

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

"Campus de Rio Claro"

MARCELLA CIPOLLA MALUTA

**ESTIMATIVA DA RECARGA NATURAL DO AQUÍFERO RIO
CLARO: UMA ABORDAGEM DA REGIONALIZAÇÃO
HIDROLÓGICA ATRAVÉS DA VAZÃO DE PERMANÊNCIA.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas, do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Celso de Oliveira Braga

Rio Claro/SP

2014

551.49 Maluta, Marcella Cipolla
M261e Estimativa da recarga natural do Aquífero Rio Claro :
uma abordagem da regionalização hidrológica através da
vazão de permanência / Marcella Cipolla Maluta. - Rio Claro,
2014
72 f. : il., figs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Antonio Celso de Oliveira Braga

1. Águas subterrâneas. 2. Recarga. 3. Vazão de
permanência. I. Título.

MARCELLA CIPOLLA MALUTA

**ESTIMATIVA DA RECARGA NATURAL DO AQUÍFERO RIO
CLARO: UMA ABORDAGEM DA REGIONALIZAÇÃO
HIDROLÓGICA ATRAVÉS DA VAZÃO DE PERMANÊNCIA.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, do
Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual
Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte
dos requisitos para obtenção do título de Mestre
em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Antonio Celso de Oliveira Braga

Cesar Augusto Moreira

José Luiz Albuquerque Filho

Rio Claro - SP

2014

*Aos meus pais Ordival e Elisabete
Maluta, e ao meu irmão Felipe,
pelo incentivo, carinho e apoio.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pela graça de poder concluir mais essa etapa, por ser o meu chão, minha força e esperança.

Ao meu orientador o Prof. Dr. Antônio Celso de Oliveira Braga, pela oportunidade em estudar sob sua orientação, pela amizade, apoio, e entendimento, e pelas conversas, sempre produtivas, fundamentais para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Prof. Dr. José Luiz Albuquerque Filho e ao Prof. Dr. Claudio Benedito Baptista Leite por terem dedicado tempo e atenção quando me receberam, pelos conhecimentos compartilhados e por todas as informações que contribuíram para esclarecer e nortear o desenvolvimento do meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Cesar Augusto Moreira e Prof. Dr. Walter Malagutti Filho, pelos conselhos, críticas construtivas e pelos apontamentos durante o exame geral de qualificação, bastante significativos para o aprimoramento da dissertação.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão de bolsa de estudos.

Ao programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, pela base necessária ao desenvolvimento do Mestrado.

Aos meus pais, Ordival e Elisabete, pelo incentivo constante, compreensão, por estarem presentes nos momentos difíceis, dando apoio, e nas alegrias comemorando junto. Por desejarem sempre o melhor para mim e para o meu irmão e por fornecerem toda base para que eu pudesse realizar meus estudos.

Ao meu irmão Felipe pela companhia e ajuda quando tive problemas com o computador.

Ao Matheus Biondo, por acreditar no meu trabalho, pelo apoio, carinho e companhia, fazendo meus dias mais felizes.

Aos meus amigos e a todos que de alguma forma contribuíram, seja fazendo o meu caminho mais leve e descontraído, ou me auxiliando de maneira mais concreta, em especial, ao meu amigo Richard, pelo incentivo e ajuda durante toda a caminhada.

*“De tudo ficaram três coisas...
A certeza de que estamos começando...
A certeza de que é preciso continuar...
A certeza de que podemos ser interrompidos
antes de terminar...
Façamos da interrupção um caminho novo...
Da queda, um passo de dança...
Do medo, uma escada...
Do sonho, uma ponte...
Da procura, um encontro!”*

Fernando Sabino (O Encontro Marcado, 1956)

RESUMO

Existem vários métodos disponíveis para quantificar a recarga subterrânea e cada método possui suas próprias limitações em termos de aplicabilidade e confiança. A maioria deles requer mais que um parâmetro para estimar a recarga, como por exemplo, coeficientes referentes ao tipo de solo, uso e ocupação da área e o comportamento da evaporação e infiltração. Tendo em vista a indisponibilidade de dados em algumas regiões, o cálculo da recarga por estes métodos se tornaria indisponível e muitas vezes inviável. O objetivo do presente estudo foi estimar a recarga a partir de um método simples, com poucos dados de entrada, e confiável. Assim, o estudo pretendeu estimar a recarga do aquífero Rio Claro, no município de Rio Claro-SP, a partir de um dado obtido através da técnica baseada na classificação de áreas hidrologicamente semelhantes, a técnica da regionalização. A recarga foi estimada pela Vazão de Permanência de 95% (Q_{95}), aplicada para a área de 95,7 Km² de ocorrência da Formação Rio Claro. Foram utilizados dados de precipitação pluviométrica dos anos de 2002 a 2005. A fim de checar os resultados a recarga foi também calculada a partir da aplicação de dois métodos indianos, cujo parâmetro de entrada era apenas o volume de chuva. A recarga média estimada pelos métodos indianos foi calculada em 315,82 mm/ano e 282,94 mm/ano. O método da Q_{95} resultou a um valor médio de recarga de 175,4 mm/ano, aproximadamente 12% da precipitação, que em comparação às demais metodologias e às recargas encontradas na mesma área por outros autores, é um volume menor.

Palavras-chave: água subterrânea; recarga; aquífero Rio Claro; vazão de permanência.

ABSTRACT

There are Several methods available to quantify ground recharge and each method has its own limitations in terms of reliability and applicability. Most of them requires more than one parameter to estimate the groundwater recharge, as for example, coefficients for the soil type, use and occupation of the area and the evaporation and infiltration. In view of the unavailability of data in some areas, the calculation of groundwater recharge by these methods would become unavailable and often impractical. The objective of this study was to estimate the recharge from a simple method with few input data, and reliable. So, the study intended to estimate the recharge of the Rio Claro aquifer, in the Rio Claro-SP city, from a simple data obtained through the classification based on similar hydrologic areas, the technique of regionalization. The groundwater recharge was estimated by Flow Permanence of 95% (Q95), applied to the area of 95.7 km² of occurrence of Rio Claro Formation. The study used data on rainfall for the years 2002 to 2005. To check the results, the recharge was also calculated using the application of two Indians methods, which the only input parameter was the amount of rain. The average recharge estimated by Indian methods was calculated on 315.82 mm / year and 282.94 mm / yr. The method of Q95 resulted in an average recharge of 175.4 mm / year, approximately 12% of the precipitation, which in comparison to other methods and recharges, calculated in the same area by other authors, is smaller.

Keywords: groundwater; recharge; Rio Claro Aquifer; permanence flow.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO	13
3. ÁREA DE ESTUDO	14
3.1. Localização.....	14
3.2. Hidrologia	15
3.3. Contextualização geológica e hidrogeológica.....	16
3.4. Clima	19
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
4.1. Ciclo Hidrológico.....	20
4.2. Hidrogeologia	23
4.3. Recarga de águas subterrâneas	24
4.4. Gestão de Recursos Hídricos: Outorga de Uso e Legislação.....	27
4.5. Regionalização Hidrológica.....	28
4.6. Vazão de 95 % de permanência: Q₉₅.....	31
5. MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA RECARGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	33
5.1. Métodos para estimativa da recarga de águas subterrâneas por meio da precipitação pluviométrica.	33
5.2. Estimativa da recarga a partir de valores de Vazão de Permanência	35
6. MATERIAL E APLICAÇÃO DOS MÉTODOS	37
6.1. Material.....	37
6.1.1. Levantamento de dados de pluviosidade	37
6.1.2. Dados de Monitoramento de Poços	37
6.2. Aplicação dos métodos.....	38
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
7.1. Estimativa da recarga utilizando a fórmula empírica de Kumar e Seethapathi	43
7.2. Estimativa da recarga pelo método de Krishna Rao	44
7.3. Estimativa da recarga utilizando a vazão de 95% de permanência no período.....	44
7.4. Comparação entre os métodos utilizados.....	46
8. CONCLUSÕES	49
9. BIBLIOGRAFIA	51
ANEXO A – Monitoramento da Coluna d'Água e Pluviometria.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo: Formação Rio Claro.....	14
Figura 2 - Detalhes do Ribeirão Claro, nas imediações da ETA-I, no interior da FEENA.....	16
Figura 3 - Contexto geológico da área de estudo.	17
Figura 4 - Perfil geológico composto da formação Rio Claro.....	18
Figura 5 - Dados pluviométricos de 2002 a 2005.....	19
Figura 6 - Ciclo Hidrológico.	21
Figura 7 - Regiões Hidrológicas Semelhantes do Estado de São Paulo.....	30
Figura 8 - Curva de Permanência para a área de estudo.....	32
Figura 9 - Localização dos poços de monitoramento IGCE-3 e IGCE-6.....	38
Figura 10 - Gráfico de precipitação e coluna d'água.	42
Figura 11 - Gráfico de coluna d'água e precipitação deslocada em 2 meses.	42
Figura 12 - Gráfico comparativo dos valores de recarga.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros regionais: a e b (vazão média), e parâmetro probabilístico regional q_p para as frequências acumuladas 50, 90, 95 e 100.....	36
Tabela 2 - Médias mensais da coluna d'água e precipitação (P).....	41
Tabela 3 - Recarga anual do Aquífero Rio Claro (mm/ano) estimada pelo método de Kumar e Seethapathi (2002).....	43
Tabela 4 – Valores da recarga anual do Aquífero Rio Claro estimadas pelo método de Krishna Rao (KUMAR, 2004).	44
Tabela 5 – Dados dos parâmetros para a região hidrológica G utilizados para o cálculo das vazões.	45
Tabela 6 – Recarga do Aquífero Rio Claro obtida pela vazão Q_{95}	46
Tabela 7 – Recarga do Aquífero Rio Claro obtida pelas diferentes metodologias. Onde P = Precipitação Acumulada Anual.....	46

1. INTRODUÇÃO

A demanda por recursos hídricos é crescente, considerando o crescimento populacional, atividades agrícolas e industriais, reflexo do crescimento econômico vivenciado pelo País. Como consequência e, também, pela ausência de boas práticas de gerenciamento, há a degradação de grande parte dos cursos d'água e mananciais superficiais e subterrâneos pelas mais diversas formas de poluição, comprometendo a sua qualidade e quantidade em muitos municípios brasileiros (ANA, 2010; MMA, 2007).

Por essa razão, é importante a proposição de soluções que visem tanto ao uso sustentável das águas superficiais, quanto à recuperação dos cursos d'água degradados, incluindo a busca por outras fontes de água potável.

Em função disso, as águas subterrâneas são uma alternativa viável para suprir o abastecimento de áreas agrícolas, urbanas e industriais, complementando e, até mesmo, substituindo em alguns locais a captação de recursos hídricos superficiais.

Nesse sentido, é imprescindível o planejamento e gestão não só das águas superficiais, assim como das subterrâneas, uma vez que a exploração excessiva registrada nos últimos anos em muitos municípios brasileiros vem ocasionando o rebaixamento do nível freático, avanço de cunha salina em áreas litorâneas e a irregularidade na manutenção da descarga de rios e lagos (MMA, 2007).

A retirada de água subterrânea em quantidades além da reserva reguladora interfere na exploração da reserva permanente (que não varia conforme a precipitação), que deveria ser considerada estratégica. O monitoramento das condições dos aquíferos fornece subsídios para melhor administrar as vazões exploradas e contribui para a disponibilidade de água com qualidade para as gerações futuras.

Portanto, o conhecimento da quantidade possível de ser explorada, sem que haja comprometimento da regularidade do sistema de reservas dos aquíferos e o reabastecimento dos corpos d'água superficiais é imprescindível para a gestão integrada dos recursos hídricos.

Usualmente, as taxas de recarga vêm sendo estimadas por metodologias que requerem a disponibilidade de poços no local e/ou um grande número de parâmetros característicos da área, como tipo de solo, tipo de ocupação da área, coeficientes de infiltração e evaporação. Porém, muitas vezes esses dados não estão disponíveis em certas localidades, bem como são inexistentes os poços de monitoramento de águas subterrâneas e postos para levantamento de dados hidrológicos, tais como pluviosidade e dados de vazão de rios.

Os órgãos responsáveis pelo licenciamento e outorga do uso da água, tanto estaduais como federais, envolvidos no gerenciamento dos recursos hídricos, utilizam critérios diferentes para determinação de uma vazão de referência para o controle da exploração do recurso hídrico, sendo que um deles é a Vazão de Permanência do corpo hídrico igual a 95%, ou seja, a Q_{95} (GERMANO e SOTÉRIO, 2011).

A Q_{95} é a vazão obtida da curva de permanência de vazões de um rio, resultante da aplicação do Método da Regionalização Hidrológica (LIAZI, et al., 1988). Trata-se da vazão do corpo d'água, que em 95% do tempo, na probabilidade de ocorrência adotada em 100%, é igualada ou superada, sendo considerada a vazão para a manutenção do mesmo nos períodos de estiagem. Sua utilização para estimar recarga foi discutida neste trabalho em função de sua correlação com as reservas reguladoras, ou seja, aquelas que mantêm relação com o balanço das águas subterrâneas e que são avaliadas a partir das variações piezométricas ou das descargas.

Considerando o cenário exposto, a realização de trabalhos como este, contribui para o estabelecimento de métodos relacionados à estimativa de recargas de aquíferos, visto que a partir de seus resultados, a taxa de recarga em aquíferos livres poderá ser estimada, mesmo que de maneira preliminar, por meio de dados simples e disponíveis, e a partir da avaliação e integração de dados hidrológicos e hidrogeológicos disponíveis, colaborando para a uma melhor gestão e aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos.

2. OBJETIVO

O principal objetivo do presente estudo foi estimar a recarga a partir de um método simples, com poucos dados de entrada e confiável. Para tanto, tomou como objeto de estudo, o processo de recarga natural do aquífero livre da Formação Rio Claro, no município de Rio Claro-SP, e sua ocorrência na parte central do município, cerca de 95,7 Km². .

Assim, o presente estudo objetivou estimar o volume da recarga de água subterrânea a partir da variável Vazão de Permanência Q_{95} , obtida através da técnica baseada na classificação de áreas hidrologicamente semelhantes, a técnica da regionalização, aplicada amplamente no Estado de São Paulo.

Para alcançar o objetivo principal da pesquisa, foi necessário alcançar os seguintes objetivos específicos:

- a) Caracterizar a geologia e hidrogeologia da área de interesse;
- b) Identificar e analisar métodos de cálculo de recarga subterrânea que exijam poucos dados para chegar aos resultados;
- c) Aplicar métodos de cálculo de recarga e aferir os resultados obtidos;
- d) Comparar os resultados obtidos com demais trabalhos realizados na área e verificar sua aplicabilidade.

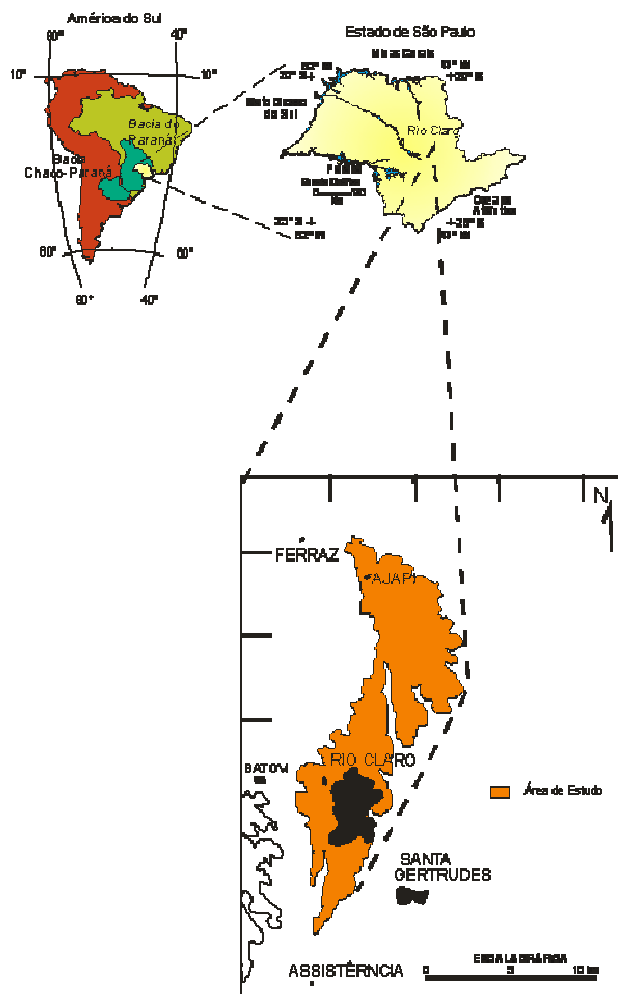
3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização

O município de Rio Claro está situado na porção centro-leste do estado de São Paulo, a 175 quilômetros da capital paulista, próximo de importantes centros urbanos como Limeira, Piracicaba, Campinas e São Carlos.

A área de estudo compreende a área de afloramento da Formação Rio Claro, cerca de 95,7 Km², entre os rios Corumbataí, a oeste, e Ribeirão Claro, a leste, no município de Rio Claro-SP (Figura 1), compreendendo parte da área da Bacia do Rio Corumbataí, e inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 5 (UGRHI 5), que compreende a Bacia dos Rios Piracicaba, Capivarí e Jundiáí.

Figura 1 - Localização da área de estudo: Formação Rio Claro.



Fonte: Oliva (2010).

3.2.Hidrologia

O município de Rio Claro está inserido na Bacia do Rio Corumbataí. A bacia é dividida nas seguintes sub-bacias: Alto Corumbataí, com 31801,68 ha, Passa-Cinco, com 52757,60 ha, Médio Corumbataí, com 29316,60 ha, Ribeirão Claro, 28174,90 ha, e Baixo Corumbataí, com área de 28724,84 ha (VALENTE e VETTORAZZI, 2002).

O rio Ribeirão Claro é a principal fonte de abastecimento da cidade, classificado como Classe 3, de acordo com a Lei 9.433/97 (que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos) e a Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005), ou seja, seu uso como recurso hídrico é destinado ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras e à dessedentação de animais.

A sub-bacia do Ribeirão Claro, localizada entre as altitudes 22° 36' S e 22° 16' S e as longitudes 46° 36' W e 47° 26' W, se estende desde as Cuestas Basálticas da Bacia Sedimentar do Paraná em direção a Depressão Periférica Paulista, abrangendo parte dos municípios de Araras, Corumbataí, Leme, Rio Claro e Santa Gertrudes. Apresenta 13,98 Km de largura por 34,04 Km de comprimento, ocupando cerca de 270 Km² (CUNHA, 2000).

Segundo o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF (2002), a área de drenagem do Ribeirão Claro corresponde aproximadamente a 281,74 km², 16,50 % da área da bacia do Rio Corumbataí, na qual está inserida.

O Ribeirão Claro pode ser considerado um rio quase exclusivamente municipal, pois, embora tenha suas nascentes no Município de Corumbataí, as mesmas estão muito próximas do limite do Município de Rio Claro. Tem seu curso de norte para sul, contornando o setor leste da área urbana de Rio Claro no sentido NNE-SSW, indo desaguar no rio Corumbataí, poucos quilômetros a sul de Rio Claro (ZAINÉ, 2000).

Seus afluentes do alto curso são o Córrego Jacú, à margem direita, e o Córrego da Fazenda Angélica; no médio curso encontra as águas do Córrego Cachoeirinha e do Córrego Vila Cristina, ambos à margem esquerda, já próximos à área urbana. O principal tributário do ribeirão Claro é o córrego Cachoeirinha, com o qual forma o principal manancial de abastecimento público (captação da ETA I), o córrego Lavapés (proveniente da área urbana), e os córregos Ibitinga, Santo Antonio, que deságuam no Ribeirão Claro, na área da Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade (FEENA) (ZAINÉ, 2000; CUNHA, 2000).

