

GIOVANI PAULO DE PAIVA

**ESTIMATIVA DA RECARGA EM UMA UNIDADE DETRÍTICA
DE UMA MICRO-BACIA DO RIO PIRANGA (MG)**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2006**

GIOVANI PAULO DE PAIVA

**ESTIMATIVA DA RECARGA EM UMA UNIDADE DETRÍTICA
DE UMA MICRO-BACIA DO RIO PIRANGA (MG)**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

APROVADA: 19 de maio de 2006.

Prof. Mauro Aparecido Martinez

Prof. Luís de Almeida Prado Bacellar

Prof. Roberto Francisco de Azevedo
(Co-orientador)

Prof. Fernando Falco Pruski
(Co-orientador)

Prof. Eduardo Antônio Gomes Marques
(Orientador)

À Deus, aos meus pais Amélia Luiza e João, pelos ensinamentos que me passaram ao longo vida. Aos meus irmãos, Sandra, Elaine, André, Samuel e Elizeth, pelos anos de convivência.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela saúde, pela paz, sabedoria e por mais esta vitória.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade de aprendizado e a oportunidade de desenvolvimento deste trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela bolsa de estudos;

À Gláucia, pelo companheirismo e apoio nos momentos mais difíceis e pelos incessantes incentivos;

Ao professor Eduardo Antônio Gomes Marques, pelo seu companheirismo, dedicação, amizade e orientação;

Ao proprietário do Sítio do Onça (local onde foi desenvolvida a pesquisa), Alvaír Pires, pelo apoio prestado no desenvolvimento dos trabalhos de campo;

Ao professor Fernando Falco Pruski, pelos conselhos cedidos e pela paciência, que foram fundamentais no direcionamento deste estudo;

Ao professor Roberto Azevedo pela confiança e ensinamentos transmitidos;

Ao professor José Maria do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo fornecimento dos dados hidroclimatológicos usados neste trabalho;

Às pessoas com quem tive o privilégio de morar e conviver ao longo destes anos em Viçosa;

A todos os colegas de curso, que sempre foram os conselheiros mais próximos e sempre estavam dispostos a contribuir, com novas idéias, apoio moral, trocas de experiências e pelos momentos de descontração que juntos passamos;

A todos os funcionários e professores que muito contribuíram para minha formação profissional, suscitando sempre o espírito crítico, que é fundamental em um profissional e no desenvolvimento de qualquer trabalho.

CONTEÚDO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 HIDROGEOLOGIA.....	4
2.1.1 <i>Conceitos</i>	4
2.1.2 <i>Embasamento histórico</i>	5
2.1.3 <i>Ocorrência das águas subterrâneas</i>	11
2.2 PRECIPITAÇÃO.....	14
2.3 DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	15
2.4 DEFINIÇÕES.....	17
2.5 TIPOS DE AQUÍFEROS.....	18
2.6 GEOLOGIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	19
2.7 MOVIMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	22
2.7.1 <i>Maiores subdivisões do fluxo de água subterrânea</i>	24
2.7.2 <i>Energia contida em um aquífero</i>	25
2.7.3 <i>Redes de fluxo</i>	26
2.8 RECARGA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	27
2.8.1 <i>Tipos de recarga</i>	30
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	33
3.1 LOCALIZAÇÃO	33
3.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO CLIMA E DA HIDROGRAFIA	34
3.3 GEOMORFOLOGIA LOCAL.....	37
3.4 VEGETAÇÃO	39
3.4.1 <i>Identificação dos usos do solo/tipo de cobertura vegetal</i>	41

3.5	GEOLOGIA REGIONAL	43
3.5.1	<i>Arcabouço Geológico e Evolução Geotectônica.....</i>	43
3.6	INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO	44
3.6.1	<i>Realização de estudos geofísicos.....</i>	45
3.7	HIDROGEOLOGIA.....	52
3.7.1	<i>Introdução.....</i>	52
3.7.2	<i>Hidrogeologia Regional – Aspectos Gerais</i>	53
3.7.3	<i>Hidrogeologia Local.....</i>	54
3.7.4	<i>Determinação da permeabilidade do solo.....</i>	59
3.7.5	<i>Estratigrafia</i>	60
3.8	GEOLOGIA LOCAL	64
3.9	GEOLOGIA ESTRUTURAL	64
3.9.1	<i>Elementos Planares</i>	65
3.9.2	<i>Elementos Lineares.....</i>	66
3.10	IDENTIFICAÇÃO DAS UNIDADES AQUÍFERAS PRESENTES NA ÁREA DE PESQUISA	67
3.11	PEDOLOGIA	68
3.11.1	<i>Identificação das classes de solo (MATOS, 2003)</i>	68
3.11.2	<i>Caracterização Pedológica Local.....</i>	73
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	76
4.1	MATERIAIS.....	76
4.2	MONITORAMENTO DO AQUÍFERO FREÁTICO E DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	77
4.3	ESTIMATIVA DA RECARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	78
4.3.1	<i>Estimativa pelo método do Balanço Hídrico</i>	78
4.3.2	<i>Estimativa pelo Método da variação dos níveis d'água (VNA ou WTF) ..</i>	84
4.3.3	<i>Estimativa pela medição da descarga de água subterrânea.</i>	87
5.	RESULTADOS	89
5.1	MÉTODO DA VARIAÇÃO DOS NÍVEIS D'ÁGUA (VNA)	89
5.1.1	<i>Monitoramento dos níveis d'água do aquífero livre</i>	89
5.1.2	<i>Estimativa da recarga pelo Método da VNA</i>	90
5.2	MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO	91
5.3	DETERMINAÇÃO DA RECARGA PELA MEDIÇÃO DA DESCARGA	96
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	99
7.	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	101
8.	ANEXOS.....	105
8.1	ANEXO A	106
8.2	ANEXO B	118

RESUMO

PAIVA, Giovani Paulo de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Maio de 2006. **Estimativa da recarga em uma unidade detrítica de uma microbacia do rio Piranga (MG)**. Orientador: Eduardo Antônio Gomes Marques. Co-orientadores: Fernando Falco Pruski e Roberto Francisco de Azevedo.

O presente trabalho teve por objetivo estimar a recarga de um aquífero granular freático, inserido em uma microbacia do rio Piranga-MG, localizada no município de Paula Cândido – MG. Foram utilizadas três técnicas de estimativa de recarga: o balanço hídrico, o método das variações do nível d'água (VNA ou WTF) e a medição da descarga de água subterrânea. O método das variações do nível d'água utilizou dados de cinco poços de observação do nível d'água. As medições de descarga de água subterrânea foram feitas por meio de um vertedouro instalado no córrego que drena a área pesquisada e por meio de um hidrômetro instalado em uma nascente hidromineral. A estimativa de recarga pelo método do balanço hídrico foi realizada por meio do *software* SH 2.0. O balanço hídrico foi realizado com base no modelo de infiltração de água no solo proposto por Green-Ampt e na evapotranspiração calculada segundo Penman-Monteith. Para um melhor conhecimento da geologia local, das unidades aquíferas presentes e para aquisição de dados que são úteis na alimentação do *software* SH 2.0 realizou-se uma caracterização completa da área de pesquisa. O método das variações do nível d'água obteve uma taxa de recarga de 183,3 mm/ano, o método do balanço hídrico, que foi realizado por meio do *software* SH 2.0, 377,0 mm/ano e o método da medição da descarga de águas subterrâneas, 181,3 mm/ano. Os valores encontrados estão dentro do esperado e vão de encontro com resultados encontrados por outros pesquisadores em outras regiões do Brasil.

ABSTRACT

PAIVA, Giovani Paulo de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May 2006.
Estimate of the recharge in a detrítica unit of a microbasin of the river Piranga (MG). Adviser: Eduardo Antônio Gomes Marques. Co-Advisers: Fernando Falco Pruski and Roberto Francisco de Azevedo.

The present work has the aim of estimate the recharge for a phreatic granular aquifer located at Piranga river drainage basin, at Paula Cândido (MG) municipality area. Three techniques were used in order to achieve this recharge: ground-water inventory, water level variation and ground-water discharge measurement. The water level variation evaluation was based on five observation wells. Ground water discharge measurements were done throughout a spillway installed at a small stream that drains and a hydrometer installed at a spring, both of them located into the studied micro basin. The evaluation of ground water recharge based on ground-water inventory method was carried out through a software, named SH 2.0 and was based on a infiltration model proposed by Green-Ampt and at total evaporation calculated according to Penman-Monteith. A complete physical characterization of the studied area was done, in order to allow a better knowledge of local geology, aquifer units and data-acquisition, for use as input data for SH 2.0 software. The water level variation method result in a recharge of 183.3 mm/year, while the result obtained through ground-water inventory method was 377,0 mm/year. Finally, the ground water discharge method resulted in a recharge of 181.3 mm/year. The calculated values for recharge fit the results obtained by other authors in Brazil.

1. INTRODUÇÃO

Muitos aspectos da hidrogeologia são por enquanto de interesse somente de cientistas, contudo ela é um ramo das geociências que surgiu de considerações práticas. Muitos dos importantes avanços na hidrogeologia foram estimulados por estudos destinados a resolver problemas de importância econômica. E muitos avanços devem continuar acontecendo, já que a demanda por água irá inevitavelmente aumentar com o crescimento da população e da industrialização.

Um indivíduo em uma área urbana industrializada pode usar de quatro milhões a vinte milhões de litros de água durante sua vida. Se sua parte dos usos industriais, agrícolas e de recreação forem levadas em conta, a quantidade total pode exceder quarenta milhões de litros. Em comparação, um indivíduo vivendo sob as condições primitivas provavelmente sobreviveria a vida toda com vinte mil litros e seria capaz de manter sua higiene pessoal com um adicional de vinte mil litros de água. Porque, então, o homem moderno tem se tornado tão desperdiçador de água, usando talvez mil vezes a quantidade de água requerida por seus ancestrais? A resposta é simplesmente porque a água é conveniente, comum, e, especialmente, porque ela é a mais barata de todas as comodidades (DAVIS e De WIEST, 1966). Diante deste quadro, não somente torna-se necessário a busca de novas fontes de água potável como também é necessário despertar o interesse para o uso racional dos recursos hídricos.

De acordo com DRISCOLL (1995), o uso racional das águas subterrâneas envolve três grandes princípios: (1) desenvolvimento de tecnologias que aumentem o volume armazenado nos reservatórios de água subterrânea, (2) proteção da qualidade das águas subterrâneas, e (3) utilização das fontes de água subterrânea para os usos mais dignos ou mais preciosos na sociedade.

O primeiro princípio do uso racional das águas subterrâneas trata da maximização da vazão segura dos aquíferos para um longo período. A constante retirada excessiva de águas subterrâneas para abastecimento não deveria ser permitida, apoiados em propósitos de vantagens econômicas em curto prazo. Recarga por bacias de inundação, poços, e irrigação durante períodos de não desenvolvimento da cultura, são alguns meios de aumentar o

volume armazenado de águas subterrâneas. A conservação e a redistribuição das captações são outras formas de melhorar o uso das águas subterrâneas.

O segundo princípio do uso racional das águas subterrâneas inclui esforços feitos para minimizar impactos adversos das atividades humanas na água subterrânea. A disposição inadequada de resíduos industriais ou de lixo são exemplos de contaminantes potenciais desta águas.

O terceiro princípio do uso racional das águas subterrâneas envolve o desenvolvimento de prioridades no modo como as águas subterrâneas serão utilizadas no futuro. O aumento das secas, a concentração populacional nas cidades, e a expansão industrial e agrícola têm contribuído para um aumento da crise no fornecimento de água em muitas áreas. Com isso, os profissionais ligados ao abastecimento de água têm a difícil tarefa de limitar o uso da água para certos propósitos, como por exemplo, a agricultura, para oferecer água suficiente para beber ou para outros usos prioritários.

Diante da crescente demanda de água, especialmente das águas subterrâneas, várias medidas devem ser tomadas para se evitar conflitos entre os usuários. Se não forem feitos estudos e planejamentos para a exploração dos recursos hídricos subterrâneos, graves danos podem ocorrer, desde problemas de rebaixamentos excessivos, que poderão inviabilizar economicamente o bombeamento, a problemas de contaminação pelo aumento excessivo do gradiente hidráulico, devido ao grande rebaixamento. A estimativa da recarga das águas subterrâneas surge então como um pré-requisito para uma gestão eficiente e sustentável de tais recursos, uma vez que os recursos hídricos são a chave para o desenvolvimento econômico.

Para o propósito de discussão, as técnicas para estimativa de recarga são subdivididas em vários tipos, com base em três fontes hidrológicas, ou zonas, das quais os dados são obtidos: água superficial, zona não saturada, e zona saturada. Esta subdivisão de técnicas é de certa forma arbitrária e não é provavelmente a ideal (HEALY et al., 2002). As diferentes zonas oferecem estimativas de recarga sobre escalas de tempo e espaço variáveis.

As principais técnicas usadas para estimar a taxa de recarga podem ser divididas em físicas e químicas (ALLISON, FOSTER apud: SOPHOCLEOUS, 1991). Os métodos físicos consistem:

1. de balanços de água no solo, processados com dados hidrometeorológicos e dados do estágio de desenvolvimento de cultura ;

2. interpretação de dados hidrológicos, incluindo análises de flutuação dos níveis d'água subterrâneos e análises do fluxo de base;
3. medições dos parâmetros hidráulicos do solo, incluindo estimação do fluxo de água entre a zona das raízes usando condutividade hidráulica não-saturada e gradientes de potencial.

Os métodos químicos consistem de análises químicas e de análises dos isótopos dos fluidos que preenchem os poros da zona saturada e não-saturada do solo. Estimativas de recarga, por qualquer método estão normalmente sujeitas a grandes incertezas e erros (SIMMERS apud: SOPHOCLEOUS, 1991). Além disso, a recarga apresenta grande variação no espaço e no tempo.

1.1 Objetivos

O presente trabalho pretende estimar a recarga de uma unidade detrítica em uma microbacia pertencente ao município de Paula Cândido - MG, a microbacia em questão, está inserida na bacia do Rio Piranga (MG) e recebe o nome de Córrego do Sapo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Hidrogeologia

2.1.1 Conceitos

De acordo com DAVIS & DEWIEST (1966), o termo hidrogeologia foi primeiramente usado em 1802 pelo naturalista francês Lamarck. Ele juntou um significado ao termo que foi quase idêntico ao do Powell “geologia hídrica”, a qual foi definida como um estudo do “fenômeno de degradação (erosão) e deposição pelos agentes aquosos”. Nem os termos de Lamarck nem de Powell foram empregados por seus contemporâneos. Lucas em 1879 foi provavelmente o primeiro a usar o termo hidrogeologia para o estudo geológico de águas subterrâneas (LUCAS apud: DAVIS & DEWIEST, 1966). O uso mais amplo para esta definição do termo foi dado por MEAD (MEAD apud: DAVIS & DEWIEST, 1966), em seu livro de hidrologia, primeiramente publicado em 1919. Ele definiu “hidrogeologia” como o estudo das leis de ocorrência e movimento das águas subterrâneas. Engenheiros e geólogos, da mesma forma, concordaram com ele que “a hidrogeologia deve pressupor ou incluir um estudo suficiente de geologia geral para dar um conhecimento compreensivo das limitações geológicas, as quais devem ser esperadas em condições hidrográficas e de alterações devido a transformações geológicas”. MEINZER, mais tarde, subdividiu a ciência da hidrologia em hidrologia subterrânea ou “geohidrologia” e hidrologia da superfície, que se dedicam à água desde o momento em que ela é precipitada na terra até ser descarregada dentro do mar ou retornada para a atmosfera (DAVIS & De WIEST, 1966).

Segundo DAVIS & De WIEST (1966) a hidrogeologia pode ser definida como o estudo das águas subterrâneas com particular ênfase dada à química, modo de migração e relação com o ambiente geológico.

Para CUSTODIO e LLAMAS (1983), hidrogeologia ou hidrologia subterrânea é aquela parte da hidrologia que corresponde ao armazenamento, circulação e distribuição das águas terrestres na zona saturada das formações geológicas, levando em conta suas propriedades físicas e químicas, suas interações com o meio físico e biológico e suas reações à ação do homem.

De acordo com TODD (1967), hidrologia subterrânea é a ciência da ocorrência, distribuição e movimento da água abaixo da superfície da terra. A geohidrologia tem a mesma conotação, e a hidrogeologia apenas difere pela sua maior ênfase na geologia.

2.1.2 Embasamento histórico

O aproveitamento das águas subterrâneas data de tempos antigos. O Velho Testamento contém inúmeras referências às águas subterrâneas, nascentes e poços. TOLMAN descreveu os grandes túneis de águas subterrâneas, ou “canats”, na Pérsia e no Egito, datando de 800 A.C (TODD, 1967).

A utilização das águas subterrâneas precede grandemente a compreensão de sua origem, ocorrência e movimento. Os antigos filósofos gregos Homero, Tales e Platão, formulavam hipóteses de que as nascentes fossem formadas por água do mar conduzida através de canais subterrâneos para baixo das montanhas, depois purificadas e levantadas até à superfície. Aristóteles (384-311 A.C.) sugeriu que o ar entrasse em frias cavernas escuras sob as montanhas, onde se condensava em água e contribuía para as nascentes (TODD, 1967). Um passo importante foi dado, entretanto, pelo arquiteto romano Vitrúvio, que explicou a teoria ora aceita, de que as montanhas recebem grandes quantidades de chuva que percolam através dos estratos rochosos e emergem a sua base para formar os cursos d'água (TODD, 1967).

Atingiu-se uma melhor compreensão do ciclo hidrológico na última parte do século XVII. Pela primeira vez, as teorias se basearam em observações e dados quantitativos. Três europeus fizeram contribuições notáveis, embora outros tenham contribuído e apoiado esses avanços. Pierre Perroult (1608-1680) mediu a precipitação pluviométrica durante três anos e encontrou a média de 520 mm por ano. Ele então estimou o escoamento da bacia e concluiu que isto era somente 1/6 do volume total das chuvas, provando, assim que as chuvas são mais do que suficiente para explicar toda água dos rios. O físico francês Edmé Mariotte (1620-1684) mediu a quantidade de infiltração das águas das chuvas dentro de um porão no observatório de Paris. Ele notou que esta infiltração, e também o fluxo de nascentes em outros lugares, variavam com a chuva. Ele então concluiu que as nascentes eram alimentadas pela

águas de chuva que infiltravam no terreno. Suas publicações apareceram em 1686, após sua morte e continham dados concretos que comprovavam a teoria da infiltração. A terceira contribuição veio do astrônomo inglês Edmund Halley (1656-1742), que relatou em 1693 medidas da evaporação, demonstrando que a evaporação do mar era suficiente para responder por todas as nascentes e vazões dos cursos d'água.

Durante o século XVIII foram estabelecidos os fundamentos geológicos para compressão da ocorrência e do movimento das águas subterrâneas. Em 1715, Vallesière destacou a importância de uma camada impermeável como estrato confinante de um aquífero sob pressão (confinado) (MANOEL FILHO, 2000).

No ano de 1791, La Métherie ensina que uma parte da chuva e da neve escoam diretamente, uma segunda parte umedece os solos e a partir daí evapora ou alimenta as plantas, e uma terceira parte penetra nos reservatórios subterrâneos, de onde reaparece gradualmente na superfície como fontes ou nascentes (MANOEL FILHO, 2000).

A primeira pessoa a determinar claramente uma lei física que governa o fluxo de água subterrânea foi o engenheiro francês Henri Darcy (1803-1858). O desenvolvimento de sua fórmula resultou de um experimento com filtro de areia e foi apresentado em 1856 em um apêndice de um relatório no sistema de abastecimento de água de Dijon.

Até 1856 não havia nenhuma lei para o estudo do movimento da água nos meios porosos e fissurados; foi neste ano, quando Henri Darcy publicou os resultados de uma série de experimentos, que foi possível encontrar uma relação entre o gradiente hidráulico e o fluxo d'água, estabelecendo o conceito de permeabilidade como uma propriedade macroscópica do meio (CUSTODIO e LLAMAS, 1983).

A Lei de Darcy só é aplicável a escoamentos laminares, onde as velocidades são relativamente pequenas e a água circula lentamente pelos poros do meio. Neste caso, o escoamento é dominado pelas forças resistivas ou viscosas e a perda de carga varia linearmente com a velocidade. Para velocidades maiores o escoamento se torna turbulento e as forças de inércia passam a controlar o fluxo. Ocorre a formação de turbilhamento, as moléculas de água movem-se de maneira desorganizada e a perda de carga

não varia mais linearmente com a velocidade, e a lei de Darcy não pode mais ser aplicada.

Para se distinguir o escoamento laminar do turbulento, utiliza-se o número de Reynolds. Segundo TODD (1959), para quase todos os movimentos de águas subterrâneas naturais a lei de Darcy é aplicável. SCHNEEBELI e HUBBERT apud: TODD (1959) sugerem que o início da turbulência aconteça a um número de Reynolds muitas vezes maior do que o limite superior da lei de Darcy, o que indica que o número de Reynolds não é um bom critério para o julgamento do início da turbulência em fluxos em meios porosos e que existem fluxos laminares em meios porosos que não obedecem à Lei de Darcy.

A Lei de Darcy é apresentada na forma:

$$q = -k \cdot \frac{\Delta h}{\Delta S} = -k \cdot i \quad \text{Equação 01}$$

em que,

q = fluxo de água (L/T);

k = condutividade hidráulica do meio poroso (L/T);

Δh = diferença de carga hidráulica entre dois pontos do escoamento (L);

ΔS = distância entre os dois pontos do escoamento (L); e

$i = \Delta h / \Delta S$ = gradiente hidráulico (L/L).

A descarga ou vazão em um aquífero de espessura b e largura a , pode ser calculada usando a Equação 01, da seguinte forma;

$$Q = A \times q = -a \cdot b \cdot k \cdot i = -a \cdot T_m \cdot i \quad \text{Equação 02}$$

em que,

Q = descarga ou vazão (L³/T);

A = área da seção transversal do aquífero (L²);

a = largura do aquífero (L);

b = espessura do aquífero (L); e

T_m = transmissividade do aquífero (L²/T).

A transmissividade corresponde à quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero. Pode ser definida como a taxa de escoamento de água através de uma faixa vertical do aquífero com largura unitária submetida a um gradiente hidráulico unitário.

Segundo DAVIS e DeWIEST (1966), tanto Darcy quanto Dupuit falharam em reconhecer o fato de que K depende das propriedades do fluido e também das características do meio.

A condutividade hidráulica é função do peso específico do fluido (γ); da viscosidade dinâmica (μ); do diâmetro característico (d) - definido como o tamanho médio dos poros; e de uma constante adimensional ou fator de forma C , que considera em conta os efeitos devido à estratificação, ao material de enchimento, ao arranjo dos grãos, à distribuição granulométrica e a porosidade. Com isto, K , é dado pela seguinte equação:

$$k = C \cdot d^2 \cdot \frac{\gamma}{\mu} \quad \text{Equação 03}$$

em que,

γ = peso específico do fluido (N/m^3);

μ = viscosidade dinâmica (kg.m/s);

d = diâmetro característico, que é o diâmetro médio dos poros (m); e

C = fator de forma, o qual leva em conta efeitos de estratificação, arranjo dos grãos, distribuição granulométrica e porosidade.
(adimensional).

k pode ser determinado tanto por métodos de laboratório quanto por métodos de campo.

Os avanços na hidráulica de águas subterrâneas continuaram a ocorrer. O francês Jules Dupuit foi o primeiro cientista a desenvolver uma fórmula para o fluxo de água para dentro de um poço. Em 1870, Adolph Thiem, da Alemanha, modificou a fórmula de Dupuit, de forma que ele pudesse, na prática, computar as características hidráulicas de um aquífero pelo bombeamento de um poço e observando os efeitos em outros poços nos arredores (DAVIS e DeWIEST, 1966).

O austríaco Philip Forchheimer aplicou em 1886, métodos matemáticos para descrever fluxos de águas subterrâneas. Ele introduziu o conceito de superfícies equipotenciais e sua relação com as linhas de corrente. Ele também foi o primeiro a aplicar a equação de Laplace e o método das imagens. A descarga de águas subterrâneas para dentro dos rios foi estudada pelo francês Edmund Maillet que expandiu alguns dos primeiros trabalhos de J. Boussinesq (1905) dentro da teoria geral do fluxo de base (DAVIS e DeWIEST, 1966).

Um grande avanço na hidrogeologia foi feito em 1935, quando Charles V. Theis introduziu uma equação para fluxo transitório para um poço. A equação de Theis foi desenvolvida em analogia ao fluxo de calor, mas poucos anos depois C. E. Jacob derivou a mesma equação através de considerações somente de hidráulica (DAVIS e DeWIEST, 1966).

Uma das mais importantes contribuições para a descrição matemática do movimento de águas subterrâneas foi feita por Morris Moskat em artigos científicos e em um abrangente livro, originalmente publicado em 1937. Também de grande valia foram os trabalhos de M. King Hubbert, que fez numerosas contribuições para o entendimento do fluxo dos fluidos e a aplicação da hidrodinâmica para a exploração de petróleo. Hubbert derivou a Lei de Darcy da equação de Navier-Stokes e introduziu o conceito de força potencial em sua derivação (DAVIS e DeWIEST, 1966).

Métodos para determinar perdas de entrada de fluxo para poços foram descritos por Kano (1939), Jacob (1947) e Rorabaugh (1953). Boulton (1963) descreveu um método para realizar testes em aquíferos livres. Hantush (1964) apresentou soluções para resolver problemas de escoamento em regiões de aquíferos confinados e semiconfinados, envolvendo também poços surgentes, poços parcialmente penetrantes, infiltração lateral direcionada de rios para poços em bombeamento e poços coletores com drenos horizontais.

O conhecimento hidrodinâmico dos sistemas de fluxo teve um significativo avanço durante a década de 60. Nesse período, as relações entre águas subterrâneas e águas superficiais foram encaradas do ponto de vista da análise de sistemas, estabelecendo-se as bases para a gestão da água subterrânea, usando principalmente modelos analógicos (malhas de resistências e capacitores). Esse tipo de modelo, porém, somente proliferou até o início dos anos 70, quando praticamente desapareceu substituído pelos modelos digitais, cuja expansão vertiginosa e sofisticação verificados nos últimos 30 anos, ainda não cessou (MANOEL FILHO, 2000).

Hoje, devido ao extraordinário desenvolvimento da engenharia de *software* e da microeletrônica, a acessibilidade e facilidade de manipulação dos modelos digitais são cada vez maiores, tornando as soluções dos problemas de águas subterrâneas, através dos modernos microcomputadores, uma tarefa relativamente simples.

A partir do início dos anos 80, a ênfase nas pesquisas de água subterrânea nos países industrializados mudou de problemas de avaliação quantitativa para problemas de avaliação e controle da qualidade. Nos últimos 20 anos, além dos aspectos gerais de qualidade das águas subterrâneas, as atenções voltaram-se para a sua contaminação por resíduos industriais perigosos, chorumes de depósitos de lixo urbano, derramamentos de petróleo e atividades agrícolas, como por exemplo, o uso de fertilizantes, pesticidas, herbicidas e ainda resíduos radioativos depositados em formações geológicas profundas.

No Brasil, durante a primeira metade deste século, as ações desenvolvidas, em termos de hidrologia de águas subterrâneas, concentraram-se na região Nordeste e ficaram praticamente restritas à perfuração de poços. Essa atividade esteve geralmente atrelada a programas esporádicos de combate às secas e sempre sem preocupação com a execução de estudos básicos para avaliação de recursos disponíveis e planejamento de uma política permanente de administração e uso da água, capaz de garantir uma convivência produtiva do nordestino com a sua terra sem o estigma da seca. Em paralelo com a perfuração de poços e de maneira igualmente descontínua, desordenada e desvinculada de uma política global de águas para a região, muitos açudes de pequeno, médio e grande porte foram construídos (MANOEL FILHO, 2000).

Até 1950, o trabalho mais significativo, no domínio da hidrologia de superfície é o de Aguiar (1939), que desenvolveu uma fórmula empírica para avaliação de deflúvios em bacias hidrográficas desprovidas de dados fluviométricos, a partir da precipitação média e que foi utilizado durante décadas por engenheiros e técnicos da região Nordeste (MANOEL FILHO, 2000).

A partir de 1960, com a criação da SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, começou um ciclo de cooperação técnica internacional, para estudo dos recursos naturais da região e formação de recursos humanos. Aí teve início o desenvolvimento da hidrogeologia brasileira. Após este período os trabalhos de perfuração de poços passaram a ser conduzidos por pessoal especializado e deram lugar a muitos estudos de caráter exploratório e de semidetalhe. A execução de testes de produção de

poços passou a ser conduzida obedecendo a uma metodologia universal (MANOEL FILHO, 2000).

A partir dos anos 70 ações semelhantes foram desenvolvidas no sul e sudeste do país, nos estados de Minas Gerais pelo CETEC, em São Paulo pelo DAEE e IPT, e no Paraná pela SURHEMA. Nos anos 80, a atividade hidrogeológica no país foi progressivamente arruinada em praticamente todos os organismos ligados ao setor. Nos últimos anos, todavia, com os Planos Estaduais de Recursos Hídricos que estão sendo concebidos e implantados em diversos estados, renascem mais uma vez as esperanças de novos progressos na hidrogeologia, tanto em termos de métodos exploratórios como de métodos de exploração e de gerenciamento das águas subterrâneas (MANOEL FILHO, 2000).

2.1.3 Ocorrência das águas subterrâneas

A descrição da ocorrência de águas subterrâneas necessita de uma revisão sobre onde e quando existem estas águas; a distribuição abaixo da superfície, tanto em extensão vertical quanto em área, deve ser considerada. As zonas geológicas importantes às águas subterrâneas devem ser identificadas, bem como sua estrutura em termos de capacidade de retenção e de fornecimento de água. Admitindo que as condições hidrológicas forneçam água ao subsolo, as camadas subterrâneas governam sua distribuição e movimento (TODD, 1967).

Quase todas as águas subterrâneas têm origem no ciclo hidrológico. Quantidades relativamente menores de águas subterrâneas, entretanto, podem entrar nesse ciclo, por outras origens. A água conata é a água aprisionada nos interstícios de rochas sedimentares, por ocasião da sua formação. Novas águas de origem magmática, vulcânica ou cósmica, adicionadas ao suprimento de água terrestre, constituem a água juvenil (TODD, 1967).

A água no mundo está em constante movimento, e toda a água próxima à superfície participa do que é chamado ciclo hidrológico. A água no ciclo hidrológico não somente sofre mudanças na localização geográfica, mas também continuamente muda de estado. A água pode existir como sólido, líquido ou vapor. Durante as mudanças de estado físico, gigantescas quantidades de energia são absorvidas ou liberadas, e esta energia guia todo o sistema atmosférico (DRISCOLL, 1995).

Os cinco processos básicos presentes no ciclo hidrológico são: precipitação, evapotranspiração, infiltração, escoamento superficial e condensação.

A precipitação pode ocorrer de várias formas, incluindo chuva com neve, neve, orvalho, geada, neblina e chuva, sendo neve e chuva as formas dominantes de precipitação (DRISCOLL, 1995).

A evaporação ou vaporização ocorre quando as moléculas de água na superfície d'água ou no solo úmido adquirem energia suficiente da radiação solar para vaporizar, ou seja, vencer a tensão superficial do líquido e passar para o estado gasoso. A taxa de evaporação depende da umidade relativa do ar, da radiação solar e dos ventos. Os ventos são importantes, porque eles continuamente causam o fluxo de ar seco sobre a superfície d'água, mantendo o "poder evaporante" ou a capacidade de secamento da superfície. Dois outros processos contribuem para a evaporação total: transpiração e sublimação (DRISCOLL, 1995). Sublimação difere da evaporação somente pelo fato das moléculas de água serem convertidas diretamente do estado sólido (neve ou gelo) para o estado gasoso, sem passar pelo estado líquido. Transpiração é o termo usado para descrever a evaporação da água através das plantas, sendo que neste processo fenômenos biológicos limitam as leis físicas. Quando a evaporação e a transpiração ocorrem simultaneamente, como ocorre em uma cultura vegetal, utiliza-se o termo evapotranspiração (REICHARDT e TIMM, 2004).

A perda de água do solo por evaporação através de sua superfície ou por transpiração pelas plantas é um processo importante no ciclo hidrológico, em especial nas áreas cultivadas (REICHARDT e TIMM, 2004).

Infiltração é o processo pelo qual a água penetra pela superfície do solo. Segundo DAVIS e DeWIEST (1966), Horton introduziu o conceito de infiltração no ciclo hidrológico e definiu a capacidade de infiltração (f_p) como a taxa máxima que um solo pode absorver água a uma dada condição. Ele sugeriu que a capacidade de infiltração deveria diminuir exponencialmente com o tempo de um máximo valor inicial para uma taxa constante. A taxa real de infiltração (f_i) é sempre menor que f_p , exceto quando a intensidade da chuva (i) iguala ou excede f_p ; e também diminui exponencialmente com o tempo, à medida que o solo se torna saturado e suas partículas de argila incham. A importância do processo de infiltração está diretamente relacionada à

sustentabilidade dos recursos hídricos subterrâneos, já que a recarga dos aquíferos é um produto do processo de infiltração.

O escoamento superficial, também denominado deflúvio superficial, enxurrada ou “runoff” é igual à precipitação menos a retenção superficial e a infiltração. O escoamento superficial é função da intensidade e duração da precipitação, da precipitação antecedente, da permeabilidade e capacidade de infiltração do solo, do tipo de cobertura vegetal, da área e forma da bacia de drenagem, geometria do canal de drenagem, profundidade do lençol freático e da inclinação da superfície do terreno (VILLELA & MATTOS, 1975). Apesar dessa complexidade, é possível fazer previsões satisfatórias do deflúvio esperado para uma certa chuva. As relações entre chuva e deflúvio são estabelecidas através do estudo da hidrógrafa, que é um gráfico de variação da altura da superfície da água ou da vazão do rio, em uma dada seção transversal do mesmo.

A condensação compreende o processo de passagem do vapor d'água existente no ar para a fase líquida, com liberação do calor latente de vaporização (513,2 cal/g a 25°C).

A Figura 01 mostra a participação de cada processo na composição do ciclo hidrológico em um ano.

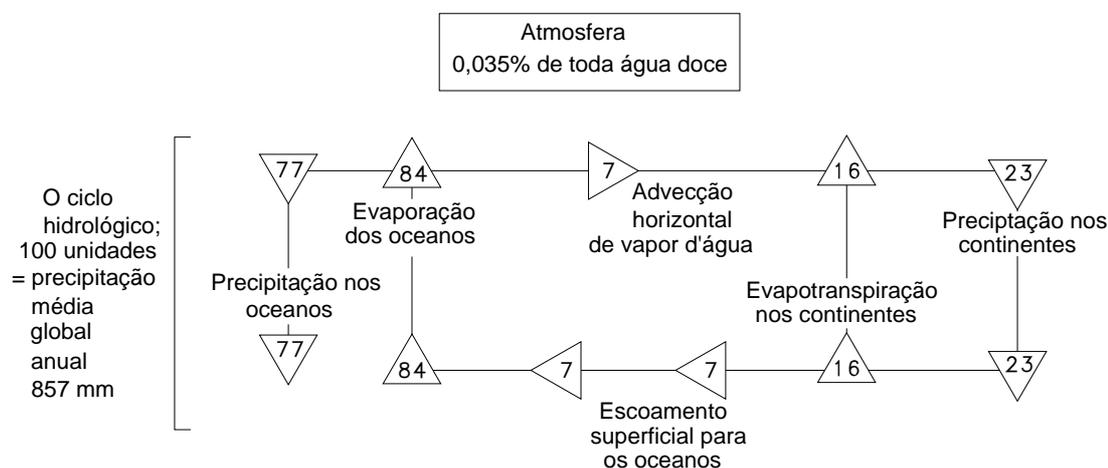


Figura 01.- O ciclo hidrológico. As trocas no ciclo são referidas a 100 unidades, que é igual à precipitação média global anual (857 mm). (Adaptada de MORE, 1967 in DRISCOLL, 1995).

Nos estudos hidrológicos e hidrogeológicos a unidade de referência utilizada é a bacia hidrográfica, compreendida como a área do terreno drenada

por um curso d'água, seus afluentes e subafluentes, de tal modo que toda a vazão de descarga concentre-se em uma única saída.

2.2 Precipitação

O regime hidrológico de uma região é determinado por suas características físicas, geológicas e topográficas, e por seu clima. A precipitação, por ser o principal *input*, é o mais importante fator climático do balanço hidrológico de uma região, bem como sua distribuição e modos de ocorrência (VILLELA & MATTOS, 1975).

O regime de chuvas é a chave na determinação da sustentabilidade dos recursos hídricos subterrâneos, ou seja, se eles podem oferecer abastecimento de água confiável a longo prazo. Embora aquíferos potenciais possam ser encontrados em muitas partes do mundo, a recarga pode não ser suficiente para atender o ritmo da demanda (DRISCOLL, 1995).

Com poucas exceções, a utilização a longo prazo de abastecimento de águas subterrâneas deve ser governada pelas taxas de recarga local e regional. Em áreas de precipitação e recarga limitadas, cuidado deveria ser tomado na determinação de taxas de rebaixamento adequadas, para que o rebaixamento não exceda a recarga dos aquíferos (DRISCOLL, 1995).

Quando a chuva cai na Terra, alguma parte é interceptada pelas árvores, plantas e construções. Durante chuvas muito breves ou de intensidade muito baixa, a água não chega nem mesmo a alcançar o solo. Esta porção da precipitação total é conhecida como perda por interceptação. Quando ocorrem precipitações mais pesadas, a água alcança o terreno e pode seguir vários caminhos. Parte desta chuva é evaporada do solo e retorna para a atmosfera, outra parte entra no terreno. Se a precipitação exceder a taxa de infiltração e de evaporação, a água começará a acumular na superfície, preenchendo as depressões do terreno. Se a chuva continuar, o escoamento superficial irá ocorrer.

A água entrando no terreno pode permanecer na zona de água do solo, pode fluir lateralmente acima do lençol freático até alcançar um rio ou outro corpo d'água, ou ela pode continuar a percolar até alcançar o lençol freático. A água que fica armazenada na zona de água do solo pode ser usada pelas plantas ou ser evaporada diretamente. O máximo volume de água que o solo,

na zona das raízes, pode reter por forças capilares e moleculares é chamado de capacidade de campo.

Normalmente, muitos rios e lagos perenes são suportados pelo nível das águas subterrâneas. Muitos sedimentos próximos à borda de lagos e às margens de rios são altamente permeáveis, e a água pode fluir facilmente para o sistema aquífero, uma vez que o rio ou lago tenha se elevado temporariamente acima do lençol freático. Esta recarga ocorre durante e algum tempo após a chuva.

Durante vários anos, o nível das águas subterrâneas pode sustentar o nível dos rios, porém, nos períodos de muita chuva, os rios podem fornecer grandes volumes de água para recarregar os aquíferos. Durante períodos de seca, estas águas irão sustentar os rios (DRISCOLL, 1995).

Por analogia com o que ocorre com os rios, poderia se pensar que os lagos são totalmente influentes no recarregamento das águas subterrâneas, visto que os lagos existem por todo o ano a níveis relativamente constantes. Mas, segundo DRISCOLL (1995), estudos têm mostrado que os sedimentos do fundo da maioria dos lagos são praticamente impermeáveis. Então, lagos se interligam com as águas subterrâneas somente em áreas próximas a borda, ou em áreas onde os sedimentos são removidos por ação das ondas ou em nascentes que podem ao acaso ocorrer no fundo dos lagos. Exceto para o caso de nascentes, a profundidade das zonas de recarga-descarga são geralmente poucos metros. Exceções a esta situação existem em lagos recentemente formados, regiões de formação calcária e lagos relativamente grandes e rasos produzidos por atividade glacial (DRISCOLL, 1995).

2.3 Distribuição vertical das águas subterrâneas

A parte de subsuperfície do ciclo hidrológico é o principal interesse dos hidrogeólogos. Na subsuperfície, todas as graduações existem entre água fluindo livremente e água firmemente fixada na estrutura cristalina dos minerais. A água abaixo da superfície do terreno ocorre geralmente em dois tipos de ambiente - uma zona de água vadosa e uma zona de água freática ou subterrânea. Na zona vadosa, existem três tipos separados de água: água do solo, água na zona intermediária vadosa e água capilar. A Figura 02 mostra estas distribuições.

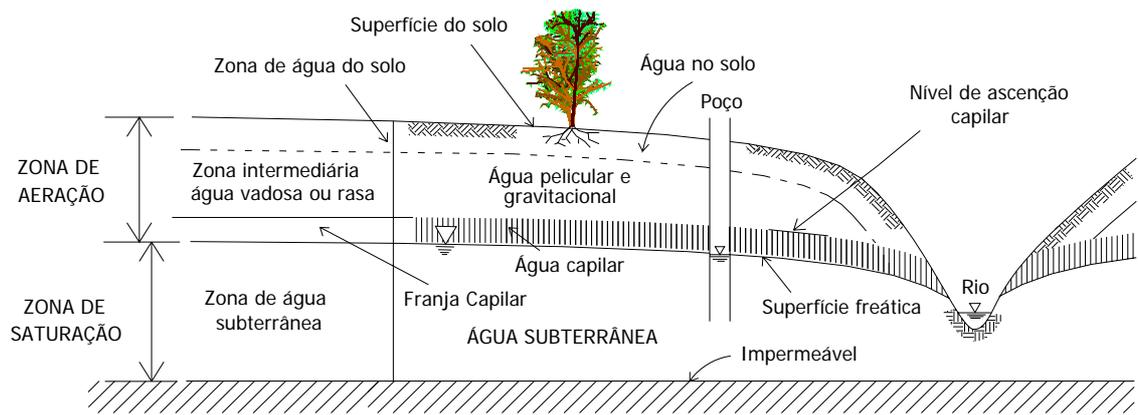


Figura 02 - Representação esquemática da distribuição vertical das águas subterrâneas (adaptado de MANOEL FILHO, 2000).

