 a fevereiro de 2012. Ao contrário, ocorreu um *déficit* hídrico, entre maio e agosto de 2011. (Figura 54).

Ao considerar a série histórica de 31 anos, verifica-se que entre os meses de abril e agosto ocorre o período de deficiência hídrica na área, sendo o mês de agosto o de maior deficiência hídrica. No período chuvoso (outubro a março) ocorrem os excedentes hídricos, sendo o mês de janeiro o que apresenta os maiores excedentes hídricos e o mês de dezembro o de maior reposição hídrica. (Figura 55).

Foram realizados cálculos do balanço hídrico (Anexo I) dos anos que compõem o período de 1981 a 2011, o que permitiu identificar com maior clareza a distinção dos períodos e/ou meses secos e úmidos de uma determinada localidade, além de quantificar a disponibilidade de água no solo. Vale lembrar que esse tipo de cálculo pode ser utilizado para orientar diversos atores do meio ambiente quanto aos diferentes tipos de usos e ocupação do solo.

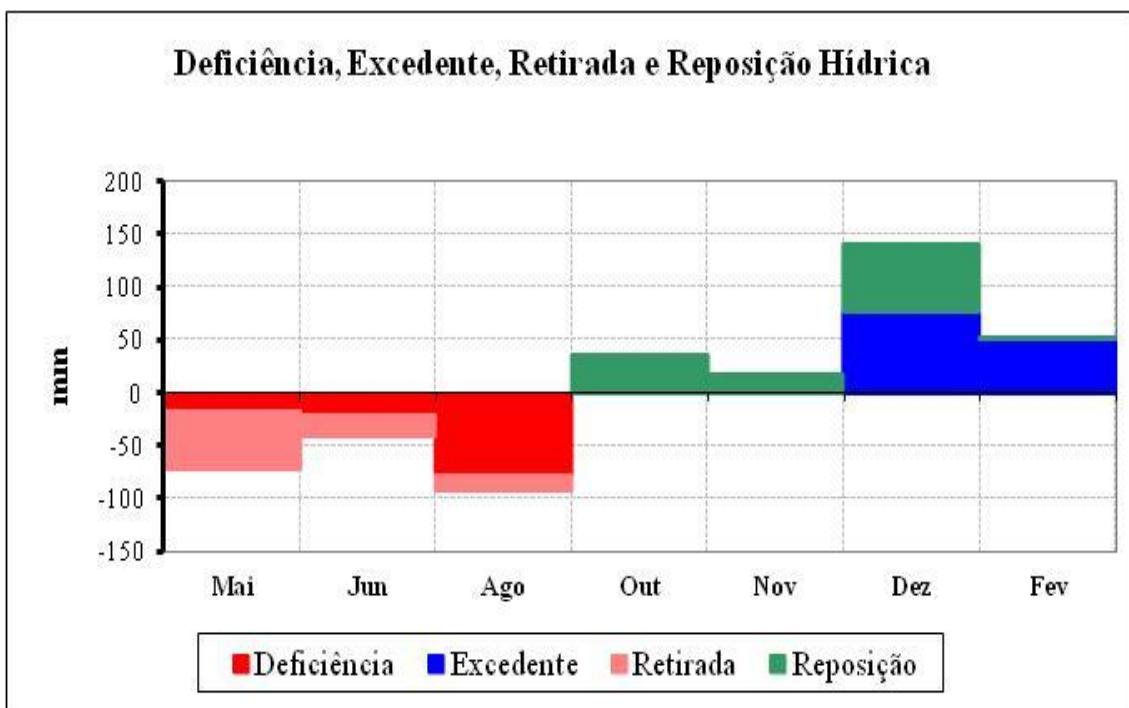


Figura 54 – Deficiência, Excedente, Retirada e Reposição Hídrica ao longo do período de coletas de vazão.
Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

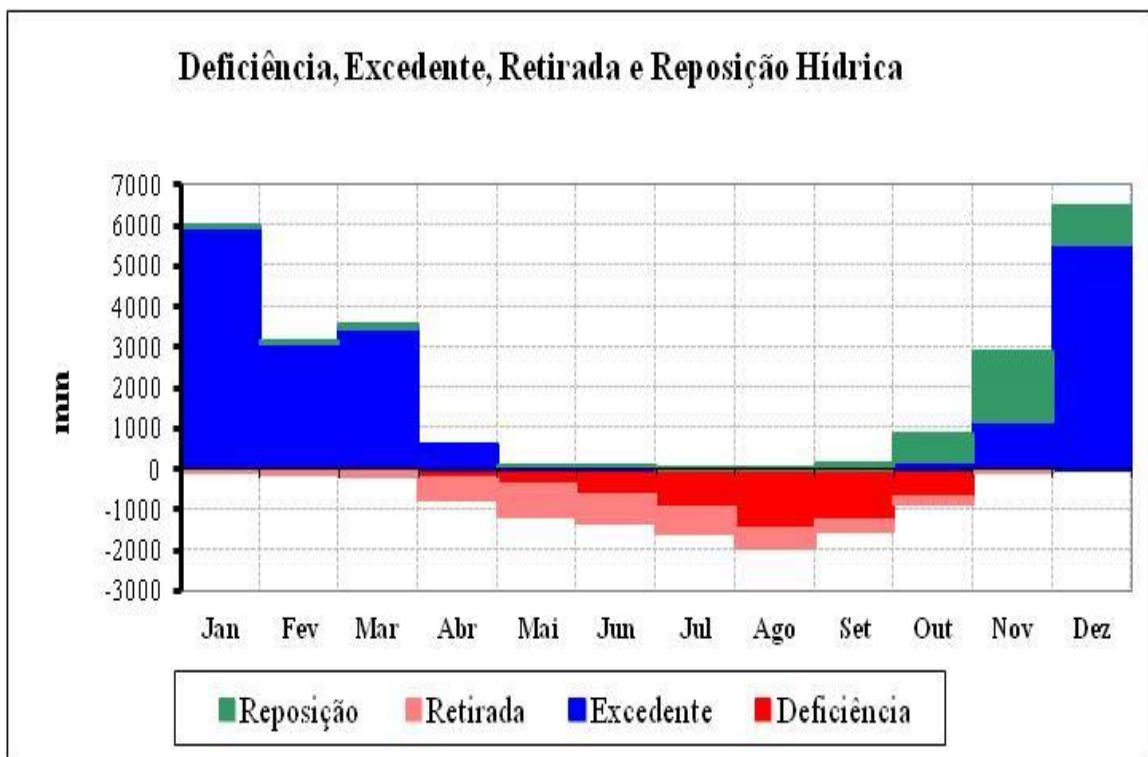


Figura 55 – Totais de Deficiência, Excedente, Retirada e Reposição Hídrica ao longo do período de janeiro de 1981 a março de 2012.
Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

5.3 Fatores geológicos e hidrogeológicos da bacia do alto curso do córrego Três Marcos

O reconhecimento geológico da área estudada se tornou uma importante fonte de informação a ser analisada em decorrência dos aspectos condicionantes da geologia somados a outros elementos do meio ambiente, tais como: características dos solos, configuração da paisagem e, principalmente, os aquíferos.

Especificamente na área estudada foram observadas litologias arenosas e rudáceas pertencentes à formação Marília e basaltos da Formação Serra Geral. Com base nos levantamentos de campo e consultas a literaturas que tratam da geologia da área estudada e/ou de seu entorno elaborou-se um mapa litológico. Encontram-se indicadas nesse mapa todas as nascentes que compartilham as águas da zona saturada freática com a nascente do córrego Três Marcos e suas respectivas cotas altimétricas. (Figuras 56 e 57).

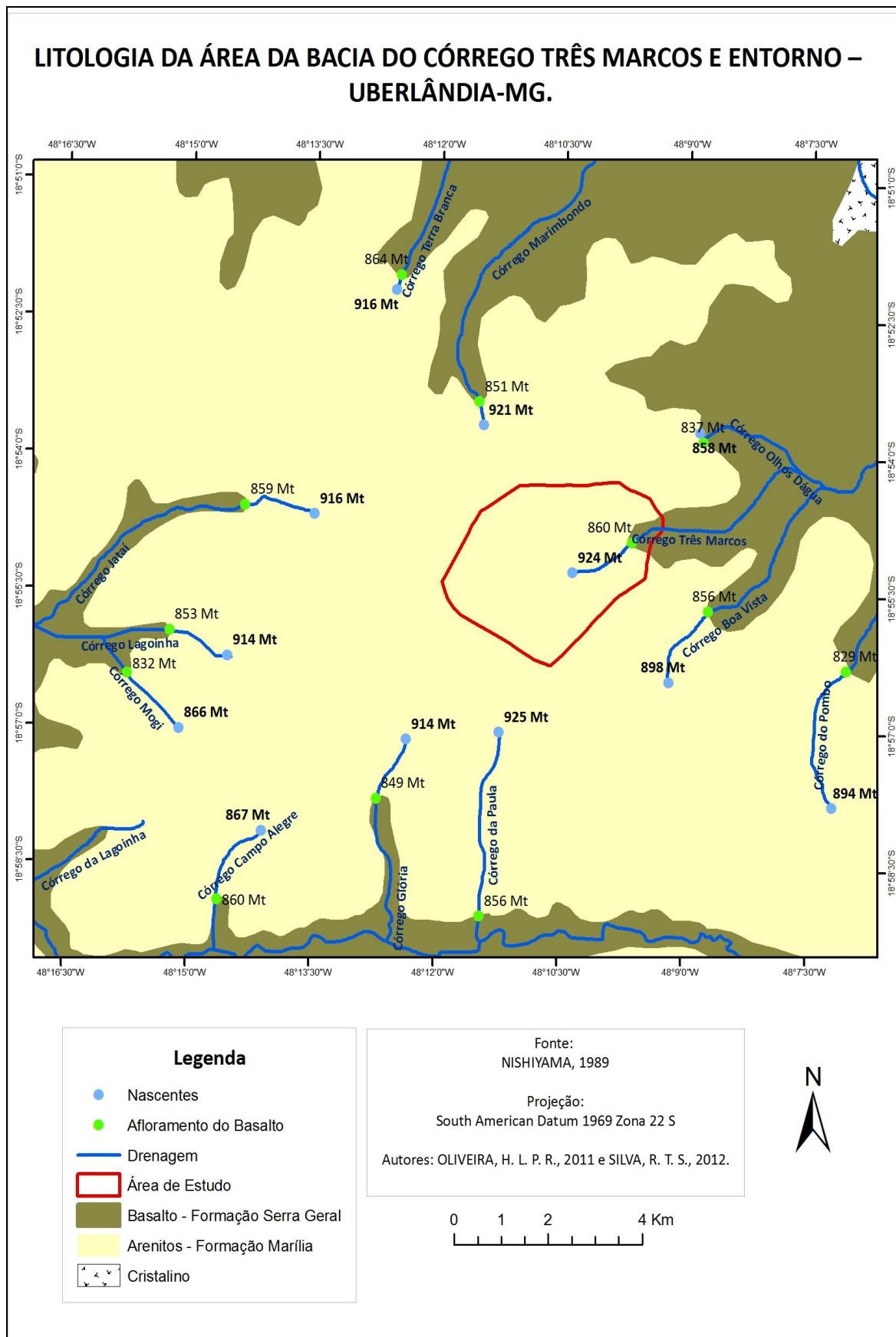


Figura 56 – Mapa litológico da área de estudo e do seu entorno.



Figura 57 – Materiais rudáceos presentes na área estudada.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

Na área estudada a formação Marília é caracterizada pelos litotipos arenosos do membro Serra da Galga, normalmente conglomeráticos e ausência de cimentação carbonática. Segundo Nishiyama (1998) essa formação possui espessura da ordem de 60 metros na área de contribuição da nascente do córrego Três Marcos.

A formação Serra Geral aflora em uma pequena porção da área estudada localizada na sua porção jusante, representada basicamente pelas rochas efusivas básicas (basaltos). (Figura 58).

Os basaltos da formação Serra Geral, na bacia do alto curso do córrego Três Marcos e áreas adjacentes, apresentam espessura de ordem de 200 metros e possuem estrutura variada, como o basalto maciço, que predomina nos níveis internos dos derrames e o basalto vesículo-amigdaloidal que ocorre na porção de topo dos derrames. (NISHIYAMA 1989; DAVINO, 1960).



Figura 58 – Afloramento do basalto da Formação Serra Geral a jusante da área estudada – 1^a cachoeira do córrego Três Marcos.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

Baseando na literatura existente e nos levantamentos de campo realizados nesse estudo, foi confeccionado um perfil geológico da área estudada. (Figura 59).

