

JOANA ANGÉLICA CAVALCANTI PINHEIRO

**PROCESSOS HIDROLÓGICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO  
ZEREDE EM TIMÓTEO-MG**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2008

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

JOANA ANGÉLICA CAVALCANTI PINHEIRO

**PROCESSOS HIDROLÓGICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO  
ZEREDE EM TIMÓTEO-MG**

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

APROVADA: 26 de setembro de 2008.

---

Prof. Haroldo Nogueira de Paiva  
(Co-orientador)

---

Prof. Cláudio Mudado Silva  
(Co-orientador)

---

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho

---

Prof. Sílvio Nolasco de Oliveira Neto

---

Prof. Herly Carlos Teixeira Dias  
(Orientador)

A Deus, por ter me dado a oportunidade de estar no mundo.

Aos meus pais, Ronaldo e Marina, por todo o amor, o carinho, a compreensão e o respeito.

À minha avó, Maria de Lourdes (*in memoriam*) pelos valiosos ensinamentos e por todo o amor e o carinho.

Ao meu irmão Luciano e à sua noiva Karina, pelo apoio e incentivo.

Ao meu noivo Euclides, pelo companheirismo, dedicação e sinceridade.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por intermédio do Departamento de Engenharia Florestal, pelos ensinamentos e pela oportunidade de realização do Curso.

Ao professor Herly Carlos Teixeira Dias, pela orientação.

Aos professores Haroldo Nogueira de Paiva e Cláudio Mudado Silva, pela confiança e ensinamentos acadêmicos.

Ao Laboratório do Setor de Celulose e Papel – UFV, pela ajuda nas análises de água.

Aos trabalhadores voluntários da Fazenda Manaaim que sempre se dispuseram a ajudar.

Ao professor Leonardo e família pela prestatividade e por nos acolher de forma carinhosa.

Ao professor Lúcio e família pela ajuda em todos os momentos deste trabalho.

Às amigas, Paula e Michelle, que ajudaram com muita prestatividade e competência.

A todos os estagiários, Nara, Otávio, Tom, Roberta, Anderson (Pipa).

Aos grandes amigos.

Aos colegas do curso de pós-graduação pela troca de experiências.

Ao Chiquinho, Rita, Alfredo, Jamile e Ritinha, pela competência e palavras de amizade.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro concedido e pela bolsa de pesquisa.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

JOANA ANGÉLICA CAVALCANTI PINHEIRO, filha de Ronaldo Luiz Neves Pinheiro e Marina Cavalcanti Pinheiro, nasceu em 23 de Maio de 1982 na cidade de Valença, Rio de Janeiro.

Em 2000, concluiu o 2<sup>o</sup> grau no Colégio Anglo, em Viçosa, Minas Gerais.

Em 2001, iniciou o curso de Bioquímica na Universidade Federal de Viçosa, ocorrendo a transferência para Engenharia Florestal no ano de 2003, sendo o mesmo concluído em outubro de 2006.

Em outubro de 2006 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, na área de Hidrologia Florestal e Manejo de Bacias Hidrográficas, na Universidade Federal de Viçosa em Viçosa, Minas Gerais, concluindo os requisitos indispensáveis para obtenção do título de *Magister Scientiae* em Setembro de 2008.

## ÍNDICE

	Página
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiv</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Infiltração de água no solo .....	3
2.2 Medidas conservacionistas de água e solo .....	6
2.3 Ciclo hidrológico e balanço hídrico .....	8
2.3.1 Precipitação .....	9
2.3.2 Evapotranspiração .....	9
2.3.3 Infiltração .....	11
2.4 Qualidade da água .....	13
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
3.1 Caracterização da área de estudo .....	15
3.2 Capacidade de infiltração de água no solo e resistência à penetração ..	18
3.3 Balanço hídrico e qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG .....	22
3.3.1 Precipitação .....	22
3.3.2 Vazão.....	23
3.3.3 Evapotranspiração .....	24
3.3.4 Avaliação dos equipamentos do monitoramento hidrológico .....	25
3.3.5 Qualidade da água .....	25

	Página
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
4.1 Infiltração da água no solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG.....	29
4.2 Balanço hídrico e qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG .....	33
4.2.1 Hidrologia da bacia .....	33
4.2.2 Qualidade da água .....	39
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>55</b>

## LISTA DE QUADROS

	Página
1 Área relativa ocupada para cada cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG ..	17
2 Características físicas da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG .....	18
3 Coordenadas geográficas e declividade dos locais de amostragem na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, Timóteo-MG .....	20
4 Dados do infiltrômetro de anéis na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008 .....	29
5 Diferença entre as médias de Velocidade Básica de Infiltração analisadas pelo Teste de Scheffé, a 5% de probabilidade, na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008 .....	30
6 Variação da densidade do solo, densidade das partículas e porosidade em duas profundidades dos perfis descritos na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2005 .....	31
7 Valores de pressão para cravação do penetrômetro a 10 cm de profundidade nos diferentes tipos de uso do solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008.....	32

<b>8</b>	Balanço hídrico na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, entre maio de 2006 a abril de 2007 .....	38
<b>9</b>	Diferença dos valores de CE dos pontos amostrados pelo Teste t na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG .....	43
<b>10</b>	Diferença dos valores de sólidos suspensos totais (SST) dos pontos amostrados pelo Teste t na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008.....	45

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>1</b> Localização da Fazenda Manaaim no município de Timóteo, em Minas Gerais. ....	16
<b>2</b> Sub-bacias na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, Timóteo-MG. ....	17
<b>3</b> Vistas parciais dos usos de solo onde foram realizados os ensaios com o infiltrômetro e o penetrômetro na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG: a) pastagem ; b) plantio de eucalipto; c) floresta secundária na sub-bacia B; d) regeneração natural; e e) floresta secundária na sub-bacia A. ....	19
<b>4</b> Mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, Timóteo-MG. ....	20
<b>5</b> Forma de triângulo para os testes com infiltrômetro, na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, Timóteo-MG, 2008. ....	21
<b>6</b> a) Infiltrômetro de anéis concêntricos; b) Penetrômetro utilizado para medição da resistência do solo à penetração na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008. ....	22
<b>7</b> Pluviômetro digital sem fio instalado na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2006. .	22

<b>8</b>	a) Calha Parshall e sensor do ITS instalados na saída da BHCZ; b) ITS-2000 instalado junto a calha na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2006. .	24
<b>9</b>	Atmômetro modificado instalado na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2006.....	24
<b>10</b>	Localização dos pontos de coleta de água ao longo dos cursos d'água na Bacia do Córrego Zerede, em Timóteo-MG.....	26
<b>11</b>	Aspectos gerais da coleta e dos pontos amostrados para as análises de água da BHCZ. a) ponto 1; b) ponto 2; c) ponto 3; d) ponto 4; e) ponto 5, na Bacia do Córrego Zerede, em Timóteo-MG. ....	27
<b>12</b>	Gráfico comparativo dos valores da capacidade de infiltração da água no solo em relação à resistência do solo à penetração, de acordo com os diferentes usos do solo, na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008. ....	32
<b>13</b>	Dados de precipitação entre maio de 2006 a abril de 2008 na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG.....	33
<b>14</b>	Precipitação pelo pluviômetro instalado na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede e pelos dados do SIMGE no período de maio de 2006 a março de 2008.....	34
<b>15</b>	Precipitação dos meses chuvosos dos anos de 2004/2005, 2005/2006 e 2006/2007 na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG. ....	34
<b>16</b>	Situação da calha Parshall instalada na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG no decorrer da pesquisa. a) julho de 2006; b) janeiro de 2007; c) julho de 2007; d) agosto de 2008. ....	35
<b>17</b>	Vazão do Córrego Zerede no período entre maio de 2006 e abril de 2007. ....	36
<b>18</b>	Deflúvio da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede entre maio de 2006 e abril de 2007.....	36
<b>19</b>	Deflúvio e evapotranspiração estimada na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede entre maio de 2006 a abril de 2007. ....	37

<b>20</b>	Precipitação e deflúvio na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede entre maio de 2006 a abril de 2007. ....	37
<b>21</b>	Saldo hídrico na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede entre maio de 2006 a abril de 2007.....	38
<b>22</b>	Gráfico de turbidez da água nos pontos coletados na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008 ..	40
<b>23</b>	Gráfico de cor da água nos pontos amostrados na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008. .	41
<b>24</b>	Gráfico de pH da água nos pontos amostrados na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008. .	41
<b>25</b>	Gráfico de condutividade elétrica da água nos pontos amostrados na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008.....	42
<b>26</b>	Gráfico de oxigênio dissolvido da água nos pontos amostrados na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008.....	44
<b>27</b>	Gráfico de sólidos suspensos da água nos pontos amostrados na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008.....	44
<b>28</b>	Gráfico de demanda química de oxigênio da água nos pontos amostrados na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008.....	45
<b>1A</b>	Gráficos da taxa de infiltração e infiltração acumulada da Regeneração Natural na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, Timóteo-MG.....	56
<b>2A</b>	Gráficos da taxa de infiltração e infiltração acumulada da Pastagem na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, Timóteo-MG.....	57
<b>3A</b>	Gráficos da taxa de infiltração e infiltração acumulada da Floresta na sub-bacia B da Bacia Hidrográfica do córrego Zerede, Timóteo-MG.....	58
<b>4A</b>	Gráficos da taxa de infiltração e infiltração acumulada no plantio de eucalipto na Bacia Hidrográfica do córrego Zerede, Timóteo-MG.....	59
<b>5A</b>	Gráficos da taxa de infiltração e infiltração acumulada da floresta na sub-bacia A da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, Timóteo-MG.....	60

## RESUMO

PINHEIRO, Joana Angélica Cavalcanti, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, setembro, 2008. **Processos hidrológicos na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede em Timóteo-MG.** Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias. Co-orientadores: Haroldo Nogueira de Paiva e Cláudio Mudado Silva.

A Fazenda Manaain, local onde são realizados encontros religiosos que reúnem centenas de pessoas, está situada na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, uma sub-bacia do rio Piracicaba. A crescente demanda de água e as modificações no uso do solo que vinham sendo observadas nessa bacia, aliadas ao interesse de seus usuários na utilização sustentável dos recursos naturais existentes, ensejaram a realização de uma análise hidroambiental dessa área. Para tal, foi desenvolvido o presente trabalho, com objetivos de realizar o monitoramento hidrológico da bacia, a análise da infiltração de água em diferentes usos do solo e as análises físico-químicas de amostras de água. O monitoramento hidrológico foi realizado de maio de 2006 a abril de 2008 por um pluviômetro digital sem fio, um atmômetro modificado, e de maio de 2006 a abril de 2008, pelo conjunto calha Parshall e ITS-2000. A evapotranspiração apresentou maior contribuição para saída de água da bacia que o deflúvio, com exceção dos meses de novembro, dezembro e janeiro (2006/2007). Isso se deve, provavelmente, ao aumento da umidade relativa do ar pela elevada precipitação destes meses, causando uma diminuição da transpiração foliar. No balanço final, verificou-se que a saída de água na bacia pelo deflúvio e a evapotranspiração superaram a entrada via precipitação em 247,7 mm. O solo amostrado para os testes com o infiltrômetro de anéis e o

penetrômetro foi o pasto, floresta secundária, regeneração natural e plantio de eucalipto. Cada local teve três repetições equidistantes de um metro. A floresta em regeneração natural e a floresta secundária da sub-bacia A foram os locais com os menores valores de velocidade básica de infiltração e de resistência do solo à penetração. O plantio de eucalipto e a floresta secundária da sub-bacia B apresentaram os valores de velocidade de infiltração mais elevados, sendo também os usos com menores valores de resistência à penetração, embora o Teste F tenha sido não significativo a nível de 5% de probabilidade. Para as análises da qualidade da água, foram coletadas amostras compostas em 5 pontos distintos do curso d'água em três meses do ano de 2007 e analisadas quanto à cor, turbidez, pH, sólidos suspensos totais (SST), condutividade elétrica (CE), demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio e análises microbiológicas. Os parâmetros CE e SST apresentaram diferenças estatísticas entre as médias dos pontos analisados. A água coletada no Ponto 4 apresentou valores de CE mais elevados que os demais pontos, indicando um teor de sais que pode ter sido influenciado por despejos da cozinha da sede localizada a montante do ponto. Os pontos 1 e 2 diferem estatisticamente, devendo ser por influência do canal de escoamento existente entre os eles. A sub-bacia A possui valores inferiores de SST em relação à sub-bacia B, mostrando que as modificações ocorridas não influenciaram na elevação do SST. Os demais parâmetros físico-químicos revelaram a inexistência de diferença estatística entre as médias. As análises microbiológicas tiveram resultados negativos, com a água livre de coliformes termotolerantes, comprovando que não há contaminação por fezes e patógenos intestinais. Conclui-se que a água se encontra nos padrões da Classe 1, da Resolução nº 357 do Conama (2005) nos parâmetros analisados, indicando uma boa qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede. O balanço hídrico apresentou-se negativo, refletindo a importância de utilizar técnicas que permitam uma maior captura de água na bacia hidrográfica. Em relação à infiltração, os solos da floresta da sub-bacia B e do plantio de eucalipto foram os mais permeáveis à água, contudo, houve locais que revelaram precisar de uma atenção maior, como o solo onde a floresta em regeneração natural analisada está inserida.

## ABSTRACT

PINHEIRO, Joana Angélica Cavalcanti, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, september, 2008. **Hydrological Processes at Corrego Zerede Watershed Timóteo-MG.** Adviser: Herly Carlos Teixeira Dias. Co-advisers: Haroldo Nogueira de Paiva and Cláudio Mudado Silva.

The Manaain Farm, a place used for large religious gatherings, is inserted in Corrego Zerede Watershed, which is a sub-watershed of the Rio Piracicaba. The increasing water demand and the changing on soil use that were being observed in the area along with its users' interest in sustainable use of natural resources originated the idea of this work: an analysis of hydrological processes of the watershed. Hydrological monitoring of the area, water infiltration analysis in different soil uses and physical-chemical analysis of the water were made. The hydrological monitoring was made from may of 2006 until april of 2008 by a wireless digital rain gauge and a modified atmometer and from may of 2006 until april of 2007 by the set Parshall flume and ITS-2000. Evapotranspiration was the major cause of water loss at the watershed, except on the months of november, december and january (2006/2007). This was probably due to the increasing of relative humidity of the air caused by the high precipitation occurred on those months, causing a decreasing of leaf transpiration. At the final balance it was verified that water loss at the watershed, represented by surface runoff and evapotranspiration, was greater than the gain of water through precipitation by the amount of 247,7 mm. The sampled soil uses used for the tests with infiltrometer ring

and penetrometer were pasture, secondary forest, natural regeneration and eucalyptus plantation. For each sample, there were three test points distant 1 meter from each other. Eucalyptus plantation and secondary forest of the sub-watershed B presented the highest values of infiltration speed and the lowest values of resistance to penetrometer, although the F test was not significant using an  $\alpha$ -level of 5%. For the water quality analysis, during 3 months of 2007, it were collected compounded samples from 5 different location of the river, which were analyzed to establish color, turbidity, pH, suspended solids (TSS), electrical conductivity (EC), chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand and microbiological values. EC and TSS values presented statistical difference between means of the analyzed points. The water collected at Point 4 had higher values of EC than the other points, which indicates that the kitchen waste coming from upstream can be influencing the amount of dissolved salts. The statistical difference between Points 1 and 2 must have been influenced of the runoff canal in between them. The sub-watershed A presented lower TSS values than sub-watershed B showing that modifications occurred did not influence the increased values of TSS. The others physical-chemical parameters did not present statistical difference between means. The microbiological analysis had negative results for thermotolerant coliforms indicating a water free of contamination. The results showed the all physical-chemical parameters analyzed are within the values established at CONAMA 357 for Class I pattern of sweet water. This leads to the conclusion that this water meets the quality requirements for the desired uses, indicating the good health of the Corrego Zerede Watershed. The hydric balance turned out to be negative, reflecting the need of applying techniques that will provide a greater gain of water at the watershed. As for the infiltration, the forest soil of sub-watershed B and eucalyptus plantation were the most permeable, however, some locations such as the one with the regeneration forest need especial attention.

## 1 INTRODUÇÃO

A água é abundante no planeta, porém nem sempre os recursos hídricos podem ser realmente utilizados pela população. Essa situação tem acarretado uma limitação em termos de desenvolvimento para algumas regiões, restringindo o atendimento às necessidades humanas e degradando ecossistemas.

A tendência é de que o gerenciamento dos recursos hídricos, na forma do manejo de bacias hidrográficas, por exemplo, se torne mais uma questão estratégica para todos os governos, no âmbito federal, estadual e municipal. É imprescindível o estudo dos possíveis impactos sobre os recursos hídricos decorrentes da ocupação territorial desordenada (GUIMARÃES, 2000).

A utilização das bacias hidrográficas como unidades é ideal para estudo e planejamento integrado dos recursos naturais renováveis (VALENTE; CASTRO, 1987) e constituem unidades naturais para a análise de ecossistemas. Elas apresentam características próprias, que permitem utilizá-las para testar os efeitos do uso da terra nos ecossistemas. A água dos cursos d'água serve como indicador ambiental da qualidade da utilização do solo pelo homem. Assim, os rios que drenam uma região apresentam suas águas com características físico-químicas próprias, refletindo as atividades de uso de solo nas áreas a montante (CASTRO, 1980).

A Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede é uma sub-bacia do Rio Piracicaba, que por sua vez está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Doce. A região onde se localiza a Bacia Hidrográfica do Rio Doce é bastante populosa e desenvolvida, incluindo os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Porém, encontra-se altamente comprometida

pelo uso inadequado dos seus recursos naturais, com graves consequências para o meio ambiente.

O Manejo Integrado das Microbacias da Bacia Hidrográfica do Rio Doce é imprescindível para a obtenção de resultados satisfatórios dos seus recursos naturais, principalmente no que diz respeito aos recursos hídricos. O manejo integrado de microbacias envolve o planejamento de exploração que contemple a integração de recursos naturais e aspectos socioeconômicos de uma microbacia, dentro de uma perspectiva de renda para o usuário e de preservação ambiental.

O planejamento dos recursos hídricos tem como principais objetivos minimizar os impactos do uso do solo e o descaso com o recurso água. A falta de planejamento na utilização dos recursos naturais faz com que o uso de técnicas inadequadas acabe gerando um ciclo de consequências negativas, sendo que a conservação das florestas naturais é de suma importância para obtenção de resultados positivos no manejo. A floresta diminui os efeitos danosos aos recursos hídricos, minimizando processos de erosão, sedimentação e assoreamento, favorecendo a infiltração de água no perfil do solo.

Na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede (BHCZ) foram realizadas, durante o desenvolvimento da pesquisa, diversas alterações do uso do solo. O local pertence à Igreja Maranata, e as alterações realizadas visam à estruturação para realização de encontros com integrantes da Igreja da região do Vale do Aço, que reúnem centenas de pessoas. Dentre essas alterações, há a construção de um templo com capacidade para centenas de pessoas, alojamentos, banheiros, cozinha e estacionamento.

Sendo assim, foi desenvolvido um trabalho de monitoramento hidrológico da bacia e uma avaliação dos equipamentos escolhidos para tal. Também foram realizadas análises físico-químicas de amostras de água do córrego e análise da infiltração de água e de resistência do solo à penetração em diferentes usos do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Infiltração de água no solo

Infiltração é o processo pelo qual a água penetra no perfil do solo. Inicialmente, seu valor é elevado, diminuindo com o tempo, até se tornar constante a partir do momento em que o solo fica saturado. Nessa condição, a infiltração continua, porém a uma taxa constante denominada velocidade de infiltração básica (VIB) (SILVA; KATO, 1998).