A captação de água pelo município ocorre nas proximidades da Floresta Estadual - FEENA (Figura 2). A montante da Estação de Tratamento de Água (ETA) do município percorre áreas agrícolas com pastagens e cultivo de cana de açúcar, onde é observada a presença de mata ciliar, bem como algumas empresas do ramo químico, na área do Distrito Industrial do município.

Figura 2 - Detalhes do Ribeirão Claro, nas imediações da ETA-I, no interior da FEENA.



Fonte: À esquerda, fotos tiradas pelo autor. À direita, fotos disponíveis em:

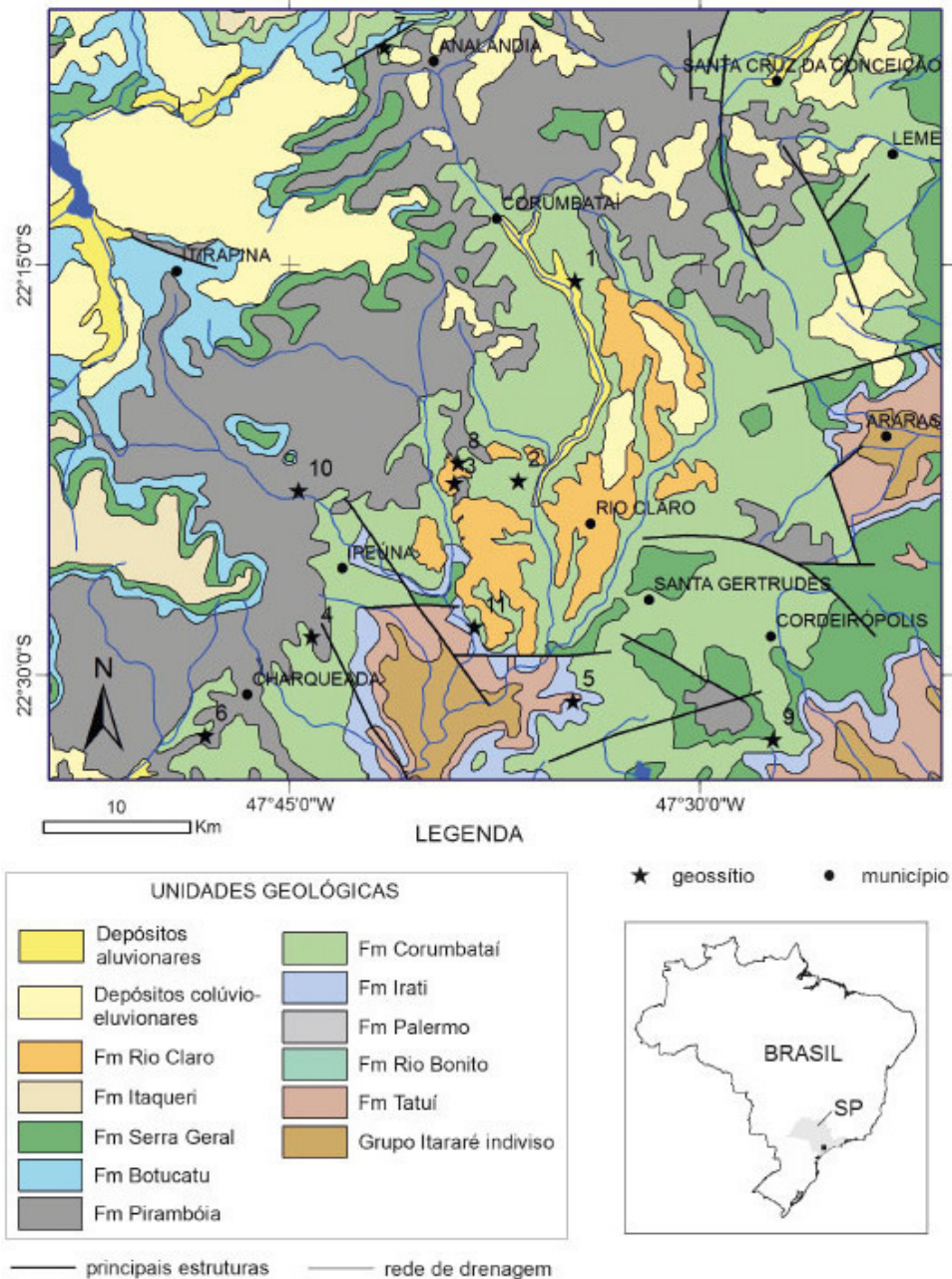
<<http://www.guiarioclaro.com.br/materia.htm?serial=206002334>> e <

[http://www.guiarioclaro.com.br/materia.htm? serial=206002422](http://www.guiarioclaro.com.br/materia.htm?serial=206002422)> Acesso em junho de 2014.

3.3.Contextualização geológica e hidrogeológica

Inserida no contexto geológico da bacia do Rio Corumbataí, a área estudada está localizada geologicamente no setor paulista do flanco nordeste da bacia sedimentar do Paraná, representada por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozóica (Grupo Itararé; formações Tatuí, Irati e Corumbataí), Mesozóica (formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral) e Cenozóica (Formação Rio Claro e depósitos Recentes) (Figura 3) (PERINOTTO e LINO, 2014).

Figura 3 – Contexto geológico da área de estudo.



Fonte: Ribeiro et al. (2013).

A maior parte do Município de Rio Claro está embasada sobre sedimentos da Formação Corumbataí e Formação Rio Claro (sendo a Formação Rio Claro sobreposta à Corumbataí), e, secundariamente, sobre rochas intrusivas básicas, como, por exemplo, na área do Horto Florestal (ZAINÉ, 2000).

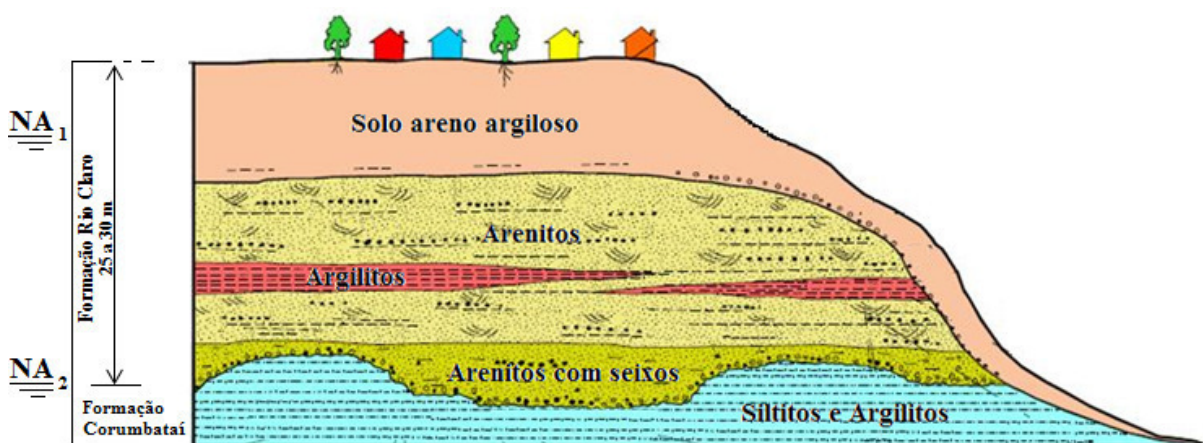
A Formação Rio Claro caracteriza-se por apresentar sedimentos fracamente litificados com profunda alteração pedogenética, compostos por manchas de litotipos e arenitos esbranquiçados, com intercalações de sedimentos argilosos com conglomerados, atingindo

espessuras de até 40 m, observadas no Distrito Industrial do município (ZAINÉ, 1994). A espessura desta formação no município de Rio Claro, segundo Oliva (2002), varia consideravelmente, sendo mais espessa na região norte, diminuindo gradativamente para a região sul.

Toda a área central da ocorrência da Formação Rio Claro no município pode ser considerada globalmente como uma área de recarga do Aquífero Rio Claro, onde as águas pluviais se infiltram no solo e se deslocam em subsuperfície, declive abaixo, seguindo a topografia do terreno, se deslocando rumo aos locais de descarga, geralmente próximos ao contato do Aquífero Rio Claro e o aquífero subjacente constituído pela Formação Corumbataí (OLIVA, 2002; NETO e KIANG, 2008).

Com relação aos sistemas aquíferos presentes no município de Rio Claro, tem-se dois sistemas principais de águas subterrâneas. O primeiro, relacionado a esta pesquisa, consiste em um aquífero livre, pouco profundo, com nível d'água entre 2m e 25m, e vazão entre 5 m³/h e 25 m³/h, constituído pelos materiais pouco consolidados da Formação Rio Claro. O segundo sistema é composto por sedimentos do Aquífero Tubarão, mais especificamente da Formação Tatuí e do Grupo Itararé. Os sedimentos do Grupo Itararé constituem um aquífero confinado, com profundidades situando-se entre de 200 m e 500 m, com vazão entre 0,02 m³/h/m e 4,67 m³/h/m (OLIVA, 2002; DAEE, 2005). A figura 4 apresenta o perfil geológico para a região de Rio Claro.

Figura 4 - Perfil geológico composto da formação Rio Claro.



Fonte: Adaptado de Zaine (2000).

Segundo Oliva (2002), a exploração de águas subterrâneas no município tem sido implementada no Aquífero Tubarão, que na região é relativamente profundo (200 a 500

metros) e caracterizado pela baixa produtividade, apresentando salinidade da ordem de 1000 ppm em suas porções mais profundas, o que segundo os padrões de potabilidade predispostos pela Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde, 250 mg/L e 200 mg/L (valores máximos permitidos para os parâmetros cloreto e sódio, respectivamente) é caracterizada como alta.

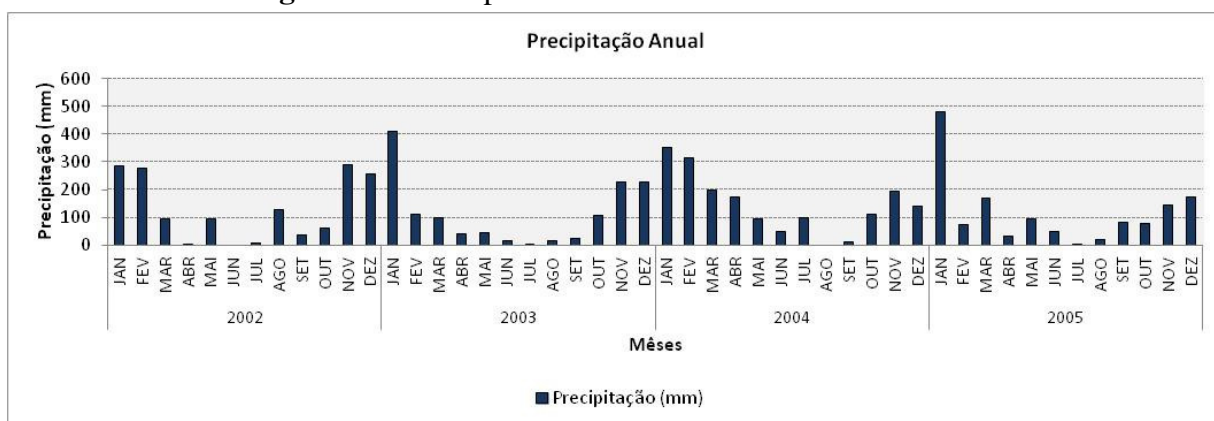
3.4.Clima

O clima na região é do tipo *Cwa* na classificação de Köppen, onde: *C* é a média do mês mais frio (3°C a 18°C); *w* corresponde à precipitação total média anual (seca no inverno) e *a* ao mês mais quente com temperatura média superior a 22°C, ou seja, para a área podem ser identificados dois períodos distintos, de estações definidas (TROPPMAIR, 1992), quais sejam:

- de abril a setembro é o período seco, com ocorrência de 15 a 20 dias de chuva, total de 180 a 200 mm de chuva, e temperatura média de 17°C;
- de outubro a março é o período chuvoso, com 55 a 60 dias de chuva, totalizando 1200 mm, e temperatura média de 22°C.

A partir de dados da Estação Meteorológica de Rio Claro, situada no Campus da Unesp no bairro Bela Vista, junto ao CEAPLA, foi produzido um gráfico, que apresenta a distribuição mensal do regime de chuvas correspondente ao período de janeiro de 2002 a dezembro de 2005 (Figura 5). É possível observar um período seco entre os meses de abril e setembro, e um período chuvoso que se estende de outubro a março.

Figura 5 - Dados pluviométricos de 2002 a 2005.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

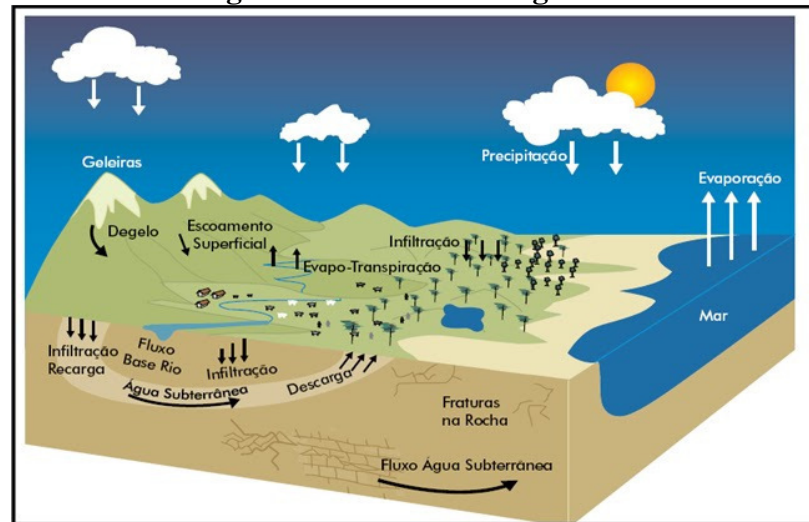
4.1.Ciclo Hidrológico

Grande parte da água subterrânea existente na Terra tem origem no ciclo hidrológico. Excetuam-se as águas muito mineralizadas, retidas aos interstícios das rochas sedimentares por ocasião de sua formação, denominadas congênicas ou conatas, e as novas águas de origem magmática, vulcânica ou cósmica adicionadas ao suprimento de água terrestre, denominadas juvenis.

O ciclo hidrológico é um sistema natural pelo qual a água circula do oceano para a atmosfera e daí para os continentes, de onde retorna, pela superfície e subsuperfície, ao oceano, sendo governado no solo e subsolo pela ação da gravidade, bem como pelo tipo de cobertura vegetal; e na atmosfera e superfícies líquidas, como rios, lagos, mares e oceanos, pelos elementos e fatores climáticos, como temperatura, ventos, umidade relativa do ar e radiação solar, responsáveis pelos processos de circulação da água (Figura 6) (FEITOSA, 2000).

O ciclo hidrológico pode ser inicialmente descrito a partir do vapor de água presente na atmosfera que, sob determinadas condições meteorológicas se condensa formando microgotículas de água que se mantêm suspensas no ar devido à turbulência natural. O agrupamento das microgotículas que são poeira e gelo formam o que chamamos de nuvem ou de nevoeiro, quando formado junto ao solo. Através da dinâmica das massas de ar, acontece a principal transferência de água da atmosfera para a superfície terrestre que é a precipitação pluviométrica.

Figura 6 – Ciclo Hidrológico.



Fonte: MMA (2007).

Entende-se por precipitação todas as formas de água líquida ou sólida provenientes da atmosfera e que se depositam no solo, bem como os produtos da condensação do vapor de água da atmosfera, que se formam no extrato mais baixo (KOEPPEN, 1948). As principais formas de precipitação são:

- **Chuva:** gotas de água líquida que caem, com um diâmetro de pelo menos 0,5 mm, e geralmente de 2 mm. A chuva tem uma taxa de acumulação de ≥ 1 mm/hora. Precipitação de água líquida em forma de gotículas de menos de 0,5 mm é denominada garoa;
- **Neve:** cristais de gelo que caem em grupos ramificados, como flocos. A neve molhada tem cristais ligados por água líquida em poros e cavidades interiores. Os cristais individuais têm uma forma exagonal (agulhas ou plaquetas);
- **Granizo:** grãos, bolas ou massas duras e irregulares de gelo, com pelo menos 5 mm de diâmetro que se formam a partir de camadas alternadas de gelo opaco e claro. O núcleo de uma pedra de granizo é formado por uma gota de água congelada (um grão de gelo) ou uma partícula de gelo; e
- **Orvalho:** gotículas de condensação sobre superfícies de solo ou grama, depositadas quando a temperatura da superfície está abaixo da temperatura do ponto de orvalho do ar. A geada é a forma congelada, quando cristais de gelo se depositam sobre uma superfície (BARRY & CHORLEY, 2013).

Dentre essas principais formas, apenas a chuva e a neve contribuem significativamente para os totais de precipitação.

A forma de precipitação abordada no presente estudo é a chuva, que em hidrologia é conhecida pelo termo *precipitação pluviométrica*, também definida como toda água (líquida) proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre (TUCCI, 2009).

A disponibilidade de precipitação numa bacia durante o ano é o fator determinante para quantificar, entre outros, a necessidade de irrigação de culturas e o abastecimento de água doméstico e industrial.

As chuvas de pouca intensidade, mas muito prolongadas, que abrangem grandes áreas e que caem quando a umidade do ar é relativamente alta (cerca de 100%), desempenham o papel principal na alimentação dos lençóis freáticos. As mesmas proporcionam a máxima infiltração das precipitações nas camadas de solo (MIJAILOV, 1989).

As grandezas que caracterizam uma chuva são a *altura pluviométrica* (P ou r), a *duração* (t) que é o período de tempo durante o qual a chuva cai; a *intensidade* (i), definida como a precipitação pluviométrica em função do tempo obtida pela relação $i = P/t$, expressa normalmente por mm/h; a *frequência*, ou seja, o número de ocorrências de determinadas precipitações; e o *tempo de recorrência* (Tr), que em análises de alturas pluviométricas máximas é interpretado como o número médio de anos durante o qual espera-se que a precipitação pluviométrica analisada seja igualada ou superada.

A altura pluviométrica é a espessura média da lâmina de água precipitada que recobriria a região atingida pela precipitação admitindo-se que esta água não se infiltrasse, evaporasse ou escoasse para fora dos limites da região e se sua distribuição ocorresse de forma uniforme em toda a área considerada. Sua unidade de medida é o milímetro de chuva, definido como a quantidade de precipitação correspondente ao volume de 1 litro por metro quadrado de superfície (TUCCI, 2009). Ou seja, o evento de chuva permitiu que fosse acumulado 1 litro de água em uma área de 1 m^2 .

A água da chuva que chega à superfície poderá escoar, evaporar ou infiltrar. A infiltração é o processo de penetração da água nas camadas de solo próximas à superfície do terreno, movendo-se para baixo, através dos vazios sob a ação da gravidade, até atingir uma camada suporte, que a retém, formando a água do solo. É dependente do tipo de solo, da ação da precipitação (compactação), uso e ocupação do solo e declividade (TUCCI, 2000).

A infiltração é o processo mais importante de recarga das águas subterrâneas, dependendo das características fisiográficas da área, como a cobertura vegetal, topografia, precipitação local e uso do solo (TEIXEIRA, 2009). É definida como sendo a passagem de água da superfície para o interior do solo e, portanto, dependente fundamentalmente da água

disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da sua superfície e das quantidades de água e ar, inicialmente presentes no seu interior.

