

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Campus Experimental de Ourinhos

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO ESTUDO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA MICRO-BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DAS PALMEIRAS
EM RIBEIRÃO PRETO - SP**

Matheus Felipe Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Edson Luís Piroli

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca
examinadora para a obtenção de título de Bacharel em
Geografia pela UNESP - Campus Experimental de
Ourinhos.*

Ourinhos/SP

Março de 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Campus Experimental de Ourinhos

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO ESTUDO
DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA MICRO-BACIA
HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DAS PALMEIRAS
EM RIBEIRÃO PRETO - SP**

Matheus Felipe Oliveira

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca
examinadora para a obtenção de título de Bacharel em
Geografia pela UNESP - Campus Experimental de
Ourinhos.*

Ourinhos/SP

Março de 2014

Banca examinadora

Prof. Dr. Edson Luís Piroli (orientador)

Profª. Dra. Andrea Aparecida Zacharias

Prof. Dr. Rodrigo Lila Manzione

Ourinhos, 28 de janeiro de 2014.

*À minha mãe, a primeira Geógrafa da minha vida,
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente àqueles que me deram o suporte necessário para ingressar e cursar uma boa faculdade: meus pais Paulo e Beatriz e minha irmã Ana Paula.

Agradeço a professora Dra. Luciene Cristina Risso pela oportunidade e pela bolsa PROEX no excelente projeto de extensão realizado no Parque Ecológico Bióloga Tânia Mara Netto Silva. Ao professor Dr. Nelson Rodrigo Pedon pela tutoria e pela contribuição nos projetos de ensino, pesquisa e extensão do Programa de Educação Tutorial (PET). Ao professor Dr. Edson Luís Piroli, que aceitou meu projeto de iniciação científica e deu as contribuições e condições necessárias para que ele fosse realizado. Ao professor Dr. Rodrigo Lila Manzione pela colaboração e recomendação bibliográfica para o presente estudo. A professora Dra. Andrea Aparecida Zacharias pela confiança e oportunidade de apresentar meu trabalho para seus alunos de mestrado.

Em seguida agradeço a todos os amigos na qual compartilhei as melhores experiências de vida, principalmente aqueles que pude conviver dia a dia, que não somente faziam da República um teto, e sim um Lar. Amigos estes que nos momentos bons ou ruins estavam sempre por perto para oferecer apoio, e que apesar dos pesares, a amizade sempre prevaleceu e prevalece a cada dia mais. São eles Marba, Maguila, Bi, Punheta (Mapusema); Égua, Ernesto, Shrek, Jaú, Bocada, Cavernoso, Batata e Gerson (Sai Loko).

Aos amigos que fizeram parte do meu dia a dia, e que sempre foram e são importantes na minha vida. São eles: Toba, Sungão, Dedão, Roça, Cú Duro e Carioca.

Não podia faltar o cara que vai estar nos Agradecimentos de muitos TCCs da faculdade, Ourinhos Bonito. Obrigado por todo apoio que deu a mim e ao resto dos amigos, que nos amparou em uma cidade até então desconhecida, nos ajudando de todas as maneiras possíveis!

Não podia faltar a banda Gersinho & os Razoáveis que desde o primeiro semestre de faculdade sempre buscou tocar o bom e velho Rock n' Roll de maneira autêntica. Me orgulho de ter feito parte desta banda. Obrigado galera!

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| RESUMO | 8 |
| ABSTRACT | 9 |
| 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA | 10 |
| 2 OBJETIVOS | 12 |
| 2.1 Objetivo geral | 12 |
| 2.2 Objetivos específicos | 12 |
| 3 Revisão de Literatura | 12 |
| 3.1 Bacia Hidrográfica e abordagem sistêmica | 12 |
| 3.2 Gestão dos Recursos Hídricos | 14 |
| 3.3 Sistema Aquífero Guarani | 17 |
| 3.4 Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto | 19 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 20 |
| 4.1 Caracterização da Área de Estudo | 20 |
| 4.1.1 O Município de Ribeirão Preto | 20 |
| 4.1.2 Abastecimento Público | 21 |
| 4.1.3 Políticas Urbanas | 22 |
| 4.1.4 Clima | 25 |
| 4.1.5 Geologia | 26 |
| 4.1.6 Pedologia | 27 |
| 4.1.7 Declividade | 29 |
| 4.1.8 Uso e Ocupação do Solo | 29 |
| 4.2 Procedimentos Metodológicos | 31 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |
| 5.1 Características Físicas da Bacia do Córrego das Palmeiras | 35 |
| 5.1.1 Área e Localização da bacia | 35 |
| 5.1.2 Geologia da bacia | 35 |
| 5.1.3 Pedologia da bacia | 38 |
| 5.1.4 Declividade da Bacia | 41 |
| 5.1.5 Uso e Ocupação do solo na bacia | 43 |
| 5.1.6 Vulnerabilidade Natural das águas subterrâneas na bacia | 49 |
| 5.2 O aquífero Guarani em Ribeirão Preto | 55 |
| 5.2.1 Projeto Piloto | 55 |
| 5.2.2 Políticas Públicas | 57 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 64 |

| | |
|---------------------|----|
| 7 REFERÊNCIAS | 65 |
|---------------------|----|

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Unidades Hidrográficas de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHIs). | 16 |
| Figura 2 - Afloramento do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo. | 18 |
| Figura 3 - Mapa do Macrozoneamento Ambiental. | 23 |
| Figura 4 - Mapa do Macrozoneamento Urbanístico. | 25 |
| Figura 5 - Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação. | 34 |
| Figura 6 - Mapa Geológico da bacia do Córrego das Palmeiras em Ribeirão Preto – SP. | 37 |
| Figura 7- Mapa pedológico da bacia do córrego das Palmeiras. | 39 |
| Figura 8 - Mapa de declividade da bacia do Córrego das Palmeiras. | 42 |
| Figura 9 - Uso e ocupação do solo na bacia do córrego das Palmeiras em Ribeirão Preto no ano de 2003. | 44 |
| Figura 10 - Uso e ocupação do solo na bacia do córrego das Palmeiras em Ribeirão Preto no ano de 2013. | 45 |
| Figura 11 - Gráfico de perdas e ganhos em hectares entre 2003 e 2013. | 46 |
| Figura 12 - Gráfico da variação líquida por classes de uso em hectares entre 2003 e 2013. ... | 46 |
| Figura 13 - Mapa de Ocorrência dos Estratos de Cobertura. | 50 |
| Figura 14 - Mapa do Grau de Confinamento da Água Subterrânea. | 51 |
| Figura 15 - Mapa do Grau de Distância da Água Subterrânea à Superfície do Terreno. | 52 |
| Figura 16 - Mapa de Vulnerabilidade Natural das áreas de recarga do Aquífero Guarani. | 53 |
| Figura 17 - Gráfico de distribuição do uso da terra segundo as classes de vulnerabilidade em hectares. | 54 |
| Figura 18 - Áreas contaminadas em Ribeirão Preto. | 56 |
| Figura 19 – Coleção de mapas mensais de distribuição da taxa de recarga para o período de setembro/1996 a agosto/1997 obtidos através da aplicação do programa REGIS. | 61 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Especificações dos satélites Landsat 7 e Landsat 8..... | 32 |
| Tabela 2 - Distribuição das formações geológicas na bacia do Córrego das Palmeiras..... | 38 |
| Tabela 3 - Distribuição dos tipos de solo na bacia do córrego das Palmeiras..... | 39 |
| Tabela 4 - Distribuição das classes de declividade na bacia do Córrego das Palmeiras. | 43 |
| Tabela 5 - Distribuição dos tipos de uso entre os anos de 2003 e 2013. | 47 |
| Tabela 6 - Área colhida crua, com queima e total colhido em Ribeirão Preto..... | 59 |

RESUMO

A alta produtividade e qualidade das águas do Sistema Aquífero Guarani (SAG) faz com que sua exploração seja feita para o abastecimento de diversas cidades do interior paulista. Entretanto, o planejamento e gestão da utilização das águas subterrâneas não é feita de maneira eficaz em muito dos casos, causando sérios riscos a quantidade e qualidade das águas subterrâneas. As áreas de afloramento dos arenitos Botucatu e Pirambóia responsáveis pela recarga do aquífero Guarani apresentam uma alta vulnerabilidade natural. Estas áreas quando ocupadas de maneira irregular podem causar diminuição na capacidade de infiltração de água no solo e conseqüentemente impedir a renovação do sistema. A bacia hidrográfica do córrego das Palmeiras localiza-se nas áreas de recarga do aquífero em Ribeirão Preto. Foram realizadas análises temporais do uso e ocupação da terra no período entre 2003 e 2013 obtendo por meio de Sistemas de Informação Geográfica produtos cartográficos que auxiliam na compreensão dos fatores naturais como o clima, solo, relevo, geologia e sobretudo, as atividades antrópicas. Constatou-se um significativo aumento nas práticas conservacionistas do solo e na vegetação nativa o que se destaca como um ponto positivo por influenciar na capacidade de infiltração do solo. Em contrapartida, houve o crescimento da área urbana e da cultura anual com predomínio da cana-de-açúcar, apresentando sérios riscos de contaminação e impermeabilização das áreas de recarga. Os resultados demonstram que pouco foi feito de maneira efetiva para conter os principais riscos à contaminação e a impermeabilização das áreas de recarga.

Palavras-chave: bacia hidrográfica; geoprocessamento; aquífero Guarani; uso e ocupação do solo.

ABSTRACT

The high productivity and water quality of the Guarani Aquifer System (GAS) causes your farm be made for the supply of different cities of São Paulo. However, the planning and management of the use of groundwater is not done effectively in many of the cases, causing serious risks to quantity and quality of groundwater. The outcrop areas of Botucatu sandstones and Pirambóia responsible for the Guarani aquifer recharge have a high natural vulnerability. These areas when occupied irregularly can cause decrease in infiltration capacity of the soil water and thus prevent the renewal of the system. The catchment area of the stream of Palmeiras is located in the aquifer recharge areas in Ribeirão Preto. Temporal analysis of the use and occupation of land were made in the period 2003-2013 obtained through Geographic Information Systems cartographic products that assist in understanding the factors that relate to each other as climate, soil, relief, geology, and above all, anthropogenic activities. It found a significant increase in conservation tillage practices and native vegetation that influence positively the infiltration capacity of the soil, on the other hand there was the growth of the urban area and the annual crop with a predominance of cane sugar, presenting serious risks contamination and sealing of recharge areas. The results show that little has been done effectively to contain the main risks to contamination and sealing of recharge areas.

Keywords: watershed; geoprocessing; Guarani aquifer, land use.

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O êxodo rural que culminou na saída da população do campo para a cidade provocou o aumento dos núcleos urbanos, que cresceram em sua grande maioria sem planejamento e de forma desordenada. Em paralelo a este crescimento da população urbana, houve o aumento da demanda por água, recurso este explorado sem considerar sua capacidade de renovação.

A utilização de recursos naturais finitos como a água se deu sem a conservação e preservação adequados a sua manutenção para as gerações futuras. Passou-se então a debater a disponibilidade de água tanto de maneira qualitativa quanto quantitativa.

Os mananciais subterrâneos ganharam destaque em todo o mundo a partir da década de 1950, vistos como um meio de acelerar o desenvolvimento econômico e social. A exploração de águas subterrâneas teve um grande aumento no Brasil a partir da década de 1970 (Instituto Geológico, 1997).

A preocupação com a qualidade das águas subterrâneas partiu de pesquisas iniciadas em países desenvolvidos, que indicaram traços de compostos orgânicos através do monitoramento de poços, resultando em programas governamentais além de uma rigorosa legislação sobre as águas subterrâneas. Como no Brasil algumas indústrias e processos industriais se assemelhavam a de países desenvolvidos, formulou-se a hipótese de que os processos de poluição de aquíferos poderia ser uma realidade ainda não pesquisada no país (Instituto Geológico, 1997).

A partir de então, os recursos hídricos passaram a ser enquadrados na Constituição Federal de 1988, passo fundamental que resultou em uma série de políticas federais e estaduais com o objetivo de promover a gestão dos recursos hídricos. As bacias hidrográficas tornam-se unidades de gestão, adotando-se uma visão sistêmica que permite tratar os problemas de maneira integrada, não mais localmente, abordando aspectos sociais, econômicos, ambientais e culturais, minimizando os conflitos de interesses existentes entre as diversas esferas no que diz respeito a extração de água e despejo de resíduos.

Centenas de núcleos urbanos atualmente realizam seu abastecimento público exclusivamente pela água subterrânea. A concentração demográfica, a expansão econômica e as vantagens em relação às águas superficiais explicam esse aumento significativo. O município de Ribeirão Preto utiliza exclusivamente águas de mananciais subterrâneos para o abastecimento público.

A crise no preço do petróleo em 1979 estimulou o Programa Nacional do Alcool (Pró-Alcool) provocando uma enorme expansão nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Em 1980 os motores de veículos foram adaptados ao uso de etanol, o que impulsionou o crescimento da cana-de-açúcar no período 1975 a 1987, principalmente nas regiões de Ribeirão Preto e Piracicaba. São encontradas em Ribeirão Preto as maiores fazendas de cana-de-açúcar e usinas que dispõem de solos de boa qualidade. Dessa forma o município se tornou referência no setor sucro-alcooleiro, considerada a “capital do *agrobusiness*” (KOHLHEPP, 2010).

O crescimento econômico do período 1970 a 1990 gerou graves consequências socioespaciais, através de desigualdades sociais, urbanização concentradora de riqueza e problemas ambientais (VILLAR, 2008).

Os fatores econômicos aliados ao alto índice de crescimento demográfico e expansão urbana resultam em graves problemas para o aquífero Guarani, prejudicando a renovação deste sistema. O município possui uma demanda crescente por água e somado a este fato há uma tendência a expansão da área urbana em direção às áreas de recarga.

A bacia hidrográfica do Córrego das Palmeiras, está inserida na zona leste do município, local onde se encontram os afloramentos rochosos da formação Botucatu e Pirambóia. A problemática desta área ocorre com a expansão urbana do município em direção aos afloramentos responsáveis pela recarga do Aquífero Guarani, um risco à manutenção dos recursos hídricos subterrâneos devido aos tipos de usos e atividades inadequadas para este meio.

O trabalho busca demonstrar os riscos às águas subterrâneas sob a perspectiva da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão. Um manejo adequado de uma bacia hidrográfica requer segundo Zanata e Flávio (2012), uma visão holística, capaz de levar em conta as ciências sociais, políticas, econômicas, ambientais e agrárias.

As frágeis e vulneráveis áreas de recarga do Sistema Aquífero Guarani em Ribeirão Preto se encontram sobre os mais diversos usos na bacia do córrego das Palmeiras. Buscou-se no trabalho demonstrar a relação entre as características do meio físico associadas ao uso e ocupação do solo praticados pelo homem.

A adoção da bacia hidrográfica como unidade neste trabalho busca mostrar uma alternativa aos diversos trabalhos sobre o tema, sendo essencial por possibilitar uma análise integrada de seus componentes a partir de uma visão sistêmica, capaz de abordar os elementos do meio como um todo e não de maneira fragmentada.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente trabalho foi caracterizar a bacia hidrográfica do córrego das Palmeiras, analisando sua morfologia e as mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo entre 2003 e 2013. Desta forma, com o auxílio de Sistemas de Informação Geográfica, buscou-se demonstrar as relações entre o meio e as atividades antrópicas através da adoção da bacia hidrográfica como unidade territorial, contribuindo assim para o planejamento e gestão das águas subterrâneas.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar as mudanças ocorridas no período de 2003 a 2013 e compreender as relações entre os fatores sociais, políticos, econômicos e ambientais;
- Elaborar mapas temáticos de geologia, pedologia, declividade e uso e ocupação do solo;
- Discutir as revisões bibliográficas em conjunto com os mapas gerados.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Bacia Hidrográfica e abordagem sistêmica

A bacia hidrográfica é uma unidade delimitada pela sua topografia, constituindo um divisor de águas na qual sua rede de drenagem converge para um rio principal, e este, para um tributário.

Segundo Santos (2004):

Uma bacia hidrográfica circunscreve um território drenado por um rio principal, seus afluentes e subafluentes permanentes ou intermitentes. Seu conceito está associado a noção de sistema, nascentes divisores de águas, cursos de águas hierarquizados e foz. Toda ocorrência de eventos em uma bacia hidrográfica, de origem antrópica ou natural, interfere na dinâmica deste sistema, na quantidade dos cursos de água e sua qualidade. A medida de algumas de suas variáveis permite interpretar, pelo menos parcialmente a

soma dos eventos. Essa é uma das peculiaridades que induz os planejadores a escolherem a bacia hidrográfica como uma unidade de gestão.

A bacia hidrográfica é considerada um sistema aberto, ou seja, ocorrem trocas de matéria e energia através de perdas e ganhos. Dessa forma a ação antrópica pode ocasionar alterações na funcionalidade, estrutura e organização deste sistema, interferindo na entrada ou saída de matéria, modificando assim sua entropia.

A adoção da bacia hidrográfica como unidade territorial no presente trabalho se dá pelo enfoque na preservação dos recursos hídricos, necessitando assim de uma perspectiva holística, que possibilite contemplar a relação do homem com o meio.

O enfoque holístico é abordado através do paradigma sistêmico, onde segundo Vicente e Perez Filho (2003):

[...] na Geografia insere-se na própria necessidade de reflexão sobre a apreensão analítica ambiental, através da evolução e interação de seus componentes socioeconômicos e naturais, no conjunto de sua organização espaço-temporal. Neste contexto é que surgem as propostas de cunho sistêmico e a sua fundamentação integrada da abordagem do objeto de estudo, e do entendimento do todo (sistema) e de sua inerente complexidade.

De acordo com Mateo Rodriguez (1994):

a análise sistêmica baseia-se no conceito de paisagem como um “todo sistêmico” em que se combinam a natureza, a economia, a sociedade e a cultura, em um amplo contexto de inúmeras variáveis que buscam representar a relação da natureza como um sistema e dela com o homem.

A bacia hidrográfica foi a unidade adotada pela lei 9.433 de 1997 para instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos e para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Segundo Rebouças, Braga & Tundisi (2006, p. 118),

A abordagem hidrogeológica que evolui do “poço” ao “sistema de fluxos subterrâneos” vai ser a base da inserção das águas subterrâneas no gerenciamento integrado de bacias hidrográficas como unidades de planejamento. Efetivamente, muito embora não haja uma coincidência física rigorosa entre divisores de água superficial e subterrânea, o sistema de fluxos no subsolo tende a configurar a compartimentação que é imposta pelo sistema de drenagem da superfície.

3.2 Gestão dos Recursos Hídricos

A Constituição Federal de 1988 enquadra vários aspectos que foram fundamentais para a gestão dos recursos hídricos. No art. 26, inciso I, é definido como bens dos Estados e da União “as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União”. O art. 21, inciso XIX, que tratou da instituição do sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, deu origem a Lei 9.433 de 1997, resultando na Política Nacional de Recursos Hídricos criando o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH). Ficou definido que os “[...] usos prioritários são o abastecimento humano e a dessedentação de animais e cuja gestão deve tomar como unidade territorial a bacia hidrográfica” (PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. 2008, p. 48).

O SINGREH a partir da Lei 9.433/97 coloca o Brasil entre os países de legislação mais avançada no mundo no que concerne aos recursos hídricos.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos, órgão expressivo na hierarquia do SINGREH, possui tarefas de caráter normativo e deliberativo, tais como: promover uma gestão integrada dos recursos hídricos; decidir sobre projetos de aproveitamento dos recursos hídricos; acompanhar e executar o Plano Nacional de Recursos Hídricos; definição de critérios para outorga de uso dos recursos hídricos e estabelecer critérios para a cobrança do seu uso. Cabe também ao CNRH, a decisão sobre a criação dos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH), baseados em análises detalhadas sobre bacias e sub-bacias de rios da união (Santos, 2009).

O CBH trata as decisões a nível local, colocando as bacias como formas de unidades de gestão. Uma característica importante é a participação pública em plenários tanto do CNRH quanto do CBH, dando legitimidade as decisões e facilitando suas implantações.

Em 2001, com o intuito de implantação e fiscalização da política nacional dos recursos hídricos, foi criada a Agência Nacional das Águas (ANA), órgão responsável pela implementação da Política Nacional e coordenação do SINGREH, tendo como objetivo, promover a descentralização da gestão, voltando-se para a bacia hidrográfica.

Em 2008, foi publicada uma Resolução nº 396 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), instituindo a classificação das águas subterrâneas segundo suas características hidrogeológicas naturais e seus níveis de poluição.