A capacidade de infiltração da água no solo reflete a capacidade máxima que o solo tem em permitir a entrada de água no seu interior, sob determinadas condições, tornando-se num dos parâmetros mais importantes que afetam a irrigação (COSTA et al., 1999), além de determinar o balanço de água na zona das raízes e o escoamento superficial, responsável pelo fenômeno da erosão durante as precipitações. Desse modo, o conhecimento desse processo e das suas relações com as propriedades do solo é de extrema importância para o manejo correto do solo e da água (PANACHUKI et al., 2006), além de determinar a qualidade da água disponível para as plantas, o escoamento superficial e o abastecimento dos lençóis freáticos (SILVA; KATO, 1998).

Para uma determinação adequada das características de infiltração de água no solo, devem ser utilizados métodos que representem esse fenômeno de forma semelhante ao ocorrido naturalmente, uma vez que a taxa de infiltração é muito influenciada pelas condições de superfície e teor de umidade do solo (PRUSKI et al., 1997). Vários fatores condicionam o movimento de água no solo, como a porosidade, a

densidade do solo, a cobertura do solo, a textura e o grau de agregação do solo, o selamento superficial, a umidade inicial, a matéria orgânica, a estrutura e a variabilidade espacial do terreno.

Por ser um fenômeno de superfície, a infiltração é influenciada pelo preparo do solo, implicando um efeito temporário ao deixar o solo mais solto e aumentando a infiltração. Contudo, se a superfície não estiver protegida com vegetação ou cobertura morta, a chuva e o vento podem atuar e reduzir a taxa de infiltração da água no solo. A aração profunda é um tipo de preparo do solo que favorece o aumento da infiltração, enquanto práticas que exercem compressão no solo podem diminuí-la. O cultivo em contorno, retardando a enxurrada, favorece a infiltração. O fator mais importante na taxa de infiltração é a cobertura vegetal que está sobre o solo durante a precipitação. As chuvas de elevada intensidade, ocorridas em situações em que o solo não está protegido pela cobertura vegetal ou pela cobertura morta, promovem compressão pelo impacto das gotas de chuva, e a infiltração torna-se reduzida, porém, em condições de adequada cobertura superficial, o efeito é amenizado (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990; PANACHUKI et al., 2006).

A resistência mecânica à penetração refere-se à resistência física que o solo oferece e esta diretamente relacionada com a compactação do solo, sendo influenciada por condições como umidade e sua textura. Sua quantificação pode ser utilizada para avaliar o impacto dos sistemas de uso e manejo do solo, no processo de sua compactação (DIAS-JÚNIOR; PIERCE, 1996). De acordo com Russel (1979), a compactação reduz o volume dos poros de maior diâmetro e aumenta sua densidade.

Práticas diferenciadas de manejo do solo e de cultivos fomentam alterações nas propriedades físicas do solo que podem-se manifestar de vários modos, influenciando o desenvolvimento das plantas. Desse modo, o solo cultivado tende, com o tempo, a ter sua estrutura original alterada, pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, com conseqüente redução no volume de macroporos e aumentos no volume de microporos e na densidade do solo. Em decorrência disso, nota-se uma diminuição da taxa de infiltração de água no solo e, como conseqüência, um aumento das taxas de escoamento superficial (BERTOL et al., 2001).

De um modo geral, o preparo convencional altera mais acentuadamente as condições físicas do solo, pela desagregação superficial. Esse sistema favorece o aparecimento de crosta superficial e a compactação subsuperficial quando há a incidência de uma precipitação. Em decorrência dos problemas causados pelo preparo

convencional, surgiram as técnicas conservacionistas, que proporcionam menor mobilização do solo e mantêm maior proteção da superfície com os resíduos culturais (ALVES; CABEDA, 1999).

O impacto das gotas de chuva no solo contribui para a redução da infiltração da água e, segundo Chaves et al. (1993), isso ocorre por duas maneiras: em primeiro lugar, pela diminuição da rugosidade superficial, reduzindo as chances de empoçamento, e, em segundo, pela formação de uma fina camada adensada na superfície, com uma condutividade menor do que a do solo subjacente. Essa camada recebe o nome de selo superficial e, depois de seca, torna-se uma crosta superficial, podendo reduzir a permeabilidade do solo em até 90%.

De acordo com Costa et al. (1999), os métodos mais usados para a determinação da infiltração são: método de entrada e saída de água no sulco, infiltrômetros em anéis e simuladores de chuva. O método dos sulcos de entrada e saída é de uso específico para o sistema de irrigação por sulcos. Segundo Vieira (1977), o infiltrômetro de anéis concêntricos é o mais usado, porém tem suas limitações, quando usado para fins de elaboração de projetos de irrigação por aspersão ou para trabalhos em que os dados gerados se dêem através de precipitações. Estudos revelam que os valores da capacidade de infiltração do solo, determinada pelo infiltrômetro de anéis, são sempre maiores que os estabelecidos pelo simulador de chuvas. Os testes comparativos de infiltração com anéis concêntricos e o simulador de chuvas realizados por diversos autores, dentre eles Coelho et al. (2000), evidenciaram a diferença entre os dois métodos, sendo a causa deste fato o impacto direto das gotas com a superfície do solo, que ocorre no simulador e não ocorre nos anéis.

Segundo Silva e Kato (1998), eliminar os efeitos nocivos que a agricultura e as intempéries naturais provocam nos solos é praticamente impossível, porém cabe aos técnicos e pesquisadores da área quantificá-los, para adequadamente minimizá-los. Estudos de modelos para calcular a infiltração da água no solo, incluindo o efeito do selamento superficial, foram realizados e conclusivos e, com sua inclusão, chega-se a resultados mais reais.

Melhorar as condições de infiltração de uma bacia hidrográfica resulta no aumento do escoamento básico e na diminuição das enchentes de seus cursos d'água. O preparo do solo para a agricultura e os tratamentos culturais provocam a compactação, diminuindo a macroporosidade dos solos e, conseqüentemente, a capacidade de infiltração. O contrário, entretanto, é verificado quando o solo permanece com cobertura

vegetal, pois dificulta o escoamento e, em decorrência, facilita a infiltração (PANACHUKI et al., 2006).

## **2.2 Medidas conservacionistas de água e solo**

A erosão, desconsiderando a ação antrópica, é oriunda de fenômenos naturais que agem na crosta terrestre como ocorrência natural do processo de modificação do solo (PRUSKI, 2006). Entretanto, a ação contínua do homem tem afetado a relação natural e de equilíbrio existente em condições naturais, com conseqüente erosão acelerada, causando prejuízos às atividades econômicas e ao meio ambiente.

Segundo Higgitt (1991), erosão é o processo que consiste no desprendimento e arraste de partículas do solo, ocasionado pela ação da água e vento. Se a erosão for mantida em níveis elevados, as terras tornam-se improdutivas ou economicamente inviáveis.

De uma forma enfática, a erosão é considerada o “câncer da terra” e será tanto maior sua ação se as técnicas de conservação do solo e da água não forem compatíveis com os aumentos de produtividade almejados e quase sempre alcançados pelo uso mais intensivo do solo (PIRES e SOUZA, 2006).

Dentre as práticas que intensificam o processo erosivo, segundo Pires e Souza (2006), citam-se: preparo intensivo do solo; monocultura; plantio de culturas pouco protetoras do solo; plantio morro abaixo; queima de restos culturais; pastoreio excessivo; inobservância da aptidão agrícola da terra; manutenção do solo desprovido de cobertura vegetal; e cultivo em terrenos inclinados sem práticas conservacionistas, entre outros.

Barroso e Silva (1992) ressaltaram os principais problemas sobre os recursos hídricos em decorrência do processo erosivo:

- Redução da capacidade de armazenamento dos cursos d'água devido à sedimentação, o que aumenta as chances de uma precipitação resultar em enchentes;
- Diminuição do potencial de geração de energia elétrica, em conseqüência da redução da capacidade de acumulação de água em reservatórios;
- Elevação dos custos de tratamento da água;
- Desequilíbrio do balanço de oxigênio dissolvido na água e prejuízos para o crescimento de espécies aquáticas, em razão da turbidez da água e da conseqüente redução da capacidade da propagação da luz.

Além destes problemas, outros de ordem social advindos da erosão também devem ser considerados. A erosão reduz a capacidade produtiva das terras, causando um aumento nos custos de produção e uma diminuição do lucro obtido pelos agricultores. Pode, também, diminuir a área para exploração agrícola e interferir na qualidade das vias de deslocamento, impossibilitando, em alguns casos, o acesso das comunidades rurais à educação e saúde.

Além das perdas de solo, há perdas associadas à manutenção da água na propriedade e também perdas na qualidade dessa água. Grande parte dessa água esco superficialmente no terreno, diminuindo a quantidade de água que atinge o lençol freático, resultando numa diminuição progressiva na qualidade dessa água à medida que ela passa pela superfície do terreno.

As perdas de solo e água por erosão hídrica são influenciadas, principalmente, pela cobertura do solo. Vários autores afirmam que a atividade silvicultural apresenta vantagens sobre a agricultura e pecuária, na qualidade e conservação da água, como Sabara (1999), ao comparar o efeito do eucalipto e das culturas agrícolas sobre o regime dos rios na região do Médio Rio Doce, MG.

Outros fatores importantes que devem ser considerados são a inclinação do terreno e comprimento da rampa, pois à medida que aumentam, ocorre um incremento do volume, velocidade da enxurrada e diminui a infiltração de água no solo. Além desses, diversos autores incluem a composição granulométrica e a composição orgânica dos solos. Brady (1989) comenta que solos ricos em silte e areia e pobres em matéria orgânica são muito propensos ao processo erosivo em razão da pequena resistência que oferecem ao desprendimento de partículas durante a precipitação.

De acordo com Primavesi (2002), as práticas conservacionistas podem ser divididas em edáficas, vegetativas e mecânicas. Entre as práticas edáficas, encontram-se o cultivo de acordo com a capacidade de uso da terra; controle das queimadas; adubação verde, mineral e orgânica; e calagem. As práticas vegetativas são representadas pelo florestamento e reflorestamento; plantas de cobertura; cobertura morta; rotação de culturas; formação e manejo de pastagem; cultura em faixa; faixa de bordadura; quebra-vento e bosque sombreador; cordão vegetativo permanente; e manejo do mato e alternância de capinas. Para as práticas mecânicas, existem o preparo do solo e plantio em nível; distribuição adequada dos caminhos; sulcos e camalhões em pastagens; enleiramento em contorno; terraceamento; subsolagem; e irrigação e drenagem.

As práticas citadas funcionam como importantes barreiras de controle aos processos de erosão e escoamento superficial.

### **2.3 Ciclo hidrológico e balanço hídrico**

A água é um recurso natural que possui a notável propriedade de renovar-se continuamente, graças ao ciclo hidrológico. O ciclo hidrológico é definido como um fenômeno de circulação fechada da água entre a atmosfera e a superfície terrestre. Rutkowski (1999) afirma que “a capacidade de cada localidade de sustentar as atividades antrópicas que são dependentes hídricas, é determinada pelo comportamento local do ciclo hidrológico”.

O ciclo hidrológico é o começo fundamental de tudo o que se refere à água no planeta (TUCCI, 2000), sendo este o modelo pelo qual se representam a interdependência e o movimento ininterrupto da água nas fases sólida, líquida e gasosa. Evidentemente, a fase de maior interesse é a líquida, essencial para o uso e para satisfazer as necessidades do homem e de todos os outros organismos, animais e vegetais (TUNDISI, 2003; SPEIDEL et al., 1988).

Embora o movimento cíclico da água não tenha princípio nem fim, costuma-se iniciar seu estudo descritivo pela evaporação da água dos oceanos e da superfície continental, onde se torna parte da atmosfera. A umidade atmosférica precipita-se tanto nos oceanos como nos continentes. Nestes, a água precipitada pode ser interceptada pela vegetação, pode escoar pela superfície dos terrenos, cair diretamente sobre os cursos d'água ou o oceano, ou pode infiltrar-se no solo. Assim, o ciclo da água envolve vários e complexos processos hidrológicos.

Hibbert (1983), revisando trabalhos em bacias hidrográficas, concluiu que a retirada da vegetação original aumentou a produção de água, porém com respostas bastante variáveis a modificações realizadas, que seriam pela diversidade de fatores como as características do solo, tipo de vegetação, regime climático e o grau, tipo e duração dessas alterações.

Todos os processos componentes do ciclo - precipitação, infiltração, escoamento superficial, evaporação e transpiração, além da ação humana - integram-se em um ciclo dinâmico que se estende por todo o planeta. Para que ele subsista, é necessário que haja suprimento de energia proveniente do Sol e do interior da Terra (FREITAS; CASTRO JÚNIOR, 2006). A seguir serão detalhados os componentes do balanço hídrico.

### **2.3.1 Precipitação**

Segundo Garcez e Alvarez (1988), as precipitações atmosféricas representam, no ciclo hidrológico, o importante elo entre os fenômenos meteorológicos propriamente ditos e os do escoamento superficial.

O regime pluviométrico está determinado principalmente por chuvas de natureza ciclônica e por influência de relevos montanhosos. A floresta, nesse caso, representa influência secundária. A floresta pode exercer retardamento na locomoção de camadas de ar saturadas de umidade próxima à saturação, sendo mais significativo em relevos montanhosos (RIZZI, 1982).

A evaporação a partir das florestas desempenha papel notável quando se considera uma área extensa. Para áreas mais restritas, a água evaporada é arrastada por correntes de ar e não influencia a umidade atmosférica e as chuvas no local (MOLCHANOV, 1971).

### **2.3.2 Evapotranspiração**

Para computar a evaporação e a transpiração da biomassa florestal é de uso prático agrupá-las como evapotranspiração. Rizzi (1982) comenta que a transpiração dos povoamentos florestais é maior que a maioria das culturas sazonais existentes, porém este aspecto pode ser compensado pela contenção da umidade por mais tempo no solo.

Em regiões com precipitação elevada e grande quantidade de insolação, a evapotranspiração é fundamentalmente importante até mesmo na precipitação, como demonstra o estudo de Marques et al. (1980) que determinaram uma evapotranspiração para a Região Amazônica (período de 1972-75) de 54% do total de precipitação anual.

A evaporação possui fatores que intervêm na sua intensidade. Dentre eles, o grau de umidade relativa do ar atmosférico e o vento são os principais. Quanto maior o grau de umidade, menor a intensidade de evaporação. Já o vento aumenta a intensidade da evaporação por afastar da proximidade das superfícies de evaporação as massas de ar de elevado grau de umidade. A temperatura, a radiação solar e a salinidade da água também influem na quantidade de água evaporada (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

A transpiração é influenciada, dentre outros fatores, pelo poder evaporante da atmosfera e, portanto, da umidade relativa do ar, da velocidade do vento e da tempe-

ratura, equivalente ao que ocorre na evaporação. Condições como grandes quantidades de luz, calor e elevada umidade do ar, favorecem a transpiração na medida em que os estômatos da folhas se encontrarem abertos. Segundo Garcez e Alvarez (1988), a umidade do solo na zona das raízes também influencia a transpiração das plantas, sendo dependente da natureza do solo, da sua umidade, do nível do lençol freático e do regime das precipitações.

Escoamento:

Um dos destinos da água precipitada nos continentes é o escoamento superficial, que ocorre quando a superfície do terreno é impermeável ou quando o solo se encontra saturado, concentrando-se em sulcos, cuja reunião dá lugar aos cursos de água, provocando formação de drenos ou sulcos maiores, erosionando o solo e assoreando os rios. Para Mosca (2003), a magnitude dos picos de enchente e a maior ou a menor oportunidade de infiltração e susceptibilidade para erosão dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre a superfície da bacia.

Outro destino possível da água precipitada é o escoamento sub-superficial e subterrâneo, que se inicia com a infiltração. O escoamento sub-superficial só ocorre após a camada de aeração do solo se encontrar saturada, sendo uma água facilmente disponível para as plantas por se encontrar na camada em que se encontram as raízes das árvores. Já o escoamento subterrâneo é a água infiltrada que caminha em profundidade até atingir os lençóis aquíferos. Em microbacias florestais, diferentemente das que contêm outro tipo de cobertura vegetal, o escoamento subsuperficial representa um dos principais componentes do escoamento direto (ANDERSON; BURT, 1978; HEWLETT; HIBBERT, 1967; WHIPKEY, 1967).

A topografia também é um fator importante na quantidade de água que esco superficialmente, tendo maior influência sobre solos com proteção relativamente fraca, como nas pastagens (MOLCHANOV, 1971).

O escoamento superficial constitui uma resposta rápida à precipitação e cessa pouco tempo depois dela. Por seu turno, o escoamento subterrâneo, em especial quando se dá através de meios porosos, ocorre com grande lentidão e continua a alimentar os cursos d'água ao longo do tempo, mesmo após ter terminado a precipitação que o originou. O escoamento superficial favorece a erosão, carreando sedimentos que irão se depositar nas baixadas e nos rios, riachos e lagoas, causando uma elevação de seus leitos e possibilitando grandes enchentes e a eutrofização da água (RIZZI, 1982).

A camada de serapilheira existente na floresta retém a água e ajuda a promover a infiltração da água no solo, diminuindo o escoamento superficial, além de reter partículas e funcionar como verdadeiros filtros de lâminas de água. Transformar escoamento superficial em infiltração é a principal função hidrológica de proteção que o solo florestal desempenha.

### **2.3.3 Infiltração**

A água precipitada que atravessa o dossel da floresta, seja via precipitação direta ou via gotejamento e escoamento pelo tronco, pode se infiltrar no solo. Se a água vinda da precipitação chegar mais lentamente que a capacidade de infiltração do solo, a água se infiltra. Se ocorrer mais rapidamente, a água escoar superficialmente.

A parcela de água infiltrada que chega ao lençol freático é de fundamental importância, pois não somente alimenta os poços e o canal dos rios, como também representa as reservas de água no solo necessárias para o desenvolvimento das plantas e manutenção do balanço hídrico (RIZZI, 1982).

No processo de infiltração, a floresta intervém de maneira positiva. Os solos florestais apresentam índices de infiltração maiores em relação a pastagens e agricultura (RIZZI, 1982). A transmissão de água no perfil depende de fatores como existência de camadas impermeáveis, textura, estrutura, profundidade e porosidade do solo. As árvores favorecem esse processo devido a seu dinamismo de movimento das raízes, perfurando o solo e conservando a porosidade. Segundo Molchanov (1971), a textura é o principal fator que afeta a permeabilidade em solos sem estrutura, dependendo do tamanho das partículas e da sua estabilidade.

O balanço hídrico de uma bacia hidrográfica é a quantificação do fluxo de água global, num dado período, em que se contabilizam as entradas (precipitação) e saídas (evapotranspiração e deflúvio) de água da bacia. Grande parte do aproveitamento das águas se dá por captação superficial. As águas subterrâneas são utilizadas ocasionalmente para abastecimento e fins industriais. Dessa maneira, o estudo do ciclo hidrológico é um tópico de importância na hidrologia.

A água da atmosfera em forma de vapor constitui a água precipitável. Este reservatório (vapor atmosférico) é repostado continuamente pela evaporação e é descarregado pela precipitação, sendo esta a única fonte renovável de água doce para a superfície. Hibbert (1983) comenta que o aumento ou a redução de água em bacias hidrográficas,

após uma alteração de sua cobertura vegetal, ocorrem principalmente pela modificação na utilização do solo e da água em relação à área original.

Em um planejamento ordenado para o futuro, o suprimento e a demanda de água devem ser ponderados conjuntamente, de forma a equilibrar esse balanço, com a ajuda do qual será possível o desenvolvimento do homem e do mundo.