- A zona saturada ou zona de saturação, limitada superiormente pela superfície freática em que todos os vazios estão preenchidos com água. A superfície freática é definida como o lugar geométrico dos pontos em que a água se encontra submetida à pressão atmosférica ou onde a pressão de referência é igual a zero.
- A zona não saturada, zona de aeração ou zona vadosa (“vadoso” deriva do latim “vadosus” que significa raso) situa-se entre a superfície freática e a superfície do terreno. Tem alguma pequena porção (parte mais baixa da zona capilar) saturada permanentemente, e outras em que ocasionalmente também pode ocorrer saturação, mas transcorrido algum tempo estas últimas deixam de estar saturadas ao perder água (CUSTODIO e LLAMAS, 1983). De baixo para cima, essa zona divide-se em três partes:
 - Zona capilar, que se estende da superfície freática ate o limite de ascensão capilar da água. A sua espessura depende principalmente da distribuição de tamanho dos poros e da homogeneidade do solo. Como a umidade decresce de baixo para cima, na parte inferior, próximo da superfície freática, os poros encontram-se praticamente saturados. Já nas partes mais superiores, somente os poros menores estão preenchidos com água, de modo que o limite superior dessa zona tem uma forma irregular, também é influenciada pelas mudanças no nível d'água e pela recarga. Adota-se, porém, o conceito de franja

capilar como um limite abaixo do qual o solo é considerado praticamente saturado (cerca de 75%) (MANOEL FILHO, 2000).

- Zona intermediária, compreendida entre o limite de ascensão capilar da água e o limite das raízes das plantas. A umidade existente nessa zona origina-se de água capilar isolada, fora do alcance das raízes, e de água de retenção por forças capilares.
- Zona de água do solo ou zona de evapotranspiração, situada entre os extremos radiculares da vegetação e a superfície do terreno. A sua espessura, portanto, pode variar de poucos centímetros (na ausência de cobertura vegetal) até vários metros em regiões de vegetação abundante. A água contida nesta zona é utilizada pelas plantas, e pode ser perdida por transpiração, evaporação e percolação, quando ocorrer uma saturação excessiva.

2.4 Definições

Aqüífero: são formações subterrâneas contendo água com permeabilidade suficiente para transmitir e produzir água em quantidades aproveitáveis. Como exemplos de materiais aqüíferos têm-se os aluviões dos rios, formados por camadas de areias e cascalhos, arenitos pouco cimentados, alguns tipos de rochas vulcânicas, formações calcárias muito carstificadas, gnaisses fraturados, etc.

Aqüitardo: são formações geológicas que produzem água, mas em quantidades insuficientes até mesmo para atendimento de demandas modestas, mas, que em áreas pobres em água pode ser chamado de aqüífero, mesmo produzindo pequenas quantidades de água. Os aqüitardos, pelo fato de conter apreciáveis quantidades de água e as transmitir muito lentamente, não são adequados para exploração, porém, podem ser de grande valia na recarga de outras formações aqüíferas.

Aqüiclude: uma formação que contém água em seu interior, podendo até estar saturada, mas não a transmite, tornando impraticável sua exploração. Exemplos de aqüicludes são as argilas, os xistos e os filitos.

Aqüifugo: é um extrato ou formação geológica, que nem contém nem transmite água. Incluem-se neste grupo, todas as rochas duras, cristalinas, metamórficas e vulcânicas, sem fraturamento ou alteração. Esses materiais podem aparecer, na natureza, isolados ou formando pacotes de dois ou mais estratos, ocorrendo a profundidades de poucos metros a centenas de metros. (AZEVEDO e ALBUQUERQUE FILHO, 1998).

2.5 Tipos de aquíferos

A água pode existir em aquíferos sob duas condições físicas completamente diferentes. A condição mais comum é quando a superfície das águas subterrâneas está exposta à atmosfera. Este tipo de aquífero é chamado de não-confinado, livre ou freático. Água subterrânea também pode ocorrer sob condições de confinamento, em que esta, está isolada da atmosfera no ponto de descarga por formações geológicas impermeáveis, e geralmente sujeitas a pressões maiores que a pressão atmosférica. Condições de não-confinamento existem, entretanto, em áreas de recarga de aquíferos confinados.

A água em aquíferos livres está sob a pressão exercida pela camada sobrejacente de água e sob a pressão atmosférica. Devido à pressão atmosférica ser mais ou menos constante em um local, ela usualmente não é levada em conta no cálculo da energia disponível para causar o movimento das águas subterrâneas (DRISCOLL, 1995).

Em alguns ambientes geológicos, uma zona local de saturação pode existir em algum nível acima do nível d'água regional. Esta situação pode ocorrer quando um pequeno estrato impermeável dentro da zona vadosa intercepta a água que percola verticalmente e causa o seu acúmulo sobre este estrato. A superfície superior destas águas subterrâneas neste caso é chamada superfície freática suspensa.

Quando um poço é perfurado através de uma camada de cobertura impermeável em um aquífero confinado, a água se eleva no poço a um nível acima do topo do aquífero. O nível d'água no poço representa a pressão de confinamento no topo do aquífero. Pressão de confinamento é definida como a distância vertical entre o nível d'água no poço e o topo do aquífero. Esta é equivalente à pressão hidrostática, expressada em metros de coluna de água, e recebe o nome de nível potenciométrico. Sob condições de confinamento, a

superfície potenciométrica é uma superfície imaginária representando a pressão de confinamento (pressão hidrostática) em todas as partes do aquífero.

Uma subdivisão que existe dentro de cada de tipo de aquífero diz respeito à permeabilidade das camadas limítrofes dos aquíferos. Compreende dois subtipos: drenantes e não drenantes. Um aquífero confinado não drenante é aquele em que suas camadas limítrofes, superior e inferior, são impermeáveis. No caso do aquífero confinado drenante pelo menos uma destas camadas limítrofes é semipermeável, permitindo a entrada ou saída de fluxos pelo topo e/ou pela base. A exemplo dos aquíferos confinados, os aquíferos livres também se classificam em drenantes (ou base semipermeável) e não drenantes (ou base impermeável) (MANOEL FILHO,2000).

2.6 Geologia da água subterrânea

Em um sistema geológico, a natureza e a distribuição dos aquíferos e aquíferos são controladas pela litologia, estratigrafia e estrutura das formações geológicas (MANOEL FILHO, 2000).

A litologia depende da composição mineral, da distribuição do tamanho dos grãos e do grau de compactação dos sedimentos ou rochas constituintes do arcabouço geológico.

A estratigrafia descreve as relações geométricas e cronológicas entre os vários elementos constituintes do sistema geológico. As discordâncias, por exemplo, são características estratigráficas especialmente importantes em hidrogeologia (FREEZE & CHERRY, 1979). Trata-se de descontinuidades ou superfícies que refletem a ocorrência de um intervalo de tempo durante o qual o processo de deposição foi interrompido, ou ainda durante o qual a superfície das rochas existentes foi intemperizada, erodida ou afetada por movimentos tectônicos. Essas discordâncias muitas vezes apresentam-se como superfícies que separam meios de permeabilidades diferentes e por isso frequentemente estão associadas com a ocorrência de aquíferos (MANOEL FILHO, 2000).

Estruturas são superfícies produzidas no sistema geológico por deformações após deposição ou cristalização, como é o caso das juntas, fraturas, falhas e dobras (FREEZE & CHERRY, 1979).

As zonas geológicas importantes às águas subterrâneas devem ser identificadas, bem como sua estrutura em termos de capacidade de retenção e produção de água. Admitindo-se que as condições hidrológicas forneçam água ao subsolo, as camadas subterrâneas é que governarão sua distribuição e movimento. Daí o importante papel da geologia na hidrologia das águas subterrâneas (TODD, 1959).

Em termos de abastecimento de águas subterrâneas, os depósitos sedimentares granulares são da maior importância. As porosidades nesses depósitos dependem da forma, do arranjo das partículas, da distribuição granulométrica e do grau de cimentação e compactação. Nas formações consolidadas, a remoção do material mineral por dissolução e o grau de fraturamento, são também importantes.

Os sedimentos pouco consolidados apresentam muitas vantagens do ponto de vista do aproveitamento de águas subterrâneas. Por isto, a pesquisa para águas subterrâneas comumente começa com investigações neste tipo de material. Há fortes razões para esta preferência (DAVIS e DEWIEST, 1966):

- Os depósitos são fáceis de perfurar ou escavar, de forma que a exploração é rápida e barata;
- Os depósitos são mais prováveis de serem encontrados em vales, onde os níveis de água subterrânea são próximos a superfície e onde, como conseqüência, as alturas de bombeamento são menores;
- Os depósitos estão geralmente em uma localização favorável com respeito à recarga de lagos e rios;
- Sedimentos não consolidados têm, normalmente, produção específica maior que outros materiais; e
- Suas permeabilidades são muito maiores que em outros materiais naturais, com a exceção de algumas rochas vulcânicas recentes e calcários cavernosos.

Dentre os sedimentos pouco consolidados, os de maior importância são as aluviões, as dunas, alguns depósitos coluvionares e argilas e areias lacustrinos. Solos residuais, embora não sejam depósitos sedimentares no sentido usual do termo, tem muitas características hidrogeológicas em comum com aluviões e colúvios.

A distribuição de argila, silte, areia e cascalho nos depósitos aluvionares é muito complexa, devido à mobilidade dos leitos dos rios e às variações freqüentes de velocidade de sedimentação das partículas sólidas. Devido à grande variação das características texturais, as aluviões apresentam muita heterogeneidade na distribuição das propriedades hidráulicas.

Segundo DAVIS e DEWIEST (1966), sedimentos inconsolidados apresentam valores de porosidades variando de 20% em materiais grossos bem classificados a cerca de 90% em lamas fofas e material orgânico seco. Porosidades entre 25 e 65 por cento, entretanto são mais comuns. Valores de produção específica variam de quase zero a cerca de 50%. Valores típicos de siltes finos e argilas são menores que 10%. Cascalho e areias grossas têm valores tipicamente maiores que 20%. Valores de permeabilidade de sedimentos não consolidados apresentam grandes variações, ao ponto dos maiores valores medidos serem 10^9 vezes maior que as menores permeabilidades. Apesar desta grande variação de valores, algumas aproximações sobre a permeabilidade podem ser feitas se a origem geológica dos sedimentos é conhecida.

Porosidade, produção específica, e permeabilidade são todos dependentes da forma, arranjo, distribuição dos tamanhos e cimentação das partículas constituintes dos sedimentos inconsolidados.

As rochas ígneas e metamórficas estão na ou próximas à superfície em mais de 20% da superfície dos continentes. As rochas metamórficas e as ígneas plutônicas são têm porosidades menores que 3% e mais comumente menores que 1% (DAVIS e DEWIEST, 1966). Com isso, permeabilidades são tão pequenas que podem ser avaliadas como sendo zero em muitos problemas práticos. Porém, apreciáveis permeabilidades e porosidades podem ser desenvolvidas através do fraturamento e intemperismo da rocha. Permeabilidades maiores e conseqüentemente maiores produções podem ser obtidos de rochas carbonáticas, nas quais, pelo efeito da circulação da água, há um aumento da abertura das fraturas pela dissolução da calcita e dolomita.

No domínio dos sedimentos consolidados, os argilitos, folhelhos e siltitos e outras rochas detríticas de granulação fina representam aproximadamente 50% de todas as rochas sedimentares. Apesar das rochas detríticas de granulação fina terem porosidades relativamente altas, suas permeabilidades apresentam valores bem baixos. A porosidade de sedimentos de granulação

finas diminuem com a profundidade e com o tempo, embora a relação não seja nem simples nem universal (DAVIS e DEWIEST, 1966). As rochas mais importantes como aquíferos são aquelas que apresentam de regular a boa permeabilidade. As rochas pouco permeáveis, como arenitos muito argilosos e siltitos, comportam-se como aquíferos, devido à sua baixa capacidade de transmissão de água. Finalmente, os filitos, xistos, argilitos e folhelhos, por serem praticamente impermeáveis, classificam-se como aquíclulas.

2.7 Movimento das águas subterrâneas

As águas subterrâneas em seu estado natural encontram-se invariavelmente em movimento. Este movimento é governado por princípios hidráulicos estabelecidos. O fluxo através de aquíferos, a maioria dos quais é um meio poroso natural, pode ser expresso pelo que é conhecido como Lei de Darcy (TODD, 1967). As águas subterrâneas movem-se de níveis de maior energia para níveis de menor energia, que no caso dos aquíferos, é resultado da elevação e da pressão. A energia cinética, proporcional ao quadrado da velocidade, é desprezada devido às baixas velocidades que ocorrem, especialmente, em fluxos laminares.

Em nível microscópico o movimento da água subterrânea em um meio poroso pode ser muito complexo, devido à grande irregularidade dos poros através dos quais o fluxo ocorrerá.

Conforme já foi citado, a porosidade de materiais consolidados depende do grau de cimentação, do estado de solução e fraturamento da rocha; a porosidade de materiais inconsolidados depende do arranjo dos grãos, sua forma e distribuição granulométrica. Materiais bem graduados apresentam baixa porosidade em função dos grãos mais finos preencherem as aberturas entre os grãos maiores. A relação entre porosidade e condutividade hidráulica, porém, não é simples, já que outros fatores afetam a condutividade hidráulica. O tamanho dos poros é mais importante que a porosidade na determinação da capacidade de um meio transmitir água.

A condutividade hidráulica (k) não depende somente das propriedades do meio, mas também das propriedades do fluido. Segundo DAVIS e DEWIEST (1966) uma variedade de nomes tem sido dado para k , tal como, permeabilidade efetiva, coeficiente de permeabilidade e coeficiente de

infiltração. O termo condutividade hidráulica é mais usado em analogia com a condutividade elétrica e térmica.

Na equação da condutividade hidráulica, é assumido que ambos, o material poroso e a água, são quimicamente estáveis, porém, segundo DAVIS (1966) isto pode nunca ser verdade.

Nos solos ocorrem poros de diversas categorias. Desde poros interconectados em série, onde a água pode circular normalmente a poros totalmente fechados, onde o fluido pode estar confinado. Uma categoria intermediária é o caso dos poros semifechados, onde a água tem grande dificuldade para circular. Nos estudos de movimento das águas subterrâneas, somente os poros interconectados e os semifechados têm maior importância (CUSTODIO e LLAMAS, 1983).

Ao extrair-se água de um aquífero, parte do líquido é retido pelas forças moleculares e pela tensão superficial e apenas parte do total armazenado é liberado. Desta forma, é necessário definir-se o conceito de porosidade efetiva. Este parâmetro pode ser definido como a quantidade de água fornecida por unidade de volume do material, ou seja, a razão entre o volume de água efetivamente liberado de uma amostra de rocha porosa saturada e o volume total. A porosidade efetiva, da mesma forma que a porosidade total, é uma grandeza adimensional e pode ser expressa em porcentagem. A quantidade de água retida por unidade de volume do material é denominada de retenção específica (R_e).

Um aquífero, para ser considerado como bom, deve apresentar valores elevados de porosidade efetiva. Assim, os materiais argilosos, mesmo apresentando uma elevada porosidade total (média variando entre 35% e 45%), não constituem bons aquíferos devido à baixa porosidade efetiva (valores médios em torno de 3%). Nos materiais arenosos a porosidade efetiva e total tem valores bem próximos, uma mistura de areia e pedregulho, por exemplo, apresenta uma porosidade total em torno de 35% e porosidade efetiva próxima de 29%, e por isto são considerados bons materiais aquíferos.

Podem ocorrer muitas vezes em determinado solo a existência de poros sem saída (*dead end pores*) que, apesar de serem volumes vazios, não permitem a água fluir livremente. Define-se então a porosidade efetiva para fluxo como sendo a razão entre o volume de vazios interconectados ou efetivos e o volume total do solo (BEAR & VERRUIJT apud: CABRAL, 2000).

Em estudos de água subterrânea deve se instalar uma rede de observação com poços de observação e/ou piezômetros, a depender do tipo de aquífero, em vários pontos da área de pesquisa, para permitir um monitoramento das superfícies freáticas e conseqüentemente uma melhor compreensão do seu comportamento.

Se as superfícies equipotenciais são verticais, o potencial ou carga hidráulica é o mesmo em qualquer ponto de uma mesma vertical, não dependendo, portanto, da profundidade considerada (CABRAL,2000).

Nas proximidades de zonas de recarga, em aquíferos muito inclinados, nas proximidades de captações, no caso de rios efluentes, etc., as superfícies equipotenciais são acentuadamente inclinadas (componentes verticais de fluxos), sendo então possível, obter, no campo de uma mesma vertical, uma infinidade de valores de carga hidráulica, segundo a profundidade considerada.

2.7.1 Maiores subdivisões do fluxo de água subterrânea

De acordo com DAVIS e DEWIEST (1966), o fluxo de águas subterrâneas pode ser dividido em vários componentes, de acordo com a dimensão característica do fluxo, a dependência do tempo do fluxo, os limites da região de fluxo e das propriedades do meio e do fluido. Estes componentes são definidos como:

Dimensão característica: todo o fluxo de águas subterrâneas na natureza é, de certo modo, tridimensional. Porém em muitos problemas práticos, devido a características de simetria, é possível reduzir o número de dimensões envolvidas para uma ou duas dimensões.

Dependência do tempo: o fluxo de águas subterrâneas pode ser avaliado quantitativamente pelo conhecimento da velocidade, pressão, densidade, temperatura e viscosidade da água que percola pela formação geológica. Estas características da água são comumente as variáveis desconhecidas do problema e podem variar no local e no tempo. Se as variáveis dependentes ou desconhecidas são funções das variáveis espaciais ou das variáveis independentes x , y , z somente, o fluxo é permanente. Por outro lado, se as variáveis desconhecidas são também funções do tempo, o fluxo é transitório, não permanente ou dependente do tempo.

Limites da região de fluxo ou domínios: o fluxo de águas subterrâneas é confinado quando os limites do meio através do qual a água percola são fixos

no espaço para diferentes estados de fluxo. Por outro lado, o fluxo de águas subterrâneas é livre quando possui uma superfície livre, cuja posição varia com o estado do fluxo.

Propriedades do meio e do fluido: um meio é chamado isotrópico se suas propriedades a um dado ponto são as mesmas em todas as direções independentemente do ponto. Ele é chamado anisotrópico se, por outro lado, suas propriedades são afetadas pela direção em um dado ponto. O meio é heterogêneo se suas propriedades ou condições de isotropia ou anisotropia variam de ponto para ponto no meio; ele é homogêneo se suas propriedades e condições de anisotropia e isotropia são constantes sobre o meio. Um fluido é essencialmente homogêneo quando ele apresenta uma única fase e heterogêneo quando apresenta mais de uma fase.

A combinação das propriedades do meio e do fluido influenciam a condutividade hidráulica, originando um fluxo heterogêneo se o meio ou o fluido são heterogêneos.

2.7.2 Energia contida em um aquífero

Para o entendimento do movimento das águas subterrâneas é de vital importância o entendimento das formas de energia contidas nos aquíferos. A energia total em uma massa de água consiste de três componentes: pressão, velocidade e elevação. A soma destas energias por unidade de peso, H , é expressa pela equação de Bernoulli:

$$H = \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z \quad \text{Equação 04}$$

onde,

p = pressão;

γ = é o peso específico da água;

V = é a velocidade do fluxo;

g = aceleração da gravidade; e

z = é a elevação acima de certo plano de referência.

A carga de pressão (p/γ) pode ser atribuída a forças de confinamento da água. A carga de velocidade ($V^2/2g$) é a carga resultante do movimento da água. A carga de elevação (z) se deve a energia potencial gravitacional que é

uma forma latente de energia; isto é, se for permitido que a água caia de certa altura, ela pode ser convertida em velocidade ou carga de pressão.

À medida que a água move-se de um local para outro, ela irá perder parte de sua energia. Esta perda de energia pode ser expressa pela equação:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_L \quad \text{Equação 05}$$

Onde h_L está relacionado com a perda de energia causada pelo movimento da água de um ponto para outro ponto. O ambiente físico da água determinará que formas de energia ela possui. Em situações de águas subterrâneas, as velocidades de fluxo são tão baixas que a parcela de energia devido à velocidade pode ser negligenciada (DRISCOLL, 1995).

2.7.3 Redes de fluxo

O fluxo em aquíferos livres é controlado pelo limites geológicos impermeáveis e pelo nível d'água, que atua como um contorno. Pelo fato da água não poder atravessar nenhum destes contornos, a água deve fluir mais ou menos paralela a eles no que são chamadas linhas de fluxo. O fluxo ocorre devido à diferença de energia, que leva a água de áreas de maior energia para áreas de menor energia. Linhas de fluxo são perpendiculares às linhas de mesma elevação do nível d'água ou linhas equipotenciais. As linhas de fluxo podem ser facilmente traçadas onde as elevações do nível d'água são conhecidas, isto porque as águas subterrâneas fluem perpendicularmente a linhas equipotenciais, na direção decrescente do gradiente. Esta perpendicularidade só é verdadeira para aquíferos isotrópicos onde taxas de fluxo podem ser a mesma em todas as direções. O conjunto de interseções das linhas de fluxo e linhas equipotenciais é chamado de rede de fluxo (DRISCOLL,1995).

Através da instalação de piezômetros em vários pontos do aquífero, é possível traçar as curvas do nível d'água, que servirão para a definição da superfície piezométrica. Com base nestas linhas equipotenciais, pode-se traçar a rede de fluxo, que devem satisfazer as condições de contorno do problema.

2.8 Recarga das águas subterrâneas

A recarga de águas subterrâneas ou recarga direta é a quantidade de água que entra na zona saturada. Se o fluxo horizontal é negligenciável e não há ganhos ou perdas verticais na superfície freática do aquífero, a recarga direta menos o fluxo de base fornece a recarga líquida. A principal fonte de recarga é a chuva, que pode penetrar o solo diretamente e percolar para a zona de águas subterrânea (FAZAL et al., 2005). A recarga de aquíferos também pode ocorrer pela infiltração de rios, canais e lagos e por fenômenos induzidos por atividades humanas, como irrigação e a urbanização.

Segundo SCANLON et al. (2002), existem várias técnicas para estimativa de recarga de aquíferos, contudo a determinação de qual ou quais das técnicas é mais confiável para estimativa de recarga é frequentemente difícil. Um perfeito entendimento das características das diferentes técnicas é crítico na escolha da técnica. A escala espaço/tempo na avaliação de recarga é importante porque diferentes objetivos de estudos exigem estimativas de recarga sobre diferentes escalas de tempo/ ou espaço. Enquanto alguns estudos focam na estimativa de recarga para avaliação de recursos hídricos (LUCKEY et al., KEARNS & HENDRICKX apud: SCANLON, 2002), outros se concentram na estimativa para transporte de contaminantes ou vulnerabilidade da contaminação de aquíferos (FLURY et al., SCANLON & GOLDSMITH apud:SCANLON, 2002).

A coleta de Informações da área de estudo, tais como, topografia, tipo de solo, clima e geologia é de extrema importância na escolha da técnica de estimativa de recarga, pois são estes fatores que guiarão o processo de recarga, determinando a localização e o período de tempo em que ocorrerá a recarga. Regiões áridas e regiões úmidas representam os extremos em termos climáticos e geralmente requerem diferentes aproximações para quantificação da recarga. Regiões úmidas são usualmente caracterizadas por lençóis freáticos rasos e rios efluentes. Os aquíferos geralmente se encontram completamente recarregados, e as águas subterrâneas são usualmente descarregadas através da evapotranspiração e do fluxo de base para cursos d'água. Nas regiões úmidas a recarga é difusa e as taxas de recarga são limitadas à habilidade do aquífero em armazenar e transmitir água, processos que são fortemente afetados pela geologia de subsuperfície. Já nas regiões

áridas, o lençol freático é profundo e rios influentes são comuns em vales aluviais. A recarga concentrada comumente domina e são limitadas em grande parte pela disponibilidade de água na superfície, a qual é controlada por fatores climáticos, tais como precipitação e evapotranspiração, e pela geomorfologia.

Então, o primeiro estágio do estudo de recarga em áreas que não tenham previamente sido estudadas deve envolver a coleta de dados existentes que possam controlar a recarga, no entanto, os fatores climáticos são os que têm maior influência sobre o processo de recarga. Estes dados são usados para desenvolver um modelo conceitual de recarga do sistema. O modelo conceitual descreve locação, instante e mecanismos prováveis de recarga e oferece uma estimativa inicial da taxa de recarga.

Segundo HEALY et al. (2002), taxas preliminares de recarga podem ser avaliadas usando dados meteorológicos disponíveis e dados de parâmetros hidrológicos do solo aplicados a um modelo da zona não-saturada. Dados hidrológicos também podem ser avaliados, incluindo vazão de rios e profundidade do nível d'água. Variações na geomorfologia refletem diferenças na topografia, vegetação e tipo de solo, que podem afetar a recarga. Esta, em regiões úmidas, é normalmente considerada como ocorrendo em topografias mais altas e a descarga em topografias mais baixas, enquanto que a recarga em regiões de vales aluviais áridos é geralmente concentrada nas partes topográficas mais baixas, tais como canais de rios temporários.

A cobertura vegetal é um fator importante na avaliação da recarga potencial em um dado local. A recarga é normalmente muito maior em áreas sem vegetação que em áreas vegetadas (GEE et al., 1994) e maior em áreas de cultura anual e pastagens que em áreas de árvores e arbustos (PRYCH, 1998). Informações sobre usos do solo/cobertura vegetal são importantes na avaliação da recarga. Áreas irrigadas deveriam também ser identificadas, porque a água advinda da irrigação frequentemente propicia significantes quantidades de recarga. A textura do solo e a permeabilidade são importantes na avaliação da recarga, devido ao fato de que solos de granulação grosseira geralmente resultam em taxas de recarga maiores que solos de granulação fina. COOK et al. (1992) registrou uma correlação negativa entre o conteúdo de argila na camada superior do solo e a taxa de recarga. As informações a respeito da topografia, usos do solo/cobertura vegetal e tipos de solo são combinadas para definir o sistema geomorfológico que controla a recarga.

A quantificação da recarga é fortemente influenciada pelas condições climáticas; regiões de clima úmido são normalmente caracterizadas por uma superfície freática rasa, rios efluentes e recarga difusa. As taxas de recarga nestas regiões são freqüentemente limitadas pela capacidade do aquífero transmitir e armazenar água, processos que são fortemente influenciados pela geologia sub-superficial. Por outro lado, regiões de clima seco apresentam, normalmente, uma superfície freática profunda, rios influentes e recarga concentrada. As taxas de recarga são limitadas em grande parte pela água disponível na superfície do terreno, que é controlada por fatores climáticos, como a precipitação e evapotranspiração e pelas características geomorfológicas superficiais (topografia, solo e cobertura vegetal) (SCANLON et al., 2002).

Existe uma diversidade de métodos para estimativa da recarga. Estes métodos produzem estimativas ao longo de várias escalas de tempo e espaço e podem ser usados em uma gama de complexidades e adversidades (HEALY & COOK, 2002).

Os métodos mais utilizados e promissores para estimativa da recarga, atualmente, são o Método do Balanço de Massa de Cloreto (CMB – *Chloride Mass Balance*), o Método da Precipitação Cumulativa (CRD – *Cumulative Rainfall Departure*), o Método de Flutuação da Superfície Piezométrica (WTF – *Water Table Fluctuation*), a Modelação Subterrânea (GM – *Groundwater Modelling*), o Método EARTH (*Extended model for Aquifer Recharge and Moisture Transport through unsaturated Hardrock*) e o Método de Flutuação do Volume Saturado (SVF – *Saturated Volume Fluctuation*). Particularmente, os métodos baseados em relações entre precipitação e variações da superfície piezométrica têm um maior potencial de prever a recarga subterrânea (XU & BEEKMAN, 2003).

Uma preocupação à aplicação dos métodos para estimativa da recarga é a dificuldade em avaliar a incerteza associada com qualquer estimativa (HEALY & COOK, 2002). Diversos autores (LERNER, SIMMERS, SCANLON, HEALY) propuseram a aplicação simultânea de diversos métodos de estimativa de recarga, objetivando minimizar as incertezas e obter a consistência nos resultados, que, no entanto, não deve ser entendida como um indicativo de precisão.

No Brasil, HIRATA e WAHNFRIED (2004) utilizaram uma combinação de 3 técnicas de estimativa de recarga para estimar a recarga de águas subterrâneas em uma planície aluvionar da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, no campus da USP em São Paulo. Estes autores utilizaram o método da variação do nível d'água (VNA ou WTF), o método do balanço hídrico e a estimativa darcyniana, encontrando os menores valores para a recarga estimada pelo método do balanço hídrico (48 mm) e os maiores para a recarga estimado pelo método de variação do nível d'água (VNA ou WTF) (187mm), ficando a recarga estimada pela Lei de Darcy com um valor intermediário a estes dois apresentados (66mm). O total precipitado no ano 2003, ano de realização deste estudo, foi de 908mm, o que dá uma variação da recarga de 5,3% a 20,6% do total precipitado em 2003.

MAZIERO & WENDLAND, no ano de 2004, utilizaram o método de variação do nível d'água na determinação da recarga de água subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos-SP e encontraram valores com grande variabilidade espacial, entre 130mm (8,19% da precipitação anual de 1596,5mm) e 540mm (34,00% da precipitação anual de 1596,5mm).

Outro estudo realizado no Brasil utilizando o método de variação do nível d'água foi realizado por CUTRIM & REBOUÇAS (2004). Estes autores utilizaram dados de vários poços de monitoramento do nível d'água instalados no aquífero Furnas, localizado no município de Rondonópolis – MT, e encontraram valores de recarga que variam de 150mm a 240mm, correspondendo, respectivamente a 8% e 14% da precipitação média anual da área, que é de 1700mm.

2.8.1 Tipos de recarga

Os principais mecanismos de recarga foram conceitualmente definidos por LERNER et al. (1990) e estão ilustrados na Figura 03, como:

Recarga direta: água é adicionada ao aquífero pela percolação vertical direta que atravessa toda a zona não-saturada.

Recarga indireta: acontece através da percolação para a zona saturada da água a partir do leito dos cursos de água superficiais.

Recarga localizada: uma forma intermediária de recarga dos aquíferos é resultante de concentrações horizontais de água próximas à superfície na ausência de canais bem definidos.

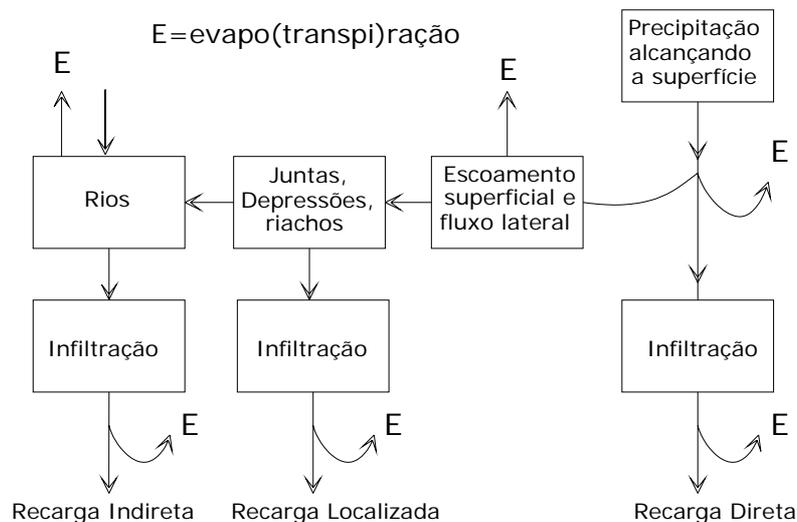


Figura 03 - Os vários mecanismos de recarga (Adaptado de LERNER,1997).

Os estudos de estimativa de recarga baseados em dados da zona superficial e da não-saturada proporcionam estimativas da recarga potencial, enquanto que os estudos que se fundamentam em dados da zona saturada proporcionam, geralmente, estimativas da recarga real (SCANLON et al., 2002).

Alguns eventos de chuva de pouca intensidade e duração, não provocam contribuições diretas à recarga de águas subterrâneas. A água efetivamente infiltrada não é, necessariamente, o resultado de um único evento de chuva, mas pode representar uma série de precedentes eventos de chuva. Dependendo das características do aquífero, parte da água infiltrada pode provocar uma elevação no nível freático, e conseqüentemente um aumento no gradiente de descarga.

O início do processo de recarga ocorre após um determinado intervalo de tempo da precipitação precedente, devido à distribuição daquela água precipitada para os outros componentes do balanço hídrico subterrâneo (evapotranspiração, fluxo de base, armazenamento sub-superficial, etc).

Assim, se os métodos que relacionam eventos de chuva diretamente com níveis de água subterrânea forem aplicados para flutuações do nível d'água durante esse intervalo de defasagem, toda a água que contribui para a recarga

deve ser considerada. Para curtos períodos de tempo (horas ou alguns dias), supõe-se que a água infiltrada entra imediatamente em armazenamento, e é este intervalo para o qual a aplicação do método é mais apropriada. O intervalo de defasagem é crítico para o sucesso deste método. Se a água é transportada ao nível d'água a uma taxa significativamente mais lenta, então o método é de pouco valor. No entanto, ainda existe a possibilidade de uma função ser introduzida para acomodar a defasagem de umidade pela zona não-saturada para nível freático (HEALY & COOK, 2002).

A medida de flutuações do nível d'água em piezômetros e em poços de observação são uma faceta importante de muitos estudos de água subterrânea. No entanto, oscilações no nível d'água podem resultar de uma variedade de fenômenos hidrológicos, alguns naturais (evapotranspiração, pressão atmosférica, variações na temperatura, ventos, terremotos, etc.) e alguns induzidos pelo homem (cargas externas, bombeamento de poços, etc.), que podem conduzir a flutuações do nível d'água e não representarem a verdadeira recarga subterrânea (FREEZE & CHERRY, 1979). Em muitos casos, pode haver mais do que um mecanismo operando simultaneamente, e para que as medidas sejam interpretadas corretamente é importante o entendimento dos vários fenômenos atuantes. Para aplicação de qualquer método de estimativa de recarga, todos os fatores e fatos citados acima devem ser considerados, ou ao menos previstos.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

A área onde foram realizados os estudos está situada na região sudeste de Minas Gerais, no Município de Paula Cândido, pertencente a Zona da Mata Mineira. A área encontra-se no local conhecido como Córrego do Sapo, situado a aproximadamente 1 km da cidade de Paula Cândido, MG.

O mapa da Figura 04 mostra a localização do município de Paula Cândido. A Figura 05 mostra a localização aproximada da área de pesquisa em relação ao município de Paula Cândido em uma base cartográfica 1:50000 (IBGE, 1979).

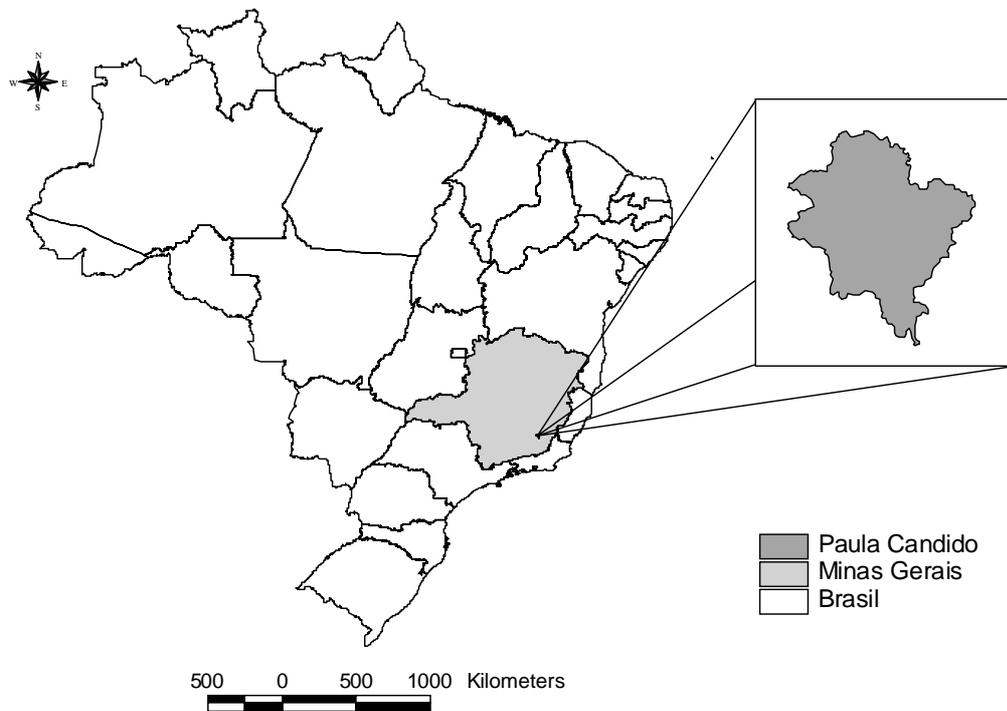


Figura 04 - Localização do Município de Paula Cândido.

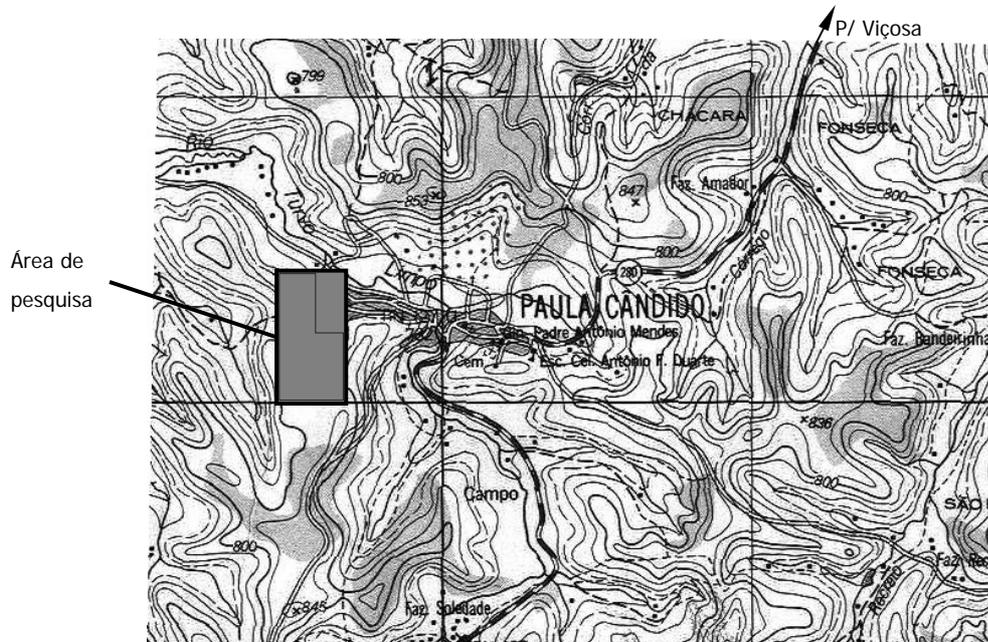


Figura 05 - Localização aproximada da área de pesquisa em relação ao município de Paula Cândido (IBGE, 1979).

3.2 Características gerais do clima e da hidrografia

A área de pesquisa localiza-se em região de ocorrência do tipo climático Cwa, segundo a classificação W. Köppen, caracterizando-se pelo clima úmido, de verões quentes, com pluviosidade média anual entre 1200 e 1500 mm, estação seca curta (inverno), temperatura média anual entre 21,8 e 19,5°C, e média do mês mais frio inferior a 18°C, sendo que as mínimas diárias podem atingir temperaturas próximas de 0°C, a temperatura média dos meses mais quentes é em torno de 22°C. Segundo a classificação bioclimática de Gaussen, a área está inserida em uma modalidade climática de transição, intimamente ligada ao relevo, em que a temperatura do mês mais frio é inferior a 15°C e o número de dias “biologicamente” secos, no decorrer da estação seca, varia de zero a quarenta. A distribuição pluviométrica mostra a existência de duas estações bem nítidas, uma seca e outra chuvosa. O período de chuvas corresponde a setembro/outubro – abril/maio, sendo novembro, dezembro e janeiro os meses com maiores precipitações. Os três meses consecutivos mais secos na região são junho, julho e agosto.

A Zona da Mata Mineira possui relevo bastante acidentado, sendo formado, basicamente, por cadeias de montanhas, conhecidas também como mares de morro. As inclinações dos terrenos variam grandemente de local para local, e podem atingir valores de toda natureza.

A área de pesquisa está localizada na microbacia do Córrego do Sapo, o qual é afluente do rio Turvo Limpo. A área estudada pertence à bacia do rio Doce ou, mais precisamente, à sub-bacia do rio Piranga, com escoamento no sentido oeste – leste até Presidente Bernardes, onde a orientação muda para nordeste, passando por Porto Firme e seguindo em direção à Guaraciaba e Ponte Nova. Localmente, o rio Turvo Limpo corre no sentido sudeste-noroeste, em direção ao rio Turvo. Sua nascente situa-se no divisor de águas a SE do município de Paula Cândido. A rede de drenagem, densa e com grande número de rios perenes, tem padrão dendrítico e apresenta, em detalhe, insignificante controle estrutural. A Figura 06 mostra um mapa geral da bacia do Rio Doce e a localização do município de Paula Cândido e o rio Turvo Limpo.

