

ESTIMATIVA DA DIMINUIÇÃO DA ÁREA DE RECARGA DE UM AQUIFERO, COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS: O CASO DA CIDADE DE RIO CLARO - SP

Lucimari Aparecida Franco Garcia Rossetti¹; Jefferson Nascimento de Oliveira²; Sergio dos Anjos Ferreira Pinto³; Thiago Garcia da Silva Santim⁴; Rodrigo Braga Moruzzi⁵;

Resumo – Com o crescimento da área urbana da cidade de Rio Claro, região central do Estado de São Paulo, tornou-se imperativo o uso de um ferramental de maior precisão para o controle e análise dos pedidos de outorga para o uso da água subterrânea. Este trabalho quantificou a alteração da taxa de recarga de uma sub-bacia urbana do município de Rio Claro. Essa quantificação, foi obtida utilizando-se planilhas de cadastro do uso e ocupação do solo, cartas temáticas do tipo de solo e geologia da área. As etapas do trabalho foram: obtenção de dados de uso e ocupação do solo, análise das informações sobre a recarga e tipo de solo da área de estudo. O tratamento das informações com o SIG, proporcionou o desenvolvimento de uma ferramenta que possibilitará aos órgãos gestores, dos recursos hídricos, um caminho para tomadas de decisão quanto à urbanização futura do município.

Abstract - Using the mass account method, this study quantified the change in the infiltration's rate of urban watershed of the city of Rio Claro – SP. This quantification was done by using spreadsheets to register use and landscape of soil and thematic cards of the type of soil and geology of analyzed section. The work was divided into stages, being the first, the obtaining process data of use and landscape of soil, information's study about soil's type of studies area. The second step was the inclusion of such information in Excel spreadsheets in order to develop an easy tool for treatment and to allow the managers organs of water resources in a municipality to guidance relevant decisions taken in the setting of urbanization's rate, for example.

Palavras-chave: SIG, recarga subterrânea, urbanização, Rio Claro

¹ Centro de Análise e Planejamento Ambiental CEAPLA/IGCE/UNESP – Rio Claro. E-mail lucimari@rc.unesp.br

² Laboratório de Hidrologia e Hidrometria – LH² - Departamento de Engenharia Civil DEC- Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS) – UNESP – Campus de Ilha Solteira. Alameda Bahia, 550 – Norte, Caixa Postal 31 Ilha Solteira – SP. Brasil. CEP 15385000. e-mail: jeffno@dec.feis.unesp.br

³ Centro de Análise e Planejamento Ambiental CEAPLA/IGCE/UNESP – Rio Claro. E-mail sanjos@rc.unesp.br

⁴ LH² – DEC - FEIS– UNESP. e-mail: thiagosanto777@yahoo.com.br

⁵ Departamento de Planejamento Regional - DEPLAN/IGCE/UNESP – Rio Claro. E-mail rmoruzzi@rc.unesp.br

1 - INTRODUÇÃO

Devido ao elevado crescimento populacional urbano, torna-se cada vez mais difícil um desenvolvimento ordenado, o que é essencial para a prevenção de problemas na infra-estrutura, na economia, na sociedade e no meio-ambiente.

Com o aumento populacional passou-se a exigir uma maior demanda de recursos hídricos, tanto para a agricultura quanto para o abastecimento e o saneamento básico. O gerenciamento eficaz dos recursos hídricos é essencial para um uso sustentável destes.

Há muitas formas de gerir os recursos hídricos, para escolher a melhor deve-se analisar o momento e a situação em questão. Os problemas mais comuns para esta gestão, são a falta de informação para prognóstico, planejamento, organização e orientação de ações.

Nos últimos anos o número de cidades com mais de 50 mil habitantes, aumentou de forma significativa. Atrelado a esta expansão das áreas urbanas, podemos associar a redução da recarga difusa dos aquíferos, aumento das ilhas de calor, canalização de corpos d'água, ocupações de áreas inundáveis, e na área agrícola, a intensificação das práticas extensivas de cultivo.

Esses fatores degradaram sobremaneira as águas superficiais, e segundo São Paulo (2006), vêm realizando a super exploração dos recursos subterrâneos sem avaliar sua interferência na conservação deste recurso, que é muito importante no futuro incerto da humanidade diante da já anunciada crise da água (Tundisi, 2003).

Este trabalho contemplou as ações de cadastro da área de uma sub-bacia urbana de Rio Claro – SP e sua relação com a diminuição das áreas de recarga subterrânea, desde o início da ocupação da área, até o ano de 2005, tendo como objetivo implementar uma ferramenta de simulação para a Prefeitura Municipal de Rio Claro – SP.

2 - METODOLOGIA

2.1 - Características da área de estudos

Rio Claro é uma cidade de médio porte, e de relevância na área agro-industrial no interior paulista. Possui um grande acervo, de documentos cartográficos e imagens de diferentes períodos, o que facilitou a realização deste trabalho.

Localizada na porção centro-leste do estado de São Paulo, Rio Claro integra a Região administrativa de Campinas, importante pólo industrial do Estado, faz parte de uma micro-região em constante desenvolvimento econômico, que inclui os municípios de Corumbataí, Analândia, Itirapina, Ipeúna e Santa Gertrudes.