O balanço hídrico envolve a quantificação dos componentes do sistema, porém há uma dificuldade em resolver problemas práticos que repousam principalmente na inabilidade em medir ou estimar adequadamente os vários termos da equação do balanço hídrico. A equação do balanço hídrico é um instrumento extremamente útil e pode ser usada de várias maneiras para estimar a magnitude e distribuição no tempo das variáveis hidrológicas. O balanço hídrico baseia-se no princípio de conservação de massa, sendo analisado pelos insumos de entradas e pelas saídas de água do sistema (ZAKIA, 1987; TUCCI, 2000).

Segundo Liberman e Fletcher (1947) e Brakensiek (1959), a equação do balanço hídrico anual pode ser escrita por:

$$\text{Acréscimo} = \text{decréscimo} + D \text{ (armazenamento de umidade do solo)}$$

em que:

*Acréscimo* = precipitação;

*Decréscimo* = runoff (superficial e subsuperficial), evapotranspiração e percolação; e

*D* = diferença entre o conteúdo de água no perfil do solo do início e final do ano hídrico (armazenamento de água).

Como o balanço hídrico considera ciclos anuais nos quais o armazenamento de água no solo, em termos médios anuais, estaria equilibrado, tem-se, então, que esse componente poderia ser considerado desprezível nos cálculos, razão pela qual a avaliação final do balanço hídrico pode ser feita segundo a equação simplificada:

$$ET = P - Q$$

em que:

*ET* = é evapotranspiração (mm);

*P* = precipitação (mm); e

*Q* = deflúvio (mm).

## 2.4 Qualidade da água

A preocupação com a qualidade da água também deve ser uma constante, pois a complexidade no seu uso conduz à necessidade de serem conhecidas as fontes de água e os sistemas de bacias hidrográficas para assim garantir a proteção das nascentes e, em consequência, a qualidade da água (ALVES, 2005). A água potável para o consumo humano nos seus mais diversos fins merece especial atenção por ser um produto escasso com crescente demanda.

A qualidade da água em determinado ponto de um rio é produto das características físicas do leito do rio e de suas características geomorfológicas, das misturas de água com qualidades diferentes, da presença de vegetação ciliar, do regime climático, da presença de comunidades e das interferências antrópicas (SÉ, 1992; ARCOVA; CICCIO, 1999; ANIDO, 2002), sendo a combinação de vários processos que ocorrem ao longo do curso d'água (PETERS; MEYBECK, 2000). Assim, são vários os fatores que controlam a qualidade de água de um rio, fazendo parte de um complexo equilíbrio, motivo pelo qual qualquer alteração na bacia hidrográfica pode acarretar alterações significativas (MARGALEF, 1994).

Segundo Ranzini e Lima (2002), a erosão é tida como responsável por 80% dos problemas de alteração da qualidade da água em microbacias. Brown e Krygier (1971) observaram que a variação temporal na concentração de sedimentos é elevada, notadamente em riachos. A maioria dos sedimentos em microbacias florestadas é transportada pelos cursos d'água durante umas poucas chuvas de alta intensidade. Isto significa que na maior parte do ano os cursos d'água podem parecer não carrear sedimentos, mesmo nos riachos de bacias intensamente exploradas. No entanto, a carga de sedimentos poderá ser facilmente notada durante precipitações intensas, que podem ser responsáveis por até 50% da perda de solo de uma bacia hidrográfica (MILLER, 1984; O'LOUGHLIN et al., 1984).

O termo "qualidade de água" não se refere, necessariamente, a um estado de pureza, mas às suas características químicas, físicas e biológicas, e que, de acordo com essas características, são estipuladas diferentes finalidades para a água. Foi necessária uma política normativa nacional de uso da água, como consta na Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005), que estabelece parâmetros que definem limites aceitáveis de elementos estranhos, considerando os diferentes usos.

Segundo a Resolução, os corpos de água doce são classificados em cinco categorias: Especial e Classes de 1 a 4. A Classe Especial pressupõe os usos mais nobres, enquanto o uso doméstico da Classe 4 é restrito, isso é, menos nobre. Os padrões de qualidade das águas determinados na Resolução estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe.

Os parâmetros da qualidade da água traduzem suas principais características físicas, químicas e biológicas. Alguns parâmetros de extrema importância são: turbidez, cor, pH, condutividade elétrica (CE), OD (oxigênio dissolvido), sólidos suspensos totais (SST), DBO (demanda bioquímica de oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio) e coliformes termotolerantes. De acordo com Lima (2001), a qualidade da água não se traduz apenas pelas suas características físicas e químicas, mas pela qualidade de todo o funcionamento do ecossistema.

Os parâmetros utilizados na avaliação da qualidade da água, como a turbidez, a cor e a concentração de sedimentos em suspensão, são relevantes, tanto no que diz respeito aos processos de tratamento da água para fins de abastecimento público quanto para o monitoramento das práticas de manejo (SANTOS et al., 2008).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

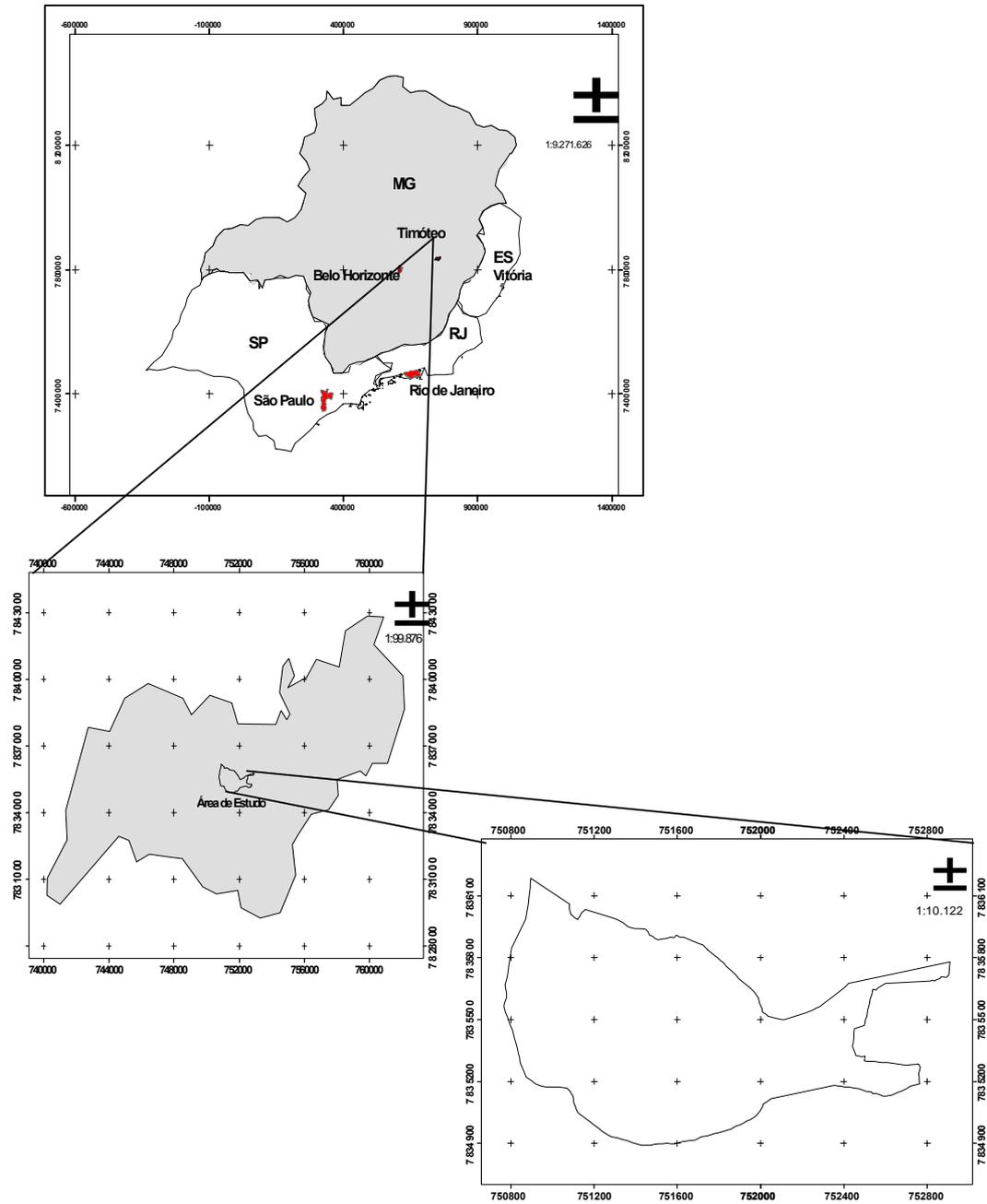
#### 3.1 Caracterização da área de estudo

A Fazenda Manaain ocupa quase a totalidade da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, situada na Bacia do Rio Piracicaba, que compõe a Bacia do Rio Doce. A localização da área de estudo é no município de Timóteo, na Região do Vale do Rio Doce, Estado de Minas Gerais, Figura 1, nas coordenadas geográficas: 19°30'36" Latitude Sul e 42°38'16" Longitude Oeste.

O clima da região é do tipo tropical de altitude com chuvas de verão, verões quentes chuvosos com inverno seco (Cw) (Classificação de Köeppen). As temperaturas máximas médias são de 38 °C e temperaturas mínimas médias de 8 °C. A precipitação anual varia entre 1.300 a 1.500 mm e a umidade relativa varia de 53% a 90%.

A Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede possui vários usos do solo, porém é ocupada, predominantemente, por floresta secundária e plantio de eucalipto, como mostra o Quadro 1. A mata ciliar da bacia, que é uma Área de Preservação Permanente (APP), é respeitada em maior parte da bacia, havendo exceção para alguns locais.

A Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede é dividida em sub-bacias, chamadas de sub-bacia A e sub-bacia B (Figura 2), sendo classificada, segundo Strahler (1957), como uma bacia de ordem 2. Pode ser classificada como uma bacia pequena, conferindo-lhe boas possibilidades de monitoramento dos fatores hidrológicos que ali ocorrem.

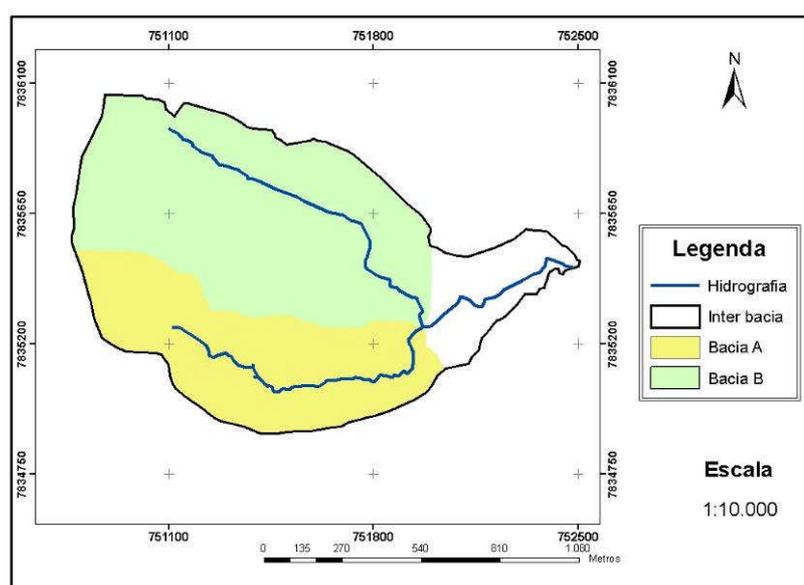


Fonte: Alves (2005).

**Figura 1** - Localização da Fazenda Manaaim no município de Timóteo, em Minas Gerais.

**Quadro 1** - Área relativa ocupada para cada cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG

Cobertura do solo	Área (m <sup>2</sup> )	%
Eucalipto	334.369,6	27,4
Floresta secundária	584.160,0	47,9
Capoeira	89.324,1	7,3
Pastagem	8.271,6	0,7
Solo exposto	33.599,4	2,8
APP/Mata Ciliar	169.878,1	13,9
Total	1.219.602,8	100,0



Fonte: Alves (2005).

**Figura 2** - Sub-bacias na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, Timóteo-MG.

As características físicas da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede foram analisadas por Alves (2005) e se encontram resumidas no Quadro 2. Os índices morfométricos traduzem, de uma maneira geral, que a Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede tende a ter seus afluentes distribuídos regularmente ao longo do rio principal e apresenta maior tempo de concentração de água da chuva, o que indica ser uma área não muito sujeita a enchentes.

A altitude na bacia do córrego Zerede tem uma variação de 269 a 645 m, com uma amplitude de 376 m, apresentando declives acentuados, suscetíveis de danos significativos pela erosão. A Fazenda Manaaim possui relevo predominantemente montanhoso a forte ondulado, com uma altitude média de 420 m.

**Quadro 2** - Características físicas da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG

<b>Tipo</b>	<b>Variável</b>	<b>Unidade</b>	<b>Índice</b>
Parâmetros Gerais	Área da Bacia	km <sup>2</sup>	1,218
	Perímetro da bacia	km	6,210
	Maior Comprimento da Bacia	km	1,750
Parâmetros de drenagem	Comprimento total da drenagem	km	3,223
	Padrão de Drenagem		Dendrítico
	Densidade de Drenagem	km/km <sup>2</sup>	2,64
	Ordem da Bacia		2
	Extensão do Percurso Superficial	km	0,19
	Coefficiente de Manutenção	m <sup>2</sup>	377,98
Forma da Bacia Hidrográfica	Fator de Forma	-	0,696
	Índice de Circularidade	-	0,397
	Índice de Compacidade	-	1,587
	Razão de Elongação	-	0,76
Parâmetros de Relevo e Elevação	Orientação	-	Sudeste
	Amplitude Altimétrica	m	376
	Altitude Média	m	437,44
	Declividade Máxima	%	150,31
	Declividade Mínima	%	0
	Declividade Média	%	55

Fonte: Alves (2005).

### 3.2 Capacidade de infiltração de água no solo e resistência à penetração

O experimento foi conduzido considerando o uso do solo e o tipo de solo envolvido. Desta forma, foram amostradas a pastagem no Latossolo Amarelo Distrófico típico, a floresta secundária em Latossolo Amarelo Distrófico típico, a floresta secundária em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, a floresta em regeneração natural, com uso anterior como via de acesso, em um Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico. e o plantio de eucalipto em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico (Figura 3).

Os locais onde foram realizados os testes com o infiltrômetro e o penetrômetro tiveram suas coordenadas geográficas marcadas com o GPS, obtidas em coordenadas UTM. As declividades das rampas onde foram locados os pontos estão registradas em graus (Quadro 3).

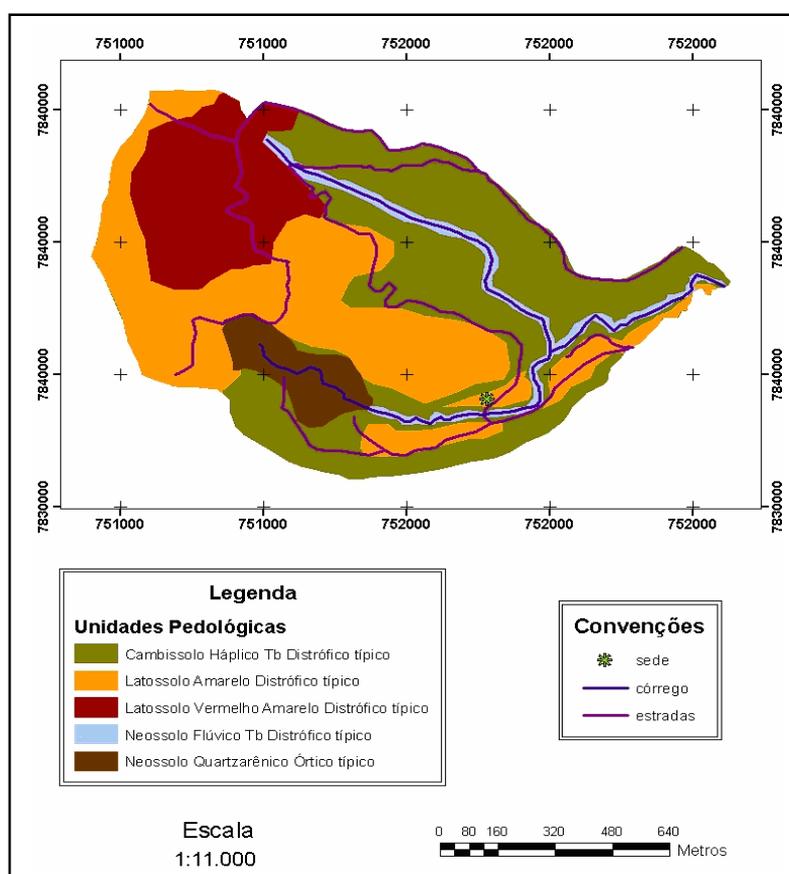
Os solos da bacia encontram-se identificados na Figura 4, mostrando que a maior parte da bacia pertence às classes de solo Cambissolo Háplico e Latossolo Amarelo.



**Figura 3** - Vistas parciais dos usos de solo onde foram realizados os ensaios com o infiltrômetro e o penetrômetro na Bacia Hidrográfica do Córrego Zereze, em Timóteo-MG: a) pastagem ; b) plantio de eucalipto; c) floresta secundária na sub-bacia B; d) regeneração natural; e) floresta secundária na sub-bacia A.

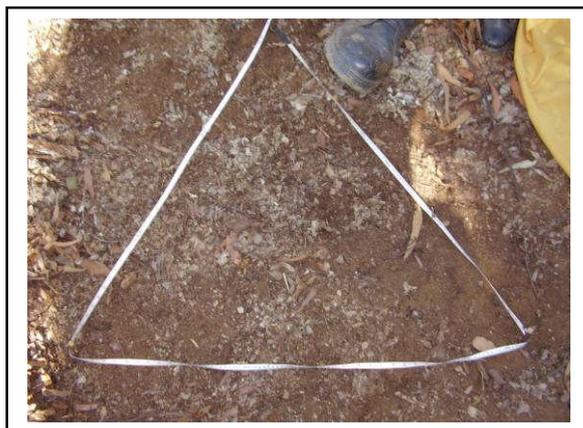
**Quadro 3** - Coordenadas geográficas e declividade dos locais de amostragem na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, Timóteo-MG

Usos do solo	Coordenadas UTM		Declividade (graus)
	X	Y	
Floresta Regeneração Natural	0751951	7835267	4,50
Floresta sub-bacia A	0751428	7835105	12,60
Pastagem	0752371	7835373	1,80
Floresta sub-bacia B	0751725	7835343	17,10
Eucalipto	0750904	7835848	11,25



**Figura 4** - Mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, Timóteo-MG.

Para cada uso do solo estudado, foram realizadas três repetições equidistantes de um metro, em forma de triângulo equilátero (Figura 5). A declividade da rampa foi calculada por um clinômetro, e as coordenadas geográficas obtidas pelo Global Position System (GPS), da marca Garmin III Plus.