À medida que a água se infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo vão se umedecendo de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil de umidade, preenchendo os vazios entre as partículas do solo, podendo chegar a saturação enquanto há aporte de água. Normalmente a infiltração decorrente de precipitações naturais não é capaz de saturar todo o solo, restringindo-se a saturação às camadas mais próximas a superfície do terreno (TUCCI, 2009).

O volume de água infiltrado e armazenado em subsuperfície, constitui um sistema hidrogeológico.

4.2.Hidrogeologia

As águas superficiais e subterrâneas não são necessariamente recursos independentes. Em muitos casos ocorrem interconexões entre rios e/ou lagos e aquíferos, pois dependendo da permeabilidade do leito do rio e da diferença de carga potenciométrica entre um rio e um aquífero, por exemplo, a água pode fluir de um para outro. É dessa forma que nos aquíferos aluviais a recarga tem origem fluvial nos períodos de chuvas, enquanto que o fluxo de base dos rios nos períodos de seca é assegurado pelo aquífero (FEITOSA, 2000).

Os sistemas hidrogeológicos podem ser classificados em **aquífero**, definido como uma formação geológica ou grupo de formações geológicas que contêm água e permite que a mesma se movimente em condições naturais e em quantidades significativas; **aquicludo**, definido como uma formação geológica que pode conter água, mas sem condição de movimentá-la, e **aquitardo**, como sendo uma formação geológica de natureza semipermeável que transmite água a uma taxa muito baixa comparada a do aquífero (TUCCI, 2009).

A Resolução nº15/2001 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2001) adota o mesmo conceito de aquífero apresentado por TODD (1980): corpo hidrogeológico com capacidade de acumular (reservatório) e transmitir água através de seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos.

Aquíferos podem ser classificados em confinados e não-confinados (ou livres). O primeiro é limitado acima e abaixo por formações impermeáveis e encontra-se a uma pressão maior que a pressão atmosférica. Já para o aquífero livre, seu limite superior (nível d'água

subterrânea) encontra-se submetido a uma pressão igual à pressão atmosférica, em todos os seus pontos.

As reservas hídricas dos aquíferos são classificadas em reservas renováveis e permanentes. As reservas permanentes ou seculares são aquelas que se situam abaixo da variação anual do nível freático. As reservas reguladoras ou renováveis correspondem ao volume de água armazenada no aquífero acima do nível freático mínimo. Elas correspondem, de forma geral, ao escoamento de base dos rios, ou seja, à contribuição do aquífero para os rios ao longo de um ano hidrológico. O valor de escoamento básico de um rio pode ser considerado, portanto, como valor de recarga dos aquíferos (ANA, 2005).

As águas subterrâneas encontradas nos sistemas aquíferos regionais são águas resultantes do armazenamento ao longo de milhares de anos e se encontram em condições naturais, numa situação de quase equilíbrio, governado por um mecanismo de carga e descarga (FEITOSA, 2000).

4.3. Recarga de águas subterrâneas

Dependendo das características do aquífero, parte da água infiltrada pode provocar uma elevação no nível freático, e conseqüentemente, um aumento no gradiente de descarga (MAZIERO e WENDLAND, 2005), sendo que as variações do nível d'água estão vinculadas às variações nas taxas de infiltração das águas precipitadas.

A exploração do recurso hídrico subterrâneo está condicionada à manutenção do balanço hídrico dos sistemas aquíferos, pois a quantidade disponível para extração é dependente da reposição da água extraída. Caso contrário, a exploração contínua sem ser observado o equilíbrio deste balanço pode provocar uma redução na quantidade de água disponível para extração. Ao processo de reposição da água nos aquíferos, dá-se o nome de recarga (CARIA, 2012).

Segundo Paralta et al. (2003), estudos envolvendo a recarga de aquíferos mostram-se fundamentais à hidrogeologia para estimar o volume dos recursos hídricos subterrâneos e para os cálculos de sua disponibilidade para usos, em especial em zonas de conflitos de interesse. Significa também, implicações no balanço hídrico geral dos sistemas aquíferos, especialmente nos aquíferos freáticos pouco profundos.

A definição do termo recarga de águas subterrâneas pode apresentar certa semelhança com a definição de infiltração. Porém, a infiltração é a água que percola da superfície para a

zona não saturada e a recarga é uma porção desta infiltração que realmente atinge o nível da água, ou seja, é a quantidade de água que entra na zona saturada (MARTELLI, 2012; PARALTA et al., 2006; CARIA, 2012).

De modo geral, a recarga é a quantidade de água que contribui para o aumento da reserva subterrânea permanente ou temporária de um aquífero, e a área onde ocorre essa realimentação ou renovação é chamada zona de recarga (BERTOL, 2007).

Segundo Paralta et al. (2003), a recarga pode ser estimada por meio de métodos diretos e indiretos. Os **diretos** são efetuados a partir dos métodos do balanço hídrico (formulação empírica), modelos físicos, como o balanço entre águas superficiais e subterrâneas (descarga e recarga), modelos de circulação da zona vadosa (modelos determinísticos), e por meio de traçadores químicos, bacteriológicos, orgânicos ou isotópicos. Já os métodos **indiretos**, por sua vez, compreendem o estudo da oscilação piezométrica, em que variações positivas correspondem à recarga, e a aplicação da Lei de Darcy (Estima o fluxo a partir de gradientes da carga e da condutividade hidráulica. A recarga é estimada quando a condutividade hidráulica de duas seções do aquífero são conhecidas, bem como sua área e cargas hidráulicas.), porém, requerem o conhecimento de parâmetros hidrogeológicos básicos como, por exemplo, o coeficiente de armazenamento, o coeficiente de recessão e a condutividade hidráulica.

Costa (2000) define 4 tipos de reserva: a reserva renovável ou reguladora, a reserva permanente, a reserva total e a reserva explorável. As reservas permanentes constituem as águas acumuladas que não variam em função das precipitações anuais e as totais constituem o conjunto das reservas permanentes e reguladoras. As reservas de exploração constituem a quantidade máxima de água que poderia ser extraída de um aquífero sem riscos de prejuízos ao manancial, sendo então as reservas reguladoras, uma parcela das reservas permanentes. A recarga aquífera em condições de equilíbrio natural pode ser entendida como a reserva renovável, que corresponde ao volume de água subterrânea acumulada anualmente acima do nível d'água do mesmo, que sofre variação conforme o regime pluviométrico.

Há vários métodos disponíveis para quantificar a recarga subterrânea e cada método possui suas próprias limitações em termos de aplicabilidade e confiança. Os métodos mais utilizados apontados por Maziero e Wendland (2005), são:

- ✓ Método da Precipitação Cumulativa (CRD – *Cumulative Rainfall Departure*);
- ✓ Método de Flutuação da Superfície Piezométrica (WTF – *Water Table Fluctuation*) ou da Variação dos Níveis D'água;
- ✓ Modelação Subterrânea (GM – *Groundwater Modelling*); e

- ✓ Método de Flutuação do Volume Saturado (SVF – *Saturated Volume Fluctuation*), ou Método do Balanço Hídrico.

Segundo os mesmos autores, os métodos baseados em relações entre precipitação e variação de níveis piezométricos garantem maior proximidade com dados reais.

O método da **Precipitação Cumulativa** (CDR) aborda o balanço hídrico e baseia-se na premissa de que o equilíbrio num aquífero se condiciona ao longo do tempo, onde a taxa média de perdas se equilibra a taxa média de recarga do sistema. Em outras palavras, as flutuações do nível água subterrânea são causados por eventos de precipitação e há equilíbrio também com a descarga nos recursos hídricos superficiais (BAALLOUSHA, 2005). O método requer dados mensais de precipitação e de profundidade do nível de águas subterrâneas, bem como informações referentes à parâmetros hidrodinâmicos do aquífero (coeficiente de armazenamento), captações e do tamanho da área de recarga. Sua vantagem está em ser um método simples e que com longas séries de dados pode-se estabilizar o erro. Em contrapartida, requer o conhecimento das taxas de captação e caso não se tenha esse dado, a precisão fica dependente de uma boa estimativa das captações e do coeficiente de armazenamento (KINZELBACH et al., 2002).

O método da **Flutuação da Superfície Piezométrica** (WTF) baseia-se na premissa de que as elevações nos níveis d'água em aquíferos não-confinados são devidas à água de recarga subterrânea que alcançam a superfície potenciométrica. É aplicável apenas para aquíferos livres (não-confinados) e requer o conhecimento do rendimento específico e das variações no nível d'água ao longo do tempo. A vantagem dessa aproximação está na sua simplicidade de uso. Como desvantagem, é restrito a aquíferos pouco profundos, onde as variações do nível d'água são percebidas mais rapidamente, uma vez que a infiltração é de menor duração e as camadas mais rasas do solo possuem maior quantidade de vazios, fazendo assim, com que a água infiltrada contribua para o volume do poço mais rapidamente e em maior quantidade (ao se comparar à água que chega as camadas mais profundas do subsolo). A incerteza gerada por este método está relacionada à precisão com que o rendimento específico pode ser determinado e como o nível da água subterrânea se eleva e rebaixa em resposta a muitos fenômenos diferentes. Ressalta-se que as flutuações nem sempre são indicativas de recarga ou descarga de água subterrânea, e as taxas de recarga podem ser superestimadas pelo método WTF (HEALY e COOK, 2002).

A **Modelagem Subterrânea** (GM) é baseada em modelos numéricos do fluxo subterrâneo e seu resultado é obtido por meio de programas computacionais gráficos. Esses modelos podem usar muitos tipos de informação e apresentar uma visão integradora. É

necessário realizar a calibração do modelo com muitas combinações e comumente é necessário um grande número de dados de entrada, como por exemplo, distância entre a camada superior e inferior do aquífero, condutividade hidráulica, coeficiente de transmissividade, parâmetros de armazenamento e porosidade efetiva, taxa diária de evapotranspiração potencial e precipitação, valor da quantidade de água retida no solo no primeiro dia do balanço hídrico a ser efetuado (KINZELBACH et al., 2002; LOPES et al., 2012). Em função dos parâmetros utilizados esse método terá incertezas. Essa incerteza é conferida pela incerteza interna do *software*, a calibração da condutividade hidráulica e calibração da transmissividade, por exemplo. A modelagem numérica garante resultados aproximados para as equações de fluxo. Os sistemas aquíferos geralmente não são homogêneos e não apresentam contornos bem definidos, e por isso, nessas regiões, os métodos analíticos não resolvem com precisão as equações (KUNZLER, 2007).

O método do **Balanço Hídrico** (SVF) possui algumas variedades em termos de alternativas de cálculo, mas em geral se pondera os seguintes componentes: precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e subterrâneo. Como principais metodologias é possível citar o Balanço de Cloretos, baseado no fato de que o íon cloreto é conservativo e não sofre modificações durante a infiltração, e o modelo BALSEQ, Balanço Hídrico Sequencial Diário, um modelo numérico desenvolvido em 1981 por Lobo Ferreira (1981, apud PARALTA et al., 2003; BRITO, 2007). Para estas metodologias também são utilizados dados diários de precipitação e evapotranspiração, e valores do fator *CN* (Curva Número) do SCS (*U.S. Soil Conservation Service*) (1972) para determinar o escoamento superficial, dados que nem sempre encontram-se disponíveis para determinadas regiões.

4.4. Gestão de Recursos Hídricos: Outorga de Uso e Legislação

No que diz respeito à gestão de recursos hídricos, a Lei Federal nº 9433/97 (BRASIL, 1997), que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, apresenta a Outorga dos Direitos de Uso como um de seus instrumentos mais importantes.

Porém, para água subterrânea apenas parte dos Estados brasileiros possuem critérios consolidados para a análise e emissão das outorgas. Uma das dificuldades para a definição de metodologias está no cálculo da disponibilidade hídrica subterrânea.

No Estado de São Paulo, os critérios para a emissão das outorgas consideram os poços e o tipo de aquífero explorado, além de eventuais problemas de contaminação do solo ou do

aquífero. Porém, diante da precariedade das condições em que os poços são perfurados na grande maioria dos casos (principalmente no interior do Estado), são grandes as incertezas quanto ao volume explorado e as características da região em termos de perfil de solo. Esse foi o principal obstáculo relatado no diagnóstico publicado pela ANA (2007), que relatou também, outra principal dificuldade enfrentada pelos órgãos públicos, a fiscalização, pois ainda há dificuldades em acompanhar áreas de difícil acesso, em termos de recursos financeiros e pessoal capacitado.

A fim de solucionar o problema da divergência dos critérios e procedimentos para outorga é discutida a necessidade de estudos envolvendo o cálculo da disponibilidade hídrica dos aquíferos, pois a partir de um melhor entendimento dos sistemas aquíferos, é possível a realização do zoneamento para a orientação quanto à sua exploração futura. Sendo assim, é de grande relevância o zoneamento dos aquíferos, principalmente em áreas de demanda elevada por água subterrânea e com forte tendência de crescimento populacional, industrial ou agrícola, assim como da proteção das áreas de recarga (ANA, 2007).

O trabalho de Motta e Costa et al. (2011) propõem que os critérios metodológicos para outorga de águas subterrâneas devem ser analisados à luz dos seguintes níveis de abrangência:

- ✓ **Global:** considera a Bacia Hidrográfica e a visão sistêmica e integrada do ciclo hidrológico, analisando as relações entre a exploração da água subterrânea e os fenômenos atuantes no ciclo hidrológico;
- ✓ **Regional:** nível estabelecido pelas zonas de recarga e descarga de água subterrânea, em que se procura avaliar as necessidades de proporcionar os usos múltiplos e prioritários; e
- ✓ **Local:** o objeto principal de análise é o poço e as consequências de sua perfuração em um determinado local da bacia.

4.5.Regionalização Hidrológica

O termo regionalização é utilizado em hidrologia para denominar a transferência de informações de um local para outro, em uma determinada área com comportamento hidrológico semelhante. Essa informação obtida por extrapolação pode ocorrer na forma de uma variável, função ou parâmetro (TUCCI, 2002):

- **Variável:** expressão que identifica o comportamento de um processo ou fenômeno, como, por exemplo: a vazão instantânea de uma seção de um rio; a precipitação num ponto da bacia durante 24h;
- **Função hidrológica:** representa uma relação entre uma variável hidrológica e uma ou mais variáveis explicativas ou estatística (probabilidade), como a curva de permanência, curva de probabilidade de vazões mínima; a relação entre áreas impermeáveis e densidade habitacional; e
- **Parâmetro:** interpretado como uma característica de um sistema hídrico, como, por exemplo, a área da bacia, coeficiente de rugosidade, *CN* do modelo *Soil Conservation Service*, tempo de concentração da bacia.

A regionalização permite obter informações hidrológicas, por interpolação ou extrapolação, em locais sem dados ou com poucos dados disponíveis, considerando apenas o acervo de dados existente. A técnica parte do princípio da similaridade espacial de algumas funções, variáveis ou parâmetros que permitem essa transferência. O benefício adicional da análise regional da informação é o aprimoramento da rede de coleta de dados hidrológicos, à medida que a metodologia explora melhor as informações disponíveis e identifica lacunas (TUCCI, 2002; ELETROBRÁS, 1985).

Desde 1980, o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), vem desenvolvendo uma metodologia para estimar a disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas do Estado de São Paulo, sem disponibilidade ou com poucos dados hidrológicos disponíveis.

A metodologia de Regionalização de Vazões do Estado de São Paulo utilizada pelo DAEE (LIAZI et al., 1988) baseou-se nos totais anuais precipitados em 444 postos pluviométricos, nas séries de descargas mensais observadas em 219 estações fluviométricas e nas séries históricas de vazões diárias de 88 postos fluviométricos, resultantes de estudos regionais de águas subterrâneas que abrangeram todo o Estado, entre 1972 e 1983.

A partir dos dados hidrológicos obtidos e da elaboração das cartas de isoietas médias anuais para o Estado, foram definidas 21 regiões hidrologicamente semelhantes para o Estado de São Paulo, classificadas de “A” a “U”, conforme Figura 7.

São Paulo, que inclui as equações de Liazi et al. (1988), a partir da entrada dos dados da área da bacia e respectivas coordenadas geográficas.

Para estimar a recarga de águas subterrâneas por área, vem sendo verificada a utilização da vazão de permanência de 95% do período, relativa a um corpo d'água superficial, aplicada à área da bacia hidrográfica a qual o mesmo drena, pois observa-se certa semelhança com valor do escoamento de base (LIAZI, et al, 1988; ANA, 2005).

Como visto anteriormente, a estimativa da vazão de permanência de 95% para um certo período em uma área pode ser obtido com relativa facilidade, e assim sendo, caso confirmada a possibilidade de sua utilização para estimar a recarga subterrânea, esse dado se tornaria uma importante ferramenta para o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos da bacia de interesse.

4.6. Vazão de 95 % de permanência: Q_{95}

A curva de permanência ou de duração é obtida da frequência da ocorrência das vazões ou níveis em rios de uma determinada bacia. Essa curva demonstra a parcela do tempo em que uma determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado. A curva de permanência é utilizada quando é necessário conhecer a permanência no tempo de determinados valores de vazão (TUCCI, 2002).

Geralmente é definida com base em vazões diárias para o período da série histórica, mas pode ser elaborada para dados mensais ou anuais. A Figura 8 apresenta um exemplo de curva de permanência obtida para a área de estudo por meio do método da regionalização hidrológica por meio do programa fornecido pelo SIGRH – Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH, 2014).

A variável Q_{95} representa então, um valor de vazão do corpo hídrico superficial que é igualado ou superado durante 95% do período de observação. A vazão de 95% de permanência é um valor característico do comportamento em estiagem de uma bacia, e é utilizada na definição de energia firme de aproveitamentos hidrelétricos (TUCCI, 2002).

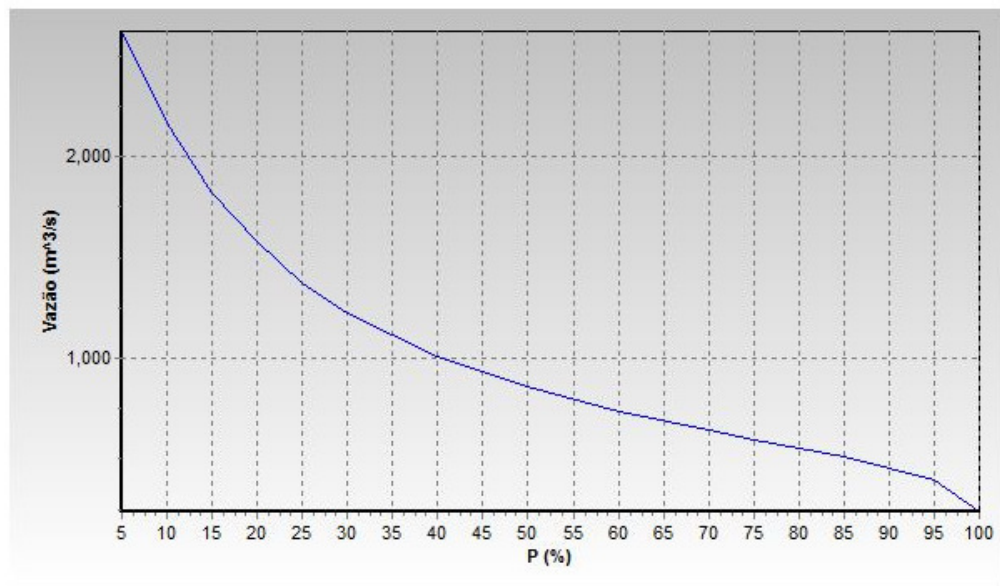
A curva de permanência permite a identificação de valores característicos de níveis ou vazões associados a diferentes probabilidades de permanência no tempo, importantes para estudos de enchimento de reservatórios, operação de usinas hidrelétricas e, em alguns casos, para o estudo do desvio do rio e estudos energéticos, dentre outros. A vazão para 95% de permanência é utilizada em projetos de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) como

referência para avaliação preliminar da potência instalada e da energia firme, definida como a máxima produção contínua de energia que pode ser obtida supondo a ocorrência da seqüência mais seca registrada no histórico de vazões do rio onde está localizada (ELETROBRÁS, 2000; ANEEL, 2005).