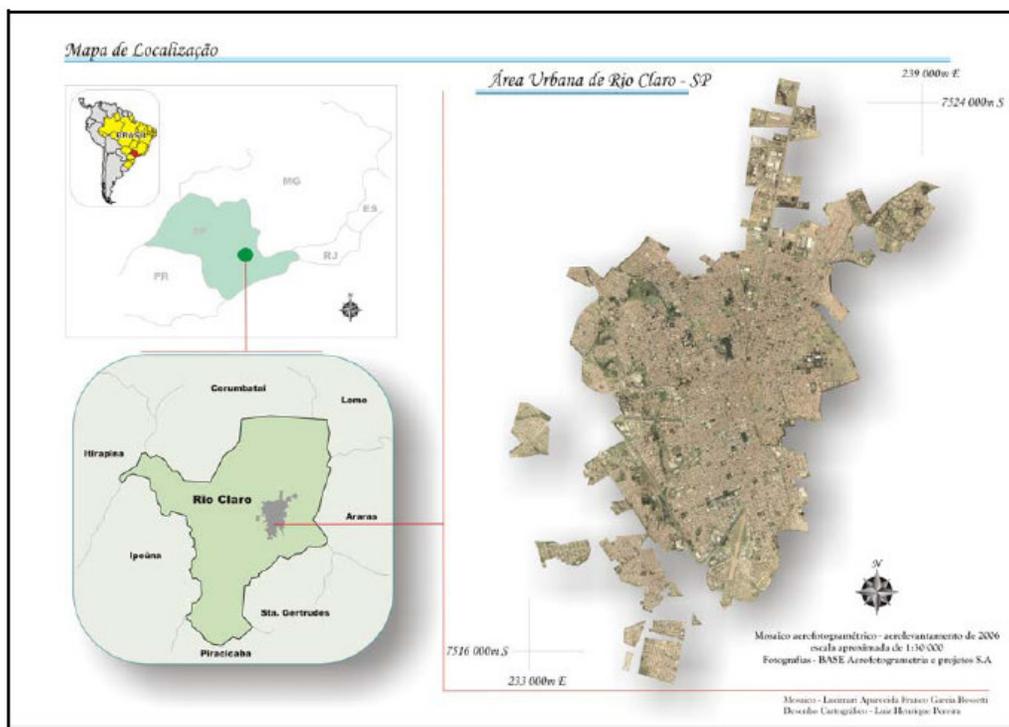


Figura 1 – Localização da área de estudo. Fonte: Rossetti (2007).

A região tem relevo predominantemente plano, está situada a uma altitude média de 613 m, e abriga uma população com cerca de 181.549 habitantes, conforme o Censo 2004 da fundação SEADE. Situa-se na Depressão Periférica Paulista (unidade geomorfológica representada por uma área rebaixada, com altitudes de 500 a 700 metros).

A agricultura da cana-de-açúcar e o setor industrial de transformação, são as base da economia local.

2.2 – Características da água subterrânea da área

Segundo Oliva et al (2005), ocorrem dois sistemas principais de águas subterrâneas em Rio Claro. O primeiro consiste em um aquífero livre pouco profundo, constituído pelos materiais pouco consolidados, de origem fluvial, da Formação Rio Claro. De acordo com os estudos realizados por Oliva e Chang (2007), os níveis de água oscilam entre 2 e 25 metros. O segundo sistema compreende rochas do grupo Tubarão, mais especificamente da formação Tatuí e do Subgrupo Itararé, que constitui um aquífero confinado. A Figura 2 apresenta um mapa com as características hidrogeológicas da região de estudo.