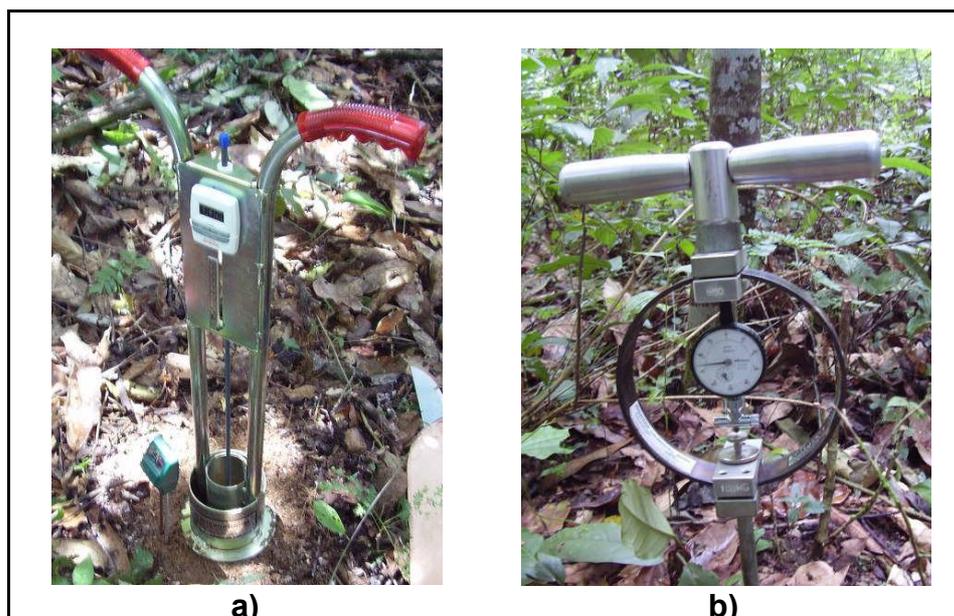


**Figura 5** - Forma de triângulo para os testes com infiltrômetro, na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerrede, Timóteo-MG, 2008.

O aparelho utilizado para medir a infiltração foi o infiltrômetro de anéis concêntricos (Figura 6a), com anéis de 5 e 10 cm de diâmetro. O aparelho foi nivelado no solo antes de iniciar os ensaios. O sistema de medição da variação da altura d'água consiste de uma régua graduada com resultados em milímetros colocada no anel interno. No anel externo, a lâmina d'água deve ser mantida apenas para assegurar que o processo de infiltração não sofra interrupção e, conseqüentemente, ocorra dispersão lateral da água infiltrada a partir do anel interno. O ensaio foi realizado até que a taxa de infiltração, observada no anel interno, tornou-se aproximadamente constante com o tempo.

A resistência mecânica do solo à penetração foi estimada por um penetrômetro composto de um anel dinamométrico com relógio comparador analógico, com uma ponta cônica de  $6,16 \text{ cm}^2$  (Figura 6b). Foram realizadas sete repetições em locais próximos às de realização dos ensaios de infiltração, sendo o penetrômetro cravado no solo na profundidade de 10 cm. O teor de umidade interfere na resistência que o solo oferece à penetração da ponteira do penetrômetro. Quanto maior o teor de umidade do solo, menor será a pressão acusada no manômetro, podendo levar o operador a cometer erros de interpretação.

Os resultados foram analisados estatisticamente, empregando-se o teste F na análise da variância, e as médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Scheffé, a 5% de probabilidade, auxiliado pelo programa Microsoft Office Excel 2003.



**Figura 6** - a) Infiltrômetro de anéis concêntricos; b) Penetrômetro utilizado para medição da resistência do solo à penetração na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008.

### **3.3 Balanço hídrico e qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG**

#### **3.3.1 Precipitação**

A medição da precipitação foi realizada por um pluviômetro digital sem fio, modelo RGR122, instalado entre as duas sub-bacias (Figura 7). Este modelo vem acompanhado de um rádio de transmissão movido a pilha que alcança até 90m, que armazena os dados de precipitação de até nove dias anteriores. Com isso, as leituras foram feitas em intervalos de 9 dias, no período de maio de 2006 a abril de 2008.



**Figura 7** - Pluviômetro digital sem fio instalado na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2006.

### 3.3.2 Vazão

A calha, do tipo Parshall modelo VCP-3”, possui um formato de canal sendo que na montante as laterais vão se afinilando. A calha é indicada para identificar a vazão em canais abertos, sendo utilizada frequentemente nas aplicações industriais e de saneamento. A leitura do aparelho se dá com o auxílio de uma régua graduada que mede o nível da água na calha. A partir de uma fórmula, pode-se converter o nível da água em vazão, de acordo com as especificações da calha:

$$Q = K * H^n$$

em que:

Q = vazão, em  $m^3 h^{-1}$ ;

K = constante dependente das dimensões da calha; e

n = é um valor que difere ligeiramente de 3/2, ajustado também de acordo com as dimensões da calha.

Para a leitura direta da vazão de forma mais prática, foi instalado na calha um computador de vazão, modelo ITS-2000 (indicador, totalizador e transmissor para canal aberto) que indicou dados de vazão instantânea e totalização de vazão em função do nível de água na calha. O sistema ITS-2000 mede a distância por meio de um transdutor que envia ondas ultrassônicas até um alvo, que é a superfície da água. Cada disparo contém uma série de ondas que transitam pelo ar, refletindo sobre o alvo detectado, retornando sob forma de eco para o transdutor. A distância entre o alvo e o sensor é calculada pelo transmissor/controlador, levando-se em conta o intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção das ondas ultrassônicas. Além da vazão, esse aparelho mede também a temperatura da água.

A calha do tipo Parshall (Figura 8a) foi instalada na saída da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, a jusante do encontro entre as duas sub-bacias de primeira ordem. O local escolhido possui uma menor declividade para ter um escoamento uniforme, segundo instruções do manual. A instalação do ITS 2000 (Figura 8b) foi feita próximo à calha e o sensor localizado acima da calha, com uma distância mínima de detecção de 0,4 m, de maneira que o som tivesse uma trajetória sem obstáculos até o nível atual do córrego no interior da calha. Os dados foram coletados semanalmente na parte da manhã, entre 9 e 11h de cada dia, e transcritos para uma planilha no período de maio de 2006 a abril de 2007.



**Figura 8** - a) Calha Parshall e sensor do ITS instalados na saída da BHCZ; b) ITS-2000 instalado junto a calha na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2006.

### 3.3.3 Evapotranspiração

A evapotranspiração de referência foi medida por um atmômetro SEEI (Figura 9), sendo um evaporador modificado que simula o processo de transpiração das folhas, fornecendo os dados de evapotranspiração de referência onde o aparelho está instalado, diretamente em milímetros. A simulação do processo de transpiração é obtida ao cobrir a superfície cerâmica de evaporação com uma lona verde adequada, que oferece uma resistência à passagem de vapor d'água equivalente à resistência dos estômatos das folhas e promove a absorção da mesma banda de radiação solar.



**Figura 9** - Atmômetro modificado instalado na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2006.

Para determinação da evapotranspiração de referência do período, subtraem-se as leituras do início e final desse período. Os dados foram coletados semanalmente, entre 9 e 11h da manhã, no período entre maio de 2006 a abril de 2008. O aparelho foi recarregado com água destilada contendo algicida quando o nível se encontrava muito baixo.

### **3.3.4 Avaliação dos equipamentos do monitoramento hidrológico**

A avaliação dos equipamentos calha Parshal, ITS-2000, pluviômetro digital e atmômetro modificado, para utilização em campo, foi realizada observando os seguintes parâmetros: praticidade, confiabilidade e se houve ocorrência de problemas no decorrer da pesquisa.

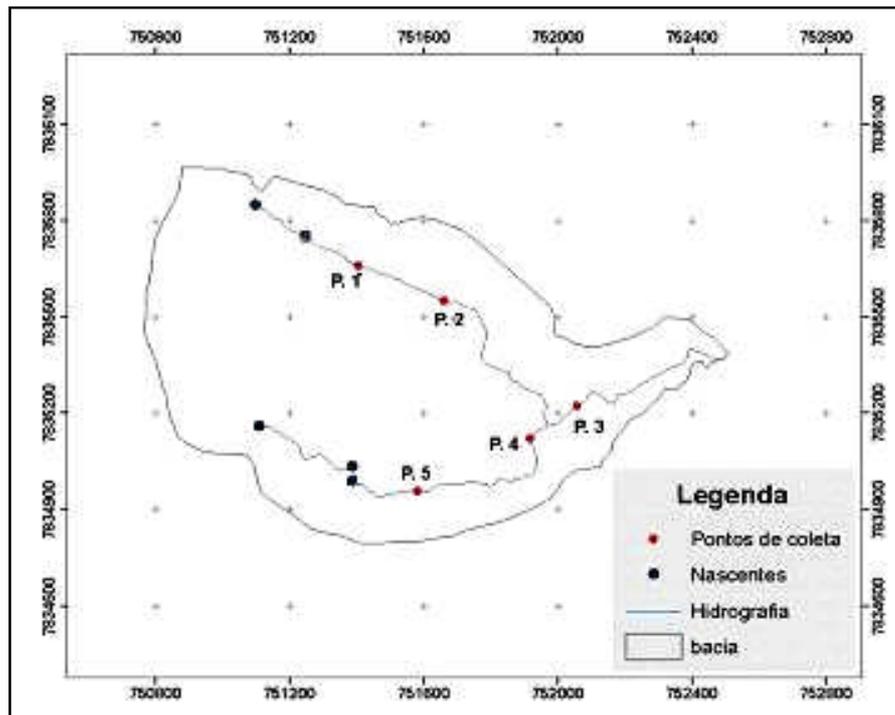
### **3.3.5 Qualidade da água**

As coletas de amostras de águas superficiais foram realizadas em pontos ao longo do leito do curso d'água, onde o uso do corpo d'água na bacia é para o consumo humano, criação de alguns animais, para irrigação de hortas e para fins paisagísticos.

Dentro da Bacia do Córrego Zerede foram determinados cinco pontos para se proceder à coleta de água, conforme mostra a Figura 10. As coletas consistiram de amostras compostas, formadas por mistura de cinco alíquotas individuais de um litro coletadas a cada cinco minutos. Foram realizadas três coletas, nos meses de maio, julho e setembro de 2007, sendo realizadas entre as 10:00 e 12:00 horas e no mesmo dia encaminhadas para laboratório, onde foram armazenadas a 4 °C até a conclusão das análises.

Os Pontos 1 e 2 recebem água de duas nascentes, representando a sub-bacia B, sendo que o ponto 2 recebe grande quantidade de água na forma de escoamento superficial. O Ponto 3 recebe a água das duas sub-bacias. O Ponto 4 localiza-se na sub-bacia A e está logo abaixo da sede e do açude no qual algumas aves aquáticas se banham. O Ponto 5 está próximo das três nascentes da sub-bacia A, recebendo água das três. Os pontos 3 e 4 recebem influência direta das alterações que ocorreram na bacia. A Figura 11 mostra aspectos dos pontos amostrados.

Os parâmetros físico-químicos foram analisados de acordo com as metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995).



**Figura 10** - Localização dos pontos de coleta de água ao longo dos cursos d'água na Bacia do Córrego Zerede, em Timóteo-MG.

O pH, a condutividade elétrica e a turbidez foram determinados, respectivamente, por leitura direta em pHmetro, condutímetro e turbidímetro digital, ambos da marca Digimed.

A determinação da cor foi realizada com base no método utilizado pelo Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental DEC/UFV. Foram utilizados 100 mL de cada amostra e 100 mL de água destilada utilizando o método de comparação.

Os resultados foram analisados estatisticamente, empregando-se o teste F na análise da variância, e as médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste T, auxiliado pelo programa Microsoft Office Excel 2003.

A coleta para a análise microbiológica foi realizada no dia 14 de outubro de 2007. Os locais nos quais foi realizada a amostragem foram os Pontos 3, 4 e 5. A coleta das amostras foi realizada em recipientes assépticos, sendo coletados 100 mL de água em cada local. O reagente (Colilert) foi adicionado ao frasco de água.

Uma alíquota de 100 mL foi retirada das amostras por meio de pipeta estéril e colocada em um frasco, que foi agitado até a completa diluição dos grânulos do substrato. A solução foi colocada em uma cartela composta de cinquenta e uma cúpulas, que foi colocada em uma seladora e a solução distribuída igualmente. Em seguida, a solução foi incubada a  $35 \pm 0,5$  °C, em estufa, por 24 horas.



**Figura 11** - Aspectos gerais da coleta e dos pontos amostrados para as análises de água da BHCZ. a) ponto 1; b) ponto 2; c) ponto 3; d) ponto 4; e) ponto 5, na Bacia do Córrego Zerede, em Timóteo-MG.

A avaliação da cor da água das amostras foi realizada sob luz natural e, posteriormente, sob luz ultravioleta (365 nm). Sob luz natural, o resultado de cor amarela é positivo para coliformes totais e permanecendo a coloração transparente o resultado é negativo. Na avaliação sob luz ultravioleta, se a cor da água das amostras ficar fluorescente, resulta em resultado positivo; se a amostra ficar transparente, o

resultado é negativo para *Escherichia coli*. Os resultados foram expressos de acordo com a tabela NMP (número mais provável em 100mL de água), em que uma cúpula positiva equivale a uma bactéria em 100mL de água.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Infiltração da água no solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG

Definem-se, seguindo aproximadamente a classificação de Klute (1965), as seguintes faixas de variação para a Velocidade Básica de Infiltração (VIB):

- Baixa ( $VIB < 20 \text{ mm h}^{-1}$ );
- Média ( $20 < VIB < 125 \text{ mm h}^{-1}$ ); e
- Alta ( $VIB > 125 \text{ mm h}^{-1}$ ).

Pelo Quadro 4, nota-se que todos os locais analisados possuíram Velocidade Básica de Infiltração entre 51,4 a 158,33  $\text{mm h}^{-1}$ , valores classificados entre médios e altos.

**Quadro 4** - Dados do infiltrômetro de anéis na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008

Usos do solo	Velocidade básica de infiltração ( $\text{mm h}^{-1}$ )			Média ( $\text{mm h}^{-1}$ )
	R1	R2	R3	
Floresta Regeneração Natural (m1)	36,60	49,20	68,40	51,40
Floresta sub-bacia A (m2)	71,43	90,04	25,80	62,42
Pastagem (m3)	142,00	90,00	80,00	104,00
Floresta sub-bacia B (m4)	85,50	232,00	102,00	139,83
Eucalipto (m5)	162,00	219,00	94,00	158,33

R1 – repetição 1; R2 – repetição 2; R3 – repetição 3.

A análise da variância indicou diferença entre as médias para os diferentes usos do solo, sendo então necessário o teste de Scheffé. Os resultados do teste de médias encontram-se descritos no Quadro 5.

**Quadro 5** - Diferença entre as médias de Velocidade Básica de Infiltração analisadas pelo Teste de Scheffé, a 5% de probabilidade, na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008

Contraste	$\hat{Y}$	S	Teste
m2-m1	11,02	20,85	ns
m3-m2	41,58	20,85	**
m4-m3	35,83	20,85	**
m5-m4	18,50	20,85	ns

Nota-se que a floresta em regeneração natural e a floresta secundária da sub-bacia A são estatisticamente semelhantes, sendo os locais amostrados que possuem menor velocidade básica de infiltração. Considerando a vegetação, sabe-se que os baixos valores relativos de VIB encontrados na floresta em regeneração da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede devem ter sido acentuados pelo uso anterior do local, uma via de acesso por onde transitavam veículos, contribuindo assim para uma maior compactação do solo e menores valores de infiltração.

A pastagem, quando comparada com a floresta secundária da sub-bacia A revelou possuir uma VIB maior. Este resultado pode não refletir a influência direta do uso do solo, mas o tipo de solo em questão. O Latossolo possui características mais propícias para a infiltração da água no solo em relação ao Neossolo. O Neossolo Quartzarênico apresentou maior relação areia grossa/argila, mas foi seu perfil o de menor porosidade total, seja nas camadas superficiais ou subsuperficiais, como mostra o Quadro 6.

Porém, quando a pastagem é analisada com a floresta secundária da sub-bacia B, os resultados são mais elevados na floresta. Sabendo que ambos estão inseridos em Latossolo Amarelo, a diferença significativa existente é devida ao uso como floresta, por possuir características mais propícias para infiltração da água.

O plantio de eucalipto e a floresta secundária presentes em Latossolo apresentaram valores de velocidade de infiltração mais elevados em relação aos demais locais amostrados. O plantio de eucalipto está inserido em um Latossolo Vermelho Amarelo com características muito propícias para a infiltração, sendo o perfil com maior porosidade total nas camadas superficiais e subsuperficiais (Quadro 6). Leite et al. (1997), em trabalhos a respeito de regime hídrico do solo, com diferentes

coberturas vegetais (eucalipto, mata nativa e pastagem), constataram que o eucalipto não interferiu de modo negativo no regime hídrico do solo, quando comparado aos outros tipos de vegetação.

**Quadro 6** - Variação da densidade do solo, densidade das partículas e porosidade em duas profundidades dos perfis descritos na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2005

Profundidade (cm)	Textura	Ds	Dp	Porosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )
		(g cm <sup>-3</sup> )		
Perfil 1 – Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico				
20*	Ra	1,19	2,42	0,51
75**	Ra	1,32	3,11	0,57
Perfil 2 – Neossolo Quartzarênico Órtico típico				
20	Af	1,55	2,95	0,48
75	A	1,60	2,80	0,43
Perfil 3 – Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico				
20	Fa	1,38	2,91	0,53
75	Fra	1,40	3,37	0,59
Perfil 4 – Latossolo Amarelo Distrófico típico				
20	Fra	1,55	3,14	0,50
75	Ra	1,52	3,51	0,57
Perfil 5 – Latossolo Amarelo Distrófico típico				
20	Fra	1,58	3,10	0,49
75	Fra	1,42	3,06	0,54

Ds – densidade do solo; Dp – densidade das partículas; \* coleta realizada a 20 cm de profundidade; \*\*coleta realizada a 75 cm de profundidade; Fra – franco-argilo-arenosa; Ra – argila-arenosa; Af – areia-franca; A – areia; Fa – franca-arenosa. Ag – areia grossa; Af – areia fina; s – silte; r – argila; s/r – relação silte/argila; Ag/r – relação areia grossa/argila.

Fonte: Alves (2005).

Sales et al. (1999), em trabalhos realizados com o infiltrômetro de anéis, encontraram valores de 56,6 mm h<sup>-1</sup> de VIB em Latossolo Roxo e de 12,1 mm h<sup>-1</sup> de VIB em Podzólico Vermelho-Amarelo, ambos de textura argilosa. Simões et al. (2005), utilizando infiltrômetro de cilindro único, obtiveram valores em torno de 45 mm h<sup>-1</sup> em Latossolo Vermelho Distroférico com 57% de argila (camada de 0-20 cm) e em torno de 120 mm h<sup>-1</sup> em Cambissolo com 61% de argila (camada de 0-20 cm).

No Quadro 7, são observados os diferentes valores de resistência e nota-se que o uso do solo com menores valores de compactação é o de plantio de eucalipto, confirmado pelos baixos valores de densidade e elevados valores de porosidade, obtidos por Alves (2005). Apesar da existência dessa diferença, o Teste F foi não significativo em nível de 5% de probabilidade, concluindo que as médias de resistência à penetração não diferem entre si.