O Estado de São Paulo antecipou-se a lei 9.433 de 1997, criando a Lei Estadual nº 7633 em 1991, na qual instituía a Política Estadual de Recursos Hídricos, sendo um dos precursores no Brasil na criação de um Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos, tendo como bases alguns princípios mais tarde criados pelo SINGREH como a

[...] descentralização e a participação da sociedade na administração dos recursos hídricos, a consideração da Bacia Hidrográfica como unidade de gerenciamento e o reconhecimento da água como um recurso de valor econômico. (SANTOS, 2009)

A Política Estadual de Recursos Hídricos funciona a partir de três mecanismos: o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SIGRH, o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH e o Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FEHIDRO (Neves; Fowler, 2007 apud SANTOS, 2009).

O SIGRH trata da execução da Política Estadual de Recursos Hídricos e também da formulação, atualização e execução do PERH, juntamente com a articulação de órgão estaduais e municipais e com a participação da sociedade civil. O PERH é um instrumento técnico, com vigência de 4 anos, que apresenta objetivos para planejar, recuperar e conservar os recursos hídricos do estado. O FEHIDRO trata do suporte financeiro para a Política Estadual de Recursos Hídricos, na qual seus recursos em grande parte de são de aproveitamentos hidroenergéticos (Santos, 2009).

Segundo Santos (2009), a gestão dos recursos hídricos tem como unidade territorial as bacias hidrográficas, necessitando assim, de um planejamento de articulação ente os municípios e seus interesses em comum, onde haja políticas públicas capazes de atender essas necessidades regionais. A partir desta ótica, surgem os Comitês de Bacia Hidrográfica, que contam com a participação de usuários, sociedade civil organizada, representantes de governos municipais, estaduais e federal.

A regulamentação dos comitês no estado de São Paulo se deu a partir da Lei Estadual nº 9.034, de 27/12/1994, onde são encontradas 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs) como apresentado na Figura 1.

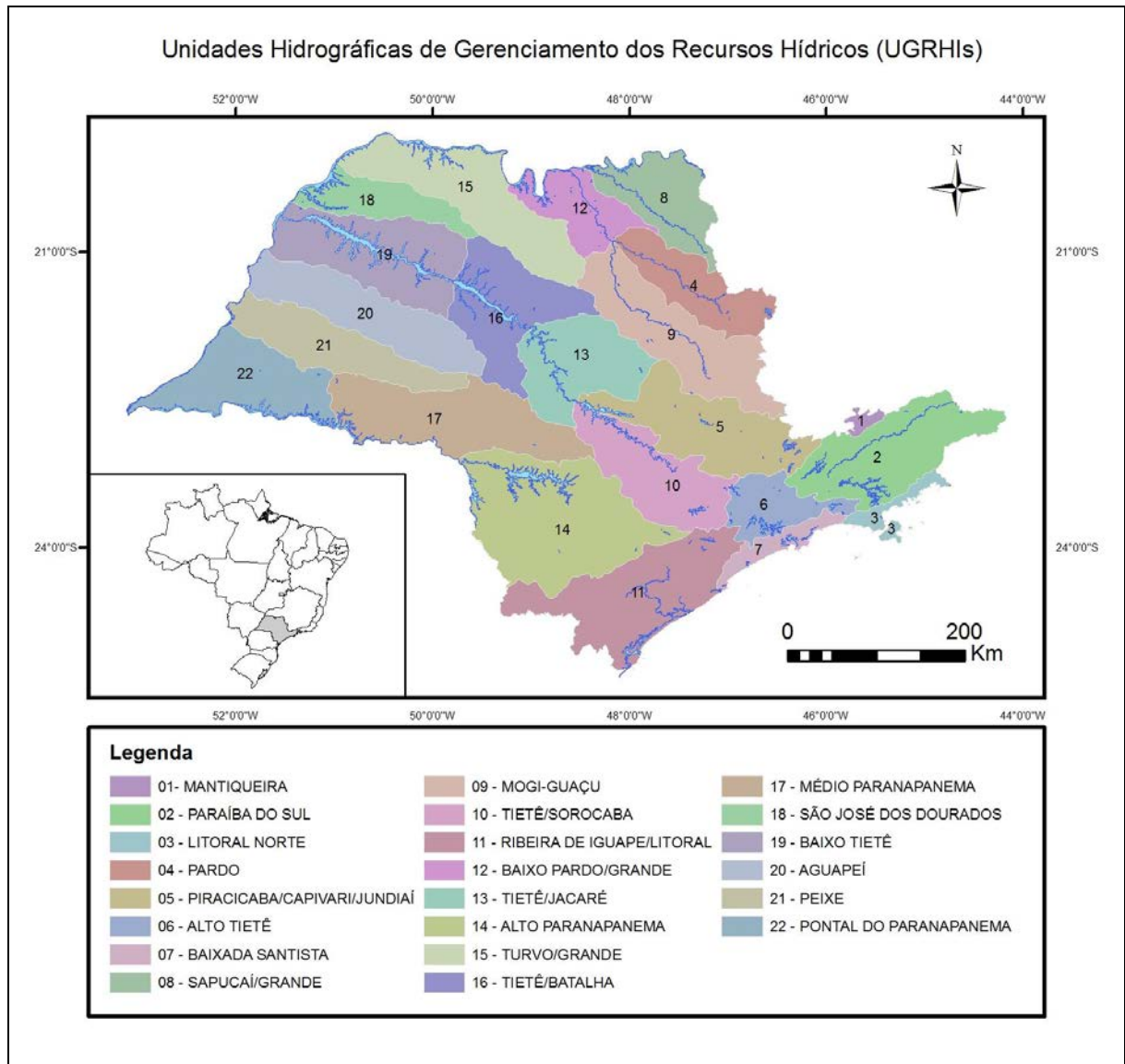


Figura 1 - Unidades Hidrográficas de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHIs).

Organizado por: OLIVEIRA (2013)

O município de Ribeirão Preto pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Pardo (UGRHI-04), sendo o principal pólo desta unidade, com forte articulação entre o setor industrial e agrícola. A UGRHI-04 situa-se próximo à borda oriental da Bacia do Paraná, sendo limitada a leste pelo contato com o Embasamento Cristalino.

Segundo o Relatório Zero (IPT, 2000), a UGRHI 04 possui área de 8.991,02 km². Esta unidade limita-se ao norte pela UGRHI 08 (Sapucaí/Grande), a nordeste, pela UGRHI 12 (Baixo Pardo/Grande), a sudoeste com a UGRHI 09 (Mogi-Guaçu) e a Leste-Sudoeste com o estado de Minas Gerais.

3.3 Sistema Aquífero Guarani

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) constitui uma unidade hidrogeológica com mais de 1 milhão de Km² que se estende por quatro países: Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai. No Brasil ocorre nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Segundo Borghetti, Borghetti & Rosa Filho (2004), a “[...] maior parte, 839.800 km², que corresponde a cerca de 70% da área total, está em território brasileiro”.

O SAG constitui uma importante reserva mundial de água subterrânea. Só no Brasil, estima-se que 1.443 municípios se localizam na área do SAG (BORGHETTI, BORGHETTI e ROSA FILHO, 2004), constituindo uma área de grande importância econômica e apresentando diversos usos - urbano, industrial e rural. Em áreas dependentes das reservas de água subterrânea, os níveis de reserva hídrica podem se tornar críticos.

Seu limite hidroestratigráfico restringe-se aos domínios dos arenitos continentais mesozóicos e essencialmente clásticos, conformados entre as rochas basálticas cretáceas (Formação Serra Geral e equivalentes) e a discordância permo-eotriássica, desenvolvidas nas bacias do Paraná e Chacoparanaense, incluindo as formações geológicas de Misiones, Tacuarembó (Itacumbu), Botucatu, Guará, Caturrita, Santa Maria e Pirambóia. Essa geologia conforma um sistema predominantemente confinado por basaltos, com pequena área de aquífero livre, restrita à sua delgada faixa de afloramento. (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 2009)

No Estado de São Paulo, as zonas de recarga atribuídas às áreas de afloramento das formações Botucatu e Pirambóia, constituem apenas 10% em área, cerca de 16.000 Km², indo de Rifaina ao norte, a Fartura ao sul, passando pela região de Ribeirão Preto e Botucatu.

A ótima produtividade e qualidade da água do aquífero faz com que diversas cidades do interior paulista sejam abastecidas por este aquífero, como é o caso de São José do Rio Preto, Presidente Prudente, Marília e Araçatuba nas áreas de confinamento, e Ribeirão Preto, Araraquara e São Carlos nas áreas de afloramento. (IRITANI e EZAKI, 2008)

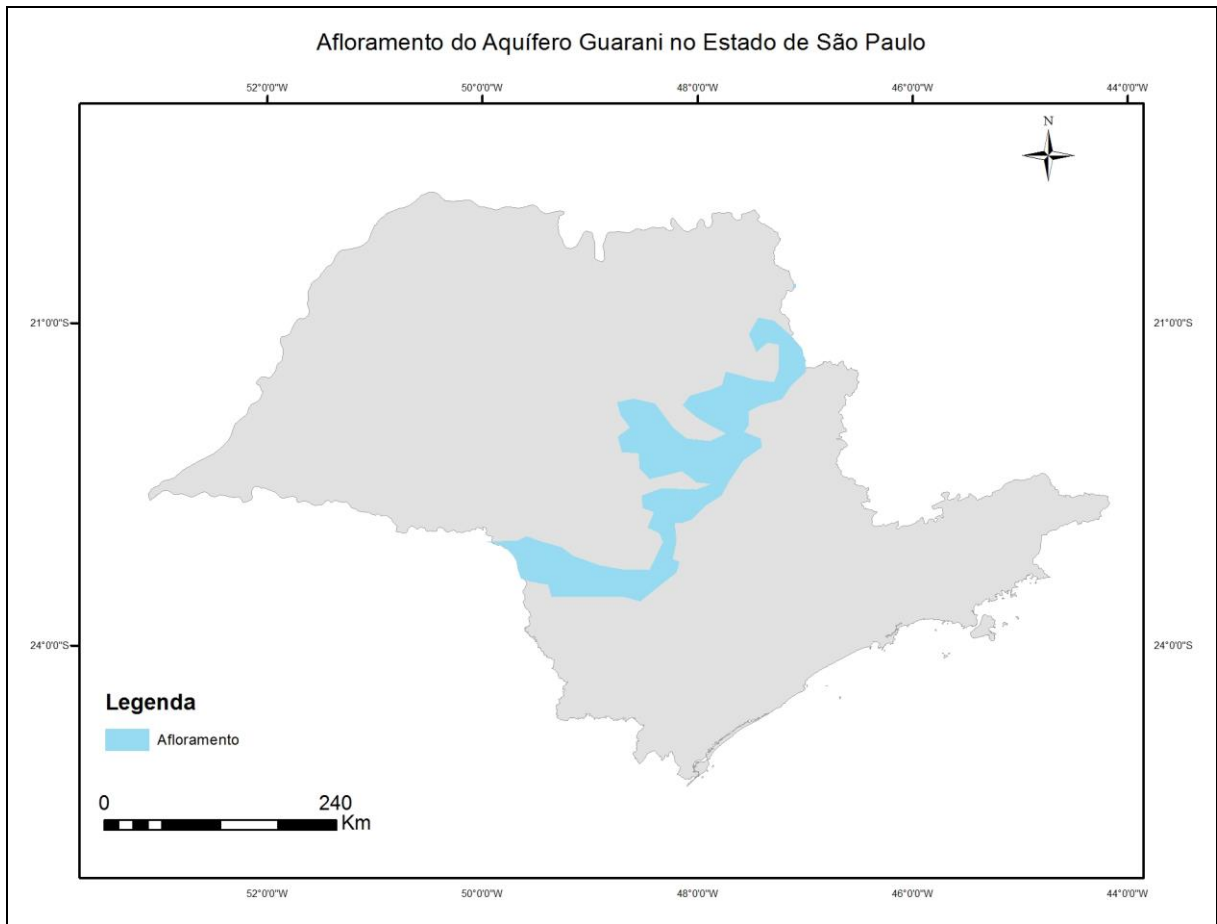


Figura 2 - Afloramento do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo.

Organizado por: OLIVEIRA (2013)

A área confinada pelos basaltos do Aquífero Serra Geral, que tem maior área de ocorrência no estado e mergulha em sentido oeste, tem cerca de 174.000 Km² da área total do Aquífero no Estado de São Paulo. (IRITANI e EZAKI, 2008)

A porção aflorante do Aquífero Guarani, possui boa produtividade e qualidade natural de água, sendo a perfuração de poços técnica e economicamente viável. De acordo com o PERH (2008), a estimativa das reservas exploráveis de água subterrânea na UGRHI 04 atinge 10,0 m³/s nos Sistema Aquífero Guarani livre, e 3,3 m³/s no Sistema Aquífero Guarani confinado.

Segundo Iritani e Ezaki (2008, pg. 64), “aquíferos livres e mais permeáveis são muito mais vulneráveis à poluição, pois recebem recarga direta das águas que caem sobre o solo e infiltram em subsuperfície”. Sendo assim, em algumas áreas do território nacional, o aumento da exploração aliado à ocupação indevida do solo colocam em risco a quantidade e qualidade das águas subsuperficiais.

Segundo Rebouças, Braga & Tundisi (2006), a agricultura é a atividade que mais demanda água, da mesma maneira que é a atividade que mais a desperdiça. A agricultura moderna é uma atividade extremamente intensiva no Brasil, onde chegam-se a colher três safras em áreas onde dispõe-se de sistemas de irrigação e mecanização de última geração, mesmo com o regime pluviométrico bem definido entre a época das secas e época das águas. Com a substituição da vegetação original por extensos campos cultivados com monoculturas, os efeitos nos recursos hídricos são inevitáveis. A utilização dos recursos hídricos em tempo integral nessas regiões através dos sistemas de irrigação tem respostas no meio e na vegetação original remanescente, alterando todo equilíbrio do sistema solo-planta-água-atmosfera. De maneira distinta, mas igualmente importante, a atividade industrial e o consumo urbano também exercem pressões sobre os recursos hídricos.

A avaliação do comportamento do aquífero, principalmente nas áreas de afloramento, fornece dados importantes para sua conservação e subsídios aos projetos de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável (OAS/GEF, 2001) assegurando a qualidade e a quantidade de seu manancial para as futuras gerações. O SAG é uma reserva de água estratégica para o Brasil, pois dele dependerá a manutenção de atividades agrícolas, industriais e cidades, na medida que o país se desenvolve e o crescimento econômico demande mais pressão sobre os recursos naturais.

3.4 Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto

Geoprocessamento é o estudo de informações georreferenciadas através da utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), equipamentos, dados e profissionais especializados. Os SIGs são aplicativos com a função de manipular os dados geográficos referenciados juntamente com seus atributos, servindo assim como ferramenta na produção de mapas, suporte para análise espacial de fenômenos e criação de banco de dados geográficos. (PIROLI, 2010)

O geoprocessamento contribui para análises de sistemas complexos, de variáveis que interagem entre si e estão em constante mutação, pois permite o gerenciamento, armazenamento e recuperação dos dados permitindo uma análise integrada. Proporciona ainda associações/sínteses/correlações entre diferentes análises feitas por diferentes profissionais, que necessitam de uma visão holística, para desenvolver trabalhos transdisciplinares, servindo também como ferramenta de comunicação entre técnicos. (MOURA, 2005)

O geoprocessamento segundo Xavier-da-Silva (1992, apud Moura, 2005, p. 17),

[...] destina-se a tratar os problemas ambientais levando em conta a localização, a extensão e as relações espaciais dos fenômenos analisados, visando a contribuir para a sua presente explicação e para o acompanhamento de sua evolução passada e futura.

O Sensoriamento Remoto consiste na aplicação de dispositivos que acoplados em aeronaves ou satélites, contribuem para obtenção de informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra. Em outras palavras, consiste na aquisição de dados de um objeto sem tocá-lo. (JENSEN, 2009)

O grande avanço nos sensores contribui com informações cada vez mais detalhadas através de imagens com resoluções com uma qualidade cada vez maior. A facilidade no acesso a essas informações contribui para os mais variados estudos em diferentes áreas do conhecimento. Através destas técnicas juntamente com o geoprocessamento, é possível realizar diversas análises, entre elas a determinação do uso e ocupação do solo como realizado no presente trabalho.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

4.1.1 O Município de Ribeirão Preto

O município de Ribeirão Preto está localizado entre as coordenadas UTM 189837 O e 225107 L de longitude, e entre as coordenadas 7634287 S e 7668665 N de latitude, datum Córrego Alegre. Segundo o último censo, Ribeirão Preto tem uma população de 604.682 habitantes (IBGE, 2010). O município possui um IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) de 0,800 e pertence ao grupo 1 do Índice Paulista de Responsabilidade Social (IPRS) caracterizado por elevados índices de riqueza e bons níveis nos indicadores sociais. Segundo Gomes (2011), “os números, indicadores como estes apresentados, ‘engrossados’ pelo crescimento econômico, escondem a realidade social, mascarando a extrema desigualdade existente no município”.

Segundo a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Regional (Governo Do Estado De São Paulo, 2012) em 2010 o município registrou um grau de urbanização superior

a 99,7%. A taxa de crescimento populacional, no período de 2000-2010, foi de 1,82% ao ano, número acima da média estadual.

Devido a predominância de solos férteis, terras drenadas por águas da Bacia do Rio Pardo e a grande reserva de água doce do Aquífero Guarani em seu subsolo, o município de Ribeirão Preto foi se destacando como um grande centro do agronegócio, auxiliado pela estrutura viária na qual se destaca a rodovia Anhanguera (SP 330) e a linha tronco ferroviária que liga Brasília ao Porto de Santos. (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2012)

4.1.2 Abastecimento Público

O abastecimento público do município é realizado exclusivamente por mananciais subterrâneos, onde segundo Santos, Chang e Kiang (2010), 52% do total explorado é utilizado para este fim, seguido pelo uso doméstico com 24%, industrial com 20%, rural 3% e uso recreacional 1%. Estima-se que o valor de perdas no sistema de abastecimento público chegam a 60,9%.

Algumas áreas do município de Ribeirão Preto já possuem um contínuo rebaixamento do nível dinâmico do sistema aquífero, devido à superexploração. O Comitê da Bacia Hidrográfica do Pardo elaborou uma proposta de critérios técnicos para o disciplinamento da perfuração de poços na região, porém é necessário um maior comprometimento da população e de órgãos públicos no uso da água, tanto em mudanças de hábitos como no combate as perdas na rede de distribuição. (SANTOS, KIANG E CHIANG, 2010)

Estabelecendo a média de consumo em 400 l/hab/dia (número considerado conservador por alguns pesquisadores), temos que a demanda anual da cidade é de 88.283.572 m³.

Segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do Pardo (2012), o município de Ribeirão Preto tem destaque negativo no que se refere a captação por habitante/ano, que chega a 52m³ enquanto o Estado de São Paulo tem média de 276 m³ hab./ano e as cidades da bacia do Pardo 394 m³ hab./ano. Além disso, é considerado uma área crítica no aumento concentrado da população.

4.1.3 Políticas Urbanas

A Política Urbana Municipal prevê que as áreas de recarga representam locais de grande vulnerabilidade e fragilidade, sendo classificadas como Zonas de Uso Especial, um modo de garantir a recarga do aquífero.

O art. 6º, III da Lei nº 2.157/07 cc. art. 84, parágrafo 1º do Código Municipal do Meio Ambiente define o Macrozoneamento Ambiental. As Zonas de Uso Especial são consideradas locais com grande vulnerabilidade e fragilidade, tendo como objetivo garantir a recarga do aquífero Guarani. As Zonas de Proteção Máxima são áreas na qual são previstas a preservação, conservação e recuperação do meio ambiente. As Zonas de Uso Disciplinado é referente ao uso e ocupação com vistas a redução do impacto das enchentes urbanas (Figura 3).