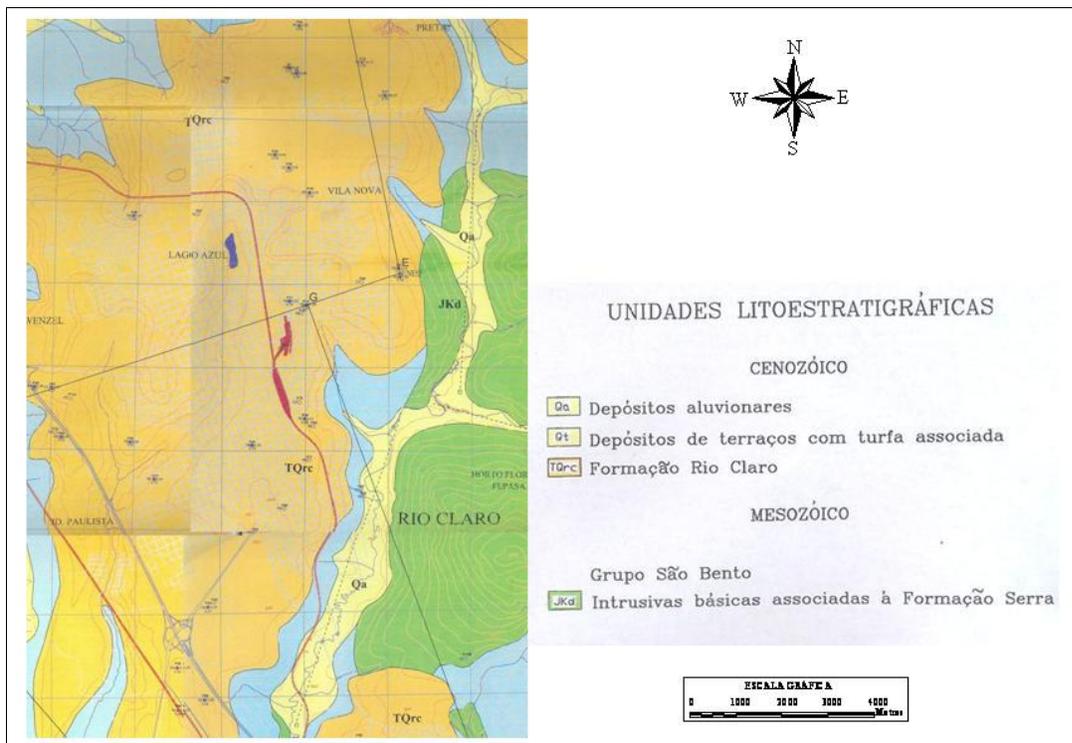


Figura 2 - Características hidrogeológicas da região de estudo. Fonte: modificado de BARRANCOS(2005)

2.4 – Materiais e equipamentos

*Softwares: Autodesk MAP5, ENVI 4.1, Spring 4.3, e-Cognition 4.2 e Idrisi 3.2, Microsoft Excel 2003; *Sistema de Posicionamento Global – GPS; *Estereoscópio ; *Imagens aerofotogramétricas - aerolevamentos de: 1962 (1:25.000), 1972 (1:25.000), 1995 (1:25.000) e 2006 (1:30.000); *Planta cadastral da cidade de Rio Claro, formato analógico e digital, na escala de 1:10.000, obtida a partir de levantamento aerofotogramétrico de 1978, com atualizações nos anos de 1984 e 2000; *Folha da carta topográfica de Rio Claro, na escala de 1:50.000 (IBGE); *Cartas topográficas de Rio Claro – 1:10.000 (IGC/SP);

2.5 – Método

Os procedimentos metodológicos adotados no projeto, visaram identificar e caracterizar, a cobertura vegetal intra-urbana e a expansão urbana de Rio Claro, através das seguintes etapas:

Foram selecionadas as fotos relativas aos aerolevamentos de 1962, 1972, 1995 e 2006, utilizadas para a delimitação da área intra-urbana e para a extração dos dados de

cobertura vegetal. Estas imagens analógicas foram transferidas para meio digital, tendo o scanner como ferramenta para esta transposição.

Inicialmente, foi realizada a edição da planta cadastral de Rio Claro de 1988, atualizada em 2000 (Secretaria de Planejamento, Desenvolvimento e Meio Ambiente), com o aplicativo CAD Autodesk Map, que possui e integra funções de vetorização, edição e plotagem. Os dados altimétricos e planimétricos, foram editados para a geração do mapa da planta cadastral e para preparar os dados a serem utilizados em um SIG. Foram feitos ajustes das curvas de nível e da hidrografia, que resultaram em um Modelo Digital do Terreno (MDT).

2.5.1 – Estruturação do Banco de Dados Georeferenciado

Estruturação do banco de dados no software SPRING, utilizando o Gerenciador Access. Para a definição do projeto foram utilizados os seguintes parâmetros: Projeção: UTM/Córrego Alegre; Retângulo Envolvente: Coordenadas Planas X1: 231500 X2: 241000 Y1: 7513000 Y2: 7530000 Hemisfério: S

2.5.2 – Processamento das Imagens Digitais

Na seqüência da abordagem deste trabalho, as imagens aerofotogramétricas transpostas para o meio digital, foram submetidas a procedimentos de processamento, combinando aplicativos de realce e de classificação. O processamento das imagens digitais foi dividido em duas etapas: a 1ª etapa, correspondente ao pré-processamento, preparo das imagens a serem classificadas; na 2ª etapa, processamento das imagens propriamente dito, aplicando-se funções de classificação para separar os objetos referentes às classes de cobertura vegetal intra-urbana.

2.5.3 – Processamento das Imagens

Primeiramente foi feita a classificação das imagens digitais por meio do software *e-Cognition*, que é baseado no paradigma de orientação a objetos, foi utilizado para mapeamento da cobertura vegetal intra-urbana de Rio Claro, para isso, foram definidas duas classes temáticas: Cobertura Vegetal e Outras Coberturas, as quais foram identificadas a partir da segmentação multi-resolução das imagens. Para a classificação

da cobertura vegetal intra-urbana, foram realizadas as seguintes etapas: 1. Definição e caracterização das Classes; 2. Segmentação de Imagem.

A Figura 3 exemplifica resultados dos procedimentos de segmentação e de classificação supervisionada, realizados no software *e-Cogniton*.