**Quadro 7** - Valores de pressão para cravação do penetrômetro a 10 cm de profundidade nos diferentes tipos de uso do solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008

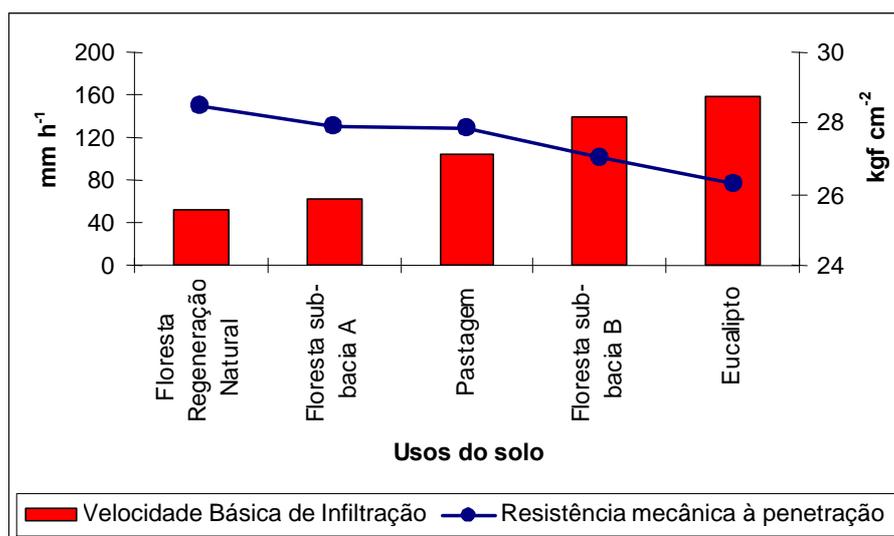
Usos do solo	Força média	Desvio padrão	Área	Pressão
	(kgf)	(kgf)	(cm <sup>2</sup> )	(kgf cm <sup>-2</sup> )
Floresta Regeneração Natural	175,29	8,67	6,16	28,47
Floresta sub-bacia A	171,86	16,79	6,16	27,91
Pastagem	171,43	17,10	6,16	27,84
Floresta sub-bacia B	168,00	4,20	6,16	27,28
Eucalipto	162,00	16,40	6,16	26,31

\* - não foi medido.

A floresta em regeneração natural obteve a maior resistência à penetração, contrapondo os valores de densidade do Quadro 6, mas confirmou o impacto sofrido pelo uso anterior do local por uma via de acesso da Fazenda Manaaim.

Os demais usos do solo obtiveram valores similares, mas, analisando os usos inseridos no Latossolo Amarelo (pastagem e a floresta da sub-bacia B), percebe-se uma compactação superior da pastagem, apesar de este ter apresentado valores de infiltração relativamente elevados.

A Figura 12 relaciona a infiltração com a resistência à penetração. Da sua análise, nota-se uma tendência esperada, pois os maiores valores de infiltração da água revelaram uma menor compactação do solo.

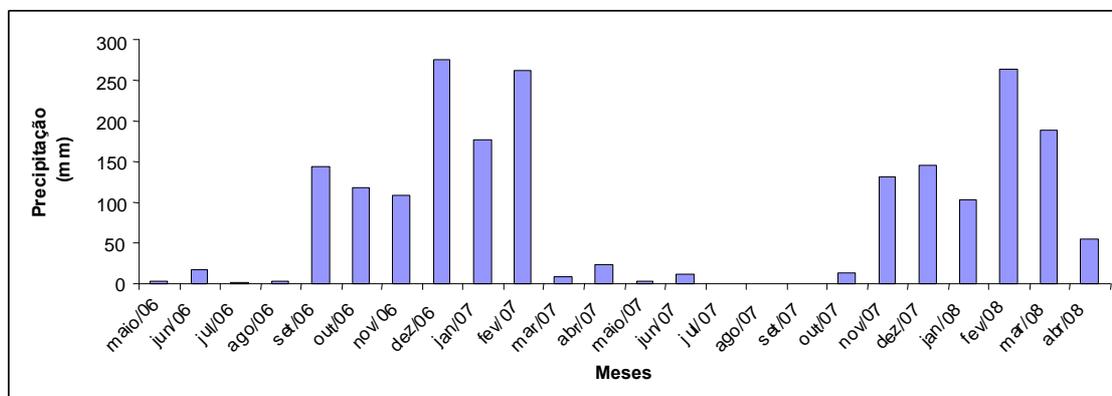


**Figura 12** - Gráfico comparativo dos valores da capacidade de infiltração da água no solo em relação à resistência do solo à penetração, de acordo com os diferentes usos do solo, na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008.

## 4.2 Balanço hídrico e qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG

### 4.2.1 Hidrologia da bacia

O gráfico da Figura 13 mostra os resultados das medições de precipitação. Fica evidente no gráfico a divisão entre a estação de estiagem e estação chuvosa, em que os máximos valores estão entre setembro e fevereiro e os mínimos entre maio a agosto. O primeiro e o segundo anos hidrológicos apresentaram, respectivamente, em um total de 1.139,2 e 917 mm, resultados abaixo do esperado para o local (1.300 a 1.500 mm). O mês com a maior precipitação foi dezembro de 2006, com 275 mm.



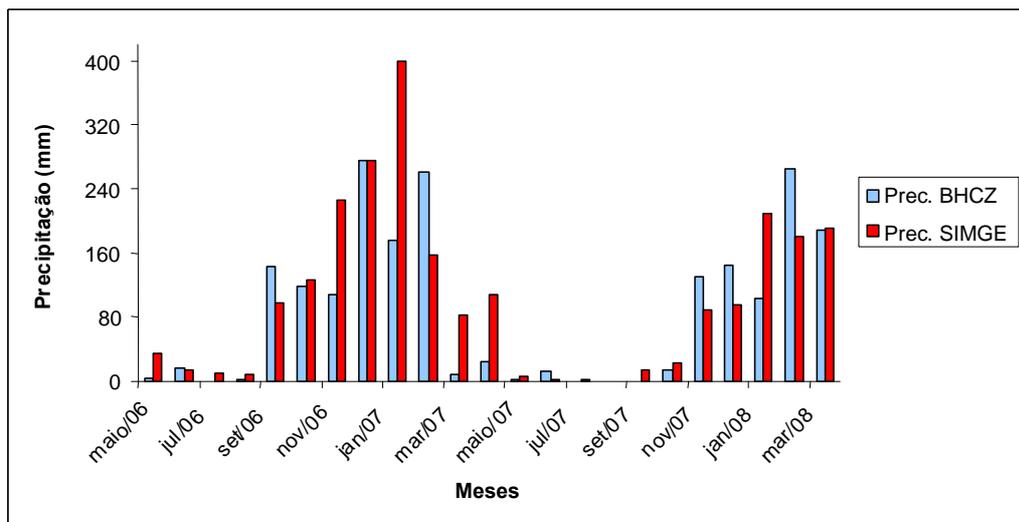
**Figura 13** - Dados de precipitação entre maio de 2006 a abril de 2008 na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG.

Comparando os dados obtidos na bacia com os dados obtidos em Ipatinga, MG, pelo Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais (SIMGE) (Figura 14), percebe-se a diferença total de 397,5 mm, o que é habitual pela diferença de localização.

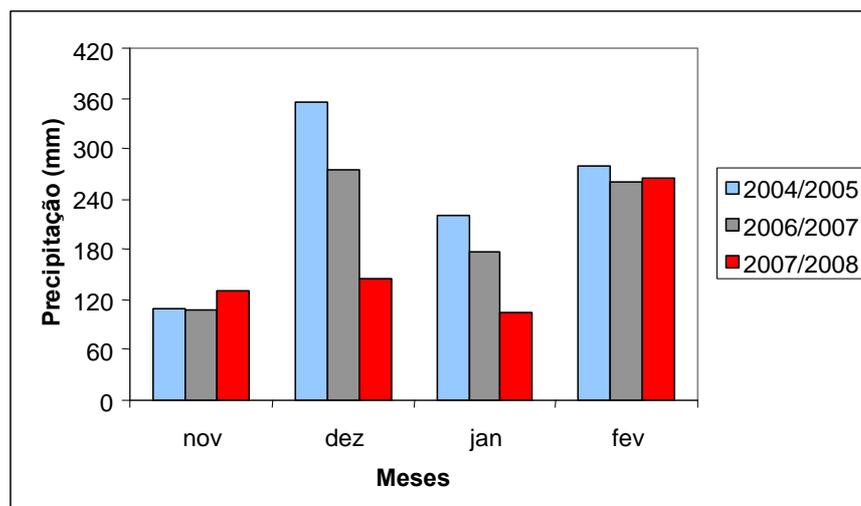
O gráfico da Figura 15 foi gerado com os dados de precipitação obtidos por Alves (2005) entre novembro de 2004 e fevereiro de 2005, e com os dados obtidos no presente estudo nos mesmos meses (2006/2007 e 2007/2008). Nota-se uma menor precipitação no último ano analisado e há uma diferença de 320 mm entre o primeiro e o último ano, nos meses de dezembro e janeiro.

Alguns problemas referentes à adaptação da calha Parshall para estas medições de campo ocorreram, como o acúmulo de sedimentos grosseiros na calha que precisaram ser removidos antes de cada leitura. Uma tempestade em novembro de 2006

queimou o ITS, restando como alternativa a medição da vazão pela altura da lâmina d'água na calha Parshall. Devido a esses problemas, intervalos de medições das leituras foram menos freqüentes até se tornar inviável sua continuação. Uma proposta para solucionar esse problema consiste na retirada total dos sedimentos depositados sobre a calha e na construção de um poço tranquilizador antes da entrada da água na calha, a fim de deixar retidos os sedimentos. A Figura 16 mostra a sequência de problemas enfrentados em ordem cronológica.

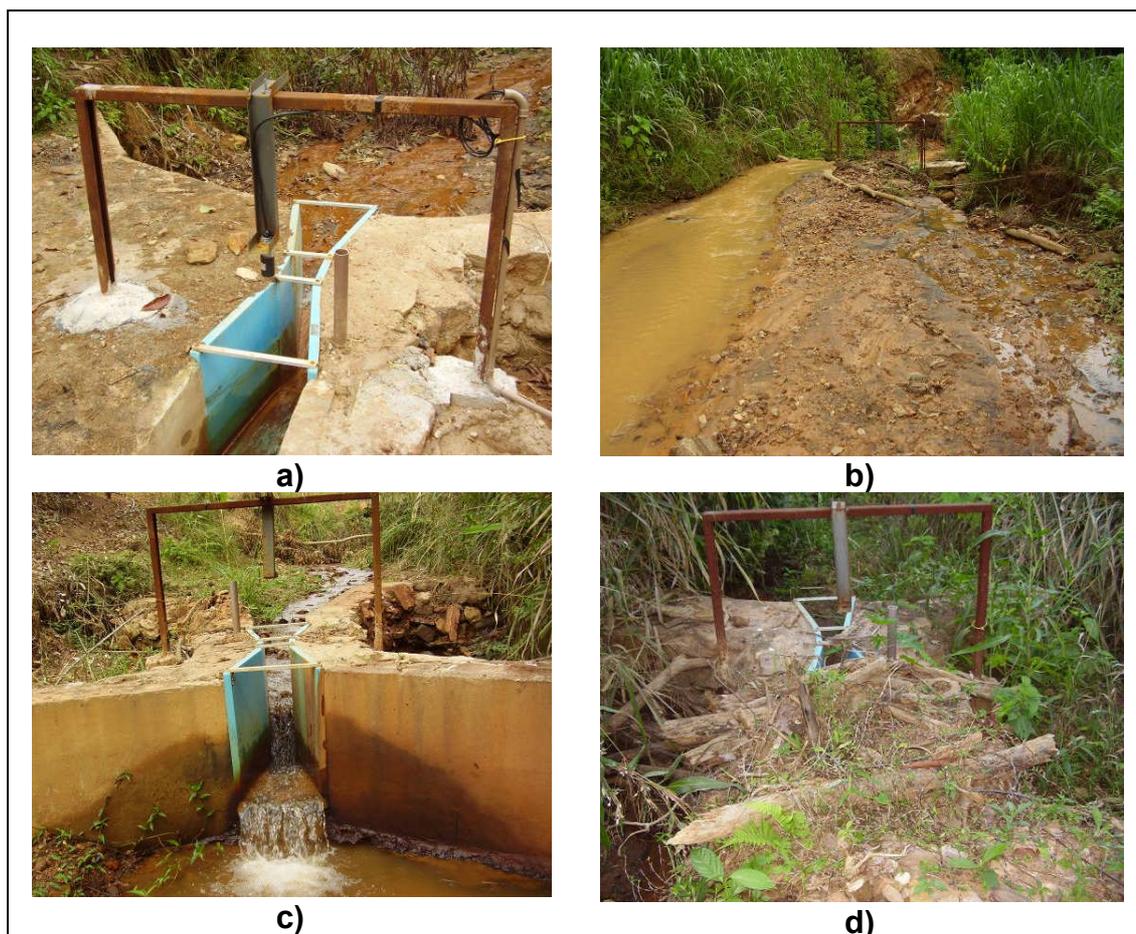


**Figura 14** - Precipitação pelo pluviômetro instalado na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede e pelos dados do SIMGE no período de maio de 2006 a março de 2008.



Fonte: Alves (2005)

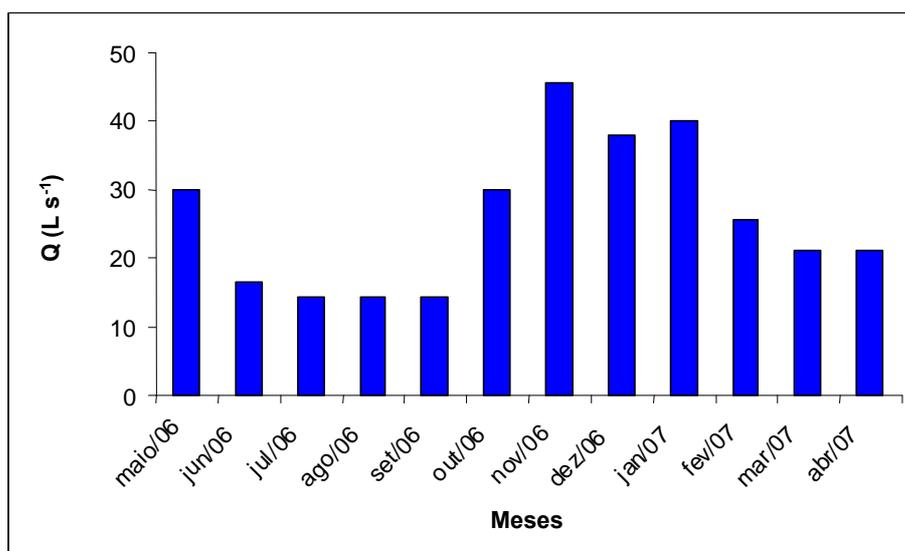
**Figura 15** - Precipitação dos meses chuvosos dos anos de 2004/2005, 2005/2006 e 2006/2007 na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG.



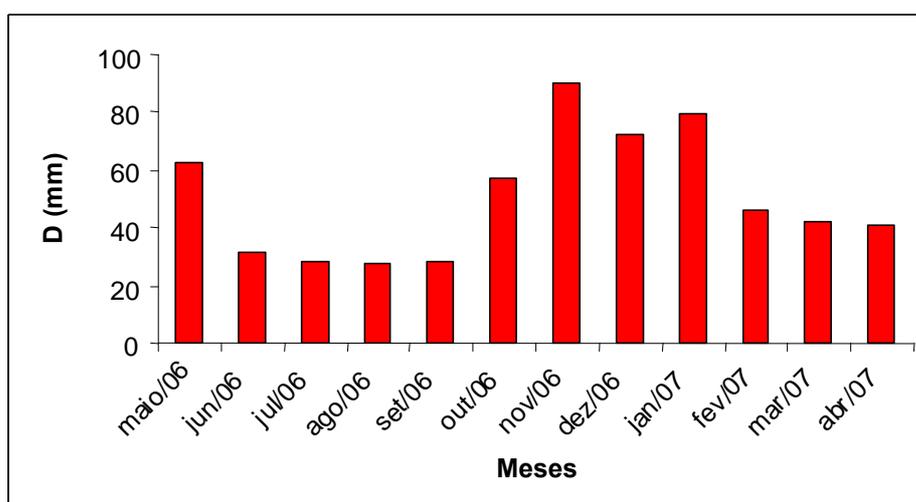
**Figura 16** - Situação da calha Parshall instalada na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG no decorrer da pesquisa. a) julho de 2006; b) janeiro de 2007; c) julho de 2007; d) agosto de 2008.

O atmômetro modificado apresentou vantagens em sua utilização e, de acordo com Erthal (1994), mostrou ter uma boa correlação com outros métodos conhecidos, como o tanque Classe A e a equação de Penman, mostrando, assim, ser confiável para estimar a evapotranspiração. O pluviômetro digital mostrou muitas vantagens em relação a vários aparelhos existentes pela sua eficiência de armazenamento de dados, porém salienta-se que a área de sua captação deveria ser maior para minimizar erros sistemáticos.

O gráfico da Figura 17 ilustra os resultados das medições da vazão no período de estudo. Com os dados de vazão, pode-se calcular o deflúvio levando-se em conta o tamanho da área. Assim, o gráfico da Figura 17 mostra os valores do deflúvio na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede.



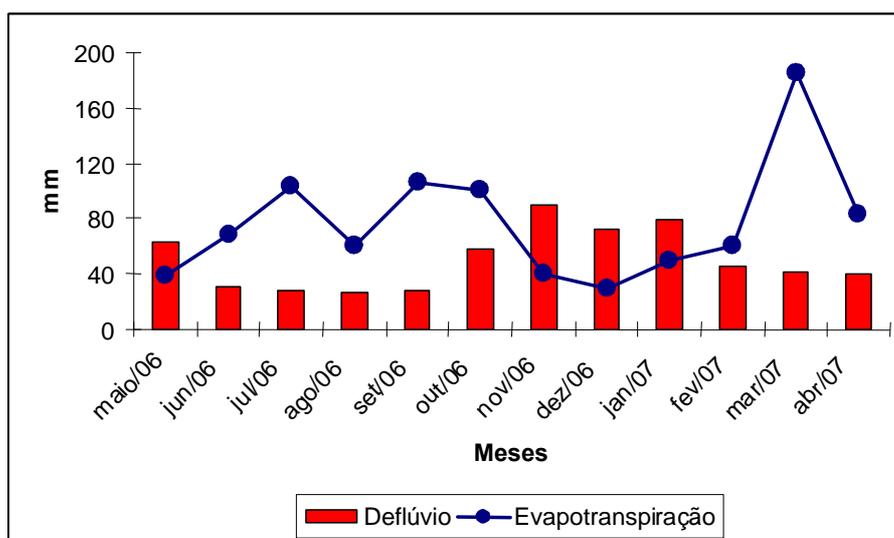
**Figura 17** - Vazão do Córrego Zerede no período entre maio de 2006 e abril de 2007.



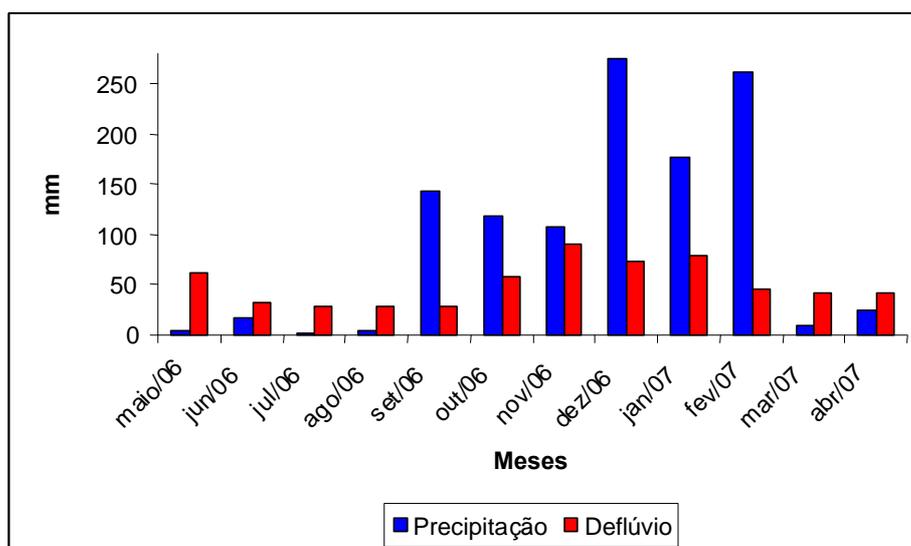
**Figura 18** - Deflúvio da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede entre maio de 2006 e abril de 2007.