Figura 8 - Curva de Permanência para a área de estudo.

Vazão para "P (%)" de permanência (m^3/s):

P (%)	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	75	80	85	90	95	100
Q (m^3/s)	2,618	2,167	1,818	1,575	1,371	1,225	1,008	0,862	0,742	0,647	0,598	0,553	0,512	0,459	0,397	0,244



Fonte: SIGRH (2014).

5. MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA RECARGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os vários métodos para estimar a recarga de água subterrânea resultam em informações ao longo de várias escalas de tempo e espaço e podem ser usados em uma gama de complexidades e adversidades. Porém, existe a preocupação quanto à dificuldade em avaliar a incerteza associada com os resultados obtidos; é extremamente difícil atingir a acurácia em qualquer um dos métodos (HEALY e COOK, 2002).

A facilidade de obtenção de dados e a simplicidade na estimativa da recarga, bem como a confiabilidade do método, são fatores que influenciam na escolha da metodologia aplicável. Portanto, estudos devem buscar uma metodologia com essas características, de modo a fornecer subsídios para uma melhor gestão dos recursos hídricos, mesmo que em locais com deficiência de dados disponíveis.

Dentre os vários métodos existentes para estimar a recarga de águas subterrâneas, é possível citar como métodos mais comumente utilizados a Variação dos Níveis D'água – VNA e o método do Balanço Hídrico. Para Maziero e Wendland (2005) os métodos baseados em relações entre precipitação e variações da superfície piezométrica têm um maior potencial de prever a recarga subterrânea com valores que tendem a ser mais representativos da realidade.

Porém, esses métodos necessitam grande número de parâmetros de entrada, específicos para a área, equipamentos e acompanhamento diário das oscilações do nível freático, tornando inviável sua aplicação em algumas áreas, diante da indisponibilidade de dados.

A proposta deste estudo é estimar a recarga através de métodos que utilizam o mínimo de dados possíveis, no caso necessitando apenas dos dados de precipitação acumulada anual, e que apesar da simplicidade são confiáveis. A seguir serão apresentados os conceitos referentes aos métodos utilizados.

5.1. Métodos para estimativa da recarga de águas subterrâneas por meio da precipitação pluviométrica.

Na Índia, várias fórmulas empíricas foram elaboradas a fim de fornecer um valor estimado da recarga para várias regiões, com base em estudos detalhados. A mais antiga delas é a equação de Chaturvedi, modificada pelo *U.P. Irrigation Research Institute, Roorkee*, Índia

(equação 1) (KUMAR, 2004), que a partir de dados de flutuação do nível d'água e dados de precipitação derivou uma relação empírica para calcular a recarga em função da precipitação anual.

$$R_r = 1,35 (P - 14)^{0,5} \quad (1)$$

Onde:

R_r = Recarga do aquífero relativa somente à água originada das chuvas (polegadas);

P = Precipitação pluviométrica média anual da estação (polegadas).

A fórmula Chaturvedi (1973, apud KUMAR & SEETHAPATHI, 2002) tem sido amplamente utilizada na Índia para estimativas da recarga de água subterrânea devido à chuva, porém, nota-se que há um limite inferior da precipitação abaixo do qual a recarga subterrânea devido a chuva é zero ($P = 14$). Este limite inferior de precipitação na fórmula pode representar o déficit de umidade do solo, as perdas por interceptação e evaporação potencial. Por conta desses fatores específicos, a fórmula de Chaturvedi não deve ser usada de modo generalizado.

No trabalho de Kumar e Seethapathi (2002) é proposta uma nova fórmula empírica, garantindo 8% de precisão para a região do Canal do Ganges Superior, Índia (equação 2). A partir de estudo detalhado do balanço hídrico sazonal (12 anos de observação), observaram que a recarga aumentava conforme o aumento da precipitação, mas que a relação entre ambos não era linearmente proporcional. Então, a equação proposta foi uma relação empírica (similar à fórmula Chaturvedi) derivada do ajuste dos valores estimados de recarga devido à chuvas e os valores correspondentes de precipitação na época das monções, através da técnica de regressão não-linear (KUMAR, 2004).

$$R_r = 0,63 (P - 15,28)^{0,76} \quad (2)$$

Onde:

R_r = Recarga devido somente a águas das chuvas na estação das monções (polegadas);

P = Precipitação média anual na estação das monções (polegadas).

O trabalho de Krishna Rao (KUMAR, 2004) aplica o método com o objetivo de obter uma regionalização, fornecendo relação empírica (equação 3) para estimar a recarga em áreas hidrologicamente homogêneas, qual seja:

$$R_r = K (P - X) \text{ (equação genérica)} \quad (3)$$

Onde:

R_r = Recarga do período de chuva de monções (mm);

K = Coeficiente de recarga;

P = Precipitação média do período de monções (mm);

X = Constante referente à precipitação.

Aplicada em Karnataka, Índia, a recarga pode ser estimada para áreas com semelhante intervalo de precipitação. A equação 4 para áreas com precipitação anual entre 400 mm e 600 mm, a equação 5 para áreas com precipitação entre 600 mm e 1000 mm e a equação 6 para áreas com precipitações maiores que 1000 mm.

$$R_r = 0,20 (P - 400) \quad (4)$$

$$R_r = 0,25 (P - 400) \quad (5)$$

$$R_r = 0,35 (P - 600) \quad (6)$$

Onde:

R_r = Recarga devido a chuvas (mm/ano);

P = Precipitação média anual (mm).

Convém destacar que esses métodos consideram apenas as chuvas do período de monções, onde os índices pluviométricos são maiores.

5.2. Estimativa da recarga a partir de valores de Vazão de Permanência

O método para estimativa da recarga através da Q_{95} considera a recarga como sendo o volume de água necessário para a regularização do curso d'água em períodos de estiagem, ou seja, o fluxo de base. Assim sendo, a recarga pode ser calculada através de dados pluviométricos, da área e da metodologia de Liazi et al. (1988) com a obtenção da Q_{95} , seguindo as etapas:

- Classificar a região de interesse dentro da região hidrológica correspondente, conforme localização no mapa da Figura 6;
- Obter os parâmetros da reta de regressão (a e b) conforme Tabela 1, abaixo;
- Calcular a Vazão Média Plurianual ($\bar{Q}$), a partir da precipitação média anual local e a área de drenagem da região de interesse (área da bacia);
- A partir do parâmetro probabilístico regional (q_p) para 95% e a vazão média plurianual anteriormente calculada, é obtida a Q_{95} .

Tabela 1 - Parâmetros regionais: a e b (vazão média), e parâmetro probabilístico regional q_p para as frequências acumuladas 50, 90, 95 e 100.

Região Hidrológica	Média Plurianual		Curvas de Permanência q_p			
	a	b	Frequência Acumulada em			
			Porcentagem			
			50	90	95	100
A	-22,14	0,0292	0,081	0,393	0,348	0,26
B	-29,47	0,0315	0,846	0,43	0,371	0,165
C	-29,47	0,0315	0,846	0,43	0,371	0,165
D	-22,14	0,0292	0,897	0,56	0,51	0,423
E	-22,14	0,0292	0,834	0,504	0,44	0,358
F	-22,14	0,0292	0,905	0,598	0,558	0,465
G	-26,23	0,0278	0,789	0,42	0,363	0,223
H	-29,47	0,0315	0,845	0,49	0,434	0,324
I	-29,47	0,0315	0,895	0,585	0,54	0,413
J	-29,47	0,0315	0,807	0,462	0,414	0,288
K	-26,23	0,0278	0,845	0,49	0,434	0,324
L	-26,23	0,0278	0,915	0,583	0,527	0,42
M	-4,62	0,0098	0,874	0,57	0,516	0,429
N	-26,23	0,0278	0,789	0,42	0,363	0,223
O	-26,23	0,0278	0,775	0,374	0,316	0,17
P	-26,23	0,0278	0,775	0,374	0,316	0,17
Q	-4,62	0,098	0,915	0,583	0,527	0,42
R	-4,62	0,098	0,873	0,527	0,463	0,34
S	-4,62	0,098	0,81	0,488	0,42	0,293
T	-4,62	0,098	0,781	0,38	0,316	0,241
U	-4,62	0,098	0,781	0,38	0,316	0,241

Fonte: Adaptado de Liazi et al. (1988).

A vazão Q_{95} distribuída para a área de drenagem, ou seja, pela divisão do valor pela área em metros quadrados, após transformações de unidades, resultará o valor da recarga em milímetros por ano.

6. MATERIAL E APLICAÇÃO DOS MÉTODOS

6.1. Material

O estudo foi desenvolvido na área urbana do município de Rio Claro/SP, utilizando-se de dados do monitoramento dos níveis d'água de dois poços localizados na Universidade Estadual Paulista – Unesp – Campus de Rio Claro e dados pluviométricos diários (de 2002 a 2005), além da aplicação da técnica de regionalização de vazões para o cálculo da Vazão de Permanência de 95% do período - Q_{95} .

Para uma melhor compreensão e desenvolvimento da temática de estudos, foi realizado um levantamento de dados para a área de estudo abrangendo:

- Fisiografia (geologia e hidrogeologia);
- Características hidroclimáticas (clima, pluviosidade média anual);
- Levantamento de dados a cerca de estudos hidrofaciológicos, geofísicos e de monitoramento do nível d'água de poços realizados na área.

Esses dados serviram de base para o entendimento das condições pluviométricas da área, para a caracterização geológica e hidrogeológica da área estudada, apresentada nos itens iniciais desse estudo, bem como verificar a existência de demais trabalhos relacionados ao tema, também aplicados à mesma área, com os quais foi possível comparar os resultados finais.

6.1.1. Levantamento de dados de pluviosidade

Os dados pluviométricos utilizados neste estudo foram medidos na estação meteorológica de Rio Claro (CEAPLA - Centro de Análise e Planejamento Ambiental da Unesp) e apresentados por Carnier Neto (2006). Os dados obtidos compreendem ao período entre 2002 e 2005, quando foi realizado o monitoramento dos poços.

6.1.2. Dados de Monitoramento de Poços

Foram utilizados dados do estudo realizado por Carnier Neto (2006), que monitorou a coluna de água de dois poços localizados na Unesp – Campus de Rio Claro, (IGCE-3 e IGCE-6) e estudo hidrofaciológico do Aquífero Rio Claro realizado por Oliva (2006). O primeiro poço, o IGCE-3, foi perfurado em março de 2001, com profundidade de 17m, e monitorado

até abril de 2004, quando os equipamentos foram desmobilizados. A partir de então, o monitoramento prosseguiu no poço IGCE-6, de 20,1m de profundidade, o qual foi perfurado em setembro de 2006 para substituir o poço IGCE-3.

Na Figura 9 é possível ver a localização dos poços de monitoramento.

Figura 9 - Localização dos poços de monitoramento IGCE-3 e IGCE-6.



Fonte: Google Earth (2013).

6.2. Aplicação dos métodos

Com os dados diários de precipitação e coluna d'água foram plotados gráficos para melhor visualização das oscilações e estações secas e chuvosas, bem como observar as relações entre precipitação e recarga.

A recarga em si, foi estimada a partir da Vazão de Permanência de 95% do período, a Q_{95} , aplicada à área de 97,5 Km² de ocorrência da Formação Rio Claro, considerando-se esta como sendo a área de contribuição para o Aquífero Rio Claro. Esta metodologia não foi anteriormente testada e praticamente não se tem dados bibliográficos a esse respeito. Sabe-se por conhecimento de especialistas que há semelhança entre os valores encontrados para esta

vazão e o fluxo de base. Por esta razão, a recarga também foi calculada por outras metodologias mais amplamente utilizadas e publicadas.

A partir da somatória das precipitações acumuladas mensais para cada ano foi possível calcular a recarga pelas metodologias apresentadas por Kumar e Seethapathi (2002) e Krishna Rao (KUMAR, 2004). A utilização desses dois métodos empíricos se justifica pela simplicidade, em termos da quantidade de parâmetros de entrada, e por representar a correlação entre precipitação e recarga.

De forma complementar, por meio da comparação a partir da consulta aos demais estudos relacionados ao tema das águas subterrâneas na região de Rio Claro-SP, foi possível analisar os resultados obtidos pelos métodos empregados.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados de precipitação e coluna d'água apresentados na Tabela 2, foram plotados gráficos por meio dos quais foi possível observar a relação entre a precipitação e o incremento na recarga do aquífero, com defasagem de aproximadamente 2 meses ou segundo Carnier Neto (2006), 87 dias, entre o pico de maior precipitação e o pico da coluna de água, conforme se verifica nas Figuras 10 e 11.

Esta defasagem está ligada ao tempo de percolação das águas infiltradas no meio geológico. Nota-se que a amplitude da coluna d'água (valor mínimo ao máximo) para os 3 primeiros anos é maior que a de 2005 e que os picos de chuva não correspondem diretamente aos picos de coluna d'água. Isso é atribuído ao fato de que no aquífero, o armazenamento e a passagem da água pela zona não-saturada acabam por somar os eventos de chuva, suavizando as flutuações de forma a exibir um incremento contínuo e praticamente constante durante a época de recarga (CARNIER NETO e CHANG, 2008).

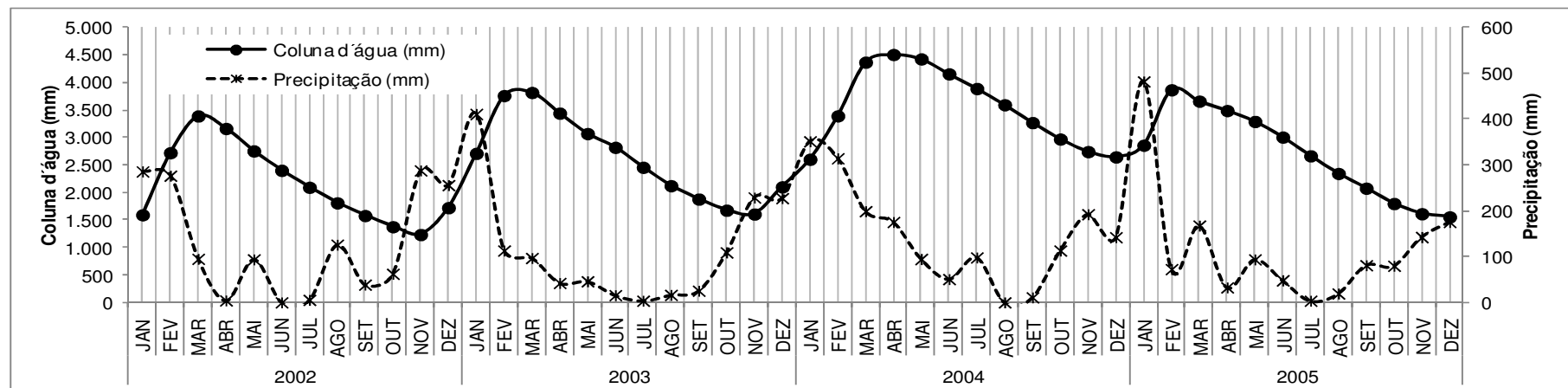
Os trechos da curva correspondentes à recarga do poço apresentam elevada inclinação positiva e os trechos de recessão, por sua vez, apresentam uma inclinação negativa e menos acentuada, de duração mais longa, cujo decaimento segue uma função exponencial. Esses trechos de recessão são ligados ao período de estiagem, onde se observa a manutenção da vazão do rio apenas pela descarga do aquífero.

A partir dos gráficos, nota-se, assim como Carnier Neto (2006), como a recarga é influenciada pela quantidade e pela distribuição da pluviosidade: chuvas mais bem distribuídas em 2004 fizeram com que a curva da coluna d'água atingisse seu maior valor, enquanto que em 2005, embora se tenha o maior pico de chuva da série de dados, a estação chuvosa teve uma duração mais curta, de forma que a recarga não foi tão grande quanto o ano anterior. Chuvas mais bem distribuídas infiltram de modo mais efetivo no solo, pois o escoamento superficial é menor e, portanto, tem-se uma maior recarga.

Tabela 2 - Médias mensais da coluna d'água e precipitação (P).

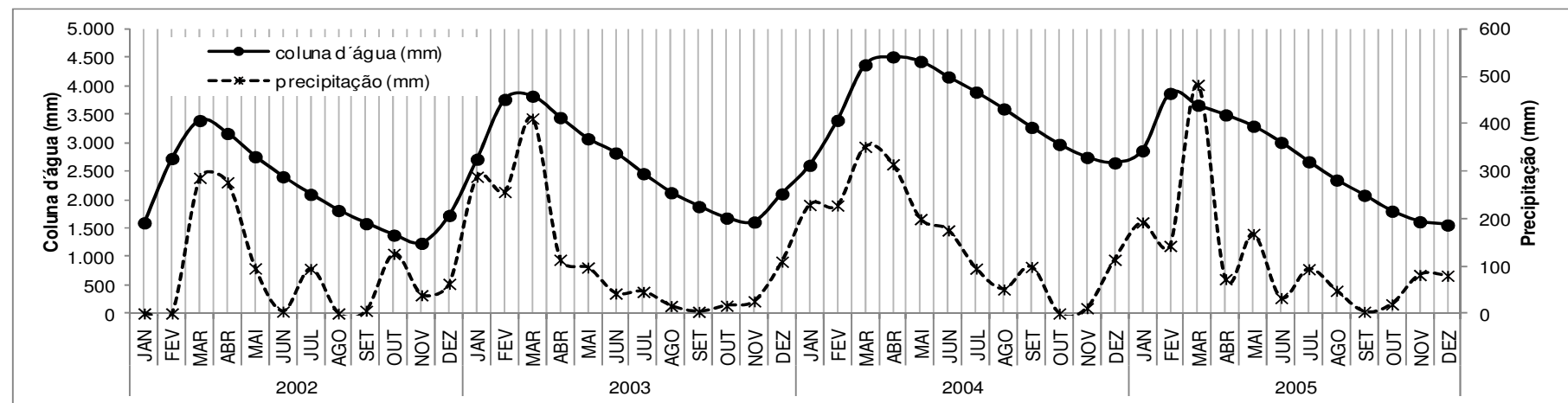
Ano	Mês	Coluna d água média mensal (mm)	P acumulada mensal (mm)	Somatória P acumulada/ano (mm/ano)
2002	Janeiro	1.593,29	285,90	1532,40
	Fevereiro	2.723,02	276,70	
	Março	3.390,91	94,90	
	Abril	3.163,32	4,10	
	Maio	2.755,11	93,90	
	Junho	2.402,34	0,00	
	Julho	2.093,48	5,60	
	Agosto	1.809,65	125,80	
	Setembro	1.578,89	38,70	
	Outubro	1.376,47	62,40	
	Novembro	1.233,61	288,20	
	Dezembro	1.723,15	256,20	
2003	Janeiro	2.710,95	411,20	1336,20
	Fevereiro	3.761,73	113,30	
	Março	3.818,10	96,90	
	Abril	3.442,42	42,30	
	Maio	3.070,31	45,80	
	Junho	2.819,95	15,60	
	Julho	2.457,37	3,50	
	Agosto	2.122,43	16,30	
	Setembro	1.878,83	25,60	
	Outubro	1.676,65	109,20	
	Novembro	1.606,84	229,00	
	Dezembro	2.101,34	227,50	
2004	Janeiro	2.603,76	351,40	1742,40
	Fevereiro	3.393,58	314,40	
	Março	4.369,67	199,00	
	Abril	4.508,59	175,30	
	Maio	4.428,52	94,70	
	Junho	4.156,51	50,90	
	Julho	3.889,77	97,90	
	Agosto	3.594,99	0,00	
	Setembro	3.270,30	11,00	
	Outubro	2.970,63	113,20	
	Novembro	2.741,90	192,30	
	Dezembro	2.645,77	142,30	
2005	Janeiro	2.858,91	482,20	1398,3
	Fevereiro	3.867,23	72,60	
	Março	3.660,35	167,50	
	Abril	3.489,15	32,60	
	Maio	3.290,63	93,60	
	Junho	3.006,64	48,10	
	Julho	2.665,58	3,60	
	Agosto	2.344,97	19,30	
	Setembro	2.076,40	81,10	
	Outubro	1.797,69	79,70	
	Novembro	1.612,25	142,50	
	Dezembro	1.554,83	175,50	

Figura 10 – Gráfico de precipitação e coluna d'água.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11 – Gráfico de coluna d'água e precipitação deslocada em 2 meses.