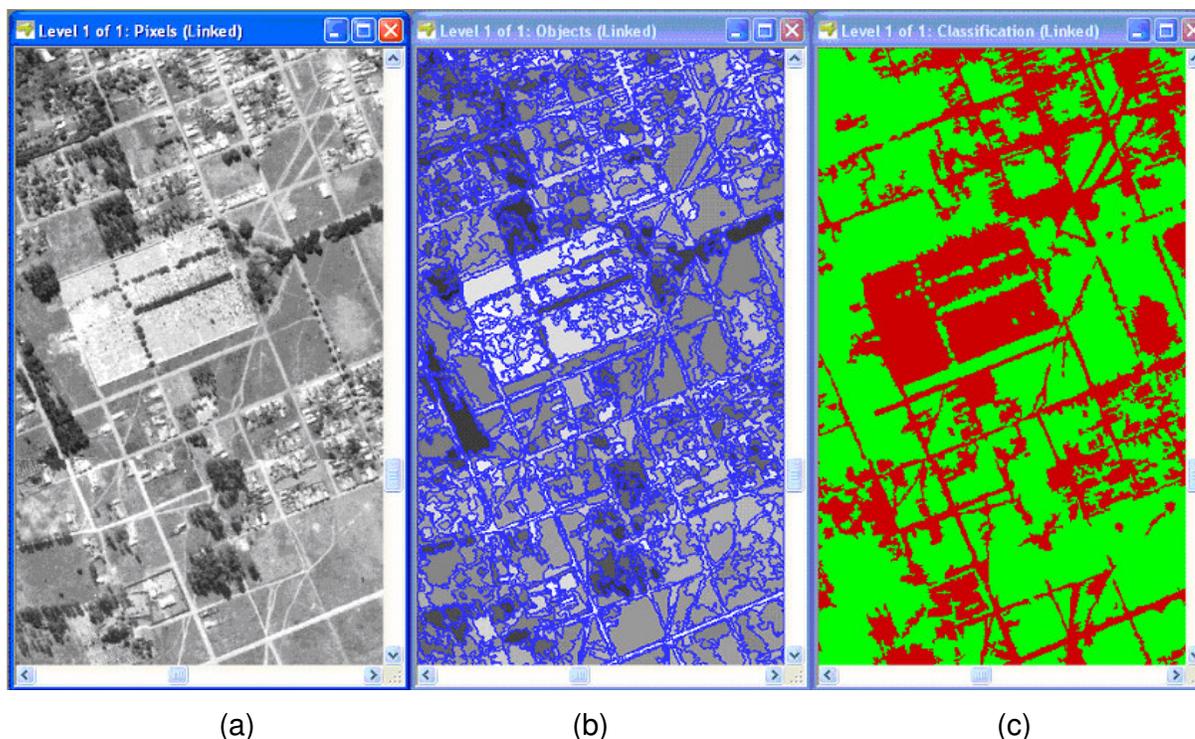


Figura 3 – a) Imagem a ser classificada, b) Imagem segmentada, c) Imagem classificada: Cobertura Vegetal (verde) e Outras Coberturas (vermelho)

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Velasquez (1996) define duas formas de recarga para aquíferos: a recarga direta e a indireta. A recarga direta é o volume de água adicionada ao reservatório de água subterrânea por percolação vertical direta da precipitação através da zona não saturada. Ainda segundo Velasquez (1996), a recarga indireta corresponde à percolação de água até o aquífero, advinda do escoamento superficial a partir dos corpos hídricos existentes no terreno e das fontes de vazamento das redes de abastecimento e de coleta de esgoto doméstico.

Vale salientar que a recarga natural (direta) ocorre segundo dois mecanismos: por meio de infiltração direta das águas de chuva, na área de afloramento, e de forma retardada em parte da área confinada.

Analisando o gráfico da Figura 3 e a Tabela 1 observa-se que, em 1962 a área intra-urbana da cidade, era compreendida por 59,75% de Cobertura Vegetal e 40,25% de Outras Coberturas, fato decorrente dos loteamentos implantados nas zonas periféricas em processo de ocupação, cujos lotes apresentavam densa cobertura vegetal nativa. Portanto, no período de 1962 a 1972 houve uma diminuição significativa na ocorrência da cobertura vegetal intra-urbana (cerca de 25% da área), resultante do processo de adensamento de ocupação urbana.

Apesar do ritmo de diminuição das ocorrências de cobertura vegetal intra-urbana ter sido inferior nos cenários subseqüentes a 1972, o total de decréscimo desta classe no período de 1962-2006 foi de cerca de 37,4%. Estes dados mostram uma redução significativa da cobertura vegetal intra-urbana da cidade de Rio Claro, no período de estudo.