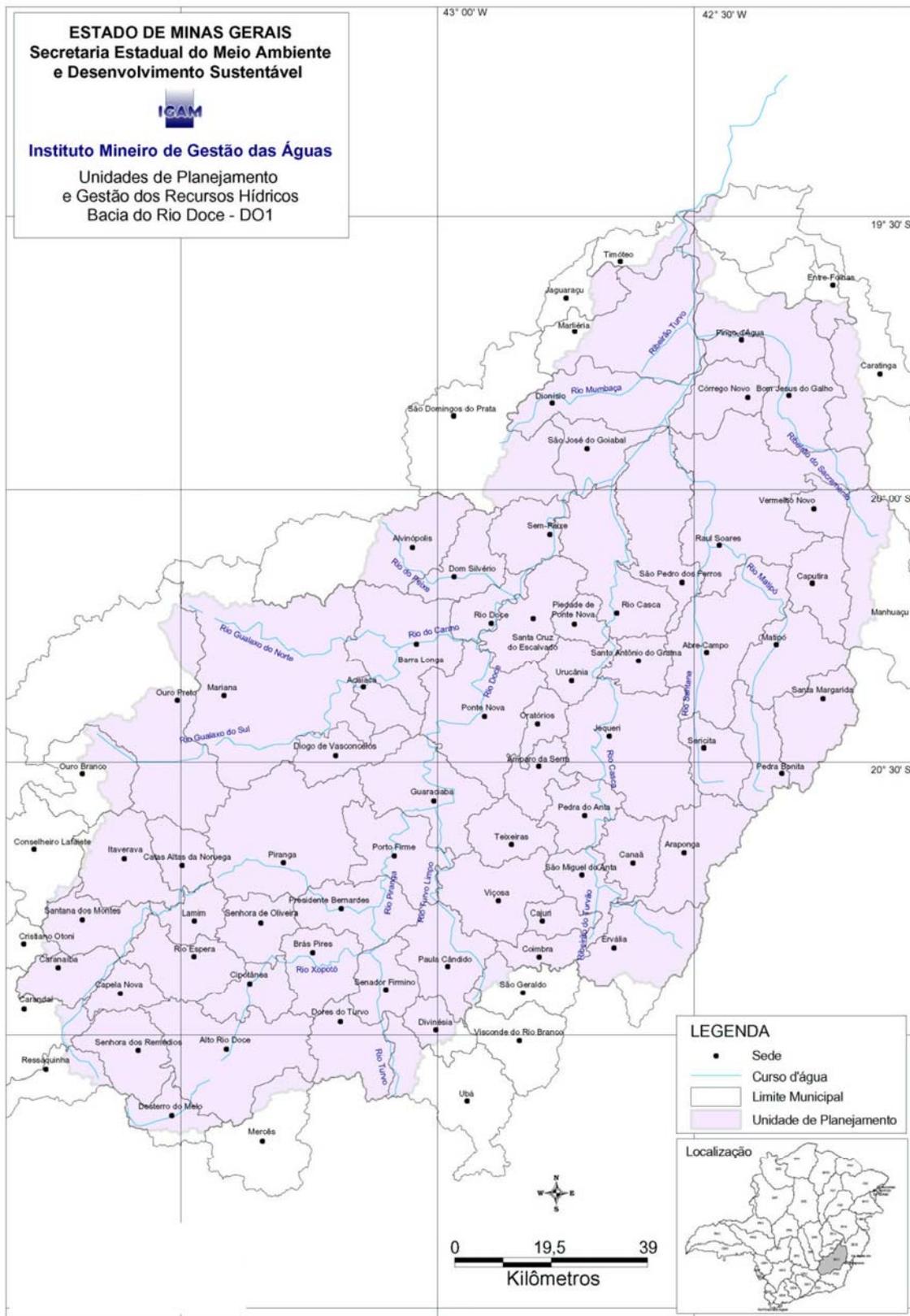


Figura 06 - Mapa da Bacia do Rio Doce, mostrando a sub-bacia do Rio Piranga, na qual está inserido o Rio Turvo e seu afluente, o rio Turvo Limpo (IGAM, 2006).

3.3 Geomorfologia local

As serras e planaltos do leste e sudeste mineiros inserem-se no planalto Atlântico do Brasil Sudeste, uma das unidades integrantes do planalto Brasileiro. Tal segmento do relevo constitui um planalto cristalino rebaixado, onde atuam, de uma forma bastante intensa, os processos morfogenéticos tropicais predominantemente químicos.

As feições morfológicas observadas na paisagem denotam, contudo, uma forte influência das variáveis geológicas (litologias, foliações e falhamentos), bem como de oscilações climáticas mesozóicas a cenozóicas, que levaram à elaboração de superfícies cíclicas de erosão. Podem ser observados dois ciclos denudacionais na região: o Sulamericano e o Velhas. As formas do relevo e unidades geomorfológicas regionais, que apresentam um alto grau de correlação com os principais tipos lito-estratigráficos que ocorrem na região são as Colinas de Topo Aplainado e as Colinas, Ravinamentos e Cristas Esparsas.

A dissecação da superfície Sul-Americana deu-se a partir do Pliopleistoceno, através da atuação de um novo ciclo denudacional, o ciclo Velhas, no qual está inserida a área de pesquisa, em que uma fase de entalhamento vertical acentuado, de erosão remontante, gerou vales encaixados e ravinamentos das encostas, destruindo a maior parte das feições do ciclo anterior. Alguns esporões desenvolvidos a partir de superfícies de cimeiras (trunicações de serras) também podem ser atribuídos ao ciclo Velhas, ligando as cristas, ainda relativamente niveladas, aos domínios gnáissicos rebaixados. A fase de pedimentação desse ciclo mais novo deu-se em cotas em torno de 800m, com resíduos detríticos que sugerem um paleoclima árido a semi-árido e, portanto, uma predominância dos processos de erosão em lençol. Restos da superfície Velhas, sob a forma de colinas de topo aplainado e pseudochapadas, encontram-se concentrados na região, notadamente entre Divinésia e Guaraciaba, bem como ao norte de Piranga. A formação das atuais planícies de inundação que acompanham a calha do rio Turvo Limpo coincidiu com o entalhamento durante o último ciclo erosivo, no Quaternário.

A Foto 01, a seguir, mostra em primeiro plano o vale onde está situada a área de estudo e, ao fundo, o vale do rio Turvo Limpo com alguns esporões típicos do relevo local. A Foto 02, por sua vez, mostra uma vista geral do aspecto geomorfológico da região em que se situa a área de pesquisa.



Foto 01 – Vista geral do vale em que se situa a nascente de água da área de pesquisa, situada na porção central da foto, mostrando ao fundo o vale do rio Turvo Limpo e à esquerda a única porção de mata preservada existente na área de pesquisa.



Foto 02 – Vista da região, mostrando o aspecto geomorfológico geral do entorno da área estudada e detalhe da área de mata ainda existente na área.

A Foto 03, por sua vez, mostra uma vista dos vales situados à montante da área de pesquisa. A área a montante forma um anfiteatro com forma de “W”, com os vértices apontando para Sul e aberto para o Norte, onde está situada a nascente.

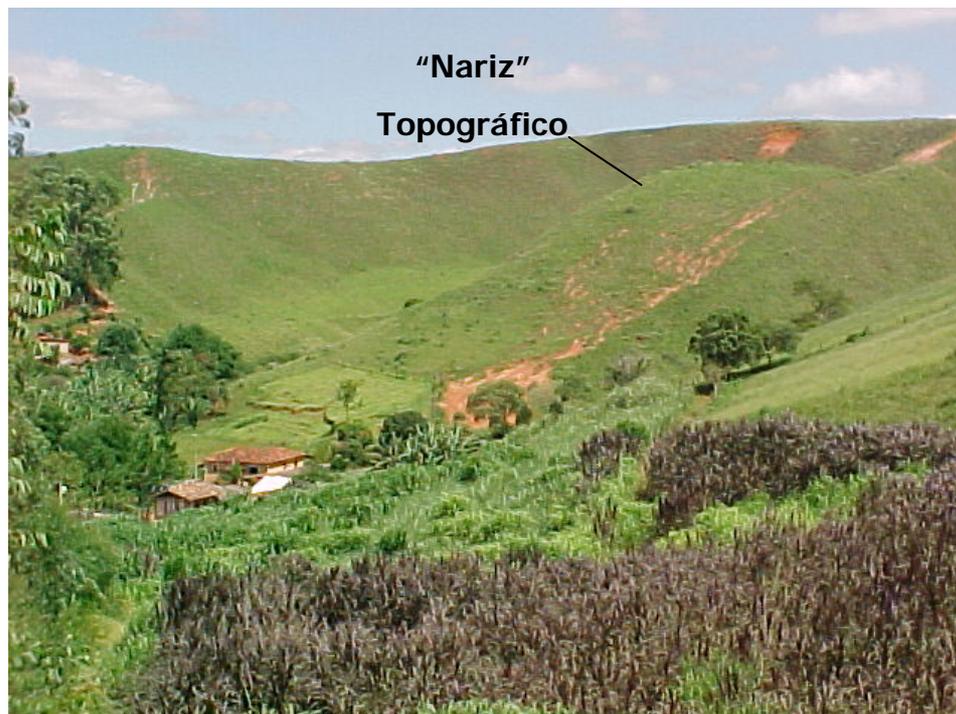


Foto 03 – Vista do vale a montante da nascente. O “nariz” no centro da foto é o vértice central do “W” formado pelo relevo neste local.

3.4 Vegetação

A área de pesquisa está localizada na Zona da Mata de Minas Gerais, que pertence ao bioma conhecido como Mata Atlântica ou Floresta Atlântica (Figura 07). Essa mata, formação florestal distribuída ao longo da costa brasileira, formava originalmente uma faixa de mata contínua desde o estado do Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul, em uma grande variação latitudinal, que ocupava cerca de 30° de latitude, apresentando vegetação em áreas desde o nível do mar até aproximadamente 3000 metros de altitude no topo das serras.

No estado de Minas Gerais, as formações florestais naturais pertencem basicamente às tipologias Caatinga, Campo Rupestre de Altitude, Cerrado e Campo Cerrado e Floresta Atlântica, como se observa na Figura 10. Particularmente à tipologia Floresta Atlântica, na qual insere-se a área de pesquisa, a vegetação pertence à Região Fitogeográfica da Floresta Estacional Semidecidual (Mata Semicaducifolia), sendo dominantes os gêneros neotropicais *Tabebuia*, *Swietenia*, *Paratecoma*, *Cariniana*, entre outros, em

mistura com os gêneros paleotrópicos *Terminalia* e *Erithrina*, e com os gêneros austrálicos *Cedrela* e *Sterculia*.

Em Minas Gerais, as áreas sob domínio de Mata Atlântica também vêm sendo submetidas, desde a sua colonização, a atividades antrópicas, caso do Vale do Rio Doce, da Zona Metalúrgica (MAGRO, 1988) e da Zona da Mata (GOMES, 1983). No caso da Zona da Mata mineira, a sua cobertura florestal foi quase completamente dizimada no curso de ocupação de seu território, inicialmente pela expansão das fronteiras agrícolas, com destaque para a cultura do café, posteriormente, transformadas em pastagem e, mais recentemente, em canaviais. Hoje, esta região é formada por pastagens e campos de cultivo com fragmentos florestais nativos esparsamente distribuídos (MEIRA NETO E SILVA, 1995).

Os aspectos florais atuais refletem a atuação antrópica sobre o meio natural. Estes aspectos apresentam-se sob a forma de uma paisagem combinada de pastagens, cafezais e capoeiras, havendo um predomínio significativo das primeiras. No entorno da área de pesquisa só há uma pequena cobertura de mata preservada. No restante, o que se observa são pastagens e culturas de café muito pequenas.

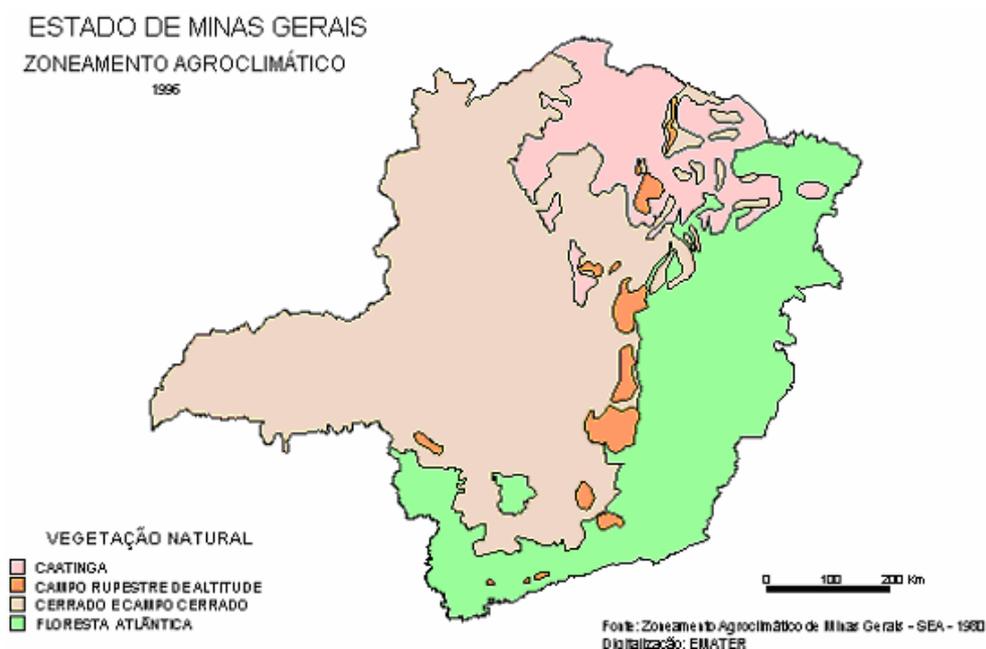


Figura 07 – Distribuição da vegetação natural no estado de Minas Gerais. (V.E.G.A., 2002).

3.4.1 Identificação dos usos do solo/tipo de cobertura vegetal

A identificação dos usos do solo/tipo de cobertura vegetal foi feita com base em visitas de campo, onde se percorreu toda a área de posse de um aparelho de GPS, o qual foi usado na identificação dos vértices dos polígonos formados pelos diferentes usos do solo/ tipo de cobertura vegetal. Após a obtenção de tais informações, estas foram lançados em mapa topográfico digital obtido em escala 1:2000, e então confeccionou-se o mapa de usos do solo/ tipo de cobertura vegetal, mostrado na Figura 08.

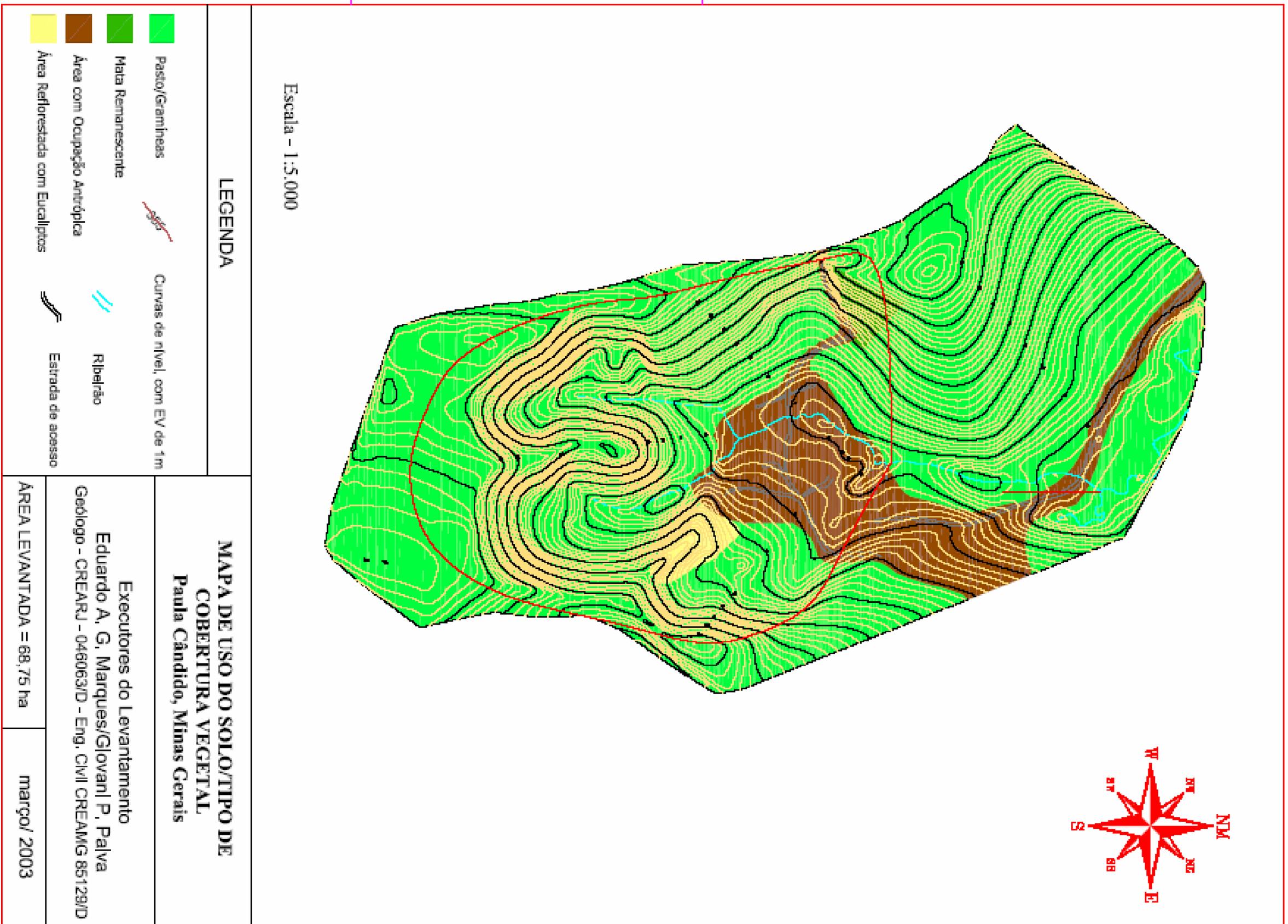


Figura 08 - Mapa de usos do solo/ tipo de cobertura vegetal.

3.5 Geologia Regional

3.5.1 Arcabouço Geológico e Evolução Geotectônica

A região na qual está inserida a área de pesquisa, compreendida na denominada Província Geotectônica Mantiqueira, apresenta elevada complexidade geológica e estrutural. Como resultado, as mesmas unidades podem apresentar comportamento diverso conforme seu posicionamento na crosta. Esta província caracteriza-se pela ocorrência de (CPRM, 1991):

- orto e pararochas, de idade Arqueana, metamorfizadas na fácies anfíbolito e granulito (suíte metamórfica São Bento das Torres, complexos Juiz de Fora e Acaiaca);
- orto e pararochas do Proterozóico Inferior, com metamorfismo na fácies anfíbolito (Complexo Mantiqueira, suíte metamórfica São Sebastião do Soberbo e Grupo Dom Silvério, além de migmatitos e metabasitos);
- ortorochas de idade incerta, metamorfizadas ou não, atribuídas ao Proterozóico Indiferenciado.

As rochas Arqueanas têm registros compatíveis com o domínio da crosta inferior, enquanto as demais, com o domínio da crosta intermediária.

A região mostra uma evolução geotectônica, com registros de ciclos tectonotermiais desde o Arqueano até o Proterozóico Superior / Eopaleozóico. Feições mais recentes são marcadas por falhamentos de gravidade e intrusões ácidas e básicas não-deformadas. Os ciclos de aplainamento Gonduana, Pós-Gonduana, Sul-Americano, Velhas e Paraguaçu atuaram em toda a região, sem, contudo, se mostrarem onipresentes.

Engloba uma seqüência de gnaisses do complexo homônimo, além de rochas intrusivas plutônicas ácidas (Alcaligranito Divinésia).

Do ponto de vista estrutural, a estrutura geológica mais importante refere-se a uma foliação/bandamento gnáissico de baixo ângulo, de distribuição regional, resultado de forte transposição que afetou todas as unidades pré-Cambrianas aí assinaladas.

A esta fase de transposição relacionaram-se várias faixas de cisalhamento menores, de empurrão, que ocorrem associadas. Em geral,

marcam o contato entre as diversas unidades litológicas cartografadas neste domínio. São reconhecíveis pela presença de milonitos, ultramilonitos e blastomilonitos e relacionadas à implantação da foliação, pelo fato de seus planos de empurrão estarem quase sempre paralelizados com os planos de transposição daquela estrutura e, ainda, por conterem impressa uma forte lineação de estiramento da mesma natureza e com as mesmas atitudes observadas naquela.

Em termos de deformação dúctil, mais recente, observam-se dobramentos abertos do tipo deslizamento flexural. São em geral paralelos e concêntricos, simétricos a assimétricos, com planos axiais verticalizados ou mergulhando fortemente para leste. Seus eixos são sub-horizontais com direções em torno de norte – sul.

Finalmente, cortando todas as estruturas anteriormente descritas, ocorrem diversas zonas de cisalhamento contracional de baixo ângulo, com destaque para a zona de cisalhamento Senador Firmino – Presidente Bernardes, de “trend” noroeste – sudeste. Nos locais em que foi observada, mostra-se essencialmente verticalizada, indicando tratar-se de um tipo transcorrente. O caráter altamente milonítico dos litotipos ao longo da zona não permite a identificação de marcadores cinemáticos no campo.

3.6 Investigação do Subsolo

Para reconhecimento dos vários litotipos presentes na área de pesquisa foram realizados 8 furos de sondagem, que foram descritos geotecnicamente. Posteriormente foram realizados mais 5 furos com a finalidade de se instalar os poços de observação do nível d'água. A distribuição espacial dos furos de sondagem está mostrada na Figura 09.

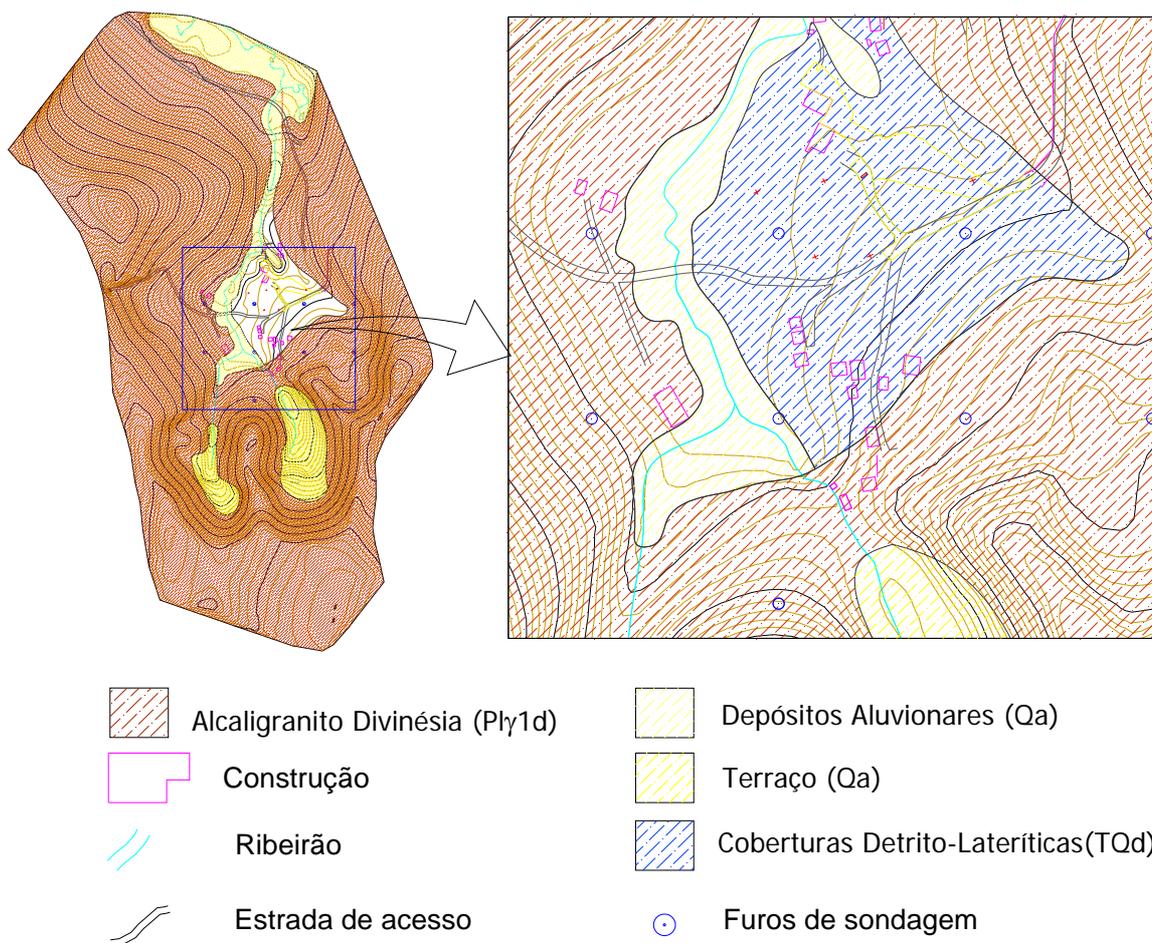


Figura 09 – Localização dos furos de sondagem em relação à área de pesquisa.

3.6.1 Realização de estudos geofísicos

Foram realizados estudos geofísicos para auxiliar na interpretação da estrutura da subsuperfície e com relação à posição do nível freático e à direção do fluxo subsuperficial.

Neste estudo foram executados dois caminhamentos elétrico (*pseudo-depth section*) e duas SEV's (*Sondagens Elétricas Verticais*). Em função das características do terreno, presença de muita vegetação, construções (muros, casa), cercas, e também da disponibilidade de área útil para a execução dos trabalhos, as SEV's, que são perpendiculares entre si, não foram executadas no mesmo ponto de referência. A primeira foi realizada no sentido paralelo à estrada (SEV-1). A segunda foi realizada perpendicularmente à primeira, sendo que o eixo está localizado aproximadamente 15 metros abaixo, no sentido norte (SEV-2). A Figura 10 mostra a localização das SEV's e dos caminhamentos.

Os caminhamentos elétricos foram executados considerando-se também as restrições operacionais (mato, plantações, rede elétrica, muros, cercas) devido às características da área. O primeiro foi realizado paralelo à estrada (Seção Geofísica Norte); e o segundo foi realizado ao longo da estrada (Seção Geofísica Sul).

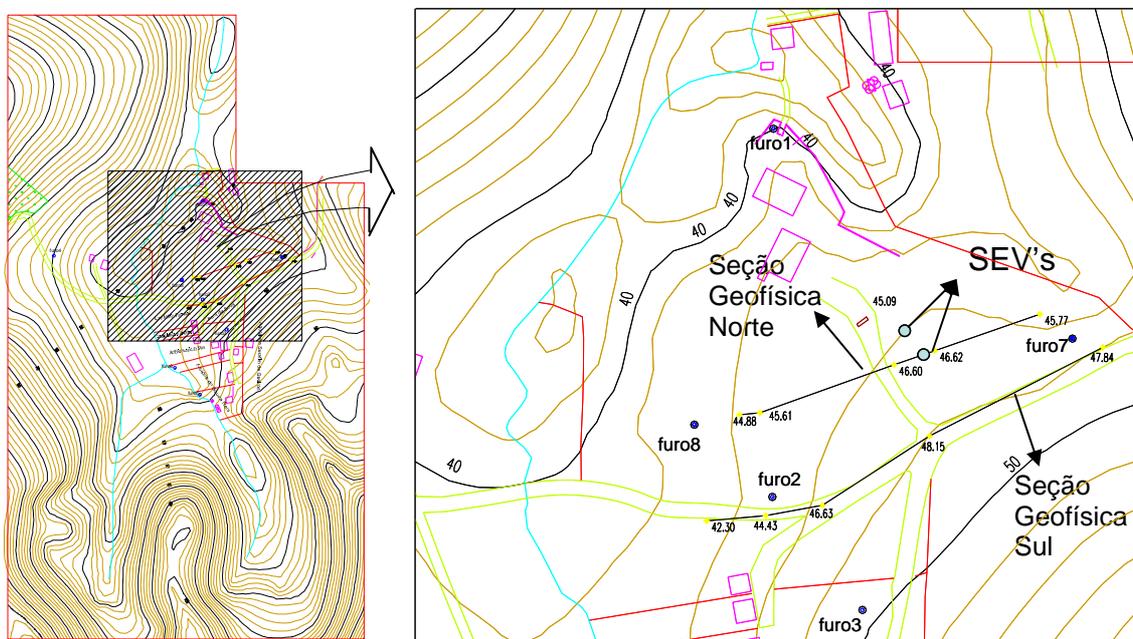


Figura 10 – Localização das SEV's e das seções geofísicas realizadas na área de pesquisa.

Os trabalhos foram realizados com o resistivímetro ABEM modelo 5132, usando eletrodos de aço inoxidável (e ferro comum), fiação e conectores jacarés. Foram realizadas 2 (duas) SEV's e 2 (dois) caminhamentos elétricos.

As SEV's foram executadas utilizando o arranjo clássico "Schlumberger" com 4 (quatro) eletrodos, sendo 2 (dois) de potencial e 2 (dois) de corrente. A abertura máxima da linha foi função das características da área, não ultrapassando 40 metros (para cada lado). Os dados obtidos no campo foram processados com auxílio de planilhas eletrônicas.

Na obtenção das seções de pseudo-profundidades utilizou-se o arranjo "Cacau" (NERY & ARANHA, 1995), em função de suas características operacionais e dos resultados que proporciona. Trata-se de um arranjo que utiliza quatro eletrodos, sendo dois de corrente e dois de potencial, que permite desenvolver a aquisição dos dados geoeletricos de forma contínua. Obtém-se, desse modo, informações de vários níveis de profundidade, para diversas posições em superfície. Esta metodologia está baseada na perfilagem elétrica

convencional de poço, onde dois eletrodos, um de corrente e outro de potencial, são colocados na superfície e os outros dois colocados dentro do poço.

No arranjo “Cacau” os eletrodos são dispostos no solo, sendo que os eletrodos “A” (corrente) e “M” (potencial), extremos da linha, são fixos. Mais além, eles podem ser colocados a uma distância “muito grande” em relação à B (corrente) e N (potencial), fazendo com que se tenha uma situação do tipo monopolo. A distância “X” do eletrodo de corrente “A” até a posição inicial do outro eletrodo de corrente “B”, como também a distância do eletrodo “N” em sua posição final (J) até o eletrodo “M”, é determinada em função das características do terreno a ser levantado e do grau de detalhe requerido para o trabalho. Em terreno plano e homogêneo esta distância pode ser maior (até o limite que permita o equipamento: fios e a potência da fonte). As distâncias entre os eletrodos “B” e “N”, e o máximo de afastamento entre eles, são definidos em função do grau de detalhe e da profundidade a ser atingida. Em seguida, os eletrodos são colocados em suas posições no solo e os dois carretéis de fios são dispostos adequadamente ao longo da linha.

O ponto de observação para as estações é considerado como o ponto médio entre os eletrodos “B” e “N”. Este procedimento é função do princípio da reciprocidade, no qual poder-se-ia trocar os eletrodos “B” e “N” de função que a resposta “seria” a mesma, realizando-se as leituras no resistímetro. O eletrodo da posição 1 é desligado do resistímetro sendo conectado o eletrodo da posição 2, a leitura é realizada. Esta operação se repete até o eletrodo que está na posição máxima estabelecida anteriormente, completando o lanço. Ao atingir este limite, o eletrodo de potencial na posição 1 tem sua função trocada para ser o eletrodo de corrente “B”, e conectando então o carretel que estava ligado anteriormente ao eletrodo “B” e colocando-o na primeira posição posterior ao fim do primeiro lanço. A seguir as leituras são realizadas iniciando o processo com o eletrodo “B” na posição 1 e o primeiro eletrodo de potencial na posição 2. Repete-se a operação, lanço-por-lanço, até o eletrodo “N” atingir a posição “J”.

Os resultados de campo obtidos foram processados utilizando-se a equação apropriada (KOEFOED, 1979; NERY & ARANHA, 1995). Após o processamento os dados foram formatados na forma de gráficos (usando planilhas) ou na forma de seções (usando programas apropriados). As seções

geradas são do tipo “pseudo-depth section”, com a diferença de que têm uma relação mais precisa com a realidade. Estas são então interpretadas em função das variações das resistividades apresentadas, correlacionando-as com características geomorfológicas e geológicas da área.

Os trabalhos foram realizados durante a época de chuvas, portanto o solo estava bastante úmido, o que diminuiu de modo geral a resistividade do solo.

As sondagens elétricas verticais, cujos resultados são apresentados nas Figuras 11 e 12, mostram claramente a presença de uma camada mais resistiva na profundidade de 7 a 11 metros. As duas SEV's mostram também uma camada superior menos resistiva devido à saturação desta pela água de chuva, que foi intensa nos dias que precederam o levantamento. Na parte inferior interpreta-se uma camada mais resistiva. Outro dado interessante é que se observa uma variação da resistividade com a direção do levantamento. No modelo apresentado na Figura 11, os valores de resistividade são maiores nas duas primeiras “camadas” que no modelo mostrado na Figura 12. Esta anisotropia fica mais evidente para a “camada” mais profunda. Adicionalmente, a observação da Figura 11 mostra que a resistividade desta camada mais profunda tende a diminuir com a profundidade enquanto na Figura 12 ocorre o inverso.

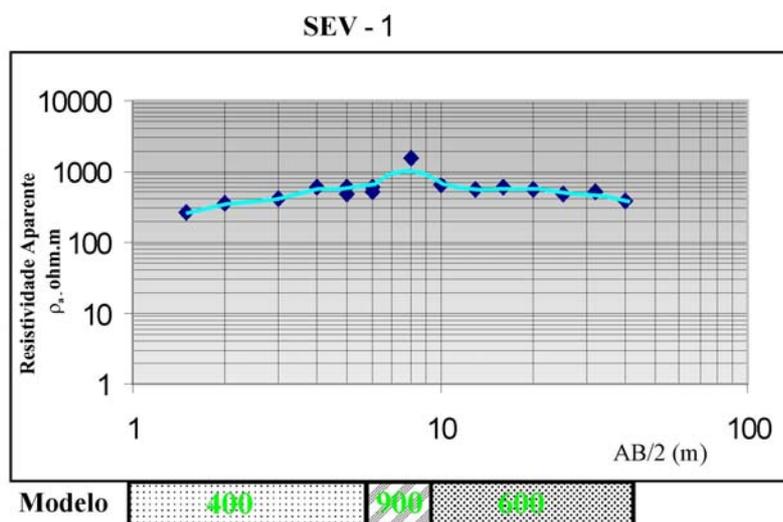


Figura 11 - Resultado da sondagem elétrica vertical realizada nas proximidades da mangueira (SEV 1).

SEV - 2

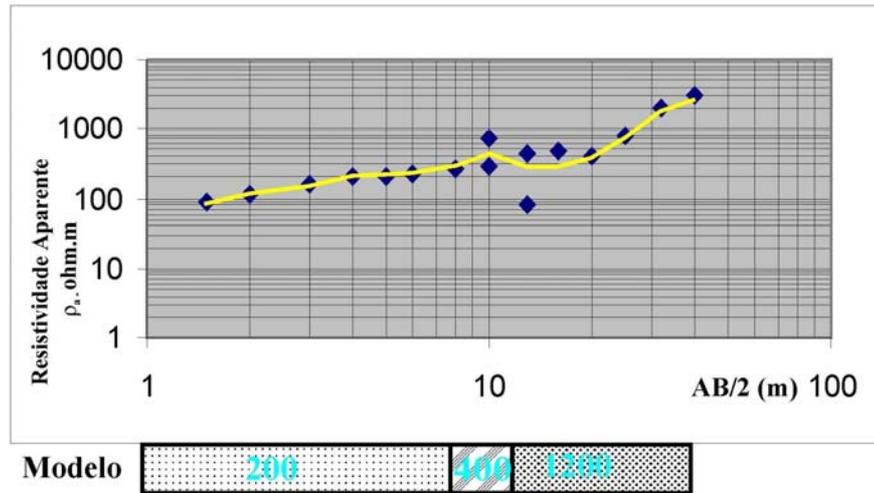


Figura 12 - Resultado da sondagem elétrica vertical realizada 15 m abaixo da anterior, no sentido da casa do proprietário da área (SEV-2).

No caminhamento elétrico realizado próximo à estrada – seção geofísica Norte, cujos resultados são mostrados na Figura 13, nota-se, na parte superior, valores mais altos de resistividade, os quais podem ser relacionados com a “camada” de argila identificada nos furos de sondagem. Mais além, nesta seção, são observados valores de resistividades mais baixos na parte inferior. Estes valores podem estar relacionados com a saturação desse nível. Contudo, entre as distâncias de 30 e 40 m, observa-se um lineamento com baixos valores de resistividade, o qual, pelas suas características, poderia estar relacionado com alguma feição estrutural do tipo fratura/falha. Entretanto, as características da área sugerem que este lineamento deve estar relacionado com alguma variação faciológica lateral da camada, apresentando nesse ponto uma maior porosidade, ou ainda um afinamento muito grande da camada de argila. Na parte inicial os valores são baixos, indicando uma maior saturação, mesmo para os níveis mais superficiais; e, a distâncias maiores, acima de 40 m, tem-se o espessamento da faixa com valores de resistividade maiores, indicando a presença de uma feição mais resistiva, podendo-se correlacioná-la com a camada de argila.

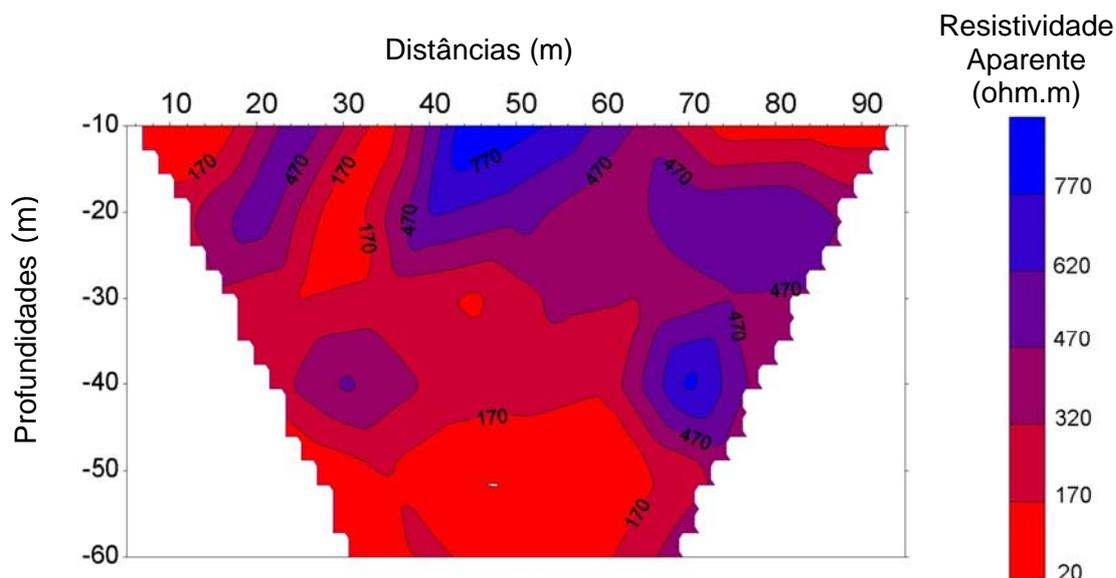


Figura 13 - Resultados do caminhamento elétrico realizado ao longo da Seção Geofísica Norte, realizada na área de pesquisa.

De maneira semelhante, o caminhamento elétrico realizado na estrada, cujos resultados são mostrados na Figura 14, apresenta valores altos de resistividade na parte superior, porém entrecortado por lineamentos com valores de baixa de resistividade nas distâncias de 40-50m e 95-100m. Esses lineamentos, que apresentam caimentos diferentes, também podem estar relacionados com estruturas presentes na subsuperfície nesta profundidade, podendo ser algumas das feições relatadas anteriormente. No geral, tem-se um espessamento da região mais resistiva para as distâncias após 50m, a qual pode-se relacionar com a presença da camada de argila e o seu espessamento nesta direção. Os níveis abaixo de 20m encontram-se com valores de resistividade baixos indicando a saturação dos mesmos.

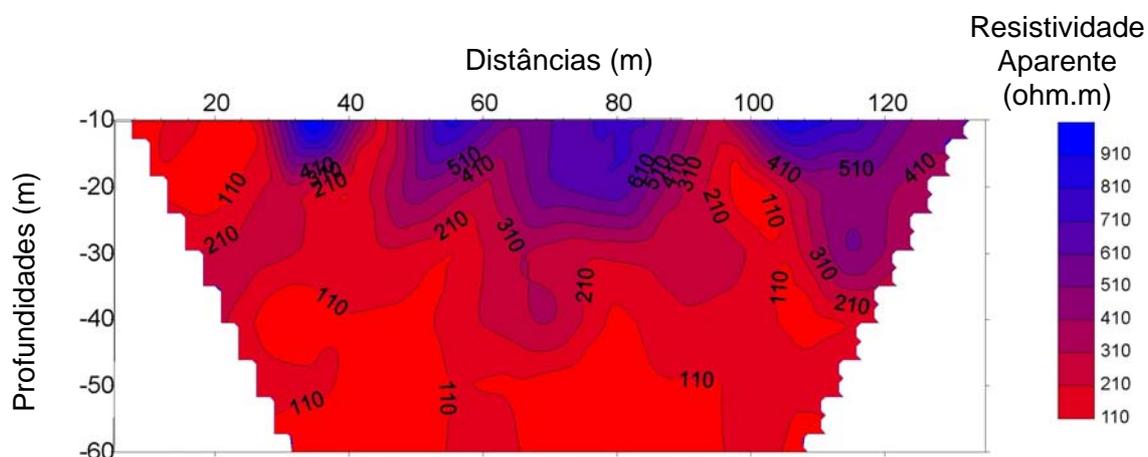


Figura 14 - Resultados do caminhamento elétrico realizado ao longo da Seção Geofísica Sul, realizada ao longo da estrada.

As Figuras 15, 16 e 17 mostram os dados obtidos para os níveis 10, 20 e 30m, respectivamente. Na Figura 15 observam-se valores mais baixos de resistividades na parte inicial, os quais estão relacionados com drenagem local que corre superficialmente nesta área. Observa-se um lineamento entre as distâncias de 60-70m e um outro entre as distâncias de 110 –130m, os quais podem ser interpretados como caminhos preferenciais para o fluxo subsuperficial. Principalmente, o primeiro, pois este apresenta correlações com os outros níveis. Diante dessas características estima-se a direção de fluxo subsuperficial como tendo a mesma direção que os lineamentos observados nas seções apresentadas (Figuras 13 a 17). Tendo como base a linha inferior das seções (Figuras 15 a 17), e sabendo-se que ela tem direção aproximada N15^oE, e ainda considerando-se os traçados das isolinhas, infere-se que o fluxo superficial apresenta direção N30^o-40^oW.