Quando se analisados o deflúvio e a evapotranspiração (Figura 19), percebe-se que a maior contribuição para saída de água da bacia é devida à evapotranspiração, com exceção dos meses de novembro, dezembro e janeiro (2006/2007). Isso se deve, provavelmente, ao aumento da umidade relativa do ar pela elevada precipitação destes meses, causando uma diminuição da transpiração foliar. Além disso, estudos de Alves (2005) revelaram que as faces da bacia estão mais expostas ao sol na parte da manhã (6:00 às 12:00 h) do que na parte da tarde (12:00 às 18:00 h), que teoricamente proporciona temperaturas mais altas e, conseqüentemente, uma maior evapotranspiração.

Quando se analisa a precipitação concomitantemente ao deflúvio (Figura 20), percebe-se que a vazão responde às chuvas ocorridas, porém não elevaram demasiadamente o deflúvio. No entanto, percebe-se também que embora exista uma grande diferença entre a vazão máxima e a mínima, ainda assim a vazão mínima é constante na época de estiagem, garantida pelo armazenamento de água subterrânea pelas cinco nascentes existentes na bacia, o que indica uma boa conservação da bacia. Nota-se um aumento no deflúvio entre os meses de outubro de 2006 e janeiro de 2007.



**Figura 19** - Deflúvio e evapotranspiração estimada na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede entre maio de 2006 a abril de 2007.



**Figura 20** - Precipitação e deflúvio na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede entre maio de 2006 a abril de 2007.

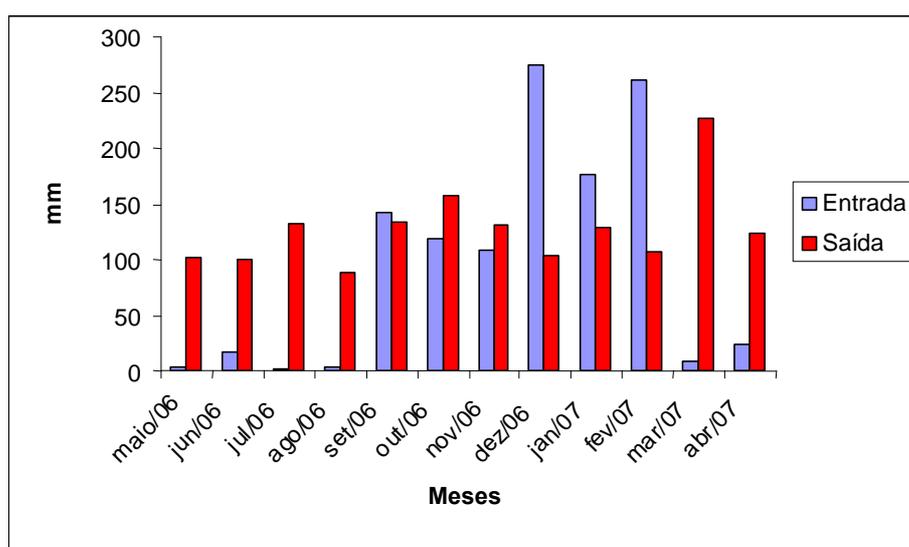
Com os dados de precipitação, vazão e evapotranspiração pôde ser feito o balanço hídrico da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede no período estudado. O Quadro 8 mostra os resultados dessas medições, incluindo o total da precipitação, deflúvio e evapotranspiração.

O gráfico da Figura 21 contrasta a entrada e a saída de água da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede mensalmente.

**Quadro 8** - Balanço hídrico na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, entre maio de 2006 a abril de 2007

Mês	P (mm)	D (mm)	EVAPt (mm)	Saldo (mm)
maio/06	4,0	62,8	39,0	-97,8
jun/06	17,0	31,4	68,0	-82,4
jul/06	1,0	28,5	103,0	-130,5
ago/06	3,0	27,4	60,0	-84,4
set/06	143,0	28,5	106,0	8,5
out/06	118,0	57,4	101,0	-40,4
nov/06	108,0	90,3	40,0	-22,3
dez/06	275,0	72,6	30,0	297,4
jan/07	176,0	79,4	49,0	67,4
fev/07	261,2	45,9	61,0	154,3
mar/07	9,0	41,9	185,0	-217,9
abr/07	24,0	40,6	83,0	-99,6
<b>SOMA</b>	1139,2	606,7	925,0	-247,7

P – precipitação; D – deflúvio, EVAPt – evapotranspiração.



**Figura 21** - Saldo hídrico na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede entre maio de 2006 a abril de 2007.

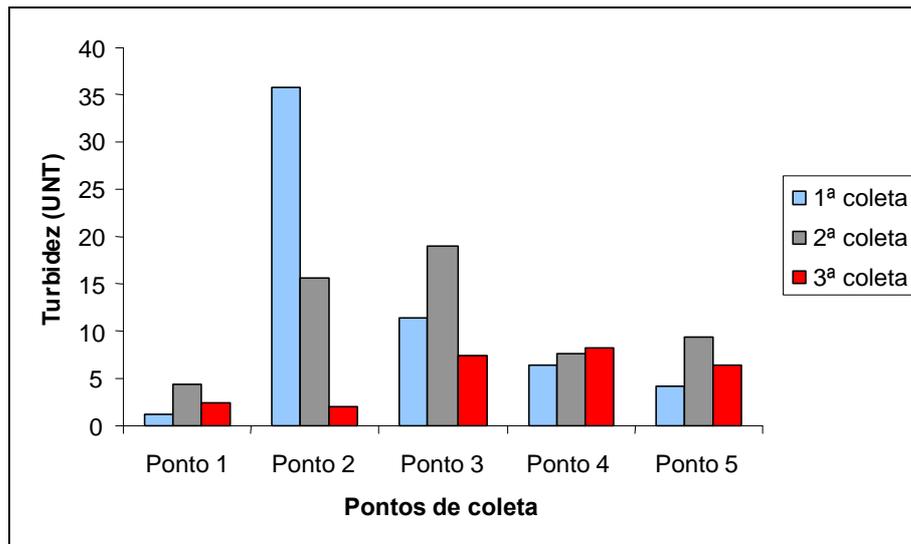
Verifica-se que, no balanço final, a saída de água na bacia representada pelo deflúvio e pela evapotranspiração, supera a entrada via precipitação em 247,7 mm, caracterizando um déficit hídrico no solo nos meses de estiagem. O mês de dezembro de 2006 apresentou o maior saldo do período estudado (297,4 mm), impulsionado pela elevada precipitação (275 mm) e pela baixa evapotranspiração (30 mm). Entretanto, no mês de março de 2007 houve elevada evapotranspiração, e as precipitações quase não ocorreram, sendo o mês com menor saldo (-217,9 mm). O deflúvio variou de 31,4 a 90,3 mm, sendo estes valores decorrentes da influência direta das precipitações ocorridas.

#### **4.2.2 Qualidade da água**

Para turbidez, a Resolução nº 357 do Conama (2005) determina até 40 unidades nefelométricas de turbidez para a Classe 1. Na Figura 22, é possível observar que a água coletada em todos os pontos está dentro do padrão para turbidez para a Classe 1. A água dos pontos amostrados que representam a sub-bacia A apresentou, em média, valor inferior ao da sub-bacia B, sendo este valor provavelmente ocasionado pelo canal de escoamento superficial existente entre os Pontos 1 e 2. Observa-se que no mês anterior à primeira coleta (abril/2007), houve uma precipitação acumulada de 108,5 mm, devendo ter havido grande influência sobre os resultados de turbidez para a água deste ponto. Na segunda e terceira coletas, o valor de turbidez da água do Ponto 2 diminuiu consideravelmente, visto que a soma da precipitação dos meses de maio a setembro de 2007 não ultrapassou o valor de 25 mm.

Apesar dessas diferenças, as médias dos valores de turbidez da água nos pontos de coleta não apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade pelo Teste F.

As coletas de Alves (2005), realizadas em junho de 2005 na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, revelaram dois pontos (dos 6 pontos de coleta) com valores superiores a 40 UNT, sendo eles os Pontos 2 e 4 do presente estudo, com valores de 61,3 e 69,9, respectivamente. Na estação chuvosa, os valores do Ponto 2 se elevaram para 1.277,5 UNT. Além da existência de um canal intermitente que deságua no leito do córrego trazendo grande quantidade de sedimentos em suspensão, na época dos estudos do autor havia uma exploração florestal que utilizava o método de arraste por meio de guincho arrastador.

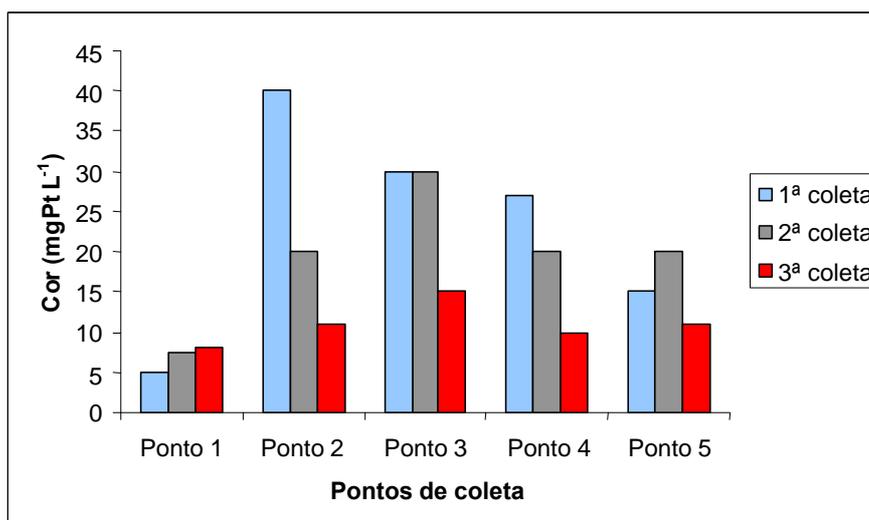


**Figura 22** - Gráfico de turbidez da água nos pontos coletados na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008

A Resolução nº 357 do Conama (2005) indica que para o corpo d'água ser classificado como Classe 1, no parâmetro cor, ele deve possuir a cor com o nível natural do corpo de água em  $\text{mgPt L}^{-1}$ , mas para ser considerado potável, de acordo com a Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, os valores da cor devem estar abaixo de  $15 \text{ mgPt L}^{-1}$ . Analisando a Figura 23, percebe-se que apenas a água coletada no Ponto 1 obteve valores abaixo deste limite. A água coletada em maio no Ponto 2 apresentou os valores mais elevados, ocasionados, provavelmente, pelo canal de escoamento superficial a montante do ponto, juntamente com as precipitações ocorridas no mês anterior. Entretanto, as médias dos valores de cor da água nos pontos de coleta não apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade pelo Teste F.

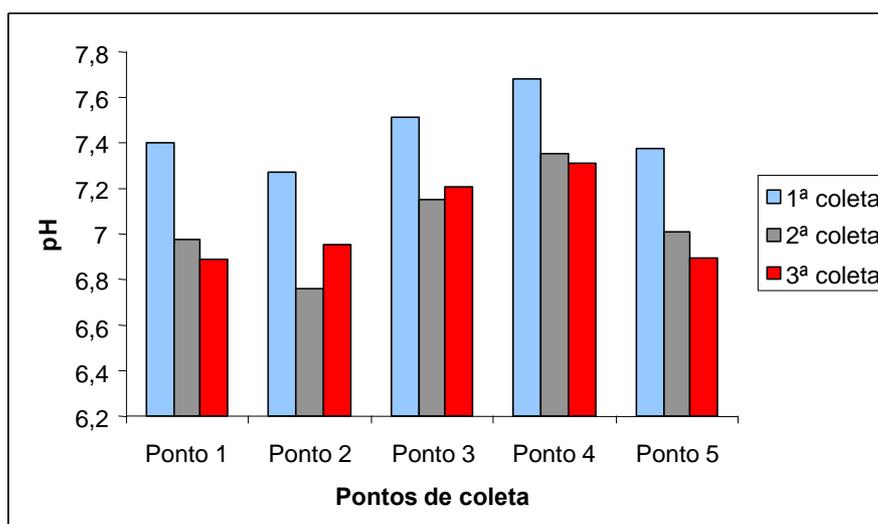
Nas análises de Alves (2005), os valores de cor variaram de 136 a  $560 \text{ mgPt L}^{-1}$  e não existiu uma relação considerável entre a cor real e a turbidez das águas. Os resultados da cor do presente estudo variaram de 6,83 a  $25 \text{ mgPt L}^{-1}$ , apresentando uma relação considerável entre a cor real e a turbidez das águas, corroborando os resultados obtidos por Mosca (2003) e Arcova e Cicco (1999) e contrariando os resultados obtidos por Alves (2005).

Nas águas superficiais, o pH é influenciado por diversos fatores, como a geologia da região e também por possíveis fontes de poluição. De acordo com a Resolução nº 357 do Conama (2005), os valores de pH devem estar entre 6 e 9 para enquadramento do corpo d'água na Classe 1.



**Figura 23** - Gráfico de cor da água nos pontos amostrados na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008.

A Figura 24 mostra o comportamento do pH da água nos diferentes pontos e, conforme as médias realizadas, conclui-se que a água de todos os pontos se enquadra na Classe 1 do Conama. A água possuiu valores de pH na faixa entre 6,5 e 8, sendo que no ponto 2 a água está com valores abaixo de 7. Os pontos 3 e 4 apresentaram valores de pH ligeiramente superiores aos demais, embora estatisticamente as médias não tivessem diferido entre si. Alves (2005) observou uma queda nos valores de pH na estação seca, embora permanecessem situados numa faixa entre 6 e 9, com exceção do Ponto 6 (equivalente ao ponto 3 do presente estudo) que apresentou um valor de 5,5.

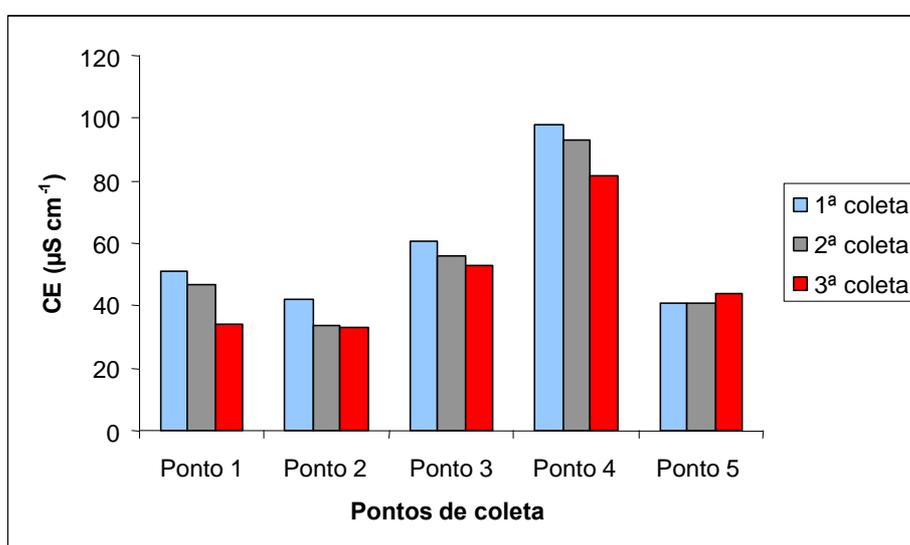


**Figura 24** - Gráfico de pH da água nos pontos amostrados na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008.

A condutividade elétrica (CE) indica a quantidade de sais existentes na coluna de água, fornecendo uma indicação indireta sobre a concentração de poluentes. A CE fornece indicações sobre as alterações na composição em um corpo d'água, sem fornecer nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes.

A legislação em vigor não determina valores para este parâmetro, mas, de acordo com diversos estudos, sabe-se que valores superiores a  $50 \mu\text{S cm}^{-1}$  podem alertar para outros fatores, como a presença de esgoto doméstico e insumos agrícolas. Valores elevados de CE podem indicar, também, características corrosivas da água.

Com base nos resultados apresentados na Figura 25 e no Quadro 9, observa-se que a água coletada no Ponto 4 apresentou valores estaticamente mais elevados que os demais pontos ( $90,97 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), indicando um teor de sais que pode ter sido influenciado pelo despejo dos efluentes da cozinha, que ainda é realizado diretamente no córrego. A água do Ponto 3 também obteve valores médios superando  $50 \mu\text{S cm}^{-1}$ , sendo possivelmente por conta de uma certa proximidade do Ponto 4. Os pontos 1 e 2 diferem estatisticamente, devendo ser por influência do canal de escoamento existente, pois se nota, em geral, uma tendência de diminuição da CE à medida que as precipitações se tornam mais escassas e de menor intensidade.



**Figura 25** - Gráfico de condutividade elétrica da água nos pontos amostrados na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008.

Alves (2005) obteve valores referentes à condutividade elétrica em torno de  $44,02 \mu\text{S cm}^{-1}$  nas duas campanhas de amostragem, enquanto no presente estudo os

valores médios ficaram em  $53,9 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Os valores, em geral, apresentaram resultados satisfatórios com uma CE considerada baixa, o que é típico de cursos d'água que drenam áreas de litologia constituída por rochas resistentes ao intemperismo ou por rochas com pobreza de íons.

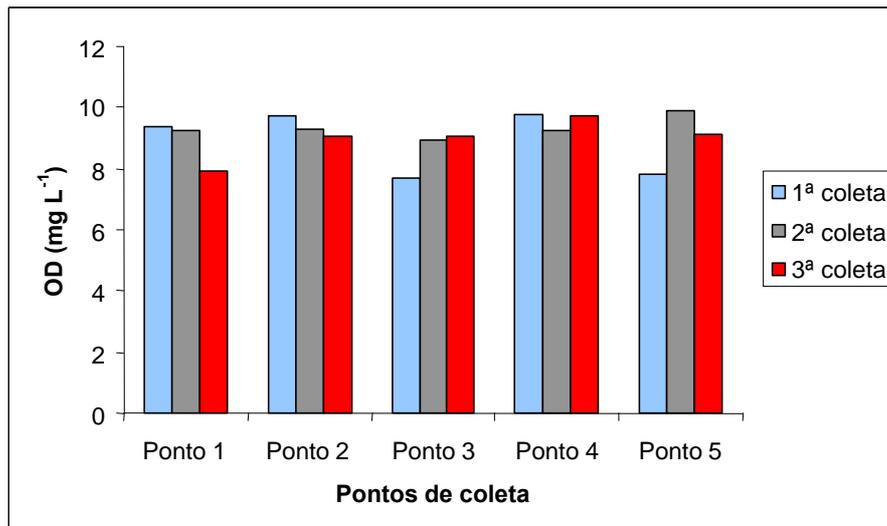
**Quadro 9** - Diferença dos valores de CE dos pontos amostrados pelo Teste t na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG

Pontos de coleta	Valores de CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )			Média	Teste t
	1ª coleta	2ª coleta	1ª coleta		
1	51,00	47,10	34,20	44,10	a
2	42,30	33,40	32,80	36,17	b
3	60,60	55,80	52,60	56,33	c
4	98,00	93,10	81,80	90,97	d
5	40,60	40,60	44,00	41,73	a;b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste t ( $P > 0,05$ ).