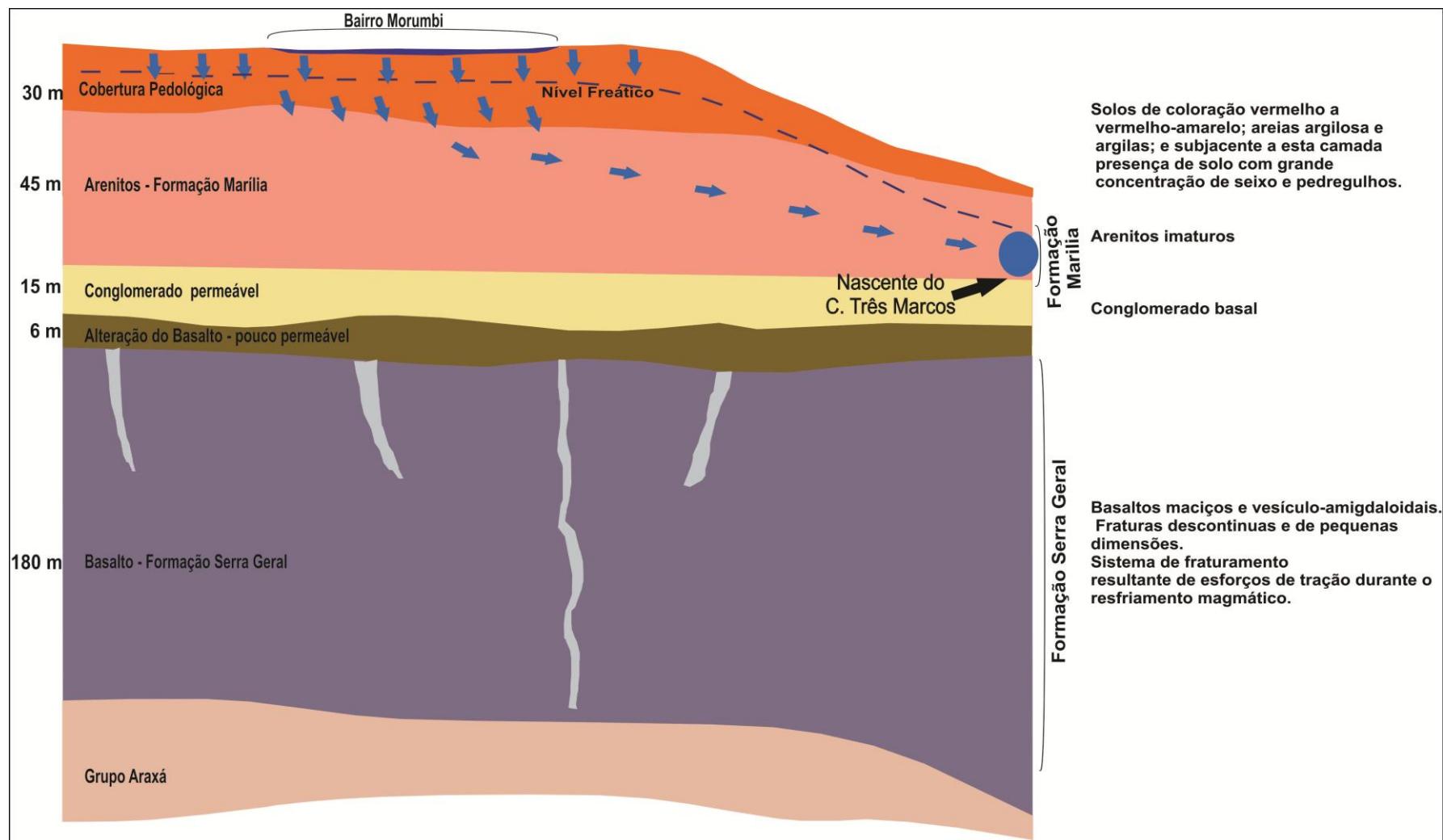


Figura 59 – Perfil geológico da área de influência da bacia do alto curso do córrego Três Marcos – Uberlândia-MG.
Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012. Adaptado de NISHIYAMA (1989).

Na área estudada estão presentes os aquíferos Bauru e Serra Geral. O aquífero Bauru, representado pela formação Marília, mostra característica de aquífero não confinado associado às camadas areno-argilosa, areno-conglomerática. Distintamente do aquífero Marília, o aquífero Serra Geral ocorre em condição semiconfinada pela formação Marília e se caracteriza como um aquífero do tipo fissural.

Entende-se como área de recarga de aquífero toda porção de terreno onde a infiltração de águas de superfície é considerável, podendo alimentar direta ou indiretamente a zona saturada encontrada abaixo dessa superfície. É justamente essa área de recarga, a responsável pela manutenção do nível da zona saturada do subsolo e pela alimentação e regularização da vazão dos cursos d'água.

As áreas com topografia mais planas e de solo permeável são caracterizadas como área de recargas de um aquífero, pois as condições físicas do relevo e a permeabilidade do solo, geralmente fazem com que ocorra maior infiltração das águas pluviais no subsolo.

A região situada a montante da cabeceira do córrego Três Marcos está inserida em uma superfície plana, recoberta por solos de permeabilidade relativamente elevada. Nessas condições a maior parte das precipitações se infiltra através do solo e migra diretamente até o aquífero Marília, alimentando sua zona saturada e provendo uma vazão elevada de água à nascente do referido córrego. (Ver figura 59).

A área de contribuição da nascente do córrego Três Marcos possui 7236059,76 m² (723,60 ha) e a bacia do alto curso do referido córrego possui 11432442,86 m² (1.143,24 ha). O solo dessa área é ocupado parcialmente por bairros residenciais, comércio, setor logístico como o entreposto da Zona Franca de Manaus, empresas do setor agrícola e indústrias. Em menor escala, encontram-se as porções cobertas por culturas anuais e remanescentes de vegetação típica do bioma Cerrado. (Figura 60).

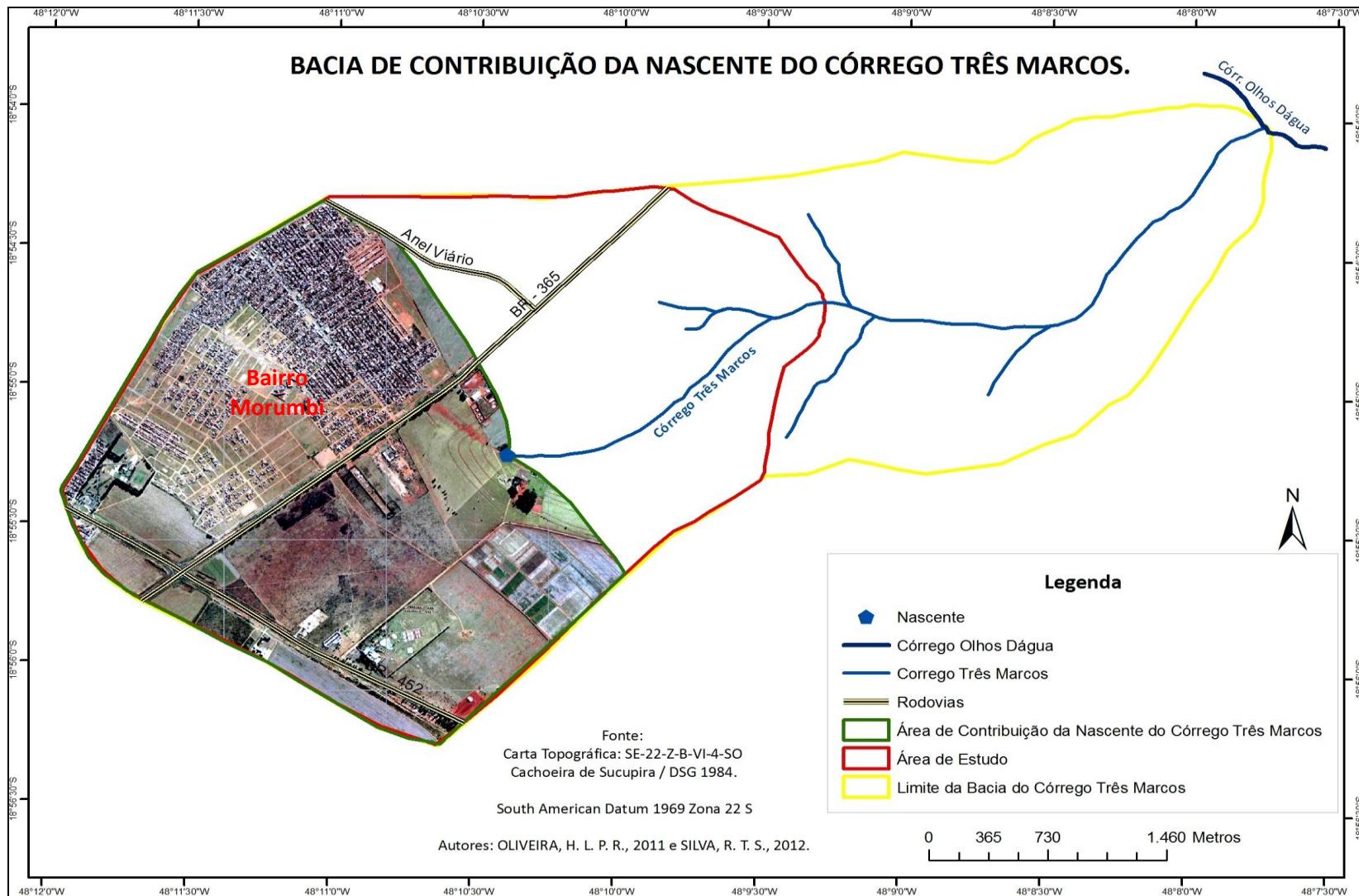


Figura 60 – Mapa da bacia de contribuição da nascente do córrego Três Marcos – 2011.

Nos últimos dez anos, esse setor da cidade de Uberlândia vem sendo ocupado pela expansão urbana de forma acelerada. De acordo com o Zoneamento Urbano de Uberlândia (2011), elaborado pela Secretaria Municipal de Planejamento Urbano, as porções delimitadas pelo perímetro urbano da área estudada estão inseridas nas seguintes zonas: Zona de Transição – ZT; Zona Residencial – ZR2; Zona de Urbanização Específica 2 – Centro Empresarial Leste. Além disso, uma parcela significativa está inserida na área de expansão urbana de Uberlândia, avançando em direção à cabeceira do córrego Três Marcos.

A maior parte da área da bacia de contribuição possui relevo bastante plano, caracterizado como áreas de recarga dos aquíferos locais e regionais. É de se considerar que a área onde foi implantado o bairro Morumbi constitui-se como a principal área de recarga da zona freática que alimenta a nascente do córrego Três Marcos, uma vez que seu relevo apresenta a forma característica de suave depressão, o que permite o acúmulo das águas pluviais e sua infiltração. As águas que chegam até o aquífero Marília têm sua percolação vertical profunda e restrita em razão da baixa permeabilidade do aquífero Serra Geral, especialmente da porção de topo dessa unidade aquífera. Desse modo, constituem linhas de fluxo horizontais que irão formar as nascentes dos córregos, inclusive a nascente do córrego Três Marcos, contribuindo para a manutenção de sua vazão.

No entanto, a partir do momento que a superfície aplinada da área de contribuição da nascente do córrego Três Marcos passou a ser impermeabilizada, a quantidade de infiltração natural das águas das chuvas foi reduzida.

A área da cabeceira do córrego Três Marcos é ocupada por vegetação do Cerrado e esta é representada por duas fisionomias: a Mata de Galeria e a Vereda. A vegetação natural remanescente é importante para manutenção do regime hídrico local.

Vale mencionar neste estudo o trabalho realizado por Rocha (2003), no qual a autora determinou a profundidade do nível da água (NA) em um poço de monitoramento localizado

próximo da BR 365, da ordem de 9 m, em 26/09/2002. A presença de solos hidromórficos na área onde foi construído o poço de monitoramento do NA indica que o lençol já foi mais raso em épocas recentes. A interpretação de fotografias aéreas de 1964 (USAF) atesta a pequena profundidade do lençol, especialmente no final do período chuvoso, quando se podia notar a presença de uma lagoa na porção central da depressão onde atualmente se encontra implantado o bairro Morumbi.

É importante salientar a importância do aquífero Marília para os recursos hídricos da área estudada e seu entorno. Sua importância não está condicionada somente à elevada produção de água nos poços tubulares perfurados em sua área de ocorrência, mas também por constituir a principal fonte de alimentação de todas as nascentes de cursos d'água localizadas na unidade, sendo sua regularidade o fator que mantém estável a vazão dos córregos. Pode-se observar que as nascentes situadas na área periférica de Uberlândia estão diretamente relacionadas ao aquífero Marília.

A formação Marília é constituída, na área estudada, predominantemente por materiais de textura arenosa contendo seixos e pedregulhos e uma camada basal formada quase que exclusivamente por seixos. Essa associação, em posição sobrejacente ao substrato basáltico, caracteriza-se pela relativa capacidade de armazenamento de água, proveniente da infiltração das águas pluviais. (Ver figura 59). A presença da camada rudácea na base do aquífero Marília determina sua elevada permeabilidade e, além disso, a excepcional vazão da nascente do córrego Três Marcos.

A nascente do córrego Três Marcos está localizada na cota altimétrica de 924 metros. Outras nascentes de córregos adjacentes à área estudada mostram situação semelhante quanto à altimetria em função da condição quase horizontal desse nível rudáceo. (Figura 61).

NASCENTES LOCALIZADAS NA UNIDADE DO AQUÍFERO MARÍLIA - BACIA DO ALTO CURSO DO CÓRREGO TRÊS MARCOS E ENTORNO – UBERLÂNDIA-MG.

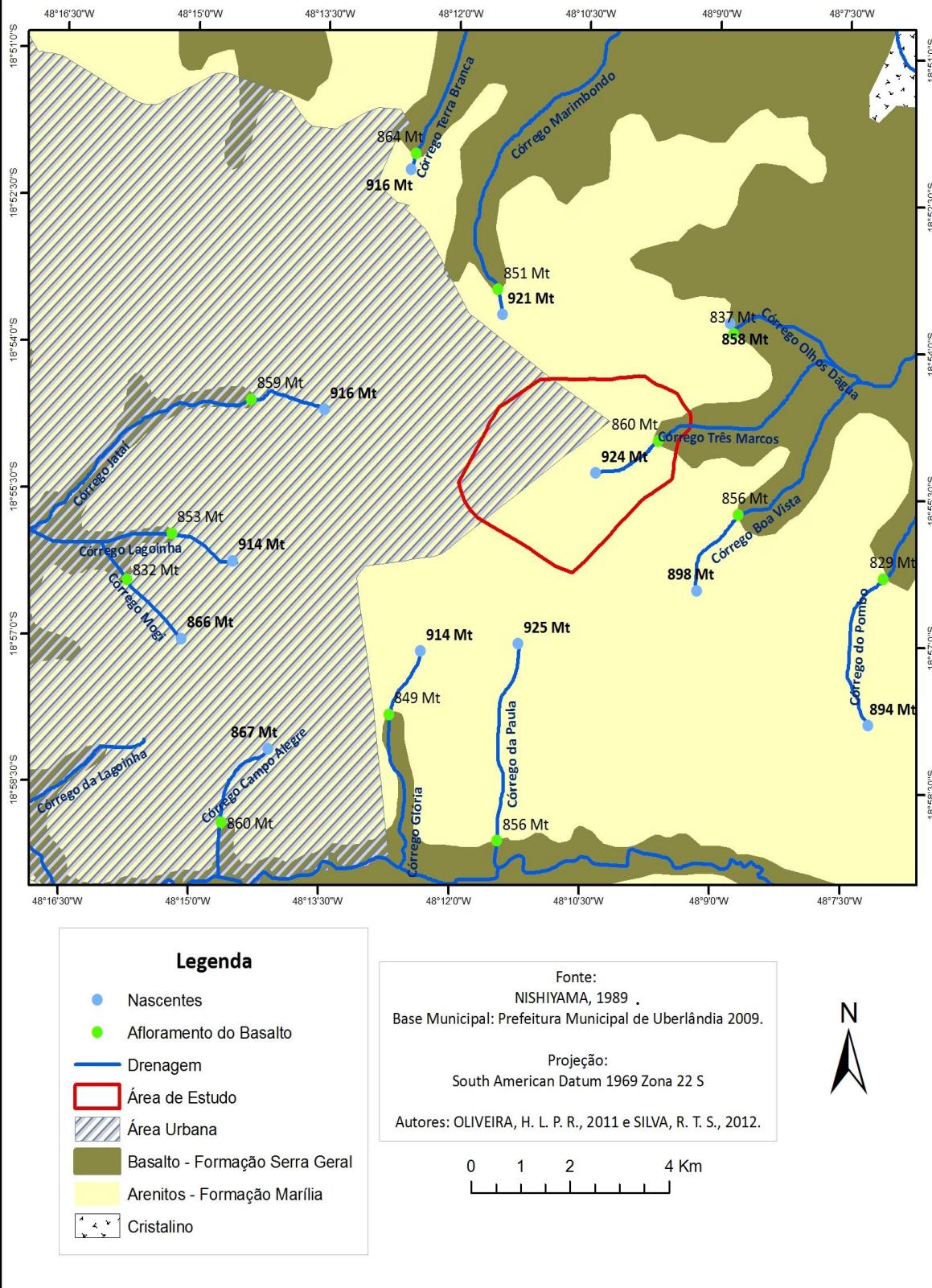


Figura 61 – Mapa de localização das nascentes inseridas na unidade formação Marília – Uberlândia-MG.