Tabela 1 – Ocorrência da cobertura vegetal intra-urbana de Rio Claro – cenários 1962 a 2006

ANOS	Cobertura Vegetal		Outras Coberturas		Área Urbanizada
	km ²	%	Km ²	%	
1962	8,67	59,75	5,84	40,25	14,51
1972	10,33	54,03	8,79	45,97	19,12
1995	17,00	45,97	19,98	54,03	36,98
2006	14,39	37,20	24,29	62,80	38,68

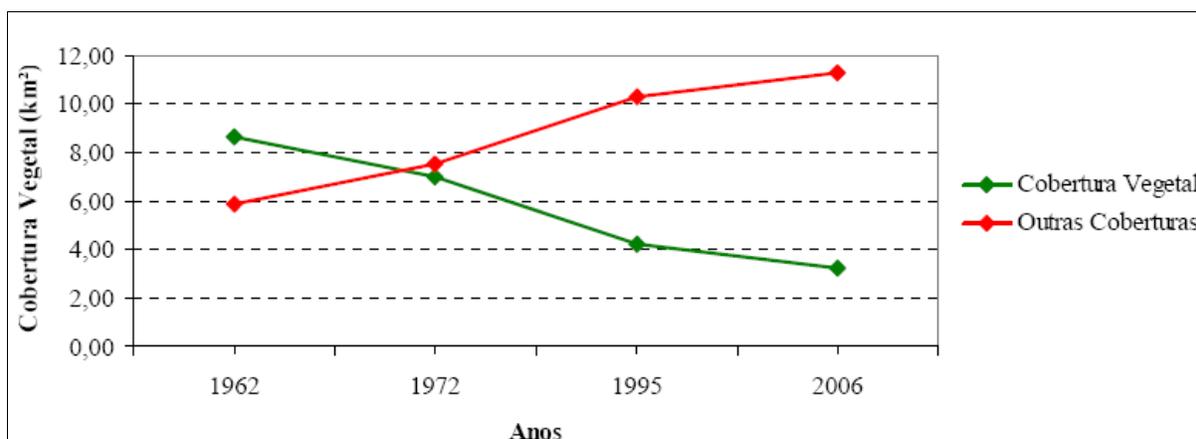


Figura 3 – Gráfico de ocorrência da cobertura vegetal intra-urbana de Rio Claro, com base na área de 1962 – cenários 1962 a 2006

No período em questão, outro aspecto importante a ser apresentado, é a constatação de significativa diminuição da cobertura vegetal em áreas privadas no setor intra-urbano. Estas áreas, em que a cobertura vegetal foi eliminada, constituem os “fundos de lotes” das quadras, e este processo ocorreu como resultante do adensamento das edificações. A Figura 4 mostra a evolução da cobertura vegetal de fundos de quintais da Zona Central da cidade.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4 – Remoção da cobertura vegetal de “fundos de lotes” da Zona Central: a) 1962, b) 1972, c) 1995, d) 2006

Analisando as ocorrências das alterações da cobertura vegetal intra-urbana da cidade, e considerando o limite urbano de 1962, no período de 1962 a 2006, observou-se, que 43,07% das ocorrências, referem-se às alterações da cobertura vegetal para outras coberturas, pois a remoção da vegetação é decorrente do processo de adensamento de ocupação e pela expansão da área urbanizada. Também foi observado que parte da malha urbana se manteve sem alterações ao longo do período, apresentando 16,70% de área com cobertura vegetal, e 34,58% de área destinada a outras coberturas, conforme está exibido no gráfico da Figura 5.

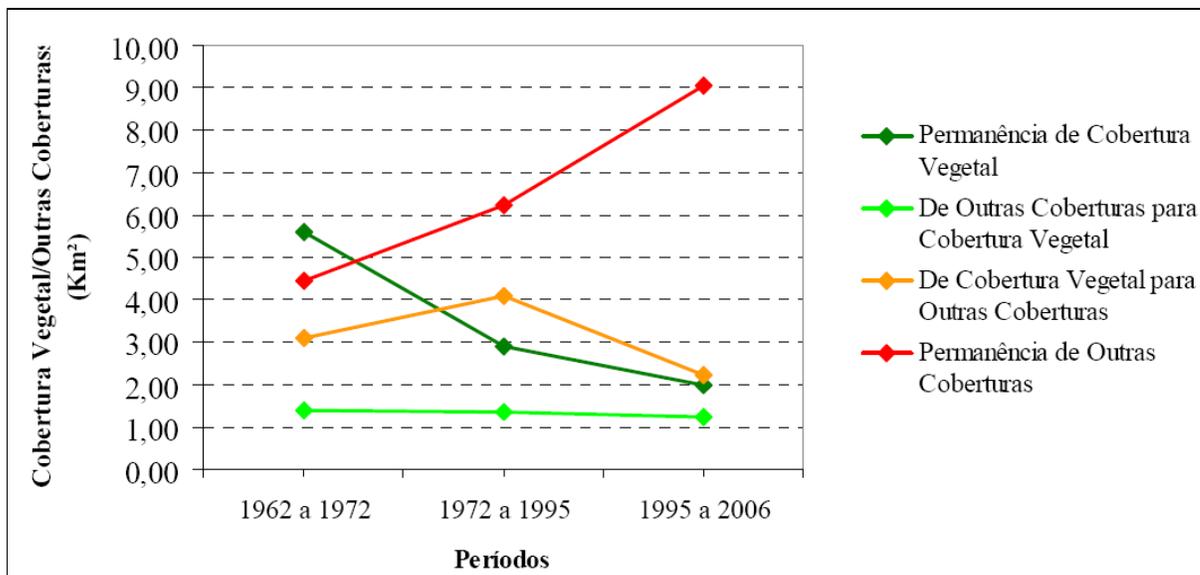


Figura 5 – Gráfico da evolução da cobertura vegetal intra-urbana de Rio Claro, com base na área de 1962 – cenários 1962 a 2006.