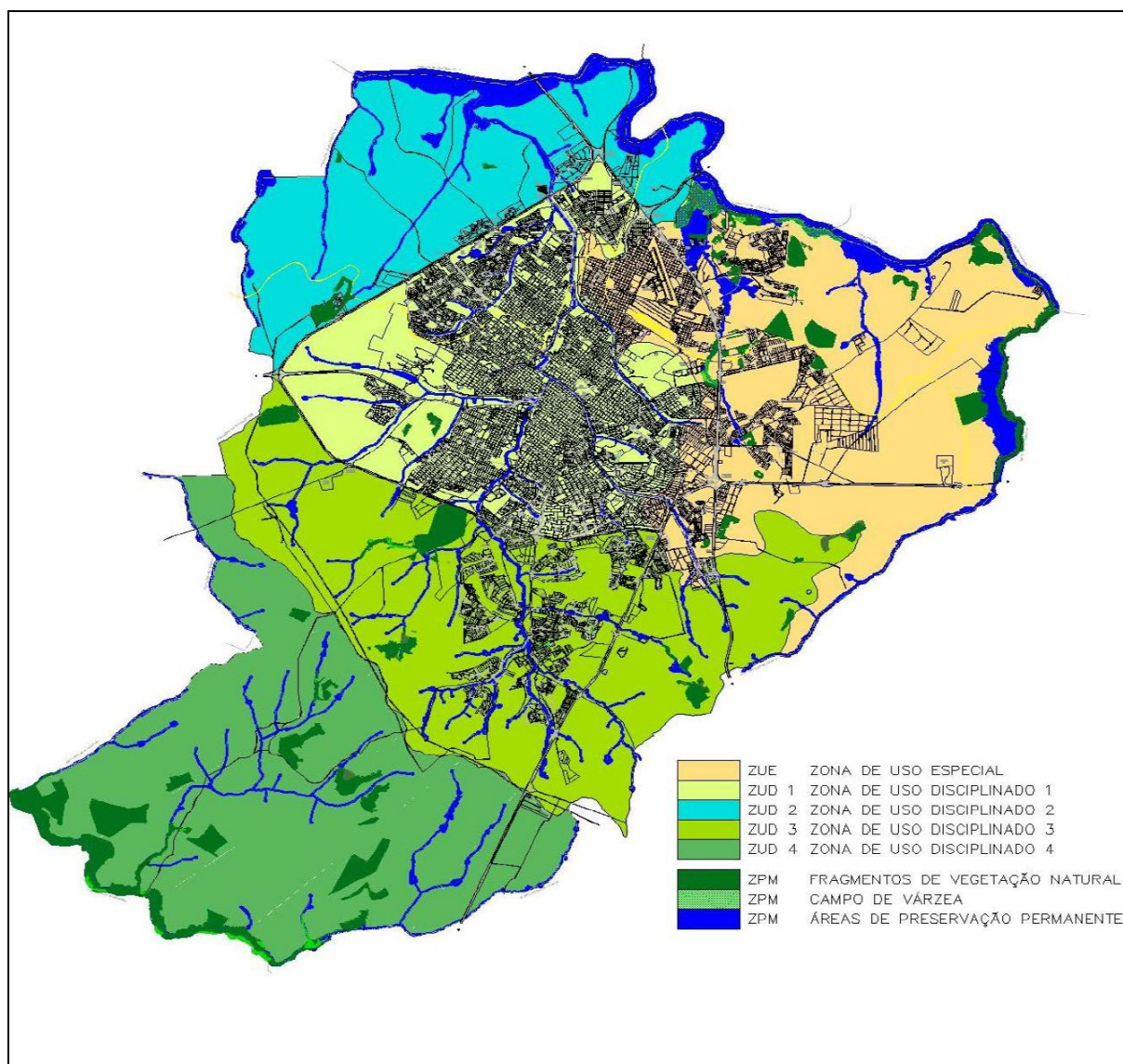


Figura 3 - Mapa do Macrozoneamento Ambiental.

Fonte: Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, 2013.

O Macrozoneamento Urbanístico, previsto no art. 35, I da Lei nº 2.157/07, apresenta a macrodivisão do município de acordo com uma visão urbanística do uso e ocupação do solo (Figura 4), apresentando as seguintes zonas:

I - ZUP - Zona de Urbanização Preferencial: composta por áreas dotadas de infra-estrutura e condições geomorfológicas propícias para urbanização, onde são permitidas densidades demográficas médias e altas; incluindo as áreas internas ao Anel Viário, exceto aquelas localizadas nas áreas de afloramento do arenito Botucatu-Pirambóia, as quais fazem parte da Zona de Urbanização Restrita;

II - ZUC - Zona de Urbanização Controlada: composta por áreas dotadas de condições geomorfológicas adequadas, mas com infra-estrutura urbana insuficiente, incluindo as faixas externas ao Anel Viário Contorno Sul e Anel Viário Contorno Norte onde são permitidas densidades demográficas baixas e médias;

III - ZUR - Zona de Urbanização Restrita: composta principalmente por áreas frágeis e vulneráveis à ocupação intensa, correspondente à área de afloramento ou recarga das Formações Botucatu - Pirambóia (Aqüífero Guarani) - conforme especificado no Plano Diretor e no Código do Meio Ambiente, onde são permitidas baixas densidades demográficas, incluindo grande parte da Zona Leste e parte da Zona Norte do Município; (PREFEITURA MUNICIPAL DE RIBEIRÃO PRETO, 2007)

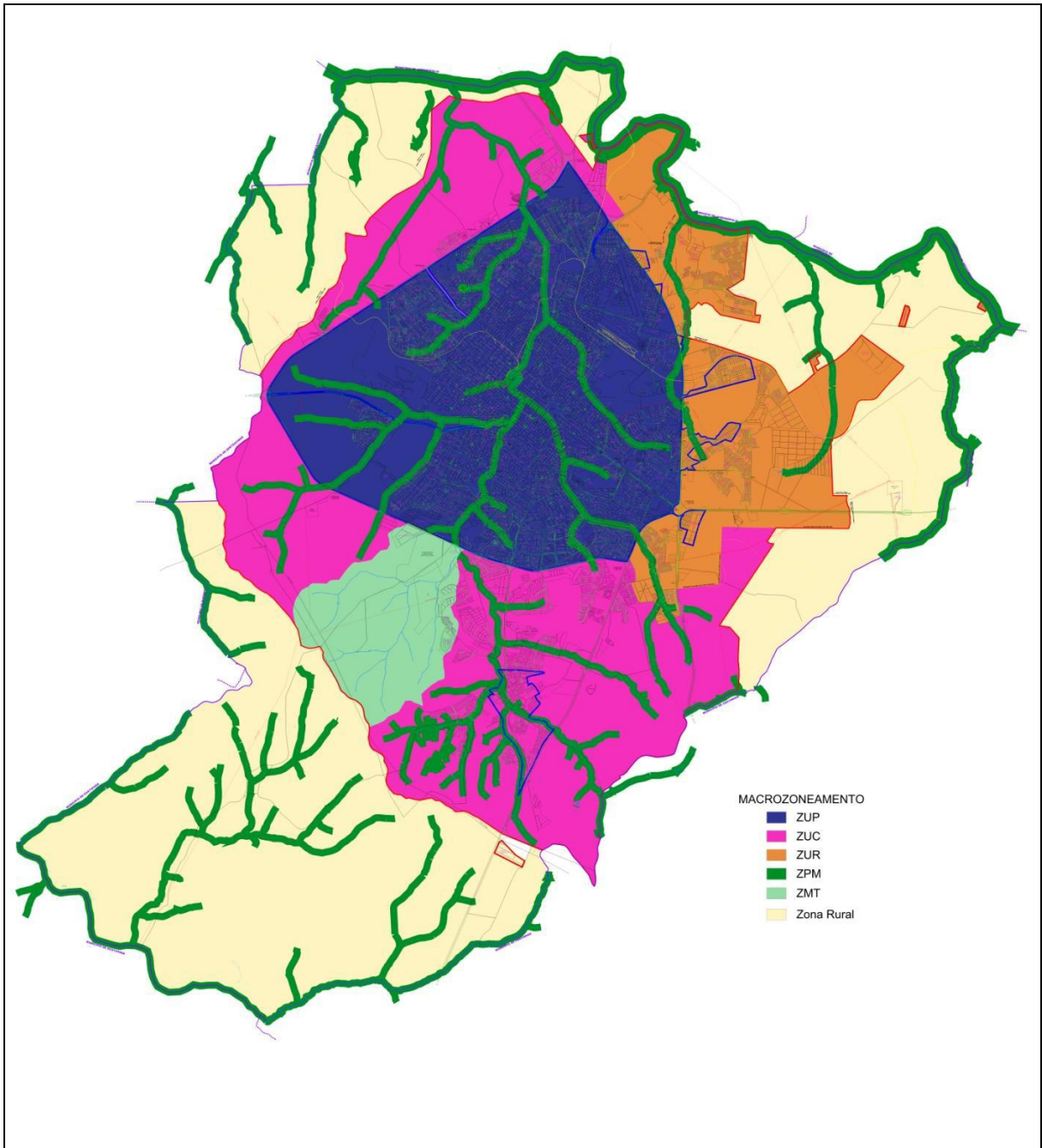


Figura 4 - Mapa do Macrozoneamento Urbanístico.

Fonte: Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, 2013.

4.1.4 Clima

O clima das partes mais baixas da região de Ribeirão Preto (cota de 600m), segundo Koppen, como sendo do tipo Aw. Este é definido como Clima tropical úmido, com verão quente e chuvoso (temperaturas superior a 23°C e mais de 250mm de chuva no mês mais

quente) e inverno seco e ameno (temperaturas mínimas próximas dos 18°C, com precipitação inferior a 30mm no mês mais frio). (FERREIRA, 1992)

4.1.5 Geologia

O Sistema Aquífero Guarani no estado de São Paulo é constituído pelas formações Botucatu e Pirambóia que juntas com os derrames basálticos da Formação Serra Geral, integram a unidade estratigráfica do grupo São Bento que se encontra na Bacia Sedimentar do Paraná. (Silva *et al.*, 2008)

A Formação Pirambóia é de origem fluvial, sendo constituída por arenitos argilosos intercalado com camadas de siltito e folhelo, com arenitos de granulação média a muito fina com 20% de teor de silte e argila. Na rodovia SP-333, que liga Ribeirão Preto a Cajuru, as formações apresentam boas exposições, com espessura máxima na região de 140m (Ferreira, 1992; Silva *et al.*, 2008).

A Formação Botucatu tem origem na deposição de arenitos através de processos eólicos em ambiente desértico, sendo estes de granulação fina e média, não ultrapassando a espessura de 80m na região de Ribeirão Preto. O teor de silte e argila é inferior a 10%. (Ferreira, 1992; Silva *et al.*, 2008)

A Formação Serra Geral é constituída de rochas basálticas originadas a partir de atividades magmáticas fissurais. Seu armazenamento de água ocorre por meio de fissuras. São associados as esses basaltos corpos intrusivos de composição semelhante, originando diques e *sills*. Os *sills* ocorrem em grande quantidade nas rochas paleozóicas da Depressão Periférica, no nordeste do estado de São Paulo, e também nos próprios arenitos mesozóicos. (ALMEIDA *et al.*, 1981)

A espessura dessa formação decresce de oeste para leste, com espessura média de 65m na região de Ribeirão Preto, podendo também desaparecer. Entre Ribeirão Preto e Cássia dos Coqueiros se encontra o afloramento do Aquífero Guarani, que devido as altas cotas altimétricas (800m), constituem áreas de recarga do aquífero no estado de São Paulo. (Villar, 2008)

As Formações Botucatu e Pirambóia se concentram nas zonas leste e nordeste do município, onde ocorre a recarga direta do aquífero através da precipitação. Nas demais regiões se encontram as rochas da Formação Serra Geral. A bacia do Córrego das Palmeiras

apresenta as seguintes formações geológicas: Aluviões Quaternários, Formação Botucatu, Formação Serra Geral, Formações Superficiais e Intrusivas Básicas.

4.1.6 Pedologia

Os tipos de solo encontrados na bacia do Córrego das Palmeiras são: Cambissolo Háplico, Gleissolo Háplico, Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo, Neossolo Quartzarênico e Neossolo Litólico.

Os Cambissolos segundo a EMBRAPA (2013):

são solos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (exceto hístico com 40 cm ou mais de espessura) ou horizonte A chernozêmico quando o B incipiente apresentar argila de atividade alta e saturação por bases alta.

O Cambissolo Háplico são solos que não se enquadram nas outras classes do 2º nível categórico (subordens).

Os Gleissolos segundo a EMBRAPA (2013):

são solos constituídos por material mineral com horizonte glei iniciando-se dentro dos primeiros 50 cm da superfície do solo ou a profundidades entre 50 cm e 150 cm desde que imediatamente abaixo de horizonte A ou E ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos.

O Gleissolo Háplico são solos que não se enquadram nas outras classes do 2º nível categórico (subordens).

Os Latossolos segundo a EMBRAPA (2013), “são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura”.

Os Latossolos Vermelhos segundo a EMBRAPA (2013), são “solos com matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA)”.

Os Latossolos Vermelho Amarelo são solos de cores vermelho-amareladas e amarelo-avermelhadas que não se enquadram nas outras classes do 2º nível categórico (subordens).

Os Neossolos Quartzarênicos são segundo a EMBRAPA (2013):

solos sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, com sequência de horizontes A-C, porém apresentando textura areia ou areia-franca em todos os horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico.

A classe dos Neossolos segundo a EMBRAPA (2013), apresentam “solos pouco evoluídos constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico”.

Os Neossolos Litólicos segundo a EMBRAPA (2013), são “solos com horizonte A ou hístico assente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha...”.

A infiltração da água no solo depende em diferentes graus e fatores que podem ser divididos e relacionados ao solo, à superfície, ao preparo e manejo do solo, entre outros, os quais exercem influência no sobre uma das mais importantes propriedades do meio poroso, a condutividade hidráulica, que também recebe influência de um processo chamado encrostamento superficial (BRANDÃO et al., 2006). A deposição de sedimentos pode criar uma crosta densa na superfície que tem como consequências, a redução da infiltração de água e o aumento do escoamento superficial (BRADY; WEIL, 2013).

Para tanto, a estrutura e a textura são determinantes na quantidade, forma e continuidade dos macroporos, que são as características físicas mais influenciadoras da condutividade hidráulica e a estabilidade de agregados do solo. A condutividade do solo depende também das variações estruturais e da compactação. Em solos com textura grossa (arenosos), a quantidade de macroporos é maior que os de textura fina (argilosos), o qual se observa maior condutividade hidráulica e maiores taxas de infiltração. Em relação à densidade, constata-se que quanto mais denso for o solo, menor é a taxa de infiltração, resultado da redução da porosidade total e da macroporosidade (BRANDÃO et al., 2006).

O fluxo de água varia ao longo dos perfis de textura unitária, binária ou contrastante. Os solos de textura unitária apresentam comportamento hídrico semelhante ao longo do perfil, já os solos de textura binária especialmente aqueles com textura contrastante ou abrupta, ocorrem variações no comportamento hídrico ao longo do perfil, principalmente entre os horizontes A e E e o horizonte B (OLIVEIRA, 2005).

Em relação à permeabilidade do solo o mesmo autor afirma que a textura, interfere na recarga de um aquífero:

Permeabilities of surface and subsurface materials can greatly affect recharge processes. Recharge is more likely to occur in areas that have coarse-grained, high-permeability soils as opposed to areas of fine-grained, low-permeability soils. Coarse-grained soils have a relatively high permeability and are capable of transmitting water rapidly. The presence of these soils promotes recharge because water can quickly infiltrate and drain through the root zone before being extracted by plants roots. Finer-grained sediments are less permeable, but are capable of storing greater quantities of water. Thus, in areas of finer-grained sediments, one would expect decreased infiltration, enhanced surface runoff, increased plant extraction of water from the unsaturated zone, and decreased recharge relative to an area of coarser-grained sediments. Permeability also is important in terms of focused recharge. High-permeability streambeds facilitate the exchange of surface water and groundwater (HEALY, 2010, p. 8).

4.1.7 Declividade

A bacia do Córrego das Palmeiras apresenta predominância de relevo moderadamente ondulado e ondulado, com poucas áreas de alta declividade.

Uma bacia hidrográfica é delimitada de acordo com seus limites topográficos, que criam divisores de águas influenciando na precipitação, escoamento superficial, evaporação e transpiração, sendo a declividade do relevo determinante na concentração de água na bacia e na velocidade do escoamento.

A declividade de um terreno tem fundamental importância no conhecimento da susceptibilidade à erosão do solo e da capacidade de infiltração da água, sendo estes fatores dependentes da velocidade de escoamento superficial. Quanto maior for a declividade de uma encosta, menor será a infiltração de água no solo e maior será sua susceptibilidade a erosão e quanto menor a declividade, os efeitos serão inversos.

4.1.8 Uso e Ocupação do Solo

Segundo Olaia e Cordeiro (2005), "o uso e a ocupação do solo nas áreas de afloramento e ou recarga de aquíferos deve ser compatível com a característica ambiental local, evitando desta forma o comprometimento em termos quantitativos e qualitativos da água subterrânea".

O monitoramento e a avaliação das condições do meio natural em que se encontram as águas subterrâneas são instrumentos fundamentais para a tomada de medidas preventivas e/ou proativas que busquem conciliar a qualidade e a quantidade desses recursos. Para que haja disponibilidade às gerações futuras são necessárias estratégias de proteção e uso sustentável das reservas através de uma ação integrada de gerenciamento dos recursos hídricos. Um programa eficiente deve considerar as inter-relações existentes com as águas superficiais, condições climáticas e usos da terra (MESTRINHO, 2008).

Em relação à recarga do sistema aquífero, HEALY (2010, p. 7) afirma que “The random factor in recharge variability can be viewed as local-scale variability that can be attributed, from example, to natural heterogeneity in permeability in surface soils or variability in vegetation”.

De acordo com o mesmo autor, outros usos do solo influenciam este processo, como culturas não irrigadas e irrigadas, o preparo do solo (aração, por exemplo), áreas urbanizadas, consideradas inibidoras de recarga e áreas que contribuem para a vulnerabilidade de contaminação de aquíferos.

A infiltração, retenção e percolação são processos dinâmicos para a manutenção da bacia hidrográfica como um reservatório do sistema hidrológico, que permite armazenar e transferir água. Para entender os processos de infiltração são necessárias considerações sobre as conexões existentes entre a água, o meio físico e a dinâmica do uso da terra (SOARES et al., 2008).

Devido essa importância, elaborou-se uma série temporal entre os anos de 2003 e 2013 através da utilização de produtos de sensoriamento remoto e ferramentas de geoprocessamento, com o objetivo de analisar a evolução do uso e ocupação do solo nas áreas de recarga do aquífero na bacia do córrego das Palmeiras, que possuem uma alta vulnerabilidade natural a contaminação, como demonstrado anteriormente.

Com os resultados obtidos, buscou-se avaliar se os tipos de uso e ocupação do solo encontram-se em conformidade com os aspectos do meio físico.

4.2 Procedimentos Metodológicos

A metodologia utilizada no trabalho apresenta uma abordagem sistêmica, na qual através do auxílio de Sistemas de Informação Geográfica buscou-se relacionar os elementos do meio físico com a ação antrópica. Dessa forma foram elaborados mapas de Geologia, Pedologia, Declividade, Vulnerabilidade Natural das águas subterrâneas e Uso e Ocupação do Solo, sendo possível estabelecer relações de álgebra de mapas e tabulação cruzada dentro do ambiente SIG.

O mapa de Geologia foi elaborado através da digitalização do mapa Geológico do Estado de São Paulo de Almeida (1981). O mapa de Pedologia foi elaborado através da digitalização do mapa de Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Ribeirão Preto, de Oliveira e Prado (1987). O mapa de Declividade foi elaborado através da utilização de imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

Para a elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo foram usadas imagens do satélite Landsat¹, das séries 7 e 8, contendo as características especificadas na

¹ O Landsat 7 foi lançado em 1999, e trazia o sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) sendo composta por 8 bandas espectrais podendo ser combinadas de forma a gerar inúmeras composições coloridas e opções de processamento. Esse satélite apresentou uma série de melhorias em relação ao seu antecessor, Landsat 5, com a adição da banda 8 (Pancromática) com resolução de 15 metros, melhorias nas características radiométricas e geométricas, além do aumento da resolução espacial da banda 6 (termal infravermelho) para 60 metros. No entanto, o Landsat 7 apresentou falhas a partir de 2003 que resultaram no desligamento do espelho corretor de linha (SLC), sendo utilizadas a partir desta data mediante correções prévias. O Landsat 8 entrou em operação em 2013 e também apresentou melhorias em relação aos seus antecessores, com o acréscimo dos sensores Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS), além da adição de novas bandas espectrais, possibilitando novas composições.

Tabela 1.

Tabela 1 - Especificações dos satélites Landsat 7 e Landsat 8.

| Landsat 7 | | | Landsat 8 | | |
|------------------|---------------------------------------|---------------|------------------|---------------------------------------|---------------|
| Banda | Comprimento de onda (μm) | Resolução (m) | Banda | Comprimento de onda (μm) | Resolução (m) |
| Band 1 Blue | 0.45 – 0.52 | 30 | Band 1 Coastal | 0.43 – 0.45 | 30 |
| Band 2 Green | 0.52 – 0.60 | 30 | Band 2 Blue | 0.45 – 0.51 | 30 |
| Band 3 Red | 0.63 – 0.69 | 30 | Band 3 Green | 0.53 – 0.59 | 30 |
| Band 4 NIR | 0.77 – 0.90 | 30 | Band 4 Red | 0.64 – 0.67 | 30 |
| Band 5 SWIR 1 | 1.55 – 1.75 | 30 | Band 5 NIR | 0.85 – 0.88 | 30 |
| Band 7 SWIR 2 | 2.09 – 2.35 | 30 | Band 6 SWIR 1 | 1.57 – 1.65 | 30 |
| Band 8 Pan | 0.52 – 0.90 | 15 | Band 7 SWIR 2 | 2.11 – 2.29 | 30 |
| Band 6 TIR | 10.40 – 12.50 | 30/60 | Band 8 Pan | 0.50 – 0.68 | 15 |
| | | | Band 9 Cirrus | 1.36 – 1.38 | 30 |
| | | | Band 10 TIRS 1 | 10.6 – 11.19 | 100 |
| | | | Band 11 TIRS 2 | 11.5 – 12.51 | 100 |

A imagem utilizada para o ano de 2003 foi capturada no mês de abril, e a imagem do ano de 2013 foi capturada no mês de julho. Essa escolha se justifica pela ocorrência do período seco nos trópicos durante os meses de abril a outubro, podendo assim diferenciar com um maior detalhamento as áreas florestadas.