Fonte: Elaborado pelo autor.

7.1. Estimativa da recarga utilizando a fórmula empírica de Kumar e Seethapathi

De acordo com a fórmula proposta por Kumar e Seethapathi (2002), a recarga foi calculada para cada ano, pela equação 2 modificada (TOMAZ, 2011), pois no Brasil é adotada a unidade de precipitação em milímetros.

$$Rr = 1,37 \times (P - 388)^{0,76} \quad (7)$$

Onde

Rr = recarga devido às chuvas (mm/ano);

P = Precipitação pluviométrica (mm).

Utilizou-se para o cálculo a precipitação anual acumulada, uma vez que a fórmula indiana é aplicada ao dado de precipitação do período de monções¹, onde o índice pluviométrico é maior (na Índia), 75% da contribuição pluviométrica anual média (1.182,8 mm) advém das chuvas do período de monções, entre junho e setembro (ATTRI e TYAGI, 2010) e a estação seca e chuvosa é bem pronunciada; outro fator refere-se aos valores precipitados no período de monções que atingem, em algumas regiões indianas, 1.350 mm (região nordeste) (IMD, 2014), e então, as médias para este período estariam em torno da precipitação total acumulada na região de estudo.

A estimativa da recarga para os anos analisados está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Recarga anual do Aquífero Rio Claro (mm/ano) estimada pelo método de Kumar e Seethapathi.

Ano	Precipitação (mm)	Recarga (Rr) (mm/ano)
2002	1532,40	289,23
2003	1336,20	250,71
2004	1742,40	328,74
2005	1398,30	263,09

¹ Monção: sistema de ventos cujo sentido se inverte sazonalmente. Na época mais quente (verão), sopra do oceano para o continente, caracterizando um período de chuvas intensas. Na época mais fria, sopra do continente para o oceano, caracterizando um período de seca. Comumente observado na África e Ásia (BARRY e CHORLEY, 2013). Aqui, o termo é usado para relacionar a estação climática caracterizada por chuva intensa que ocorre na Índia entre os meses de junho e setembro.

7.2. Estimativa da recarga pelo método de Krishna Rao

Adotando o método de Krishna Rao (KUMAR, 2004), para as áreas cuja precipitação pluviométrica anual acumulada é maior que 1000 mm, pode-se obter:

$$Rr = 0,35 \times (P-600) \quad (8)$$

Onde:

Rr = recarga em mm/ano;

P = Precipitação pluviométrica acumulada anual em mm.

As estimativas da recarga obtidas pelo método de Krishna Rao para cada ano analisado, são listadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores da recarga anual do Aquífero Rio Claro estimadas pelo método de Krishna Rao (KUMAR, 2004).

Ano	Precipitação (mm)	Recarga (Rr) (mm/ano)
2002	1532,40	326,34
2003	1336,20	257,67
2004	1742,40	399,84
2005	1398,30	279,42

7.3. Estimativa da recarga utilizando a vazão de 95% de permanência no período

A vazão para 95% de permanência foi calculada a partir da metodologia apresentada por LIAZI et al. (1988) para regionalização de vazões e a recarga do aquífero Rio Claro foi estimada a partir da Q_{95} aplicada para a área de 95,7 Km² de ocorrência da Formação Rio Claro entre os rios Ribeirão Claro e Corumbataí.

Segundo o método de LIAZI et al. (1988), a Vazão Média de Longo Período pode ser calculada como mostrado a seguir (equação 9):

$$\bar{Q} = [a + (b \cdot \bar{P})] \cdot A \quad (9)$$

Onde:

$\bar{Q}$ = Vazão Média Plurianual (l/s);

a e b = parâmetros da reta de regressão;

$\bar{P}$ = Precipitação pluviométrica em mm/ano;

A = Área em Km².

As vazões de permanência que geram a Curva de Permanência podem ser calculadas pela equação 10, qual seja:

$$Q_p = q_p \cdot \bar{Q} \quad (10)$$

Onde:

Q_p = Vazão média de permanência de p % do período;

q_p = Parâmetro probabilístico regional em p % do período.

Para a área de estudo, os parâmetros de entrada para as equações são os apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados dos parâmetros para a região hidrológica G utilizados para o cálculo das vazões.

Parâmetro	Valor
Valor de a	-26,23
Valor de b	0,0278
q_p para 95 %	0,363

Portanto, substituindo-se os parâmetros de entrada e utilizando a área de 95,7 Km² e os valores de precipitação acumulada referente a cada ano, foram obtidas as vazões Q_{95} , em litros por segundo.

Os valores em litros por segundo foram convertidos para litros por ano, e depois divididos pela área da bacia em metros quadrados, de modo a obter a lâmina de água em milímetros por ano, estimando assim, a recarga. Assim, a Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para a recarga.

Tabela 6 – Recarga do Aquífero Rio Claro obtida pela vazão Q_{95} .

Ano	Q_{95} (l/s)	Recarga (Rr) (mm/ano)
2002	568,70	184,84
2003	379,22	123,25
2004	771,51	250,75
2005	439,18	142,75

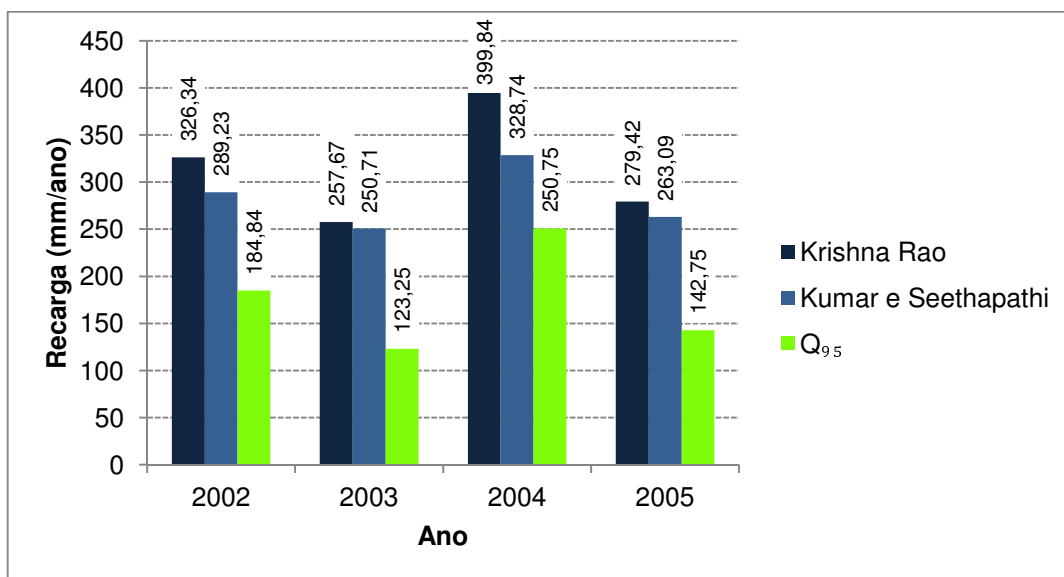
7.4.Comparação entre os métodos utilizados

A partir dos resultados obtidos nas etapas anteriores, foi possível verificar relações entre os dados encontrados no trabalho de Carnier Neto (2006), a estimativa da recarga encontrada por Zanetti (2012), por Oliva (2006), e a estimativa obtida pela Vazão de Permanência Q_{95} e pelos métodos de Kumar e Seethapathi e Krishna Rao, a partir dos dados pluviométricos.

As recargas estimadas neste estudo são apresentadas na Tabela 7 e Figura 12, onde também se pode verificar a porcentagem da precipitação anual que representa a recarga. Em média, a estimativa pela equação de Krishna Rao (KUMAR, 2004) representa aproximadamente 21% da precipitação anual; pela equação de Kumar e Seethapathi (2002) a recarga corresponde aproximadamente 20% da precipitação anual e pela Q_{95} , o valor chega a 12%, aproximadamente.

Tabela 7 – Recarga do Aquífero Rio Claro obtida pelos diferentes métodos. Onde P = Precipitação Acumulada Anual.

Ano	Recarga (Rr) (mm/ano)					
	Krishna Rao	% de P	Kumar e Seethapathi	% de P	Q_{95}	% de P
2002	326,34	21,30	289,23	18,87	184,84	12,06
2003	257,67	19,28	250,71	18,76	123,25	9,22
2004	399,84	22,95	328,74	18,87	250,75	14,39
2005	279,42	19,98	263,09	18,81	142,75	10,21

Figura 12 – Gráfico comparativo dos valores de recarga.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em comparação aos métodos de Kumar e Seethapathy e Krishna Rao, a recarga pela Q₉₅ resultou em um volume menor: 38% menor que a encontrada pelo método de Kumar e Seethapathy e 45% menor que a encontrada pelo método de Krishna Rao. Isso pode ser explicado pela origem dos métodos, por estarem relacionados às particularidades da Índia, sobretudo o período de monções, em que a precipitação pluviométrica é maior.

A explicação também pode ser encontrada em OKE et al. (2013), que aponta três principais críticas às fórmulas simples para estimativa da recarga em função da precipitação pluviométrica, em particular a de Kumar e Seethapathi:

- As relações podem não ser transferíveis para outros locais que não aquele em que a derivação foi obtida;
- Elas ignoram a distribuição temporal das chuvas, pois se restringem ao período de monções; e
- A equação é resultante da relação entre dados de precipitação e dados de recarga e por isso, sua precisão é dependente da metodologia aplicada para o cálculo da recarga.

Com relação aos demais estudos desenvolvidos na área, no trabalho de Oliva (2006) são calculadas as reservas reguladora, permanente e total para o Aquífero Rio Claro, considerando a área de ocorrência do Aquífero Rio Claro na porção central do município ($8,3 \times 10^7 \text{ m}^2$), a espessura média saturada de 17,29 m e a porosidade específica de 17,6%, medida para o PM - 06. Os valores encontrados são $34,18 \times 10^6 \text{ m}^3$, para reserva reguladora, calculada a partir da vazão de escoamento natural, do coeficiente de porosidade e a variação dos níveis

da superfície potenciométrica dos poços de monitoramento; para a reserva permanente, $252,57 \times 10^6 \text{ m}^3$, calculada pelo volume de saturação; e $286,75 \times 10^6 \text{ m}^3$ para reserva total, sendo a somatória das reservas reguladora e permanente.

Considerando a reserva reguladora como sendo a recarga subterrânea, o valor encontrado por Oliva (2006) de $34,18 \times 10^9$ litros, dividido pela área de ocorrência do Aquífero Rio Claro, fornece um valor de recarga de 411,81 mm (ou $411,81 \text{ L/m}^2$), bem maior do que os estimados pelo presente estudo. Porém, as fórmulas indianas não consideram a área de drenagem e para o cálculo da recarga pela Q_{95} , a área de recarga considerada foi de $95,7 \text{ Km}^2$.

Caso a reserva reguladora de $34,18 \times 10^9 \text{ L}$ fosse distribuída pela área de ocorrência da Formação Rio Claro, de $95,7 \text{ Km}^2$, e dividida pelo período de observação, aproximadamente 4 anos, a recarga estaria em torno de 89,29 mm/ano. Neste caso, os valores de recarga obtidos pela Q_{95} mostram-se mais próximos da realidade.

Demais valores de recarga para a área estudada foram apresentados em Zanetti (2012) e Carnier Neto e Chang (2008). O primeiro autor obteve a recarga de 145,98 mm/ano, a partir da vazão de permanência Q_{95} , considerando-se a área de recarga como sendo a Bacia do Rio Corumbataí.

O outro trabalho obteve a recarga total pelo método WTF para os anos de 2003, 2004 e 2005, chegando aos valores de 53,8 cm, 63,6 cm, e 29,8 cm. Convertendo esses resultados para milímetros temos uma recarga de 538 mm para o ano de 2003 (40,26% da precipitação total acumulada), 636 mm para o ano de 2004 (36,50% da precipitação) e 298 mm para o ano de 2005 (21,31% da precipitação).

Nota-se que em comparação à essas recargas estimadas, os valores obtidos no presente estudo se aproximam ao encontrado por Zanetti (2012), uma vez que o método empregado foi o mesmo embora a área considerada fosse maior, e ficam bem abaixo dos encontrados por Neto e Kiang (2008). Porém, conforme estes últimos autores, se no aquífero o armazenamento e passagem de água pela zona não-saturada somam os eventos de chuva, então o método WTF garante valores superestimados para a recarga.

8. CONCLUSÕES

A escolha de um método para estimar recarga de águas subterrâneas deve considerar, dentre outros parâmetros, a disponibilidade de dados, a quantidade de parâmetros, o período de observação, e os recursos disponíveis.

Em locais desprovidos de dados de poços, valores relativos à taxas de infiltração e evaporação, por exemplo, a recarga subterrânea não é possível de ser calculada pelos métodos convencionais (Método da Variação dos Níveis D'água, Balanço Hídrico e Precipitação Cumulativa), resultando em dificuldades para o gerenciamento dos recursos hídricos na área, em especial no que diz respeito a quantidade possível de ser explorada dos aquíferos.

De modo a auxiliar esses casos, a recarga estimada através da vazão de permanência obtida pelo método da regionalização hidrológica mostra-se como uma alternativa viável, pela pequena quantidade de parâmetros de entrada, e recursos necessários para sua estimativa.

O método da Q_{95} pode ser considerado confiável, pois deriva da técnica da Regionalização Hidrológica, conceituada e amplamente utilizada pelo DAEE. Porém, a incerteza do método é devido à essa técnica, uma vez que se baseia em extrapolação de dados hidrológicos, e também à incerteza do método de coleta de dados de chuva utilizado nas estações pluviométricas.

Diferente das metodologias indianas, a recarga estimada pela Q_{95} considera a área de contribuição, ou de drenagem, o que garante um resultado menor, porém, mais próximo do valor encontrado por Oliva (2006) e Zanetti (2012) que também consideraram a área para estimar a reserva reguladora e a recarga, respectivamente.

Assim sendo, a metodologia da Q_{95} mostra vantagens como a possibilidade de utilizar dados de precipitação não só dos períodos mais chuvosos, e sua relação poder ser transferível para outros locais, pois tem por base a regionalização hidrológica. Porém, é necessário dispor de um estudo de regionalização que englobe a área de interesse. O caso apresentado nesse trabalho se aplica apenas para o Estado de São Paulo.

Em contrapartida, os valores das recargas estimadas por Carnier Neto & Chang (2008) pelo método WTF estão muito acima dos encontrados pelas 3 metodologias adotadas no presente estudo, o que pode ser explicado pelos níveis d'água refletirem aos eventos de chuva de forma acumulada, conforme citado pelos próprios autores, e porque foi utilizado apenas 1 poço para o monitoramento, por assim dizer, pois ocorreu até certo período no poço IGCE-3, continuando as medições no poço IGCE-6.

Por considerar a recarga como sendo o fluxo de base, a estimativa pela Q_{95} desconsidera os demais componentes do balanço hídrico, como a variação do armazenamento em subsuperfície, o valor líquido do fluxo em subsuperfície e a evapotranspiração, e por esta razão, os resultados são subestimados em relação às demais metodologias.

Mesmo que seja tomado por base o ciclo hidrológico, a relação das águas subterrâneas e sua contribuição ao corpo hídrico superficial em períodos de estiagem, relacionar um dado de águas superficiais (vazão de permanência) a um dado de águas subterrâneas (recarga). Este fato não garante acurácia, ou seja, o dado poderá ser superestimado ou subestimado, pois nos períodos de baixa vazão, por exemplo, estaria sendo considerado que toda água do curso superficial é derivada do escoamento subterrâneo, algo que já não seria aplicado em barramentos na drenagem. Portanto, convém observar a aplicabilidade do método da vazão de permanência em outras regiões e comparar os resultados à outras metodologias que utilizam de maior quantidade de parâmetros e dados locais, bem como verificar os resultados também através do acompanhamento das vazões do curso d'água superficial.

Como recomendação a partir dos estudos ora desenvolvidos, poderia ser testada e desenvolvida uma fórmula empírica, similar à indiana, para a área de estudo, tomando por base os dados de precipitação anuais e monitoramento da variação dos níveis d'água, em uma maior quantidade de poços.

9. BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília: Agência Nacional de Águas: 2005. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>>. Acesso em 24 mai. 13.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no Brasil, e, Fiscalização dos usos de recursos hídricos no Brasil**. Caderno de Recursos Hídricos 4, Brasília : Agência Nacional de Águas, 2007. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/estudos/sprtew/4/pdf/volume_4_ANA.pdf>. Acesso em: 24 mai. 13.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água: panorama nacional**. Volume 1. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Energia Assegurada**. Cadernos Temáticos ANEEL. Brasília-DF: ANEEL, 2005.

ATTRI, S. D.; TYAGI, A. **Climate Profile of India**. India Meteorological Department Ministry of Earth Sciences, New Delhi, 2010. Disponível em: <<http://www.imd.gov.in/>> Acesso em: 12 mai. 2014.

BAALOUSHA, H. Using CRD method for quantification of groundwater recharge in the Gaza Strip, Palestine. **Journal of Environmental Geology**. Vol. 48, pp 889–900, 2005. Disponível em: < <http://www.alazhar.edu.ps/arabic/Ewi/Researches/GazaPaper-new/fulltext.pdf>> Acesso em: 08 mai. 2014.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9ª edição, Porto Alegre: Bookman, 2013.

BERTOL, G. A. **Avaliação da Recarga Anual no Aquífero Bauru no Município de Araguari, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Geologia Econômica e Aplicada) - Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto de Geociências, Belo Horizonte, MG, 2007. Disponível em: < <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MPBB-74MN3Y/dissertacaogisele.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 12 ago. 12.

BRASIL. **Lei Federal nº 9433, de 8 de janeiro de 1997**. Dispões sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos. Publicado no Diário Oficial da União em 09 de janeiro de 1997. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=370>> Acesso em: 06 abr. 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, v. 148, n. 239, 2011. Disponível em: < http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 6 abr. 2014.

BRITO, G. L. M. **Estimativa da taxa de recarga da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe (PB) pelo Método do Balanço Hídrico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande-PB, 2007.

CARIA, C. G. **Estudo da Recarga de Águas Subterrâneas do Concelho de Almada**. Dissertação (Mestrado em Geologia Aplicada, Especialização em Hidrogeologia) - Universidade de Lisboa – Faculdade de Ciências – Departamento de Geologia, Lisboa, Portugal, 2012. Disponível em: <
http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/8209/1/ulfc103626_tm_Catarina_Caria.pdf>. Acesso em: 19 jun. 13.