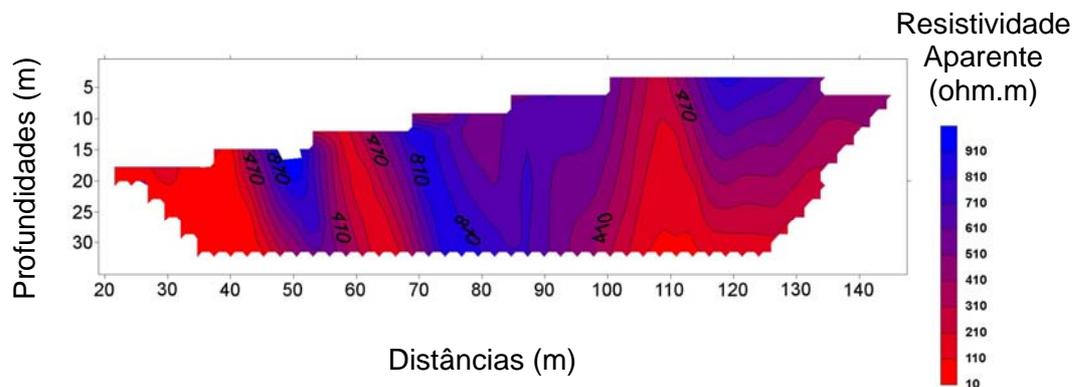


Figura 15 - Resultados da seção paralela realizada ao longo da Seção Geofísica Sul à profundidade de 10m.

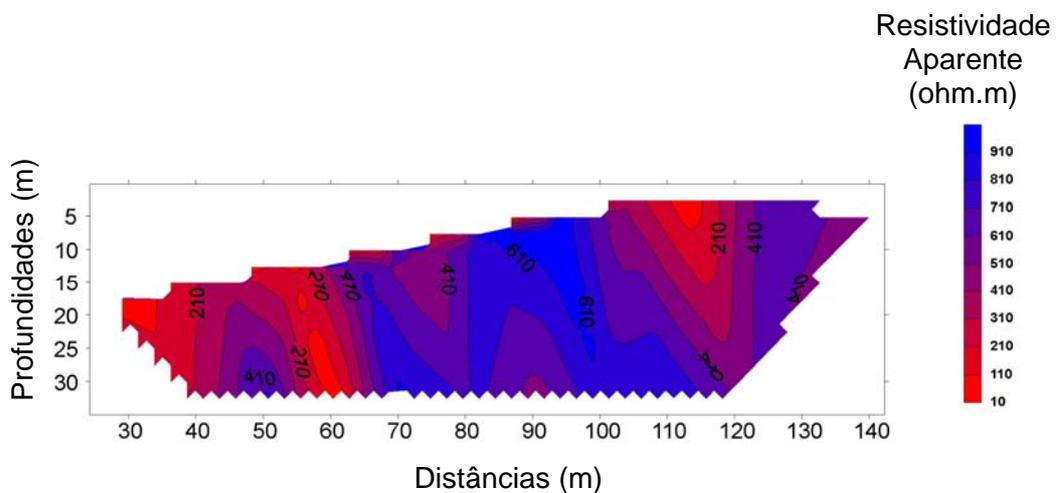


Figura 16 - Resultados da seção paralela realizada ao longo da Seção Geofísica Sul à profundidade de 20m.

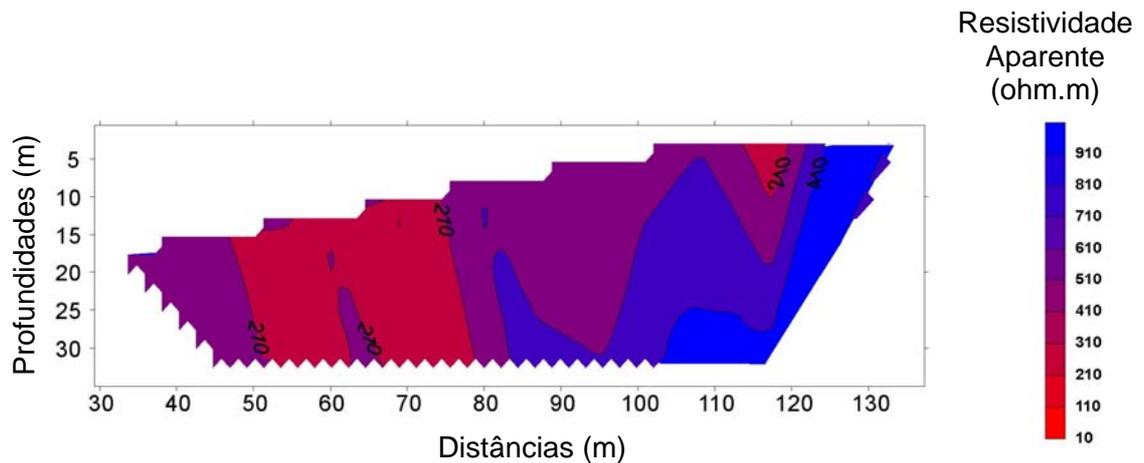


Figura 17 - Resultados da seção paralela realizada ao longo da Seção Geofísica Sul à profundidade de 30m.

Os estudos geofísicos realizados (SEV's e Caminhamento Elétrico), em conjunto com os dados obtidos nas sondagens a percussão permitem concluir que:

1) há uma camada de argila, de espessura variável, situada entre duas camadas compostas por materiais, os quais pelos valores de resistividades apresentados deduz-se que estão saturados, ou, contém uma maior quantidade de água;

2) a camada superior encontra-se saturada até o NA, enquanto a camada situada sob a camada de argila encontra-se completamente saturada;

3) no caso da camada aquífera mais profunda (abaixo da argila), o fluxo parece seguir direções preferenciais dadas por lineamentos de origem estrutural ou originados por variações faciológicas laterais das camadas;

4) a direção de fluxo de água em subsuperfície tem direção aproximada N30⁰-40⁰W.

3.7 Hidrogeologia

3.7.1 Introdução

Na Zona da Mata de Minas Gerais, especificamente na micro-região de Viçosa, praticamente inexistem dados sobre a geologia e a hidrogeologia da região.

A realização de estudos geofísicos elétricos permitiu uma melhor compreensão da movimentação de água em subsuperfície e corroborou algumas informações retiradas das sondagens a percussão realizadas na área.

3.7.2 Hidrogeologia Regional – Aspectos Gerais

A análise dos tipos litológicos existentes na área de pesquisa permite concluir que ocorrem basicamente dois tipos de aquíferos: os granulares e os fraturados. Os aquíferos existentes são de importância moderada em função da distribuição territorial e dos volumes de água que podem proporcionar, sobretudo os fraturados, onde a água encontra-se restrita às zonas de fraturamento das rochas cristalinas.

O primeiro tipo refere-se aos aquíferos do tipo granular livre ou em parte confinados, em que a água encontra-se armazenada nos poros entre os grãos. São representados, na área, por uma variedade de sedimentos inconsolidados, compostos por:

- coberturas coluvionares e aluvionares (Formações Quaternárias Aluviais),
- pelos materiais que compõem as Coberturas Detrítico-Lateríticas e:
- pelos solos de alteração das rochas metamórficas pré-Cambrianas.

Estes aquíferos têm reduzida expressão areal em termos regionais, mas em termos locais podem suprir quantidades consideráveis de água. As Coberturas Detrítico-Lateríticas acumulam água, que normalmente flui para os rios, alimentando o seu escoamento de base, enquanto uma pequena parcela infiltra-se nas rochas subjacentes ou aparece em forma de fontes localizadas nos contatos com estas rochas, como é o caso da área de pesquisa.

Nas rochas metamórficas é comum a decomposição profunda dessas rochas em espessos pacotes, podendo atingir valores da ordem de 30 a 80 metros. Sua constituição predominantemente argilosa dificulta a infiltração de grandes quantidades de água das chuvas, mas mesmo assim é possível originarem aquíferos semiconfinados ou livres, em que se observa uma zona de aeração e uma zona de saturação bem distintas.

O segundo tipo de aquífero, que se destaca como o mais importante em termos de reservas hídricas, é representado pelos aquíferos do tipo fraturado, predominantemente livres e localmente semiconfinados, em que, em função da extremamente reduzida porosidade da matriz rochosa, a água acumula-se ao longo de suas descontinuidades estruturais (fraturas e falhas). Estes aquíferos são compostos pelos tipos litológicos existentes na área, representados pelas rochas pertencentes à unidade Alcaligranito Divinésia.

Os aquíferos do tipo fraturado apresentam características hidrogeológicas marcadas pela baixa capacidade de armazenamento, e, em geral, elevada permeabilidade e transmissividade. Além disso, estes aquíferos de rochas cristalinas apresentam anisotropia de permeabilidade, variando de nula em rochas densas e compactas até apreciáveis valores quando as rochas estão intemperizadas e fraturadas. Essa propriedade varia lateralmente e em profundidade, em função do grau de fraturamento, sendo maior nos planos de fraturas observadas em superfície através de imagens aéreas. Em profundidade, apresenta uma diminuição rápida da permeabilidade em razão das interconexões entre as fraturas, que diminuem à medida que aumenta a profundidade, sendo raras ou ausentes abaixo de algumas dezenas de metros (abaixo de 60m). Os aquíferos fraturados têm os seus níveis estáticos comandados pela topografia e pela configuração espacial das juntas e fraturas.

3.7.3 Hidrogeologia Local

Na área de pesquisa, o conjunto das investigações realizadas mostra a presença de três aquíferos principais, sendo dois do tipo granular e um do tipo fraturado. Tais informações estão representadas nas seções geológico-geotécnicas das Figuras 18 e 19.

A nascente de água e a área de seu entorno estão localizadas em área de ocorrência de um aquífero superficial, do tipo granular, composto pela unidade geológica denominada Cobertura Detrítico-Laterítica (TQd), incluindo uma camada de argila plástica localizada em sua base, que funciona como uma camada impermeabilizante e que a isola da unidade imediatamente inferior, composta por solos residuais de uma rocha gnáissica pertencente à unidade Alcaligranito Divinésia. Localmente, sobre estes depósitos terciários, ocorre um depósito aluvionar, de pequena expressão areal, conforme se observa no Mapa Geológico da Figura 20. O aquífero da Cobertura Detrítica

caracteriza-se por ser um aquífero livre, composto por sedimentos inconsolidados, de textura heterogênea, composto principalmente por siltes, argilosos a arenosos, com espessuras máximas de cerca de 11 metros. Encontra-se assente sobre uma camada de argila plástica, que atua como um aquífero, dificultando a migração vertical da água, confinando o aquífero situado imediatamente abaixo. O nível de água desta unidade aquífera encontra-se a uma profundidade variável em torno de 7,00 metros. Este aquífero é que é diretamente recarregado pelas águas de infiltração vertical, a partir da superfície e do pequeno aluvião existente localmente. Sua zona de recarga está localizada nas porções superiores da encosta a montante da nascente (zona de descarga), o percurso entre a zona de recarga e a zona de descarga é relativamente pequeno, o que explica a elevada variação sazonal das vazões medidas na fonte e a baixa mineralização da nascente de água.

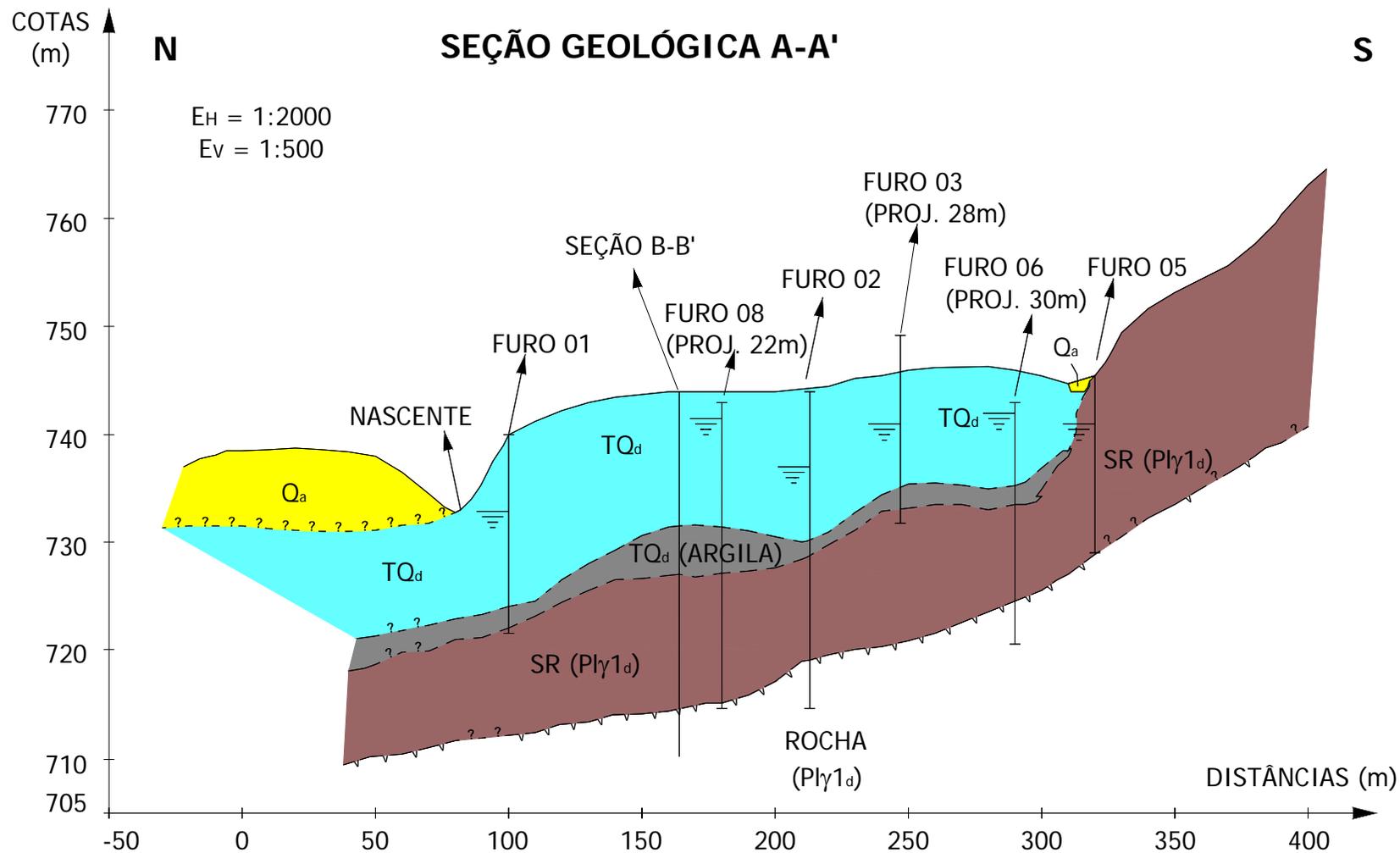


Figura 18 – Seção geológica A-A' (Norte – Sul), construída a partir dos dados coletados em sondagens a percussão, mapeamento de campo e foto-interpretação.

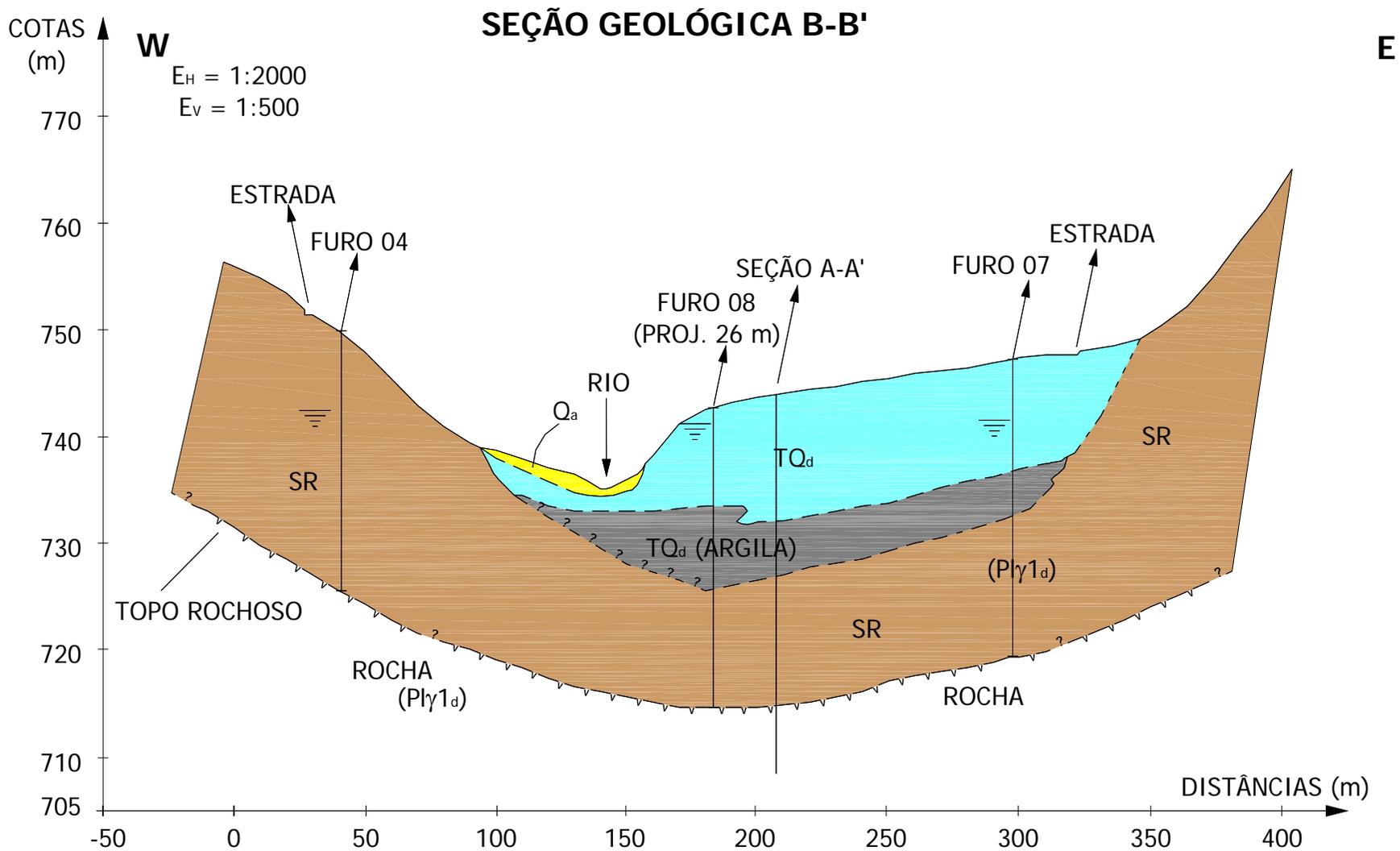


Figura 19 – Seção geológica B-B' (Leste – Oeste), construída a partir dos dados coletados em sondagens a percussão, mapeamento de campo e foto-interpretção.

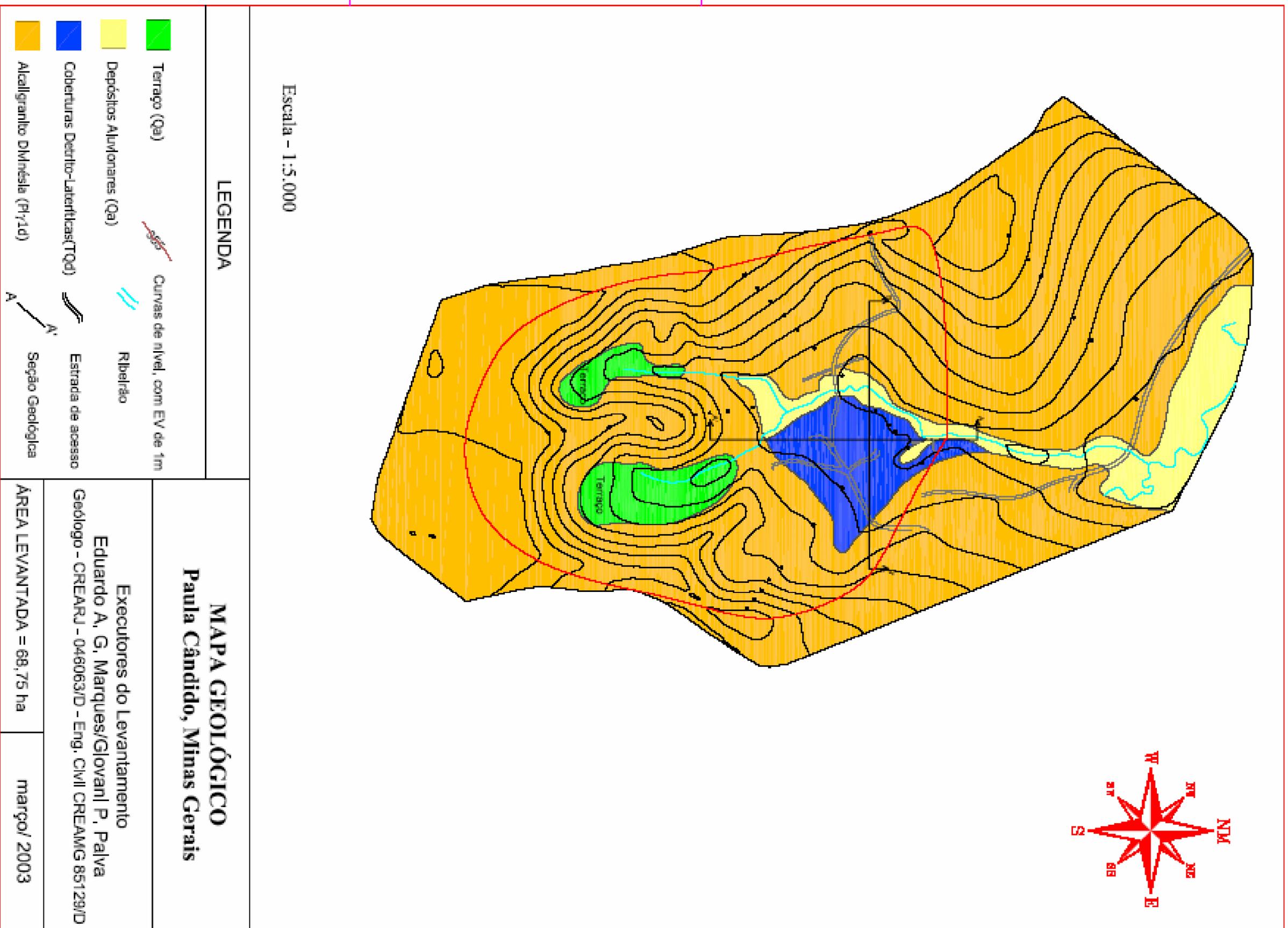


Figura 20 – Mapa geológico.

O outro aquífero do tipo granular existente na área de pesquisa está situado abaixo da camada de argila e se encontra livre a parcialmente confinado, dependendo da sua localização. Trata-se de uma camada de solos residuais de gnaiss (maduro e jovem) pertencentes à unidade Alcaligranito Divinésia (Pl_γ1d) e apresentam textura variando entre silte argiloso, silte pouco arenoso, silte argilo-arenoso e silte areno-argiloso. Sua espessura varia desde um mínimo de 10 metros até um máximo de cerca de 22 metros. Está assente sobre uma camada de rocha, cujo limite superior foi caracterizado neste estudo como impenetrável à penetração do trépano ou ao avanço por lavagem em uma sondagem a percussão. Sua porção confinada situa-se entre o topo rochoso e uma camada de argila plástica, que é a base da unidade Cobertura Detrítico-Laterítica (TQd). Este aquífero é recarregado tanto a partir das águas de infiltração vertical, nos locais em que se encontra apenas recoberto por um colúvio, como, acredita-se, por águas de circulação profunda, que ascendem através de descontinuidades existentes na rocha subjacente.

Por fim, na base do modelo hidrogeológico local, ocorre uma camada de rocha gnáissica fraturada, em diversos estados de alteração até rocha sã, compondo um aquífero do tipo fraturado, em que a água encontra-se acumulada nas fraturas.

3.7.4 Determinação da permeabilidade do solo.

A determinação da permeabilidade do solo foi feita através do permeâmetro GUELPH, emprestado pelo Departamento de Solos da UFV. Foram realizados cinco ensaios na área de pesquisa, sendo os resultados encontrados apresentados na Tabela 01.

Tabela 01. Valores de k_{fs} (cm/s) obtidos pelo permeâmetro de Guelph.

Ensaio	01	02	03	04	05
k_{fs}	$6,62 \times 10^{-4}$	$1,80 \times 10^{-4}$	$1,74 \times 10^{-3}$	$2,45 \times 10^{-4}$	$5,93 \times 10^{-4}$
Média de Campo	$6,84 \times 10^{-4}$				

No desenvolvimento deste estudo utilizou-se o valor da permeabilidade média de campo.

3.7.5 Estratigrafia

3.7.5.1 Depósitos Aluvionares (Qa)

Os Depósitos Aluvionares podem ser de dois tipos: as aluviões recentes e que atualmente ainda estão sendo retrabalhados e, portanto, tem idade holocênica; e os terraços semiconsolidados de idade pleistocênica a holocênica. Estes, por sua vez, misturam-se, nas encostas, com os produtos da dissecação das Coberturas Detrítico-Lateríticas (TQd). Os terraços mais antigos foram intensamente retrabalhados durante o ciclo do Ouro e deles, em vários locais, só restam morros pontiagudos isolados como testemunhos no meio de várzeas extensas recobertas por montículos de cascalho lavados na extração do ouro. Apresentam dezenas de metros de altura, mas nem sempre grandes extensões laterais, comprovando sua geração em períodos de mudanças climáticas bruscas do nível de base da drenagem. Nas margens do rio Turvo, tais sedimentos refletem a erosão de corpos graníticos. Caracterizam-se como areias amarelas ou avermelhadas, de granulometria fina, com matriz argilosa esbranquiçada e amareladas, refletindo a erosão das coberturas tércio-quaternárias.

Especificamente na área de pesquisa, as aluviões são formadas por argilas siltosas, plásticas, com traços de matéria orgânica e de detritos vegetais, cor predominantemente marrom, moles (SPT entre 3 e 5 golpes).

Conforme se observa no Mapa Geológico da Figura 20, estes depósitos ocupam três áreas. As duas mais a montante ocorrem uma em cada um dos dois vales existentes na porção Sul da área, a jusante do divisor de águas. Compõem pequenos depósitos no fundo dos vales, que por sua vez se encontram “pendurados” em relação ao vale mais a jusante, onde está situado o maior depósito, que se estende até o rio Turvo Limpo, e ocupa uma estreita faixa no fundo do vale principal, alargando-se na sua porção mais a montante, logo a jusante dos dois depósitos descritos anteriormente. As seções A-A´ e B-B´ (Figuras 18 e 19) mostram que estes depósitos não apresentam grande extensão em profundidade.

3.7.5.2 Coberturas Detrítico-Lateríticas (TQd)

As Coberturas Detrítico-Lateríticas (TQd) manifestam-se como restos de superfícies aplainadas a cotas aproximadas de 800m. Sobre estas se depositam sedimentos arenosos inconsolidados a semiconsolidados,

caracterizados por areias impuras de granulometria areia média, com predomínio da matriz sobre os grãos arredondados a pouco arredondados e, com frequência, recobertos por películas limonitizadas. Em períodos posteriores de dissecação, os sedimentos arenosos avermelhados foram erodidos e espalhados pelas encostas, geradas já em climas mais úmidos, e misturados a produtos originados da destruição de solos imaturos, que já se formavam durante o início destes processos. Na área de pesquisa, estes depósitos caracterizam-se por apresentar várias camadas com predominância de areias argilo-siltosas, passando a siltes argilosos pouco arenosos (areia fina), siltes argilo-arenosos e siltes arenosos (areia fina), micáceosa, com pedregulhos de quartzo. Localmente observam-se traços de matéria orgânica e detritos vegetais. Os sedimentos apresentam cor variegada, com predomínio do marrom e do amarelo, sendo comuns ainda os níveis esverdeados, pretos e avermelhados. Trata-se de siltes moles (3 a 5 golpes) a rijos (11 a 19 golpes), com algumas camadas muito moles (menos de 2 golpes).

3.7.5.3 Alcaligranito Divinésia (Pl_γ1d)

O Alcaligranito Divinésia (Pl_γ1d) apresenta exposições esparsas. Caracteriza-se por ser uma rocha de granulação grossa a média, com vários encraves anfibolíticos de formas diversas e de rochas de coloração marrom de faciologia metamórfica relativamente alta, caracterizadas por metadiorito gnaissificado, além de veios aplíticos com direções N20⁰W e N60⁰E, e de veios pegmatóides de direções aproximadas N10⁰W. Tais veios apresentam mergulhos fortes a subverticais e atingem espessuras de cerca de 5 cm. Os corpos anfibolíticos variam de decímetros a metros de espessura e atingem até cerca de 10 m de extensão. Essa rocha lembra, devido à sua heterogeneidade, um migmatito com estruturas “schollen” e nebulítica. A rocha dominante é clara com grandes cristais de feldspato potássico. Composicionalmente, caracteriza-se por 45% de microclina, 30% de quartzo, 16% de plagioclásio, 8% de biotita e 0.5% de granada, caracterizados, segundo Streickesen, como granitos típicos. Em geral, esta unidade é composta por um granito grosseiro, leucocrático, localmente gnaissificado, com xenólitos de gnaisse tonalítico, metadiorito, anfibolito e quartzitos do complexo Mantiqueira.

Na área de pesquisa não são encontrados afloramentos de rocha sã. O afloramento mais próximo situa-se a cerca de 7 km da área, em uma pedreira abandonada.

Os únicos indícios do tipo de rocha existente na área de pesquisa são afloramentos de solo residual jovem e/ou rocha extremamente alterada, nos quais é possível observar-se a presença de um litotipo com aspecto gnáissico, que parece tratar-se de um gnaiss tonalítico extremamente alterado, bastante deformado, com foliação bem marcada e com um sistema de fraturamento predominante.

As Fotos 04 e 05 mostram detalhes destes materiais. Ambas permitem constatar a presença de um solo residual com cores variegadas, resultante da alteração de uma rocha metamórfica e a existência de uma foliação gnáissica. Este solo residual é composto por dois horizontes distintos. O mais superficial é um solo residual maduro, argilo-arenoso, com pedregulhos, cor avermelhada a alaranjada. O horizonte mais profundo, um solo residual jovem, é arenoso, silto-argiloso, com pedregulhos, e apresenta cor variegada.



Foto 04 – Detalhe do solo residual jovem existente em corte situado na porção Oeste da área de pesquisa.



Foto 05 – Foliação preservada em solo residual jovem de rocha gnáissica, localizado no “nariz” topográfico existente dentro da área de pesquisa.

Em termos de espessuras, o solo residual desta rocha tem, na área pesquisada, espessuras que variam entre 10 e 22 metros. O topo rochoso está situado em profundidades variáveis entre 18,5 a 28,5 metros.

Foram realizados alguns ensaios de laboratório em amostras indeformadas coletadas na unidade Cobertura Detrítico-Laterítica (TQd) e no solo residual de gnaiss. Os resultados encontram-se resumidos na Quadro 01.

Quadro 01 – Resultados dos ensaios geotécnicos realizados nas amostras indeformadas da Unidade Cobertura Detrítico-Laterítica (TQd) e do Solo Residual de Gnaiss (Unidade Pl_γ1d).

	Porosidade (%)	Granulometria			
		Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
Cobertura Detrítico-Laterítica (TQd)	49,39	0	45	20	35
SR Maduro de Gnaiss (Pl _γ 1d)	ND	30	29	02	39
SR Jovem de Gnaiss (Pl _γ 1d)	ND	30	42	17	11

3.8 Geologia Local

Para reconhecimento dos vários litotipos presentes na área de pesquisa foram realizados furos de sondagem com uma descrição geotécnica dos mesmos. Neste estudo, foram feitos 8 furos de sondagem ao longo de duas linhas imaginárias. A descrição geotécnica dos furos de sondagem foi feita com base na identificação táctil-visual dos materiais retirados dos mesmos.

Para complementar as informações obtidas pelos furos de sondagem foi feito um levantamento expedito de campo com o objetivo de reconhecer os litotipos pertencentes às diversas unidades litológicas.

A metodologia do levantamento consistiu em percorrer toda a área da sub-bacia inserida na área de pesquisa, identificando os afloramentos presentes na área, que permitiram uma espacialização das informações obtidas nos furos de sondagem.

Na área de pesquisa pode-se observar a existência de 3 unidades lito-estratigráficas, a saber:

- Depósitos Aluvionares (Qa);
- Coberturas Detrítico-Lateríticas (TQd);
- Alcaligranito Divinésia (Pl_γ1d).

O Mapa geológico, apresentado na Figura 20, mostra a distribuição areal destas unidades na área de pesquisa e em seu entorno. As seções geológicas A-A' e B-B', apresentadas nas Figuras 18 e 19, mostram a distribuição destas unidades em subsuperfície, com base em mapeamento de campo, nas sondagens a percussão e em estudos geofísicos realizados.

Não ocorrem, tanto na área de pesquisa, quanto em seu entorno, afloramentos de rocha sã. As rochas da unidade Alcaligranito Divinésia (Pl_γ1d) são encontradas apenas na forma de solos residuais ou rochas extremamente alteradas.

3.9 Geologia Estrutural

De maneira a se avaliar e caracterizar as estruturas geológicas existentes na área de pesquisa procurou-se realizar um levantamento sistemático de elementos estruturais planares e lineares. Entretanto, em função da dificuldade em se obter afloramentos de rocha, sã ou alterada, que permitissem a

realização das medidas, apenas 19 medidas de elementos planares e 02 de elementos lineares puderam ser realizadas.

3.9.1 Elementos Planares

O elemento planar mais conspicuo na área de pesquisa é a foliação, que se caracteriza por ser uma foliação/bandamento gnáissico de ângulos baixos a médios, resultado de uma forte transposição do bandamento gnáissico pré-existente. Trata-se de uma estrutura bem marcada, com atitudes médias de $050^{\circ}/38^{\circ}$ e $252^{\circ}/46^{\circ}$, ou seja com mergulhos medianos para os quadrantes NE e SW. Em escala de afloramento define-se por um bandamento milimétrico a centimétrico, dado pela alternância de níveis claros e escuros.

Outra estrutura planar importante na área é uma família de fraturas com atitude média de $296^{\circ}/82^{\circ}$, ou seja, mergulhos elevados (quase sub-verticais) para o quadrante NW, como mostra a projeção estereográfica da Figura 21. A Foto 06 mostra uma vista parcial do corte de estrada em que é possível observar-se a rocha descrita anteriormente, enquanto a Foto 07 mostra detalhes destas estruturas principais.

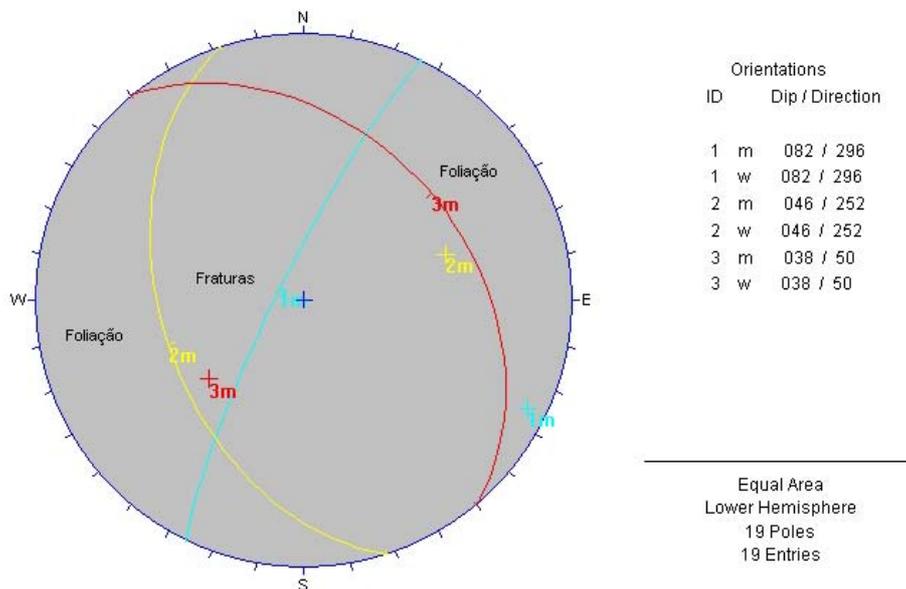


Figura 21 – Projeção estereográfica mostrando as atitudes médias da foliação e do sistema de fraturamento existente na área de pesquisa.



Foto 06 – Vista geral do corte da estrada em que se pode observar a rocha extremamente alterada e as principais estruturas geológicas existentes no maciço (foliação e fratura sub-vertical).

3.9.2 Elementos Lineares

Foi possível identificar a presença de inúmeras pequenas dobras caracterizadas por apresentarem eixos subhorizontais com atitudes $181^{\circ} - 361^{\circ}/03^{\circ}$ e $132^{\circ} - 312^{\circ}/03^{\circ}$.



Foto 07 – Detalhe da foliação, neste caso com mergulho para NE e do sistema de fraturas subvertical.

3.10 Identificação das unidades aquíferas presentes na área de pesquisa

As unidades aquíferas presentes na área de pesquisa, foram identificadas através da descrição geotécnica dos furos de sondagem e dos estudos geofísicos realizados para tal fim. Com a realização de estudos geofísicos, foi possível identificar as zonas de menor resistividade e, portanto de maior teor de água e com isso verificou-se a presença de uma unidade aquífera mais superficial, a qual é formada por uma Cobertura Detrítica de textura heterogênea, composta principalmente por siltes, argilosos a arenosos, com espessuras máximas de cerca de 11 metros. Esta unidade aquífera não apresenta confinamento, portanto trata-se de um aquífero granular freático. Abaixo deste aquífero ocorre uma camada de argila plástica, que funciona como uma camada de baixa permeabilidade e o “isola” da unidade aquífera inferior, a qual é composta por solos residuais de uma rocha gnáissica pertencente à unidade Alcaligranito Divinésia. Localmente verifica-se a presença de um depósito aluvionar de pequena expressão areal. Um outro

aquífero presente na área de pesquisa é um aquífero do tipo fraturado, que ocorre em uma camada de rocha gnáissica fraturada, em diversos estados de alteração até rocha sã. Com o conjunto de informações obtidas nas sondagens SPT e nos estudos geofísicos elaborou-se duas seções geológicas da área pesquisada.

3.11 Pedologia

3.11.1 Identificação das classes de solo (MATOS, 2003)

Os estudos de caracterização dos solos da região em estudo, no Município de Paula Cândido foram baseados em expedição realizada *in loco*, com visualização geral da tipologia geral da área, tendo sido avaliado o material em cortes do perfil de solo em estradas e em alguns furos de pequena profundidade realizados com um trado manual. Com base nas anotações de campo e na topografia local, demarcaram-se as áreas de cada classe de solo identificada em mapa topográfico obtido em escala 1:2.000.

Para a identificação das classes de solos foram considerados, como parâmetros de diferenciação, os critérios de horizontes diagnósticos, propriedades diagnósticas e fases de textura, relevo, pedregosidade, rochosidade e de vegetação, de acordo com as normas preconizadas pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos da EMBRAPA (EMBRAPA, 1988).

3.11.1.1 Descrição das Classes Dominantes

3.11.1.1.1 Latossolo Vermelho Amarelo (LV)

Representa a classe de maior representatividade na área estudada, compreendendo solos com horizonte B latossólico, não hidromórficos, de coloração variando do amarelo ao vermelho e gamas intermediárias.

As principais características do B latossólico são: baixa relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Ki), normalmente inferior a 2,0 (raramente atingindo 2,3), revelando o avançado grau de intemperização; baixa capacidade de troca de cátions na fração argila, em virtude do material do solo ser constituído predominantemente por oxihidróxidos e minerais argilosos do tipo 1:1 (notadamente do grupo das caulinitas), quartzo e outros minerais altamente resistentes ao intemperismo, as Fotos 08, 09 e 10 mostram detalhes desta classe de solo. Os minerais

primários de fácil decomposição estão ausentes, ou presentes em quantidades diminutas.

Perfil: Encosta côncava

Classificação: Latossolo Vermelho-Amarelo;

Formação geológica: embasamento cristalino;

Litologia: detritos da intemperização do gnaise;

Situação e declive: terço médio-inferior da encosta com 20-35% de declive;

Relevo: forte ondulado;

Erosão: laminar ligeira;

Drenagem: bem drenado;

Vegetação: floresta tropical subperenifólia;

Uso atual: pastagem, culturas e mata.



Foto 08 – Detalhe da vegetação e topografia das encostas dos morros, em área de transição do Latossolo Vermelho Amarelo para o Argissolo.



Foto 09 – Perfil típico do Latossolo Vermelho Amarelo encontrado no terço médio e inferior das encostas.

Perfil: Encosta convexa e Topo

Classificação: Latossolo Vermelho Amarelo Álico, A moderado, textura muito argilosa

Formação geológica: embasamento cristalino;

Litologia: detritos da intemperização do gnaiss;

Situação e declive: terço superior da encosta, com 20-30% de declive e topo de morro com 5% de declividade;

Relevo: ondulado e suave ondulado

Erosão: não-aparente;

Drenagem: acentuadamente drenado;

Vegetação: floresta tropical subperenifólia;

Uso atual: pastagem, cafeeiro, eucaliptal e mata.



Foto 10 – Perfil típico do Latossolo Vermelho Amarelo encontrado no terço médio e superior das encostas e nos topos de morros

3.11.1.1.2 Argissolo Vermelho-Amarelo (AR)

Esta classe é constituída por solos com horizonte B textural, não hidromórficos, e normalmente profundos ou moderadamente profundos, com perfis bem diferenciados, possuindo seqüência de horizontes A, B e C, de estrutura mais desenvolvida e presença de cerosidade capeando os agregados encontrados no horizonte B. A Foto 11 mostra uma área de domínio desta classe de solo.