Foram realizadas composições coloridas RGB 432 para a imagem do ano de 2003 e RGB 543 para a imagem do ano de 2013, utilizando o software Idrisi Taiga e as imagens de satélite da série Landsat.

Após a composição de bandas, iniciou-se o processo de segmentação, que consiste na definição de unidades no mapa ao invés da análise individual de pixels, fragmentando a

imagem em áreas homogêneas. Neste processo as regiões adjacentes mais similares são mescladas segundo o nível de cinza do pixel, textura e contraste. (WOODCOCK et al., 1994) Por meio da classificação supervisionada, escolheu-se assinaturas espectrais segundo os fragmentos gerados pelo processo de segmentação. Na classificação supervisionada, coberturas de solo são identificadas a partir do seu padrão de resposta espectral, onde o aplicativo associa cada pixel da imagem a assinatura mais similar. (PIROLI, 2010)

O método estatístico utilizado na classificação das imagens foi o de máxima verossimilhança, em que os valores de reflectância de uma área são descritos por uma função de densidade de probabilidade, fundamentado na estatística Bayesiana. Este modelo verifica a probabilidade que um pixel tem de pertencer a uma determinada classe e o classifica na categoria de maior probabilidade. (PIROLI, 2010)

A ferramenta *Land Change Modeler* que integra o software Idrisi tem a função de analisar as mudanças no uso do solo entre duas datas distintas, avaliando perdas e ganhos nas classes de uso.

Para o mapa do Grau de Vulnerabilidade das áreas de recarga, foi escolhido método empírico GOD (G - groundwater occurrence, O - overall lithology of aquifer and D - depth of water) proposto por Foster (1987, apud INSTITUTO GEOLÓGICO/SMA/SP, CETESB, DAEE, 1997) devido a seu baixo custo e ao número reduzido de classes de análise, facilitando as operações e a obtenção de dados.

O método GOD consiste na identificação do tipo de ocorrência da água subterrânea, num intervalo de 0 – 1; na especificação dos tipos litológicos acima da zona saturada do aquífero, representado numa escala de 0,3 – 1,0; e na estimativa da profundidade do nível da água (ou topo do aquífero), numa escala de 0,4 – 1,0, como observado na Figura 5. O produto destes parâmetros nos dá o índice de vulnerabilidade, representado em uma escala de 0 – 1. Para cada parâmetro é gerado um mapa, e com a interpolação, tem-se o mapa final de vulnerabilidade.

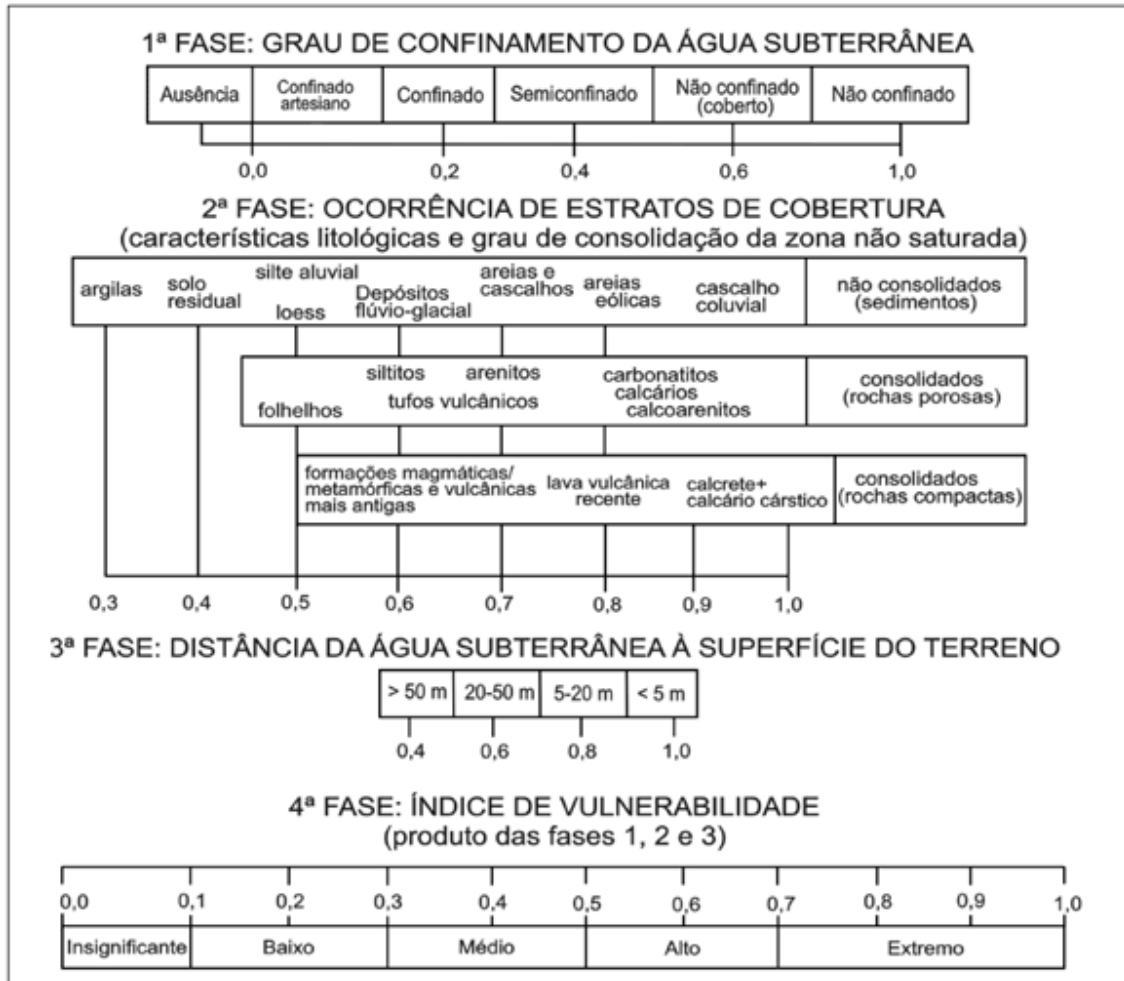


Figura 5 - Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.

Fonte: TAVARES et. al. (2009)

O software utilizado na elaboração dos mapas foi o ArcMap 9.3. Os dados e documentos cartográficos obtidos para o estudo foram: Mapa Geológico do Nordeste do Estado de São Paulo (SOARES, et al., 1973) em formato *shapefile*; Folha topográfica de Ribeirão Preto (IBGE, 1979); sistema de Pesquisa de Dados dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo oferecido no site do DAEE (s. d.).

Com base no sistema de Pesquisa de Dados dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo oferecido pelo DAEE (<http://www.aplicacoes.dae.sp.gov.br/usuarios/fchweb.html>), foi possível adquirir um banco de dados de poços subterrâneos com informações sobre o nível estático e suas respectivas coordenadas de localização em UTM. O nível estático corresponde a distância natural da água até a superfície do terreno não sofrendo interferências portanto em relação a variação do nível como em casos de bombeamento.

A elaboração do mapa do grau de distância da água subterrânea à superfície foi feita a partir do método de interpolação Inverso Ponderado da Distância (Inverse Distance Weighted – IDW), que consiste na suposição de que pontos próximos estão estreitamente relacionados do que pontos distantes do valor no local interpolado.

O mapa dos estratos de cobertura e de grau de confinamento foram elaborados a partir de interpretações do Mapa Geológico do Nordeste do Estado de São Paulo. Devido à falta de dados concisos sobre a ocorrência da água subterrânea, foram desconsiderados os poços com artesianismo.

Com a sobreposição dos mapas gerados através da ferramenta *raster calculator*, obteve-se como resultado final o mapa de vulnerabilidade natural das Áreas de Recarga do Aquífero Guarani.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características Físicas da Bacia do Córrego das Palmeiras

5.1.1 Área e Localização da bacia

A bacia do Córrego das Palmeiras possui aproximadamente 31km² ou 3137,64 hectares e se encontra na zona leste e norte do município, composta pelos bairros Jardim Juliana, Parque dos Servidores, Jardim Helena, Jardim Ouro Branco, Conjunto Habitacional Palmeiras, complexo Ribeirão Verde, Jardim Aeroporto, Jardim Salgado Filho e Vila Hípica.

A bacia do Córrego das Palmeiras faz parte da bacia hidrográfica do rio Pardo, UGRHI-04. O córrego das Palmeiras é afluente da margem esquerda do rio Pardo, com 10.120 m de comprimento (LAURENTIIS, 2010, p. 33).

5.1.2 Geologia da bacia

O afloramento do arenito Botucatu que representa o local de recarga do aquífero corresponde a 17,68% do total da área da bacia do córrego das Palmeiras, sendo necessário cuidados especiais quanto ao seu uso e ocupação devido sua vulnerabilidade natural a contaminantes e a sua importância na manutenção dos níveis hídricos tanto das águas subterrâneas quanto dos corpos hídricos superficiais.

As Formações Superficiais correspondem a maior área em relação à bacia, apresentando 62,11% de cobertura. Sua litologia é composta por areias inconsolidadas, semelhantes à Formação Botucatu, mas contribui com outras unidades estratigráficas. Apesar da boa permeabilidade não há uma definição sobre a sua contribuição com a recarga do Aquífero Guarani. Caso esteja assentado sobre o arenito Botucatu, representa uma área de recarga direta, caso esteja sobre a Formação Serra Geral, não haveria recarga do aquífero e portanto a ocupação de suas áreas não apresentaria riscos. Devido a este fato, o uso e ocupação dessa área deve ocorrer de maneira diferenciada e com apoio de estudos técnicos. (Villar, 2008)

A Formação Serra Geral e as Intrusivas Básicas que correspondem respectivamente a 7,71% e 5,85% do total, são rochas impermeáveis, exceto o caso de possuírem fraturas. Um risco de contaminantes ao aquífero nessas formações se dá com a construção de poços clandestinos ou o mesmo poço abandonados, não seguindo as especificações do Manual de Operação e Manutenção de Poços do Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE e as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (NBR 12.212 - Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea e NBR 12.244 - Construção de poço tubular para captação de água subterrânea).

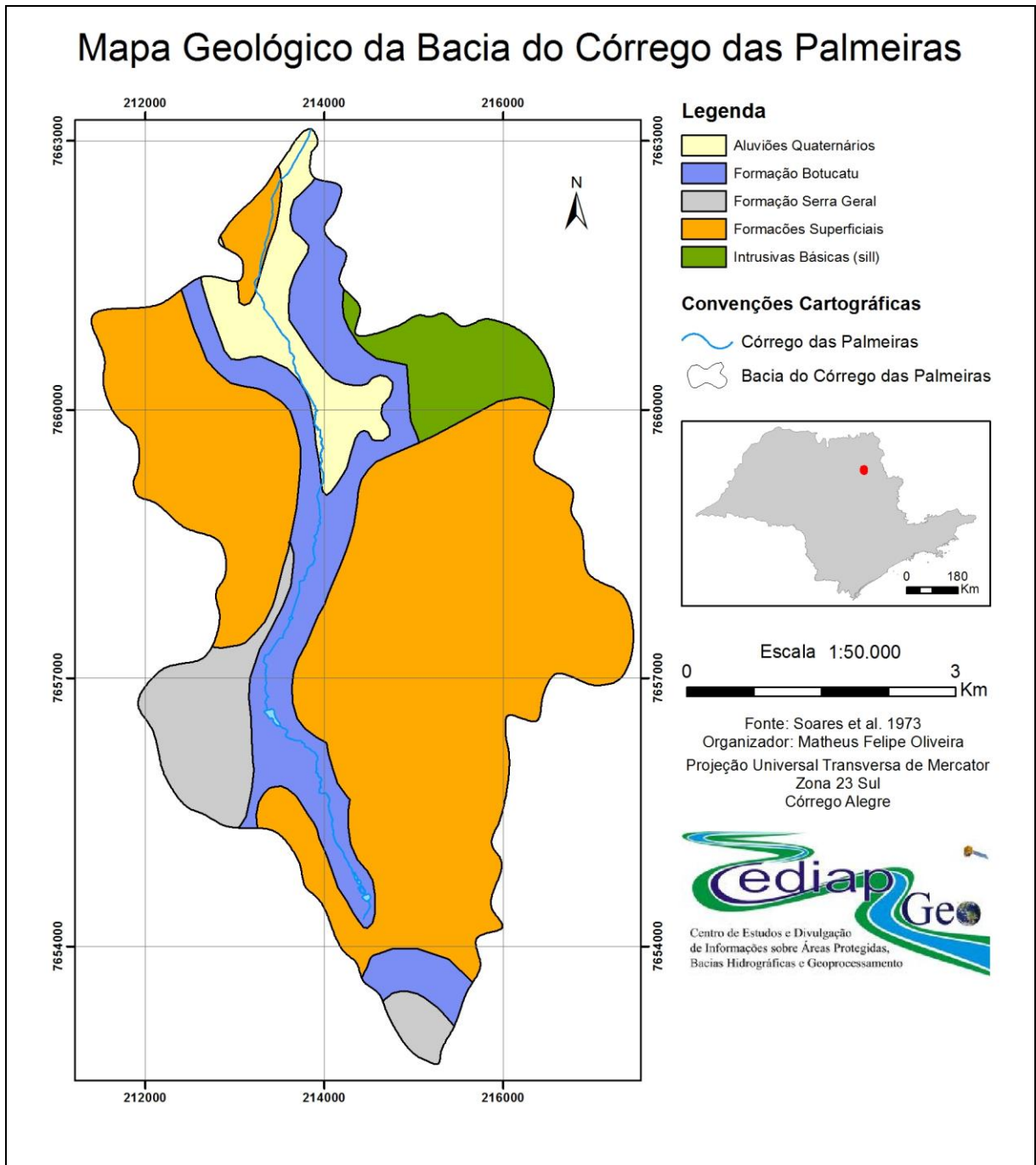


Figura 6 - Mapa Geológico da bacia do Córrego das Palmeiras em Ribeirão Preto – SP.

Tabela 2 - Distribuição das formações geológicas na bacia do Córrego das Palmeiras.

| Descrição | Unidade | Litologia | Idade | Área (ha) | % |
|---------------------------|----------------|------------------------------------|--|------------------|---------------|
| Formação Botucatu | KJb | Arenitos eólicos, bem consolidados | Cretácio inferior – Jurássico | 554,58 | 17,68 |
| Formações Superficiais | Cs | Areias inconsolidadas | Cenozóico | 1948,71 | 62,11 |
| Formação Serra Geral | KJsg | Basaltos | Cretácio inferior – Jurássico superior | 241,97 | 7,71 |
| Intrusivas Básicas (sill) | KJs | Diabásios | Mesozóico | 183,49 | 5,85 |
| Aluviões Quaternários | Qal | Areias e argilas | Quaternario | 208,89 | 6,66 |
| Total | | | | 3137,64 | 100,00 |

5.1.3 Pedologia da bacia

De acordo com a adaptação do Mapa Pedológico semi-detalhado na escala 1:100.000 (Figura 7) de Oliveira & Prado (1983) para o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), os tipos de solo encontrados na bacia do Córrego das Palmeiras são: Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Litólico, Cambissolo Háplico e Gleissolo Háplico.

Segundo Oliveira (2005, p. 496)

Os mapas pedológicos são também documentos muito úteis no planejamento inicial de cidades, ou em planos diretores, indicando locais mais apropriados para escavações, na seleção de áreas para estabelecimento de cinturão verde, cemitérios, aterros sanitários, entre outros usos, ou auxiliando na formulação de políticas de uso do solo.

O mapa das classes de solo detalhadas é apresentado na (Figura 7). As classes de solo, áreas em hectare e porcentagem em relação à área total da bacia são apresentadas Tabela 3.

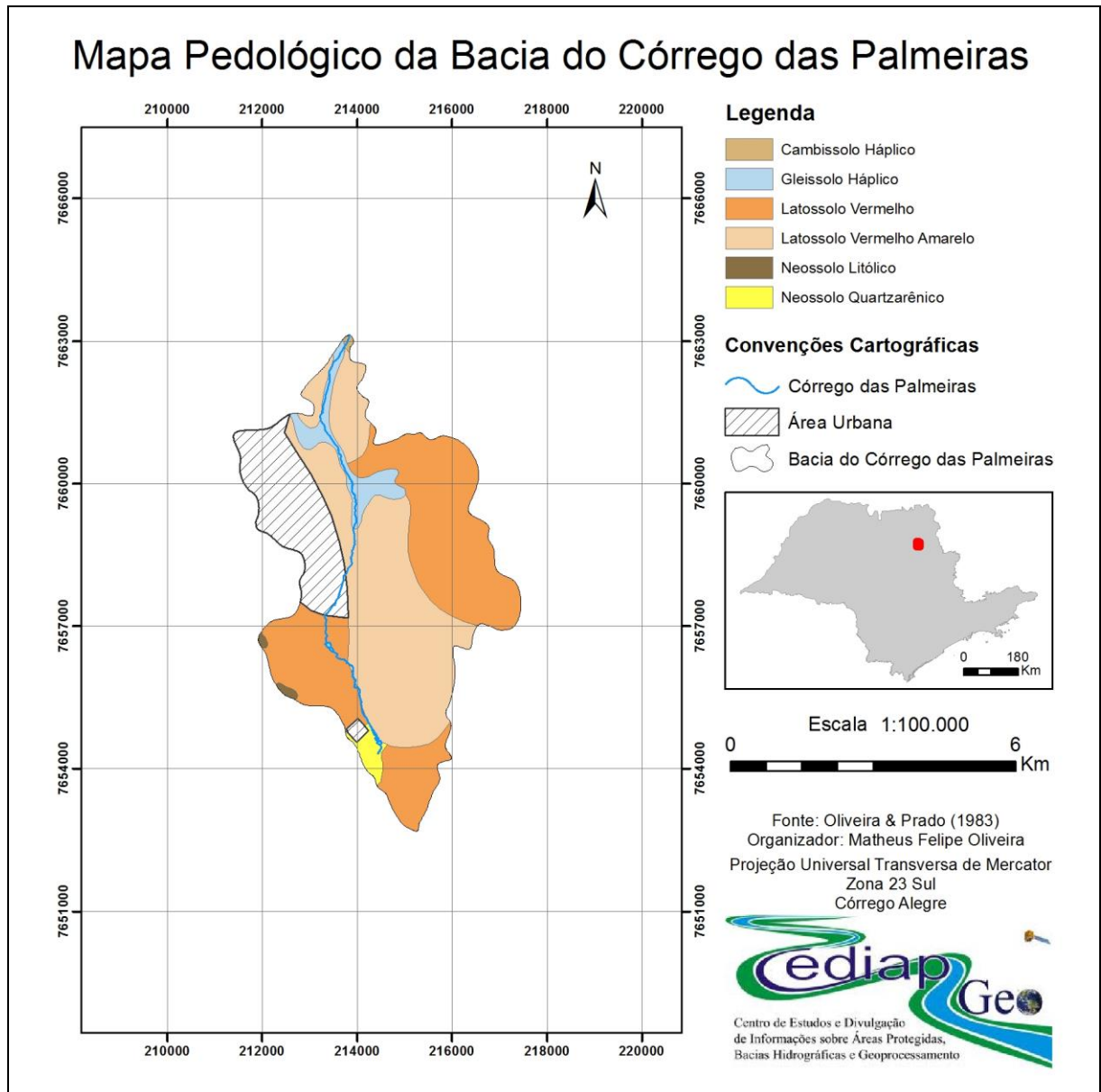


Figura 7- Mapa pedológico da bacia do córrego das Palmeiras.