5.4 Os usos da água da bacia do alto curso do córrego Três Marcos

Os usos das águas superficiais e subterrâneas captadas na área estudada estão relacionados ao consumo humano, agroindustrial, industrial, no paisagismo, na lavagem de veículos, na dessendentação de animais e na irrigação de horticultura. Algumas propriedades rurais também fazem uso das águas tratadas pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE), principalmente aquelas localizadas próximas da área urbana.

Com o intuito de avaliar as saídas de água da área de contribuição da bacia do alto curso do córrego Três Marcos via captação, levantaram-se todas as outorgas existentes junto ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM, as respectivas vazões e finalidades de uso. Os dados levantados são apresentados na tabela 13 e foram obtidos das listagens de outorgados entre 2002 e 2011, além das portarias de outorgas de janeiro a abril de 2012, que estão disponibilizadas no *site* do Instituto Mineiro de Gestão das Águas⁴.

Tabela 13 – Usos de recurso hídrico outorgados na área estudada

CAPTAÇÕES OUTORGADAS			
Ponto	Tipo de Captação	Vazão (m³/h)	Finalidade (s)
1	Subterrânea - (Poço Tubular)	4,5	Irrigação de uma área de 10 ha
2	Subterrânea - (Poço Tubular)	10,0	Consumo Humano e consumo agroindustrial
3	Subterrânea - (Poço Tubular)	6,2	Consumo Humano, Industrial e paisagismo.
4	Subterrânea - (Poço Tubular)	7,9	Consumo Humano e lavagem de veículos
5	Subterrânea - (Poço Tubular)	4,0	Consumo Humano
6	Subterrânea - (Poço Tubular)	6,0	Consumo Humano
TOTAL	Subterrânea - (Poço Tubular)	38,60	Diversas

Fonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM (2012).
Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

⁴ www.igam.mg.gov.br/.

De acordo com os dados obtidos e apresentados na tabela anterior, observa-se que existem apenas captações subterrâneas por meio de poços tubulares outorgadas na área estudada até o momento. No entanto, durante os levantamentos de campo observou-se que outras formas de captação ocorrem na área, porém, estas não constam nos arquivos do IGAM em razão de se encontrarem em fase de processo de solicitação de outorga para regularização da intervenção em uso. A distribuição geográfica das captações outorgadas está representada pela figura 62.

Essa constatação pode ser confirmada a partir da existência de um canal artificial, denominado regionalmente por rego d'água, que foi escavado na cabeceira do córrego Três Marcos e transpõe parte da água de sua nascente para as bacias hidrográficas dos córregos Olhos D'Água e Tenda. A existência dessa captação, de acordo com as informações dos moradores mais antigos da área, remonta ao século XIX e, no período de levantamento de dados da presente dissertação de mestrado, encontrava-se em processo de regularização.

A água captada na nascente do córrego Três Marcos é empregada, principalmente, na irrigação de horticultura em pequenas propriedades rurais e para o consumo humano quando a propriedade não é servida pela rede pública. Secundariamente, é empregada também para dessendentação de animais. A água captada através do canal artificial é distribuída entre 19 pequenos produtores rurais, os quais consomem aproximadamente 2.880,20 m³/dia para realização de suas atividades.

Um segundo canal artificial encontra-se presente na área estudada, através do qual a água é captada de um afluente do córrego Três Marcos e empregada para o consumo humano e dessendentação de animais. O consumo diário é de aproximadamente 3m³. Desse modo, fica evidente que nem todas as captações de água dentro da área estudada estão regularizadas.

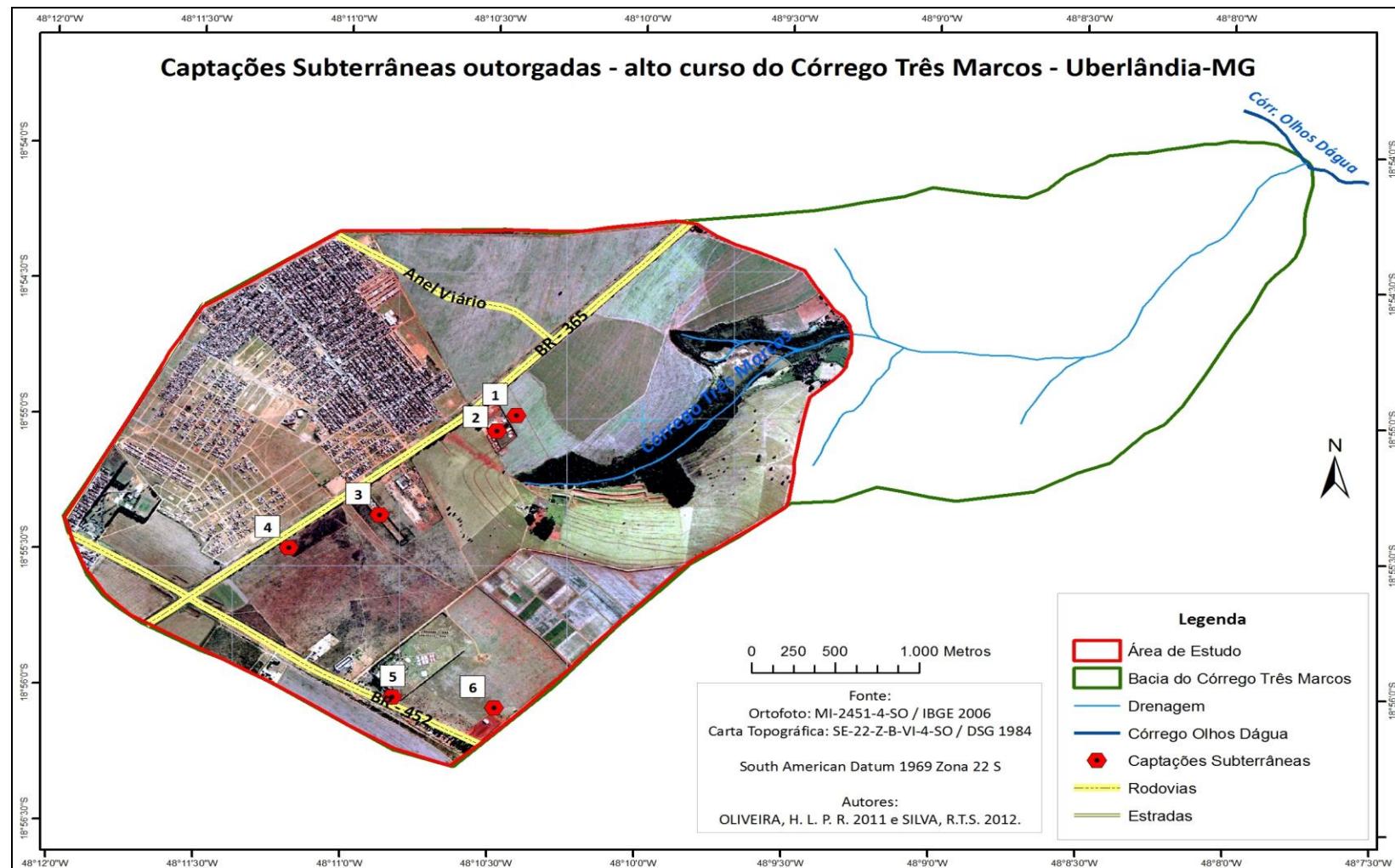


Figura 62- Mapa com pontos de captações subterrâneas outorgadas (Poços Tubulares) localizados na área de estudo.

5.5 A evolução do uso e ocupação do solo na bacia do alto curso do córrego Três Marcos

A identificação da evolução do uso e ocupação do solo na área estudada constitui-se em importante elemento de análise ambiental, pois pode auxiliar no reconhecimento e na localização dos diferentes usos, bem como dos agentes responsáveis pelas condições ambientais da área.

As áreas ocupadas pelas diferentes classes de uso e ocupação do solo na bacia do alto curso do córrego Três Marcos em cada um dos quatro anos analisados são apresentadas em números absolutos e relativos, considerando a área total da bacia. (Tabela 14).

Nota-se, por meio de números apresentados na tabela 14, que as áreas de vegetação nativa do Cerrado, como o Cerrado Sentido Restrito, a Mata de Galeria e Vereda, bem como as áreas úmidas eram as classes predominantes no ano de 1964. Assim, grande parte dessas áreas foi substituída por diferentes usos ao longo dos anos analisados.

No mapa do uso e ocupação do solo da área estudada, obtido da interpretação das fotografias aéreas de 1964, verifica-se que a vegetação de Cerrado era a classe de uso do solo que ocupava a maior parcela da área estudada, a qual totalizava 855,65 ha, representando 74,85% da área total. A ocupação antrópica na área estudada restringia-se a uma porção situada a Leste e nas proximidades da cabeceira do córrego Três Marcos, sendo basicamente na forma de pastagens. (Figura 63).

Tabela 14 – Uso e ocupação do solo da bacia do alto curso do córrego Três Marcos nos anos de 1964, 1979, 2002 e 2010.

EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA DO ALTO CURSO DO CÓRREGO TRÊS MARCOS								
	1964		1979		2002		2010	
TIPO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	ÁREA (ha)	ÁREA (%)						
Área de pastagem	94,78	8,29	304,68	26,65	341,91	29,90	406,16	35,52
Áreas Construídas / Urbanizadas	-	-	2,59	0,23	342,05	29,92	377,60	33,03
Áreas Úmidas	128,51	11,24	14,71	1,29	-	-	-	-
Bacias de Infiltração	-	-	-	-	9,78	0,86	9,78	0,86
Culturas de ciclo curto	-	-	8,55	0,75	259,06	22,66	245,87	21,51
Cultura Perene - café	-	-	253,59	22,18	-	-	-	-
Erosão	-	-	-	-	1,70	0,15	1,70	0,15
Mata de Galeria/Vereda	55,26	4,83	54,88	4,80	51,25	4,48	49,65	4,34
Remanescente de Cerrado	855,65	74,85	23,08	2,01	128,45	11,24	43,30	3,79
Represa	2,19	0,19	2,19	0,19	2,19	0,19	2,19	0,19
Silvicultura	-	-	467,32	40,88	-	-	-	-
Sedes	4,89	0,43	4,89	0,43	4,89	0,43	4,89	0,43
Solo exposto	-	-	4,80	0,42	-	-	-	-
Outros	1,96	0,17	1,96	0,17	1,96	0,17	2,10	0,18
TOTAL	1.143,24	100	1.143,24	100	1.143,24	100	1.143,24	100

Autor: OLIVEIRA, 2012.

As áreas úmidas da época foram identificadas e analisadas nas fotografias aéreas de 1964. Foram identificadas micro-formas de relevo semelhantes aos observados nos Covoais, que foram também reconhecidas por Del Grossi (1991). O covoal é considerado um ecossistema importante para a conservação e a recarga dos recursos hídricos. Shiki *et al.* (1997) definem os covoais como morretes de diâmetro variável entre 0,5 e 15 metros, podendo ou não apresentar-se inundados durante a estação das chuvas.

A área total de ocupação das áreas úmidas em 1964 era de 128,51 ha, equivalente a 11,24 % do total da área estudada, e estava localizada entre a vegetação de Cerrado Sentido Restrito, na área mais plana do relevo.

As áreas destinadas à pecuária, classificadas nesse estudo como áreas de pastagens, ocupavam 94,78 ha, ou seja, 8,29% da área estudada. As áreas utilizadas pelas sedes, as quais são compostas por casas, currais, quintais/pomares e outras estruturas, ocupavam 4,89 ha, ou seja, 0,43% da área total.

A classe Mata de Galeria/Vereda ocupava 55,26 ha, representando 4,83% do total da área de estudo e a classe Represa ocupava 2,19 ha. O restante da área, 1,96 ha, ou seja, 0,17% eram ocupados por estradas.

O mapa da figura 63 mostra a distribuição das classes de usos do solo em 1964.