Perfil: Terraço

Classificação: Argissolo Vermelho-Amarelo A moderado, textura média/argilosa;

Formação geológica: Quaternário;

Litologia: detritos colúvio-aluviais;

Situação e declive: terraço fluvial, com 2 % de declividade;

Relevo: plano;

Erosão: não-aparente;

Drenagem: moderadamente drenado;

Vegetação: floresta tropical subperenifólia;

Uso atual: culturas agrícolas, pasto e uso urbano.



Foto 11 – Área de terraço, de domínio do Argissolo, cultivada com culturas anuais (milho).

3.11.1.1.3 Cambissolo (C)

Esta classe compreende solos não hidromórficos, com horizonte B incipiente. São encontrados solos com horizontes A (B) e C pouco diferenciados, com baixo gradiente textural entre o A e o (B) e normalmente baixa capacidade de troca de cátions. A Foto 12 mostra uma área típica de ocorrência desta classe de solo.

A baixa fertilidade natural, a falta d'água e a susceptibilidade à erosão são os fatores que mais limitam a utilização dos solos cambissolos distróficos e álicos.

Perfil: Encosta íngreme

Classificação: Cambissolo Latossólico Álico A moderado, textura argilosa;

Formação geológica: embasamento cristalino;

Litologia: sedimentos da intemperização do gnaisse;

Situação e declive: terço médio-superior da encosta, com 65-75% de declive;

Relevo: montanhoso

Erosão: laminar moderada e forte em pontos localizados;

Drenagem: bem drenado;

Vegetação: floresta tropical subperenifólia;

Uso atual: pastagem.



Foto 12 – Detalhe do “anfiteatro”, ao fundo, comum nas encostas dos morros da Zona da Mata Mineira, onde se encontra os Cambissolos.

3.11.2 Caracterização Pedológica Local

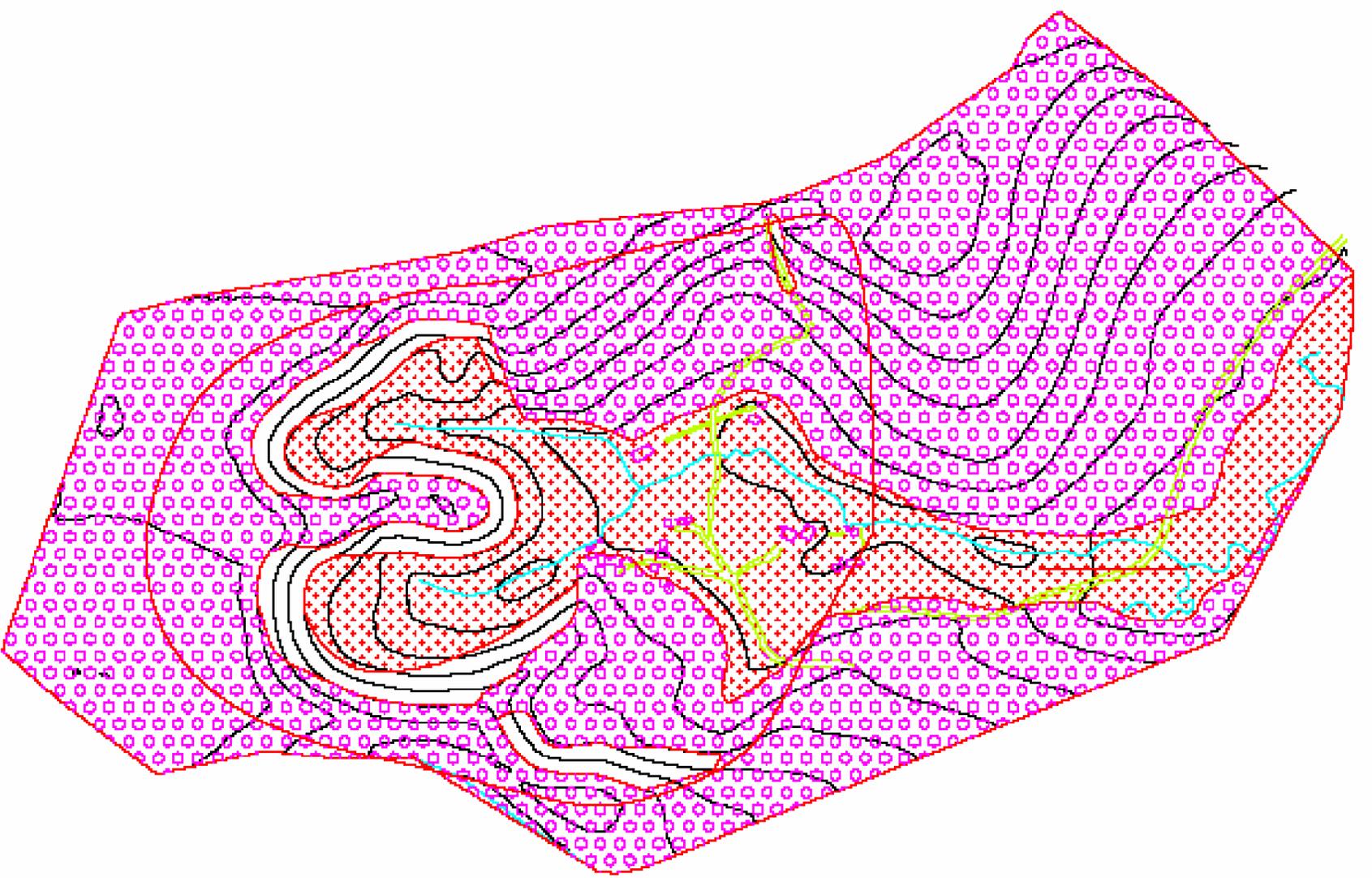
Com relevo geral montanhoso, a Zona da Mata Mineira é uma região com dominância de Latossolos Vermelho-Amarelos, seguido pela classe dos Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos.

A classe dos Latossolos ocupa, geralmente, as superfícies convexas do terço superior das encostas menos íngremes e o topo dos morros, além das superfícies convexas do terço médio-inferior das encostas. Nas encostas muito declivosas (declividade maior que 65 %) aparece a classe dos Cambissolos. A classe dos Argissolos está presente nos terraços e em alguns locais do terço inferior das encostas. No leito maior dos cursos d’água são encontrados, também solos hidromórficos, porém dada à insignificante área que ocupam, não foram considerados neste levantamento.

Na Tabela 01 e no Mapa Pedológico mostrado na Figura 22, está apresentada a distribuição, por área, das classes de solo, de acordo com levantamento feito no local.

Tabela 01 - Distribuição das principais classes de solo no local em estudo, no Município de Paula Cândido.

Classes de Solos	Área (ha)	%
Latossolo Vermelho-Amarelo	49,16	71,41
Argissolo Vermelho-Amarelo	15,27	22,18
Cambissolo	4,41	6,41
Total	68,84	100,00



Escala - 1:5.000

LEGENDA

Classe de solo	Área
 Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	49,16 ha
 Argissolo (PVA)	15,27 ha
 Cambissolo (CX)	4,41 ha

Mapa Pedológico
Paula Cândido, Minas Gerais

Executor do Levantamento
DS. Antônio Teixeira de Matos
Engenheiro Agrônomo-CREA-30251/D
DS. Solos e Nutrição de Plantas

ÁREA LEVANTADA = 68,84 ha

FEVEREIRO/2003

Figura 22 – Mapa pedológico.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

No desenvolvimento deste trabalho, utilizaram-se os seguintes materiais:

- i. mapa topográfico planialtimétrico da área de pesquisa, em escala 1:2.000;
- ii. dados climatológicos fornecidos pela Estação Meteorológica de Viçosa;
- iii. dados dos níveis d'água, obtidos dos poços de observação instalados na área de pesquisa;
- iv. ensaios SPT, usados na elaboração do Mapa Geológico e na instalação dos poços de observação do NA;
- v. dados de vazão do córrego que drenam a microbacia, obtidos através da instalação de um vertedouro triangular de 90°;
- vi. dados de vazão da fonte hidromineral, medidas por meio da instalação de hidrômetro;
- vii. software SH 2.0, desenvolvido pelo GPRH/DEA (Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV).
- viii. dados de permeabilidade *in situ* obtidos por meio do Permeâmetro Guelph.

4.2 Monitoramento do aquífero freático e das águas superficiais

Foram instalados cinco poços de observação do nível d'água na área de ocorrência do aquífero granular freático, com a finalidade de acompanhar as variações dos NA ao longo de um ano hidrológico. Estes poços têm profundidades de 8m e foram perfurados pelo mesmo aparelho utilizado nas sondagens SPT. A realização destes cinco furos também serviu como uma informação a mais na confecção das seções geológicas. Após a execução dos furos, instalou-se os poços de observação do NA, que são constituídos de 2m de tubo de PVC de 75mm de diâmetro, todo perfurado e envolto por uma membrana geosintética, um cap de 75mm, uma redução de 75mm para 25mm e 6,5m de tubo de PVC de 25mm, tamanho suficiente para que o topo do mesmo ultrapasse o nível do terreno em 0,5m.

No monitoramento da vazão do curso d'água presente na área de pesquisa utilizou-se um vertedouro triangular de parede delgada, confeccionado em chapa de aço. Dentro da área de pesquisa há três nascentes, duas das quais dão origem ao córrego existente na área e outra, que devido a excelente qualidade de sua água, será explorada comercialmente e por isto, possui um sistema de captação que passa por um hidrômetro. As medições de vazões desta fonte também serão incluídas na quantificação da descarga de água subterrânea, uma vez que, esta não está considerada nas vazões medidas no córrego.

O monitoramento dos níveis d'água nos poços de observação foram realizados por meio de uma sonda elétrica, fornecida pelo Laboratório de Engenharia Civil da UFV. As medições dos níveis d'água juntamente com as medições da vazão do córrego e da nascente d'água foram realizadas semanalmente. O intervalo de monitoramento dos níveis d'água, das vazões da nascente e do córrego, foi de março de 2005 a março de 2006, completando um ano hidrológico.

4.3 Estimativa da recarga de águas subterrâneas

4.3.1 Estimativa pelo método do Balanço Hídrico

Um dos métodos para estimativa da recarga de águas subterrâneas que será utilizado é o balanço hídrico diário, que foi realizado por meio do *software* SH 2.0 desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Agrícola da UFV e disponível no site www.ufv.br/dea/gprh. Este *software* tem como campos de entrada de dados: a precipitação diária e sua respectiva duração, a temperatura média diária, a insolação diária, a velocidade do vento, a umidade relativa mínima do ar, o coeficiente de cultura, a profundidade do solo, a umidade inicial e observada do solo, o albedo, a altura da planta, quando for o caso, a altitude, as coordenadas geográficas do local da simulação, a umidade de saturação, a umidade do solo na capacidade de campo, a condutividade hidráulica do solo saturado, o ponto de murcha permanente e o potencial matricial médio na frente de molhamento. A simulação hidrológica foi realizada levando-se em conta os dados hidroclimatológicos da cidade de Viçosa, os quais foram fornecidos pela estação meteorológica da UFV.

Após a definição dos parâmetros de entrada a serem utilizados no *software* SH 2.0 e entrada dos dados hidroclimatológicos diários, como mostrado nas Figuras 23 e 24, rodou-se o programa para cada mês, sempre se levando em conta a iteratividade da simulação. Na simulação hidrológica realizada por meio do *software* SH 2.0, a evapotranspiração foi calculada pelo método de Penman-Monteith e a infiltração foi determinada com base no modelo de infiltração de água no solo proposto por Green-Ampt. Porém, alguns parâmetros de entrada do modelo de Green-Ampt foram mudados levando-se em conta as recomendações feitas por CECÍLIO (2005). Devido à falta de dados climatológicos referentes aos meses de janeiro e fevereiro de 2006, o balanço hídrico foi realizado no período compreendido entre janeiro e dezembro de 2005.

O *software* SH 2.0 calcula a recarga potencial, que corresponde à água que ultrapassa a zona das raízes do solo e que porventura pode não alcançar o lençol freático. A recarga potencial é definida como sendo o excesso de infiltração de água que possivelmente irá movimentar descendentemente até alcançar o lençol freático.

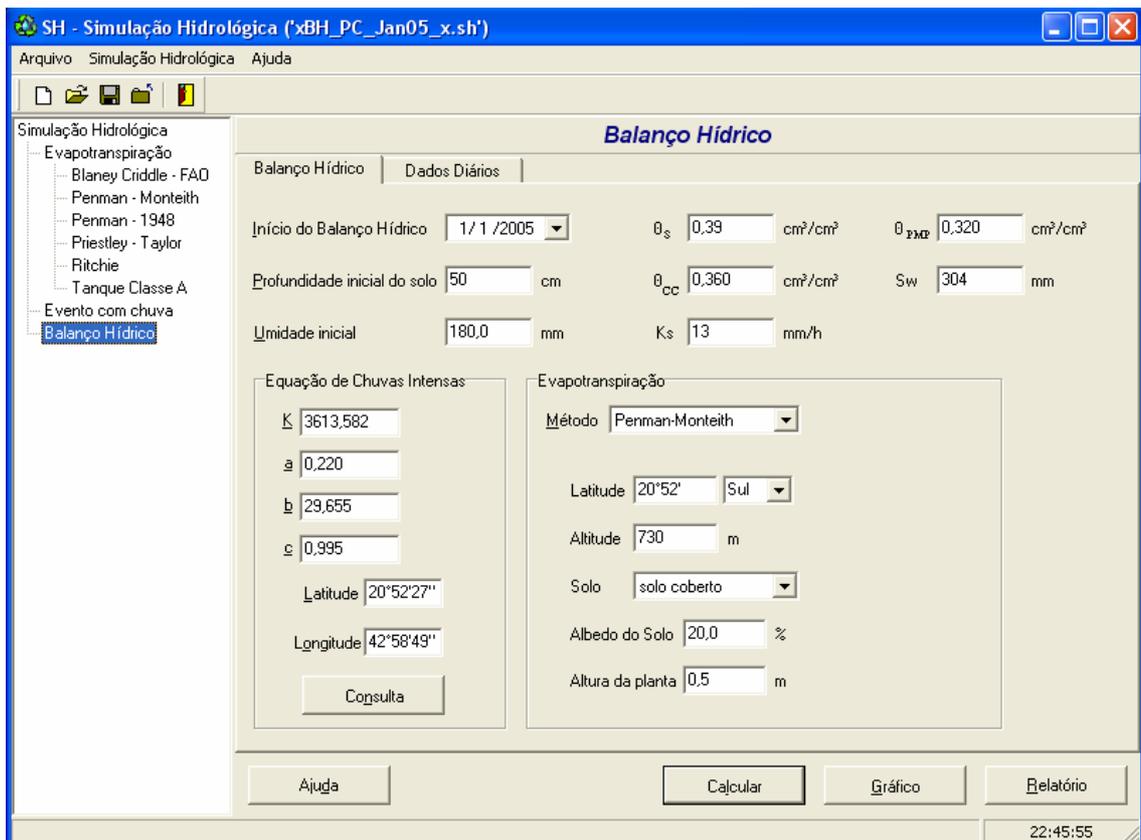


Figura 23 - Tela de entrada de dados iniciais referentes a cada mês simulado. Nesta Figura estão representados os dados iniciais referentes ao mês de Janeiro.

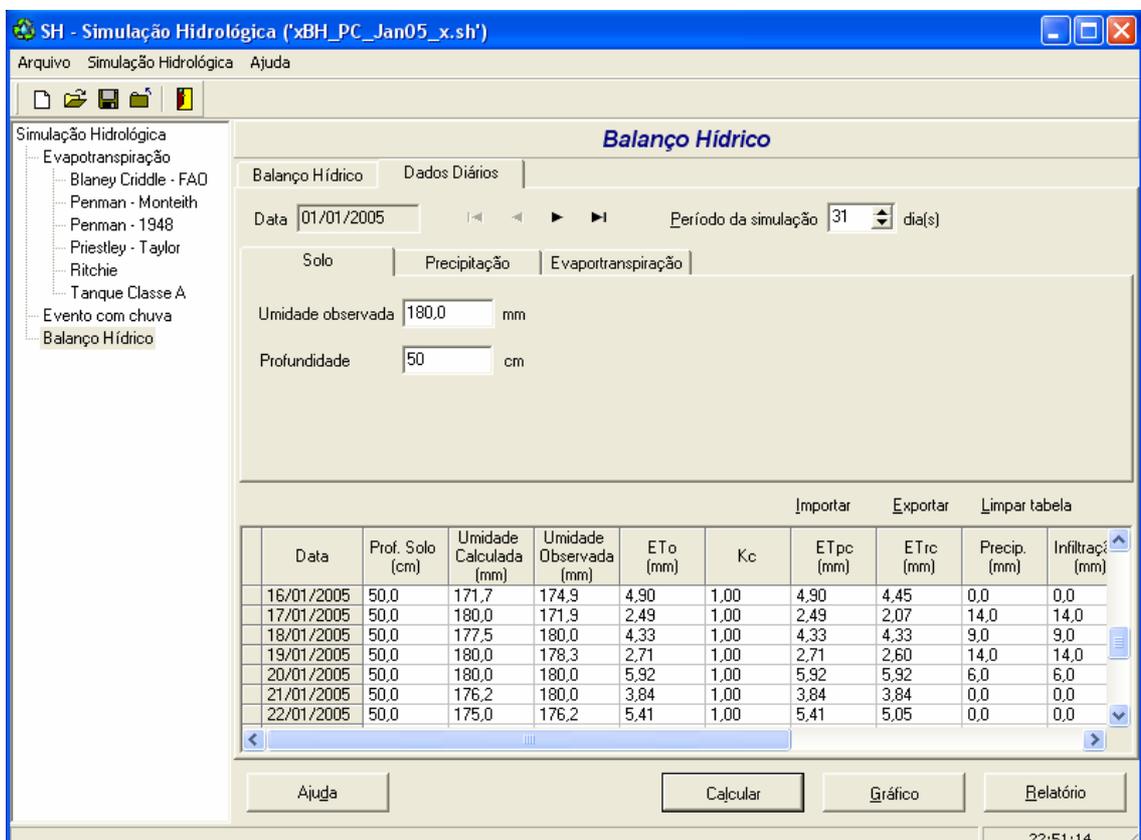


Figura 24 – Tela de entrada dos dados diários.

4.3.1.1 Definição dos parâmetros de entrada do modelo

Teor de umidade na zona de transmissão

Na determinação do teor de umidade na zona de transmissão, CECÍLIO (2002) propõe a utilização de valores de θ_w (teor de umidade na zona de transmissão) variando entre $0,79\theta_s$ (teor de umidade de saturação) a $0,81\theta_s$ para um Latossolo-vermelho-amarelo de textura argilosa e entre $0,85\theta_s$ a $0,86\theta_s$ para um de textura franca. MELLO, citado por CECÍLIO (2005), estudando Latossolo Vermelho-Amarelo, encontrou valores relativos de θ_w que aumentaram com a densidade do solo, segundo o qual, estes valores variaram entre $0,76\theta_s$ a $0,92\theta_s$, para solo com textura muito argilosa, e entre $0,81\theta_s$ a $0,94\theta_s$, para solos de textura franca. A umidade de saturação (θ_s) do solo é de 0,49, valor este encontrado na caracterização física deste solo, e com isto, o teor de umidade na zona de transmissão é de 0,39, que corresponde a $0,80\theta_s$.

Potencial matricial na frente de molhamento (ψ_f)

BOWER, citado por RODRIGUES (1999), recomenda que o valor do potencial matricial na frente de molhamento seja metade da pressão de borbulhamento (P_b). O valor de P_b é obtido a partir da curva de retenção de água no solo sendo seu valor correspondente ao valor da tensão aplicada ao solo quando a umidade em volume é igual à porosidade do mesmo, ou de outra forma, P_b corresponde ao valor da tensão na qual começa a entrar ar no solo. HILLEL (1980), citado por CECÍLIO (2002), comenta que para um solo inicialmente seco, o valor deste parâmetro é da ordem de 0,5 a 1,0 m.c.a.

A curva de retenção utilizada neste trabalho foi retirada do trabalho de LISBOA (2006), e se encontra na Figura 25.

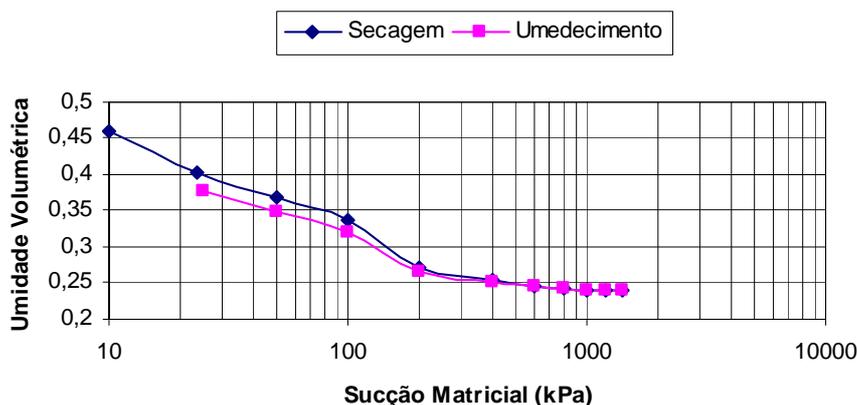


Figura 25 - Curva de retenção de água no solo (LISBOA, 2006).

O valor do ponto de borbulhamento foi adotado como sendo 10kPa, que equivale a 1 m.c.a. Seguindo a recomendação de BOWER, chega-se ao valor da tensão matricial na frente de umedecimento, que neste caso é de 0,5 m.c.a ou 500 mm.c.a.

RISSE et al. e RAWLS et al. citados por CECÍLIO (2005), recomendam, para o cálculo de ψ_f (em mm), a seguinte equação:

$$\psi_f = 0,01 \cdot e^\alpha \quad \text{Equação 06}$$

$$\alpha = 6,531 - 7,326\theta_w + 15,8C^2 + 3,809\theta_w^2 + 3,44SC - 4,989S\theta_w + \\ + 16,1S^2\theta_w^2 + 16C^2\theta_w^2 - 13,6S^2C - 34,8C^2\theta_w - 7,99S^2\theta_w$$

$$\alpha = 3.39$$

em que,

S = teor de areia, decimal;

C = teor de argila, decimal.

van Mullem, citado por RAWLS et al. (1996) sugere que o valor de ψ_f (em cm) seja calculado com base na condutividade hidráulica do solo saturado (em $\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$), a partir da Equação 07.

$$\psi_f = 49,03(K_0 + 0,02)^{-0,4932} \quad \text{Equação 07}$$

O potencial matricial na frente de molhamento calculado pela Eq. 6 é de 297mm, enquanto que, calculado pela Equação. 07 é de 310mm. Diante destes valores, adotar-se-á a média entre eles, o que nos dá um valor igual a 304mm. O valor de 500mm encontrado pela recomendação de BOWER, não será utilizado por ser menos confiável que os valores encontrados pelas equações 06 e 07.

Capacidade de campo

O valor da capacidade de campo é considerado na prática como sendo a umidade volumétrica correspondente a uma tensão aplicada de 1/3 atm. Mas, este valor de tensão pode sofrer mudanças a depender do tipo de solo. Neste estudo foi utilizado o valor de 30 kPa. Na curva de retenção de água no solo da Figura 25, o teor de umidade volumétrico correspondente a uma tensão aplicada de 30 kPa é de 0,39.

Ponto de murcha permanente

O ponto de murcha permanente corresponde ao limite inferior de umidade do solo abaixo do qual as plantas não conseguem retirar água do solo. Comumente assume-se que essa umidade do solo corresponde a um potencial matricial de -15 atm (-1,5 MPa). Levando-se o em conta este valor de sucção obtém-se, a partir da curva de retenção mostrada na Figura 25, o valor do ponto de murcha permanente igual a 0,24.

Profundidade do solo

A profundidade do solo foi tida como sendo a média ponderada das profundidades máxima atingida pelas raízes das espécies vegetais mais comuns na área de pesquisa. Conforme se verifica no mapa de uso do solo/ tipo de cobertura vegetal, o tipo de cobertura vegetal mais comum, na área pesquisada, são as pastagens. As raízes deste tipo de vegetação apresentam uma profundidade máxima de 40 cm. Na microbacia estudada há também a presença de mata nativa, eucalipto e capim, utilizado na alimentação de gado, e o valor de profundidade do solo considerado é uma função da proporção que cada tipo de vegetação ocupa e sua respectiva profundidade de raiz. Com isto, o valor da profundidade do solo adotada foi de 50 cm, conforme apresentado na Tabela 02.

Tabela 02. Valores da profundidade de raízes e suas respectivas áreas de ocupação.

	Pastagem**	Mata Nativa*	Eucalipto*	Café**	Capinheira*
Prof. das raízes (cm)	40	500	250	50	40
Área (ha)	34,60	0,65	0,75	0,75	1,00
Média ponderada da prof. das raízes (cm)	50				

*ALMEIDA & SOARES,2003

** CPNH/EMBRAPA

Condutividade hidráulica da zona de transmissão (K_w)

BOUWER, citado por CECÍLIO (2005), sugere que K_w seja igual a $0,5K_0$, onde K_0 , é a condutividade hidráulica do solo saturado. MOORE, citado por CECÍLIO (2005), mostra que a literatura indica um valor mínimo de K_w igual a

0,4K₀ enquanto CHÉRIF, citado por CECÍLIO (2005), encontrou um valor máximo igual a 0,62 K₀. Como o valor da condutividade hidráulica do solo saturado é de 25mm/h a condutividade hidráulica na zona de transmissão foi adotado como sendo igual a 13mm/h, que corresponde, aproximadamente, a 0,5K₀.

Teor de umidade inicial do solo e teor de umidade observada

O teor de umidade a ser inicialmente usado na simulação foi estimado com base na capacidade de campo e na precipitação nos dias antecedentes ao início da simulação, sendo assim, considerou-se que o solo se encontrava na capacidade de campo após a ocorrência de dias consecutivos de precipitação. O teor de umidade a ser utilizado no dia subsequente foi retirado da própria simulação hidrológica realizada para o dia anterior, realizando-se um processo iterativo, em que a umidade calculada pelo *software* foi utilizada como sendo a umidade observada para o dia seguinte.

Dados climatológicos

Em virtude de não se dispor de dados climatológicos referentes ao local onde se realizou a pesquisa, os dados climatológicos utilizados na simulação hidrológica foram fornecidos pela estação meteorológica da UFV e se encontram no Anexo B, que não são muito diferentes daqueles esperados para a microbacia estudada.

Na simulação hidrológica também é necessário saber o tempo de duração da precipitação diária, dado não fornecido pela estação meteorológica da UFV. Como solução para este problema, utilizou-se o *software* CLIMA BR 2.0, desenvolvido pelo GPRH (Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos) do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV e que gera uma série sintética com todos os dados climatológicos. Após a geração da série sintética, selecionou-se o tempo de duração da precipitação adotando-se o seguinte critério: pegou-se o primeiro valor do tempo de duração encontrado na série para a mesma lâmina precipitada e para o mesmo mês da precipitação real. A série foi gerada para um período de 10 anos.

4.3.2 Estimativa pelo Método da variação dos níveis d'água (VNA ou WTF)

4.3.2.1 Monitoramento dos níveis d'água

O monitoramento dos níveis estáticos do lençol freático foi feito por meio de medições semanais realizadas com uma sonda elétrica, a qual é composta de 30m de cabo, uma ponteira e um dispositivo elétrico que fica na extremidade do cabo e acende quando a ponta está em contato com a água.

As medições do nível d'água foram sempre realizadas no mesmo horário, com o intuito de diminuir os erros de leitura provenientes de outras variações do nível freático que não sejam provenientes da recarga.

Para o monitoramento do nível d'água subterrâneo foram instalados 5 poços de observação. Porém, 4 destes poços vieram a secar no decorrer do tempo, ficando a representatividade da estimativa de recarga prejudicada, devido a tal acontecimento. Porém, em função da homogeneidade do terreno na área de estudo, não se espera que a quantidade de recarga sofra grandes variações localmente. A locação dos poços de observação em relação à área de pesquisa esta mostrada na Figura 26.

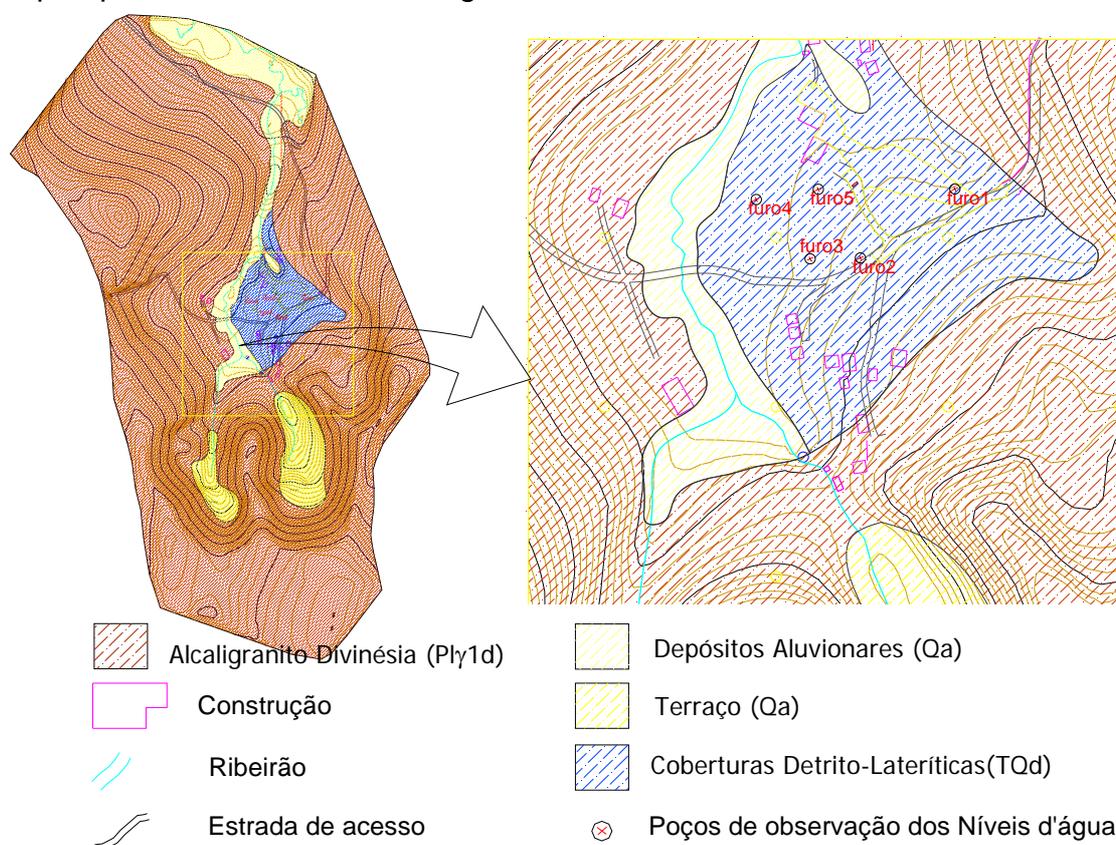


Figura 26 – Localização dos poços de observação em relação à área de pesquisa.

4.3.2.2 Características do método

O método VNA pode ser visto como uma aproximação integrada e não como uma medida pontual, quando comparado com os métodos aplicados na zona não-saturada (HEALY & COOK, 2002). No entanto, o método tem as seguintes limitações:

- O método é mais bem aplicado a níveis freáticos rasos que exibem súbitas elevações e declínios do nível d'água. Aquíferos profundos podem não exibir súbitas variações, resultado de frentes de umidade que tendem a dispersar-se ao percorrer longas distâncias (SCANLON et al., 2002, HEALY & COOK, 2002).
- As taxas de recarga variam substancialmente dentro de uma bacia, devido a diferenças na topografia, geologia, declividade da superfície do terreno, vegetação, e outros fatores. A maior dificuldade está na locação dos piezômetros que representem espacialmente as fontes de recarga (HEALY & COOK, 2002).
- A taxa de recarga não pode ser constante para o evento. Se a taxa de recarga for constante e igual à taxa de descarga, os níveis d'água não mudariam e o método VNA estimaria recarga nula (HEALY & COOK, 2002).
- O nível da água subterrânea sobe e desce em resposta a muitos fenômenos diferentes e as flutuações nem sempre são indicativas de recarga ou descarga de água subterrânea (HEALY & COOK, 2002).
- Geralmente, níveis d'água subterrânea flutuam de acordo com as características dos eventos de precipitação (quantidade, duração e intensidade) e de várias variáveis hidrogeológicas (topografia, espessura da zona não-saturada e composição dos materiais da zona saturada e não-saturada da formação) (MOON et al., 2004).
- A incerteza gerada por este método está relacionada à precisão com que o rendimento específico pode ser determinado e até que ponto as suposições inerentes ao método são válidas (HEALY & COOK, 2002).

Uma elevação do nível d'água representa os efeitos combinados da recarga para um evento de precipitação e da precedente condição de descarga. Por isso, taxas de recarga podem ser superestimadas pelo método VNA (HEALY & COOK, 2002).

O método da variação dos níveis d'água (VNA) parte da premissa de que toda variação dos níveis d'água em aquíferos livres deve-se à água que chega ao lençol freático, sendo a recarga calculada pela Equação 08.

$$R = S_y \cdot \frac{dh}{dt} = S_y \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad \text{Equação 08}$$

onde,

S_y = produção específica ou rendimento específico;

h = altura do nível d'água;

t = tempo.

O valor de S_y pode ser obtido a partir da curva de retenção de água no solo, através da Equação 09.

$$S_y = n - S_r \quad \text{Equação 09}$$

onde,

n = porosidade (todos os poros estão interconectados),

S_r = retenção específica do solo.

A Equação 09 pode ser reescrita como,

$$S_y = S_r - CC \quad \text{Equação 10}$$

onde,

S_r = saturação do solo (vol/vol);

CC = capacidade de campo, que é o teor de umidade volumétrica correspondente a um tensão aplicada de 30 kPa.

Uma formulação empírica para a avaliação do rendimento específico é a equação de Biecinski, que relaciona o valor do rendimento específico com o valor da condutividade hidráulica através da seguinte expressão:

$$S_y = 0,117 \cdot \sqrt[3]{K} \quad \text{Equação 11}$$

onde, K é a condutividade hidráulica expressa em m/dia.

O rendimento específico obtido pela Equação 10, forneceu um valor igual a 0,13, enquanto a Equação 11 forneceu um valor de 0,11, tendo sido adotado o valor 0,13, pelo fato da Equação 10 ser menos empírica que a Equação 11 .

Após a obtenção do rendimento específico (S_y) a Equação 8 pode ser aplicada para cada elevação individual do nível d'água, determinando uma estimativa da recarga total, onde Δh é igual à diferença entre o pico de subida e o ponto mais baixo da curva de recessão antecedente extrapolada até o instante do pico (HEALY & COOK, 2002). A curva de recessão antecedente é o traço que a hidrógrafa do poço de monitoramento teria seguido na ausência de

elevação do nível d'água. Essa manipulação é subjetiva e tenta acomodar a função de defasagem entre o início da precipitação e conseqüente início do processo de recarga, resultante do processo natural de descarga (MAZIERO & WENDLAND, 2005).

4.3.3 Estimativa pela medição da descarga de água subterrânea.

Uma maneira de se estimar a recarga de água subterrânea em um sistema aquífero em equilíbrio é através da medição da descarga de águas subterrâneas. Este método parte do princípio de que se o sistema aquífero está em equilíbrio, a quantidade de água que entra no aquífero (recarga) é igual a quantidade de água que sai deste aquífero (descarga). Então a recarga pode ser estimada medindo-se todas as descargas do aquífero (fluxo de base, vazão de nascentes, etc.).

As descargas que ocorrem na área pesquisada são três nascentes de água, duas das quais dão origem a um curso d'água (córrego do Sapo) que drena a área pesquisada. A outra nascente, que é uma fonte hidromineral, está situada em uma porção mediana em relação à microbacia e suas medições de vazão foram realizadas por meio de um hidrômetro. As medições de vazão do curso d'água foram realizadas por meio da instalação de um vertedouro triangular. As medições de vazão, sempre que possível, foram realizadas semanalmente.

Não foram computados nas medições de descarga de água subterrânea os valores de vazão medidos no curso d'água logo após a ocorrência de um evento de precipitação. Isto se justifica pelo fato de que, durante um evento de precipitação, o curso d'água aumenta seu volume de água em conseqüência do escoamento superficial e com este aumento, o curso d'água, que normalmente é efluente em relação ao aquífero, passa a ser influente, fazendo com ocorra uma elevação do lençol freático próximo ao curso d'água. Porém, passado algum tempo após a influência do escoamento superficial sobre a vazão do curso d'água, esta ainda se encontra ao nível mais elevado do que o normal em função da recessão ou depleção, que são devidas à elevação temporária do lençol freático às margens do canal. Deste modo, não serão computados os valores de pico observados nas medições de vazão.

As medições de vazão realizadas no vertedouro, não têm a intenção de medir o escoamento superficial, já que para tal fim, o intervalo entre as

medições deve ser muito menor. A vazão adotada como sendo a vazão de descarga do aquífero, não leva em conta os valores de pico registrados no córrego, pois, estes são devidos às contribuições do escoamento superficial em decorrência de eventos de chuva. A vazão de descarga foi calculada pela média dos valores registrados na fonte e pela média dos valores registrados no curso d'água, retirando-se deste cálculo os valores de pico.

As duas nascentes, a fonte hidromineral, o córrego, o local de instalação do vertedouro e a área de contribuição da recarga estão mostrados na Figura 27.

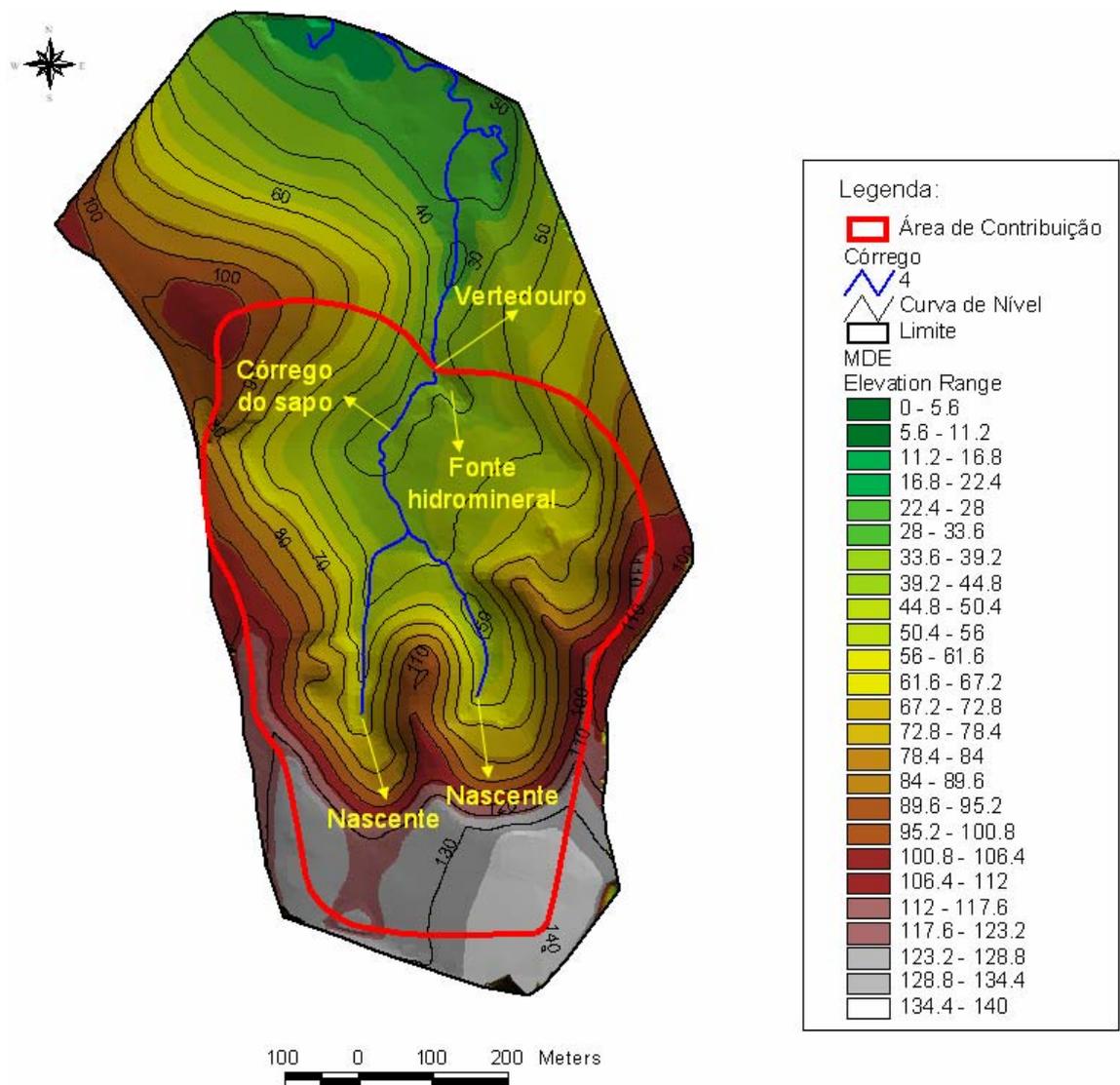


Figura 27 – Delimitação da área de recarga do aquífero em relação à microbacia.

5. RESULTADOS

5.1 Método da Variação dos Níveis D'água (VNA)

5.1.1 Monitoramento dos níveis d'água do aquífero livre

Os resultados das medições do nível d'água subterrâneo realizados nos cinco poços de observação instalados no aquífero freático estão mostrados no Quadro 02.

Quadro 02 - Resultado das medições dos níveis d'água em relação a superfície do terreno ao longo do tempo.