Tabela 3 - Distribuição dos tipos de solo na bacia do córrego das Palmeiras

| Tipo de Solo | Área (ha) | % |
|----------------------------|------------------|---------------|
| Área Urbana | 491,12 | 15,65 |
| Cambissolo Háplico | 4,96 | 0,16 |
| Gleissolo Háplico | 149,42 | 4,76 |
| Latossolo Vermelho | 1227,96 | 39,14 |
| Latossolo Vermelho Amarelo | 1207,57 | 38,49 |
| Neossolo Litólico | 11,89 | 0,38 |
| Neossolo Quartzarênico | 44,71 | 1,43 |
| Total | 3137,64 | 100,00 |

A área urbana no período considerado ocupava uma área de 491,122 há, 15,65% da área total. O Cambissolo Háplico possui uma área de 4,96 há, correspondendo a 0,16% do total da bacia, e se encontra na foz do córrego das Palmeiras. O Gleissolo Háplico possui uma área de 149,42 há, correspondendo a 4,76% do total da bacia, e se encontra a jusante da bacia.

O Latossolo Vermelho ocupa a maior área, com 1227,96 ha, 39,14% do total, onde está distribuído a sudoeste, leste e sul da bacia. O Latossolo Vermelho Amarelo possui a segunda maior área, com 1207,57 ha, 38,49% do total, encontrando-se em grande parte na área central da bacia.

O Latossolo Vermelho Amarelo segundo Almeida, Santos e Zaroni (s.d.),

apresentam algumas limitações de ordem química em profundidade ao desenvolvimento do sistema radicular se forem álicos, distróficos ou áricos. Em condições naturais, os teores de fósforo são baixos, sendo indicada adubação fosfatada. Outra limitação ao uso desta classe de solo é a baixa quantidade de água disponível às plantas.

Estes solos tem bastante variação em sua fertilidade natural, sendo predominantemente distróficos e álicos. (KER, 1997)

Essa baixa fertilidade do Latossolo Vermelho Amarelo concentrada na zona leste da cidade fez com que as terras dessa região tivessem seu valor imobiliário desvalorizado em relação aos solos argilosos provenientes da formação Serra Geral, que se concentram a oeste no município.

O Neossolo Litólico possui 11,89 ha, 0,38% do total, se concentrando em uma pequena parcela no sudoeste da bacia. O Neossolo Quartzarênico possui uma área de 44,71 ha, 1,43% do total da área, localizado a montante da bacia.

Devido sua grande fragilidade, os Neossolos Litólicos deveriam ser mantidos como reserva natural, porém é comum encontrar nestes solos áreas de reflorestamento e pastagem, ou mesmo culturas como a cana de açúcar. (OLIVEIRA, 2005)

De acordo com Oliveira (2005, p. 544)

[...] os Neossolos Quartzarênicos, são muito permeáveis e, apesar de poderem apresentar espessa zona de aeração, sua baixa capacidade adsorviva facilita a lixiviação profunda de produtos tóxicos e metais pesados e, conseqüentemente, a contaminação do lençol freático.

Estudos realizados por Boeira e Souza (2004) na bacia do córrego Espriado em Ribeirão Preto apontaram uma baixa capacidade de adsorção e intensa dessorção em Neossolo

Quartzarênico do herbicida diuron, agrotóxico muito utilizado em culturas de cana de açúcar. Há o cultivo de cana de açúcar em Neossolo Quartzarênico na bacia e também em seu entorno, onde a declividade favorece o escoamento em direção a esta classe de solo.

5.1.4 Declividade da Bacia

O mapa de declividade apresentado na Figura 8 foi gerado de acordo com as classes propostas por Lepsch *et al.* (1983). Conforme apresentado na Tabela 4, a classe de declive que vai de 6-12% corresponde a 30,65% da área total da bacia, sendo a classe com maior área. A segunda classe de declive em área ocupada é a classe com intervalo de 12-20%. A terceira ocupa em área 15,57%, correspondendo a classe com intervalo de 20-40%. A quarta ocupa em área 11,96%, correspondendo a classe de intervalo 3-6%. A quinta ocupa em área 10,00%, correspondendo a classe com intervalo de 0-3%. A sexta, representando a menor área em relação ao total da bacia, com 1,65%, corresponde a classe de declive com intervalo de 40-100%.

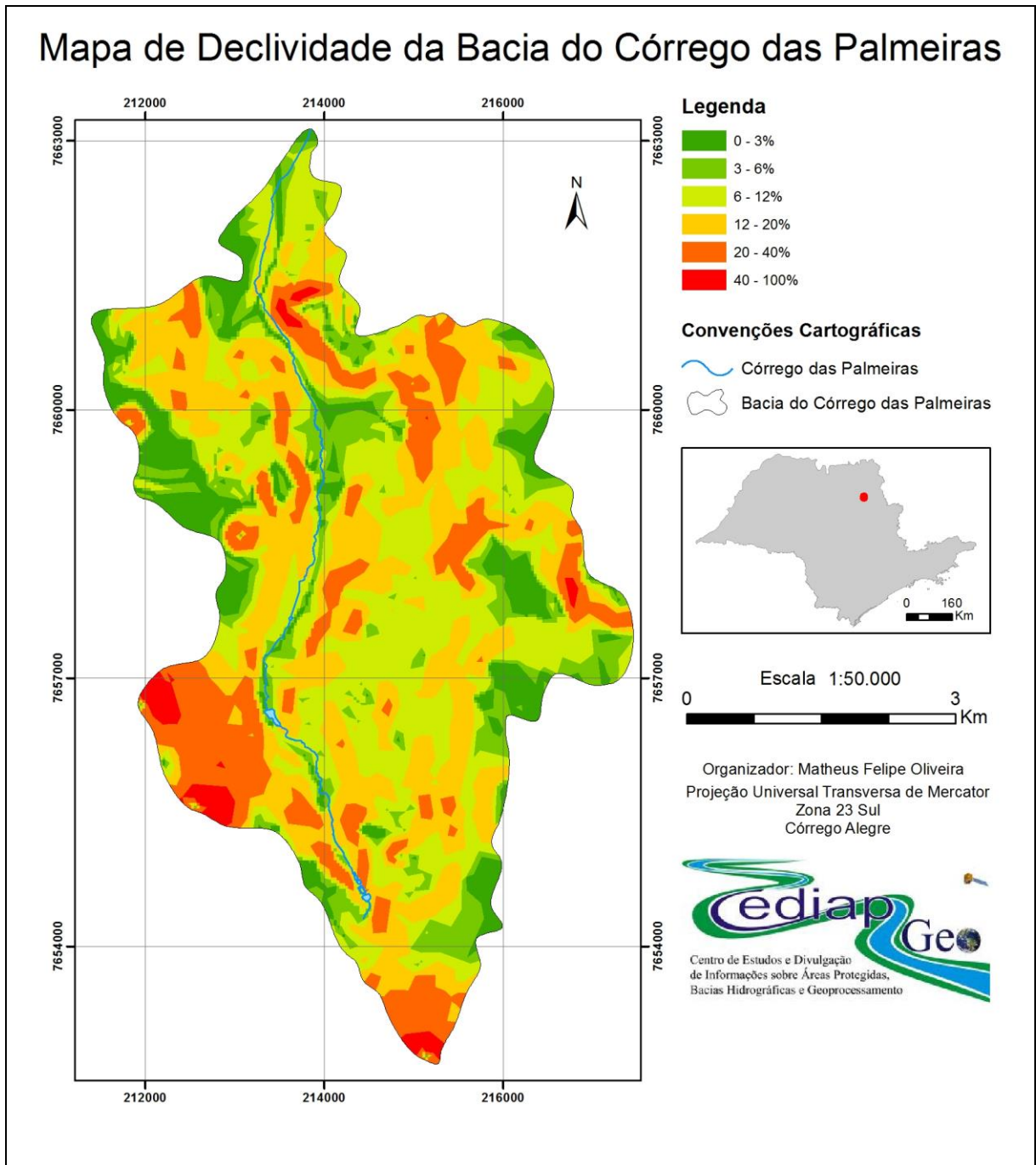


Figura 8 - Mapa de declividade da bacia do Córrego das Palmeiras.

Tabela 4 - Distribuição das classes de declividade na bacia do Córrego das Palmeiras.

| Classe de Declividade | Relevo | Área (ha) | % |
|------------------------------|------------------------|------------------|------------|
| 0 - 3% | Plano | 313,91 | 10 |
| 3 - 6% | Suave Ondulado | 375,41 | 11,96 |
| 6 - 12% | Moderadamente Ondulado | 946,4 | 30,16 |
| 12 - 20% | Ondulado | 961,81 | 30,65 |
| 20 - 40% | Forte Ondulado | 488,4 | 15,57 |
| >40% | Montanhoso | 51,7 | 1,65 |
| Total | | 3137,64 | 100 |

A predominância do relevo moderadamente ondulado e ondulado é favorável a infiltração de água no solo, porém, favorece a ocupação dessas áreas que acabam por impermeabiliza-las.

5.1.5 Uso e Ocupação do solo na bacia

A série temporal realizada através da classificação dos usos nos anos de 2003 e 2013 teve um importante papel na compreensão dos avanços e recuos dos usos sua relação com o meio em que se encontra, caracterizado por graus de vulnerabilidade alto e extremo conforme o apresentado. Através da utilização de SIGs foram obtidos os mapas apresentados na Figura 9 e Figura 10, contribuindo para a avaliação dos avanços e recuos nos usos do solo.

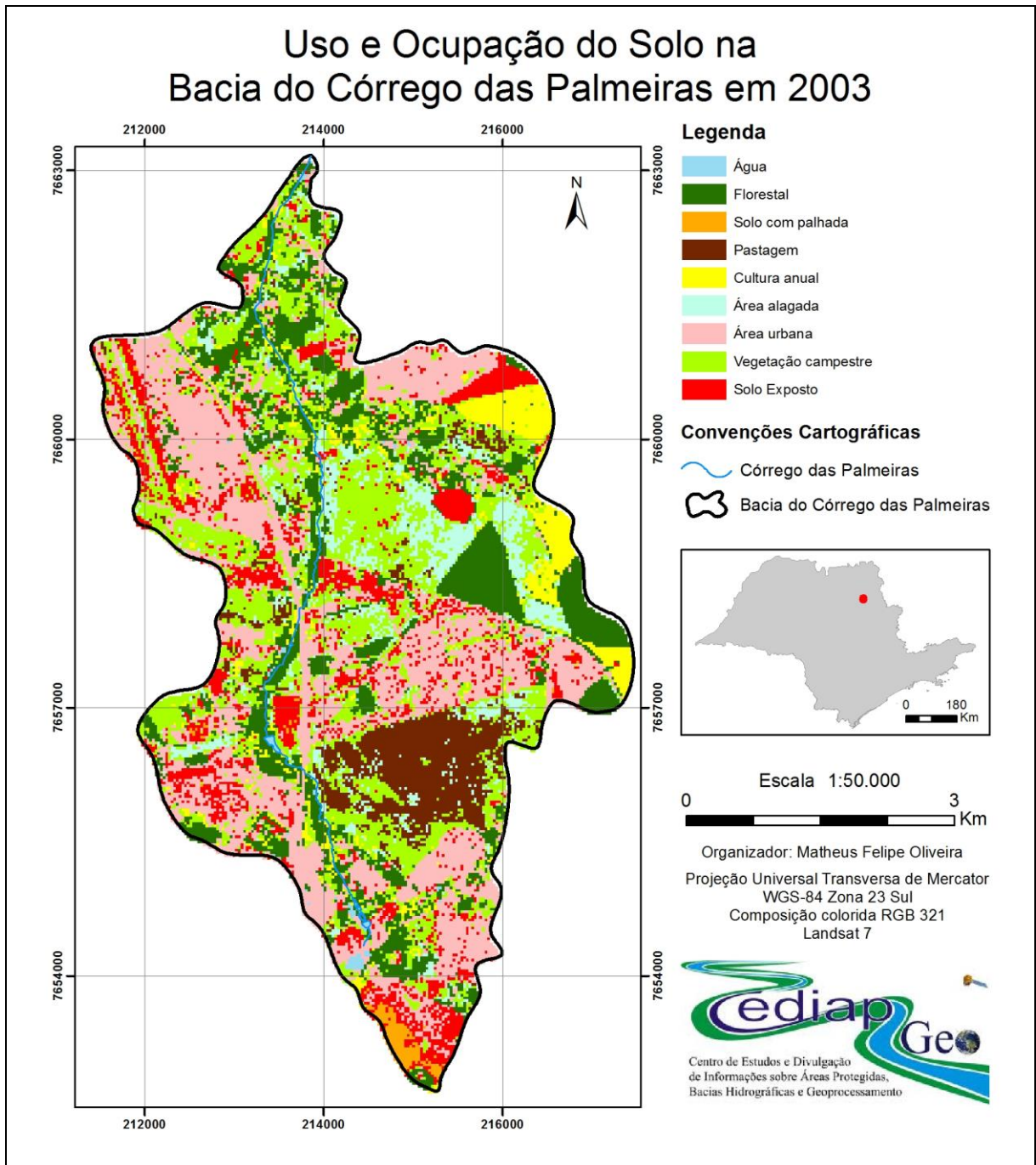


Figura 9 - Uso e ocupação do solo na bacia do córrego das Palmeiras em Ribeirão Preto no ano de 2003.

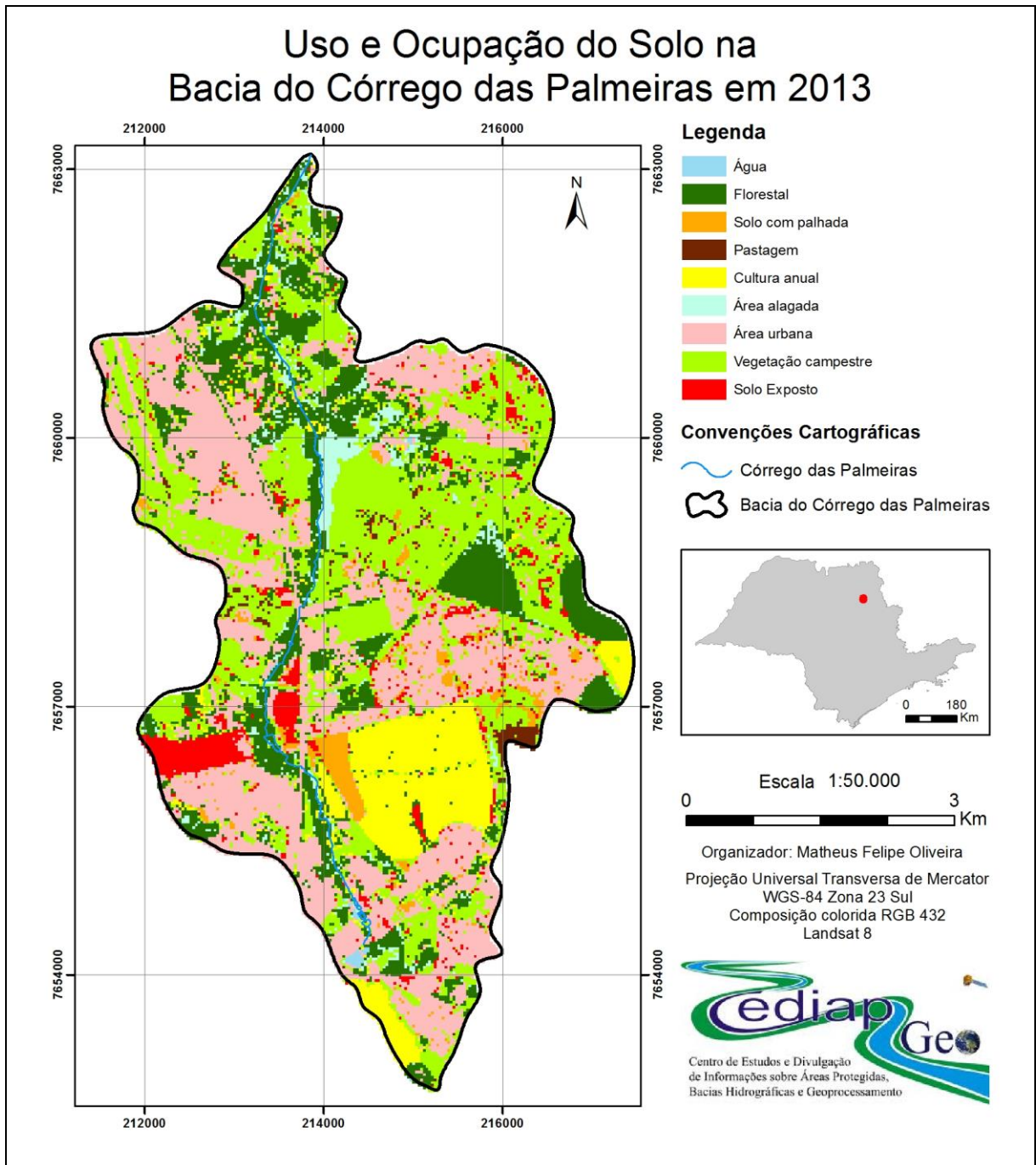


Figura 10 - Uso e ocupação do solo na bacia do córrego das Palmeiras em Ribeirão Preto no ano de 2013.

O SIG também contribuiu para estimar através dos gráficos da Figura 11 e Figura 12 as perdas e ganhos além da variação líquida por classes de uso.

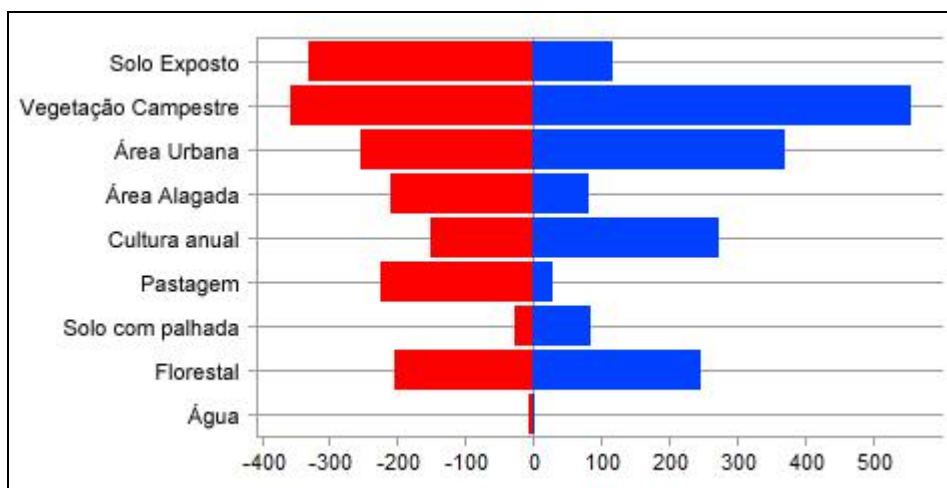


Figura 11 - Gráfico de perdas e ganhos em hectares entre 2003 e 2013.

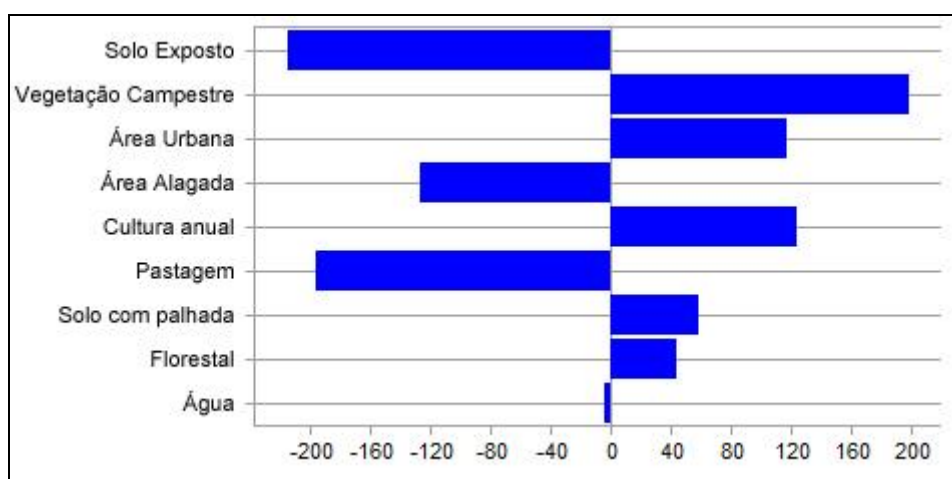


Figura 12 - Gráfico da variação líquida por classes de uso em hectares entre 2003 e 2013.

A redução da classe área urbana observada no gráfico da Figura 11 se explica pela baixa qualidade da imagem do Landsat 7, pois não houve de fato uma redução das infraestruturas urbanas.

Por meio da análise dos gráficos e dos mapas pode-se constatar um relativo aumento das áreas florestadas (8,14%); da área de solo com palhada (226,74%); de cultura anual (73,25%); de área urbana (13,46%); de vegetação campestre (28,25%); além da diminuição de solos expostos (-59,36%). Esses dados podem ser visualizados na Tabela 5.