É importante mais uma vez lembrar, que a área comum de análise por cenários, refere-se ao limite urbanizado para o cenário 1962.

Outro resultado obtido foi à quantificação do avanço da mancha urbana com relação aos solos da região. Isto significa uma diminuição efetiva da infiltração direta no aquífero, como fica evidenciado na tabela 3 e na Figura 5. Nota-se que devido ao crescimento da cidade, a área peri-urbana de recarga também foi atingida.

Utilizando o recurso das lógicas de cruzamento de planos de informações, os mapas com o recorte de 1962, foram sobrepostos para a indicação das áreas intra-urbanas que apresentaram alterações temáticas. A indicação dessas alterações, para um comparativo de cenários de 1962 a 2006, encontra-se ilustrados nas Figuras 6.



Figura 6 – Evolução da cobertura vegetal intra-urbana de Rio Claro – 1962 a 2006

Foi possível também, quantificar o avanço da mancha urbana com relação aos solos da região. Notamos que houve uma diminuição efetiva da infiltração direta no aquífero, como fica evidenciado na Figura 7 e na Tabela 2.

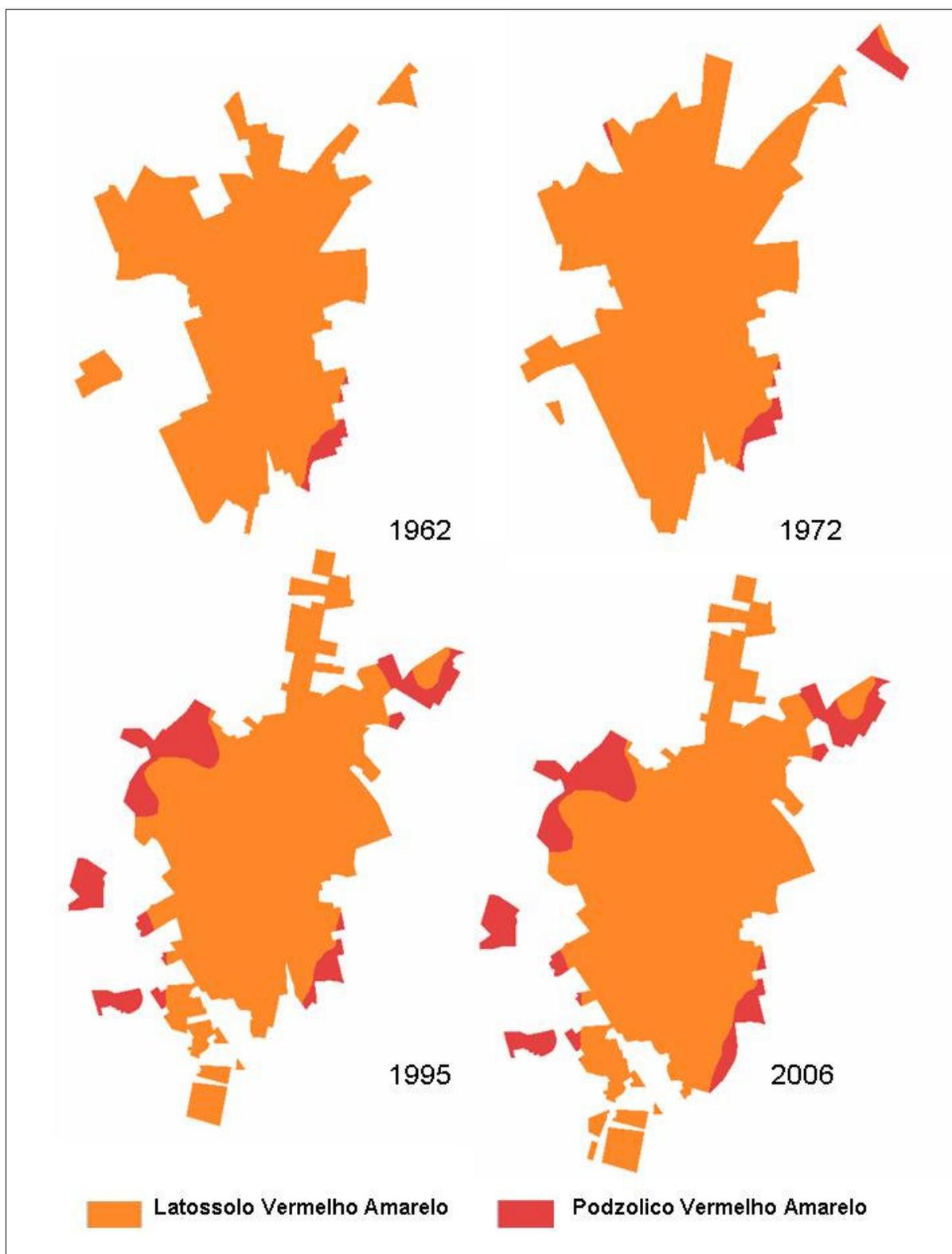


Figura 7 - Evolução temporal da urbanização sobre o solo da região

Tabela 2 – Tipos de Solos na área intra-urbana de Rio Claro – cenários 1962 a 2006