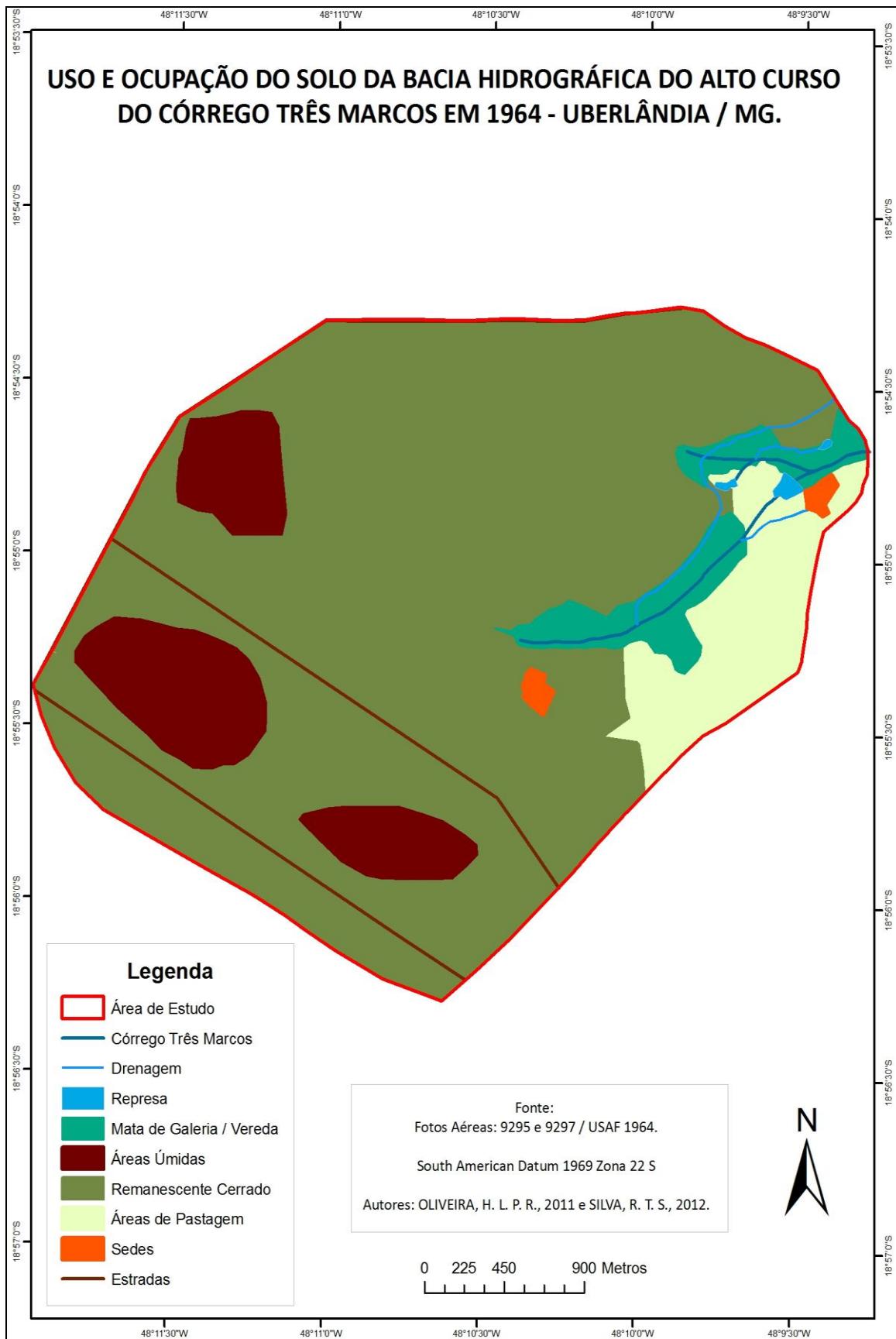


Figura 63 – Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do alto curso do córrego Três Marcos em 1964.

A figura 64 e a tabela 14 mostraram que houve uma diminuição drástica das áreas úmidas em 1979, passando de 128,51 ha em 1964 para 14,71 ha em 1979, ou seja, sofreram uma redução de 88,55% em relação a 1964. A maior parte das áreas úmidas foi ocupada pela silvicultura, enquanto que a outra parte ainda manteve as características de área úmida, porém bastante alterada em relação ao ambiente de 1964 em decorrência do rebaixamento do lençol freático.

As áreas de remanescentes do Cerrado sofreram uma redução de 72% de 1964 a 1979, ocorrendo assim, a supressão dessa vegetação e a ocupação dessas áreas pela silvicultura (eucalipto) e por cultura perene (café) de ciclo curto. Assim, as áreas desses remanescentes passaram de 855,65 ha para 23,08 ha do total da área estudada, representando 832,57 ha a menos de vegetação nativa.

Em 1979 iniciava-se a transformação de um espaço natural em outro, produzido pelo homem. Havia uma pequena parcela ocupada pela malha urbana mas, especificamente, no setor oeste da bacia do alto curso do córrego Três Marcos, a qual representava o equivalente a 2,59 ha, ou seja, ocupação de apenas 0,23% do total da área de estudo.

Também em 1979 pode-se observar a ocupação de áreas pelas culturas perenes e de ciclo curto, as quais ocupavam 262,05 ha de toda a área estudada. A primeira delas é a que ocupava maiores parcelas, um total de 253,59 ha de plantação de café. Enquanto isso, as culturas de ciclo curto ocupavam 8,55 ha.

Em segundo lugar, em maior tamanho era o total das áreas ocupadas por pastagens, as quais ocupavam mais de 300 ha em 1979 distribuídos nos setores leste e norte e, pequena parte, no oeste.

Observa-se, ainda, nas fotografias aéreas de 1979 uma área de 4,80 ha de solo exposto, evidenciando uma espera de ocupação, ou pelo uso do solo para implantação de algum tipo de cultivo ou para instalação de equipamentos urbanos.

As áreas ocupadas pelas classes Sedes, Outros e Represa não sofreram nenhuma alteração dos valores obtidos para 1964 e 1979. No entanto, a área da classe Mata de Galeria/Vereda sofreu uma pequena redução, passando de 55,26 ha para 54,88 ha.

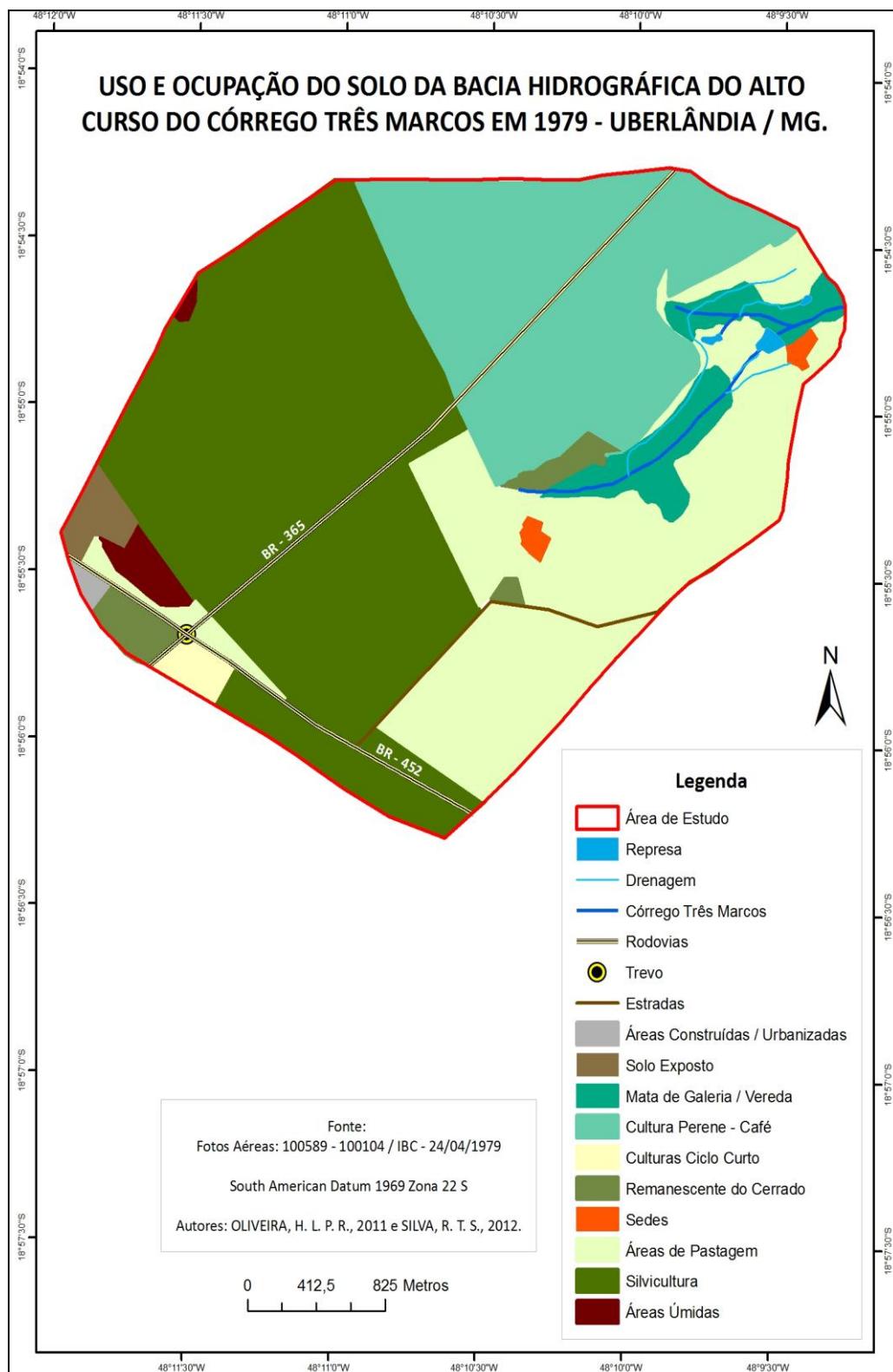


Figura 64 – Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do alto curso do córrego Três Marcos em 1979.

A interpretação do uso do solo em ortofotos aéreas de 2002 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, apresentada na figura 65 e na tabela 14, mostra que houve um crescimento na ocupação das áreas de silvicultura pelos bairros residenciais, loteamentos e empreendimentos no setor leste da cidade de Uberlândia.

Observa-se que houve ampliação em cerca de 45%, das áreas residenciais/comerciais, ou seja, passa de 2,59 ha em 1979 para 342,05 ha em 2002, ocupando assim, parte das áreas de silvicultura, bem como pequena parcela das áreas de culturas de ciclo curto e pastagens. Dessa forma, as áreas ocupadas pela silvicultura em 1979 são em 2002 ocupadas por residências/comércios e áreas de pastagem que passam a ocupar as áreas de cultura perene, totalizando 341,91 ha.

As áreas da classe Mata de Galeria/Vereda também sofrem uma pequena redução de área, passando a ocupar 51,25 ha em 2002, sendo que em 1979 ocupava 54,88 ha, ocorrendo assim, uma redução de 3,63 ha de mata nativa, que foram substituídas por pastagem, culturas de ciclo curto e bacias de infiltração de água pluvial.

O tamanho das áreas de remanescentes de Cerrado ganha maior proporção em 2002, pois essas áreas, em 1979, estavam ocupadas pela Silvicultura e após a retirada desse cultivo, e a não implantação de outras culturas, fez com que a vegetação do Cerrado fosse se recompondo naturalmente. Diante disso, o Cerrado passa a ocupar 128,45 ha, sendo 105,47 ha a mais em relação ao mapeamento de 2002.

Ainda em 2002 é possível constatar a presença dos tanques de contenção e infiltração (bacias de infiltração) da drenagem pluvial do bairro Morumbi, os quais ocupam 9,78 ha (0,86%) do total da área estudada. Além disso, evidenciam-se erosões em forma de voçoroca, compreendendo 1,70 ha, representados no mapeamento pela classe denominada Erosão.

As áreas úmidas representadas nos mapeamentos dos anos de 1964 e 1979 não aparecem mais em 2002, evidenciando, assim, uma diminuição drástica dessas áreas devido à

ação antrópica que foi gerando a ocupação dessas áreas de topos amplos, planos e embaciadas.

Macedo e Correa (2006) consideram as áreas de topos amplos e planos que ocupam grandes extensões de terra no Triângulo Mineiro, como áreas de recarga do aquífero local, principalmente a porção localizada a montante da cabeceira do córrego Três Marcos, onde está inserido o Bairro Morumbi. Essa área é visivelmente composta por certo grau de “embaciamento” em seu centro e, conforme identificado no mapeamento da evolução do uso e ocupação do solo, os “covoais” estavam ali presentes, não se sabe bem certo até quando, mas pode-se afirmar que em 2002 já tinham sido suprimidos.

Vale lembrar que os covoais possuem formato de montículos, os quais retêm água durante o período chuvoso do ano, originando áreas de saturação hídrica temporária e, associados ao relevo bastante plano, fazem com que a área ocupada por eles resulte em área hidromórfica, mediante às dificuldades de movimentação horizontal e subsuperficial.

Não houve alteração nas áreas denominadas Sedes, ocupadas por casas, currais, pomares/quintais de propriedades rurais.