CARNER NETO, D. **Análise das séries temporais de monitoramento de nível d'água em poços no Aquífero Rio Claro**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro-SP, 2006.

CARNIER NETO D. ; CHANG, H. K. Aplicação do Método de Flutuação de Nível da Água para a estimativa de recarga - exemplo do Aquífero Rio Claro. **Águas Subterrâneas**, v. 22, n.01, p.39-48, 2008. Disponível em:
 <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/8177/11543>> Acesso em 03 jun. 2014.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. - ELETROBRÁS. **Metodologia pra regionalização de vazões**: Guia metodológico para regionalização de vazões. Rio de Janeiro-RJ, 1985.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. - ELETROBRÁS. **Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Rio de Janeiro-RJ, 2000.

CENTRO DE ANÁLISE E PLANEJAMENTO AMBIENTAL – CEAPLA – **Biblioteca Virtual**. UNESP, Rio Claro. Disponível em:
 <<http://www.rc.unesp.br/igce/ceapla/biblioteca/mapas.php>> Acesso em: 27 mar. 2014.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CNRH. **Resolução nº 15 de 11 de janeiro de 2001**. Disponível em:
 <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua_sub/arquivos/Resolucao_CNRH%2015_2001.pdf> Acesso em: 12 abr. 2014.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em:
 <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 27 mar. 2014.

COSTA, W.D. Uso e Gestão de Água Subterrânea. In: MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. A (Org). **Hidrogeologia**: Conceitos e Aplicações. 2 ed. Fortaleza, CPRM : UFPE : LABHID, 2000.

CUNHA, M. A. A. **Diagnóstico da qualidade das águas da Bacia do Ribeirão Claro (SP) através de diversas análises inclusive multivariadas**. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro-SP, 2000.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1: 1.000.000: nota explicativa.** Coordenação geral Gerônimo Rocha. São Paulo: DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica : IG - Instituto Geológico : IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo : PRM - Serviço Geológico do Brasil, 2005.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 2. ed. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 2000.

GERMANO, A.O.; SOTÉRIO, P.W. Disponibilidade hídrica das bacias da Lagoa Mirim e Rio Camaquã com base na regionalização da vazão a 95% de permanência. Anais do **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió/AL. 2011. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/72e4db510f3a0d31028cd35319e4f1d3_ccd c872484ea43fe7023ef5a88396d56.pdf>. Acesso em: 24 jun. 13.

HEALY, R.W.; COOK, P.G. Using groundwater levels to estimate recharge. **Hydrogeology Journal**, 10, p. 91-109, 2002. DOI 10.1007/s10040-001-0178-0

IMD – **India Meteorological Department**. 2014. Seasonal (June-September) Rainfall Series for the Four Homogeneous Regions (1901-2009). Disponível em: <http://www.imd.gov.in/section/nhac/dynamic/Monsoon_frame.htm> Acesso em 12 mai. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS - IPEF. **Plano Diretor do Projeto de Conservação dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Corumbataí.** IPEF, SEMAE e colaboradores. 2002. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/relatorios/plano_diretor_corumbatai.pdf> Acesso em: 12 ago. 2013.

KINZELBACH W. et al. **A Survey of Methods for Groundwater Recharge in Arid and Semi-arid regions.** Early Warning and Assessment Report Series, UNEP/DEWA/RS.02-2. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 2002.

KUMAR, C. P. **Groundwater assessment methodology.** Nota Técnica. Electronic Proceedings (CD), XXIII Annual Convention of AHI and National Seminar on Water Resources Management e People's Participation, Baroda, December 10-11, 2004. Índia, 2004. Disponível em: <<http://www.angelfire.com/nh/cpkumar/publication/Lgwa.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 13.

KUMAR, C. P.; P. V. SEETHAPATHI, 2002. Assessment of Natural Ground Water Recharge in Upper Ganga Canal Command Area. **Journal of Applied Hydrology**, Association of Hydrologists of India, Vol. XV, No. 4, October 2002, p. 13-20. Disponível em: <<http://www.angelfire.com/nh/cpkumar/publication/ugcm.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 13.

KUNZLER, J. C. S. **Estimativa da recarga da bacia sedimentar do Rio do Peixe através da modelagem matemática do fluxo subterrâneo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2007. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/dissertacao_Julio_kunzler.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2014.

LIAZI, A.; CONEJO, J. L.; PALOS, J. C. F.; CINTRA, P. S. **Regionalização Hidrológica no Estado de São Paulo. São Paulo:** Revista Águas e Energia Elétrica - DAEE, ano 5, nº 14, 1988.

LOPES, J. W. B.; PINHEIRO, E. A. R.; NETO, J. R. A. Modelagem da recarga de águas subterrâneas em uma bacia semiárida: influências da ocupação agrícola. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.6, nº. 1, p.33-40, 2012. Disponível em: < http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/93/pdf_80> Acesso em: 06 abr. 2014.

MARTELLI, G. V. **Monitoramento da flutuação dos níveis de água em aquíferos freáticos para avaliação do potencial de recarga em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani em Cacequi – RS.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria-RS, 2012. Disponível em: < <http://w3.ufsm.br/ppgec/wp-content/uploads/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Guilherme%20Viana%20Martelli.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 13.

MAZIERO, T.A.; WENDLAND, E. Avaliação da recarga subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos, SP. In: Anais do **II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste e XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços**, Ribeirão Preto, SP. 2005. Disponível em: < <http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23197/15308>>. Acesso em: 08 out. 12.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Águas Subterrâneas:** um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília, 2007. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf> Acesso em: 03 mai. 2014.

MIJAILOV, L. **Hidrogeologia.** MOSCOU MIR, 1989. 285 p.

MOTTA e COSTA, M.L.; RIBEIRO, M.M.R.; RÊGO, J.C.; ALBUQUERQUE, J.P.C. Proposição de critérios de outorga para águas subterrâneas. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.16, n.1 Jan/Mar 2011, p.05-15. Disponível em: < http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/9b676f0bab02bbe3c6a1d9c1d4f8f7f1_66f4b8557a009faff9b6b232601f6e98.pdf>. Acesso em: 15 out. 12.

OLIVA, A. **Estudo Hidrogeológico da Formação Rio Claro no Município de Rio Claro-SP.** Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rio Claro-SP, 2002. 71 p.

OLIVA, A. **Estudo hidrofaciológico do Aquífero Rio Claro no município de Rio Claro – SP.** Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro-SP, 2006.

OLIVA, A.; CHANG, H.K. ; SEIXAS, W. Cálculo das reservas hídricas subterrâneas do Aquífero Rio Claro utilizando simulação Monte Carlo. In: **Águas Subterrâneas**, v.24, n.01, p.13-30, 2010. Disponível em: < <http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/17842/15671>>. Acesso em: 26 fev. 13.

OKE, M. O.; MARTINS, O.; IDOWU, O.; AIYELOKUN, O. Comparative Analysis of Empirical Formulae Used in Groundwater Recharge in Ogun – Oshun River Basins. **Journal of Scientific Research & Reports**. Volume 2, n. 2, p. 692-710, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedomain.org/abstract.php?iid=250&id=22&aid=1981#.VD8aYRbPMdU>>. Acesso em 06 jun. 2014.

PARALTA, E. A.; OLIVEIRA, M. M.; LUBCZYNSKI, M. W., RIBEIRO, L. F. **Avaliação da recarga do sistema aquífero dos Gabros de Beja segundo critérios múltiplos: Disponibilidades hídricas e implicações agro-ambientais**. 6º SILUSBA- Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos países de língua oficial portuguesa, Cabo Verde, Portugal, 2003. Disponível em: <http://www.itc.nl/library/papers_2003/art_proc/lubczynski_ava.pdf>. Acesso em: 18 jul. 13.

PARALTA, E. A.; FRANCÉS, A. P.; RIBEIRO, L. F. **Modelação da recarga do aquífero livre miocénico da Bacia de Alvalade e implicações ao nível da contaminação agrícola (um caso de estudo na Infra-estrutura 12 – Bloco de Rega de Canhestros/Ferreira do Alentejo)**. 5º Congresso Ibérico – Gestão e Planeamento da Água, Faro, 4-8, dez. 2006. Portugal, 2006. Disponível em: <<http://www.lneg.pt/download/3831/29.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 13.

PERINOTTO, J. A.; LINO, I. C. **Geologia, recursos minerais e passivos ambientais**. Disponível em: <<http://educadoresemluta.blogspot.com.br/2012/05/geologia-recursos-minerais-e-passivos.html>> Acesso em: 05 abr. 2014.

RIBEIRO, R. R.;... [et al.] Inventário e avaliação do patrimônio natural geológico da região de Rio Claro (SP). **Revista Instituto Geológico**, vol. 34, n. 1, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/pdf/rig/v34n1/v34n1a01.pdf>> Acesso em 15 jul. 2014

SIGRH – Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos de São Paulo. 2014. **Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/regnet.exe/calcgeo#r>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

TEIXEIRA, W.;... [et al.] **Decifrando a Terra**. São Paulo: Cia. Ed. Nacional, 2ª ed., 2009. 623p.

TODD, D. K. **Groundwater hydrology**. 2. ed. New York: Wiley, 1980. 535 p.

TOMAZ, P. **Infiltração e DryWell**. Recarga artificial de água subterrânea. Livros digitais. 2011. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/livros_digitais.shtml>. Acesso em: 20 out. 13.

TROPPEMAIR, H. **Atlas da qualidade ambiental e de vida de Rio Claro-SP**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP, 1992. 72 f.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª edição, Porto Alegre-RS: Editora Universidade, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de Vazões**. Ed. Universidade/UFRGS, 2002.

TUCCI, C. E. M., 2009. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4ª edição, Porto Alegre-RS: Editora da UFRGS, 2009.

VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Análise da estrutura da paisagem na Bacia do Rio Corumbataí, SP. **Scientia Florestalis**, n. 62, p. 114-129, 2002. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr62/cap10.pdf>> Acesso em: 20 nov. 2013.

ZANETTI, N. **Estimativa da vulnerabilidade natural do aquífero livre no município de Rio Claro/SP**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rio Claro-SP, 2012.

ZAINE, J. E. **Geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geociências – Geologia Regional) – Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rio Claro-SP, 1994.

ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do Método do Detalhamento Progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista – UNESP – Rio Claro-SP, 2000.

ANEXO A – Monitoramento da Coluna d'Água e Pluviometria

Data	Coluna d'água (cm)	Pluviometria (mm)			
			12/02/2002	255,78	0
01/01/2002	109,53	0	13/02/2002	262,26	0,3
02/01/2002	112,67	22,7	14/02/2002	268,94	11,1
03/01/2002	115,81	3,6	15/02/2002	275,7	10,8
04/01/2002	118,95	0	16/02/2002	282,43	1
05/01/2002	122,09	0	17/02/2002	288,95	1,3
06/01/2002	125,23	0	18/02/2002	295,07	0
07/01/2002	128,37	14,7	19/02/2002	300,63	0
08/01/2002	131,51	26,8	20/02/2002	305,58	0
09/01/2002	134,65	37,1	21/02/2002	309,92	11,2
10/01/2002	140,46	5,8	22/02/2002	313,73	24,2
11/01/2002	142,79	0	23/02/2002	317,09	10,2
12/01/2002	145,32	0,9	24/02/2002	320,08	15,2
13/01/2002	148,08	55,2	25/02/2002	322,73	0
14/01/2002	151,06	15,2	26/02/2002	325,1	0
15/01/2002	154,22	1	27/02/2002	327,22	0
16/01/2002	157,52	3	28/02/2002	329,12	0
17/01/2002	160,92	0	01/03/2002	330,83	0
18/01/2002	164,38	0	02/03/2002	332,37	0
19/01/2002	167,93	0	03/03/2002	333,77	2,2
20/01/2002	171,57	13,4	04/03/2002	335,06	4,2
21/01/2002	175,33	6,5	05/03/2002	336,24	0
22/01/2002	179,21	0	06/03/2002	337,33	17,6
23/01/2002	183,16	0	07/03/2002	338,3	0
24/01/2002	187,12	1,8	08/03/2002	339,17	0
25/01/2002	191,04	0,3	09/03/2002	339,91	0
26/01/2002	194,85	33,5	10/03/2002	340,54	0
27/01/2002	198,51	0,6	11/03/2002	341,06	0
28/01/2002	201,99	0,3	12/03/2002	341,52	0
29/01/2002	205,27	32,4	13/03/2002	341,93	0
30/01/2002	208,36	8,9	14/03/2002	342,29	34,4
31/01/2002	211,31	2,2	15/03/2002	342,58	4,7
01/02/2002	214,17	0,6	16/03/2002	342,78	0
02/02/2002	216,95	41,7	17/03/2002	342,86	0
03/02/2002	219,69	0	18/03/2002	342,8	0,7
04/02/2002	222,39	0	19/03/2002	342,6	0
05/02/2002	225,07	0	20/03/2002	342,26	0
06/02/2002	227,86	0	21/03/2002	341,81	0,9
07/02/2002	230,95	26,4	22/03/2002	341,28	0,4
08/02/2002	234,58	22	23/03/2002	340,71	0
09/02/2002	238,9	33	24/03/2002	340,1	4,5
10/02/2002	243,95	50,6	25/03/2002	339,47	15,3
11/02/2002	249,62	17,1	26/03/2002	338,83	10

27/03/2002	338,16	0	12/05/2002	280,39	0
28/03/2002	337,46		13/05/2002	279,06	0
29/03/2002	336,73	0	14/05/2002	277,73	0
30/03/2002	335,95	0	15/05/2002	276,4	0
31/03/2002	335,12	0	16/05/2002	275,07	0
01/04/2002	334,22	0	17/05/2002	273,73	0,2
02/04/2002	333,26	0,3	18/05/2002	272,4	0
03/04/2002	332,24	0	19/05/2002	271,09	0,4
04/04/2002	331,17	3,8	20/05/2002	269,82	12,8
05/04/2002	330,08	0	21/05/2002	268,6	20,4
06/04/2002	328,95	0	22/05/2002	267,44	38,6
07/04/2002	327,79	0	23/05/2002	266,32	0,5
08/04/2002	326,6	0	24/05/2002	265,23	0
09/04/2002	325,37	0	25/05/2002	264,16	0
10/04/2002	324,11	0	26/05/2002	263,08	0
11/04/2002	322,79	0	27/05/2002	261,97	0
12/04/2002	321,44	0	28/05/2002	260,78	0
13/04/2002	320,05	0	29/05/2002	259,5	0
14/04/2002	318,65	0	30/05/2002	258,15	0
15/04/2002	317,24	0	31/05/2002	256,77	0
16/04/2002	315,85	0	01/06/2002	255,44	0
17/04/2002	314,47	0	02/06/2002	254,21	0
18/04/2002	313,11	0	03/06/2002	253,07	0
19/04/2002	311,76	0	04/06/2002	252	0
20/04/2002	310,41	0	05/06/2002	250,92	0
21/04/2002	309,08	0	06/06/2002	249,79	0
22/04/2002	307,75	0	07/06/2002	248,59	0
23/04/2002	306,42	0	08/06/2002	247,36	0
24/04/2002	305,09	0	09/06/2002	246,11	0
25/04/2002	303,76	0	10/06/2002	244,87	0
26/04/2002	302,41	0	11/06/2002	243,63	0
27/04/2002	301,05	0	12/06/2002	242,39	0
28/04/2002	299,68	0	13/06/2002	241,13	0
29/04/2002	298,28	0	14/06/2002	239,89	0
30/04/2002	296,88	0	15/06/2002	238,68	0
01/05/2002	295,46	0,2	16/06/2002	237,57	0
02/05/2002	294,02	0	17/06/2002	236,62	0
03/05/2002	292,58	1,3	18/06/2002	235,89	0
04/05/2002	291,15	0	19/06/2002	235,37	0
05/05/2002	289,74	5	20/06/2002	235,03	0
06/05/2002	288,36	14,5	21/06/2002	234,79	0
07/05/2002	287,02	0	22/06/2002	234,52	0
08/05/2002	285,69	0	23/06/2002	234,13	0
09/05/2002	284,37	0	24/06/2002	233,55	0
10/05/2002	283,05	0	25/06/2002	232,79	0
11/05/2002	281,72	0	26/06/2002	231,87	0

27/06/2002	230,86	0	12/08/2002	184,28	0
28/06/2002	229,78	0	13/08/2002	183,37	0
29/06/2002	228,66	0	14/08/2002	182,48	0
30/06/2002	227,52	0	15/08/2002	181,6	0
01/07/2002	226,36	0	16/08/2002	180,73	0
02/07/2002	225,18	0	17/08/2002	179,87	0
03/07/2002	224	0	18/08/2002	179,02	0
04/07/2002	222,83	0	19/08/2002	178,18	0
05/07/2002	221,65	0	20/08/2002	177,35	0
06/07/2002	220,45	0	21/08/2002	176,53	0
07/07/2002	219,23	0	22/08/2002	175,73	0
08/07/2002	218	0	23/08/2002	174,92	0
09/07/2002	216,77	0	24/08/2002	174,13	0
10/07/2002	215,55	0	25/08/2002	173,34	0
11/07/2002	214,36	0	26/08/2002	172,56	0
12/07/2002	213,19	3,9	27/08/2002	171,8	0
13/07/2002	212,04	0,9	28/08/2002	171,04	0
14/07/2002	210,9	0,2	29/08/2002	170,29	0
15/07/2002	209,77	0	30/08/2002	169,55	13,5
16/07/2002	208,66	0	31/08/2002	168,8	0
17/07/2002	207,59	0	01/09/2002	168,06	4,4
18/07/2002	206,56	0	02/09/2002	167,33	0
19/07/2002	205,58	0	03/09/2002	166,61	0
20/07/2002	204,62	0	04/09/2002	165,89	0
21/07/2002	203,67	0	05/09/2002	165,17	0
22/07/2002	202,7	0,2	06/09/2002	164,44	0
23/07/2002	201,72	0,4	07/09/2002	163,69	10,9
24/07/2002	200,73	0	08/09/2002	162,93	0
25/07/2002	199,73	0	09/09/2002	162,18	0
26/07/2002	198,74	0	10/09/2002	161,43	0
27/07/2002	197,75	0	11/09/2002	160,69	0
28/07/2002	196,77	0	12/09/2002	159,97	0
29/07/2002	195,8	0	13/09/2002	159,25	0
30/07/2002	194,87	0	14/09/2002	158,54	0
31/07/2002	194,01	0	15/09/2002	157,84	0,3
01/08/2002	193,22	13,2	16/09/2002	157,15	0
02/08/2002	192,51	46,2	17/09/2002	156,47	1,4
03/08/2002	191,86	45	18/09/2002	155,8	0
04/08/2002	191,2	0,1	19/09/2002	155,15	0
05/08/2002	190,51	0	20/09/2002	154,52	2,5
06/08/2002	189,74	0	21/09/2002	153,91	16,2
07/08/2002	188,9	7,8	22/09/2002	153,32	0
08/08/2002	188	0	23/09/2002	152,76	1,3
09/08/2002	187,07	0	24/09/2002	152,22	1,7
10/08/2002	186,14	0	25/09/2002	151,68	0
11/08/2002	185,2	0	26/09/2002	151,13	0