Anos	Latossolo Vermelho Amarelo		Podzólico Vermelho Amarelo		Área Urbanizada
	km ²	%	Km ²	%	km ²
1962	14,25	98,21	0,26	1,79	14,51
1972	18,53	96,91	0,59	3,09	19,12
1995	31,69	85,69	5,29	14,31	36,98
2006	32,99	85,29	5,69	14,71	38,68

A variação da recarga de água subterrânea, do sistema aquífero, devido à impermeabilização de solos, com a urbanização de Rio Claro, avaliou qual a modificação na recarga anual média, induzida pelas alterações das condições de ocupação do solo, sendo, o resultado do aumento da superfície de terreno impermeável, devido ao crescimento do ritmo de construções na cidade.

Outro fator também agravante para a atual situação, é a vulnerabilidade da formação Rio Claro na região de estudo, como atesta o Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (www.sigrh.sp.gov.br/) no mapa de risco potencial a poluição. Figura 8.

Arelado ao desenvolvimento urbano, existe a necessidade de mais água e a forma mais barata adotada, tem sido a captação por poços, uma realidade cada vez mais crescente na região de estudo, principalmente com poços de baixa profundidade, mais baratos. A Figura 9 mostra poços catalogados no Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS – CPRM (<http://siagas.cprm.gov.br/>) e poços catalogados por Barrancos (2005).

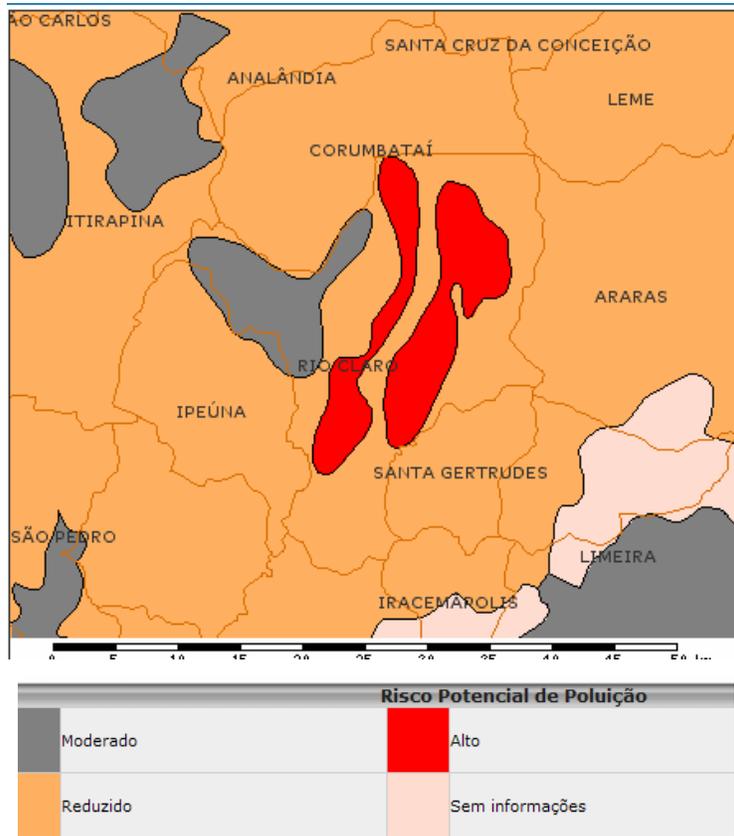


Figura 9 – Mapa de vulnerabilidade da região de estudo. Fonte: www.sigrh.sp.gov.br/