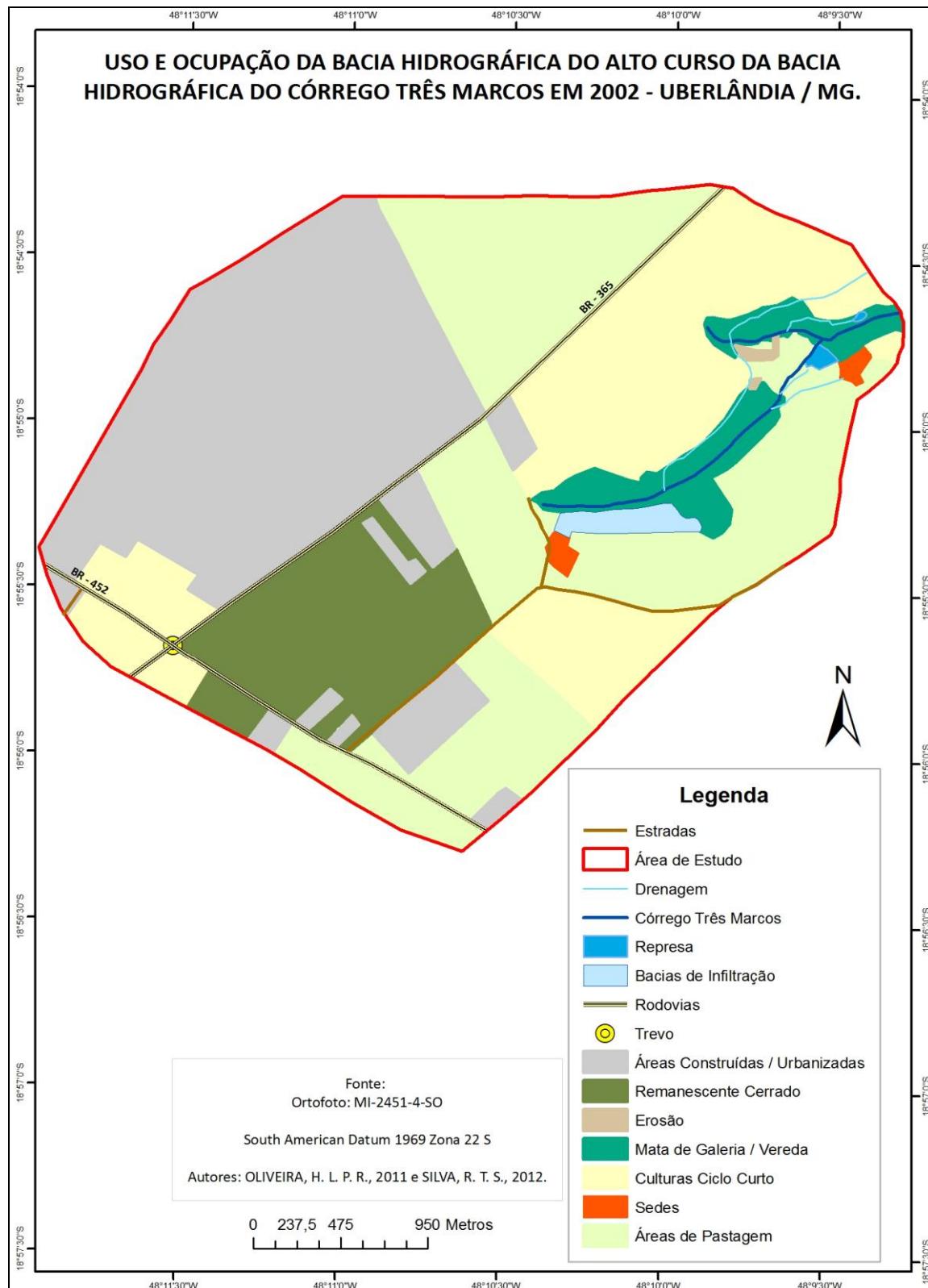


Figura 65 – Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do alto curso do córrego Três Marcos em 2002.

No mapeamento do uso e ocupação do solo do ano de 2010 (Figura 66) verifica-se que as áreas destinadas às pastagens sofreram acréscimo em relação a 2002, passando de 341,91

ha (2002) para 406,16 ha (2010), ocupando parcelas que antes eram ocupadas por Remanescentes de Cerrado.

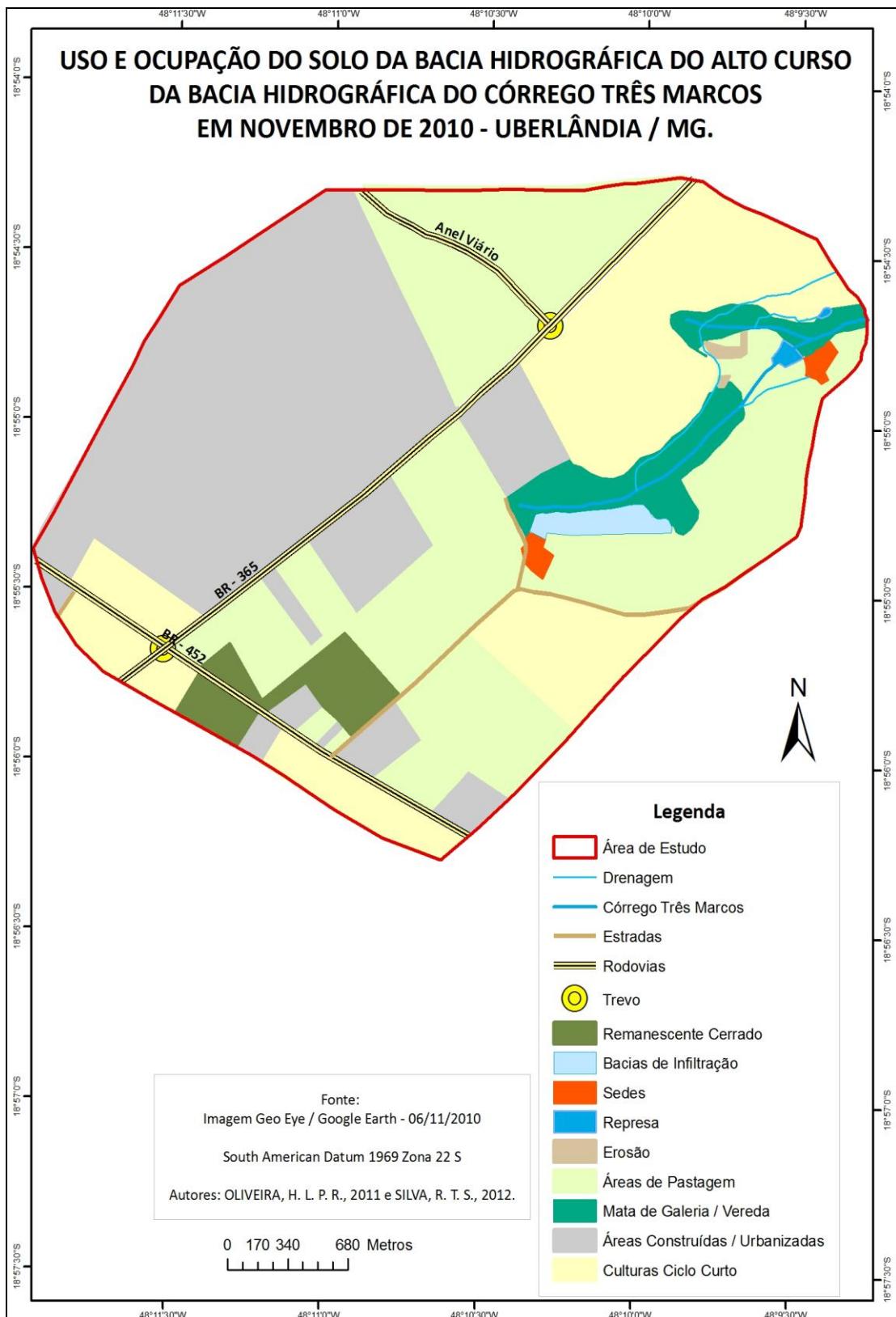


Figura 66 – Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do alto curso do córrego Três Marcos em 2010.

Constata-se nesse mapeamento que as áreas das classes denominadas como Represa e Sedes não sofreram nenhuma alteração desde o mapeamento das imagens de 1964 e que a classe denominada Erosão, não sofreu nenhum acréscimo desde o mapeamento de 2002.

Verifica-se também com esse mapeamento que ocorreu diminuição nas áreas de remanescentes de Cerrado em relação ao valor de 2002, passando de 128,45 ha para 43,30 ha. (Figura 67). Isso ocorreu porque parte da vegetação de cerrado que existia em 2002 foi ocupada por pastagens e áreas construídas/urbanizadas em 2010.



Figura 67 – Cerrado em regeneração em áreas de pastagem abandonadas.
Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

As áreas empregadas para as culturas de ciclo curto foram reduzidas, passando a ocupar 245,87 ha, equivalente a 18,54% da área total. No entanto, observa-se que a área localizada entre a BR 365 e a vertente esquerda do córrego Três Marcos foi, em 1979, ocupada por cultura perene (café) e, em 2002 até os dias atuais, está ocupada por culturas anuais. (Figura 68).



Figura 68 – Plantação de soja na vertente esquerda do córrego Três Marcos.
Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

A classe Mata de Galeria/Vereda sofreu redução de 1,6 ha entre os anos de 2002 a 2010 e, entre o período de 1964 a 2010 ocorreu uma redução de 5,61 ha da vegetação. Esse tipo de vegetação do Cerrado presentes na área de estudo é caracterizado por uma vegetação exuberante, porém, encontra-se circundada por atividades agrícolas, pecuária bovina, lagoas para retenção e infiltração de águas pluviais antrópicas que estão cada vez mais próximas, além de processos erosivos acelerados. (Figura 69).



Figura 69 – A: Mata de Galeria e B: Vereda no córrego Três Marcos - C: Erosão existente na área de estudo, nas proximidades do córrego Três Marcos.
Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

As áreas ocupadas pela malha urbana e por construções, classificadas neste estudo como áreas construídas/urbanizadas também cresceram em 2010, e atualmente ocupam 377,60 ha, o que representa 33,03% do total da área da bacia estudada (Figura 70), sofrendo acréscimo de 3,11% durante esse intervalo de 8 anos. Já em relação ao mapeamento de 1979, essa classe sofreu acréscimo de 32,80% de ocupação da área estudada, o que equivale a 375,01 ha a mais impermeabilizados.



Figura 70 – Empresas inseridas após 2002 ocupando áreas que foram acrescentadas na classe: Áreas Construídas/Urbanizadas de 2010.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

Nota-se que em 2010, em relação aos anos anteriores, houve um crescimento de áreas ocupadas por rodovias como, por exemplo, a duplicação da BR 365 e a implantação do Anel Viário Ayrton Senna. As áreas ocupadas por rodovias estão inclusas na somatória de estradas vicinais e entroncamentos, as quais compõem a classe denominada por “Outros”, ocupando áreas que totalizam 2,10 ha, equivalente a 0,18% da área estudada. (Figura 71).



Figura 71 – Vista parcial do Anel Viário Ayrton Senna nas proximidades do córrego Três Marcos.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

Ao analisar os dados e visualizar os resultados da evolução do uso e ocupação do solo apresentados no gráfico da figura 72, verifica-se que entre 1964 a 2010, a parcela da bacia ocupada por atividades humanas aumentou de 8,89% para 91,68%, em detrimento daquelas cobertas por vegetação remanescente de Cerrado, sendo que no ano de 2002 ocorre a maior ocupação das áreas de Cerrado. Já em 2010 percebe-se uma diminuição das áreas de pastagem e culturas de ciclo curto, dando espaço à regeneração natural do Cerrado.

Esse levantamento evidenciou que o uso comum do solo na área estudada são as categorias culturas de ciclo curto, remanescentes de Cerrado, pastagens, Mata de Galeria/Vereda, áreas úmidas, áreas construídas/urbanizadas. Com essas informações estabeleceu-se a comparação do uso do solo entre os quatro anos analisados.

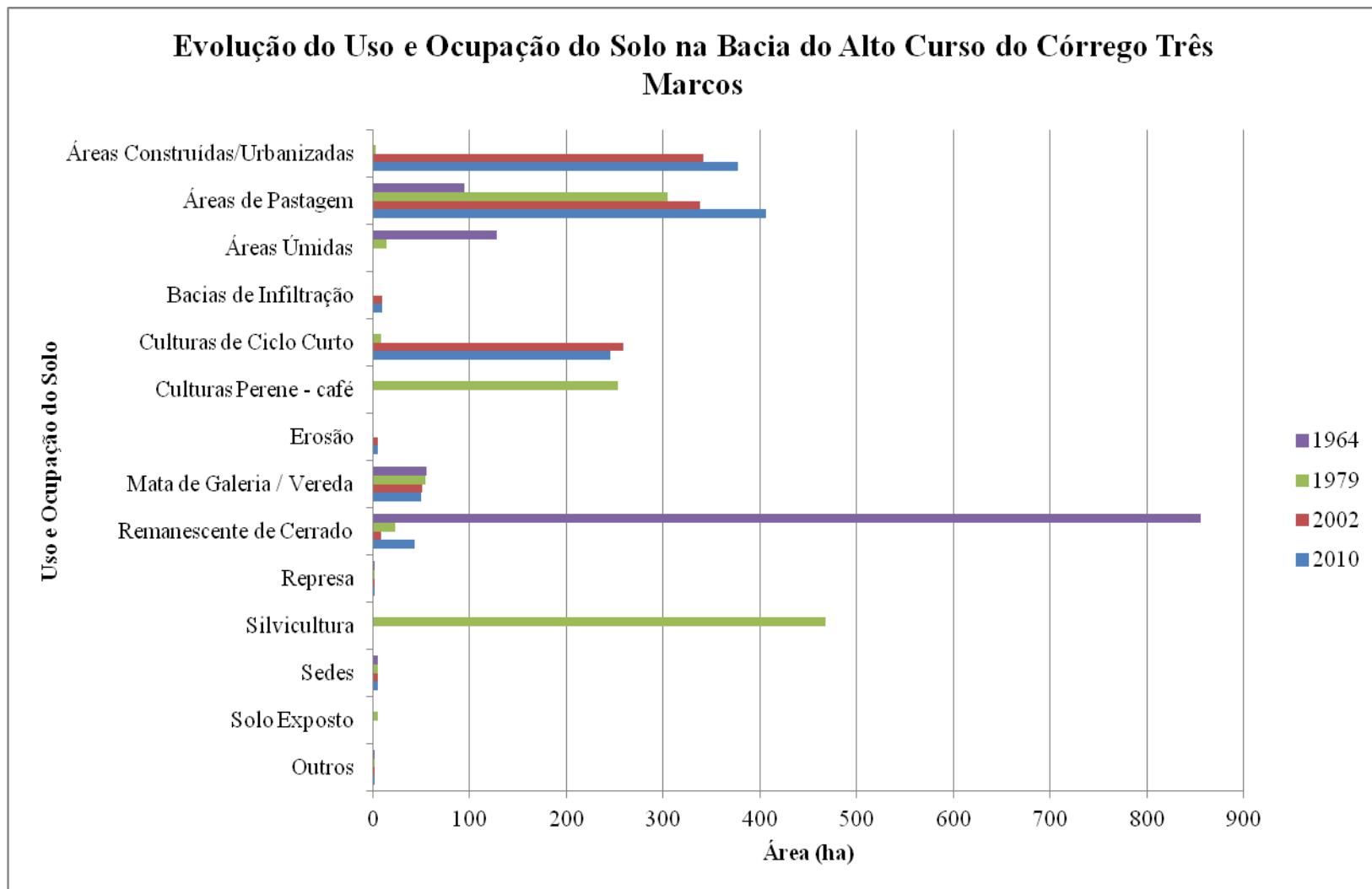


Figura 72 – Distribuição do uso e ocupação do solo do alto curso do córrego Três Marcos em Uberlândia-MG, em 1964, 1979, 2002 e 2010.
Org.: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.