Data	Prof. do nível d'água no Furo 1 (m)	Prof. do nível d'água no Furo 2 (m)	Prof. do nível d'água no Furo 3 (m)	Prof. do nível d'água no Furo 4 (m)	Prof. do nível d'água no Furo 5 (m)
11-mar	6,56	8.08	3,59	5,46	5,89
18-mar	6,52	seco	4,01	5,42	6,02
25-mar	6.53	seco	4,63	5,36	6,22
31-mar	6,54	seco	4,54	5,31	6,42
8-abr	6,53	seco	4,60	5,31	6,53
14-abr	seco	seco	4,67	5,33	6,72
21-abr	seco	seco	4,65	5,45	6,82
28-abr	seco	seco	4,76	5,46	6,94
6-mai	seco	seco	4,76	5,47	6,98
12-mai	seco	seco	4,75	5,50	7,12
19-mai	seco	seco	4,79	5,51	7,15
25-mai	seco	seco	4,86	5,52	7,21
2-jun	seco	seco	4,80	5,53	7,19
9-jun	seco	seco	4,78	5,54	7,18
17-jun	seco	seco	seco	5,56	seco
23-jun	seco	seco	seco	5,58	seco
30-jun	seco	seco	seco	5,60	seco
8-jul	seco	seco	seco	5,63	seco
15-jul	seco	seco	seco	5,66	seco
22-jul	seco	seco	seco	5,68	seco
29-jul	seco	seco	seco	5,70	seco
5-ago	seco	seco	seco	5,73	seco
13-ago	seco	seco	seco	5,76	seco
20-ago	seco	seco	seco	5,78	seco
27-ago	seco	seco	seco	5,81	seco
3-set	seco	seco	seco	5,85	seco
10-set	seco	seco	seco	5,90	seco
17-set	seco	seco	seco	5,92	seco
22-set	seco	seco	seco	5,96	seco
26-set	seco	seco	seco	5,97	seco
30-set	seco	seco	seco	5,98	seco
11-out	seco	seco	seco	6,01	seco
15-out	seco	seco	seco	6,02	seco
22-out	seco	seco	seco	6,05	seco

Quadro 02 - Resultado das medições dos níveis d'água em relação a superfície do terreno ao longo do tempo. Continuação.

Data	Prof. do nível d'água no Furo 1 (m)	Prof. do nível d'água no Furo 2 (m)	Prof. do nível d'água no Furo 3 (m)	Prof. do nível d'água no Furo 4 (m)	Prof. do nível d'água no Furo 5 (m)
29-out	seco	seco	seco	6,09	seco
5-nov	seco	seco	seco	6,08	seco
12-nov	seco	seco	seco	6,04	seco
19-nov	seco	seco	seco	6,01	seco
27-nov	seco	seco	seco	5,97	seco
4-dez	seco	seco	seco	5,93	seco
10-dez	seco	seco	seco	5,90	seco
17-dez	seco	seco	seco	5,74	seco
22-dez	seco	seco	seco	5,56	seco
30-dez	seco	seco	seco	5,46	seco
4-jan	seco	seco	seco	5,43	seco
13-jan	seco	seco	seco	5,43	seco
21-jan	seco	seco	seco	5,45	seco
26-jan	seco	seco	seco	5,47	seco
3-fev	seco	seco	seco	5,48	seco
10-fev	seco	seco	seco	5,49	seco
17-fev	seco	seco	seco	5,50	seco
26-fev	seco	seco	seco	5,50	seco
8-mar	seco	seco	seco	5,51	seco
12-mar	seco	seco	seco	5,50	seco

5.1.2 Estimativa da recarga pelo Método da VNA

Na estimativa da recarga considerou-se somente o Furo 4, cuja hidrógrafa encontra-se representada na Figura 28.

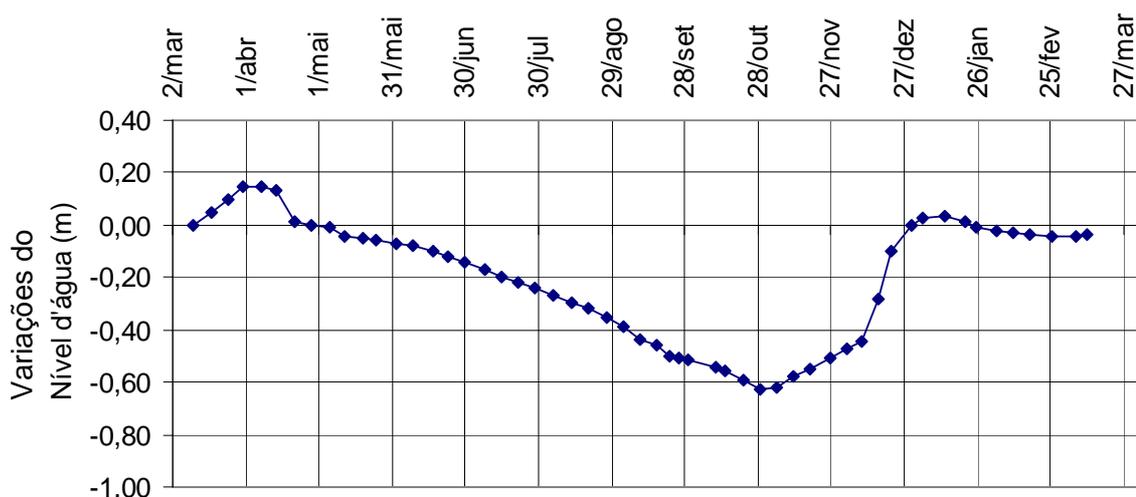


Figura 28 – Variações do Nível d'água subterrâneo ao longo do tempo para o Furo 4.

A partir da hidrógrafa é possível determinar as variações do nível d'água subterrâneo (Δh) a serem consideradas no cálculo da recarga pela Equação 09. A Figura 29 mostra a determinação, graficamente, de tais variações. A curva de recessão mostrada em amarelo, é o traço que a hidrógrafa do poço de observação teria seguido na ausência de elevação do nível d'água (recarga).

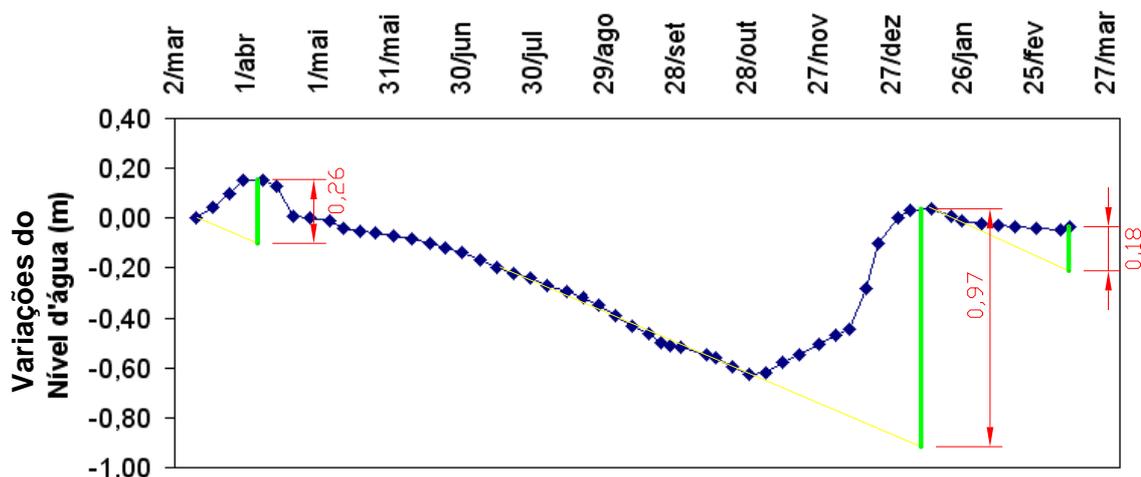


Figura 29 – Hidrógrafa do Furo 4, mostrando as medidas das variações no nível d'água (Δh) em relação às curvas de recessão.

O somatório dos Δh é igual a 1,41m, através da Equação 09, pode-se então calcular a recarga como sendo:

$$R = S_y \cdot \frac{dh}{dt} = S_y \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} = 0,13 \cdot \frac{1410}{1} = 183,3mm$$

5.2 Método do Balanço Hídrico

Os resultados da simulação diária são mostrados para cada mês no Anexo E.

O somatório de todas as percolações profundas (que se encontram no anexo E) calculadas pelo *software* SH 2.0, que corresponde à recarga potencial, foi de 377,0 mm. Este valor é superior ao valor estimado pelo método da variação dos níveis d'água, e as possíveis justificativas para este fato serão discutidas em capítulo seguinte. Os componentes do balanço hídrico, realizado por meio do *software* SH 2.0, para cada mês estão representados graficamente nas Figuras 30 a 41.

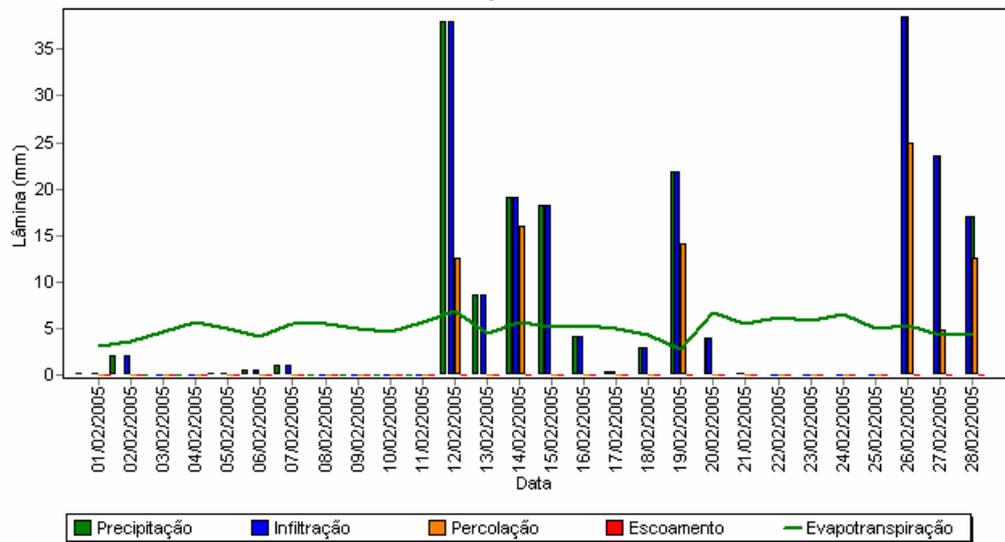


Figura 30 – Componentes do balanço hídrico referentes ao mês de janeiro.

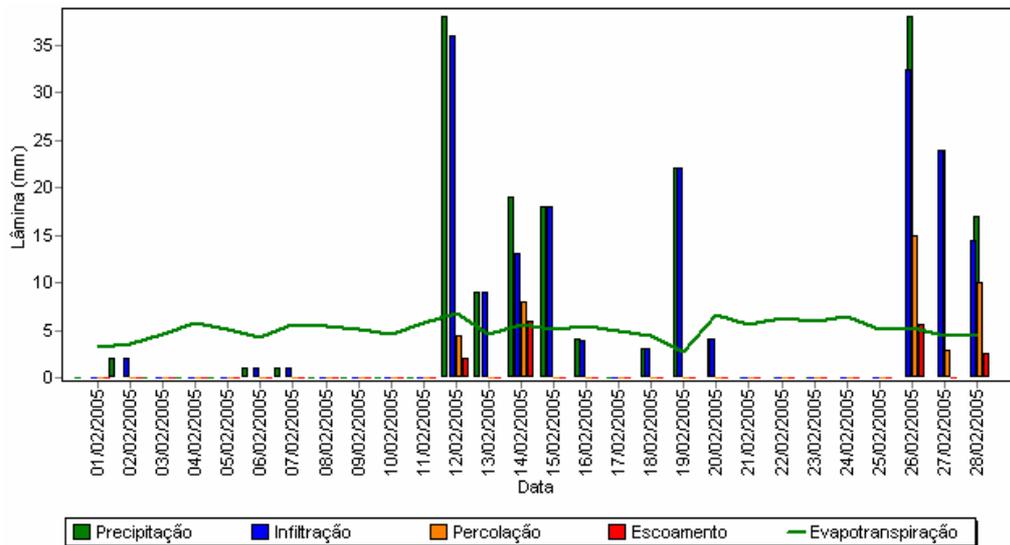


Figura 31 – Componentes do balanço hídrico referentes ao mês de fevereiro.

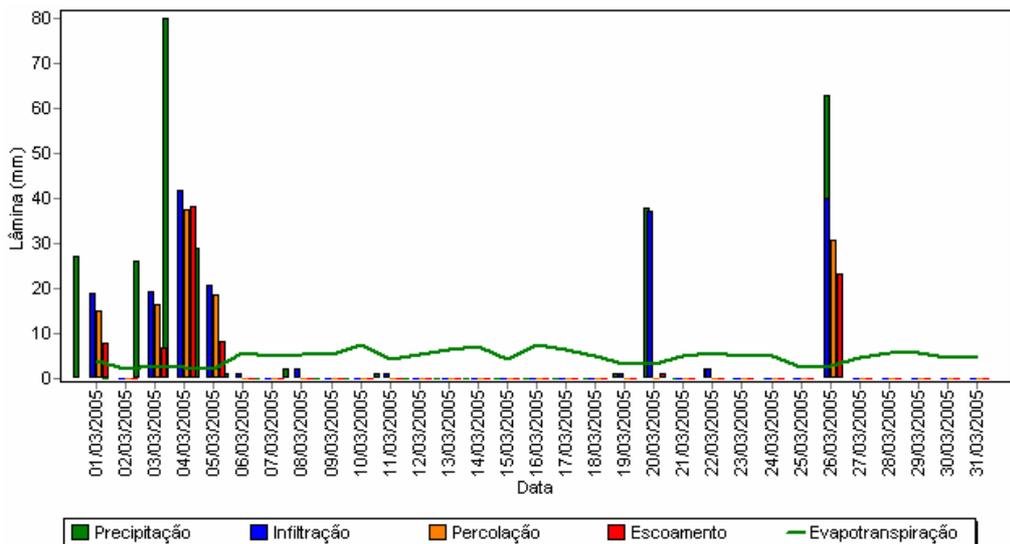


Figura 32 – Componentes do balanço hídrico referentes ao mês de março.

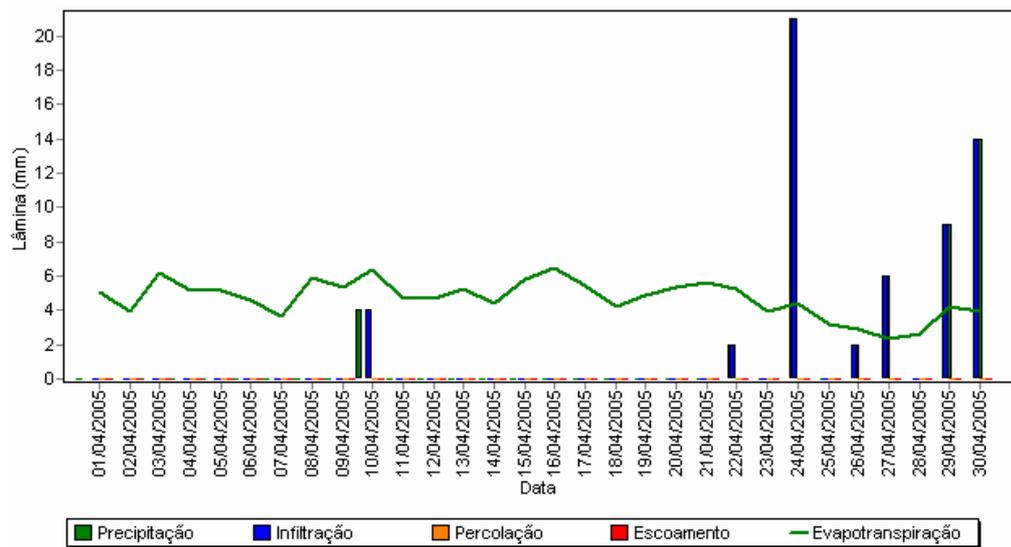


Figura 33 – Componentes do balanço hídrico referentes ao mês de abril.

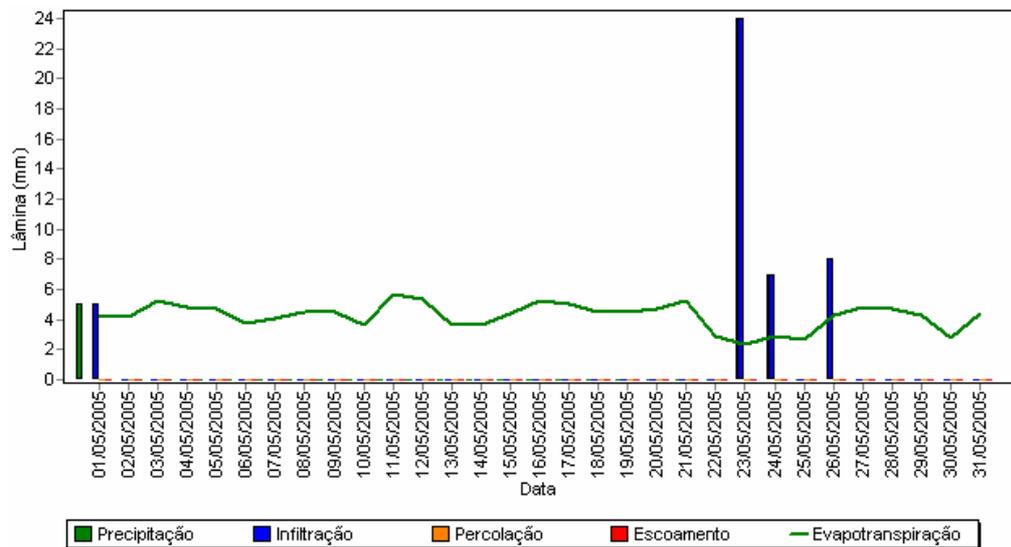


Figura 34 – Componentes do balanço hídrico referentes ao mês de maio.

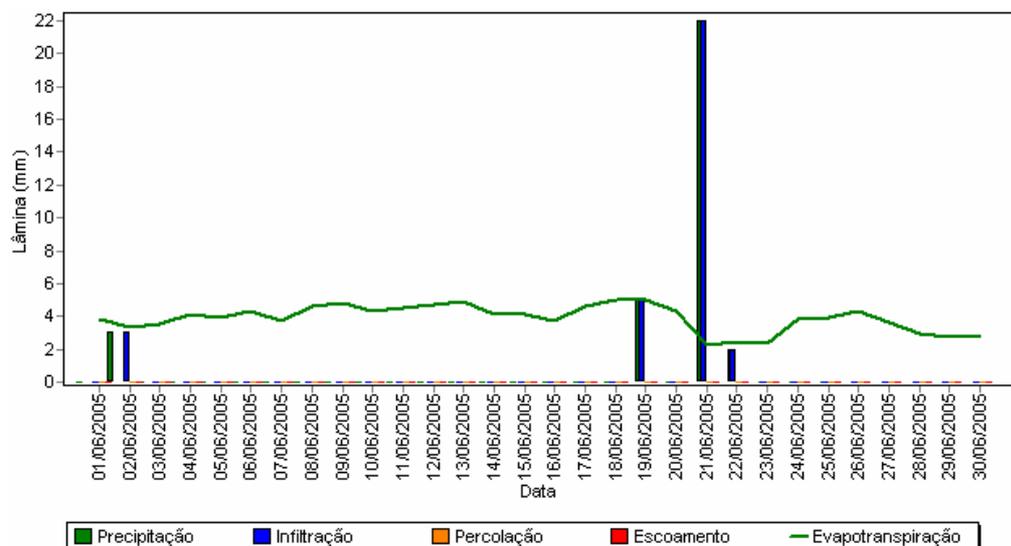


Figura 35 – Componentes do balanço hídrico referentes ao mês de junho.

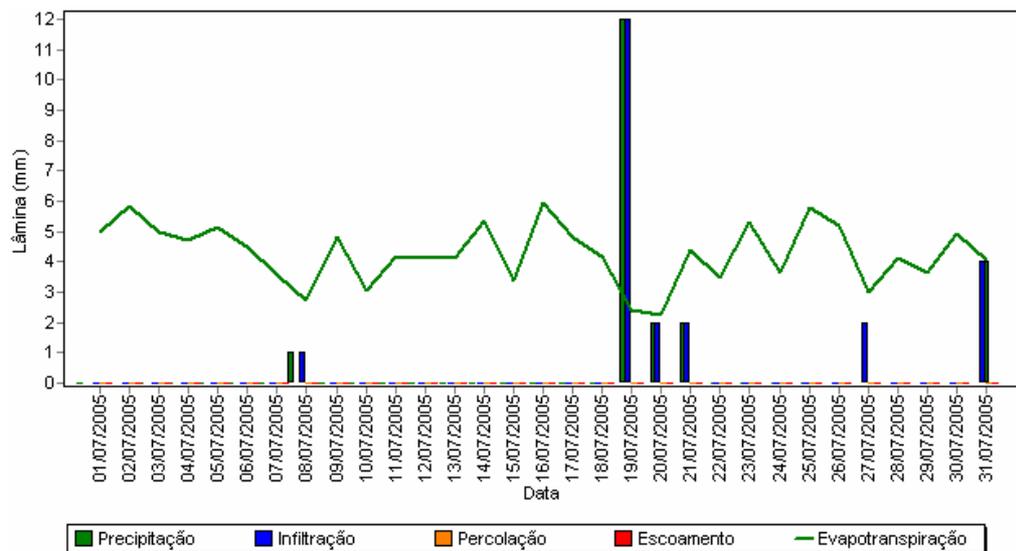


Figura 36 – Componentes do balanço hídrico referentes ao mês de julho.

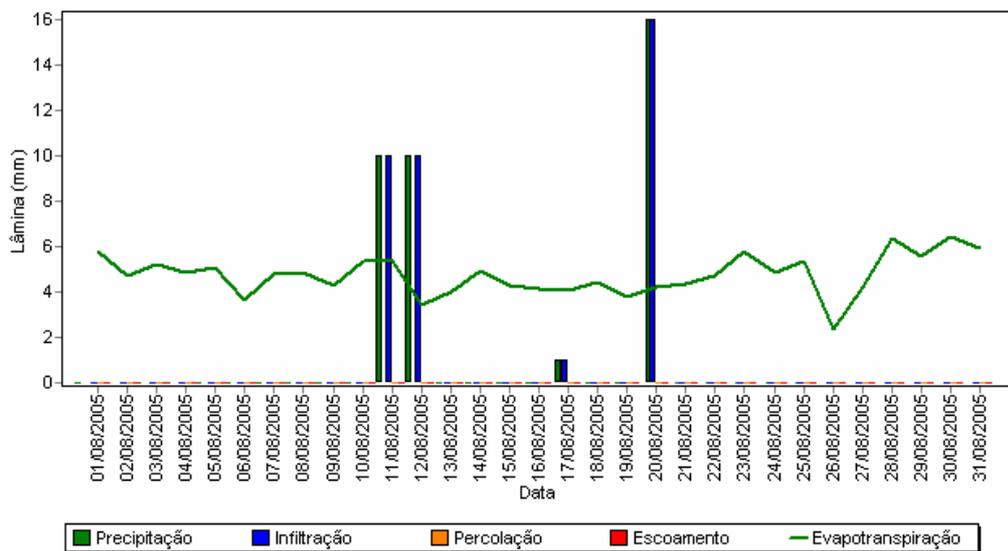


Figura 37 – Componentes do balanço hídrico referentes ao mês de agosto.

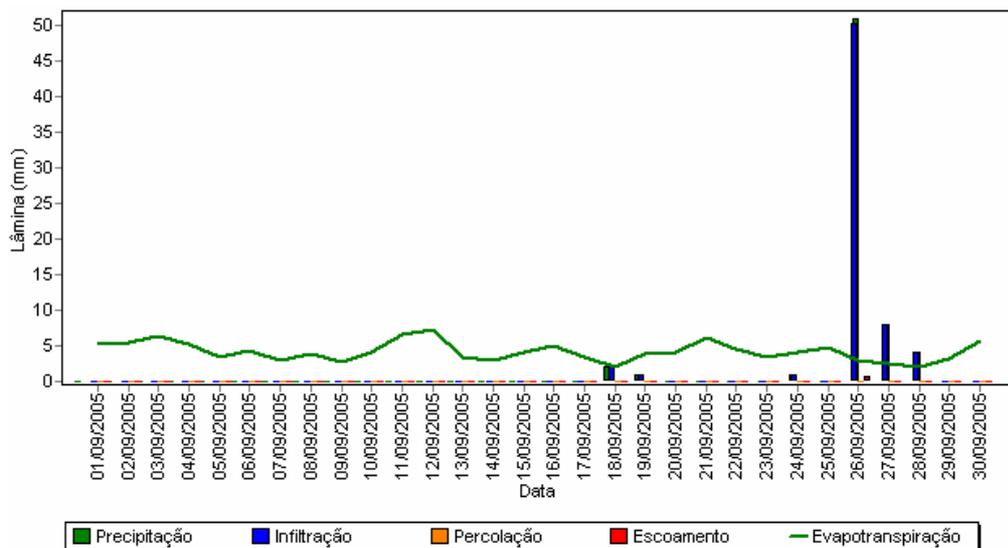


Figura 38 – Componentes do balanço hídrico referentes ao mês de setembro.

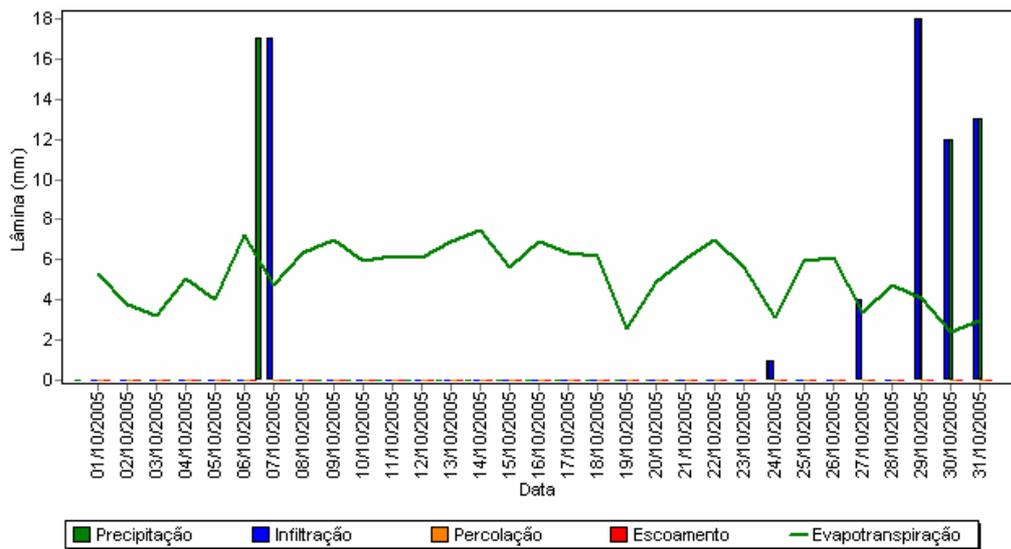


Figura 39 – Componentes do balanço hídrico referentes ao mês de outubro.

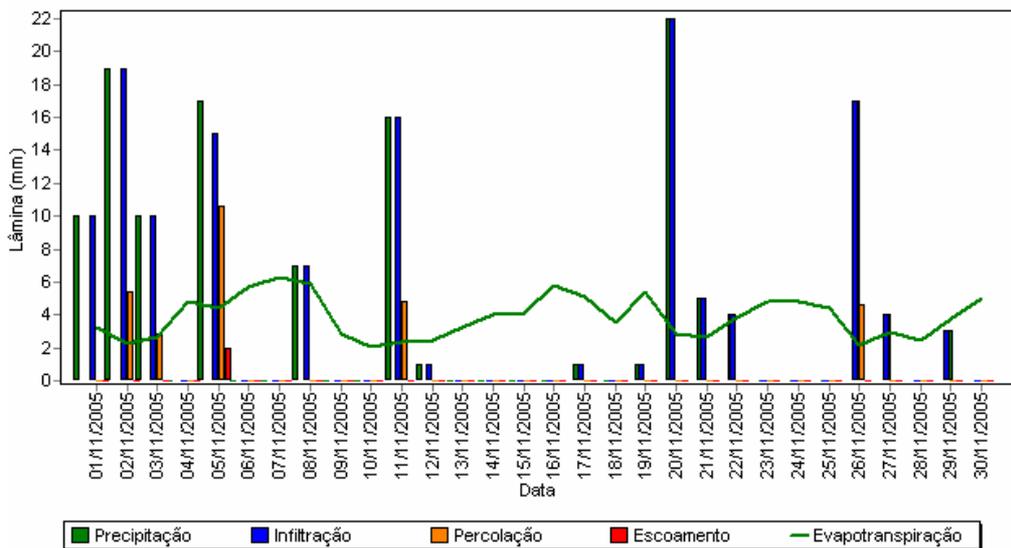


Figura 40 – Componentes do balanço hídrico referentes ao mês de novembro.

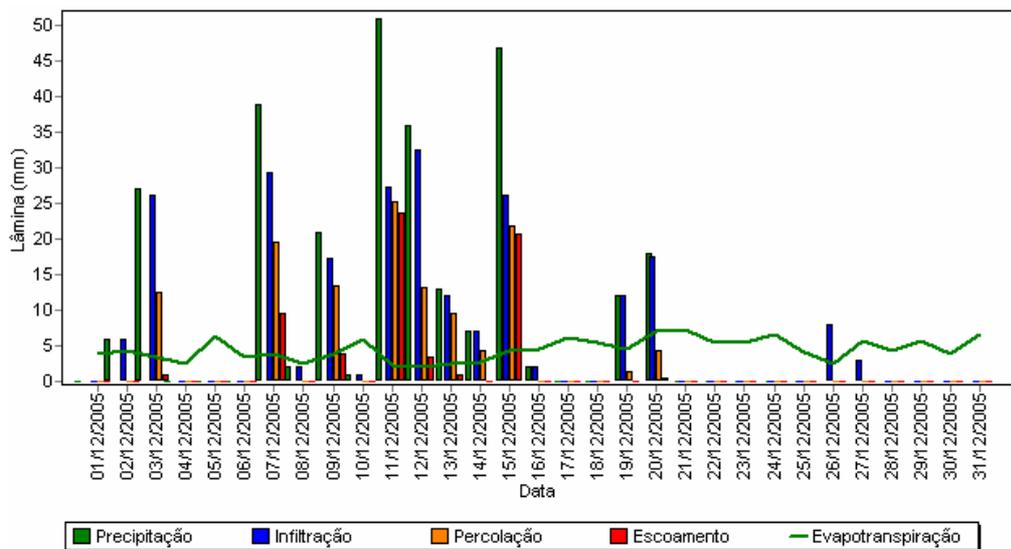


Figura 41 – Componentes do balanço hídrico referentes ao mês de dezembro.

5.3 Determinação da recarga pela medição da descarga

Os valores das vazões medidas no córrego no período de março de 2005 a março de 2006 são apresentados na Quadro 03.

Quadro 03 – Vazões (em m³/h) registradas no córrego entre março de 2005 e março de 2006.

	Mar/ 05	Abr/ 05	Mai/ 05	Jun/ 05	Jul/ 05	Ago/ 05	Set/ 05	Out/ 05	Nov/ 05	Dez/ 05	Jan/ 06	Fev/ 06	Mar/ 06
1													
2				6,5									
3							5,0					8,6	
4										5,9	5,9		
5						6,3			11,3				
6			7,51										
7													
8		7,3			4,6								10,0
9				6,08									
10							5,4			5,9		6,3	
11	15,9							4,5					
12			9,1						6,53				8,0
13						7,7					8,0		
14		6,5											
15					4,5			3,7					
16													
17				6,3			4,8			9,4		8,3	
18	9,1												
19			8,8						4,6				
20						5,6							
21		6,8									5,9		
22					4,8		4,5	3,1		9,1			
23				7,3									
24													
25	8,6		13,0										
26							10,6				7,7	7,0	
27						4,5			6,1				
28		8,0											
29					6,1			4,1		8,6			
30				5,6			4,8						
31	8,3												

A Figura 42 mostra a representação gráfica dos valores apresentados na Quadro 03.

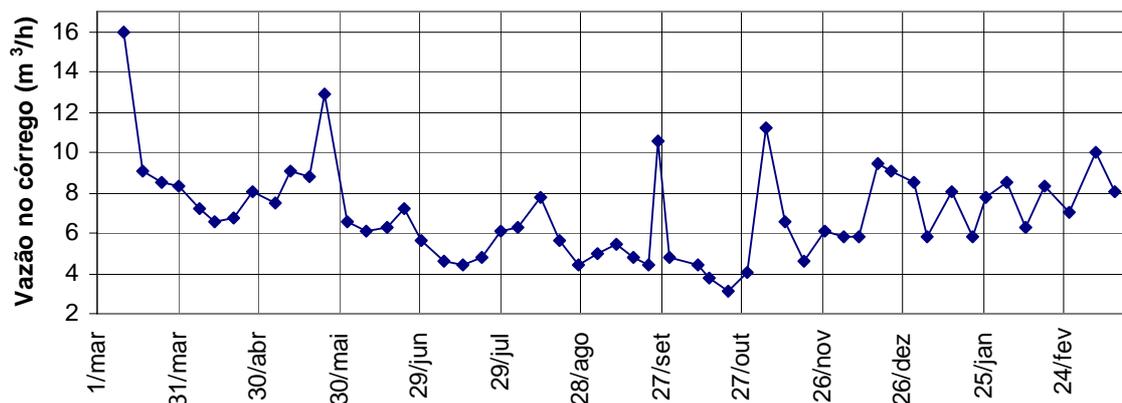


Figura 42 – Representação gráfica das vazões registradas no córrego no período compreendido entre março de 2005 e março de 2006.

No cálculo da descarga de água subterrânea não se considerará os valores de pico da vazão, uma vez que, estes têm contribuição do escoamento superficial e não representam o fluxo de base do aquífero. Descartando-se os maiores valores em cada período de tempo e calculando-se a média dos valores restantes, obtém-se um valor de vazão média igual a 6,11m³/dia.

Como na microbacia pesquisada há também uma fonte hidromineral, deve-se incluir sua vazão no cálculo da descarga total. As medições de vazão na fonte foram realizadas semanalmente por meio de um hidrômetro no período compreendido entre março de 2005 e março de 2006. As vazões registradas na fonte estão mostradas na Quadro 04.

Quadro 04 – Vazões (em m³/h) medidas na fonte hidromineral existente na área de pesquisa.

	Mar/05	Abr/05	Mai/05	Jun/05	Jul/05	Ago/05	Set/05	Out/05	Nov/05	Dez/05	Jan/06	Fev/06	Mar/06
1													
2				1,6									
3							1,4					1,59	
4									1,5	1,63			
5						1,46			1,4				
6			1,6										
7													
8		1,6			1,5								1,6
9				1,5									
10							1,4			1,5		1,59	
11	1,7							1,38					
12			1,6						1,41				1,6
13						1,44					1,6		
14		1,6											
15					1,5			1,32					
16													
17				1,5			1,4			1,6		1,6	
18	1,6												
19			1,6						1,40				
20						1,4							

Quadro 04 – Vazões (em m³/h) medidas na fonte hidromineral existente na área de pesquisa. Continuação.

	Mar/05	Abr/05	Mai/05	Jun/05	Jul/05	Ago/05	Set/05	Out/05	Nov/05	Dez/05	Jan/06	Fev/06	Mar/06
21													
22					1,5		1,4	1,3		1,6			
23				1,5									
24													
25	1,6		1,6										
26							1,4				1,6	1,6	
27						1,44			1,4				
28		1,6											
29					1,5			1,3		1,6			
30				1,5			1,4						
31	1,6												

As vazões medidas na fonte hidromineral estão representadas no gráfico da Figura 43.

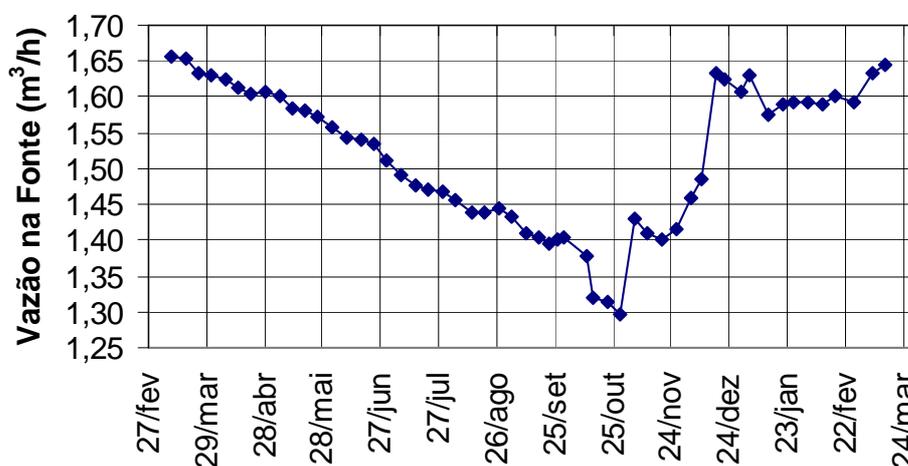


Figura 43 – Gráfico mostrando o comportamento da vazão fonte hidromineral ao longo do tempo.

A média dos valores de vazão medidos na fonte foi de 1,52m³/h.

O valor da descarga total foi de 7,63m³/h.

Para se calcular a recarga em toda área deve-se calcular o volume da descarga anual pela multiplicação da vazão de descarga pelo número de horas contidas em um ano. Posteriormente, divide-se este resultado pela área total de ocorrência da recarga que é de 368182m². Fazendo isto, obtém-se uma taxa anual de recarga de 181,5mm.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os valores encontrados, apesar da diferença entre o valor de recarga encontrado pelo método do balanço hídrico e os outros dois métodos, estão dentro do esperado e vão de encontro a taxas de recarga encontradas na literatura brasileira.

É de se esperar que a recarga estimada pelo método do balanço hídrico seja maior que a recarga estimada pelos outros dois métodos, que usam dados da zona saturada. O método do balanço hídrico estima a recarga potencial, enquanto, os outros dois métodos utilizados fornecem estimativas da recarga real. A diferença entre os valores de recarga encontrados, também pode estar relacionada ao período de estimativa de recarga entre os três métodos, já que, o período de tempo utilizado pelo balanço hídrico, realizado por meio do *software* SH 2.0, foi de janeiro a dezembro de 2005 e pelos outros dois métodos foi de março de 2005 a março de 2006.

Também é de se esperar um valor maior de recarga calculada pelo método do balanço hídrico em virtude do *software* SH 2.0 não levar em consideração no cálculo do escoamento superficial a influência da topografia, que é muito acidentada na área pesquisada. Mas, sem dúvida, este método é uma poderosa ferramenta na estimativa de recarga de águas subterrâneas, uma vez que seu custo em termos de estimativa de recarga em nível regional é menor que o dos métodos que se utilizam de uma grande rede de monitoramento.

Apesar da estimativa de recarga pelo método da variação dos níveis d'água ter sido realizada por um único poço de observação, já que os demais vieram a secar, esta estimativa é bastante confiável em virtude da localização do poço de observação utilizado, que está em uma posição bem representativa do aquífero, do ponto de vista da recarga.

A estimativa de recarga feita pela descarga de águas subterrâneas se mostrou bastante satisfatória em função de seu resultado de estimativa de recarga ter convergido o resultado encontrado pelo método da VNA, que é um método amplamente utilizado por hidrogeólogos para fins de estimativa de recarga.

Na realização de trabalhos futuros, na área pesquisada, recomenda-se:

- ✓ a utilização de um maior número de poços de observação na estimativa de recarga pelo método da VNA para que se possa espacializar a recarga e verificar sua uniformidade na área estudada;
- ✓ a instalação de poços de observação no aquífero semi-confinado existente na área pesquisada, para que se possa analisar as variações de seu nível freático ou piezométrico, o que permitiria um melhor conhecimento das relações existentes (caso existam), entre o aquífero freático e o semi-confinado;
- ✓ instalação de uma estação total para coleta de dados hidroclimatológicos, para que, se utilize dados do local exato em que se realiza a simulação hidrológica.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, A.C., SOARES, J.V. *Comparação entre Uso de Água em Plantações de Eucalyptus grandis e Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na Costa Leste do Brasil*. In: Revista Árvore, v. 27, n.2, p. 159-170. Viçosa: 2003.

AmbiGeo (2001). Geologia, hidrogeologia e área de proteção ambiental do Parque das Águas, São Lourenço (MG). Belo Horizonte. 95 p.

AZEVEDO, A. A., ALBUQUERQUE FILHO, J. L. in: SANTOS, O., BRITO, S. N. A. Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.p. 126-127.

CECÍLIO, R.A. *Aplicação da equação de Green-Ampt na modelagem da infiltração de água em latossolo vermelho-amarelo estratificado*. Viçosa, MG: UFV, 2002. 131p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade de Viçosa, 2002.

COOK, PG; WALKER, GR; BUSELLI, G; POTTS, I; DODDS, AR; (1992). *The application of electromagnetic techniques to groundwater recharge investigations*. J Hydrol 130:201–229

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M.R. *Hidrologia subterrânea*. 2.ed. Barcelona: Omega, 1983.2350p.

De VRIES, J.J.; SIMMERS, I. (2002). *Groundwater Recharge: an overview of processes and challenges*. Hydrogeology Journal, 10, 1, p.5-17. DOI 0.1007/s10040-001-0171-7

DAVIS, S. N.; DeWIEST, R. *Hidrogeology*. John Willey & Sons, 1966. 463p.

DRISCOLL, F. G. (1986). *Groundwater and Wells*. Johnson Screens, St Paul, MN.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1988). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento; normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro. 67 p. (Documento 11)

FAZAL, M.A.; IMAIZUMI, M.; ISHIDA, S.; TAWACHI, T.; TSUCHIHARA, T. (2005). *Estimating groundwater recharge using the SMAR conceptual model calibrated by genetic algorithm*. Journal of Hydrology. Volume 303, Issues 1-4. DOI:10.1016/j.jhydrol.2004.08.017.