Tabela 5 - Distribuição dos tipos de uso entre os anos de 2003 e 2013.

| Tipo de Uso | 2003 | 2013 | Variação Líquida (%) |
|---------------------|---------------|----------------|----------------------|
| | hectares | | |
| Água | 12,17 | 5,76 | -52,671 |
| Florestal | 532,09 | 575,38 | 8,14 |
| Solo com palhada | 26,14 | 85,41 | 226,74 |
| Pastagem | 235,04 | 33,64 | -85,69 |
| Cultura Anual | 169,03 | 292,86 | 73,25 |
| Área Alagada | 228,96 | 112,24 | -50,98 |
| Área Urbana | 854,3 | 969,33 | 13,46 |
| Vegetação Campestre | 712,42 | 913,7 | 28,25 |
| Solo Exposto | 367,49 | 149,32 | -59,36 |
| Total | 3137,6 | 3137,64 | |

Como as áreas mais vulneráveis da bacia se encontram sob o córrego das Palmeiras, o que acaba por ser um fator agravante, pois todo o escoamento superficial da bacia ocorre no sentido das áreas mais baixas, atingindo o curso hídrico. Sendo assim, a ocupação urbana da bacia tem como consequência a impermeabilização das áreas de recarga e o aumento do escoamento superficial, que juntamente com a ocorrência do cemitério Bom Pastor, postos de gasolina, indústrias, agricultura, residências sem saneamento, além de outras atividades já mencionadas, podem aumentar o risco a contaminação do aquífero.

O código florestal instituído pela Lei nº 4.777/65, estabelece um padrão de cursos hídricos com até 10 metros de largura uma faixa mínima de 30 metros de mata ciliar, que constitui uma Área de Preservação Permanente - APP. (BRASIL, 1965)

Com essa pressão crescente pela preservação dos cursos hídricos, pode-se observar no período analisado um acréscimo nas áreas florestadas, sobretudo nas margens do córrego das Palmeiras. Outra constatação deste acréscimo observa-se com a diminuição da classe água, ocorrida pela cobertura vegetal do córrego, dificultando sua detecção pelos sensores de satélite.

A redução na classe solo exposto e crescimento da classe solo com palhada se deve em grande parte pela adoção de práticas conservacionistas no preparo do solo.

Segundo Gomes (2011), a ampliação do cultivo de cana de açúcar resultou na diminuição de áreas de pastagem, culturas temporárias, café e cobertura residual, onde o município passou a apresentar no ano de 2000, uma cobertura vegetal natural de 3,9% distribuída em fragmentos. Este cenário fica evidenciado nas análises temporais onde destaca-

se a ampliação do cultivo de cana de açúcar e a redução das áreas de pastagem, porém, a partir de 2006, o quadro de diminuição de cobertura vegetal residual se reverteu.

A prática conservacionista de manejo do solo tem como consequência a redução na perda de nutrientes dissolvidos pela água da enxurrada ou aderido aos sedimentos. Por meio destas práticas, em especial o plantio direto, que mantém no solo a palha e outros restos vegetais, muitos atributos do solo são beneficiados, como a porosidade, que influencia na capacidade de infiltração de água. A abundância, a atividade e a diversidade dos organismos do solo tendem a ser maiores nesse tipo de sistema. (BRADY; WEIL, 2013)

A cultura de cana de açúcar é predominante na bacia do córrego das Palmeiras, onde foi possível observar avanços nas práticas conservacionistas a partir de dados obtidos do portal Canasat do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), projeto desenvolvido por Aguiar et al. (2011) que apresenta o monitoramento da colheita de cana de açúcar com base em imagens de sensoriamento remoto, com o objetivo de avaliar a eficácia do Protocolo “Etanol Verde” que visa encaminhar o fim da prática da colheita com queima até 2014.

Através destes dados, pode-se constatar mudanças ocorridas no período de 2006 e 2012 em relação ao plantio direto, com a manutenção da palha e restos vegetais, colheita crua, e das práticas convencionais, realizada pela colheita com queima. No município de Ribeirão Preto até 2006 predominava a colheita com queima, 53,8%, enquanto em 2012 esse número passou para 27,7%. Já a colheita crua cresceu de 46,2% em 2006 para 72,3% em 2012.

O aumento da classe de cultura anual na bacia do córrego das Palmeiras, com predominância do cultivo da cana-de-açúcar, apresenta um grande risco no que se refere a contaminação por agrotóxicos, em especial os herbicidas, muito utilizado no plantio desta cultura, principalmente no início do plantio direto no controle de ervas daninhas.

Na bacia há o risco de contaminação por herbicidas em áreas cobertas por Neossolo Quartzarênico, solo que possui uma alta dessorção, como constatado por Boeira e Souza (2004) na bacia do córrego do Espraiado em Ribeirão Preto. Além da declividade do cultivo de cana de açúcar a montante da bacia que favorece o escoamento em direção ao Neossolo Quartzarênico, há ainda seu cultivo em 3,33ha neste solo, apresentando um risco direto de contaminação do lençol freático nas áreas de recarga do aquífero.

No trabalho de Ferreira (1992) consta a necessidade de providências em relação ao uso de defensivos agrícolas, considerado pelo autor como a mais perigosa fonte de contaminação dos aquíferos.

O aumento das práticas conservacionistas de manejo do solo constatado na bacia, implica na utilização de herbicidas para o controle de ervas daninhas, representando um agravante para o problema da utilização de agrotóxicos.

A nordeste da bacia, as lavouras da Fazenda da Barra foram substituídas por campos, onde se localiza atualmente o assentamento Mário Lago. Em 2003 a Fazenda da Barra foi ocupada pelo Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST), sendo decretada pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) para fins de reforma agrária em dezembro de 2004, considerada como grande propriedade improdutivo. (BELLENTANI, 2010)

O assentamento faz parte do Projeto de Desenvolvimento Sustentável do INCRA, que tem como objetivos garantir o manejo ecológico e sustentável da terra em contrapartida ao modelo tradicional de agricultura, sendo realizado por meio de estratégias produtivas e organizativas que levam em conta a recuperação do meio ambiente. (BELLENTANI, 2010)

Esse assentamento está baseado nos moldes “Comuna da Terra”, idealizado pelo MST, que inviabiliza a prática do arrendamento e prevê que 35% da área seja reservada para matas (reserva legal) juntamente com a produção agrícola ecológica. (BELLENTANI, 2010)

Em contrapartida, o assentamento possui fossas sépticas e a baixa declividade é um fator que dificulta a chegada do esgoto ao córrego, o que pode potencializar a contaminação do aquífero. (CARNEIRO et al., 2009)

Houve um significativo aumento de 13,46% na área urbana da bacia, representando um risco devido à impermeabilização do solo, que impede cada vez mais a renovação do Sistema Aquífero Guarani (SAG).

5.1.2 Vulnerabilidade Natural das águas subterrâneas na bacia

O mapa de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas contribui avaliação das áreas de maior risco a contaminação das águas subterrâneas servindo como um importante instrumento na tomada de decisões para o planejamento e gestão das áreas de recarga do aquífero Guarani em Ribeirão Preto. Através do método GOD, resultado da justaposição dos mapas de ocorrência dos estratos de cobertura (Figura 13), grau de confinamento da água subterrânea (Figura 14) e de grau de distância da água subterrânea à superfície do terreno (Figura 15), foi elaborado o mapa de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas (Figura 16), identificando as áreas com maior risco a contaminação.

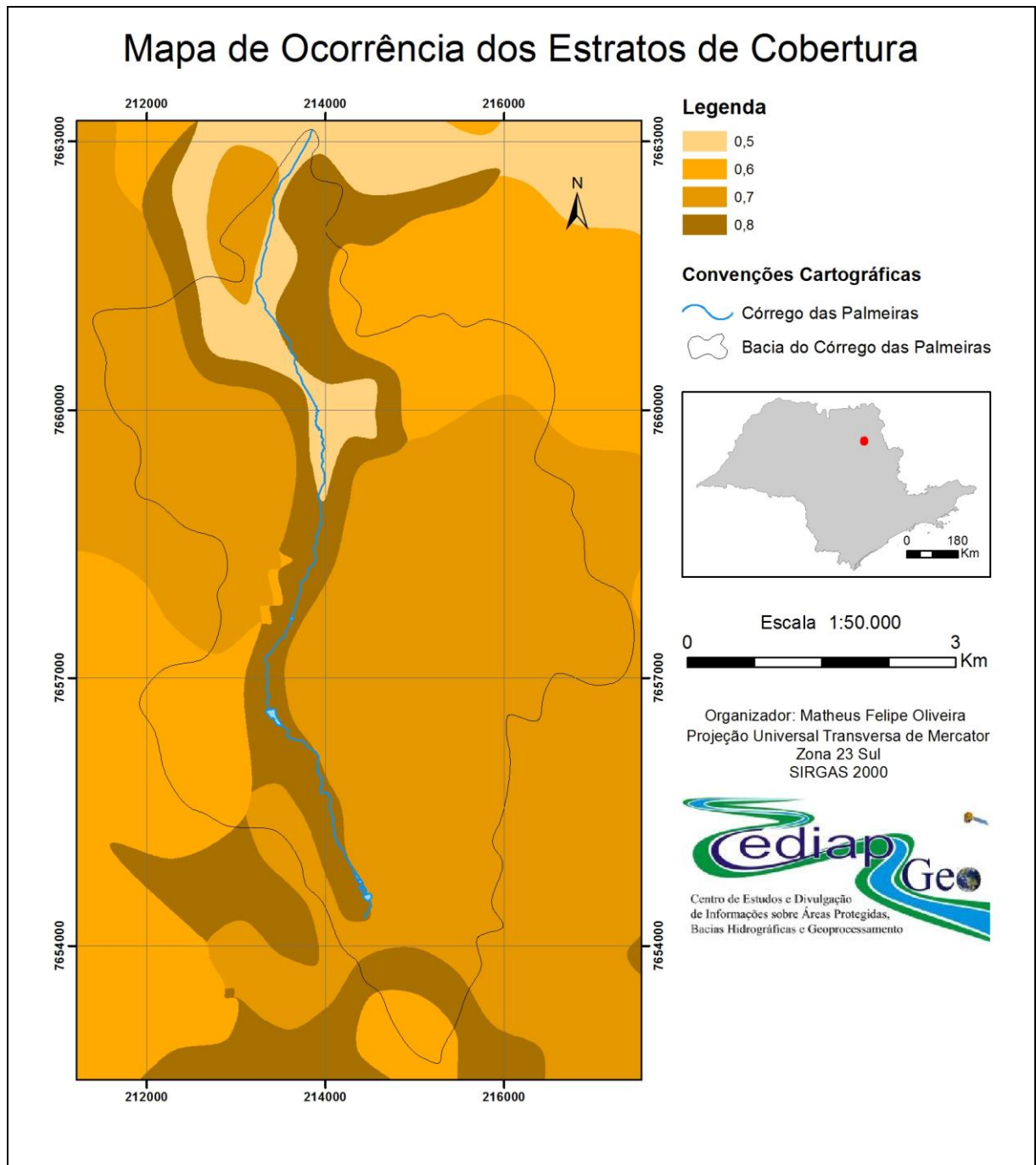


Figura 13 - Mapa de Ocorrência dos Estratos de Cobertura.

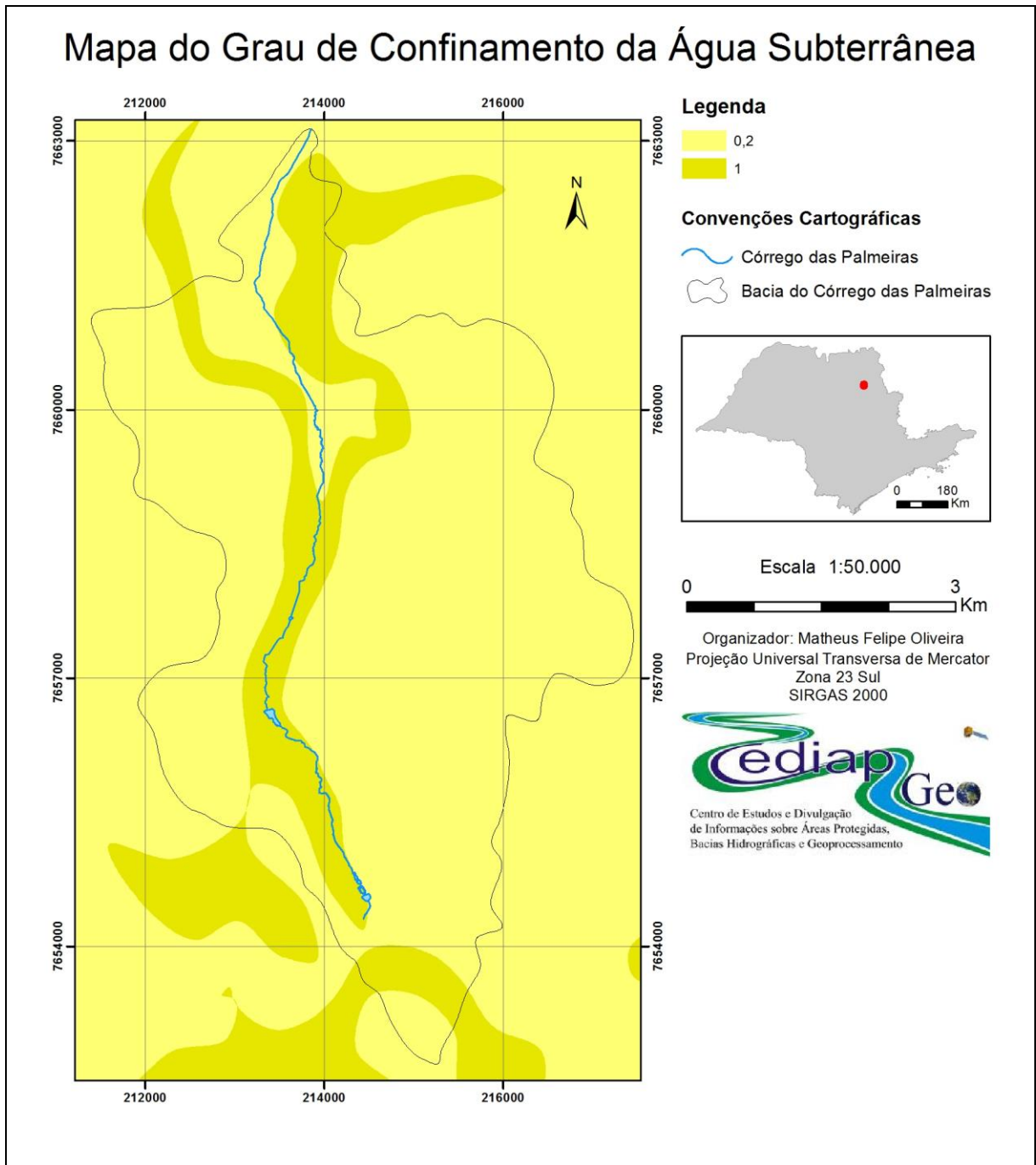


Figura 14 - Mapa do Grau de Confinamento da Água Subterrânea.

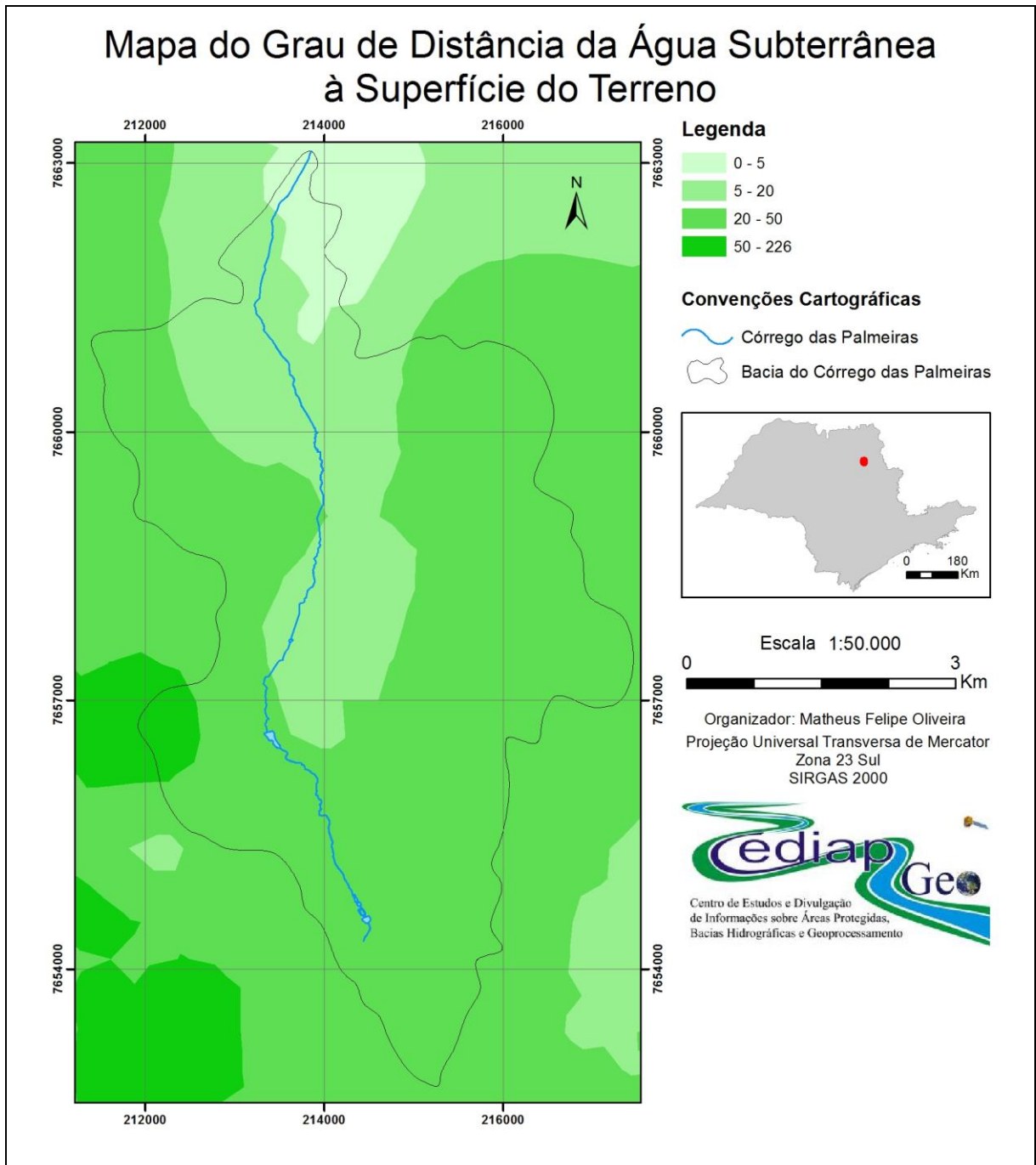


Figura 15 - Mapa do Grau de Distância da Água Subterrânea à Superfície do Terreno.

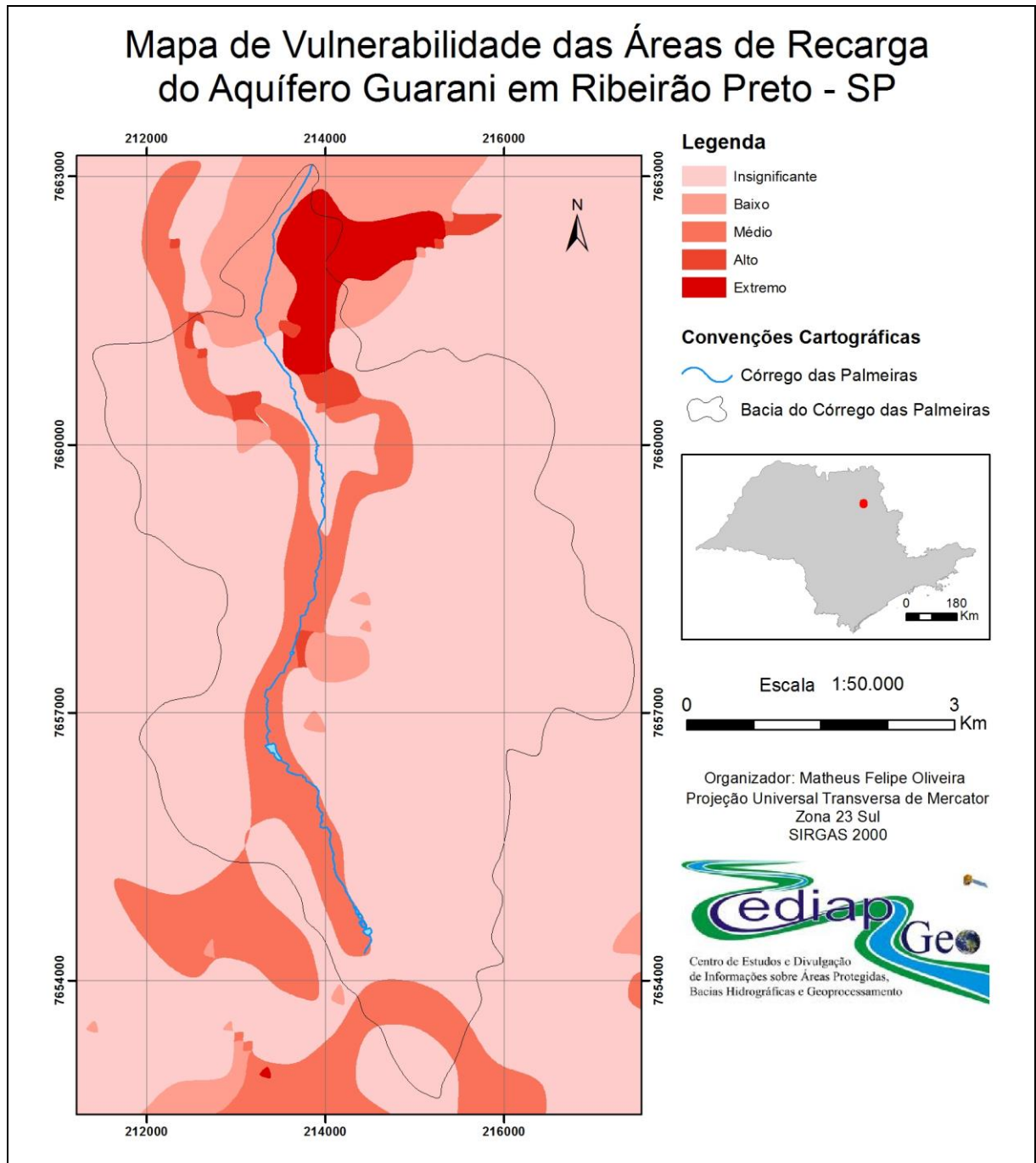


Figura 16 - Mapa de Vulnerabilidade Natural das áreas de recarga do Aquífero Guarani.