Ainda analisando o gráfico acima, nota-se que a categoria áreas úmidas com presença de Covoais teve a sua maior perda em 1979, sendo extinta em 2002. Em seguida vêm os remanescentes de Cerrado, que em 1964 ocupavam 855,65 ha dos 1143,24 ha de toda a área estudada e, em 2010 ocupavam apenas 43,30 ha, perdendo um espaço de 812,35 ha substituídos pela malha urbana, construções, pastagens, culturas de ciclo curto e também pelas bacias de infiltração (lagoas escavadas para contenção e infiltração) de drenagem pluvial (Tabela 14).

Observa-se, ainda, que a Mata de Galeria/Vereda presente na área estudada, apesar de ter sofrido redução pouco significativa, não atende à legislação ambiental pertinente quanto aos parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente (APPs) do córrego Três Marcos desde 1964.

Em suma, observa-se a partir das informações acerca do uso e ocupação do solo, que a área estudada encontra-se intensamente antropizada, sendo que uma parcela significativa já se encontra urbanizada/construída. O restante da área está dividido entre áreas de cultivo de ciclo curto, áreas de pastagem, bacias de infiltração de drenagem pluvial, remanescentes do Cerrado (Mata de Galeria, Vereda e Cerrado Sentido Restrito), sedes e outros.

No processo de ocupação dessa área, conforme o mapeamento dos últimos 46 anos, verificou-se que as áreas úmidas das depressões foram ocupadas por bairros residenciais, como o Morumbi e o Alvorada. Em decorrência disso, o solo tornou-se pouco permeável à água da chuva.

Vale enfatizar que, geomorfologicamente, a área de contribuição da nascente do córrego Três Marcos, é considerada como uma área muito plana, que armazena considerável quantidade de água pluvial, sendo fornecedora hídrica do referido córrego. No entanto, essa área já não vem realizando o seu papel fundamental à conservação do recurso hídrico da área devido o aumento constante da impermeabilização do solo.

Outro fator relevante, obtido através do levantamento de uso e ocupação do solo, e que pode interferir na qualidade e quantidade das águas da bacia hidrográfica estudada são as lagoas de contenção e infiltração das águas pluviais oriundas do bairro Morumbi. Essas lagoas foram implantadas próximas à nascente do córrego Três Marcos conforme observado em levantamentos de campo, podendo-se afirmar que elas não recebem manutenção adequada. É possível constatar a presença de todos os tipos de resíduos sólidos no interior das lagoas, como garrafas plásticas, restos de brinquedos, pneu, dentre outros. (Figura 73). Esse local vem sofrendo alguns impactos, como por exemplo, a ruptura de uma das lagoas devido ao seu subdimensionamento. Essa ruptura deu origem a uma grande erosão, que foi observada durante o período de estudo e com isso foi possível perceber que houve tentativa de recuperação da área erodida por meio de aterramento, porém sem sucesso. (Figuras 74, 75 e 76).



Figura 73 – Vista parcial de um dos tanques de contenção/infiltração com detalhe de alguns resíduos (pneu, garrafas plásticas) – cabeceira do córrego Três Marcos.
Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2012.



Figura 74 – Vista parcial da voçoroca formada em um dos tanques de infiltração na cabeceira do córrego Três Marcos.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2010.



Figura 75 – Vista parcial da mesma voçoroca na época de entulhamento - outubro de 2011.

Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.



Figura 76 – Vista parcial da mesma voçoroca – após fortes chuvas – dezembro de 2011.
Autora: OLIVEIRA, H.L.P.R., 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O reconhecimento do potencial hídrico de uma determinada bacia é fundamental para a elaboração de propostas para o uso e ocupação dos solos. Nos últimos 10 anos, tem sido discutido muito sobre a sustentabilidade ambiental, ou seja, proporcionar uma vida melhor para as populações atuais, sem comprometer o futuro das próximas gerações.

Assim, tornam-se indispensáveis o entendimento e a quantificação dos processos envolvidos numa avaliação hidrológica (análise dos dados climáticos, envolvendo temperatura, precipitação e balanço hídrico), bem como a evolução de uso e ocupação de solo, para que os resultados possam impulsionar gestores ambientais, administradores públicos e privados, além de pesquisadores, a respeito de planejamento ambiental e ocupação do solo.

Buscou-se neste estudo o entendimento dos fatores que interferem na quantidade de água na bacia do alto curso do córrego Três Marcos, assim como de outros fatores que pudessem interferir em seu regime hídrico como, por exemplo, o uso e a ocupação do solo.

Os procedimentos metodológicos adotados neste estudo possibilitaram realizar uma análise das condições ambientais da área estudada e adjacentes. Portanto, constata-se que a área estudada requer maior atenção e que medidas devem ser tomadas para reduzir a pressão antrópica sobre ela, visando a conservação do recurso hídrico da área.

Durante esta pesquisa, notou-se que o crescimento urbano em Uberlândia se deu sem planejamento, haja vista a implantação do bairro Morumbi em área imprópria para a construção de residências e arruamentos. Constatou-se ainda que as áreas úmidas, com feições características de Covoais, identificadas no mapeamento da evolução do uso e ocupação do solo, foram ocupadas pela paisagem urbana, por meio da instalação do bairro supracitado. Devido às características geomorfológicas e hidrogeológicas essa área é favorável à retenção e ao acúmulo de água no solo, o que contribui sobremaneira para a recarga do aquífero local.

Também foi mostrado que ocorre a manutenção das vazões do córrego Três Marcos, mesmo no período seco. Isso reforça que as características físicas da área de topo da bacia de contribuição desse curso d'água ainda influenciam diretamente para a recarga do aquífero local, proporcionando a constância de vazão.

Vale mencionar que, quando essas áreas são impermeabilizadas, ocorre o impedimento da infiltração natural das águas das chuvas precipitadas que não conseguirão atingir a zona saturada freática, justificando os alagamentos anuais no bairro Morumbi.

Visando solucionar os problemas de alagamentos no referido bairro foi implantado, pelo poder público, um sistema de drenagem, onde as águas pluviais que se acumulam no bairro são encaminhadas para lagoas de contenção e infiltração instaladas a jusante do bairro Morumbi.

Durante os levantamentos de campo constatou-se que esses tanques de contenção e infiltração estão necessitando de manutenção e a área onde se localizam vem sendo utilizada para a criação de bovinos. Foi possível observar o pisoteio do gado nas áreas de nascente e no entorno dos tanques. Como o solo é argiloso a infiltração é lenta e, além disso, formou-se uma crosta sobre o solo desnudo, o que favorece o escoamento superficial no local, acentuando os processos erosivos já instalados.

É importante lembrar que as lagoas de contenção e infiltração de águas pluviais são de extrema importância para solucionar problemas de alagamentos em áreas bastante planas, além de exercer um papel fundamental na recarga do aquífero local. As águas são direcionadas e contidas nessas lagoas e vão se infiltrando lentamente no solo proporcionando o acúmulo de água no mesmo e, consequentemente, recarregando o aquífero. Contudo, nota-se que a localização onde foram implantadas as lagoas que recebem a drenagem pluvial do bairro Morumbi não é adequada, pois a maioria delas está situada em área de preservação permanente, sendo que algumas dessas lagoas já se romperam, formando processos erosivos

e, consequentemente, o carreamento de solo para o leito do córrego Três Marcos. Além disso, segundo a bibliografia atual, o local ideal para se instalar as lagoas de contenção e infiltração das águas pluviais é na própria área, ou seja, na área plana, a qual geralmente possui características geomorfológicas e hidrogeológicas favoráveis à recarga do aquífero local.

Considera-se, então, que estudos sobre recursos hídricos são de extrema importância para a gestão em uma bacia hidrográfica. Nesse sentido, o conhecimento da geologia, hidrogeologia, geomorfologia e solos de uma bacia hidrográfica permite uma melhor exploração de seus recursos, possibilitando uma gestão mais adequada do território, com menor degradação do meio ambiente.

Com base nos dados levantados ficou claro que a área estudada requer maior atenção e que medidas devem ser tomadas para reduzir a pressão antrópica sobre as porções da área de contribuição da nascente do córrego Três Marcos, priorizando o sistema hidrológico, o que irá garantir a qualidade das águas e manutenção da vazão do referido córrego.

Acredita-se que a garantia da qualidade e quantidade das águas do córrego Três Marcos só será possível se houver o interesse conjunto dos órgãos governamentais, da sociedade civil e também da iniciativa privada, o que poderá proporcionar a criação de uma base de prioridades e recursos para a efetivação das ações.

As preocupações com o futuro da bacia estudada ainda são muitas, embora a perspectiva mais evidente seja o agravamento da qualidade e quantidade de suas águas. Assim, é necessário que o poder público, mais especificamente o Instituto Mineiro de Gestão das Águas-IGAM, realize uma averiguação da área estudada para que se possa decretá-la como área de conflito através da Declaração de Área de Conflito (DAC/IGAM). Essa medida é de suma importância para preservação e manutenção da qualidade e quantidade das águas do córrego Três Marcos, que por sua vez abastecem outros cursos d'água, os quais fornecem

água para produção de horticulturas que abastecem a CEASA Uberlândia e também são utilizadas para o consumo humano e animal.

Algumas sugestões de outras medidas poderão ser adotadas como fontes de manutenção e conservação da vazão do córrego Três Marcos, a saber:

- Instalação de tanques de contenção e infiltração em todas as áreas situadas sobre aquífero Marília, o que propiciará a recarga do mesmo, melhorando a vazão das nascentes e cursos d’água inseridos no mesmo nível topográfico;
- Construção de valetas de infiltração abertas, que são revestidas com vegetação (grama), adjacentes às ruas e estradas, ou junto a áreas de estacionamentos, para favorecer a infiltração e recarga do aquífero;
- Construção de bacias de percolação em áreas destinadas às praças públicas, que são construídas por escavação de uma vala para escoamento de águas, que devem ser preenchidas com brita e cascalho, e sua superfície reaterrada. Isso irá promover a reserva temporária do escoamento, enquanto a percolação se processa lentamente para o subsolo;

Durante os levantamentos e análises dos dados surgiram algumas questões que merecem ser investigadas em pesquisas futuras, tais como:

- Monitoramento da profundidade do nível da água (NA) na porção onde se localiza o bairro Morumbi, a qual é considerada como área de recarga da zona freática que alimenta a nascente do córrego Três Marcos;
- Monitoramento das vazões do córrego Três Marcos e da qualidade de suas águas.

As propostas dispostas nesta pesquisa não devem ser consideradas como o fim, mas como um meio de se iniciarem e estabelecerem tomadas de decisões que definam os rumos da sociedade enquanto transformadora da natureza. Espera-se, então, que o presente estudo seja tema de pesquisas futuras e que as informações aqui mostradas propiciem à sociedade e

principalmente ao poder público, o incentivo à adoção de medidas que possam garantir a conservação e preservação das águas do córrego Três Marcos.

Acredita-se também que a adoção de medidas conservacionistas favorecerá a permanência da produção de horticulturas desenvolvidas não somente nessa bacia, mas também nas bacias dos córregos Olhos D'Água e Tenda, onde estão localizadas propriedades rurais, abastecidas pelas águas oriundas da bacia do alto curso do córrego Três Marcos.

É de suma importância e urgência que gestores, planejadores e sociedade tomem consciência da necessidade de se tomar providencias para a busca da sustentabilidade ambiental da área estudada.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Um conceito de Geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia** 18. São Paulo, 1969.
- _____. Potencialidades paisagísticas brasileiras. **Geomorfologia**, 55. São Paulo: IG-USP, 1977.
- ALMEIDA JUNIOR, A. J. C. D. et. al. **Medição de velocidade e vazão em cursos d'água: molinete hidrométrico versus método do flutuador.** s/d. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2010_junior.pdf> Acesso em: jan. 2012.
- ANDRADE, M. M. de. **Introdução à metodologia do trabalho científico:** elaboração de trabalhos na graduação. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- ARANTES, J. **Cidade dos Sonhos Meus – Memória Histórica de Uberlândia.** Uberlândia: Edufu, 2003. 167 p.
- AVIX GEO AMBIENTAL. **Medições de vazão, 2011.** Disponível em: <<http://www.avix.com.br/mediccedilatildeo-de-vazotildees.html>>. Acesso em: jan. 2012.
- BACCARO, C. A. D. As unidades geomorfológicas e a erosão nos chapadões do Município de Uberlândia. **Sociedade & Natureza.** Uberlândia. n. 6. p. 19-33, jan/dez, 1994.
- _____. As unidades geomorfológicas no Triângulo Mineiro. **Sociedade & Natureza.** Uberlândia. N. 5 e 6. p. 37-42, jan/dez, 1991.
- _____. **Estudos dos processos geomorfológicos de escoamento pluvial em área de cerrado – Uberlândia – MG.** Tese de Doutorado. FFCCH/USP. São Paulo, 1990.
- _____. Unidades geomorfológicas do município de Uberlândia – MG. **Sociedade & Natureza.** Uberlândia, n.1, ano 1, p. 13-22, jun., 1989.
- _____. Processos Erosivos no Domínio do Cerrado. In: **Erosão e Conservação dos Solos:** conceitos, temas e aplicações. GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M.; (orgs). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 195-228.
- BARBOSA O. et. al. **Geologia da região do Triângulo Mineiro.** Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Fomento da Produção Mineral. Boletim 136. 1970.
- BARBOZA, A. C. et. al. **Caracterização de Parâmetros Hidráulicos em Depósitos Fluviais Paleogênicos na Bacia de Volta Redonda-RJ.** Anuário do Instituto de Geociências - UFRRJ, Rio de Janeiro, v.30, n.2, p. 118-132, 2007.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. ; DA SILVEIRA A. L. L. [et. al.] (Orgs.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed., primeira reimpressão. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRGS, 2004. p. 177-242.

BOSCARDIN BORGHETTI, N. R.; BORGHETTI, J. R.; DA ROSA FILHO, E. F. **O Aquífero Guarani**. 2004. Disponível em: <www.oaquiferoguarani.com.br>. Acesso em: 30 jan. 2007.

BRAGA, B.; HESPAÑOL, I.; CONEJO, J. G. L. et. al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p.

BRASIL. Animação Pastoral no Meio Rural. **Plano de Desenvolvimento do Assentamento - Projeto de Assentamento Paciência**. Coordenação: Murilo Mendonça Oliveira de Souza. Uberlândia, 2008.