FEITOSA, F.A.C., MANOEL FILHO, J. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 2.ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. 391p.

FREEZE, R.A.; CHERRY, J.A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 604p.

GEE, G.W., WIERENGA, P.J., ANDRASKI, B.J., YOUNG, M.H., FAYER, M.J., ROCKHOLD, M.L. (1994) *Variations in water balance and recharge potential at three western desert sites*. Soil Sci Soc Am J 58:63–71

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

IBGE (1979). Folha Viçosa, 1:50.000 (SF-23-X-B-V-3).

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão de Águas. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/html/municípios/mapas/05inter50-3.jpg>> Acesso em: 03 fevereiro 2006.

LERNER, D.N. (1990). *Groundwater recharge in urban areas*. Atmos. Environment, 24 B(1), p. 29-33.

LISBOA, R. L. L., *Determinação da condutividade hidráulica não saturada de solos residuais com o permeâmetro Guelph e ensaios de laboratório*. Viçosa,

MG: UFV, 2006. 89p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, 2006.

KOEFOD, O. (1979). *Geosounding Principles*, 1 - Resistivity Sounding Measurements; Elsevier Science Publ. Co., Inc. New York. EUA.

MAZIERO, T.A.; WENDLAND, E. (2005). *Avaliação da recarga subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos, SP*. II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, Ribeirão Preto, SP.

MEIRA NETO, J.A.A.; SILVA, A.F. Caracterização dos fragmentos florestais das áreas de influência e diretamente afetada da UHE de Pilar, Vale do Rio Piranga, Zona da Mata de Minas Gerais. Viçosa: FUNARBE, 1995. 57p.

MOON, S.; WOO, N.C.; LEE, K.S. (2004). *Statistical analysis of hydrographs and water-table fluctuation to estimate groundwater recharge*. Journal of Hydrology, 292,p. 198-209.

NERY, A.C.F. & ARANHA, P.R.A. (1995). *Uma nova metodologia em prospecção geométrica; metodologia "Cacau"*. 3º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Anais ..., Rio de Janeiro, V II, p. 996-998.

PRADO, H. (1993). *Manual de Classificação de Solos do Brasil*. Jaboticabal, FUNEP, 218 p.

PRYCH, E.A. (1998). *Using chloride and chlorine-36 as soil-water tracers to estimate deep percolation at selected locations on the US Department of Energy Hanford Site, Washington*. US Geol Survey Water-Supply Pap 2481:67

RODRIGUES, L.N. *Modelo para dimensionamento e para simulação do desempenho de pivô central*. Viçosa, MG: UFV, 1999. 145p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade de Viçosa, 1999.

SCANLON, B.R.; HEALY, R.W.; COOK, P.G. (2002). *Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge*. Hydrogeology Journal, 10, p. 18-39. DOI10.1007/s10040-0010176-2.

SOPHOCLEOUS, M.A. (1991) *Combining the soilwater balance and water-level fluctuation methods to estimate natural groundwater recharge: practical aspects*. Journal of Hydrology, 124, 229-241.

TODD, D. K. *Ground Water Hydrology*. New York : John Wiley, 1959, 332p.

TOLMAN, C. F. *Groundwater*. New York: McGraw-Hill, 1937. 593p.

V.E.G.A. Mapa da vegetação de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.vega.hpg.ig.com.br/mapvegmg.htm>> Acesso em: fevereiro 2006.

VILLELA, S. M. & MATTOS, A., *Hidrologia Aplicada*. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975.245p.

WALTON, W.C. (1970). *Groundwater resource evaluation*. McGraw-Hill, New York, NY, 664 pp.

XU, Y.; BEEKMAN, H.E (Eds) (2003). *Groundwater recharge estimation in Southern Africa*. UNESCO IHP Series nº. 64, UNESCO, Paris. ISBN 92-9220-000-3.

8. ANEXOS

8.1 Anexo A

Dados Climatológicos referentes ao ano de 2005.

Anexo A – Dados climatológicos referentes ao mês de janeiro de 2005.

MES	DIA	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)			VENTO (velocidade) (m/s)			PRECIPITAÇÃO (mm)	INSOLAÇÃO (horas)	TEMPERATURA DO AR
		12 h	18 h	24 h	12 h	18 h	24 h	total	total	Média Diária (°C)
1	1	82	67	96	1,3	0,5	0,5	0,1	9,3	22,5
1	2	84	63	83	1	2,5	0,7	7	3,6	21,2
1	3	82	59	84	2,8	1,6	0,3	0	9,6	21,6
1	4	76	54	89	2,8	3,3	0,3	0	4,1	21,8
1	5	90	72	88	4,6	0,8	1,3	0	2,4	22,2
1	6	72	73	89	4,1	0,5	0	0	2	22,5
1	7	84	56	96	3,5	1,6	0	0	4,3	22,7
1	8	81	54	97	0,7	2	0	4,3	6,5	23,1
1	9	80	57	91	4,1	3,5	0,3	28,6	8,5	23,6
1	10	80	69	98	2	1,3	0,3	0	6	23,8
1	11	77	68	96	1,6	0,5	2,6	2,8	5,8	23,9
1	12	94	96	98	2	1,5	0,3	33,9	0	21,6
1	13	84	71	93	1	0,8	0,7	19,7	6,4	21,4
1	14	96	80	91	1,3	0,5	0,3	0	3,9	21,4
1	15	89	67	87	2,6	2	3	0	4,8	23,4
1	16	91	69	88	2	1,6	0,5	0,5	4,8	24,5
1	17	97	96	95	0,8	0,8	0,8	14,1	0	22,1
1	18	94	72	98	1,8	2	0,7	9,4	3,6	22,6
1	19	97	89	93	1,3	0,5	0	14	0	21,4
1	20	83	68	98	3,5	2	0,5	5,7	5,4	23,3
1	21	80	84	96	2	2	0	0,5	1,6	24,2
1	22	84	58	93	1,3	1,6	2,3	0,3	6,4	24,0
1	23	82	65	84	1,3	0	0,5	46,2	10,6	25,8
1	24	91	79	94	0,5	1	0,7	0,2	3,8	24,1
1	25	72	59	85	2,6	1	0,5	0	10,3	25,3
1	26	74	87	93	0,8	1,3	0,3	0	4	23,9
1	27	91	96	90	1	0	0,3	9,4	0	19,6
1	28	90	86	93	1,6	0,8	0,5	6,4	0,5	20,2
1	29	83	76	91	1,6	1,3	0	0	0,9	21,0
1	30	89	63	93	0,3	0,8	0,5	0	0,7	21,6
1	31	73	70	93	2,1	0,3	0,5	0	4,4	22,1

Anexo A – Dados climatológicos referentes ao mês de fevereiro de 2005.

MES	DIA	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)			VENTO (velocidade) (m/s)			PRECIPITAÇÃO (mm)	INSOLAÇÃO (horas)	TEMPERATURA DO AR
		12 h	18 h	24 h	12 h	18 h	24 h	total	total	Média Diária (°C)
2	1	94	75	92	0	1,6	1,6	0,2	0,8	20,5
2	2	87	73	94	2	0,8	0	1,7	1,3	20,5
2	3	83	65	91	0,7	0,9	0,3	0,3	6,8	23,1
2	4	88	68	89	1,6	2	1,3	0	6,8	24,8
2	5	88	67	86	0,3	1,6	0,3	0,2	6,2	23,0
2	6	91	66	87	1,6	2	0	0,5	3,3	21,2
2	7	76	58	94	1,3	1,6	0,5	1	9,7	19,0
2	8	65	50	88	0,5	0,5	0,7	0	11,4	19,8
2	9	64	69	92	1,3	0,5	0,3	0	8,2	19,8
2	10	81	73	93	1,3	0,7	0	0	6,4	20,4
2	11	85	63	84	2,1	2	0,5	0	8,3	21,2
2	12	85	70	95	3,3	0,7	0	38	8,6	22,5
2	13	91	86	94	0,3	0,3	0,3	8,6	7,3	22,0
2	14	89	57	92	0,5	1,6	1,3	19	9,1	21,9
2	15	84	61	83	0	1,6	0	18,2	6,9	23,0
2	16	93	61	91	0,7	3	0,3	4,1	4,8	22,8
2	17	86	68	98	1,3	1,3	0,3	0,4	6,7	23,4
2	18	92	84	97	2,6	1,5	0,3	3	2,2	23,3
2	19	91	78	96	0	1,3	1	21,8	0,3	20,9
2	20	86	62	83	0	3	1,3	4	9	23,1
2	21	71	58	93	1,6	1,6	0	0,2	9,1	21,8
2	22	87	58	91	2,8	2,1	0	0	8,8	21,8
2	23	76	61	89	2,8	2,5	0	0	7	23,3
2	24	77	38	85	2,8	1,6	0,3	0	9,7	24,3
2	25	73	55	91	2	2,3	4,8	0	5,2	25,0
2	26	91	73	96	1,5	3,3	0	38,5	4,1	22,5
2	27	91	65	93	1,3	0,7	0,3	23,5	5,3	23,9
2	28	94	69	92	2	1,6	0,7	17	4	23,6

Anexo A – Dados climatológicos referentes ao mês de março de 2005.

MES	DIA	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)			VENTO (velocidade) (m/s)			PRECIPITAÇÃO (mm)	INSOLAÇÃO (horas)	TEMPERATURA DO AR
		12 h	18 h	24 h	12 h	18 h	24 h	total	total	Média Diária (°C)
3	1	92	72	86	0,3	2,1	0,3	26,6	2,4	24,4
3	2	87	96	95	0,3	0	0	0	0	20,6
3	3	93	96	98	0	0,5	1,6	23,8	0	19,0
3	4	96	98	92	0,8	0,7	0	80,3	0	19,0
3	5	96	93	93	0,3	0	0	29,2	0	20,4
3	6	96	64	90	1,3	2,5	0	1,2	6,8	22,5
3	7	91	67	91	0	1,6	0	0	6,9	22,7
3	8	93	60	91	0	1,3	1	2	7,7	23,2
3	9	91	63	93	0,7	1	0	0	8,5	23,0
3	10	79	67	83	3,3	3,3	0	0	9,6	24,4
3	11	82	67	93	0,5	0,5	0	0,8	5,9	23,5
3	12	83	49	96	0	1,6	0	0,2	7,6	24,0
3	13	89	53	94	1,3	2,5	0	0	9,3	22,6
3	14	76	61	77	2	3,1	0,8	0	9,1	24,8
3	15	82	70	93	2,3	2	0	0	3,2	24,6
3	16	72	64	91	4,6	3	1	0	8,4	23,8
3	17	78	63	81	3,3	2,8	0,3	0	6,8	23,8
3	18	78	68	89	0,8	2,5	0,3	0	4,6	24,2
3	19	87	80	94	0,8	0,5	1,3	0,5	1	23,5
3	20	93	64	94	1,3	1,3	0,7	37,9	0,3	21,9
3	21	89	70	89	0,8	2,1	0,3	0	2,7	22,9
3	22	82	66	95	3,6	0,3	0,3	1,6	6,1	22,4
3	23	77	62	91	3	2,5	0	0	7,4	23,1
3	24	83	60	88	1,6	1,3	0	0	7,6	23,5
3	25	91	94	94	1,3	0	0,3	0	0	20,7
3	26	93	80	94	1,3	1	1,3	63,4	0,7	20,9
3	27	84	66	95	0,7	0,5	0,3	0	8,1	21,3
3	28	85	70	91	0,5	2,6	0,3	0	8	21,9
3	29	80	55	91	1,3	2,1	0,3	0	9,8	21,6
3	30	95	70	94	0	1,3	0	0	7,1	21,1
3	31	91	74	86	1,3	1,3	0,3	0	5,8	25,6

Anexo A – Dados climatológicos referentes ao mês de abril de 2005.

MES	DIA	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)			VENTO (velocidade) (m/s)			PRECIPITAÇÃO (mm)	INSOLAÇÃO (horas)	TEMPERATURA DO AR
		12 h	18 h	24 h	12 h	18 h	24 h	total	total	Média Diária (°C)
4	1	86	68	89	1,6	1,6	0,7	0	6,3	23,1
4	2	82	63	97	0,7	0,8	0	0	5,1	21,5
4	3	87	63	87	3,6	1,6	0	0	6,4	21,1
4	4	81	65	87	2	2	0	0	6,3	22,1
4	5	83	58	85	0,3	0,5	0	0	9,1	23,7
4	6	78	67	95	0	0,7	1,3	0	5,4	24,0
4	7	83	67	94	0	0,3	0	0	4,8	22,7
4	8	87	59	91	1,6	1,3	0	0	9,4	22,8
4	9	71	63	78	0,5	0	0	0	9,7	23,9
4	10	91	67	92	0,5	2,1	0,3	3,8	9,8	22,9
4	11	87	64	91	0,8	0,7	0,3	0	7,3	22,5
4	12	82	56	91	0	0,8	0	0	7,9	22,1
4	13	85	49	78	0,3	1,3	0	0	9	22,1
4	14	80	68	95	0,8	1,3	0,3	0	5,7	21,3
4	15	86	55	85	2,5	1,6	0	0	8,3	21,2
4	16	91	83	92	3,3	2,1	0	0	8,6	20,4
4	17	84	57	89	2	0,5	0,3	0	7,8	21,7
4	18	86	58	90	0,5	1	0	0	6	22,0
4	19	88	58	94	0,8	1,8	0	0	6,6	21,4
4	20	83	58	91	1,6	2,5	0,3	0	6,4	21,8
4	21	79	58	92	2,6	2,6	0,3	0	7,1	22,0
4	22	91	65	84	2	0,3	0	1,5	7,4	21,2
4	23	85	57,3	94	0,7	0,5	0,7	0	5,9	21,0
4	24	92	67	92	0	1,6	0	21	5,4	21,2
4	25	96	71	91	1,3	0,7	0	0	2,3	20,6
4	26	97	95	92	1,5	0,7	2,1	2,2	0	18,3
4	27	86	78	90	1,3	0,7	0	5,5	0	17,4
4	28	92	85	96	1,8	1,6	0,3	0	0,2	18,4
4	29	90	75	96	0,8	2,6	0	9,3	3,2	19,7
4	30	88	74	82	2	2,6	1,6	14,3	2,5	19,4

Anexo A – Dados climatológicos referentes ao mês de maio de 2005.

MES	DIA	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)			VENTO (velocidade) (m/s)			PRECIPITAÇÃO (mm)	INSOLAÇÃO (horas)	TEMPERATURA DO AR
		12 h	18 h	24 h	12 h	18 h	24 h	total	total	Média Diária (°C)
5	1	79	73	96	2,1	2,1	1,3	5	4,8	17,0
5	2	76	63	91	1,3	1,3	1,3	0	6,4	16,2
5	3	76	42	95	0,5	2,1	0	0	8,9	16,6
5	4	86	53	89	1,3	0,5	0	0	9,1	16,4
5	5	86	68	77	0,7	1,3	0	0	7,7	18,2
5	6	84	56	96	0,3	0,3	0	0	6,9	17,4
5	7	98	61	91	0,3	1,6	0	0	4,8	18,0
5	8	89	59	92	0,3	0,7	0	0	7,7	20,2
5	9	96	66	94	1	3	0	0	3,1	19,0
5	10	96	68	94	1	1,3	0	0	3,8	19,3
5	11	98	58	94	0,3	2,8	0	0	7,4	20,0
5	12	91	63	98	0,5	2	0	0	8,1	19,5
5	13	98	72	96	0	0,5	0	0	5,4	19,3
5	14	96	70	96	0,3	0,3	0	0	6,1	18,8
5	15	83	55	88	0,3	0,3	0	0	8,8	19,7
5	16	88	56	98	0,3	2,6	0	0	6,9	19,4
5	17	96	69	98	0,2	2,3	0	0,2	6,5	19,3
5	18	96	61	90	0,7	0,5	0	0	8,4	19,0
5	19	94	63	87	0,7	0,7	0	0	8,3	19,7
5	20	82	67	96	0,7	0,7	0	0	8,7	20,4
5	21	82	62	94	1,3	2	0	0	7,5	20,8
5	22	93	77	91	1,3	0,7	0,7	0	1,1	20,5
5	23	98	89	98	0,3	1,3	0	24,4	0	16,5
5	24	94	82	98	2,1	1,6	0,7	6,5	0	18,9
5	25	91	92	96	1,6	0,3	0,6	0,5	0	18,9
5	26	98	63	94	1,3	1,6	1,3	8,4	6,3	18,1
5	27	90	71	90	1,5	1,3	0,3	0	8,6	17,5
5	28	82	543	93	1,5	0,7	0,3	0	7,4	17,5
5	29	83	61	90	0,3	0,5	0,3	0	8,7	19,3
5	30	92	68	96	0,3	0,8	0,5	0	2,6	19,0
5	31	86	72	94	0,3	1,5	0,3	0	6,4	19,4

Anexo A – Dados climatológicos referentes ao mês de junho de 2005.

MES	DIA	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)			VENTO (velocidade) (m/s)			PRECIPITAÇÃO (mm)	INSOLAÇÃO (horas)	TEMPERATURA DO AR
		12 h	18 h	24 h	12 h	18 h	24 h	total	total	Média Diária (°C)
6	1	94	72	91	1,3	1	1,3	0	3,8	19,56
6	2	90	77	96	0,8	0,3	0,5	3	3,6	18,04
6	3	94	89	90	0,8	0,7	0	0	3,9	18,76
6	4	92	67	96	1,3	0,7	0,5	0	5,4	18,92
6	5	83	68	92	0,3	0,6	0	0	6,3	18,12
6	6	90	55	98	0,5	1,6	0	0	5,9	17,8
6	7	94	70	92	0,3	1,5	0	0	4	17,56
6	8	90	62	94	0	1,5	0,5	0	8,4	14,9
6	9	90	61	98	0	2,3	0,5	0	6,5	17,28
6	10	98	57	98	1,3	0,7	0	0	7,1	16,42
6	11	94	62	96	0	1,6	0	0	7,5	16,04
6	12	98	70	96	0,8	2,3	0	0	6,5	16,54
6	13	98	67	98	1,6	3	0	0	5,8	16,24
6	14	96	64	98	1,5	1,3	0	0	6,2	16,44
6	15	80	65	98	0,3	0,5	0	0	8	17,68
6	16	96	71	96	1,3	2,5	0,3	0	2,4	17,12
6	17	96	58	98	0,5	1	0	0	8,6	18,22
6	18	92	58	83	1,3	2,1	0,3	0	7,2	19,28
6	19	96	52	94	0,3	2,5	0	4,9	6,6	18,42
6	20	86	57	90	0	1,6	0,5	0	6,2	18,74
6	21	96	83	96	0,7	0	0,5	22,4	0,8	17,2
6	22	87	89	91	0,3	1,5	0,3	2,2	0,3	15,44
6	23	93	65	98	1,3	1,3	0,3	0	0,6	14,7
6	24	98	56	97	0,7	1,6	0	0	5,7	14,8
6	25	95	55	93	1	1,6	0,3	0	5,6	16,06
6	26	97	46	98	0	1,6	0	0	8	14,68
6	27	98	69	96	0	1,6	0,3	0	4,8	15,32
6	28	98	78	98	1,3	2,3	0,5	0,2	0	17,32
6	29	98	78	96	0,8	1,5	0,3	0	1,3	16,86
6	30	95	67	98	0	2,3	0,7	0	0	16,72

Anexo A – Dados climatológicos referentes ao mês de julho de 2005.

MES	DIA	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)			VENTO (velocidade) (m/s)			PRECIPITAÇÃO (mm)	INSOLAÇÃO (horas)	TEMPERATURA DO AR
		12 h	18 h	24 h	12 h	18 h	24 h	total	total	Média Diária (°C)
7	1	88	62	98	0	2	0,3	0	7,4	17,5
7	2	88	62	98	3,3	2	0	0	7,5	17,6
7	3	95	52	95	0,8	2	0,3	0	8,2	15,8
7	4	95	58	95	0,3	1,6	0	0	8,5	14,6
7	5	95	54	93	0,7	2	0,3	0	8,7	16,0
7	6	93	63	94	0,3	1,3	0,3	0	7,3	17,3
7	7	98	93	93	0,3	4,1	1,6	0,1	0,1	14,2
7	8	91	77	93	1,3	1,3	0,3	1,7	2,1	13,1
7	9	73	56	95	1,6	2,1	0	0	8,9	12,7
7	10	89	77	95	0,5	0,7	0,3	0	4,3	14,1
7	11	95	59	93	1,3	0,7	0	0	7,1	15,2
7	12	98	61	98	1,3	0,7	0	0	7,6	13,9
7	13	100	51	79	0,8	0,3	0,8	0	8,7	14,5
7	14	68	48	98	2,3	0,3	0	0	9,2	16,1
7	15	85	71	98	0,8	2	0,8	0	2,5	15,3
7	16	80	59	89	3,6	2,3	0,3	0	8,5	16,0
7	17	80	55	96	2,1	2,8	0	0	8,7	10,8
7	18	92	47	90	0,3	0,7	0,8	0	7,5	19,0
7	19	96	86	92	0,3	1,3	0	12,1	0	17,2
7	20	98	98	98	1,3	0,7	0	2,2	0	14,9
7	21	89	78	96	0,7	2	0	1,6	6	16,6
7	22	96	68	95	0,5	1,8	0	0	3,3	16,1
7	23	91	58	91	0,3	3	0,3	0	7,7	15,9
7	24	100	63	82	1,3	1,6	0,3	0	4,3	16,8
7	25	83	62	96	4	2	0,7	0	6,3	18,2
7	26	92	66	92	0,7	2	0	0	8,3	19,0
7	27	98	84	95	0,5	2,1	0,5	2,4	1	16,4
7	28	96	66	98	0,3	2,6	0	0,2	3,9	16,9
7	29	95	55	93	0,3	0,7	0	0	7,1	16,1
7	30	96	50	91	0	2,5	0	0	8	15,8
7	31	93	48	93	0,7	1,3	0,5	4,2	7,8	15,5

Anexo A – Dados climatológicos referentes ao mês de agosto de 2005.

MES	DIA	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)			VENTO (velocidade) (m/s)			PRECIPITAÇÃO (mm)	INSOLAÇÃO (horas)	TEMPERATURA DO AR
		12 h	18 h	24 h	12 h	18 h	24 h	total	total	Média Diária (°C)
8	1	88	59	93	0,7	3,3	0	0	8,9	14,2
8	2	89	50	93	0,8	1,5	0	0	8,8	15,0
8	3	93	53	89	0,3	2,1	0	0	9,1	15,2
8	4	87	52	82	0,3	1,6	0	0	8,7	16,1
8	5	93	50	91	0,3	2,1	0	0	8,8	14,6
8	6	98	51	91	0,7	0,3	0,3	0	6,6	14,9
8	7	85	55	91	0,5	1,6	0	0	8,8	15,2
8	8	96	50	83	0,7	2	0,3	0	7,6	16,5
8	9	88	52	86	1,6	2,3	0,5	0	4,4	17,7
8	10	94	59	88	4,1	2	0,3	0	3,6	19,0
8	11	88	63	94	3,1	1	0,5	9,7	5,8	19,2
8	12	98	80	96	1	0,5	0	9,5	3,6	19,2
8	13	92	60	95	0,5	0,7	0,3	0	6,4	19,4
8	14	96	60	94	1,6	1,3	0	0	8	18,6
8	15	96	59	92	1,6	0,3	0,3	0	5,8	18,4
8	16	94	58	88	0,5	0,7	0,5	0	7,4	18,9
8	17	83	61	98	1,5	2,1	0,5	1,5	4,1	18,0
8	18	94	68	96	3,3	2	0,5	0,3	2,8	17,6
8	19	94	52	98	0,5	0,5	0,3	0	7,1	17,8
8	20	98	57	90	1,3	1,3	0	16	6,4	18,8
8	21	81	62	94	0,3	0,3	0,3	0	9,1	19,0
8	22	92	45	89	2	2,1	0	0	7,3	16,6
8	23	85	36	85	3,3	2	0,5	0	8,5	17,1
8	24	90	54	84	3	2,1	0,3	0	5,7	17,0
8	25	79	53	90	2	0,7	0,3	0	8,4	21,1
8	26	96	68	96	0,3	0,7	0,5	0,4	1,1	19,0
8	27	77	64	81	2,5	0,8	0	0	3,8	19,2
8	28	81	55	90	4,6	2	0	0	6,8	18,7
8	29	79	61	79	2,8	2	0,3	0	7,7	20,2
8	30	76	50	86	3,3	1,6	0,5	0	9,3	21,6
8	31	76	56	91	3,6	2,1	0,3	0	6,6	21,9

Anexo A – Dados climatológicos referentes ao mês de setembro de 2005.

MES	DIA	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)			VENTO (velocidade) (m/s)			PRECIPITAÇÃO (mm)	INSOLAÇÃO (horas)	TEMPERATURA DO AR
		12 h	18 h	24 h	12 h	18 h	24 h	total	total	Média Diária (°C)
9	1	89	54	86	2,6	2	0	0	6,1	20,4
9	2	79	66	89	3,6	0,5	0,5	0	4,7	20,0
9	3	84	55	82	0,7	3,1	0,3	0	7,9	21,6
9	4	82	48	79	0,8	1,6	0,3	0	8,2	20,2
9	5	78	69	84	1,3	2	0,3	0	1,4	20,0
9	6	78	59	89	3,3	1,6	0,3	0	1,5	20,9
9	7	94	77	94	1	1,3	0,5	0	1	19,3
9	8	88	71	92	1,3	2	0,8	0	3	18,8
9	9	74	67	90	0,8	0	0	0	1,3	19,7
9	10	81	63	83	3	3	0,8	0	1,6	20,1
9	11	77	52	84	5	4,3	0	0	5,8	19,5
9	12	67	43	85	4,3	2,1	0	0	9,9	20,0
9	13	83	60	79	0,3	0,3	0,7	0	4	20,1
9	14	83	72	88	0,5	1,6	0,5	0	0,6	18,9
9	15	84	52	86	1,6	2,6	0,5	0	2,3	19,7
9	16	83	53	84	2,1	2	1	0	6,3	21,8
9	17	87	62	84	1,3	1,3	0,7	0	2,9	21,6
9	18	98	87	98	0,5	0,3	0,3	2,1	0	18,2
9	19	90	80	92	3,6	3,3	1	1	0	18,6
9	20	84	56	85	2,6	3	0,5	0	1,2	21,5
9	21	70	39	82	2,5	3,3	1,6	0	9,1	19,0
9	22	78	46	86	1,3	1,6	0,3	0	7,2	19,2
9	23	82	60	92	2,8	1,6	1,3	0	0,3	19,1
9	24	80	62	94	3	1,3	0,7	0,9	2	20,0
9	25	82	56	91	4,5	4,5	7,8	0	0	21,7
9	26	98	90	85	2,1	1,3	0,7	51,3	0	19,5
9	27	96	92	98	1,6	0,3	1,3	8,2	0	16,0
9	28	93	80	89	0,8	0,3	0,5	4	0	15,9
9	29	82	62	93	2,3	0,5	0	0	0,6	17,3
9	30	78	48	78	3	0,7	0	0	8,2	18,9

Anexo A – Dados climatológicos referentes ao mês de outubro de 2005.

MES	DIA	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)			VENTO (velocidade) (m/s)			PRECIPITAÇÃO (mm)	INSOLAÇÃO (horas)	TEMPERATURA DO AR
		12 h	18 h	24 h	12 h	18 h	24 h	total	total	Média Diária (°C)
10	1	84	56	88	2,1	2,6	0,3	0	6,3	19,4
10	2	76	62	84	0	1,3	0,8	0	4,2	19,0
10	3	79	61	94	0,3	1,3	0,3	0	2,1	19,3
10	4	83	60	90	3,3	3,6	0,3	0	3	20,2
10	5	79	63	89	0,8	3,3	0,7	0	0	21,0
10	6	81	59	97	5,8	2	1,3	0	4,4	23,1
10	7	86	51	85	1,6	0,5	0	16,5	6,2	21,6
10	8	68	39	86	2,8	0,8	0	0	9,6	21,2
10	9	75	48	88	3,6	1,6	0	0	9,4	21,6
10	10	69	50	78	2	2	0	0	9,9	21,0
10	11	69	50	83	2,1	1,6	0	0	10,5	21,3
10	12	70	41	81	2,1	2,5	0	0	10,8	20,7
10	13	70	49	76	2	3,1	0	0	10,8	21,1
10	14	71	41	73	3	4,1	0,3	0	9,8	22,7
10	15	63	40	83	1,3	1,3	0,3	0	9,8	24,9
10	16	77	47	80	2	3,8	0	0	8	24,0
10	17	56	36	71	2,3	1,3	0	0	10,6	23,6
10	18	56	40	72	2	1,6	2	0	10	25,1
10	19	88	88	94	0,2	1,3	0,5	0	0	19,4
10	20	74	46	84	2	2,3	0	0,4	5,6	22,2
10	21	62	37	70	2,5	2,3	0,5	0	9,6	22,0
10	22	67	57	75	5,8	2,6	1	0	4,5	21,9
10	23	71	52	93	4,1	1,3	0	0	3,9	22,3
10	24	86	55	84	0,8	1,3	0	1,2	1,7	22,9
10	25	67	48	67	2,5	2,8	0,3	0	7,6	24,3
10	26	60	44	94	2,3	2,3	1,3	0	9,5	24,1
10	27	83	65	83	0,5	0,5	0	4,5	3,8	24,6
10	28	77	62	80	1,6	2,8	1,3	0	3,3	24,6
10	29	91	66	96	2,3	0,3	2,7	17,5	3,1	21,8
10	30	98	97	94	1,3	0,5	0,3	11,9	0	19,0
10	31	96	83	91	0,7	1,6	0,5	12,7	1,1	20,3

Anexo A – Dados climatológicos referentes ao mês de novembro de 2005.

MES	DIA	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)			VENTO (velocidade) (m/s)			PRECIPITAÇÃO (mm)	INSOLAÇÃO (horas)	TEMPERATURA DO AR
		12 h	18 h	24 h	12 h	18 h	24 h	total	total	Média Diária (°C)
11	1	89	70	88	0,7	1,5	0,7	9,9	1,3	20,7
11	2	94	93	92	0,5	0,7	0,5	19,4	0	18,5
11	3	86	86	94	0,3	1,3	0,5	9,8	0	20,0
11	4	77	68	90	0,7	2,6	0	0,1	3,7	22,4
11	5	83	64	94	2,5	2,1	0,5	17	3,2	21,2
11	6	82	62	88	3,6	3	0	0,4	4,7	22,2
11	7	68	66	96	4	1,6	0,5	0	5,9	21,8
11	8	80	62	92	2	2	0,3	6,6	8,9	21,8
11	9	86	70	85	1,6	1,5	0,3	0	0,5	18,7
11	10	82	96	95	0,8	0,5	0,2	0	0	15,4
11	11	98	88	90	0,5	1,3	1,3	16	0	16,1
11	12	80	87	92	0,7	1,3	0,3	0,7	0	17,5
11	13	84	71	92	1,3	0,5	0,5	0	2,5	19,0
11	14	83	52	90	1,3	0,5	0,3	0	5,2	20,5
11	15	77	52	87	3	0,7	0	0	11	21,7
11	16	76	50	91	2,5	0,9	0	0	7,9	22,8
11	17	83	67	89	2,6	1,6	0	0,5	4,7	23,5
11	18	86	85	91	2,3	0,5	0,3	0	0,6	21,9
11	19	85	67	96	2,5	4,1	1,6	1,3	2,9	22,5
11	20	87	68	94	0,5	0,5	0,3	21,7	2,3	22,8
11	21	94	77	89	0,3	1,3	0	5,1	0	20,8
11	22	96	79	87	1	3	1,3	4,4	0,8	20,4
11	23	89	78	85	3,8	1,6	1,6	0	1,8	21,9
11	24	84	65	86	2	1,5	1,3	0	5,4	22,9
11	25	93	72	97	0,7	3,6	0,7	0	0,8	22,4
11	26	95	88	97	0,7	0,7	0,5	17	0	19,3
11	27	86	73	86	1,6	2,1	0	4,2	0	18,8
11	28	79	70	97	1,3	0,5	0	0,2	0	19,8
11	29	95	74	91	3,3	5	0,3	2,6	0	20,5
11	30	75	45	87	3,1	2,3	0,5	0	4,7	22,1

Anexo A – Dados climatológicos referentes ao mês de dezembro de 2005.

MES	DIA	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)			VENTO (velocidade) (m/s)			PRECIPITAÇÃO (mm)	INSOLAÇÃO (horas)	TEMPERATURA DO AR
		12 h	18 h	24 h	12 h	18 h	24 h	total	total	Média Diária (°C)
12	1	82	62	96	1.3	0.8	0.5	0	3.4	23,0
12	2	80	88	96	1.3	0.8	0.3	5,5	4.5	23,1
12	3	88	75	83	2.5	1.3	1.3	26,8	0	19,3
12	4	74	73	90	0.5	0.5	0	0	1.3	18,2
12	5	72	55	77	2.6	0.7	0.5	0	9.1	21,7
12	6	81	72	97	1.6	2.0	0	0	0.9	21,6
12	7	82	76	80	0.5	3.3	1.3	39,4	0	20,1
12	8	90	96	92	0.7	1.3	0.5	1,5	0	16,6
12	9	94	84	91	0.8	3.3	0.5	20,5	0	20,2
12	10	85	58	79	1.6	2.5	1.6	0,5	6.8	24,6
12	11	96	84	91	0.5	0.3	0.5	51,2	0	20,4
12	12	96	96	92	0.5	0.5	0	36,3	0	18,9
12	13	84	78	95	0.5	0.3	0	12,8	0.9	20,1
12	14	96	89	94	1.3	0.5	0	6,7	0.1	19,6
12	15	87	79	81	0	0.5	2.8	47,4	2.4	21,6
12	16	89	73	88	2.5	0.8	0	1,8	3.2	21,8
12	17	79	58	72	1.6	3.3	1.0	0	6.7	23,5
12	18	81	55	98	3	2.3	1.0	0	5.3	22,8
12	19	89	54	96	2.1	0.5	1.3	11,9	4.7	22,5
12	20	98	59	72	1	3.3	0.3	17,9	10.2	23,2
12	21	72	54	87	3.3	1.3	1.3	0	10.3	23,8
12	22	88	47	89	2.3	2.0	0	0	7.5	21,9
12	23	75	48	80	0.8	0.7	0	0	11	22,0
12	24	84	57	86	3.3	2.0	0.3	0	9.2	22,1
12	25	76	57	90	1.6	1.6	1.0	0	4.6	21,7
12	26	90	82	98	1.3	0.3	0.3	8,1	0	18,5
12	27	80	63	79	0.8	1.3	0.8	2,9	10.7	20,8
12	28	76	62	81	0.7	0.5	0.3	0	8	20,6
12	29	74	62	89	0.3	1.6	1.3	0	10.7	21,0
12	30	82	63	78	0.7	2.0	1.6	0	3.1	21,8
12	31	86	75	96	3.3	3.0	2.6	0	8.2	23,6

8.2 Anexo B

Anexo B – Cabeçalho do relatório emitido pelo *software* SH 2.0.

Data de emissão do relatório: 14/7/2008



RELATÓRIO Balanço Hídrico

DADOS DE ENTRADA

Data de Início do Balanço Hídrico: 01/01/2005

Solo

Umidade inicial: 195,0 mm Profundidade inicial do solo: 50 cm
 Umidade de saturação : 0,39 cm³/cm³ Capacidade de campo: 0,390 cm³/cm³
 Ponto de murcha permanente: 0,240 cm³/cm³ Condutividade hidráulica do solo saturado: 13 mm/hora
 Potencial matricial médio na frente de molhamento: 304 mm

Equação de chuvas intensas

k: 3613,582 a: 0,220 b: 29,655 c: 0,995

Método de Evapotranspiração: Penman-Monteith

Latitude: 20°52'

Altitude: 730 m

Solo: solo coberto

Altura da planta: 0,4 m

Albedo do solo: 20,0 %

Anexo B – Resultados obtidos pelo *software* SH 2.0, referentes ao mês de Janeiro de 2005.

Data	Prof. Solo (cm)	Umidade Calculada (mm)	Umidade Observada (mm)	ETo (mm)	Kc	ETpc (mm)	ETrc (mm)	Precip. (mm)	Infiltração (mm)	Escoam. Superficial (mm)	Armazen. Superficial (mm)	Intercept. (mm)	Percolação (mm)
01/01/2005	50,0	189,3	195,0	5,77	1,00	5,77	5,77	0,0	0,0	0,0			0,0
02/01/2005	50,0	195,0	189,3	4,61	1,00	4,61	4,53	7,0	7,0	0,0			2,5
03/01/2005	50,0	182,7	195,0	6,66	1,00	6,66	6,66	0,0	0,0	0,0			0,0
04/01/2005	50,0	189,9	182,7	5,32	1,00	5,32	5,10	0,0	0,0	0,0			0,0
05/01/2005	50,0	177,1	189,9	5,71	1,00	5,71	5,61	0,0	0,0	0,0			0,0
06/01/2005	50,0	184,8	177,1	5,41	1,00	5,41	5,07	0,0	0,0	0,0			0,0
07/01/2005	50,0	171,7	184,8	5,59	1,00	5,59	5,40	0,0	0,0	0,0			0,0
08/01/2005	50,0	184,0	171,7	5,25	1,00	5,25	4,81	4,0	4,0	0,0			0,0
09/01/2005	50,0	195,0	184,0	7,40	1,00	7,40	7,13	29,0	28,1	0,9			0,0
10/01/2005	50,0	178,7	195,0	5,27	1,00	5,27	5,27	0,0	0,0	0,0			0,0
11/01/2005	50,0	195,0	178,7	5,61	1,00	5,61	5,29	3,0	3,0	0,0			0,0
12/01/2005	50,0	195,0	195,0	3,20	1,00	3,20	3,20	34,0	31,5	2,5			12,0
13/01/2005	50,0	195,0	195,0	4,48	1,00	4,48	4,48	20,0	16,9	3,1			12,4
14/01/2005	50,0	191,1	195,0	3,94	1,00	3,94	3,94	0,0	0,0	0,0			0,0
15/01/2005	50,0	189,6	191,1	5,46	1,00	5,46	5,39	0,0	0,0	0,0			0,0
16/01/2005	50,0	186,3	189,6	4,90	1,00	4,90	4,82	0,0	0,0	0,0			0,0
17/01/2005	50,0	195,0	186,3	2,49	1,00	2,49	2,42	14,0	14,0	0,0			6,2
18/01/2005	50,0	191,3	195,0	4,33	1,00	4,33	4,33	9,0	9,0	0,0			0,0
19/01/2005	50,0	195,0	191,3	2,71	1,00	2,71	2,68	14,0	12,9	1,1			10,2
20/01/2005	50,0	193,7	195,0	5,92	1,00	5,92	5,92	6,0	6,0	0,0			0,0
21/01/2005	50,0	191,2	193,7	3,84	1,00	3,84	3,82	0,0	0,0	0,0			0,0
22/01/2005	50,0	188,4	191,2	5,41	1,00	5,41	5,34	0,0	0,0	0,0			0,0
23/01/2005	50,0	195,0	188,4	6,32	1,00	6,32	6,19	46,0	31,7	14,3			21,7
24/01/2005	50,0	184,6	195,0	3,86	1,00	3,86	3,86	0,0	0,0	0,0			0,0
25/01/2005	50,0	188,3	184,6	6,95	1,00	6,95	6,72	0,0	0,0	0,0			0,0
26/01/2005	50,0	180,7	188,3	4,05	1,00	4,05	3,96	0,0	0,0	0,0			0,0
27/01/2005	50,0	195,0	180,7	2,36	1,00	2,36	2,24	9,0	9,0	0,0			0,1
28/01/2005	50,0	183,8	195,0	2,88	1,00	2,88	2,88	6,0	6,0	0,0			0,0
29/01/2005	50,0	192,1	183,8	3,03	1,00	3,03	2,92	0,0	0,0	0,0			0,0
30/01/2005	50,0	181,4	192,1	2,44	1,00	2,44	2,42	0,0	0,0	0,0			0,0
31/01/2005	50,0	187,9	181,4	4,44	1,00	4,44	4,24	0,0	0,0	0,0			0,0

Anexo B – Resultados obtidos pelo *software* SH 2.0, referentes ao mês de Fevereiro de 2005.