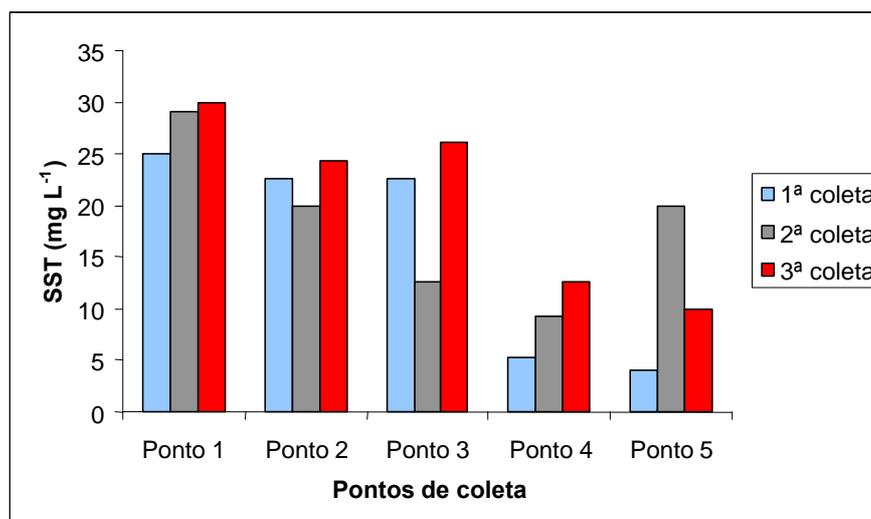
A determinação do oxigênio dissolvido (OD) fornece informações sobre as reações bioquímicas e biológicas que ocorrem na água, além de indícios sobre a capacidade da água em promover sua autodepuração. A concentração do oxigênio dissolvido na água varia de acordo com a mudança de sua temperatura, altitude e sua aeração. A presença de cachoeiras ou de chuvas, que elevam a turbulência da água favorece a oxigenação, enquanto a solubilidade do oxigênio diminui com a elevação da temperatura.

Segundo a Resolução Conama nº 357, de 2005, para que o corpo d'água seja enquadrado na Classe 1, os valores de oxigênio dissolvido devem ser superiores a  $6 \text{ mg L}^{-1}$ . Desta forma, os valores encontrados na presente análise estão enquadrados na Classe 1, apresentando valores entre  $8,6$  a  $9,6 \text{ mg L}^{-1}$  (Figura 26). A água que obteve, na média, maiores teores de oxigênio dissolvido foi a coletada no Ponto 4 ( $9,57 \text{ mg L}^{-1}$ ), porém ressalva-se que as médias do parâmetro cor da água dos pontos amostrados não diferiram entre si pelo Teste F. Os resultados de Alves (2005) para o oxigênio dissolvido mostram que a água de todos os pontos estava dentro do padrão para a Classe 1 na estação chuvosa, enquanto na estação seca somente dois pontos permaneceram nesta classe, sendo 3 pontos classificados como Classe 2 e um ponto como Classe 3.



**Figura 26** - Gráfico de oxigênio dissolvido da água nos pontos amostrados na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008.

Em relação aos sólidos suspensos totais (SST), percebe-se pela Figura 27 que os valores oscilaram entre 4 a 30 mg L<sup>-1</sup>. A sub-bacia A possui valores inferiores de SST em relação à sub-bacia B, sendo que a água dos Pontos 4 e 5 foi estaticamente semelhantes pelo Teste t (Quadro 10), demonstrando que as modificações ocorridas na bacia não alteraram de forma significativa o material suspenso no córrego. Os pontos 1, 2 e 3 revelaram possuir médias de valores de SST iguais, no período de estiagem analisado.



**Figura 27** - Gráfico de sólidos suspensos da água nos pontos amostrados na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008.

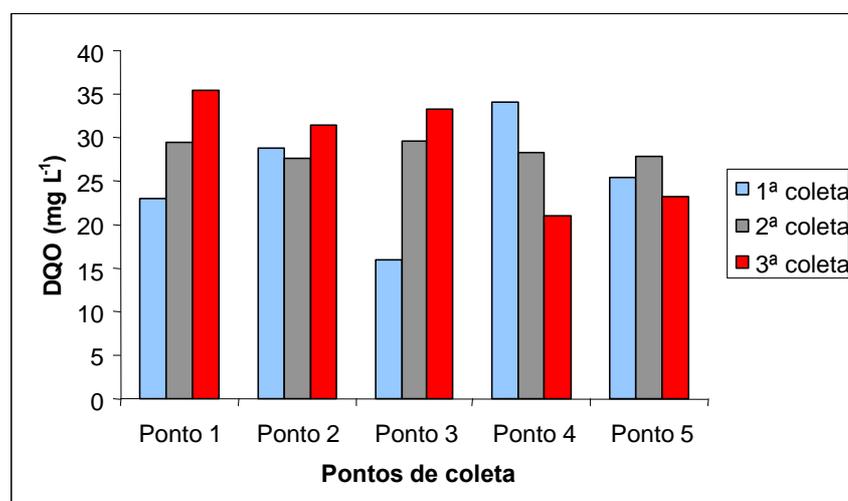
**Quadro 10** - Diferença dos valores de sólidos suspensos totais (SST) dos pontos amostrados pelo Teste t na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008

Ponto de coleta	Valor de SST (mg L <sup>-1</sup> )			Média	Teste t
	1 <sup>a</sup> coleta	2 <sup>a</sup> coleta	1 <sup>a</sup> coleta		
1	25,00	29,00	30,00	28,00	a
2	22,53	20,00	24,33	22,29	a
3	22,66	12,66	26,00	20,44	a
4	5,33	9,33	12,66	9,11	b
5	4,00	20,00	10,00	11,33	b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste t ( $P > 0,05$ ).

Com base no carbono orgânico, a demanda bioquímica de oxigênio é a fração biodegradável da matéria orgânica em suspensão ou dissolvida, medida a partir do consumo de oxigênio. Em razão dos valores observados terem sido inferiores a  $5 \text{ mg L}^{-1}$ , a DBO não foi detectada pelo método utilizado. Este parâmetro é muito útil quando utilizado conjuntamente com a demanda química de oxigênio para observar a biodegradabilidade dos despejos e indicativo de alguma contribuição orgânica.

Já a DQO relaciona-se com a oxidação química da matéria orgânica, obtida por meio de um forte oxidante. Alves (2005) observou, durante o período chuvoso, uma DQO entre  $91$  e  $171 \text{ mg L}^{-1}$  em três pontos de coleta e em todos os demais pontos não foi detectada matéria orgânica, tanto biodegradável quanto total. Os valores apresentados na Figura 28 demonstram que o córrego, na ocasião das coletas, tinha valores de material orgânico variando de  $25,4$  a  $29,3 \text{ mg L}^{-1}$ , sendo os resultados estaticamente iguais pelo Teste F a 5% de probabilidade.



**Figura 28** - Gráfico de demanda química de oxigênio da água nos pontos amostrados na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, em Timóteo-MG, 2008.

Os resultados obtidos nas análises microbiológicas não revelaram presença de coliformes fecais ou de *Escherichia coli*, na água das amostras. A Resolução Conama nº 357 de 2005 prevê que não deve ser excedido o limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral para os diversos usos, com exceção para recreação de contato primário. Sendo assim, devem ser realizadas mais coletas para cumprimento das normas, mas, a princípio, a água da bacia encontra-se isenta de contaminação biológica.

## 5 CONCLUSÕES

A floresta secundária e o plantio de eucalipto, situados em Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho Amarelo, respectivamente, revelaram ser os locais que mais contribuem para a infiltração da água.

A floresta, situada em uma via de acesso desativada, tinha menor infiltração em relação aos outros locais, mas sabe-se que à medida que a floresta evolui, o solo tende a adquirir certas características, como melhoria da estrutura, que favorecem uma maior infiltração da água.

Percebe-se uma maior contribuição para a infiltração da água no solo com floresta, ao relacionar a pastagem e a floresta secundária, ambos em Latossolo Amarelo. A floresta contribui por amenizar o impacto direto da gota de chuva, seja via interceptação ou serapilheira, além de deixar o solo com maior porosidade. A camada de matéria orgânica que se encontra depositada sobre o solo florestal desempenha papel fundamental na manutenção das condições ideais para que ocorra o processo de infiltração da água. Desta forma, pressupõe-se que as maiores taxas de infiltração na floresta em relação à pastagem sejam devidas a um uso do solo menos impactante, contribuindo para elevar a entrada de água no solo.

Os equipamentos escolhidos para os estudos hidrológicos demonstraram ser, em geral, bastante práticos e de fácil manuseio na sua utilização. A calha Parshall apresentou problemas com sua manutenção até se tornar inviável a retirada dos sedimentos a fim de realizar cada leitura.

As precipitações concentraram-se em um período restrito do ano, ocorrendo chuvas de elevada intensidade, que não causaram elevados picos no deflúvio da bacia, mas que provavelmente ocasionaram grande arraste de partículas. A água precipitada foi, em sua grande parte, interceptada e/ou infiltrada e não houve escoamento superficial em demasia. Pelo fato de a vazão ter sido aproximadamente constante para todo o período de estiagem, sugere-se que a bacia do Córrego Zerede possua uma boa reserva de água no lençol freático, liberada de uma forma constante pelas cinco nascentes existentes.

Nos meses mais quentes do período estudado, predominou a saída de água da bacia via deflúvio em relação à evapotranspiração. No balanço hídrico total entre maio de 2006 e abril de 2007, predominou um déficit na bacia de 247,7 mm, resultado impulsionado pela menor precipitação anual e pela elevada evapotranspiração. O balanço hídrico negativo reflete a importância de conservar as encostas e matas ciliares, além de utilizar técnicas que permitam uma maior captura de água na bacia hidrográfica.

Das análises da água, pode-se concluir que a água da bacia se encontra nos padrões da Classe 1 da Resolução nº 357 do Conama (2005) nos parâmetros analisados, indicando uma boa qualidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica. O canal de escoamento entre os pontos 1 e 2 interfere de maneira negativa na qualidade da água vinda da sub-bacia B elevando a turbidez e a cor da água. Não foram notadas diferenças significativas na água da sub-bacia A devido às modificações antrópicas, com exceção da condutividade elétrica dos pontos 3 e 4. Uma vez que os resultados obtidos nas análises microbiológicas foram negativos, a água se encontra livre de coliformes termotolerantes, comprovando que não há contaminação por fezes e patógenos intestinais. Ressalva-se a importância de analisar mais amostras em outras épocas do ano para avaliar com maior precisão a qualidade da água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. R. **Caracterização e uso da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, Timóteo-MG**. 2005, 95 f.. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 753-761, 1999.

ANDERSON, M. G.; BURT, T. P. Toward more detailed field monitoring of variable source areas. **Water Resources Research**, v. 14, n. 6, p. 1123-1131, 1978.

ANIDO, N. M. R. **Caracterização hidrológica de uma microbacia experimental visando identificar indicadores de monitoramento ambiental**. 2002, 69 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19. ed. Washington, 1995. s.n.t.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 125-134, 1999.

BARROSO, D. G.; SILVA, M. L. N. Poluição e conservação dos recursos naturais: solo e água. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte. v. 176, n. 16, p. 17-24, 1992.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 2.ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7.ed. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1989. 898 p.

BRAKENSIEK, D. L. Selecting the water year for small agricultural watersheds. **Transactions of the ASAE**, v. 2, p. 5-8, 1959.

BROWN, G. W.; KRYGIER, J. T. Clear-cut logging and sediment production in the Oregon coast range. **Water Resources Research**, v. 7, n. 5, p. 1189-1198, 1971.

CARVALHO, F. T.; VELINI, E. D.; CAVENAGHI, A. L.; NEGRISOLI, E.; CASTRO, R. M. Influência da turbidez da água do rio Tietê na ocorrência de plantas aquáticas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 359-362, 2005.

CASTRO, P. S. **Influência da cobertura florestal na qualidade da água em duas bacias hidrográficas na região de Viçosa, Minas Gerais**. 1980, 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CAVENAGHI, A. L. VELINI, E. D. GALO, M. L. B. T.; CARVALHO, F. T.; NEGRISOLI, E.; TRINDADE, M. L. B.; SIMIONATO, J. L. A. Caracterização da qualidade de água e sedimento relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da bacia do rio Tietê. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, p. 43-52, 2003. (Edição Especial).

CHAVES, H. M. L.; ORLOWSKI, E.; ROLOFF, G. Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 141-147, 1993.

COELHO, R. D.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N. Infiltração da água no solo: parte I - Infiltrômetro de anéis versus infiltrômetro de aspersores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 4, n. 2, p. 137-141, 2000.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA.. Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005. 23 p.

COSTA, E. L.; SILVA, A. M.; COLOMBO, A.; ABREU, A. R. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 131-134, 1999.

DIAS-JÚNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. Revisão de literatura: O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 175-182, 1996.

ERTHAL, V. J. T. **Avaliação da estimativa da evapotranspiração de referência, utilizando o atmômetro modificado, na região de Viçosa-MG**. 1994, 44 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FRAVET, A. M. M. F.; CRUZ, R. L. Qualidade da água utilizada para irrigação de hortaliças na região de Botucatu, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 12. n. 2. p. 144-155, 2007.

FREITAS, M.; CASTRO JÚNIOR, W. E. O ciclo hidrológico: Amazônia-homem-mundo. **T&CAmazônia**, v. 4, n. 9, p. 59-70, 2006.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2.ed. São Paulo: Edgard Bluncher, 1988. 291 p.

GUIMARÃES, J. L. B. **Relação entre a ocupação do solo e o comportamento hidrológico da Bacia Hidrológica do Rio Pequeno - São José dos Pinhais - PR**. 2000, 197 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

HEWLETT, J. D.; HIBBERT, A. R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in the humid areas. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST HYDROLOGY, 1., University Park, 1965. **Proceedings...** New York: Pergamon Press, 1967. p. 275-290.

HIBBERT, A. R. Water yield improvement potential vegetation management on western rangelands. **Water Resources Bulletin**, Minneapolis. v. 19, n. 3, p. 375-381, 1983.

HIGGIT, D. L. Soil erosion and soil problems. **Progress in Physical Geography**, v. 1, n. 15, p. 91-100, 1991.

KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Part 1. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 210-221.

LIEBERMAN, J. A.; FLETCHER, P. W. Further studies of the balanced water cycle on experimental watersheds. **Transactions, American Geophysical Union**, v. 128, p. 421-424, 1947.

LIMA, E. B. N. R. **Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na Bacia do Rio Cuiabá**. 2001. 184 f.. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

LEITE, F. P.; BARROS, N. F.; SANS, L. M. A.; FABRES, A. S. Regime hídrico do solo sob povoamento de eucalipto, floresta nativa e pastagem, na região de Guanhães - MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 455-62, 1997.

MADRUGA, F. V.; REIS, F. A. G. V.; MEDEIROS, G. A.; GIRDANO, L. C. Avaliação da influência do córrego dos Macacos na qualidade da água do rio Mogi Guaçu, no município de Mogi Guaçu, SP. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 2, p. 152-168, 2008.

MARGALEF, R. The place of epicontinental waters in global ecology. In: MARGALEF, R. **Limnology now: a paradigm of planetary problems**. Amsterdam: Elsevier Science, 1994. p. 1-8.

MARQUES, J. SALATI, E.; SANTOS, J. M. Cálculo da evapotranspiração real na Bacia Amazônica através do método aerológico. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 10, n. 2, p. 357-361, 1980.

MILLER, E. L. Sediment yield and storm flow response to clear-cut harvest and site preparation in the Ouachita mountains. **Water resources research**, v. 20, n. 4, p. 471-475, 1984.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 518, de 2004. **Normas e padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano**. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2004.

MOLCHANOV, A. A. **Hidrologia Florestal**. Lisboa: Fund. Calouste Gulbenkian, 1971. 595 p.

MOSCA, A. A. O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando à identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas**. 2003. 96 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

O'LOUGHLIN, C. L.; ROWE, L. K.; PEARCE, A. J. Hydrology of mid-altitude tussock grassland, upper Waipori catchment, Otago; 1- erosion, sediment yields and water quality. **Journal of Hydrology of New Zealand**, v. 23, n. 2, p. 45-59, 1984.

OTTONI FILHO, T. B. Uma classificação físico-hídrica dos solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 211-22, 2003.

PANACHUKI, E.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; CARVALHO, D. F.; URCHEI, M. A. Avaliação da infiltração de água no solo, em sistema de integração agricultura-pecuária, com uso de infiltrômetro de aspersão portátil. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 28, n. 1, p. 129-137, 2006.

PETERS, N. E.; MEYBECK, M. Water quality degradation effects on freshwater availability: impacts to human activities. **Water International**, Urbana, v. 25, n. 2, p. 214-21, 2000.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M. **Práticas mecânicas de conservação do solo e da água**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 216 p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 240 p.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; SANTOS, W. L.; RODRIGUES, L. N.; ANTUNES, V. L. Infiltração da água no solo. Viçosa - MG: **Engenharia na Agricultura**, 1997. 26 p.

RANZINI, M.; LIMA, W. P. Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus*, no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 61, p.144-159, 2002.

RIZZI, N. E. **Influência da floresta no regime hídrico**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1982. 46 p.

RUSSEL, R. S. **Plant root systems: their function and interactions with the soil**. New York: McGraw-Hill, 298 p. 1979.

RUTKOWSKI, E. A. **Desenhando a bacia ambiental: subsídios para o planejamento das águas doces metropolitanizadas**. 1999. 158 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SABARA, M.G. **Comparação ecológica entre rios de menor ordem, drenando bacias cobertas por plantios agrícolas, pastagens e plantios de *Eucalyptus grandis*, na região do médio Rio Doce (MG)**. 1999. 259 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1999.

SANTOS, G. V.; DIAS, H. C. T.; SILVA, A. P. S.; MACEDO, M. N. C. Análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do córrego Romão dos Reis, Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, 2007.

SALES, L. E. O.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S.; CURI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2091-2095, nov. 1999.

SÉ, J. **O Monjolinho e sua bacia hidrográfica como integradores de sistemas ecológicos: um conjunto de informações para o início de um processo de pesquisas ecológicas de educação, planejamento e gerenciamento ambientais a longo prazo**. 1992. 378 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

SILVA, L. C.; KATO, E. Avaliação de modelos para a previsão da infiltração de água em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 7, p. 1149-1158, 1998.

SIMÕES, W. L. FIGUEIREDO, V. B.; SILVA, E. L. Uso do cilindro infiltrômetro único em diferentes solos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 359-366, maio/ago. 2005.

SPEIDEL, D. H.; RUEDISILI, L. C.; AGNEW, A. F. **Perspectives on water: uses and abuses**. New York: Oxford University Press, 1988. 388 p.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union**, Washington, v. 38, p. 913-920, 1957.

TAKINO, M.; MAIER, M. H. Variáveis químicas e físicas da água de córregos do município de Ibiúna, SP, 23° 58'S e 47° 17'W. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 24, n. único, p. 37-46, 1997.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia, ciência e aplicação**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; ABRH, 2000. 943 p.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. 2.ed. São Carlos: RIMA, 2003. 247 p.