_____. **Constituição dos Estados Unidos do Brasil, 1937**. Brasília, DF, 10 de novembro de 1937. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constitui%C3%A7%C3%A3o37.htm>. Acesso em: out. 2011.

_____. **Constituição dos Estados Unidos do Brasil, 1946**. Brasília, DF, 18 de setembro de 1946. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao46.htm>. Acesso em: out. 2011.

_____. **Lei nº 4.904, de 17 de dezembro de 1965**. Brasília, Disponível em: <<http://www2.camara.gov.br/legin/fed/lei/1960-1969/lei-4904-17-dezembro-1965-369009-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em: out. 2011.

_____. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1967**. Brasília, 24 de janeiro de 1967. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao67.htm>. Acesso em: out. 2011.

_____. **Lei nº 5.318, de 26 de setembro de 1967**. Disponível em: <http://www.ufpa.br/numa/legislacao_brasil/lei_5318_br.htm>. Acesso em: out. 2011.

_____. **Decreto nº 63.951, de 31 de dezembro de 1968**. Disponível em: <<http://www2.camara.gov.br/legin/fed/decret/1960-1969/decreto-63951-31-dezembro-1968-405475-norma-pe.html>>. Acesso em: out. 2011.

_____. **Decreto nº 73.030, de 30 de outubro de 1973**. Disponível em: <<http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/decretos/1973/dec%2073.030%20-%201973.xml>>. Acesso em: out. 2011.

_____. **Lei nº 6662, de 25 de junho de 1979**. Disponível em: <<http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/decretos/1973/dec%2073.030%20-%201973.xml>>. Acesso em: out. 2011.

_____. **Resolução do CONAMA Nº 20, de 18 de junho de 1986**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>>. Acesso em: out. 2011.

_____. **Decreto nº 94.076, de 5 de março de 1987.** Disponível em: <<http://www2.camara.gov.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-94076-5-marco-1987-444426-norma-pe.html>>. Acesso em: out. 2011.

_____. **Lei nº 7.804, de 18 de julho de 1989.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7804.htm>. Acesso em: out. 2011.

_____. **Lei nº 7.960, de 21 de dezembro de 1989.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7960.htm>. Acesso em: out. 2011.

_____. **Lei nº 11.504, de 20 de junho de 1994.** Disponível em: <http://rda.znc.com.br/legislacao/legislacao.2005-04-20.3191118440/legis_view>. Acesso em: out. 2011.

_____. **Lei nº. 9.433, em 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº. 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº. 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 de janeiro de 1997. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/L9433.htm>>. Acesso em: out. 2011.

CAICEDO, N. L. Água subterrânea. In: TUCCI C. E. M.; DA SILVEIRA, A. L. L. [et. al.] (Orgs.) **Hidrologia:** ciência e aplicação. 3. ed., primeira reimpressão. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRGS, 2004. p. 189 - 333.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302 p.

CARVALHO, D. F.; SILVA. L. D. B. **Hidrologia.** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap6-ET.pdf>> Acesso em: 04 jul. 2011.

CHEVALLIER, P. Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI C. E. M.; DA SILVEIRA A. L. L. [et. al.] (Orgs.) **Hidrologia:** ciência e aplicação. 3. ed., primeira reimpressão. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRGS, 2004. p. 485-525.

CHRISTOFOLLETTI, A. **Geomorfologia.** Edgard Blücher, 2. ed. São Paulo, 1980. 189 p.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia, in: Geomorfologia: uma atualização de Bases e conceitos. In: GUERRA, A. J. T; DA CUNHA, S. B. (Orgs). **Geomorfologia:** uma atualização de bases e conceitos. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 93-148

_____. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia, in: Geomorfologia: uma atualização de Bases e conceitos. In: GUERRA, A. J. T; DA CUNHA, S. B. (Orgs). **Geomorfologia:** uma atualização de bases e conceitos. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 93-148.

COSTA, F. P. M.; NISHIYAMA, L. Utilização do Permeômetro Guelph e Penetrômetro de Impacto em estudos de uso e ocupação dos solos em bacias hidrográficas. **Caminhos da**

Geografia. Uberlândia. v. 8, n 24, dez 2007. p. 131-143. Disponível em: <<http://www.ig.ufu.br>> Acesso em: out. 2011.

COSTA, F. P. M; DUARTE, W. O.; NISHIYAMA, L. Mapa das permeabilidades dos solos da bacia do Rio Uberabinha elaborado a partir de ensaios *in situ*. **Anais.** 6º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Uberlândia, 04 a 06 jun. 2007.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1377&sid=129#confinado>> Acesso em: jan. 2012.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação ambiental. In: _____. **Geomorfologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1996. p. 337-381.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; DA CUNHA, S. B. (orgs). **Geomorfologia:** uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1995. p. 211-252

DEL GROSSI, S.R. *et.al.* **A drenagem e a recarga de aquíferos:** os impactos do crescimento da malha urbana de Uberlândia – MG sobre a Bacia do Córrego Olhos D’água. SINAGEO, 2010.

DEL GROSSI, S. R. **De Uberabinha a Uberlândia:** os caminhos da natureza contribuição ao estudo da geomorfologia urbana. São Paulo. USP (Tese de doutorado). 1991.

_____. A dinâmica climática atual de Uberlândia e suas implicações geomorfológicas. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, n. 9-10, ano 5, p.115-120, jan./dez., 1993.

DUARTE, W. C. Avaliação das reservas, potencialidades e disponibilidade de aquíferos. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado de Pernambuco. In: **X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.** São Paulo: ABAS, 1998.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006. 306p.

FELTRAN FILHO, A. **A estruturação das paisagens nas chapadas do oeste mineiro.** Tese (Doutorado em Geografia Física). FFCLH-USP. São Paulo, 1997.

FLAUZINO, F. S. **Avaliação temporal e espacial da qualidade da água no lago da usina Hidrelétrica de Miranda, região do Triângulo – Minas Gerais,** 2008. 193 p. (Dissertação de Mestrado)– Instituto de Geografia – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

FLORÊNCIO, B. A. B. **Análise geoambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão Borá:** Sacramento/Conquista (MG), 2010. 197 p. (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geografia - Universidade Federal de Uberlândia-MG, 2010.

GOMES, M. A. F. *et.al.* Métodos de classificação preliminar dos potenciais de infiltração e de escoamento superficial da água no solo: subsídio à avaliação do risco de contaminação por

agroquímicos. **Anais.** XIII Congresso Latino Americano de Ciência do Solo. Águas de Lindóia, 1996.

GONÇALVES, F. C. Análise hidrológica em compartimentos de paisagem na bacia do córrego Conceição – municípios de Uberlândia e Tupaciguara – MG, 2003. 136 p. (Dissertação de Mestrado)– Instituto de Geografia – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

GUERRA, A. T. Dicionário Geológico-Geomorfológico. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral – Fundação IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia). 4. ed. Rio de Janeiro-RJ. 1972.

GUERRA, A. T. et. al. (orgs). Erosão e Conservação dos Solos – Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340 p.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas Outorga – relação deferidos, indeferidos, cancelados e outros, 2012. Disponível em: <<http://outorga.meioambiente.mg.gov.br/outorga/portaria.php>> Acesso em: abr. 2012.

INSTITUTO Geológico e Mineiro, 2001. Água Subterrânea: Conhecer para Preservar o Futuro. Instituto Geológico e Mineiro. Disponível em Versão *Online* no site do INETI: <http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/indice.htm>. Acesso em: out. 2011.

JUNQUEIRA JR, J. A. et al. Comportamento hidrológico de duas nascentes associadas ao uso do solo numa sub-bacia hidrográfica de cabeceira, 2007. Disponível em: <www.abrh.org.br/.../i_simp_rec_hidric_norte_centro_oeste39> Acesso em: 10 ago. 2010.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178 p.

LIMA, S. et al. Gestão ambiental da bacia do rio Araguari – rumo ao desenvolvimento sustentável. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia/Instituto de Geografia; Brasília: CNPq, 2004.

LIMA, W. P. Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. Apostila. USALQ/USP. Piracicaba, SP. 2008. 245 p.

LOPES, V. M. Q. C. Uberlândia: histórias por entre trilhas, trilhos e outros caminhos – memórias, construção e apropriações dos espaços. Uberlândia: EDUFU, 2010. 216p.

LUGON Jr, J.; RODRIGUES, P. P. G. W. Hidrologia. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, v.2, n.2, jul/dez 2008. Campos dos Goytacazes RJ. Disponível em: <<HTTP://www.essentialeditora.iff.edu.br>> Acesso em: 04 jul. 2011.

MACEDO, P. B. CORRÊA, G. F. Descrição Morfológica de Perfil Pedológico em uma Voçoroca do Córrego Beija-flor. Datilografado. 2006.

MACHADO, C. J. M. (org). Gestão de águas doces. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 372 p.

MARTINELLO, I. A. **Estudo das condicionantes hidráulicas de uma ruptura de talude em São Vendelino (RS).** (Dissertação de Mestrado) Universidade de Rio Grande do Sul – Engenharia Civil. Porto Alegre, 2006, 160 p.

MEDEIROS, C. N.; PETA, A. Exploração de imagens de satélite de alta resolução visando o mapeamento do uso e ocupação do solo. **Anais. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2709-2716.

MELO, C. R.; PEREIRA, G. M. **Hidrometria** – Medição de vazão - Aula prática. Departamento de Engenharia – Universidade Federal de Lavras, s/d. Disponível em: <http://www.deg.ufla.br/site/_adm/upload/file/6_Aula%20pratica%206.pdf>. Acesso em: jan. 2012.

MOTA, S. **Preservação de recursos hídricos.** Rio de janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – ABES, 1988.

NISHIYAMA, L.; BACCARO, C. A. D. Aproveitamento dos recursos minerais nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba – uma agressão ao meio ambiente. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 49-52, jan-dez/1989.

NISHIYAMA, L. Geologia do Município de Uberlândia e áreas adjacentes. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, n. 1, p. 9-16, 1989.

_____. **Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100.000:** aplicação no município de Uberlândia – MG. Tese de Doutorado. São Carlos: 1998.

NOVAIS PINTO, M.; et. al. **Cerrado:** caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília: Editora UNB/ SEMATEC. 1990.

PALHARES, J. C. P. et. al. Comunicado Técnico nº 455: **Medição da Vazão em Rios.** Concórdia - SC: Embrapa, 2007. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=publicacoes&cod_publicacao=1017>. Acesso em: 19 jun. 2011.

PEDROSA, A. C.; CAETANO, F. A. **Águas subterrâneas.** Agência Nacional de Águas (ANA). Superintendência de Informações Hidrogeológicas, 2002. p. 85.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba: FEALQ, 1997, 183 p.

PEREIRA, A. R. **Simplificado o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather.** Bragantia v. 64 n. 2 Campinas 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87052005000200019&script=sci_arttext> Acesso em: 19 jun. 2012.

PESSÔA, V. L. S.; SILVA, P. J. **O Café e a Soja na (re) Organização do Espaço do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba.** Relatório final apresentado ao CNPq, Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, agosto/1999.

POMPEU, C. T. Águas doces no Direito brasileiro. In: REBOUÇAS, A. da C. et al. (Orgs). **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação.** 3. ed., São Paulo: Escrituras Editora, 2006. p. 677 - 718.

RADAMBRASIL. **Levantamento dos Recursos Naturais.** Folha SE 22, Goiânia, Rio de Janeiro, v. 31, 1983.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil:** capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. p. 748.

_____. **Águas doces no Brasil:** capital ecológico, uso e conservação. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p.703.

_____. **Uso inteligente da água.** São Paulo: Escrituras Editora, 2004. 208 p.

RESENDE, M. et. al. **Pedologia:** base para distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa: NEPUT, 2002.

REZENDE, M. E. B.; ALENCAR, J. S. **Mecânica dos Solos 1.** Faculdade de Engenharia Civil – Universidade Federal de Uberlândia, 2001.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma cerrado. In **Cerrado: Ecologia e flora** (S. M. Sano & S.P. Almeida, eds). EMBRAPA-CPAC, Brasília, DF, 2008, 2. v, p.150-212.

_____. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: **Cerrado: ambiente e flora.** (S.M. Sano & S.P. Almeida, eds). EMBRAPA-CPAC, Planaltina, 1998. p. 89-166.

RIBEIRO, J. F. et. al. **Os principais tipos fitofisionômicos da região dos Cerrados.** Planaltina: EMBRAPA/CPAC, 1983. (Boletim de Pesquisa, 21).

RIBEIRO, S. R. A.; BÄHR, H. P.; CENTERO, J. S. Integração de imagens de satélite e dados complementares para a delimitação de unidades de paisagem usando uma abordagem baseada em regiões. **Bol. Ciênc. Geod.** Curitiba, v. 8, no 1, 2002. p. 47-57.

ROCHA, A. L. **O entulho em Uberlândia (MG) – realidade e perspectivas,** 2003. 93 p. (Dissertação de Mestrado) – Instituto de Geografia – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C. Balanços hídricos e produtividade de culturas v 6.1 para Excel 7.0, In: **2º Congresso da Sociedade Brasileira de Informática Aplicada à Agropecuária e à Agroindústria**, SBI-AGRO, Campinas SP, 1999. Disponível em: <<http://www.agrossoft.org.br/trabalhos/ag99/artigo09.htm>>. Acesso em: jan. 2012.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento.** São Paulo: Contexto, 1991.

SENTELHAS, P.C. et al. **Balanços Hídricos Climatológicos do Brasil - 500 balanços hídricos de localidades brasileiras.** Piracicaba: ESALQ, 1999. 1 CD-ROM.

SHIKI, S., SILVA, J. G.; ORTEGA, A C. **Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do Cerrado brasileiro.** Uberlândia: EDUFU, 1997.

SILVA, F. C. **Análise integrada de usos de água superficial e subterrânea em macro-escala numa bacia hidrográfica:** O caso do Alto Rio Paranaíba (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 2007. 188 p.

SILVA, A. M. **Guia para normalização de trabalhos técnico-científicos:** projetos de pesquisa, monografias, dissertações e teses / Ângela Maria Silva, Maria Salete de Freitas Pinheiro, Maira Nani França. 5. ed. rev. e ampl. – Uberlândia: UFU, 2006.