27/09/2002	150,56	0	12/11/2002	120,58	2,8
28/09/2002	149,96	0	13/11/2002	120,14	49,1
29/09/2002	149,33	0	14/11/2002	119,78	8,5
30/09/2002	148,68	0	15/11/2002	119,51	27,6
01/10/2002	148,01	0,2	16/11/2002	119,36	1,6
02/10/2002	147,34	2,1	17/11/2002	119,36	0
03/10/2002	146,65	0	18/11/2002	119,55	16,8
04/10/2002	145,96	0	19/11/2002	119,97	43,4
05/10/2002	145,25	0	20/11/2002	120,63	0
06/10/2002	144,54	0	21/11/2002	121,5	0
07/10/2002	143,84	0	22/11/2002	122,51	12,5
08/10/2002	143,15	0	23/11/2002	123,59	0
09/10/2002	142,47	0	24/11/2002	124,65	0
10/10/2002	141,81	0	25/11/2002	125,65	0
11/10/2002	141,16	0	26/11/2002	126,61	23,8
12/10/2002	140,51	0	27/11/2002	127,56	2,1
13/10/2002	139,86	0	28/11/2002	128,57	7,9
14/10/2002	139,21	0	29/11/2002	129,7	36,9
15/10/2002	138,56	0	30/11/2002	131	19,8
16/10/2002	137,9	0	01/12/2002	132,5	0
17/10/2002	137,24	0	02/12/2002	134,17	11
18/10/2002	136,56	0	03/12/2002	136,01	0
19/10/2002	135,85	0	04/12/2002	137,98	0
20/10/2002	135,12	0	05/12/2002	140,04	43
21/10/2002	134,36	0	06/12/2002	142,19	0
22/10/2002	133,59	1,4	07/12/2002	144,42	1,2
23/10/2002	132,8	0	08/12/2002	146,74	1,9
24/10/2002	132,02	0	09/12/2002	149,15	39,4
25/10/2002	131,24	0	10/12/2002	151,61	0,2
26/10/2002	130,47	13,7	11/12/2002	154,06	8,2
27/10/2002	129,72	0,4	12/12/2002	156,47	1,9
28/10/2002	128,99	0	13/12/2002	158,82	0
29/10/2002	128,29	0	14/12/2002	161,15	0,8
30/10/2002	127,62	26,2	15/12/2002	163,62	14,5
31/10/2002	126,98	18,4	16/12/2002	166,39	45,6
01/11/2002	126,38	0	17/12/2002	169,58	55,6
02/11/2002	125,81	0	18/12/2002	173,2	0
03/11/2002	125,25	0	19/12/2002	177,18	0
04/11/2002	124,71	0	20/12/2002	181,38	0
05/11/2002	124,18	28,7	21/12/2002	185,65	8
06/11/2002	123,66	0	22/12/2002	189,92	17,5
07/11/2002	123,16	0	23/12/2002	194,16	0
08/11/2002	122,65	0	24/12/2002	198,37	0
09/11/2002	122,13	0	25/12/2002	202,55	0,7
10/11/2002	121,6	0	26/12/2002	206,66	5,1
11/11/2002	121,07	6,7	27/12/2002	210,62	0

28/12/2002	214,38	0	12/02/2003	379,03	0
29/12/2002	217,87	0	13/02/2003	380,47	4,6
30/12/2002	221,04	0	14/02/2003	381,66	33
31/12/2002	223,87	1,6	15/02/2003	382,67	12,1
01/01/2003	226,41	0	16/02/2003	383,54	6,8
02/01/2003	228,77	1,8	17/02/2003	384,34	3,5
03/01/2003	231,11	0	18/02/2003	385,08	6,1
04/01/2003	233,56	83,4	19/02/2003	385,79	34,4
05/01/2003	236,21	15,4	20/02/2003	386,46	0
06/01/2003	239,04	27,3	21/02/2003	387,08	9,3
07/01/2003	241,97	0	22/02/2003	387,63	2,5
08/01/2003	244,91	0	23/02/2003	388,1	0
09/01/2003	247,79	0	24/02/2003	388,49	0
10/01/2003	250,63	0	25/02/2003	388,8	0
11/01/2003	253,5	0,4	26/02/2003	389,06	0
12/01/2003	256,46	43	27/02/2003	389,28	0
13/01/2003	259,53	6,3	28/02/2003	389,47	0
14/01/2003	262,68	0,4	01/03/2003	389,63	0
15/01/2003	265,84	0	02/03/2003	389,75	0
16/01/2003	268,94	0	03/03/2003	389,83	0
17/01/2003	271,94	4,8	04/03/2003	389,86	31,4
18/01/2003	274,84	35,1	05/03/2003	389,8	0
19/01/2003	277,73	1	06/03/2003	389,66	0,9
20/01/2003	280,7	4	07/03/2003	389,44	0,6
21/01/2003	283,87	0	08/03/2003	389,13	7,3
22/01/2003	287,27	82,3	09/03/2003	388,75	8,9
23/01/2003	290,9	11,1	10/03/2003	388,3	0,3
24/01/2003	294,74	16,6	11/03/2003	387,79	2,8
25/01/2003	298,77	9,3	12/03/2003	387,2	2,3
26/01/2003	302,97	2	13/03/2003	386,52	0
27/01/2003	307,44	1,6	14/03/2003	385,74	0
28/01/2003	312,35	23,4	15/03/2003	384,89	0
29/01/2003	317,89	20,2	16/03/2003	383,96	0
30/01/2003	324,16	6,1	17/03/2003	382,99	27,1
31/01/2003	331,01	15,7	18/03/2003	381,98	0
01/02/2003	338,06	0,4	19/03/2003	380,94	0
02/02/2003	344,83	0	20/03/2003	379,87	0,5
03/02/2003	350,89	0	21/03/2003	378,76	9,1
04/02/2003	356,01	0	22/03/2003	377,63	2,7
05/02/2003	360,24	0,4	23/03/2003	376,47	0
06/02/2003	363,81	0,2	24/03/2003	375,29	0
07/02/2003	366,99	0	25/03/2003	374,07	0
08/02/2003	369,95	0	26/03/2003	372,84	0
09/02/2003	372,7	0	27/03/2003	371,59	0
10/02/2003	375,15	0	28/03/2003	370,32	3
11/02/2003	377,27	0	29/03/2003	369,04	0

30/03/2003	367,72	0	15/05/2003	305,75	0
31/03/2003	366,36	0	16/05/2003	304,74	0
01/04/2003	364,97	0	17/05/2003	303,8	0
02/04/2003	363,56	0	18/05/2003	302,95	0
03/04/2003	362,17	0	19/05/2003	302,23	0
04/04/2003	360,81	0	20/05/2003	301,63	0
05/04/2003	359,49	13,2	21/05/2003	301,15	0
06/04/2003	358,19	0	22/05/2003	300,75	0
07/04/2003	356,88	2,9	23/05/2003	300,42	0
08/04/2003	355,52	0	24/05/2003	300,13	10,6
09/04/2003	354,09	0	25/05/2003	299,88	0
10/04/2003	352,61	0	26/05/2003	299,66	0
11/04/2003	351,08	2,5	27/05/2003	299,5	0
12/04/2003	349,53	0,9	28/05/2003	299,38	0
13/04/2003	347,98	0	29/05/2003	299,27	0
14/04/2003	346,45	0	30/05/2003	299,11	0
15/04/2003	344,94	0	31/05/2003	298,84	0
16/04/2003	343,44	0	01/06/2003	298,4	0
17/04/2003	341,95	0	02/06/2003	297,76	0
18/04/2003	340,47	0	03/06/2003	296,94	0
19/04/2003	338,98	0	04/06/2003	295,98	5,3
20/04/2003	337,49	13,6	05/06/2003	294,93	0
21/04/2003	336,03	6	06/06/2003	293,82	4
22/04/2003	334,58	3,2	07/06/2003	292,68	5,6
23/04/2003	333,16	0	08/06/2003	291,51	0
24/04/2003	331,75	0	09/06/2003	290,32	0,7
25/04/2003	330,35	0	10/06/2003	289,1	0
26/04/2003	328,95	0	11/06/2003	287,86	0
27/04/2003	327,55	0	12/06/2003	286,59	0
28/04/2003	326,15	0	13/06/2003	285,31	0
29/04/2003	324,76	0	14/06/2003	284,02	0
30/04/2003	323,39	0	15/06/2003	282,74	0
01/05/2003	322,05	0	16/06/2003	281,46	0
02/05/2003	320,74	0,2	17/06/2003	280,2	0
03/05/2003	319,46	15,4	18/06/2003	278,93	0
04/05/2003	318,23	0	19/06/2003	277,67	0
05/05/2003	317,02	0	20/06/2003	276,42	0
06/05/2003	315,83	19,6	21/06/2003	275,17	0
07/05/2003	314,65	0	22/06/2003	273,94	0
08/05/2003	313,49	0	23/06/2003	272,73	0
09/05/2003	312,34	0	24/06/2003	271,53	0
10/05/2003	311,21	0	25/06/2003	270,34	0
11/05/2003	310,09	0	26/06/2003	269,15	0
12/05/2003	308,98	0	27/06/2003	267,93	0
13/05/2003	307,89	0	28/06/2003	266,71	0
14/05/2003	306,8	0	29/06/2003	265,47	0

30/06/2003	264,25	0	15/08/2003	212,71	0
01/07/2003	263,05	0	16/08/2003	211,63	0
02/07/2003	261,86	0	17/08/2003	210,54	0
03/07/2003	260,7	0	18/08/2003	209,46	0
04/07/2003	259,55	0	19/08/2003	208,37	0
05/07/2003	258,4	0	20/08/2003	207,29	0
06/07/2003	257,26	0	21/08/2003	206,2	0
07/07/2003	256,1	0	22/08/2003	205,1	0
08/07/2003	254,92	0	23/08/2003	204,02	0
09/07/2003	253,73	0	24/08/2003	203,06	0
10/07/2003	252,52	0	25/08/2003	202,3	0
11/07/2003	251,32	3,5	26/08/2003	201,8	5,2
12/07/2003	250,12	0	27/08/2003	201,53	0
13/07/2003	248,95	0	28/08/2003	201,37	0
14/07/2003	247,8	0	29/08/2003	201,2	0,2
15/07/2003	246,67	0	30/08/2003	200,87	0
16/07/2003	245,55	0	31/08/2003	200,35	0
17/07/2003	244,42	0	01/09/2003	199,66	0
18/07/2003	243,29	0	02/09/2003	198,87	0
19/07/2003	242,16	0	03/09/2003	198,05	0
20/07/2003	241,03	0	04/09/2003	197,23	0
21/07/2003	239,9	0	05/09/2003	196,41	0
22/07/2003	238,78	0	06/09/2003	195,59	0
23/07/2003	237,67	0	07/09/2003	194,77	0
24/07/2003	236,56	0	08/09/2003	193,96	0
25/07/2003	235,47	0	09/09/2003	193,14	0
26/07/2003	234,39	0	10/09/2003	192,32	0
27/07/2003	233,3	0	11/09/2003	191,51	2,3
28/07/2003	232,22	0	12/09/2003	190,69	0
29/07/2003	231,14	0	13/09/2003	189,88	0,2
30/07/2003	230,05	0	14/09/2003	189,06	0,2
31/07/2003	228,97	0	15/09/2003	188,24	0
01/08/2003	227,88	0	16/09/2003	187,43	0
02/08/2003	226,8	0	17/09/2003	186,61	19,3
03/08/2003	225,72	0	18/09/2003	185,79	0
04/08/2003	224,63	0	19/09/2003	184,98	0
05/08/2003	223,55	0	20/09/2003	184,16	0
06/08/2003	222,46	0	21/09/2003	183,34	0
07/08/2003	221,38	2,8	22/09/2003	182,53	0
08/08/2003	220,3	3,2	23/09/2003	181,71	0
09/08/2003	219,21	3,1	24/09/2003	180,91	0
10/08/2003	218,13	1,8	25/09/2003	180,11	0
11/08/2003	217,05	0	26/09/2003	179,34	0
12/08/2003	215,96	0	27/09/2003	178,59	3,6
13/08/2003	214,88	0	28/09/2003	177,87	0
14/08/2003	213,79	0	29/09/2003	177,19	0

30/09/2003	176,55	0	15/11/2003	154,44	0
01/10/2003	175,93	0	16/11/2003	154,93	24,5
02/10/2003	175,32	0	17/11/2003	155,8	66,5
03/10/2003	174,69	0	18/11/2003	157,03	41,5
04/10/2003	174,06	0	19/11/2003	158,59	8,2
05/10/2003	173,41	0	20/11/2003	160,38	0
06/10/2003	172,76	0	21/11/2003	162,25	0
07/10/2003	172,14	0	22/11/2003	164,1	0
08/10/2003	171,53	12,7	23/11/2003	165,82	0
09/10/2003	170,94	0	24/11/2003	167,37	15,5
10/10/2003	170,38	4,3	25/11/2003	168,75	9,4
11/10/2003	169,85	35,5	26/11/2003	169,96	0
12/10/2003	169,36	12,7	27/11/2003	171,03	6,7
13/10/2003	168,91	0	28/11/2003	171,99	0
14/10/2003	168,49	0	29/11/2003	172,95	0
15/10/2003	168,09	0	30/11/2003	174	0
16/10/2003	167,67	0	01/12/2003	175,24	44,5
17/10/2003	167,23	0	02/12/2003	176,77	23,7
18/10/2003	166,76	0	03/12/2003	178,6	24,2
19/10/2003	166,26	0	04/12/2003	180,76	20,9
20/10/2003	165,73	0	05/12/2003	183,2	3,6
21/10/2003	165,2	0	06/12/2003	185,88	34
22/10/2003	164,66	1,5	07/12/2003	188,72	0
23/10/2003	164,12	0,2	08/12/2003	191,7	0,4
24/10/2003	163,59	0	09/12/2003	194,74	15,5
25/10/2003	163,07	0	10/12/2003	197,79	7,4
26/10/2003	162,55	0	11/12/2003	200,8	0
27/10/2003	162,02	15,6	12/12/2003	203,72	0
28/10/2003	161,5	9,9	13/12/2003	206,52	0
29/10/2003	160,98	3,2	14/12/2003	209,18	0
30/10/2003	160,47	13,6	15/12/2003	211,7	2,2
31/10/2003	159,96	0	16/12/2003	214,09	0
01/11/2003	159,46	0	17/12/2003	216,35	10,3
02/11/2003	158,97	26,8	18/12/2003	218,49	0
03/11/2003	158,48	0	19/12/2003	220,51	0
04/11/2003	158	0	20/12/2003	222,4	0
05/11/2003	157,52	0	21/12/2003	224,15	3,8
06/11/2003	157,05	1	22/12/2003	225,78	10,2
07/11/2003	156,59	17,2	23/12/2003	227,27	7,1
08/11/2003	156,14	0,3	24/12/2003	228,66	0
09/11/2003	155,69	0	25/12/2003	229,95	0
10/11/2003	155,26	0	26/12/2003	231,14	0
11/11/2003	154,86	0	27/12/2003	232,23	0
12/11/2003	154,53	0	28/12/2003	233,21	0,2
13/11/2003	154,31	5,7	29/12/2003	234,09	13,9
14/11/2003	154,26	5,7	30/12/2003	234,88	0

31/12/2003	235,64	5,6	15/02/2004	337,03	47
01/01/2004	236,38	27,7	16/02/2004	339,41	1,6
02/01/2004	237,11	28,2	17/02/2004	341,98	0
03/01/2004	237,83	2	18/02/2004	344,87	0
04/01/2004	238,54	0	19/02/2004	348,14	0,5
05/01/2004	239,23	0	20/02/2004	351,82	0
06/01/2004	239,94	0	21/02/2004	355,85	0,7
07/01/2004	240,76	18,2	22/02/2004	360,13	59
08/01/2004	241,78	2,8	23/02/2004	364,56	72,1
09/01/2004	243,08	70	24/02/2004	369,02	7,5
10/01/2004	244,69	29,4	25/02/2004	373,48	31,5
11/01/2004	246,59	0	26/02/2004	377,93	14,5
12/01/2004	248,72	0	27/02/2004	382,41	0
13/01/2004	251,02	1,2	28/02/2004	386,99	7,7
14/01/2004	253,43	0	29/02/2004	391,71	0
15/01/2004	255,9	0,7	01/03/2004	396,54	0
16/01/2004	258,41	8,1	02/03/2004	401,35	0
17/01/2004	260,94	0	03/03/2004	406,01	0
18/01/2004	263,47	0	04/03/2004	410,5	7,3
19/01/2004	265,96	0	05/03/2004	414,93	0
20/01/2004	268,39	0	06/03/2004	419,41	0,2
21/01/2004	270,72	0	07/03/2004	423,96	75,9
22/01/2004	272,93	0	08/03/2004	428,46	0
23/01/2004	275,04	0	09/03/2004	432,68	0
24/01/2004	277,11	24,5	10/03/2004	436,31	0
25/01/2004	279,23	0	11/03/2004	439,13	0
26/01/2004	281,46	73,1	12/03/2004	441,14	0
27/01/2004	283,82	34,1	13/03/2004	442,52	0
28/01/2004	286,24	28,3	14/03/2004	443,45	16
29/01/2004	288,65	3,1	15/03/2004	444,06	9,9
30/01/2004	291	0	16/03/2004	444,46	0
31/01/2004	293,29	0	17/03/2004	444,75	0
01/02/2004	295,6	21,2	18/03/2004	445,09	0,4
02/02/2004	298,05	8	19/03/2004	445,56	0
03/02/2004	300,75	13,1	20/03/2004	446,19	38,2
04/02/2004	303,73	8,5	21/03/2004	446,95	18,9
05/02/2004	306,98	4,9	22/03/2004	447,75	0
06/02/2004	310,42	9,6	23/03/2004	448,46	0
07/02/2004	313,95	6,2	24/03/2004	449,02	0
08/02/2004	317,48	0	25/03/2004	449,41	0
09/02/2004	320,91	0	26/03/2004	449,67	0
10/02/2004	324,14	0	27/03/2004	449,81	27,2
11/02/2004	327,12	0	28/03/2004	449,84	0
12/02/2004	329,84	0	29/03/2004	449,75	5
13/02/2004	332,35	0	30/03/2004	449,56	0
14/02/2004	334,72	0,8	31/03/2004	449,27	0