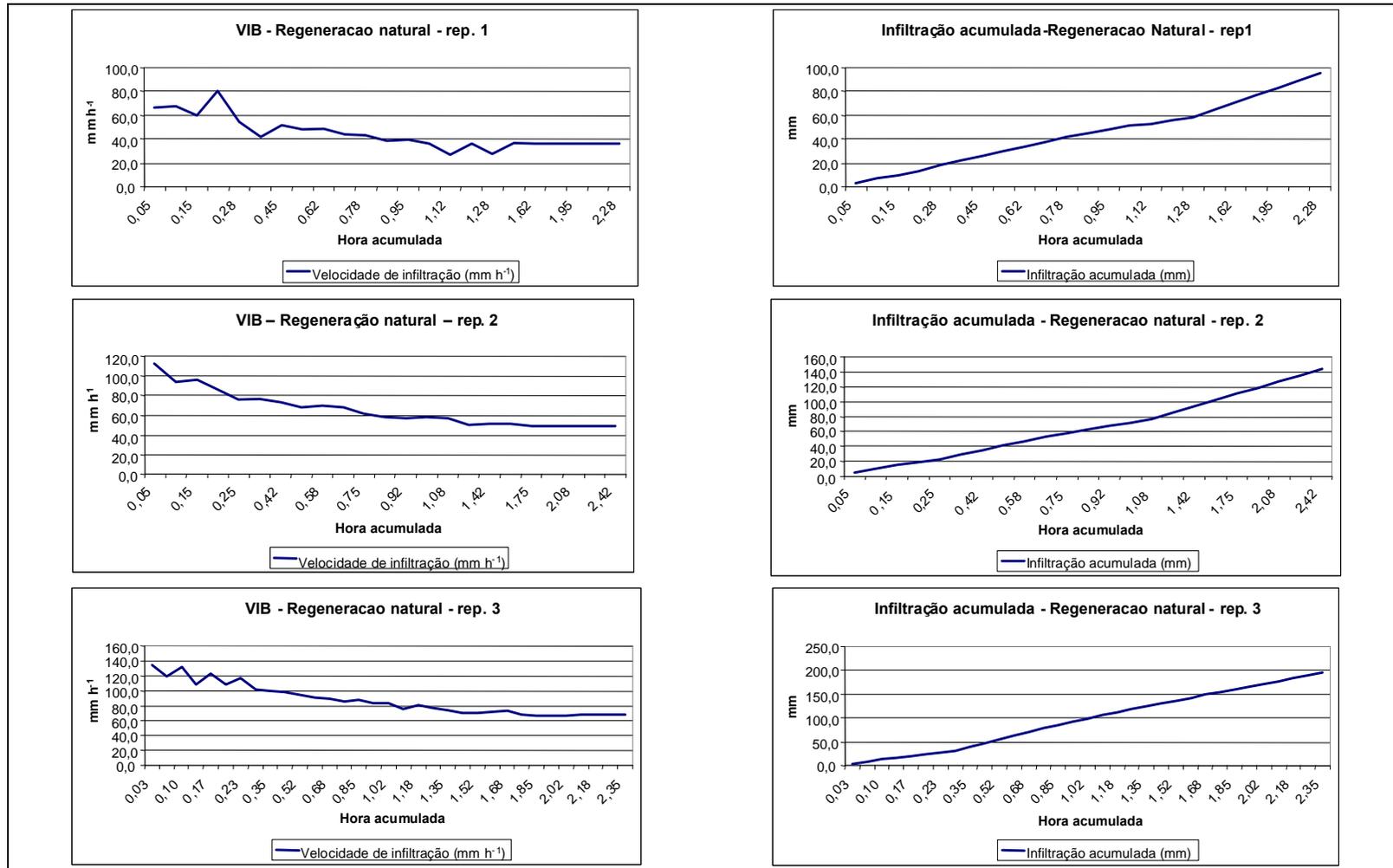
VALENTE, O. F.; CASTRO, P. S. Manejo de bacias hidrográficas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 7, n. 80, p. 40-45, 1987.

VIEIRA, H. A. **Comportamento de quatro infiltrômetros na determinação da velocidade de infiltração básica d'água no solo**. 1977, 52 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

WHIPKEY, R. Z. Storm runoff from forested catchments by subsurface routes. In: **FLOODS AND THEIR COMPUTATION**, Leningrad, 1967. **Proceedings...** Leningrad: International Association of Scientific Hydrology, 1967. p. 773-779.

ZAKIA, M.J.B. **O balanço hídrico levando-se em conta o sistema solo-planta-atmosfera de quatro tipos de coberturas vegetais na região de Grão Mogol, MG**. 1987. 136 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1987.

## **APÊNDICE**



**Figura 1A** - Gráficos da taxa de infiltração e infiltração acumulada da Regeneração Natural na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, Timóteo-MG.

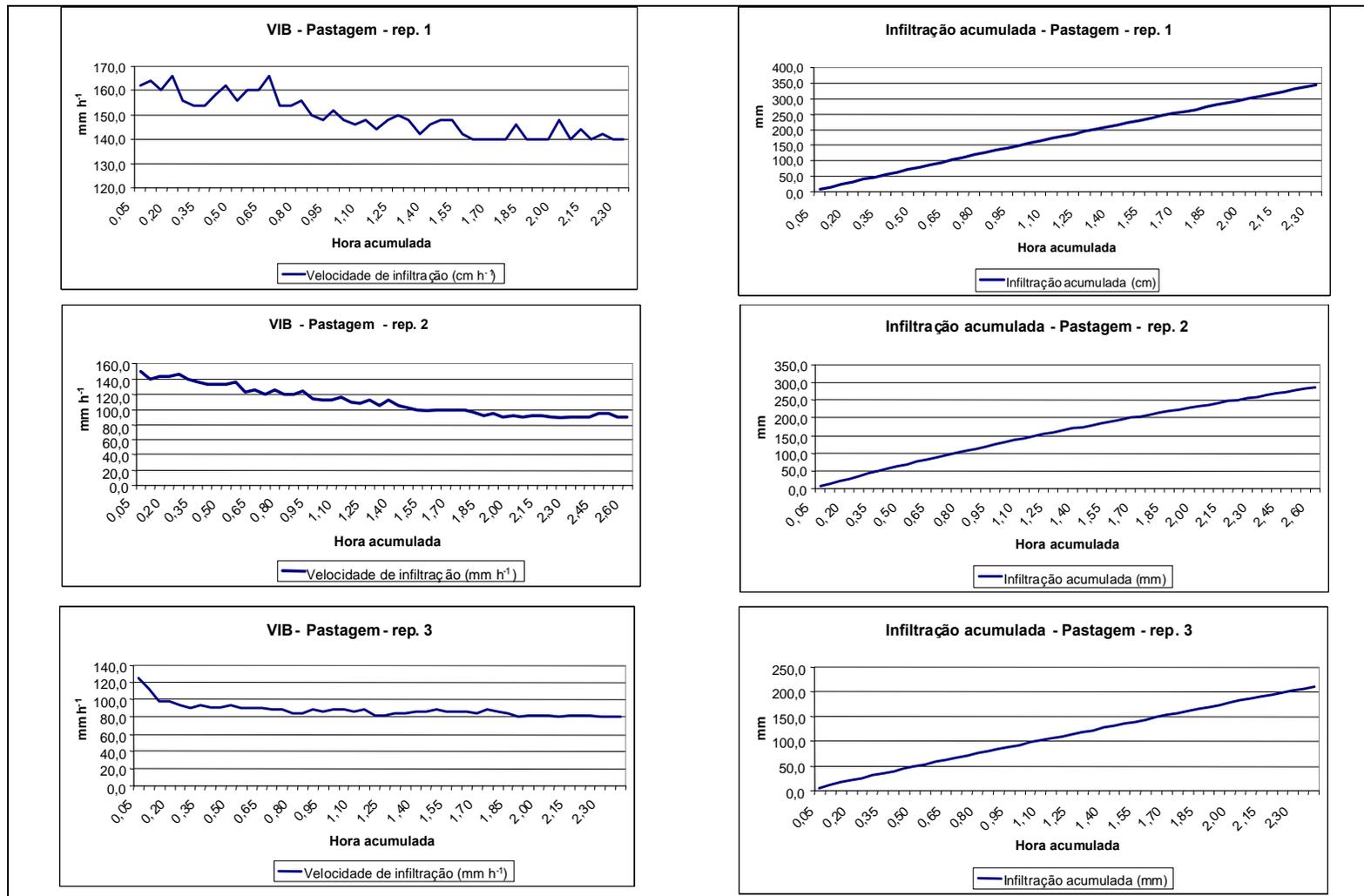
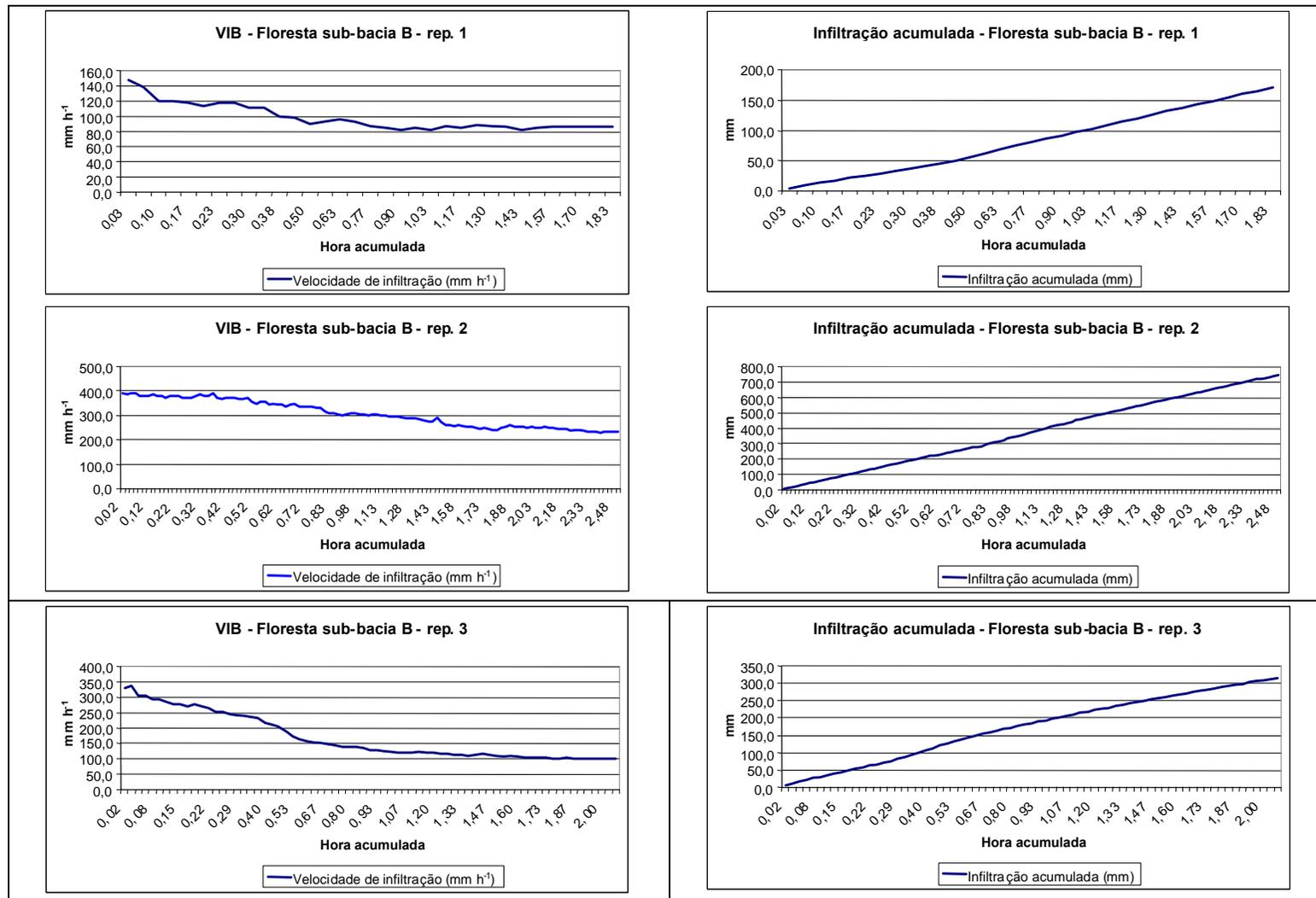


Figura 2A - Gráficos da taxa de infiltração e infiltração acumulada da Pastagem na Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, Timóteo-MG.



**Figura 3A** - Gráficos da taxa de infiltração e infiltração acumulada da Floresta na sub-bacia B da Bacia Hidrográfica do córrego Zerede, Timóteo-MG.

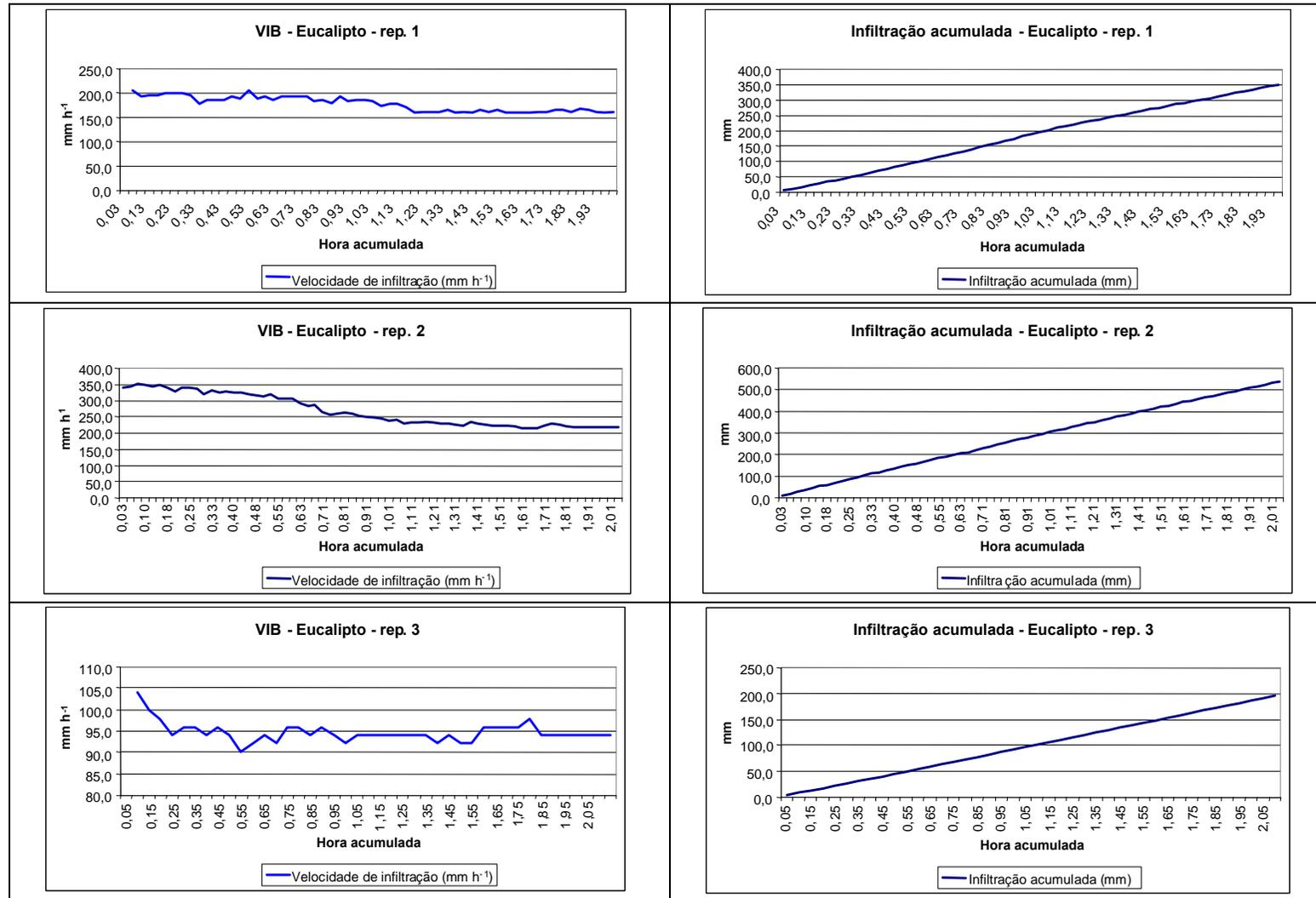


Figura 4A - Gráficos da taxa de infiltração e infiltração acumulada no plantio de eucalypto na Bacia Hidrográfica do córrego Zerede, Timóteo-MG.

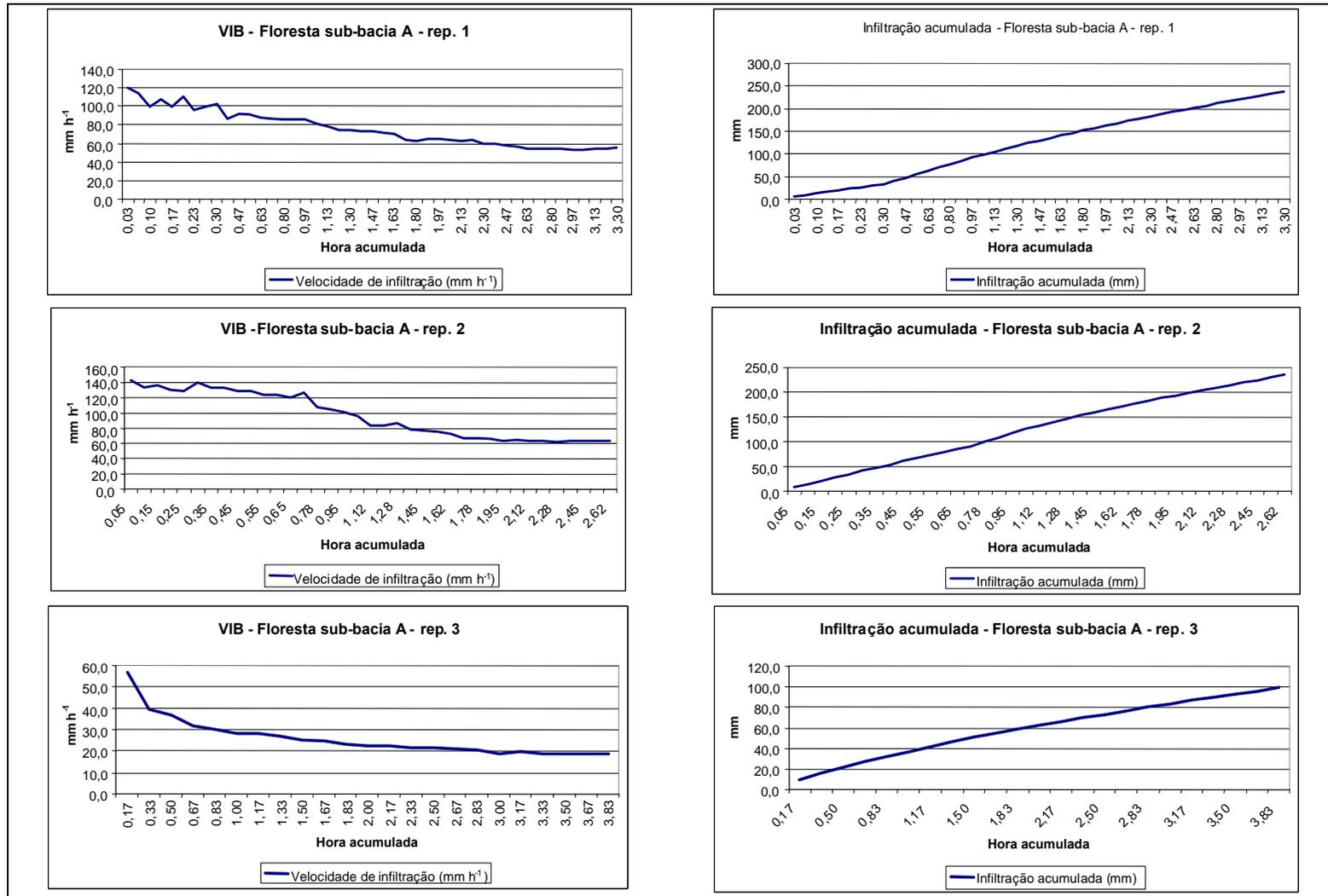


Figura 5A - Gráficos da taxa de infiltração e infiltração acumulada da floresta na sub-bacia A da Bacia Hidrográfica do Córrego Zerede, Timóteo-MG.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)