Data	Prof. Solo (cm)	Umidade Calculada (mm)	Umidade Observada (mm)	ETo (mm)	Kc	ETpc (mm)	ETrc (mm)	Precip. (mm)	Infiltração (mm)	Escoam. Superficial (mm)	Armazem. Superficial (mm)	Intercept. (mm)	Percolação (mm)
01/02/2005	50,0	184,8	187,9	3,16	1,00	3,16	3,08	0,0	0,0	0,0			0,0
02/02/2005	50,0	186,5	184,8	3,55	1,00	3,55	3,43	2,0	2,0	0,0			0,0
03/02/2005	50,0	180,3	186,5	4,60	1,00	4,60	4,48	0,0	0,0	0,0			0,0
04/02/2005	50,0	181,1	180,3	5,68	1,00	5,68	5,40	0,0	0,0	0,0			0,0
05/02/2005	50,0	175,5	181,1	5,01	1,00	5,01	4,77	0,0	0,0	0,0			0,0
06/02/2005	50,0	178,2	175,5	4,18	1,00	4,18	3,90	1,0	1,0	0,0			0,0
07/02/2005	50,0	171,3	178,2	5,53	1,00	5,53	5,21	1,0	1,0	0,0			0,0
08/02/2005	50,0	173,3	171,3	5,43	1,00	5,43	4,96	0,0	0,0	0,0			0,0
09/02/2005	50,0	166,7	173,3	5,03	1,00	5,03	4,63	0,0	0,0	0,0			0,0
10/02/2005	50,0	169,2	166,7	4,61	1,00	4,61	4,11	0,0	0,0	0,0			0,0
11/02/2005	50,0	161,5	169,2	5,71	1,00	5,71	5,16	0,0	0,0	0,0			0,0
12/02/2005	50,0	195,0	161,5	6,79	1,00	6,79	5,88	38,0	36,0	2,0			4,3
13/02/2005	50,0	166,0	195,0	4,51	1,00	4,51	4,51	9,0	9,0	0,0			0,0
14/02/2005	50,0	195,0	166,0	5,61	1,00	5,61	4,99	19,0	13,0	6,0			8,0
15/02/2005	50,0	178,9	195,0	5,09	1,00	5,09	5,09	18,0	18,0	0,0			0,0
16/02/2005	50,0	195,0	178,9	5,36	1,00	5,36	5,06	4,0	4,0	0,0			0,0
17/02/2005	50,0	174,0	195,0	4,91	1,00	4,91	4,91	0,0	0,0	0,0			0,0
18/02/2005	50,0	195,0	174,0	4,38	1,00	4,38	4,05	3,0	3,0	0,0			0,0
19/02/2005	50,0	194,3	195,0	2,74	1,00	2,74	2,74	22,0	22,0	0,0			0,0
20/02/2005	50,0	195,0	194,3	6,65	1,00	6,65	6,63	4,0	4,0	0,0			0,0
21/02/2005	50,0	188,8	195,0	5,53	1,00	5,53	5,53	0,0	0,0	0,0			0,0
22/02/2005	50,0	188,9	188,8	6,23	1,00	6,23	6,11	0,0	0,0	0,0			0,0
23/02/2005	50,0	183,0	188,9	5,87	1,00	5,87	5,76	0,0	0,0	0,0			0,0
24/02/2005	50,0	182,6	183,0	6,53	1,00	6,53	6,27	0,0	0,0	0,0			0,0
25/02/2005	50,0	178,2	182,6	5,07	1,00	5,07	4,86	0,0	0,0	0,0			0,0
26/02/2005	50,0	195,0	178,2	5,25	1,00	5,25	4,94	38,0	32,3	5,7			15,0
27/02/2005	50,0	195,0	195,0	4,37	1,00	4,37	4,37	24,0	24,0	0,0			2,8
28/02/2005	50,0	195,0	195,0	4,43	1,00	4,43	4,43	17,0	14,4	2,6			10,0

Anexo B – Resultados obtidos pelo *software* SH 2.0, referentes ao mês de Março de 2005.

Data	Prof. Solo (cm)	Umidade Calculada (mm)	Umidade Observada (mm)	ETo (mm)	Kc	ETpc (mm)	ETrc (mm)	Precip. (mm)	Infiltração (mm)	Escoam. Superficial (mm)	Armazen. Superficial (mm)	Intercept. (mm)	Percolação (mm)
01/03/2005	50,0	195,0	195,0	4,02	1,00	4,02	4,02	27,0	19,0	8,0			15,0
02/03/2005	50,0	192,9	195,0	2,14	1,00	2,14	2,14	0,0	0,0	0,0			0,0
03/03/2005	50,0	195,0	192,9	2,80	1,00	2,80	2,78	26,0	19,1	6,9			16,4
04/03/2005	50,0	195,0	195,0	2,34	1,00	2,34	2,34	80,0	41,8	38,2			37,4
05/03/2005	50,0	195,0	195,0	2,14	1,00	2,14	2,14	29,0	20,7	8,3			18,5
06/03/2005	50,0	191,3	195,0	5,69	1,00	5,69	5,69	1,0	1,0	0,0			0,0
07/03/2005	50,0	189,9	191,3	5,16	1,00	5,16	5,10	0,0	0,0	0,0			0,0
08/03/2005	50,0	188,2	189,9	5,18	1,00	5,18	5,10	2,0	2,0	0,0			0,0
09/03/2005	50,0	184,8	188,2	5,23	1,00	5,23	5,12	0,0	0,0	0,0			0,0
10/03/2005	50,0	181,1	184,8	7,35	1,00	7,35	7,10	0,0	0,0	0,0			0,0
11/03/2005	50,0	181,8	181,1	4,15	1,00	4,15	3,95	1,0	1,0	0,0			0,0
12/03/2005	50,0	176,1	181,8	5,28	1,00	5,28	5,04	0,0	0,0	0,0			0,0
13/03/2005	50,0	175,9	176,1	6,31	1,00	6,31	5,89	0,0	0,0	0,0			0,0
14/03/2005	50,0	169,6	175,9	7,00	1,00	7,00	6,53	0,0	0,0	0,0			0,0
15/03/2005	50,0	171,9	169,6	4,37	1,00	4,37	3,96	0,0	0,0	0,0			0,0
16/03/2005	50,0	162,6	171,9	7,67	1,00	7,67	7,03	0,0	0,0	0,0			0,0
17/03/2005	50,0	166,5	162,5	6,26	1,00	6,26	5,46	0,0	0,0	0,0			0,0
18/03/2005	50,0	158,0	166,5	5,08	1,00	5,08	4,53	0,0	0,0	0,0			0,0
19/03/2005	50,0	164,9	158,0	3,12	1,00	3,12	2,64	1,0	1,0	0,0			0,0
20/03/2005	50,0	192,1	164,9	3,26	1,00	3,26	2,88	38,0	37,0	1,0			0,0
21/03/2005	50,0	159,9	194,1	5,07	1,00	5,07	5,02	0,0	0,0	0,0			0,0
22/03/2005	50,0	192,4	159,9	5,64	1,00	5,64	4,83	2,0	2,0	0,0			0,0
23/03/2005	50,0	154,8	192,4	5,13	1,00	5,13	5,08	0,0	0,0	0,0			0,0
24/03/2005	50,0	188,3	154,8	4,99	1,00	4,99	4,12	0,0	0,0	0,0			0,0
25/03/2005	50,0	152,3	188,3	2,60	1,00	2,60	2,54	0,0	0,0	0,0			0,0
26/03/2005	50,0	195,0	152,3	2,79	1,00	2,79	2,26	63,0	39,8	23,2			30,9
27/03/2005	50,0	147,8	195,0	4,53	1,00	4,53	4,53	0,0	0,0	0,0			0,0
28/03/2005	50,0	190,5	147,8	5,82	1,00	5,82	4,52	0,0	0,0	0,0			0,0
29/03/2005	50,0	142,1	190,5	5,84	1,00	5,84	5,76	0,0	0,0	0,0			0,0
30/03/2005	50,0	187,2	142,1	4,60	1,00	4,60	3,33	0,0	0,0	0,0			0,0
31/03/2005	50,0	137,6	187,2	4,68	1,00	4,68	4,56	0,0	0,0	0,0			0,0

Anexo B – Resultados obtidos pelo *software* SH 2.0, referentes ao mês de Abril de 2005.

Data	Prof. Solo (cm)	Umidade Calculada (mm)	Umidade Observada (mm)	ETo (mm)	Kc	ETpc (mm)	ETrc (mm)	Precip. (mm)	Infiltração (mm)	Escoam. Superficial (mm)	Armazen. Superficial (mm)	Intercept. (mm)	Percolação (mm)
01/04/2005	50,0	134,2	137,6	5,07	1,00	5,07	3,42	0,0	0,0	0,0			0,0
02/04/2005	50,0	135,1	134,2	3,96	1,00	3,96	2,49	0,0	0,0	0,0			0,0
03/04/2005	50,0	130,3	135,1	6,15	1,00	6,15	3,95	0,0	0,0	0,0			0,0
04/04/2005	50,0	132,2	130,3	5,18	1,00	5,18	2,90	0,0	0,0	0,0			0,0
05/04/2005	50,0	127,3	132,2	5,13	1,00	5,13	3,06	0,0	0,0	0,0			0,0
06/04/2005	50,0	130,0	127,3	4,62	1,00	4,62	2,25	0,0	0,0	0,0			0,0
07/04/2005	50,0	125,3	130,0	3,63	1,00	3,63	2,01	0,0	0,0	0,0			0,0
08/04/2005	50,0	127,5	125,3	5,86	1,00	5,86	2,49	0,0	0,0	0,0			0,0
09/04/2005	50,0	122,7	127,5	5,37	1,00	5,37	2,66	0,0	0,0	0,0			0,0
10/04/2005	50,0	129,6	122,7	6,40	1,00	6,40	1,91	4,0	4,0	0,0			0,0
11/04/2005	50,0	120,2	129,6	4,66	1,00	4,66	2,54	0,0	0,0	0,0			0,0
12/04/2005	50,0	129,4	120,2	4,71	1,00	4,71	0,17	0,0	0,0	0,0			0,0
13/04/2005	50,0	120,0	120,0	5,29	1,00	5,29	2,86	0,0	0,0	0,0			0,0
14/04/2005	50,0	120,0	120,0	4,39	1,00	4,39	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
15/04/2005	50,0	120,0	120,0	5,84	1,00	5,84	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
16/04/2005	50,0	120,0	120,0	6,46	1,00	6,46	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
17/04/2005	50,0	120,0	120,0	5,40	1,00	5,40	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
18/04/2005	50,0	120,0	120,0	4,22	1,00	4,22	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
19/04/2005	50,0	120,0	120,0	4,87	1,00	4,87	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
20/04/2005	50,0	120,0	120,0	5,31	1,00	5,31	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
21/04/2005	50,0	120,0	120,0	5,59	1,00	5,59	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
22/04/2005	50,0	122,0	120,0	5,23	1,00	5,23	0,00	2,0	2,0	0,0			0,0
23/04/2005	50,0	120,0	122,0	3,97	1,00	3,97	1,01	0,0	0,0	0,0			0,0
24/04/2005	50,0	143,0	120,0	4,36	1,00	4,36	0,00	21,0	21,0	0,0			0,0
25/04/2005	50,0	120,0	143,0	3,22	1,00	3,22	2,36	0,0	0,0	0,0			0,0
26/04/2005	50,0	145,0	120,0	2,87	1,00	2,87	0,00	2,0	2,0	0,0			0,0
27/04/2005	50,0	124,2	145,0	2,35	1,00	2,35	1,77	6,0	6,0	0,0			0,0
28/04/2005	50,0	144,0	124,2	2,64	1,00	2,64	1,01	0,0	0,0	0,0			0,0
29/04/2005	50,0	130,1	144,0	4,18	1,00	4,18	3,11	9,0	9,0	0,0			0,0
30/04/2005	50,0	155,8	130,1	3,94	1,00	3,94	2,19	14,0	14,0	0,0			0,0

Anexo B – Resultados obtidos pelo *software* SH 2.0, referentes ao mês de Maio de 2005.

Data	Prof. Solo (cm)	Umidade Calculada (mm)	Umidade Observada (mm)	ETo (mm)	Kc	ETpc (mm)	ETrc (mm)	Precip. (mm)	Infiltração (mm)	Escoam. Superficial (mm)	Armazen. Superficial (mm)	Intercept. (mm)	Percolação (mm)
01/05/2005	50,0	157,2	155,8	4,30	1,00	4,30	3,58	5,0	5,0	0,0			0,0
02/05/2005	50,0	152,3	157,2	4,16	1,00	4,16	3,50	0,0	0,0	0,0			0,0
03/05/2005	50,0	152,9	152,3	5,27	1,00	5,27	4,27	0,0	0,0	0,0			0,0
04/05/2005	50,0	148,4	152,9	4,85	1,00	4,85	3,94	0,0	0,0	0,0			0,0
05/05/2005	50,0	149,2	148,4	4,74	1,00	4,74	3,70	0,0	0,0	0,0			0,0
06/05/2005	50,0	145,5	149,2	3,72	1,00	3,72	2,93	0,0	0,0	0,0			0,0
07/05/2005	50,0	146,2	145,5	4,03	1,00	4,03	3,05	0,0	0,0	0,0			0,0
08/05/2005	50,0	142,1	146,2	4,47	1,00	4,47	3,41	0,0	0,0	0,0			0,0
09/05/2005	50,0	142,9	142,1	4,52	1,00	4,52	3,27	0,0	0,0	0,0			0,0
10/05/2005	50,0	139,4	142,9	3,68	1,00	3,68	2,70	0,0	0,0	0,0			0,0
11/05/2005	50,0	138,9	139,4	5,70	1,00	5,70	3,97	0,0	0,0	0,0			0,0
12/05/2005	50,0	135,7	138,9	5,35	1,00	5,35	3,69	0,0	0,0	0,0			0,0
13/05/2005	50,0	136,5	135,7	3,65	1,00	3,65	2,37	0,0	0,0	0,0			0,0
14/05/2005	50,0	133,3	136,5	3,66	1,00	3,66	2,42	0,0	0,0	0,0			0,0
15/05/2005	50,0	133,8	133,3	4,36	1,00	4,36	2,68	0,0	0,0	0,0			0,0
16/05/2005	50,0	130,0	133,8	5,30	1,00	5,30	3,30	0,0	0,0	0,0			0,0
17/05/2005	50,0	131,0	130,0	5,02	1,00	5,02	2,78	0,0	0,0	0,0			0,0
18/05/2005	50,0	127,4	131,0	4,46	1,00	4,46	2,56	0,0	0,0	0,0			0,0
19/05/2005	50,0	128,8	127,4	4,51	1,00	4,51	2,22	0,0	0,0	0,0			0,0
20/05/2005	50,0	124,9	128,8	4,72	1,00	4,72	2,49	0,0	0,0	0,0			0,0
21/05/2005	50,0	126,7	124,9	5,21	1,00	5,21	2,14	0,0	0,0	0,0			0,0
22/05/2005	50,0	123,5	126,7	2,91	1,00	2,91	1,37	0,0	0,0	0,0			0,0
23/05/2005	50,0	149,9	123,5	2,33	1,00	2,33	0,81	24,0	24,0	0,0			0,0
24/05/2005	50,0	128,2	149,9	2,94	1,00	2,94	2,33	7,0	7,0	0,0			0,0
25/05/2005	50,0	148,6	128,2	2,65	1,00	2,65	1,35	0,0	0,0	0,0			0,0
26/05/2005	50,0	132,9	148,6	4,27	1,00	4,27	3,34	8,0	8,0	0,0			0,0
27/05/2005	50,0	145,7	132,9	4,79	1,00	4,79	2,91	0,0	0,0	0,0			0,0
28/05/2005	50,0	129,4	145,7	4,68	1,00	4,68	3,55	0,0	0,0	0,0			0,0
29/05/2005	50,0	143,4	129,4	4,29	1,00	4,29	2,32	0,0	0,0	0,0			0,0
30/05/2005	50,0	127,3	143,4	2,81	1,00	2,81	2,07	0,0	0,0	0,0			0,0
31/05/2005	50,0	141,3	127,3	4,34	1,00	4,34	2,13	0,0	0,0	0,0			0,0

Anexo B – Resultados obtidos pelo *software* SH 2.0, referentes ao mês de Junho de 2005.

Data	Prof. Solo (cm)	Umidade Calculada (mm)	Umidade Observada (mm)	ETo (mm)	Kc	ETpc (mm)	ETrc (mm)	Precip. (mm)	Infiltração (mm)	Escoam. Superficial (mm)	Armazen. Superficial (mm)	Intercept. (mm)	Percolação (mm)
01/01/2005	50,0	189,3	195,0	5,77	1,00	5,77	5,77	0,0	0,0	0,0			0,0
02/01/2005	50,0	195,0	189,3	4,61	1,00	4,61	4,53	7,0	7,0	0,0			2,5
03/01/2005	50,0	182,7	195,0	6,66	1,00	6,66	6,66	0,0	0,0	0,0			0,0
04/01/2005	50,0	189,9	182,7	5,32	1,00	5,32	5,10	0,0	0,0	0,0			0,0
05/01/2005	50,0	177,1	189,9	5,71	1,00	5,71	5,61	0,0	0,0	0,0			0,0
06/01/2005	50,0	184,8	177,1	5,41	1,00	5,41	5,07	0,0	0,0	0,0			0,0
07/01/2005	50,0	171,7	184,8	5,59	1,00	5,59	5,40	0,0	0,0	0,0			0,0
08/01/2005	50,0	184,0	171,7	5,25	1,00	5,25	4,81	4,0	4,0	0,0			0,0
09/01/2005	50,0	195,0	184,0	7,40	1,00	7,40	7,13	29,0	28,1	0,9			0,0
10/01/2005	50,0	178,7	195,0	5,27	1,00	5,27	5,27	0,0	0,0	0,0			0,0
11/01/2005	50,0	195,0	178,7	5,61	1,00	5,61	5,29	3,0	3,0	0,0			0,0
12/01/2005	50,0	195,0	195,0	3,20	1,00	3,20	3,20	34,0	31,5	2,5			12,0
13/01/2005	50,0	195,0	195,0	4,48	1,00	4,48	4,48	20,0	16,9	3,1			12,4
14/01/2005	50,0	191,1	195,0	3,94	1,00	3,94	3,94	0,0	0,0	0,0			0,0
15/01/2005	50,0	189,6	191,1	5,46	1,00	5,46	5,39	0,0	0,0	0,0			0,0
16/01/2005	50,0	186,3	189,6	4,90	1,00	4,90	4,82	0,0	0,0	0,0			0,0
17/01/2005	50,0	195,0	186,3	2,49	1,00	2,49	2,42	14,0	14,0	0,0			6,2
18/01/2005	50,0	191,3	195,0	4,33	1,00	4,33	4,33	9,0	9,0	0,0			0,0
19/01/2005	50,0	195,0	191,3	2,71	1,00	2,71	2,68	14,0	12,9	1,1			10,2
20/01/2005	50,0	193,7	195,0	5,92	1,00	5,92	5,92	6,0	6,0	0,0			0,0
21/01/2005	50,0	191,2	193,7	3,84	1,00	3,84	3,82	0,0	0,0	0,0			0,0
22/01/2005	50,0	188,4	191,2	5,41	1,00	5,41	5,34	0,0	0,0	0,0			0,0
23/01/2005	50,0	195,0	188,4	6,32	1,00	6,32	6,19	46,0	31,7	14,3			21,7
24/01/2005	50,0	184,6	195,0	3,86	1,00	3,86	3,86	0,0	0,0	0,0			0,0
25/01/2005	50,0	188,3	184,6	6,95	1,00	6,95	6,72	0,0	0,0	0,0			0,0
26/01/2005	50,0	180,7	188,3	4,05	1,00	4,05	3,96	0,0	0,0	0,0			0,0
27/01/2005	50,0	195,0	180,7	2,36	1,00	2,36	2,24	9,0	9,0	0,0			0,1
28/01/2005	50,0	183,8	195,0	2,88	1,00	2,88	2,88	6,0	6,0	0,0			0,0
29/01/2005	50,0	192,1	183,8	3,03	1,00	3,03	2,92	0,0	0,0	0,0			0,0
30/01/2005	50,0	181,4	192,1	2,44	1,00	2,44	2,42	0,0	0,0	0,0			0,0
31/01/2005	50,0	187,9	181,4	4,44	1,00	4,44	4,24	0,0	0,0	0,0			0,0

Anexo B – Resultados obtidos pelo *software* SH 2.0, referentes ao mês de Julho de 2005.

Data	Prof. Solo (cm)	Umidade Calculada (mm)	Umidade Observada (mm)	ETo (mm)	Kc	ETpc (mm)	ETrc (mm)	Precip. (mm)	Infiltração (mm)	Escoam. Superficial (mm)	Armazen. Superficial (mm)	Intercept. (mm)	Percolação (mm)
01/07/2005	50,0	120,0	120,0	5,01	1,00	5,01	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
02/07/2005	50,0	120,0	120,0	5,84	1,00	5,84	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
03/07/2005	50,0	120,0	120,0	4,98	1,00	4,98	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
04/07/2005	50,0	120,0	120,0	4,69	1,00	4,69	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
05/07/2005	50,0	120,0	120,0	5,13	1,00	5,13	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
06/07/2005	50,0	120,0	120,0	4,49	1,00	4,49	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
07/07/2005	50,0	120,0	120,0	3,61	1,00	3,61	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
08/07/2005	50,0	121,0	120,0	2,73	1,00	2,73	0,01	1,0	1,0	0,0			0,0
09/07/2005	50,0	120,0	120,0	4,81	1,00	4,81	0,77	0,0	0,0	0,0			0,0
10/07/2005	50,0	120,0	120,0	3,06	1,00	3,06	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
11/07/2005	50,0	120,0	120,0	4,16	1,00	4,16	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
12/07/2005	50,0	120,0	120,0	4,15	1,00	4,15	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
13/07/2005	50,0	120,0	120,0	4,14	1,00	4,14	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
14/07/2005	50,0	120,0	120,0	5,35	1,00	5,35	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
15/07/2005	50,0	120,0	120,0	3,35	1,00	3,35	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
16/07/2005	50,0	120,0	120,0	5,96	1,00	5,96	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
17/07/2005	50,0	120,0	120,0	4,82	1,00	4,82	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
18/07/2005	50,0	120,0	120,0	4,15	1,00	4,15	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
19/07/2005	50,0	132,0	120,0	2,40	1,00	2,40	0,00	12,0	12,0	0,0			0,0
20/07/2005	50,0	120,7	132,0	2,23	1,00	2,23	1,32	2,0	2,0	0,0			0,0
21/07/2005	50,0	133,5	120,7	4,37	1,00	4,37	0,52	2,0	2,0	0,0			0,0
22/07/2005	50,0	120,0	133,5	3,46	1,00	3,46	2,14	0,0	0,0	0,0			0,0
23/07/2005	50,0	133,5	120,0	5,29	1,00	5,29	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
24/07/2005	50,0	120,0	133,5	3,64	1,00	3,64	2,25	0,0	0,0	0,0			0,0
25/07/2005	50,0	133,5	120,0	5,80	1,00	5,80	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
26/07/2005	50,0	120,0	133,5	5,18	1,00	5,18	3,20	0,0	0,0	0,0			0,0
27/07/2005	50,0	135,5	120,0	2,99	1,00	2,99	0,00	2,0	2,0	0,0			0,0
28/07/2005	50,0	120,0	135,5	4,11	1,00	4,11	2,66	0,0	0,0	0,0			0,0
29/07/2005	50,0	135,5	120,0	3,65	1,00	3,65	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
30/07/2005	50,0	120,0	135,5	4,93	1,00	4,93	3,20	0,0	0,0	0,0			0,0
31/07/2005	50,0	139,5	120,0	4,08	1,00	4,08	0,00	4,0	4,0	0,0			0,0

Anexo B – Resultados obtidos pelo *software* SH 2.0, referentes ao mês de Agosto de 2005.

Data	Prof. Solo (cm)	Umidade Calculada (mm)	Umidade Observada (mm)	ETo (mm)	Kc	ETpc (mm)	ETrc (mm)	Precip. (mm)	Infiltração (mm)	Escoam. Superficial (mm)	Armazen. Superficial (mm)	Intercept. (mm)	Percolação (mm)
01/08/2005	50,0	135,5	139,5	5,76	1,00	5,76	4,02	0,0	0,0	0,0			0,0
02/08/2005	50,0	136,4	135,5	4,74	1,00	4,74	3,07	0,0	0,0	0,0			0,0
03/08/2005	50,0	132,1	136,4	5,21	1,00	5,21	3,44	0,0	0,0	0,0			0,0
04/08/2005	50,0	133,5	132,1	4,89	1,00	4,89	2,90	0,0	0,0	0,0			0,0
05/08/2005	50,0	129,0	133,5	5,04	1,00	5,04	3,11	0,0	0,0	0,0			0,0
06/08/2005	50,0	131,6	129,0	3,64	1,00	3,64	1,94	0,0	0,0	0,0			0,0
07/08/2005	50,0	126,2	131,6	4,80	1,00	4,80	2,81	0,0	0,0	0,0			0,0
08/08/2005	50,0	129,4	126,2	4,85	1,00	4,85	2,21	0,0	0,0	0,0			0,0
09/08/2005	50,0	123,9	129,4	4,30	1,00	4,30	2,32	0,0	0,0	0,0			0,0
10/08/2005	50,0	127,4	123,9	5,36	1,00	5,36	1,96	0,0	0,0	0,0			0,0
11/08/2005	50,0	131,3	127,4	5,36	1,00	5,36	2,64	10,0	10,0	0,0			0,0
12/08/2005	50,0	135,4	131,3	3,46	1,00	3,46	2,00	10,0	10,0	0,0			0,0
13/08/2005	50,0	128,7	135,4	3,98	1,00	3,98	2,57	0,0	0,0	0,0			0,0
14/08/2005	50,0	132,8	128,7	4,92	1,00	4,92	2,59	0,0	0,0	0,0			0,0
15/08/2005	50,0	126,1	132,8	4,27	1,00	4,27	2,59	0,0	0,0	0,0			0,0
16/08/2005	50,0	130,9	126,1	4,17	1,00	4,17	1,89	0,0	0,0	0,0			0,0
17/08/2005	50,0	124,8	130,9	4,07	1,00	4,07	2,33	1,0	1,0	0,0			0,0
18/08/2005	50,0	129,1	124,8	4,40	1,00	4,40	1,78	0,0	0,0	0,0			0,0
19/08/2005	50,0	122,8	129,1	3,78	1,00	3,78	2,02	0,0	0,0	0,0			0,0
20/08/2005	50,0	143,8	122,8	4,22	1,00	4,22	1,30	16,0	16,0	0,0			0,0
21/08/2005	50,0	120,0	143,8	4,37	1,00	4,37	3,24	0,0	0,0	0,0			0,0
22/08/2005	50,0	143,8	120,0	4,68	1,00	4,68	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
23/08/2005	50,0	120,0	143,8	5,78	1,00	5,78	4,29	0,0	0,0	0,0			0,0
24/08/2005	50,0	143,8	120,0	4,88	1,00	4,88	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
25/08/2005	50,0	120,0	143,8	5,37	1,00	5,37	3,98	0,0	0,0	0,0			0,0
26/08/2005	50,0	143,8	120,0	2,37	1,00	2,37	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
27/08/2005	50,0	120,0	143,8	4,25	1,00	4,25	3,15	0,0	0,0	0,0			0,0
28/08/2005	50,0	143,8	120,0	6,34	1,00	6,34	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
29/08/2005	50,0	120,0	143,8	5,60	1,00	5,60	4,15	0,0	0,0	0,0			0,0
30/08/2005	50,0	143,8	120,0	6,46	1,00	6,46	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
31/08/2005	50,0	120,0	143,8	5,96	1,00	5,96	4,42	0,0	0,0	0,0			0,0

Anexo B – Resultados obtidos pelo *software* SH 2.0, referentes ao mês de Setembro de 2005.

Data	Prof. Solo (cm)	Umidade Calculada (mm)	Umidade Observada (mm)	ETo (mm)	Kc	ETpc (mm)	ETrc (mm)	Precip. (mm)	Infiltração (mm)	Escoam. Superficial (mm)	Armazen. Superficial (mm)	Intercept. (mm)	Percolação (mm)
01/09/2005	50,0	120,0	120,0	5,30	1,00	5,30	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
02/09/2005	50,0	120,0	120,0	5,52	1,00	5,52	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
03/09/2005	50,0	120,0	120,0	6,30	1,00	6,30	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
04/09/2005	50,0	120,0	120,0	5,15	1,00	5,15	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
05/09/2005	50,0	120,0	120,0	3,50	1,00	3,50	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
06/09/2005	50,0	120,0	120,0	4,43	1,00	4,43	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
07/09/2005	50,0	120,0	120,0	2,90	1,00	2,90	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
08/09/2005	50,0	120,0	120,0	3,86	1,00	3,86	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
09/09/2005	50,0	120,0	120,0	2,66	1,00	2,66	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
10/09/2005	50,0	120,0	120,0	4,17	1,00	4,17	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
11/09/2005	50,0	120,0	120,0	6,63	1,00	6,63	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
12/09/2005	50,0	120,0	120,0	7,34	1,00	7,34	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
13/09/2005	50,0	120,0	120,0	3,35	1,00	3,35	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
14/09/2005	50,0	120,0	120,0	2,89	1,00	2,89	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
15/09/2005	50,0	120,0	120,0	4,03	1,00	4,03	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
16/09/2005	50,0	120,0	120,0	5,02	1,00	5,02	0,01	0,0	0,0	0,0			0,0
17/09/2005	50,0	120,0	120,0	3,51	1,00	3,51	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
18/09/2005	50,0	122,0	120,0	2,03	1,00	2,03	0,00	2,0	2,0	0,0			0,0
19/09/2005	50,0	120,0	122,0	3,84	1,00	3,84	0,97	1,0	1,0	0,0			0,0
20/09/2005	50,0	122,0	120,0	4,09	1,00	4,09	0,02	0,0	0,0	0,0			0,0
21/09/2005	50,0	120,0	122,0	6,18	1,00	6,18	1,56	0,0	0,0	0,0			0,0
22/09/2005	50,0	122,0	120,0	4,57	1,00	4,57	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
23/09/2005	50,0	120,0	122,0	3,50	1,00	3,50	0,89	0,0	0,0	0,0			0,0
24/09/2005	50,0	123,0	120,0	4,17	1,00	4,17	0,00	1,0	1,0	0,0			0,0
25/09/2005	50,0	120,0	123,0	4,73	1,00	4,73	1,51	0,0	0,0	0,0			0,0
26/09/2005	50,0	173,2	120,0	2,97	1,00	2,97	0,00	51,0	50,2	0,8			0,0
27/09/2005	50,0	125,8	174,0	2,41	1,00	2,41	2,23	8,0	8,0	0,0			0,0
28/09/2005	50,0	177,1	125,8	1,97	1,00	1,97	0,87	4,0	4,0	0,0			0,0
29/09/2005	50,0	122,9	177,1	3,08	1,00	3,08	2,89	0,0	0,0	0,0			0,0
30/09/2005	50,0	175,3	122,9	5,64	1,00	5,64	1,78	0,0	0,0	0,0			0,0

Anexo B – Resultados obtidos pelo *software* SH 2.0, referentes ao mês de Outubro de 2005.

Data	Prof. Solo (cm)	Umidade Calculada (mm)	Umidade Observada (mm)	ETo (mm)	Kc	ETpc (mm)	ETrc (mm)	Precip. (mm)	Infiltração (mm)	Escoam. Superficial (mm)	Armazen. Superficial (mm)	Intercept. (mm)	Percolação (mm)
01/10/2005	50,0	170,4	175,3	5,26	1,00	5,26	4,90	0,0	0,0	0,0			0,0
02/10/2005	50,0	171,9	170,4	3,80	1,00	3,80	3,46	0,0	0,0	0,0			0,0
03/10/2005	50,0	167,5	171,9	3,20	1,00	3,20	2,93	0,0	0,0	0,0			0,0
04/10/2005	50,0	167,4	167,5	5,03	1,00	5,03	4,50	0,0	0,0	0,0			0,0
05/10/2005	50,0	163,9	167,4	4,00	1,00	4,00	3,58	0,0	0,0	0,0			0,0
06/10/2005	50,0	161,1	163,9	7,23	1,00	7,23	6,35	0,0	0,0	0,0			0,0
07/10/2005	50,0	176,8	161,1	4,70	1,00	4,70	4,06	17,0	17,0	0,0			0,0
08/10/2005	50,0	155,1	176,8	6,36	1,00	6,36	5,96	0,0	0,0	0,0			0,0
09/10/2005	50,0	171,0	155,1	6,98	1,00	6,98	5,78	0,0	0,0	0,0			0,0
10/10/2005	50,0	149,7	171,0	5,96	1,00	5,96	5,44	0,0	0,0	0,0			0,0
11/10/2005	50,0	166,1	149,7	6,23	1,00	6,23	4,92	0,0	0,0	0,0			0,0
12/10/2005	50,0	144,3	166,1	6,13	1,00	6,13	5,45	0,0	0,0	0,0			0,0
13/10/2005	50,0	160,9	144,0	6,94	1,00	6,94	5,18	0,0	0,0	0,0			0,0
14/10/2005	50,0	137,6	160,9	7,46	1,00	7,46	6,44	0,0	0,0	0,0			0,0
15/10/2005	50,0	157,1	137,6	5,64	1,00	5,64	3,81	0,0	0,0	0,0			0,0
16/10/2005	50,0	131,8	157,1	6,89	1,00	6,89	5,79	0,0	0,0	0,0			0,0
17/10/2005	50,0	153,4	131,8	6,38	1,00	6,38	3,76	0,0	0,0	0,0			0,0
18/10/2005	50,0	126,8	153,4	6,19	1,00	6,19	5,05	0,0	0,0	0,0			0,0
19/10/2005	50,0	152,2	126,8	2,55	1,00	2,55	1,21	0,0	0,0	0,0			0,0
20/10/2005	50,0	122,9	152,2	4,89	1,00	4,89	3,96	0,0	0,0	0,0			0,0
21/10/2005	50,0	150,3	122,9	6,04	1,00	6,04	1,88	0,0	0,0	0,0			0,0
22/10/2005	50,0	120,0	150,3	6,96	1,00	6,96	5,54	0,0	0,0	0,0			0,0
23/10/2005	50,0	150,3	120,0	5,66	1,00	5,66	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
24/10/2005	50,0	120,0	150,3	3,13	1,00	3,13	2,49	1,0	1,0	0,0			0,0
25/10/2005	50,0	150,3	120,0	5,97	1,00	5,97	0,00	0,0	0,0	0,0			0,0
26/10/2005	50,0	120,0	150,3	6,09	1,00	6,09	4,84	0,0	0,0	0,0			0,0
27/10/2005	50,0	154,3	120,0	3,38	1,00	3,38	0,00	4,0	4,0	0,0			0,0
28/10/2005	50,0	120,0	154,3	4,77	1,00	4,77	3,92	0,0	0,0	0,0			0,0
29/10/2005	50,0	172,3	120,0	4,13	1,00	4,13	0,00	18,0	18,0	0,0			0,0
30/10/2005	50,0	129,8	172,3	2,45	1,00	2,45	2,25	12,0	12,0	0,0			0,0
31/10/2005	50,0	183,6	129,8	3,01	1,00	3,01	1,65	13,0	13,0	0,0			0,0

Anexo B – Resultados obtidos pelo *software* SH 2.0, referentes ao mês de Novembro de 2005.

Data	Prof. Solo (cm)	Umidade Calculada (mm)	Umidade Observada (mm)	ETo (mm)	Kc	ETpc (mm)	ETrc (mm)	Precip. (mm)	Infiltração (mm)	Escoam. Superficial (mm)	Armazen. Superficial (mm)	Intercept. (mm)	Percolação (mm)
01/11/2005	50,0	190,5	183,6	3,23	1,00	3,23	3,11	10,0	10,0	0,0			0,0
02/11/2005	50,0	195,0	190,5	2,26	1,00	2,26	2,23	19,0	19,0	0,0			5,4
03/11/2005	50,0	195,0	195,0	2,69	1,00	2,69	2,69	10,0	10,0	0,0			2,8
04/11/2005	50,0	190,2	195,0	4,81	1,00	4,81	4,81	0,0	0,0	0,0			0,0
05/11/2005	50,0	195,0	190,2	4,46	1,00	4,46	4,39	17,0	15,0	2,0			10,6
06/11/2005	50,0	184,5	195,0	5,73	1,00	5,73	5,73	0,0	0,0	0,0			0,0
07/11/2005	50,0	188,9	184,5	6,32	1,00	6,32	6,11	0,0	0,0	0,0			0,0
08/11/2005	50,0	185,7	188,9	5,89	1,00	5,89	5,78	7,0	7,0	0,0			0,0
09/11/2005	50,0	186,1	185,7	2,87	1,00	2,87	2,79	0,0	0,0	0,0			0,0
10/11/2005	50,0	183,7	186,1	2,07	1,00	2,07	2,01	0,0	0,0	0,0			0,0
11/11/2005	50,0	195,0	183,7	2,38	1,00	2,38	2,29	16,0	16,0	0,0			4,8
12/11/2005	50,0	182,2	195,0	2,46	1,00	2,46	2,46	1,0	1,0	0,0			0,0
13/11/2005	50,0	191,9	182,2	3,26	1,00	3,26	3,13	0,0	0,0	0,0			0,0
14/11/2005	50,0	178,2	191,9	4,06	1,00	4,06	4,02	0,0	0,0	0,0			0,0
15/11/2005	50,0	188,0	178,2	4,11	1,00	4,11	3,87	0,0	0,0	0,0			0,0
16/11/2005	50,0	172,5	188,0	5,84	1,00	5,84	5,71	0,0	0,0	0,0			0,0
17/11/2005	50,0	184,3	172,5	5,12	1,00	5,12	4,70	1,0	1,0	0,0			0,0
18/11/2005	50,0	169,1	184,3	3,53	1,00	3,53	3,41	0,0	0,0	0,0			0,0
19/11/2005	50,0	180,4	169,1	5,44	1,00	5,44	4,91	1,0	1,0	0,0			0,0
20/11/2005	50,0	188,4	180,4	2,89	1,00	2,89	2,74	22,0	22,0	0,0			0,0
21/11/2005	50,0	182,8	188,4	2,61	1,00	2,61	2,55	5,0	5,0	0,0			0,0
22/11/2005	50,0	188,7	182,8	3,86	1,00	3,86	3,71	4,0	4,0	0,0			0,0
23/11/2005	50,0	178,1	189,1	4,80	1,00	4,80	4,71	0,0	0,0	0,0			0,0
24/11/2005	50,0	184,6	178,1	4,78	1,00	4,78	4,50	0,0	0,0	0,0			0,0
25/11/2005	50,0	173,9	184,6	4,40	1,00	4,40	4,25	0,0	0,0	0,0			0,0
26/11/2005	50,0	195,0	173,9	2,14	1,00	2,14	1,98	17,0	17,0	0,0			4,6
27/11/2005	50,0	175,0	195,0	2,92	1,00	2,92	2,92	4,0	4,0	0,0			0,0
28/11/2005	50,0	192,7	175,2	2,47	1,00	2,47	2,30	0,0	0,0	0,0			0,0
29/11/2005	50,0	174,5	193,1	3,77	1,00	3,77	3,74	3,0	3,0	0,0			0,0
30/11/2005	50,0	188,4	174,1	5,05	1,00	5,05	4,69	0,0	0,0	0,0			0,0

Anexo B – Resultados obtidos pelo *software* SH 2.0, referentes ao mês de Dezembro de 2005.

Data	Prof. Solo (cm)	Umidade Calculada (mm)	Umidade Observada (mm)	ETo (mm)	Kc	ETpe (mm)	ETrc (mm)	Precip. (mm)	Infiltração (mm)	Escoam. Superficial (mm)	Armazen. Superficial (mm)	Intercept. (mm)	Percolação (mm)
01/12/2005	50,0	184,6	188,4	3,89	1,00	3,89	3,81	0,0	0,0	0,0			0,0
02/12/2005	50,0	190,2	184,6	4,36	1,00	4,36	4,22	6,0	6,0	0,0			0,0
03/12/2005	50,0	195,0	189,7	3,35	1,00	3,35	3,30	27,0	26,2	0,8			12,5
04/12/2005	50,0	187,3	195,0	2,44	1,00	2,44	2,44	0,0	0,0	0,0			0,0
05/12/2005	50,0	188,9	187,3	6,31	1,00	6,31	6,15	0,0	0,0	0,0			0,0
06/12/2005	50,0	183,9	188,9	3,47	1,00	3,47	3,41	0,0	0,0	0,0			0,0
07/12/2005	50,0	195,0	183,9	3,89	1,00	3,89	3,75	39,0	29,5	9,5			19,6
08/12/2005	50,0	183,5	195,0	2,43	1,00	2,43	2,43	2,0	2,0	0,0			0,0
09/12/2005	50,0	195,0	183,0	3,87	1,00	3,87	3,72	21,0	17,2	3,8			13,5
10/12/2005	50,0	178,2	195,0	5,84	1,00	5,84	5,84	1,0	1,0	0,0			0,0
11/12/2005	50,0	195,0	177,7	2,18	1,00	2,18	2,06	51,0	27,3	23,7			25,3
12/12/2005	50,0	195,0	195,0	2,12	1,00	2,12	2,12	36,0	32,5	3,5			13,1
13/12/2005	50,0	195,0	195,0	2,40	1,00	2,40	2,40	13,0	12,0	1,0			9,6
14/12/2005	50,0	195,0	195,0	2,63	1,00	2,63	2,63	7,0	7,0	0,0			4,4
15/12/2005	50,0	195,0	195,0	4,40	1,00	4,40	4,40	47,0	26,2	20,8			21,8
16/12/2005	50,0	194,5	195,0	4,45	1,00	4,45	4,45	2,0	2,0	0,0			0,0
17/12/2005	50,0	188,9	194,1	6,16	1,00	6,16	6,15	0,0	0,0	0,0			0,0
18/12/2005	50,0	188,8	188,9	5,43	1,00	5,43	5,32	0,0	0,0	0,0			0,0
19/12/2005	50,0	195,0	188,8	4,58	1,00	4,58	4,49	12,0	12,0	0,0			1,4
20/12/2005	50,0	195,0	195,0	7,16	1,00	7,16	7,16	18,0	17,6	0,4			4,2
21/12/2005	50,0	187,8	195,0	7,21	1,00	7,21	7,21	0,0	0,0	0,0			0,0
22/12/2005	50,0	189,8	187,8	5,39	1,00	5,39	5,27	0,0	0,0	0,0			0,0
23/12/2005	50,0	182,5	189,8	5,35	1,00	5,35	5,27	0,0	0,0	0,0			0,0
24/12/2005	50,0	183,4	182,5	6,64	1,00	6,64	6,37	0,0	0,0	0,0			0,0
25/12/2005	50,0	178,6	183,4	4,10	1,00	4,10	3,94	0,0	0,0	0,0			0,0
26/12/2005	50,0	189,1	178,6	2,43	1,00	2,43	2,30	8,0	8,0	0,0			0,0
27/12/2005	50,0	176,1	189,2	5,59	1,00	5,59	5,48	3,0	3,0	0,0			0,0
28/12/2005	50,0	185,1	176,0	4,38	1,00	4,38	4,09	0,0	0,0	0,0			0,0
29/12/2005	50,0	170,4	185,1	5,76	1,00	5,76	5,58	0,0	0,0	0,0			0,0
30/12/2005	50,0	181,6	170,4	3,91	1,00	3,91	3,56	0,0	0,0	0,0			0,0
31/12/2005	50,0	164,2	181,6	6,54	1,00	6,54	6,25	0,0	0,0	0,0			0,0