SILVA, P. C. A. **Reserva Hídrica:** Aquífero Guarani e seu uso sustentável. (Monografia). Centro de Formação, Treinamento e Aperfeiçoamento da Câmara dos Deputados / Cefor, 2011. p. 80.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. **Gestão de Recursos Hídricos** – Aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais. Brasília, DF: Secretaria de Recursos Hídricos; Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2000. 659 p.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e a Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M.; DA SILVEIRA, A. L. L. [et al.] (Orgs.) **Hidrologia:** ciência e aplicação. 3. ed., primeira reimpressão. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRGS, 2004. p 37 – 51.

SOARES, A. M. **A dinâmica hidrológica na bacia do alto Uberabinha em Minas Gerais.** Tese (Doutorado em Geografia). Uberlândia 2008. Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia.

SOARES, A. M. **A agricultura familiar na busca da sustentabilidade ambiental:** subsídios técnicos para as comunidades do Assentamento Paciência e comunidade Olhos d'Água no município de Uberlândia – MG. (Projeto de pesquisa), 2008.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de Geossistema.** Metodologia em questão. São Paulo: IGEOF-USP, 1977.

SOTO, M. A. A. **Estudo da condutividade hidráulica em solos não saturados.** São Carlos: USP, 1999. Dissertação de Mestrado.

_____. **Estudo da Condutividade Hidráulica em Solos não Saturados,1996.** 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

SOUZA, L. C. **Águas Subterrâneas e a Legislação Brasileira.** Curitiba: Juruá, 2009. 236 p.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.) **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568 p. Disponível em: <http://geografiainks.com/site/?page_id=759> Acesso em: abr. 2012

THORNTWAITE, C.W.; MATHER, JR. **The water balance.** Publications in climatology, Laboratory of Climatology, v.8 n. 1, 1955.

TOMASELLA, J.; ROSSATO, L. **Balanço hídrico.** Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas. INPE – São José dos Campos, 2005.

TRIELLI, M. **Mecânica dos Fluidos I – Medidores de Vazões.** s/d. Disponível em: <<http://poli.usp.br/d/.../Experiencia%20Medidores%20de%20Vazao.p>> Acesso em: jan. 2012.

TRIGUEIRO, A. **Mundo sustentável:** abrindo espaço na mídia para um planeta em transformação. São Paulo: Globo, 2005. 303 p.

TRIGUEIRO, A. (org). **Meio ambiente no século 21:** 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento. 4. ed. Campinas: Armazém do Ipê (autores associados), 2005. 367 p.

TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. da (orgs.). **Avaliação e controle da drenagem urbana.** Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS, 2000.

TUCCI, C. E. M. *et.al.* **Hidrologia:** ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004. 943p.

TUNDISI, J. G. **A Água no século XXI:** Enfrentando a Escassez. São Paulo: RIMA, IIE, 2009. 271 p.

UNAMA. **Medição de Vazão.** s/d. Disponível em: <<http://arquivos.unama.br/nead/graduacao/ccet/engenharia.../aula1.pdf>> Acesso em: Jan. 2012.

UBERLÂNDIA. **Lei Complementar nº 525 de 2011** – Dispõe sobre o zoneamento do uso e ocupação do solo do município de Uberlândia e regia a Lei Complementar nº 245, de 30 de Novembro de 2000 e suas alterações posteriores. Disponível em: <<http://www.leismunicipais.com.br/cgi-local/showinglaw.pl>> Acesso em: jan. 2012.

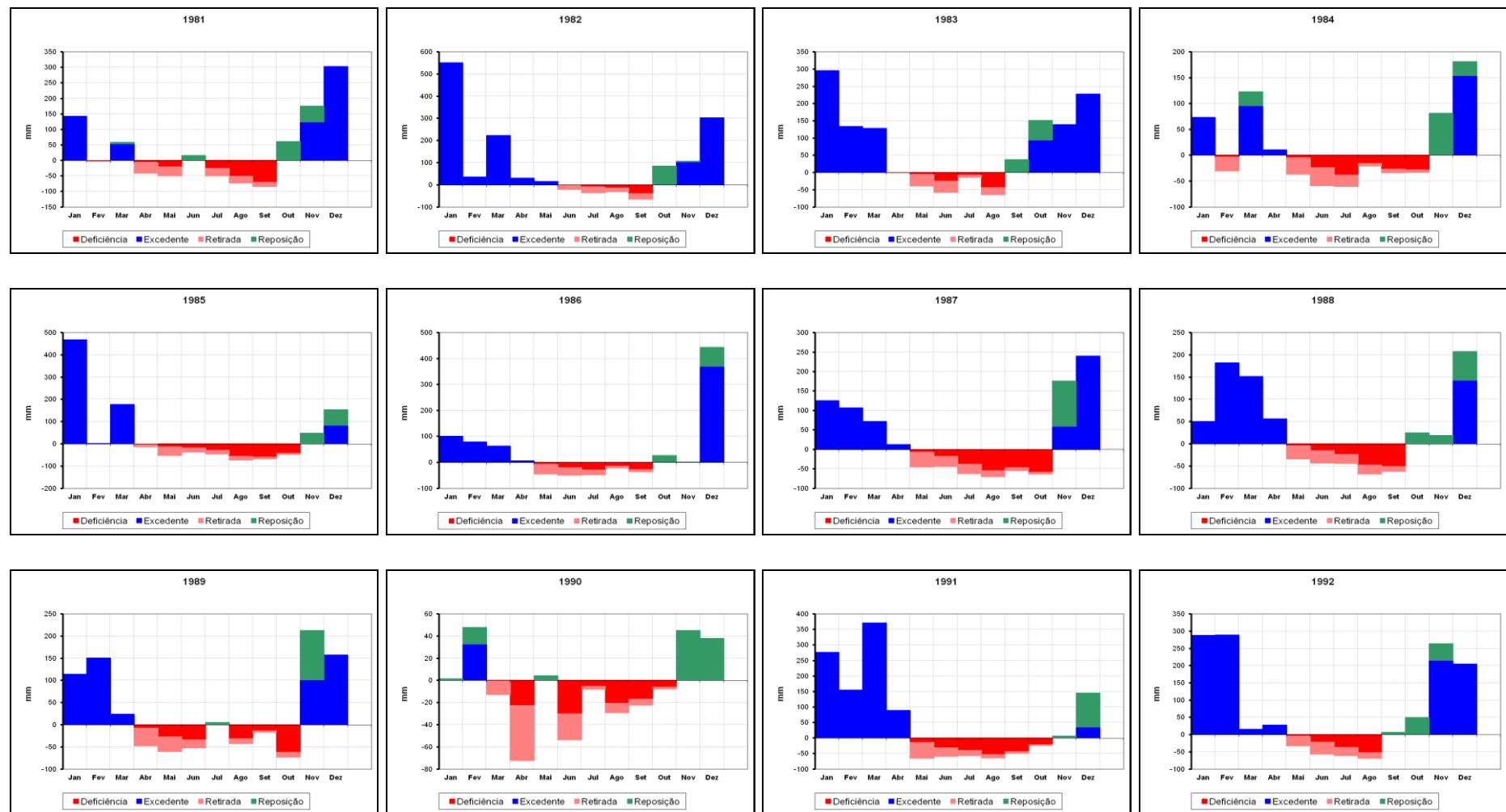
VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

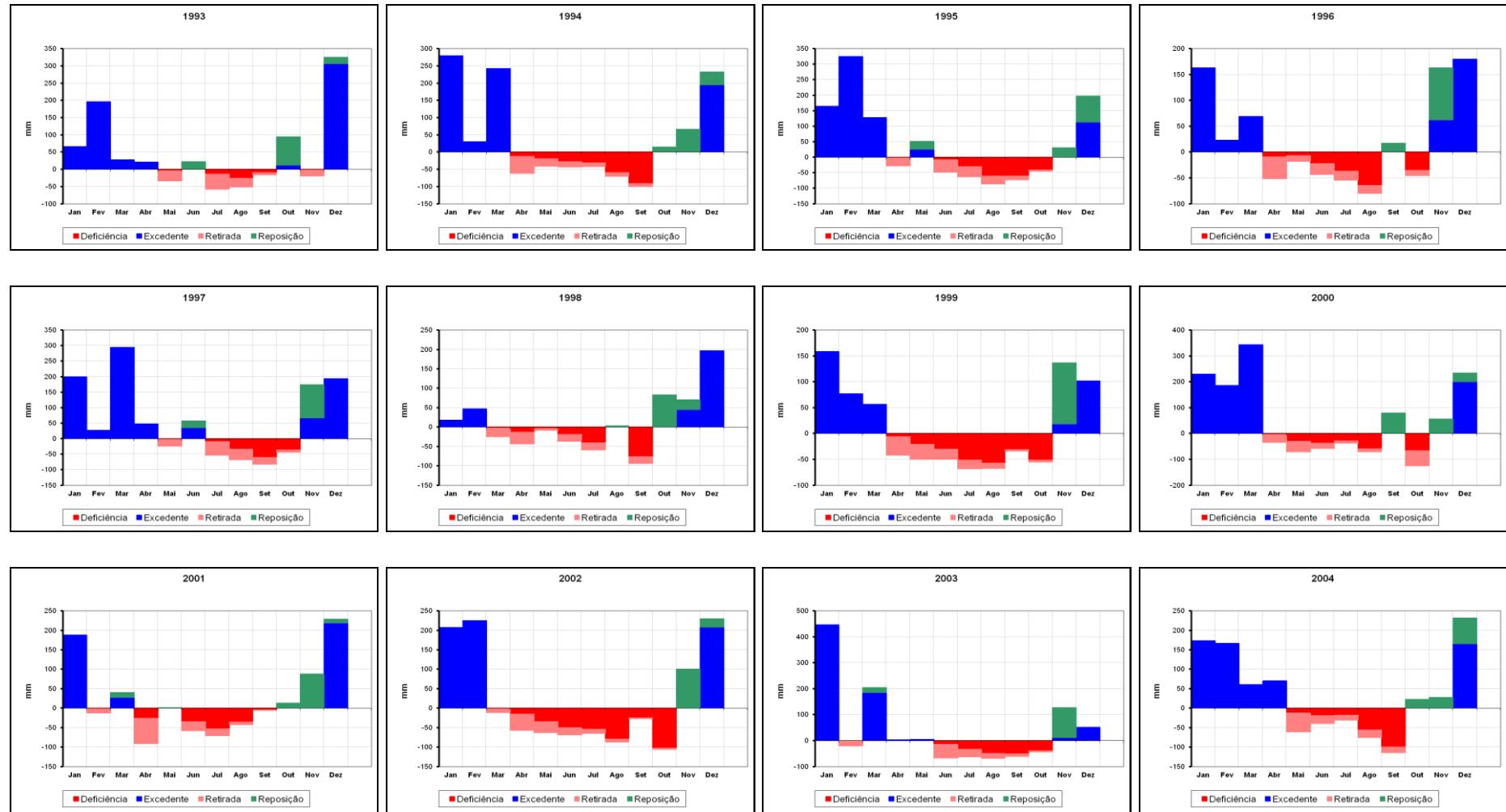
VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto.** 2. ed., Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p.

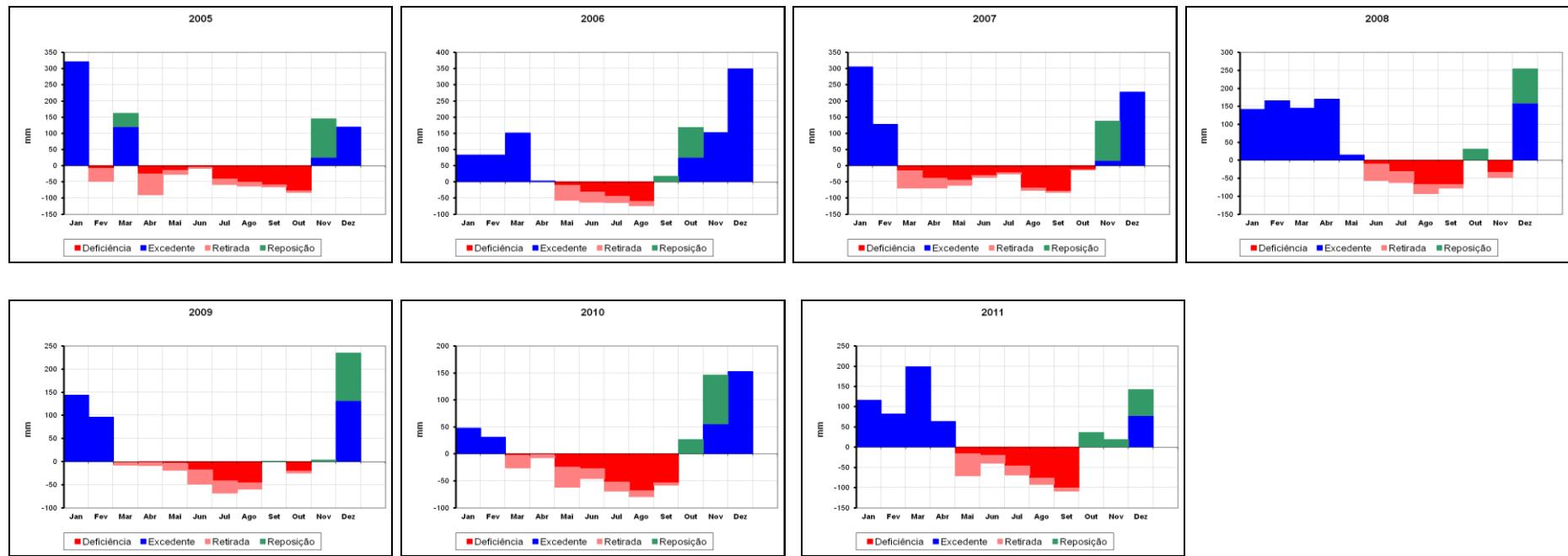
ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e na ocupação do meio físico:** fundamentos e guia para elaboração. (Tese de Livre Docência). Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 1993. 2 v.

ANEXO I

Balanco Hídrico da área do alto curso do córrego Três Marcos – Uberlândia-MG (1981 a 2011) Deficiência, Excedente, Retirada e Reposição Hídrica







Gráficos 1 a 31: Balanço Hídrico da bacia do alto curso do córrego Três Marcos - Uberlândia-MG (1981 a 2011).
Org.: OLIVEIRA, H. L. P. R., 2012.