O mapa de vulnerabilidade das áreas de recarga do aquífero Guarani demonstra que a maior fragilidade se encontra nas margens, no leito e na foz do córrego das Palmeiras, o que representa um alto risco devido aos fatores topográficos, na qual todo escoamento da bacia converge para estes locais podendo assim causar a contaminação do lençol freático.

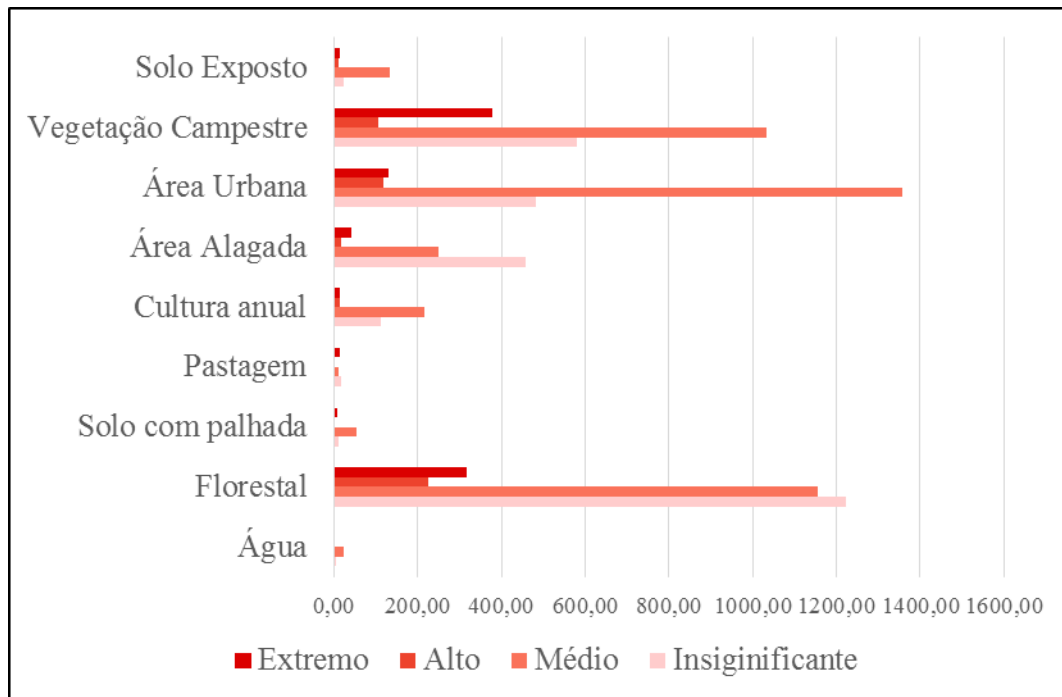


Figura 17 - Gráfico de distribuição do uso da terra segundo as classes de vulnerabilidade em hectares.

A partir da tabulação cruzada entre o Mapa de Uso e Ocupação do Solo no ano de 2013 e o Mapa de Vulnerabilidade das áreas de recarga Aquífero Guarani, obteve-se a área em hectares dos tipos de usos em áreas de vulnerabilidades extrema, alta, média e insignificante.

Descartando a classe insignificante temos que o uso florestal ocupa 315,53 hectares em áreas de extrema vulnerabilidade, 223,87 hectares em áreas de alta vulnerabilidade e 1154,59 hectares em áreas de média vulnerabilidade, totalizando 1693,99 hectares. Já a vegetação campestre ocupa 377,81 hectares em áreas de vulnerabilidade extrema, 105,76 hectares em áreas de vulnerabilidade alta e 1034,14 hectares em áreas de vulnerabilidade média, totalizando 1517,71 hectares. De acordo com Follman e Foletto (2013):

[...] a existência de Áreas de Preservação Permanente, de Unidades de Conservação e áreas verdes em centros urbanos vai sempre contribuir no processo de infiltração da água. A vegetação presente nessas áreas tem a capacidade de retenção de poluentes e facilita a infiltração da água para que o ciclo hidrológico seja regularizado, permitindo o processamento de água para os mananciais subterrâneos.

A área urbana ocupa 1605,26 hectares distribuídos em 129,27 hectares em áreas de vulnerabilidade extrema, 118,69 em áreas de vulnerabilidade alta e 1357,30 em áreas de vulnerabilidade média, descartando-se a vulnerabilidade insignificante. Estes números representam um alto grau de ocupação urbana, o que aumenta os riscos de contaminação das águas subterrâneas e impermeabilização das áreas de recarga, apresentando graves consequências caso urbanização continue a se expandir.

5.2 O aquífero Guarani em Ribeirão Preto

5.2.1 Projeto Piloto

A situação crítica do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto resultou na implantação de um Projeto Piloto por meio da Resolução nº 7/2003 do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Pardo, coordenado pelo Grupo de Apoio do Projeto Piloto Aquífero Guarani, na qual acompanhavam a execução do projeto, auxiliavam com a proposição de medidas e dispositivos legais para a proteção do Aquífero e o disciplinamento da utilização das águas subterrâneas além de coordenar o programa de comunicação social e educação ambiental na região (VILLAR, 2008).

O projeto destaca a importância da qualidade e quantidade das águas além das áreas de afloramento, devida sua alta vulnerabilidade natural e pela sua facilidade de exploração. Apesar de não terem sido encontrados processos significativos de contaminação, o projeto faz o alerta para a área urbana e rural devido à alta vulnerabilidade e a pressão de contaminantes das atividades presentes nestes locais.

Através de dados da CETESB (2012), foi elaborado o mapa da Figura 18 que apresenta a relação de áreas contaminadas no município de Ribeirão Preto, excluindo-se as áreas já reabilitadas. A atividade com maior incidência de contaminação são os postos de gasolina e o meio mais impactado são as águas subterrâneas.

Os pontos indicados como área contaminada representam as áreas onde foram realizadas avaliações de risco na qual foram constatadas quantidades ou concentrações de matéria que causam ou possam causar danos a saúde humana, devendo ser implantadas intervenções segundo as seguintes opções: medidas de remediação, medidas de controle institucional e medidas de controle de engenharia.

Os pontos identificados como áreas contaminadas sob investigação apresentam contaminação comprovada, na qual estão sendo realizados procedimentos para determinar a

extensão da contaminação e identificar a existência de possíveis receptores, avaliando também se há riscos à saúde humana.

Os pontos identificados como em processo de monitoramento para recuperação é descrita como local na qual foram implementadas medidas de intervenção onde as metas de remediação definidas foram atingidas, ou na qual os resultados de avaliação de risco indicam que não existe a necessidade de implantação de nenhum tipo de intervenção que indique a área como apta para o uso declarado, estando assim em processo de monitoramento para encerramento.

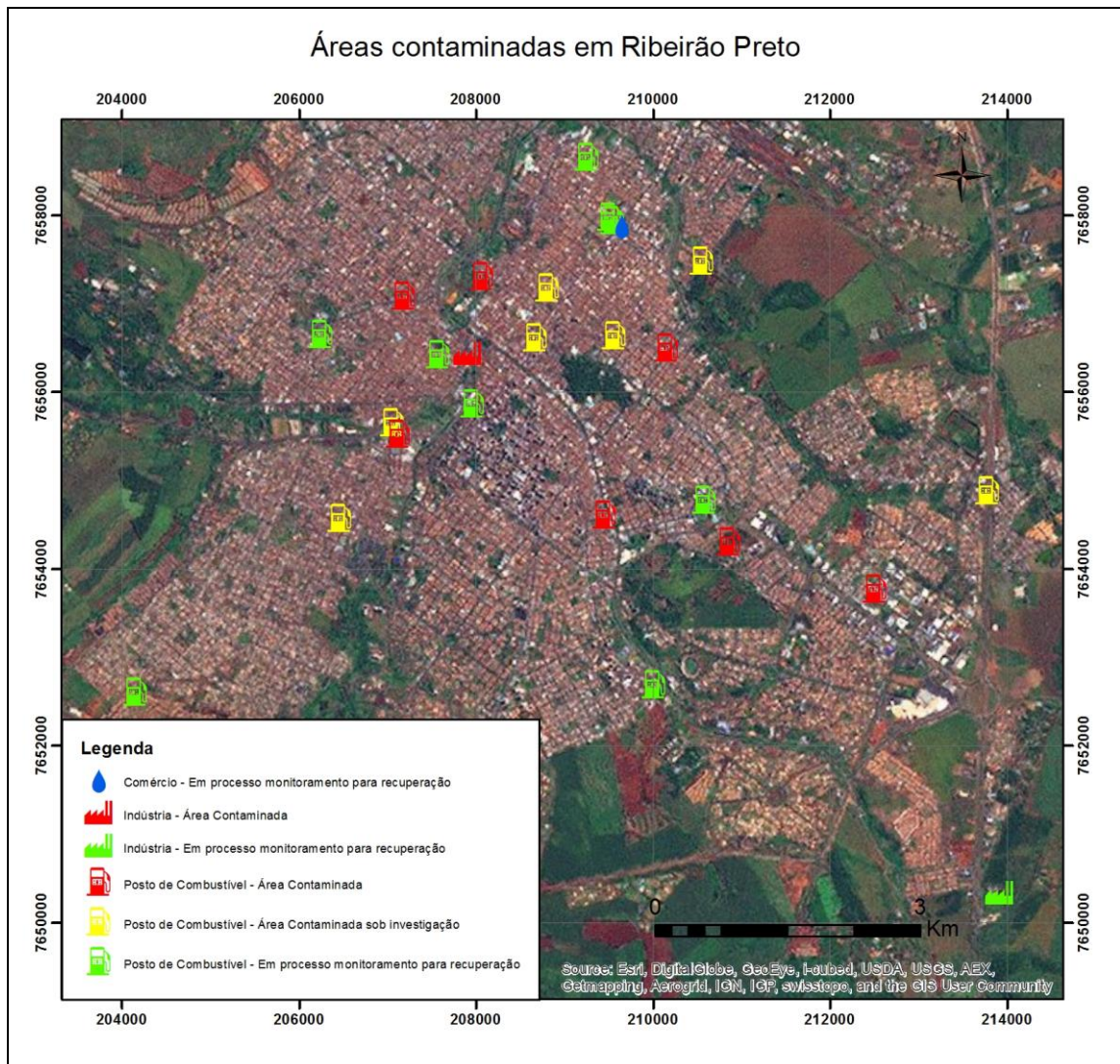


Figura 18 - Áreas contaminadas em Ribeirão Preto.

Fonte: CETESB (2012). Organizado por: OLIVEIRA (2013)

O Projeto Piloto estimula em seu texto a adoção de medidas mitigadoras como a diminuição do consumo por meio da redução de perdas no sistema, consumo racional por parte da população, aumento de tarifas e exploração de fontes hídricas alternativas no médio e longo prazo.

5.2.2 Políticas Públicas

O crescimento econômico ocorrido entre as décadas de 1970 e 1990 impulsionado pelo setor sucroalcooleiro ocasionou o fenômeno da segregação sócioespacial, com a ocupação irregular do solo por parte da população excluída, que se deu de forma ilegal ou clandestina nas periferias da cidade, afastando os moradores do mercado de trabalho e do mercado privado legal de unidades habitacionais (Villar, 2008).

Segundo Villar (et al., 2009, pg. 70),

Os principais riscos decorrentes do processo de urbanização estão relacionados à falta de planejamento para a ocupação do solo urbano, com altas densidades de ocupação de muitos empreendimentos e, conseqüentemente, a impermeabilização excessiva do solo, bem como aos riscos de contaminação das águas devido à deposição irregular de resíduos sólidos e problemas no sistema de saneamento.

O município de Ribeirão Preto segundo Gomes (2011),

vem se expandindo rapidamente e se espalhando sobre espaços cada vez mais distantes da área urbana, formando inúmeros vazios urbanos, sobretudo pela ação da especulação imobiliária e pela conseqüente valorização desigual do espaço urbano.

Sem um planejamento, a expansão desordenada da malha urbana gerou espaços urbanos vazios, beneficiando na zona sul o surgimento de condomínios de alto padrão, com infraestrutura e serviços, em detrimento de bairros e ocupações com pouca ou nenhuma infraestrutura, localizados principalmente nas zonas norte e leste. Essa expansão estimulou a ocupação de áreas de recarga do Aquífero Guarani, que dentre outros problemas, cria uma densa impermeabilização que influencia nas taxas de infiltração e recarga, como ocorre em alguns empreendimentos densos como Jardim Ouro Branco, Jardim Helena, Jardim Palmeiras e o complexo Ribeirão Verde (Villar, 2009).

De acordo com Vilar (2008),

A Política Urbana municipal não considerou as áreas de recarga como incluídas nas Zonas de Proteção Máxima, conforme previsto na Deliberação CRH nº 18/98. Essa deliberação foi ignorada por desconhecimento ou por falta de regulamentação. São consideradas zonas de proteção máxima as áreas de preservação permanente, as várzeas e os remanescentes de vegetação natural e o seu uso é extremamente restrito.

Tal política municipal não poderia ser diferente, pois as áreas localizadas nas zonas de proteção máxima são protegidas por Leis Federais, com destaque ao Código Florestal. Isso não ocorre com as áreas de afloramento, cuja proteção é conferida de maneira precária por uma deliberação do CRH, que sequer foi apropriadamente delimitada para tornar-se aplicável.

O Código Municipal do Meio Ambiente prevê uma série de restrições às propriedades e suas atividades nas zonas de uso especial. As atividades são classificadas como compatíveis, não compatíveis ou passíveis de licenciamento, sendo segmentadas em saneamento, indústrias e prestação de serviços, ocupação urbana, atividade agrícola e proteção ambiental. Grande parte das atividades de serviços se enquadram em altos índice de risco, sendo proibidas nestas áreas: garagens e estacionamento de transportes de carga e coletivos; dragagem e terraplanagem; coletores de entulho (caçambeiros); jateamento de superfícies metálicas ou não-metálicas, exceto paredes; comércio de fogos de artifício; sondagens, fundações e perfurações do solo; e serviços de funilaria e pintura para automotivos diversos. (VILAR, 2008).

Um serviço não enquadrado neste código foi o de postos de abastecimento de combustíveis, que como já demonstrado neste trabalho através de dados da CETESB (2012), representam a atividade com maior incidência de contaminação às águas subterrâneas.

O Código Municipal do Meio Ambiente prevê ainda para a zona rural, a proibição do uso do fogo como manejo agrícola e condiciona o uso de defensivos agrícolas ao licenciamento ambiental (VILAR, 2008).

Apesar da práticas de queima sofrerem uma redução como apontam estudos de Aguiar et al. (2011) para a colheita de cana de açúcar (Tabela 6), elas ainda são presentes no município. Além disso, o uso de herbicidas é frequente, principalmente na cultura da cana de açúcar sob o as práticas de manejo de plantio direto, representado pela colheita crua.

Tabela 6 - Área colhida crua, com queima e total colhido em Ribeirão Preto.

| ano | crua (ha) | crua (%) | queima (ha) | queima (%) | total (ha) |
|------|-----------|----------|-------------|------------|------------|
| 2006 | 12.602 | 46.2 | 14.673 | 53.8 | 27.275 |
| 2007 | 14.633 | 55.4 | 11.790 | 44.6 | 26.423 |
| 2008 | 17.084 | 59.7 | 11.520 | 40.3 | 28.604 |
| 2009 | 17.307 | 62.8 | 10.234 | 37.2 | 27.541 |
| 2010 | 19.075 | 65.9 | 9.889 | 34.1 | 28.964 |
| 2011 | 20.111 | 72.2 | 7.739 | 27.8 | 27.850 |
| 2012 | 19.394 | 72.3 | 7.424 | 27.7 | 26.818 |

O art.62, III da Lei nº 2.157/07 e o art. 43, permite lotes na Zona de Urbanização Restrita com área mínima de 140m² e densidade máxima permitida de 850hab/ha respectivamente, representando uma falha legislativa na contenção do índice de impermeabilização do solo, na qual deveria ser de 10% por lote, comprometendo a recarga do aquífero (Villar, 2009).

Devido ao solo de qualidade inferior para agricultura, as terras a leste no município possuem um baixo valor, diferentemente dos solos argilosos da formação Serra Geral a oeste, o que faz com que seja um atrativo para moradores classe baixa influenciados pelos especuladores que se amparam na fraca atuação do poder público para a conservação desta área de grande vulnerabilidade natural.

A ocupação destas áreas e sua consequente impermeabilização geram riscos não só para a qualidade das águas subterrâneas e para os níveis hídricos, mas também podem agravar alguns problemas já existentes, como as enchentes na cidade.

Uma forma para contenção dessa especulação imobiliária seria a utilização de meios inibidores, que são

instrumentos mais fortes, cuja aplicação limita a margem de manobra dos agentes modeladores do espaço urbano. Exemplo são o parcelamento e a edificação compulsórios, o IPTU progressivo e a desapropriação – todos explicitamente previstos no Art. 182 da Constituição Federal, e que serviriam para inibir a especulação imobiliária. (SOUZA, p. 218)

A precipitação média da região é do valor de 1400mm/a, com parte escoando superficialmente e parte infiltrando no solo. Descontando a evapotranspiração e os mecanismos de escoamento subsuperficial, temos que a parcela que atinge a superfície livre é da ordem de 280mm/a. Esse valor, que corresponde cerca de 20% da precipitação, consiste na recarga direta, que retorna à superfície na forma de escoamento básico, garantindo perenidade aos rios. Dessa recarga direta, apenas uma parcela de 5% da precipitação total (70mm/a) permanece no subsolo contribuindo para a recarga profunda do Aquífero Guarani. Desse valor de recarga direta é que se tem a taxa de recarga renovável do sistema que está disponível para captação e distribuição para consumo público.

A área de Ribeirão Preto corresponde a 652 Km², concluindo assim que a recarga anual correspondendo a todo município é da ordem de 46.000.000 m³. Trata-se de uma estimativa simplificada, pois não distingue as diferentes ocorrências geológicas na região. Porém o valor obtido revela que a exploração atual é de quase duas vezes maior do que valor de renovação do sistema.

A avaliação da taxa de recarga foi executada através do modelo REGIS proposto pelo Dr. Christoph Kulls, onde foram utilizados dados hidrometeorológicos dos períodos de 1997 a 1999. As informações foram especializadas na coleção de mapas da Figura 19, onde foram obtidos valores de recarga que chegam a 250mm/ano. Valores superiores a 200mm/ano se concentram na zona leste, nas áreas de afloramento do Aquífero Guarani. Fica evidente a maior recarga generalizada no mês de janeiro. Na área de afloramento do Aquífero Guarani a recarga ocorreu do mês de novembro a março. Nos meses mais secos são observados pequenos eventos de recarga nestas áreas.