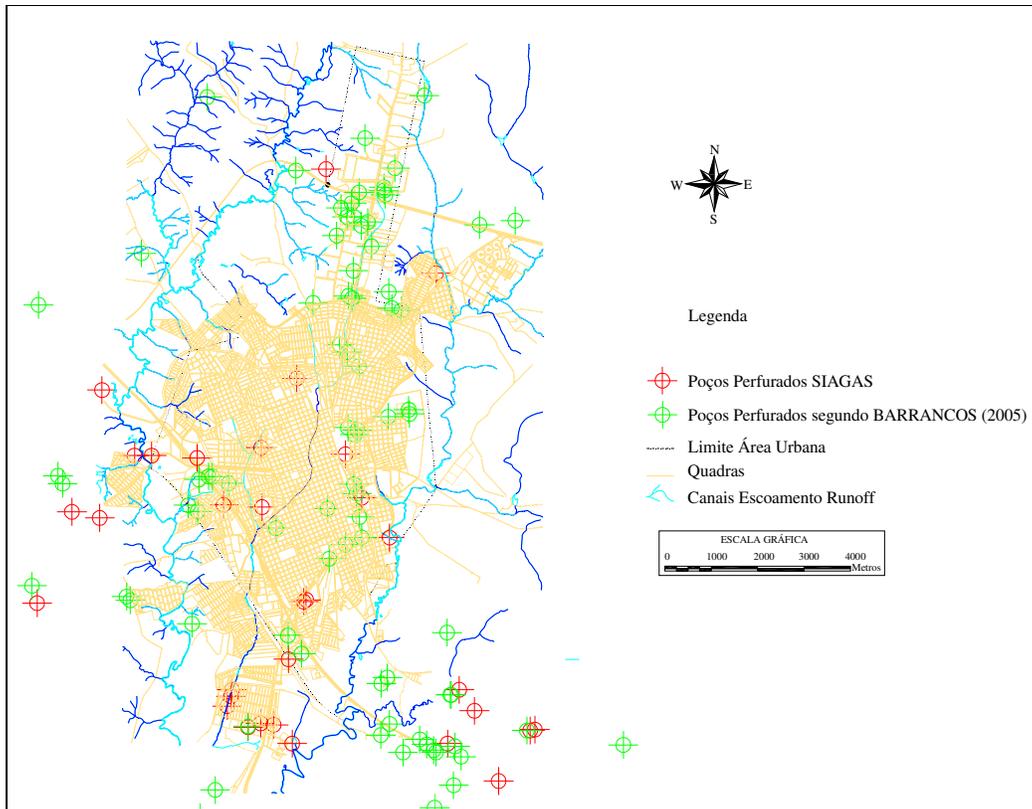


Figura 10 – Distribuição dos poços em Rio Claro

4 – CONCLUSÕES

Pode ser destacado, a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas, que possibilitam a estruturação e implementação de um banco de dados geográficos (georreferenciado e relacional), permitindo assim, gerenciar a grande quantidade de dados, referentes aos poços existentes, cadastrados, que geram informações com maior acurácia sobre as condições de uso e ocupação do solo. Nesse sentido, o usuário ganha agilidade e flexibilidade, facilitando o acesso e manipulação de diferentes tipos de dados.

A utilização combinada, das tecnologias de Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informações Geográficas, permite uma abordagem analítica e de integração de dados em estudos diagnósticos e simulações futuras.

Por sua vez, os produtos resultantes deste trabalho, como as análises e a geração dos mapas temáticos, da cobertura vegetal intra-urbana e da expansão da área urbanizada de Rio Claro, dos diferentes cenários, contribuirá para o desenvolvimento de novos projetos na linha do uso sustentável, da água subterrânea, tanto do ponto de vista quantitativo, como qualitativo.

Ainda, os resultados gerados, por meio das análises espaço-temporal, poderão fornecer subsídios à elaboração e/ou atualização de Planos Diretores Municipais e à gestão de órgãos públicos, oferecendo aos planejadores, um panorama do ambiente urbano para a tomada de decisões, no que tange aos recursos hídricos subterrâneos e suas área de recarga e proteção.

5 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA) e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pelo apoio em termos de sua infraestrutura para a utilização das técnicas de Sensoriamento Remoto. Os autores agradecem o apoio dispensado pelo desenhista José Aldir Pereira e pelo técnico Renato Alves de Souza, ambos do DEC/FEIS/UNESP.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRANCOS, J.T.G. 2005. Estudo das Águas Subterrâneas na Área do Entorno das Cidades de Rio Claro e Santa Gertrudes-SP. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho. Campus de Rio Claro. 158p.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS - SEADE. **Informação dos Municípios Paulistas**. 20065. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/imp/>>. Acesso em: 03 jul. 2006.

LERNER, D. N., 1998. Groundwater recharge in urban areas. In Hydrological Processes and Water Management in Urban Areas - Proceedings of the Duisberg Symposium, April 1988. IAHS Publ. no. 198, 8p.

MORENO, J.; TEJADA, K. S., 2003. O uso de instrumental SIG na análise de parâmetros hidrológicos com vistas às ações de gestão territorial, estudo de caso: a bacia hidrográfica do Ribeirão do Piracicamirim - Piracicaba, SP Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004, Curitiba. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - CD. Curitiba: ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 18p.

OLIVA, A.; CHANG, H. K.; CHANG, M. R. C., 2005. Determinação da condutividade hidráulica da formação rio claro: análise comparativa através de análise granulométrica e ensaios com permeâmetro *guelph* e testes de *slug*. Revista Águas Subterrâneas, v. 19, n. 2, p. 1-17.

OLIVA, A.; CHANG, H. K., 2007. Mapeamento do lençol freático no município de Rio Claro (SP) empregando a técnica de sondagem elétrica. Geociências, v. 26, n. 1, p. 27-34.

ROSSETTI, L. A. F. G., 2007. Geotecnologias aplicadas à caracterização e mapeamento das alterações da cobertura vegetal intra-urbana e da expansão urbana da cidade de Rio Claro (SP). Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, UNESP campus de Rio Claro. Área de Organização do Espaço. Rio Claro. 115 p.

SÃO PAULO, 2006. Plano Estadual de Recursos Hídricos: 2004/2007 Resumo. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. São Paulo, DAEE, 96p. il.

TUNDISI, J. G., 2003. Água no século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos: RiMa, 248p.

VELASQUEZ, L. N. M., 1996. Efeitos da urbanização sobre o sistema hidrológico: aspectos da recarga no aquífero freático e escoamento superficial – área piloto: sub-bacias Sumaré e Pompéia, município de São Paulo. Tese de doutorado para obtenção do título de doutor. Instituto de Geociências – USP. São Paulo. 125p.