01/04/2004	448,91	0	17/05/2004	442,7	0
02/04/2004	448,51	0	18/05/2004	441,6	1,9
03/04/2004	448,1	0	19/05/2004	440,48	2,2
04/04/2004	447,77	0	20/05/2004	439,38	1,6
05/04/2004	447,62	1,5	21/05/2004	438,29	0
06/04/2004	447,71	2,4	22/05/2004	437,23	9,2
07/04/2004	448,09	67,4	23/05/2004	436,23	0
08/04/2004	448,74	7,8	24/05/2004	435,31	4,6
09/04/2004	449,59	0	25/05/2004	434,47	14,4
10/04/2004	450,52	0	26/05/2004	433,71	20,5
11/04/2004	451,35	0	27/05/2004	433,02	0
12/04/2004	451,96	0	28/05/2004	432,35	0
13/04/2004	452,26	0	29/05/2004	431,63	0
14/04/2004	452,26	0,8	30/05/2004	430,8	0,6
15/04/2004	452,05	8,6	31/05/2004	429,81	0,2
16/04/2004	451,76	17,7	01/06/2004	428,66	1,3
17/04/2004	451,49	2,4	02/06/2004	427,42	0
18/04/2004	451,34	0	03/06/2004	426,19	7,7
19/04/2004	451,31	0	04/06/2004	425,07	21,9
20/04/2004	451,4	15,6	05/06/2004	424,05	0
21/04/2004	451,56	0	06/06/2004	423,1	0
22/04/2004	451,76	28	07/06/2004	422,15	0
23/04/2004	451,98	0	08/06/2004	421,15	0
24/04/2004	452,19	0	09/06/2004	420,13	0
25/04/2004	452,38	14,5	10/06/2004	419,16	0,2
26/04/2004	452,52	8,6	11/06/2004	418,31	0
27/04/2004	452,62	0	12/06/2004	417,6	0
28/04/2004	452,68	0	13/06/2004	417	16,9
29/04/2004	452,69	0	14/06/2004	416,42	0
30/04/2004	452,64	0	15/06/2004	415,82	0
01/05/2004	452,53	0	16/06/2004	415,17	2,9
02/05/2004	452,36	0	17/06/2004	414,48	0
03/05/2004	452,15	0	18/06/2004	413,76	0
04/05/2004	451,92	0	19/06/2004	413,01	0
05/05/2004	451,66	7,3	20/06/2004	412,27	0
06/05/2004	451,38	7,3	21/06/2004	411,51	0
07/05/2004	451,06	3,4	22/06/2004	410,75	0
08/05/2004	450,65	4,1	23/06/2004	409,98	0
09/05/2004	450,14	0	24/06/2004	409,18	0
10/05/2004	449,5	0	25/06/2004	408,36	0
11/05/2004	448,74	0	26/06/2004	407,5	0
12/05/2004	447,86	0	27/06/2004	406,63	0
13/05/2004	446,91	0	28/06/2004	405,76	0
14/05/2004	445,9	1,4	29/06/2004	404,9	0
15/05/2004	444,86	2,4	30/06/2004	404,05	0
16/05/2004	443,79	13,6	01/07/2004	403,2	0

02/07/2004	402,33	0	17/08/2004	358,81	0
03/07/2004	401,41	0	18/08/2004	357,78	0
04/07/2004	400,43	0	19/08/2004	356,75	0
05/07/2004	399,4	0	20/08/2004	355,7	0
06/07/2004	398,32	0	21/08/2004	354,64	0
07/07/2004	397,24	0	22/08/2004	353,55	0
08/07/2004	396,2	0	23/08/2004	352,44	0
09/07/2004	395,22	1,8	24/08/2004	351,31	0
10/07/2004	394,29	0	25/08/2004	350,17	0
11/07/2004	393,39	48,4	26/08/2004	349,01	0
12/07/2004	392,48	0	27/08/2004	347,87	0
13/07/2004	391,55	0	28/08/2004	346,73	0
14/07/2004	390,56	0	29/08/2004	345,62	0
15/07/2004	389,53	0	30/08/2004	344,52	0
16/07/2004	388,49	0	31/08/2004	343,44	0
17/07/2004	387,49	0	01/09/2004	342,37	0
18/07/2004	386,54	0,4	02/09/2004	341,33	0
19/07/2004	385,67	16,4	03/09/2004	340,31	0
20/07/2004	384,88	30,5	04/09/2004	339,31	0
21/07/2004	384,13	0,4	05/09/2004	338,3	0
22/07/2004	383,39	0	06/09/2004	337,27	0
23/07/2004	382,63	0	07/09/2004	336,23	0
24/07/2004	381,82	0	08/09/2004	335,16	0
25/07/2004	380,97	0	09/09/2004	334,07	0
26/07/2004	380,08	0	10/09/2004	332,97	0
27/07/2004	379,18	0	11/09/2004	331,89	0
28/07/2004	378,26	0	12/09/2004	330,82	0
29/07/2004	377,34	0	13/09/2004	329,77	0
30/07/2004	376,41	0	14/09/2004	328,72	0
31/07/2004	375,47	0	15/09/2004	327,66	0
01/08/2004	374,54	0	16/09/2004	326,61	0
02/08/2004	373,6	0	17/09/2004	325,55	0
03/08/2004	372,65	0	18/09/2004	324,48	0
04/08/2004	371,69	0	19/09/2004	323,42	1,8
05/08/2004	370,72	0	20/09/2004	322,35	0
06/08/2004	369,75	0	21/09/2004	321,26	0
07/08/2004	368,77	0	22/09/2004	320,15	0
08/08/2004	367,79	0	23/09/2004	319,03	0
09/08/2004	366,81	0	24/09/2004	317,9	0
10/08/2004	365,82	0	25/09/2004	316,78	0
11/08/2004	364,83	0	26/09/2004	315,65	0
12/08/2004	363,83	0	27/09/2004	314,52	9,2
13/08/2004	362,83	0	28/09/2004	313,41	0
14/08/2004	361,83	0	29/09/2004	312,32	0
15/08/2004	360,83	0	30/09/2004	311,29	0
16/08/2004	359,83	0	01/10/2004	310,32	1,3

02/10/2004	309,42	5,5	17/11/2004	270,84	2,7
03/10/2004	308,56	14,8	18/11/2004	270,75	2,8
04/10/2004	307,72	5,8	19/11/2004	270,88	49,1
05/10/2004	306,87	0	20/11/2004	271,17	0
06/10/2004	306	0	21/11/2004	271,54	0
07/10/2004	305,1	0	22/11/2004	271,86	0
08/10/2004	304,17	0	23/11/2004	272,04	0
09/10/2004	303,23	0	24/11/2004	272,06	0
10/10/2004	302,29	0	25/11/2004	271,91	0
11/10/2004	301,34	24,9	26/11/2004	271,64	0
12/10/2004	300,39	0,7	27/11/2004	271,29	0
13/10/2004	299,46	1,6	28/11/2004	270,9	7,4
14/10/2004	298,55	12,5	29/11/2004	270,5	22,6
15/10/2004	297,68	0	30/11/2004	270,11	0
16/10/2004	296,84	11,6	01/12/2004	269,71	0
17/10/2004	296,03	12,5	02/12/2004	269,33	0
18/10/2004	295,22	4,7	03/12/2004	268,97	1
19/10/2004	294,41	3,5	04/12/2004	268,63	6
20/10/2004	293,59	0	05/12/2004	268,3	0
21/10/2004	292,76	0	06/12/2004	267,96	0,4
22/10/2004	291,92	0	07/12/2004	267,6	0
23/10/2004	291,07	0	08/12/2004	267,22	0
24/10/2004	290,21	0	09/12/2004	266,82	4,2
25/10/2004	289,31	0	10/12/2004	266,4	9,6
26/10/2004	288,38	13,8	11/12/2004	265,98	0
27/10/2004	287,44	0	12/12/2004	265,55	0
28/10/2004	286,5	0	13/12/2004	265,12	0
29/10/2004	285,59	0	14/12/2004	264,69	0
30/10/2004	284,71	0	15/12/2004	264,25	0
31/10/2004	283,87	0	16/12/2004	263,8	2,3
01/11/2004	283,03	13,8	17/12/2004	263,34	0
02/11/2004	282,18	0	18/12/2004	262,87	0
03/11/2004	281,31	0	19/12/2004	262,4	0
04/11/2004	280,44	11,7	20/12/2004	261,93	0
05/11/2004	279,56	0,8	21/12/2004	261,46	17,9
06/11/2004	278,69	0	22/12/2004	261,02	3,4
07/11/2004	277,83	2,8	23/12/2004	260,65	3,5
08/11/2004	277	0	24/12/2004	260,47	13,6
09/11/2004	276,18	0	25/12/2004	260,57	0
10/11/2004	275,38	0	26/12/2004	260,98	8,8
11/11/2004	274,58	0,3	27/12/2004	261,66	71,6
12/11/2004	273,81	46	28/12/2004	262,49	0
13/11/2004	273,05	0	29/12/2004	263,32	0
14/11/2004	272,33	0	30/12/2004	263,99	0
15/11/2004	271,68	0	31/12/2004	264,42	0
16/11/2004	271,17	32,3	01/01/2005	264,66	0

02/01/2005	264,81	3,8	17/02/2005	394,19	0
03/01/2005	265,01	0,3	18/02/2005	394,16	0
04/01/2005	265,38	22,6	19/02/2005	394,02	16,8
05/01/2005	266,03	50,8	20/02/2005	393,76	0
06/01/2005	267,02	3,2	21/02/2005	393,39	0
07/01/2005	268,35	2,9	22/02/2005	392,9	0
08/01/2005	269,93	17,2	23/02/2005	392,27	0
09/01/2005	271,67	0	24/02/2005	391,51	0
10/01/2005	273,43	0	25/02/2005	390,61	0
11/01/2005	275,13	0	26/02/2005	389,57	7,4
12/01/2005	276,68	3,5	27/02/2005	388,4	0,5
13/01/2005	278,07	0	28/02/2005	387,05	1,3
14/01/2005	279,31	0	01/03/2005	385,5	0
15/01/2005	280,45	0	02/03/2005	383,76	0
16/01/2005	281,56	0	03/03/2005	381,88	0
17/01/2005	282,73	0,4	04/03/2005	379,97	0
18/01/2005	284	0	05/03/2005	378,14	0
19/01/2005	285,41	18	06/03/2005	376,42	0
20/01/2005	286,94	18,6	07/03/2005	374,79	0
21/01/2005	288,57	10,7	08/03/2005	373,2	0
22/01/2005	290,29	0,7	09/03/2005	371,59	0
23/01/2005	292,1	64,7	10/03/2005	369,94	0,7
24/01/2005	293,98	0	11/03/2005	368,3	0
25/01/2005	296,13	0	12/03/2005	366,71	0
26/01/2005	299,2	45,8	13/03/2005	365,19	0
27/01/2005	304,17	2,1	14/03/2005	363,77	43,2
28/01/2005	311,77	20,5	15/03/2005	362,5	33
29/01/2005	321,84	62,8	16/03/2005	361,45	6,9
30/01/2005	333,32	122,6	17/03/2005	360,69	33,1
31/01/2005	344,67	11	18/03/2005	360,28	2,6
01/02/2005	354,53	0	19/03/2005	360,16	5,8
02/02/2005	362,18	16,4	20/03/2005	360,21	1,6
03/02/2005	367,82	3,6	21/03/2005	360,28	0,4
04/02/2005	372,25	3,3	22/03/2005	360,21	5,7
05/02/2005	376,29	20,8	23/03/2005	360	4,7
06/02/2005	380,23	0	24/03/2005	359,7	22,1
07/02/2005	383,9	0	25/03/2005	359,34	7,7
08/02/2005	387,03	0	26/03/2005	358,93	0
09/02/2005	389,5	0	27/03/2005	358,41	0
10/02/2005	391,3	0	28/03/2005	357,72	0
11/02/2005	392,51	0	29/03/2005	356,88	0
12/02/2005	393,24	2,5	30/03/2005	355,98	0
13/02/2005	393,64	0	31/03/2005	355,19	0
14/02/2005	393,86	0	01/04/2005	354,62	0
15/02/2005	394,01	0	02/04/2005	354,33	0
16/02/2005	394,13	0	03/04/2005	354,22	0

04/04/2005	354,13	0	20/05/2005	325,51	0
05/04/2005	353,94	24,4	21/05/2005	324,49	0
06/04/2005	353,59	0,9	22/05/2005	323,58	17,1
07/04/2005	353,12	0	23/05/2005	322,83	1,1
08/04/2005	352,61	0	24/05/2005	322,22	0
09/04/2005	352,14	0	25/05/2005	321,71	72
10/04/2005	351,72	0	26/05/2005	321,25	0,5
11/04/2005	351,33	0	27/05/2005	320,77	0
12/04/2005	350,92	0	28/05/2005	320,23	0
13/04/2005	350,46	0	29/05/2005	319,59	0
14/04/2005	349,96	0	30/05/2005	318,87	0,3
15/04/2005	349,46	0	31/05/2005	318,06	2,6
16/04/2005	348,99	0	01/06/2005	317,16	0
17/04/2005	348,54	0	02/06/2005	316,18	0
18/04/2005	348,09	0	03/06/2005	315,16	0
19/04/2005	347,63	0	04/06/2005	314,12	0
20/04/2005	347,17	0	05/06/2005	313,1	0
21/04/2005	346,74	1,2	06/06/2005	312,13	0
22/04/2005	346,34	0	07/06/2005	311,22	0
23/04/2005	345,94	0	08/06/2005	310,33	0
24/04/2005	345,46	3,4	09/06/2005	309,43	0
25/04/2005	344,84	0	10/06/2005	308,48	0
26/04/2005	344,06	0,8	11/06/2005	307,45	0
27/04/2005	343,15	0	12/06/2005	306,28	0
28/04/2005	342,2	0	13/06/2005	304,97	0
29/04/2005	341,29	0,9	14/06/2005	303,51	0
30/04/2005	340,45	1	15/06/2005	301,97	0
01/05/2005	339,7	0	16/06/2005	300,39	0
02/05/2005	339	0	17/06/2005	298,86	0
03/05/2005	338,34	0	18/06/2005	297,41	0
04/05/2005	337,72	0	19/06/2005	296,06	2,4
05/05/2005	337,15	0	20/06/2005	294,76	11,8
06/05/2005	336,62	0	21/06/2005	293,48	4,2
07/05/2005	336,13	0	22/06/2005	292,2	0,3
08/05/2005	335,63	0	23/06/2005	290,94	0
09/05/2005	335,06	0	24/06/2005	289,74	0
10/05/2005	334,39	0	25/06/2005	288,6	0
11/05/2005	333,62	0	26/06/2005	287,52	0
12/05/2005	332,79	0	27/06/2005	286,43	0
13/05/2005	331,95	0	28/06/2005	285,28	0
14/05/2005	331,13	0	29/06/2005	284,04	29,4
15/05/2005	330,32	0	30/06/2005	282,72	0
16/05/2005	329,49	0	01/07/2005	281,39	0
17/05/2005	328,6	0	02/07/2005	280,11	0
18/05/2005	327,63	0	03/07/2005	278,94	0
19/05/2005	326,58	0	04/07/2005	277,9	0

05/07/2005	277	0	20/08/2005	230,72	0
06/07/2005	276,19	0	21/08/2005	229,59	0
07/07/2005	275,42	0	22/08/2005	228,43	0
08/07/2005	274,66	0	23/08/2005	227,24	0
09/07/2005	273,87	0	24/08/2005	226,05	0
10/07/2005	273,04	0	25/08/2005	224,9	0,3
11/07/2005	272,16	0	26/08/2005	223,85	0
12/07/2005	271,22	0	27/08/2005	222,9	2,9
13/07/2005	270,24	0	28/08/2005	222,05	8,1
14/07/2005	269,21	0	29/08/2005	221,24	0
15/07/2005	268,17	0	30/08/2005	220,42	0
16/07/2005	267,14	0	31/08/2005	219,58	0
17/07/2005	266,13	0	01/09/2005	218,72	0
18/07/2005	265,12	0	02/09/2005	217,86	13,2
19/07/2005	264,1	0	03/09/2005	217,04	0,3
20/07/2005	263,02	0,3	04/09/2005	216,25	0
21/07/2005	261,88	0	05/09/2005	215,5	22,6
22/07/2005	260,69	0,9	06/09/2005	214,76	5,4
23/07/2005	259,48	0	07/09/2005	214,02	0
24/07/2005	258,29	0	08/09/2005	213,28	0
25/07/2005	257,15	1,7	09/09/2005	212,53	0
26/07/2005	256,05	0	10/09/2005	211,79	0
27/07/2005	254,99	0	11/09/2005	211,05	0
28/07/2005	253,95	0,7	12/09/2005	210,3	0
29/07/2005	252,94	0	13/09/2005	209,56	0
30/07/2005	251,93	0	14/09/2005	208,82	0
31/07/2005	250,92	0	15/09/2005	208,07	1,6
01/08/2005	249,89	0	16/09/2005	207,33	1,8
02/08/2005	248,83	0	17/09/2005	206,59	20,5
03/08/2005	247,75	0	18/09/2005	205,84	2,1
04/08/2005	246,68	0	19/09/2005	205,1	0,2
05/08/2005	245,61	0	20/09/2005	204,36	0
06/08/2005	244,57	0	21/09/2005	203,61	0
07/08/2005	243,53	0	22/09/2005	202,87	0
08/08/2005	242,48	0	23/09/2005	202,13	0
09/08/2005	241,43	0	24/09/2005	201,37	0
10/08/2005	240,39	0	25/09/2005	200,6	0,2
11/08/2005	239,38	0	26/09/2005	199,79	4,9
12/08/2005	238,43	0	27/09/2005	198,94	7,9
13/08/2005	237,52	0	28/09/2005	198,03	0,4
14/08/2005	236,65	0	29/09/2005	197,06	0
15/08/2005	235,78	0	30/09/2005	196,02	0
16/08/2005	234,88	8	01/10/2005	194,91	0
17/08/2005	233,92	0	02/10/2005	193,73	5
18/08/2005	232,9	0	03/10/2005	192,49	0
19/08/2005	231,83	0	04/10/2005	191,22	0

05/10/2005	189,93	0	20/11/2005	158,61	8
06/10/2005	188,63	0	21/11/2005	158,06	0
07/10/2005	187,34	0	22/11/2005	157,52	0
08/10/2005	186,04	10,2	23/11/2005	157,01	2,3
09/10/2005	184,78	0	24/11/2005	156,54	78,4
10/10/2005	183,58	0	25/11/2005	156,13	11
11/10/2005	182,46	0	26/11/2005	155,79	15,2
12/10/2005	181,42	0,2	27/11/2005	155,52	0
13/10/2005	180,42	0	28/11/2005	155,27	0
14/10/2005	179,42	0	29/11/2005	155	0
15/10/2005	178,42	37,1	30/11/2005	154,7	0
16/10/2005	177,46	0	01/12/2005	154,38	7,8
17/10/2005	176,6	0	02/12/2005	154,03	5
18/10/2005	175,9	1	03/12/2005	153,67	25,2
19/10/2005	175,4	0,6	04/12/2005	153,3	0
20/10/2005	175,05	2,3	05/12/2005	152,95	0
21/10/2005	174,81	0	06/12/2005	152,65	14,9
22/10/2005	174,57	3,3	07/12/2005	152,44	21,9
23/10/2005	174,27	4,8	08/12/2005	152,35	0
24/10/2005	173,87	0	09/12/2005	152,43	0
25/10/2005	173,36	0	10/12/2005	152,65	8,3
26/10/2005	172,76	0	11/12/2005	152,94	1,3
27/10/2005	172,1	4,4	12/12/2005	153,22	2,5
28/10/2005	171,42	0	13/12/2005	153,47	0
29/10/2005	170,77	8,3	14/12/2005	153,73	0
30/10/2005	170,15	1,9	15/12/2005	154,03	25,4
31/10/2005	169,56	0,6	16/12/2005	154,43	0
01/11/2005	168,98	0	17/12/2005	154,92	24,2
02/11/2005	168,39	0	18/12/2005	155,45	9,4
03/11/2005	167,8	0,2	19/12/2005	155,94	5
04/11/2005	167,21	0	20/12/2005	156,33	0
05/11/2005	166,63	9,3	21/12/2005	156,62	0
06/11/2005	166,09	0	22/12/2005	156,85	0
07/11/2005	165,61	0	23/12/2005	157,05	0
08/11/2005	165,2	0	24/12/2005	157,99	0
09/11/2005	164,8	0	25/12/2005	158,35	1,7
10/11/2005	164,34	0	26/12/2005	158,72	0
11/11/2005	163,78	0	27/12/2005	159,09	0
12/11/2005	163,1	0	28/12/2005	159,45	0
13/11/2005	162,38	0	29/12/2005	159,82	0
14/11/2005	161,69	0	30/12/2005	160,18	0
15/11/2005	161,1	0	31/12/2005	160,55	22,9
16/11/2005	160,59	0			
17/11/2005	160,12	0,7			
18/11/2005	159,65	17,4			
19/11/2005	159,15	0			