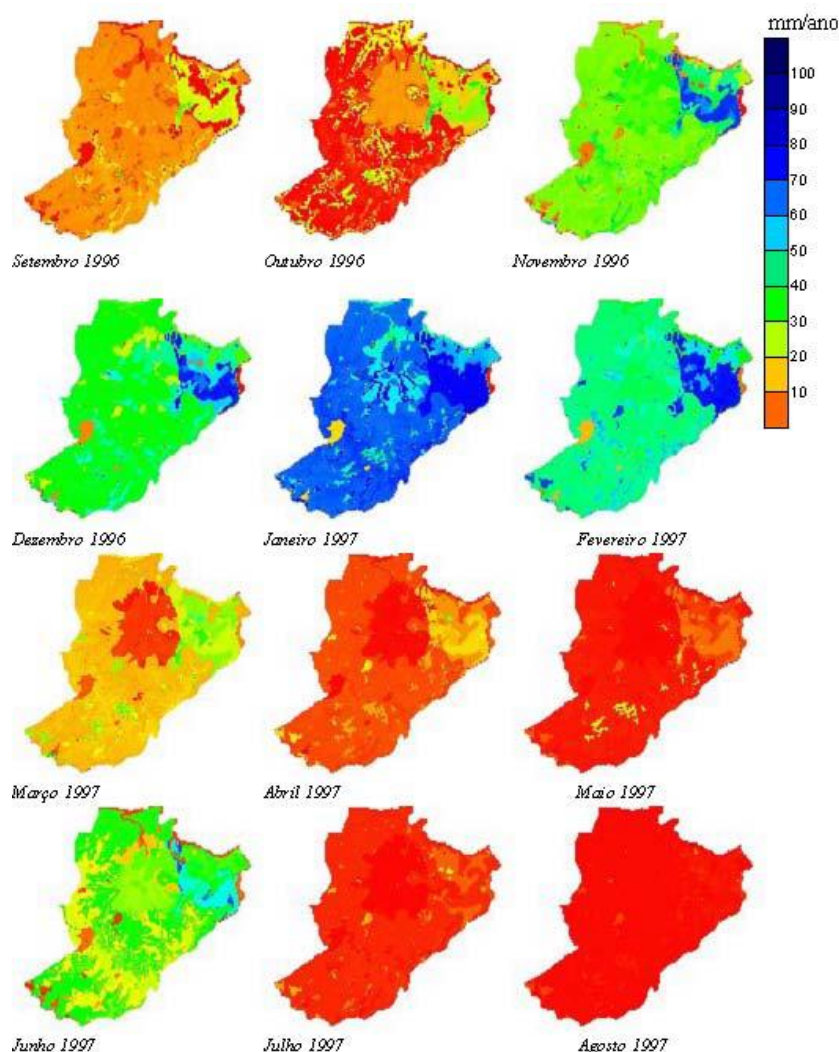


Figura 19 – Coleção de mapas mensais de distribuição da taxa de recarga para o período de setembro/1996 a agosto/1997 obtidos através da aplicação do programa REGIS.

Fonte: SÃO PAULO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE; STMUG/BAVIERA, 2004

As diferentes coberturas nesta área representam graves problemas que podem provocar a contaminação das águas subterrâneas.

A nascente do córrego das Palmeiras se encontra em área urbanizada, com alta densidade demográfica. Além do não cumprimento do Art. 4, IV da Lei 12.651/2012 que trata como Área de Preservação Permanente o entorno de nascentes em um raio mínimo de 50 metros, há o risco de contaminação através do esgoto doméstico.

Na região do Parque dos Lagos, há indícios de vazamento de esgoto, o que estaria causando o assoreamento das lagoas e provocando a contaminação do aquífero Guarani.

Poços são construídos de maneira irregular mesmo com outorga do DAEE, não obedecendo as normas da Associação Brasileira de Normas e Técnicas – ABNT (NBR 12.212

– Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea e NBR 12.244 – Construção de poço tubular para captação de água subterrânea), podendo vir a ser fontes pontuais de contaminação.

O descaso do poder público com a área também pode ser presenciado no conjunto habitacional Jardim Juliana “A”, que abrigava o antigo “Lixão” Jardim Juliana e se encontra na bacia do córrego das Palmeiras apresentando riscos a população instalada nos conjuntos habitacionais denominados Jardim Juliana “A”, Jardim Palmeiras I e II e Parque dos Servidores e às águas subsuperficiais.

De acordo com Olaia & Cordeiro (2005):

ficou comprovado que as construções estão situadas sobre as áreas que foram utilizadas para disposição do lixo (urbano, hospitalar, industrial, etc) da cidade de Ribeirão Preto que não apresentava sistemas de drenagem de gases e chorume. O local não possui nenhuma medida de saneamento necessária para tornar o local urbanizado, definindo assim como área contaminada.

A área a qual estão construídos os conjuntos habitacionais, e que foi utilizada pela Prefeitura de Ribeirão Preto para “lixão” situa-se sobre área de recarga do Aquífero Guarani.

Outra fonte que representa riscos para águas subterrâneas é o cemitério Bom Pastor. No cemitério, os caixões são enterrados diretamente no solo, correspondendo a 70% dos enterramentos no local, ampliando a potencialidade de contaminação das águas pela infiltração do necrochorume (OLAIA & CORDEIRO, 2005)

Segundo Olaia & Cordeiro (2005):

Os cemitérios são considerados fontes potenciais de contaminação, devido à decomposição de cadáveres durante a qual há enorme proliferação de microorganismos, entre os quais podem estar presentes os responsáveis pela “causa mortis”, isto é, bactérias e vírus que transmitem doenças. Como exemplo tem-se a Salmonella Typhi agente causador da Febre Tifóide e os Enterovirus, transmissores da Hepatite Infecciosa e Meningite. Estes microorganismos podem atingir o aquífero freático livre (águas subterrâneas de pequena profundidade), através dos líquidos provenientes da putrefação

dos corpos, onde as águas pluviais são fatores preponderantes neste processo.

Admitindo que as águas contaminadas fluam para a área externa ao cemitério e sejam captadas por poços rasos, as populações que fizerem uso dessas águas correrão sérios riscos de saúde.

Para implantação dos cemitérios, existem legislações como o CONAMA nº 368 e normas técnicas L1.040/99 da CETESB, das quais tratam dos cuidados referentes as águas subterrâneas e ao solo. A Política Urbana do município de Ribeirão Preto atualmente prevê restrições quanto a implantação de novos cemitérios nas Zonas de Uso Especial, que correspondem as áreas de recarga, visando não repetir os erros do passado.

Algumas fontes pontuais de cargas poluidoras se encontram na bacia, como fossas sépticas e negras, em locais sem infraestrutura de saneamento básico. É o da Favela Itápolis e das Favela da Mata, localizadas próximas ao loteamento Jardim Aeroporto. (OLAIA & CORDEIRO, 2005)

Segundo Villar (2009, p. 72), a Política Urbana Municipal prevê no art. 6º, III da Lei nº 2.157/07 cc. art. 84, parágrafo 1º do Código de Meio Ambiente que as áreas de recarga representam locais de grande vulnerabilidade e fragilidade, sendo classificadas como Zonas de Uso Especial (ZUE), garantindo assim a recarga do aquífero. O art.62, III da Lei nº 2.157/07 e o art. 43, permite lotes com área mínima de 140m² e densidade máxima permitida de 850hab/ha respectivamente, representando uma falha legislativa na contenção do índice de impermeabilização do solo, na qual a contenção deve ser de 10% por lote, comprometendo a recarga do aquífero.

No Complexo Ribeirão Verde, os lotes reduzidos, chegam muitas vezes a ter 100% de edificação, não permitindo a percolação para recarga do Aquífero Guarani como sugerido no EIA-RIMA do empreendimento determinado pela prefeitura (ENDO, 2005).

A densa ocupação destas áreas e sua conseqüente impermeabilização geram riscos não só para a qualidade das águas subterrâneas e para os níveis hídricos, mas também podem agravar problemas existentes, tais como as enchentes na cidade.

O Departamento de Água e Esgoto de Ribeirão Preto (DAERP) encaminhou para o Ministério das Cidades em abril de 2013 o projeto do sistema de captação e tratamento de águas superficiais do rio Pardo. O projeto de captação tem capacidade para tratar de 3m³ de

água por segundo, o que garantiria o abastecimento público de água para os próximos 30 anos.

O projeto enviado ao Ministério das Cidades ainda está em avaliação para obtenção de recursos do PAC 2 (Programa de Aceleração do Crescimento), destinado a investimentos em saneamento.

O município de Ribeirão Preto já obteve recursos do PAC 1 no montante de R\$21 milhões, e também da primeira fase do PAC 2, R\$39 milhões. O DAERP utiliza desses recursos para construção de reservatórios e adutoras, e para substituição de redes de distribuição.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Alguns avanços ocorreram na bacia do córrego das Palmeiras no sentido de preservar os recursos como o solo e a água, na qual foram destacados resultados positivos, como práticas conservacionistas e a manutenção da vegetação nativa, porém pouco foi feito em relação aos aspectos negativos que perduram a tempos nas áreas de recarga e que continuam a se multiplicar. O avanço da urbanização sobre estas áreas é um dos pontos negativos, pois o adensamento dessas áreas gera uma grande desafio, que é permitir a percolação de água de maneira adequada e sem riscos de contaminantes ao lençol freático.

As principais conclusões do trabalho foram:

- O foco principal das políticas públicas em grande parte não estão voltadas para a manutenção das áreas de recarga com pensamento no futuro, e sim voltadas para adoção de medidas paliativas com “solução” para os problemas atuais. Dessa forma, fica comprometida a renovação do sistema com prejuízos para a capacidade de abastecimento do município de Ribeirão Preto através do aquífero Guarani.
- As políticas públicas de Macrozoneamento Ambiental e Macrozoneamento Urbanístico apresentam sérias falhas em relação a manutenção e preservação das áreas de recarga do aquífero Guarani permitindo sua ocupação de forma adensada.
- As áreas que variam de vulnerabilidade alta a extrema situam-se nas margens, no leito e na foz do córrego das Palmeiras, representando assim um agravante em relação aos contaminantes provenientes de postos de gasolina, do cemitério Bom Pastor, agrotóxicos, fossas sépticas, entre outros, que convergem de acordo com o relevo para estas áreas.

- O geoprocessamento através da utilização de SIGs e imagens de Sensoriamento Remoto contribuiu com técnicas que possibilitaram a realização de uma análise integrada dos componentes do meio natural e antrópico, gerando produtos cartográficos que poderão ser utilizados para discussão em trabalhos futuros.

O projeto piloto Ribeirão Preto contribuiu em grande parte para a coleta de informações e para a tomada de diversas medidas de alerta ao poder público e a população sobre os riscos ao Sistema Aquífero Guarani e suas consequências para a sociedade. Porém o trabalho buscou demonstrar que as áreas de recarga ainda se encontram fora de muitos projetos e legislações relacionados ao Aquífero Guarani, e quando se encontram, estão muito aquém do que se espera para preservação deste meio natural altamente fragilizado e de extrema importância para o futuro do município. Sendo Ribeirão Preto um importante centro econômico e referência do agronegócio brasileiro, seu crescimento é acelerado e suas consequências são agravantes.

Espera-se que o trabalho possa contribuir para a tomada de medidas que visam proteger as áreas já ocupadas e que se evite a ocupação de novas áreas de recarga, porém quando ocupadas, que ocorram de maneira sustentável, adotando a visão sistêmica empregada no trabalho.

7 REFERÊNCIAS

AGUIAR, D. A. et al. Remote Sensing Images in Support of Environmental Protocol: Monitoring the Sugarcane Harvest in São Paulo State, Brazil. **Remote Sensing**, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/colheita.html>>. Acesso em: 20 Abr. 2013.

ALMEIDA, E. D. P. C.; SANTOS, H. G. D.; ZARONI, M. J. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Latossolos Vermelho-Amarelos**, s. d. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000g05ip3qr02wx5ok0q43a0r3t5vjo4.html>. Acesso em: 9 Mai. 2013.

ALMEIDA, F. F. M. et al. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, v. 1, 1981. 126 p.

BELLENTANI, N. F. **Indicadores de desenvolvimento humano no campo e na cidade - Ribeirão Preto, SP, 2010.** Disponível em: <http://www4.fct.unesp.br/pos/geo/dis_teses/10/nataliabeltentani.pdf>. Acesso em: 24 Out. 2012.

BRASIL. **Lei Federal 4.771**, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. Brasília: Presidência da República, 1965.

BOEIRA, R. C.; SOUZA, M. D. **Sorção de diuron em solos com diferentes texturas**, 2004. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/download/circular_9.pdf>. Acesso em: 20 Mar. 2013.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. **Aquífero Guarani, a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba: [s.n.], 2004.

BRANDÃO, V. S. et al. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006.

BREDY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Tradução de I F LEPSCH. 3. ed. Porto alegre: Brookman, 2013. 686 p.

CARNEIRO, R. M. A. **Relatório: Oficina Quapá-Sel Ribeirão Preto (SP) 25, 26 e 27 de Novembro, 2009**. Disponível em: <http://silviomacedo.files.wordpress.com/2011/01/22-relatc3b3rio_rib-preto-final-5out10.pdf>. Acesso em: 17 Out. 2012.

CETESB. **Relação de áreas contaminadas e reabilitadas**, 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/areas-contaminadas/2012/municipios.pdf>>. Acesso em: 2013 Out. 20.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARDO. Relatório de situação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas. **Grupo de Trabalho Permanente do Relatório Anual de Situação dos Recursos Hídricos e Plano de Bacia/UGRHI-04 Pardo - Ribeirão Preto**, 2012. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-PARDO/1658/relatorio%20situacao%202012.pdf>>. Acesso em: 2013 Ago. 13.

DAEE. Aplicações DAEE. **Pesquisa de Dados dos Recursos Hídricos**, s. d. Disponível em: <<http://www.aplicacoes.dae.sp.gov.br/usuarios>>. Acesso em: 14 Jun. 2012.

DEDECCA, C.; MONTALI, L.; BAENINGER, R. Pólo Econômico de Ribeirão Preto. **Estudos Regionais**, 2009. Disponível em: <<http://www.nepo.unicamp.br/simesp/Site/Estudos/RP.pdf>>. Acesso em: 30 Ago. 2012.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2013.

ENDO, R. M. **A formação da paisagem urbana do Complexo Ribeirão Verde**: uma proposta comunitária de educação ambiental, 2005. Disponível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/brc/33004137064P2/2005/endo_rm_me_rcla.pdf>. Acesso em: 27 Jun. 2012.

FERREIRA, S. **Estudo da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas na Região de Ribeirão Preto-SP**. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista(UNESP), 1992.

FOLLMAN, M. F.; FOLETO, E. M. Importância das áreas com vegetação na área de conservação natural do aquífero arenito basal Santa Maria, Santa Maria, RS. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 33, p. 37-51, 2013.

GOMES, M. A. S. Desvelando o mito da “Califórnia”: aspectos da desigualdade sócioespacial em Ribeirão Preto-SP. **Revista de Geografia - PPGeo**, 2011. Disponível em: <http://www.ufjf.br/revistageografia/files/2011/12/Revista_G9.pdf>. Acesso em: 30 Set. 2012.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Caracterização socioeconômica das regiões do Estado de São Paulo**: Região Administrativa de Ribeirão Preto, 2012. Disponível em: <http://www.planejamento.sp.gov.br/noti_anexo/files/uam/trabalhos/Ribeir%C3%A3o%20Prato.pdf>. Acesso em: 22 Mai. 2012.

HEALY, R. W. **Estimating groundwater recharge**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

IBGE. **Ribeirão Preto**: folha SF-23-V-C-I-1. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. Escala 1:50.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Pardo - Relatório Final**, 2000. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-PARDO/1523/relatorio_zero_cbh_pardo.pdf>. Acesso em: 07 Mar. 2012.

INSTITUTO GEOLÓGICO/SMA/SP, CETESB, DAEE. **Mapeamento da Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo: [s.n.], v. 1, 1997.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2008.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução de Pesquisadores do INPE. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JÚNIOR, L. M.; MAGNONI, M. G. Aquífero Guarani. **Ciência Geográfica**, Bauru, v. XIII, n. 1, p. 2-6, 2008.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 24, n. 68, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142010000100017&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 15 Jan. 2014.

LAURENTIIS, L. B. **Moradores em ação**: constituição da paisagem no bairro Ribeirão Verde em Ribeirão Preto - SP, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16135/tde-16072010->

133422/publico/MESTRADO_LAURA_BARZAGHI_DE_LAURENTIIS.pdf>. Acesso em: 8 Mai. 2012.

MATEO RODRIGUEZ, J. M. Planejamento ambiental como campo de ação da Geografia. In: 5º Congresso Brasileiro de Geógrafos. **Anais**. Curitiba/PR, 1994, p. 582-594.

MESTRINHO, S. S. P. Monitoramento em água subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C., et al. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2008. p. 673-686.

MOURA, A. C. M. Contribuições conceituais e metodológicas de geoprocessamento às análises ambientais. In: MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 2. ed. Belo Horizonte: [s.n.], 2005. Cap. 1, p. 5-54.

OAS/GEF. **Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible Integrado del SAG**. Montevideo: [s.n.], 2001.

OLAIA, F. M.; CORDEIRO, J. S. Análise e caracterização da urbanização na área de Recarga do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto. **XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste**, 2005. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23220/15331>>. Acesso em: 05 Mai. 2012.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 2. ed. Piracicaba: FELQ, 2005. 574 p.

OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo**: quadrícula de Ribeirão Preto. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1987. 133 p.

PERH. Programa Estadual dos Recursos Hídricos 2004-2007. Governo do Estado de São Paulo. **UGRHI 04 Pardo**, 2008. Disponível em: <http://www.comitespcj.org.br/images/Download/PERH/04-07_UGRHI-04.pdf>. Acesso em: 27 Set. 2011.

PIROLI, E. L. **Disciplina de geoprocessamento:** práticas em Idrisi – versão Taiga. Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos, 2010. 56 p.

PIROLI, E.L. **Introdução ao geoprocessamento.** Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos, 2010.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIBEIRÃO PRETO. **Plano Diretor**, 2013. Disponível em: <http://www.ribeiraopreto.sp.gov.br/splan/planod/audi_131107_proposta.pdf>. Acesso em: 28 Out. 2013.

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

SANTOS, M. M. **Gerenciamento dos Recursos Hídricos Subterrâneos:** Uso e potencial do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo (SP), 2009. Disponível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/brc/33004137036P9/2009/santos_mm_dr_rcla.pdf>. Acesso em: 23 Nov. 2011.

SANTOS, M. M.; CHANG, H. K.; KIANG, C. H. Uso atual do Sistema Aquífero Guarani na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (UGRHI 04) (SP) com o apoio de Geotecnologias. **Ciência Geográfica**, Bauru, v. XIV, n. 1, p. 84-90, 2010.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental:** teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SÃO PAULO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE; STMUG/BAVIERA. **Projeto Sistema de Informação para o Gerenciamento Ambiental do Recurso Hídrico Subterrâneo no Afloramento do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo.** São Paulo: Cooperação Técnica entre a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (Brasil) e a

Secretaria do Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção ao Consumidor do Estado da Baviera (Alemanha). CD-ROM (Relatório Técnico), 2004.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. Congresso Aquífero Guarani. **II Congresso Aquífero Guarani**, 2009. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/2_con_aqu_gua_02_02_09.pdf>. Acesso em: 29 Set. 2011.

SILVA, F. P. et al. Arcabouço geológico e hidrofacies do Sistema Aquífero Guarani, no município de Ribeirão Preto (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 1, 2008.

SOARES, P. C. et al. Geologia do nordeste do Estado de São Paulo. **Congresso Brasileiro de Geologia**, Aracaju, v. 1, p. 209-236, 1973.

SOUZA, M. L. **Mudar a cidade**: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanas. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

TAVARES, P. R. L. et al. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. **Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 62, n. 2, Junho 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672009000200015&lng=en&nrm=iso> Acesso em: 20 Mar. 2012.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. **Revista Geografia**, v. 28, n. 03, 323-344p., 2003. Disponível em: <<http://xa.yimg.com/kq/groups/1624466/1468771872/name/1035.pdf>> Acesso em: 05 Fev. 2014.

VILAR, P. C. **Gestão das Áreas de Recarga do Aquífero Guarani**: o caso do município de Ribeirão Preto, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/90/90131/tde-26052010-100627/>>. Acesso em: 30 Ago. 2011.

VILLAR, P. C.; NEPOMUCENO, O. Áreas de recarga de Ribeirão Preto e os riscos urbanos. **II Congresso Aquífero Guarani/Workshops**, Ribeirão Preto, v. 2, p. 70-74, 2008.

WOODCOCK, C. E. et al. Mapping forest vegetation using Landsat TM imagery and a canopy reflectance model. **Remote Sensing of Environment**, 1994. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90074-4](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(94)90074-4)>. Acesso em: 28 Mai. 2013.

ZANATA, M.; FLAVIO, J. J. P. Manejo da Bacia Hidrográfica e Importância da Mata Ciliar para Conservação do Solo e da Água. In: GALBIATTI, J. A.; CAVICHOLI, F. A.; BERTONHA, R. S. **Tópicos em Sustentabilidade Ambiental**. Jaboticabal: Funep, 2012. p. 135-148.