

VANESSA PATARO MAFFIA

**MONITORAMENTO HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO CÓRREGO ÁGUIDA, FRANCISCO DUMONT, 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  
2011

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M187m  
2011

Maffia, Vanessa Pataro, 1981-  
Monitoramento hidrológico da Bacia Hidrográfica do  
Córrego Águia, Francisco Dumont, MG / Vanessa Pataro  
Maffia. – Viçosa, MG, 2011.  
xii, 82f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f. 77-82.

1. Hidrologia florestal. 2. Bacias hidrográficas. 3. Água -  
Qualidade - Análise. 4. Balanço hidrográfico. 5. Eucalipto.  
6. Solo - Uso. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.9116

VANESSA PATARO MAFFIA

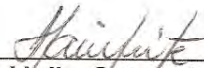
**MONITORAMENTO HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO CÓRREGO ÁGUIDA, FRANCISCO DUMONT, MG**

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: 10 de dezembro de 2010.



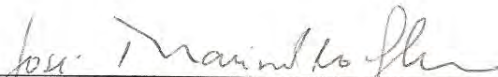
Prof. Haroldo Nogueira de Paiva  
(Coorientador)



Prof. Helio Garcia Leite  
(Coorientador)



Prof.<sup>a</sup> Kelly Cristina Tonello



Prof. José Marinaldo Gleriani



Prof. Herly Carlos Teixeira Dias  
(Orientador)

*Anda  
Quero te dizer nenhum segredo  
Falo nesse chão, da nossa casa  
Bem que tá na hora de arrumar...  
Tempo!  
Quero viver mais duzentos anos  
Quero não ferir meu semelhante  
Nem por isso quero me ferir  
Vamos precisar de todo mundo  
Prá banir do mundo a opressão  
Para construir a vida nova  
Vamos precisar de muito amor  
A felicidade mora ao lado  
E quem não é tolo pode ver...  
A paz na Terra,  
O pé na terra  
Terra!  
És o mais bonito dos planetas  
Tão te maltratando por dinheiro  
Tu que és a nave nossa irmã  
Canta!  
Leva tua vida em harmonia  
E nos alimenta com seus frutos  
Tu que és do homem, a maçã...  
Vamos precisar de todo mundo  
Um mais um é sempre mais que dois  
Prá melhor juntar as nossas forças  
É só repartir melhor o pão  
Recriar o paraíso agora  
Para merecer quem vem depois.*

**Beto Guedes**

*Tudo é uma questão de manter,  
A mente quieta,  
A espinha ereta,  
E o coração tranquilo.*

**Walter Franco**

***Aos meus avós (in memoriam).***

***Aos meus queridos pais, Eduardo e Cristina.***

***Ao meu irmão, Rodrigo.***

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter me dado vida, saúde e força para estar aqui hoje.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade de participar do Programa de Pós-Graduação, em nível de mestrado, em Ciência Florestal.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro durante o desenvolvimento da pesquisa

À empresa Scflor, pela oportunidade de realizar este trabalho e todo incentivo ao longo destes três anos de trabalho.

Ao professor Herly, pela oportunidade, pela confiança, pelo incentivo e pela amizade.

Aos coorientadores, professores Helio e Kelly, que prestaram grande apoio e ajudaram no momento mais difícil.

Aos professores do DEF, por todo ensinamento.

Aos funcionários do DEF, Ritinha, Chiquinho, Noêmia, Jamile, Cida, Merrim, por toda ajuda e amizade durante todos esses anos.

A todos os estagiários do Laboratório de Hidrologia Florestal, ao Paulo, companheiro de campo e das longas viagens; ao Francisco Dumont, à Camila Baiana, à Cris, à Breda, ao Tom, à Aninha, ao Otávio e ao Alexandre, pela amizade e pela troca de experiências.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação, que sempre deram apoio nos momentos difíceis, na hora do estudo, infinitos trabalhos, muito obrigada.

Aos meus pais, Eduardo e Cristina, por toda dedicação, pela educação, pelo apoio, pela confiança, pela amizade e pelo amor. Agradeço por tudo...  
AMO VOCÊS!

Ao meu irmão, Rodrigo, pelo amor, pelo companheirismo e pela amizade.

Às tias e aos primos, que sempre me incentivaram; às tias Lena, Uva, Lúcia e Ana, sempre presentes, ajudando e apoiando em todos os momentos.

À Aurora, por ajudar no trabalho e aguentar toda a turma nas festas.

À família de Francisco Dumont, ao Paulo Boy, à Dona Socorro, à Mara, ao Seu Luis, à Dona Cida, à Deise, à Linete, à Lú e ao Renatinho, agradeço pelo carinho, pela atenção, pela receptividade e por proporcionar grandes momentos, que serão inesquecíveis.

Aos amigos de longa data sempre presentes, ao Tchutchu, Marcelo, Chey, Nana, Gabi, Camila, Cláudio, Deive, Adelita, Cassandra, Jú Marota. Agradeço pela amizade de todos vocês (a todos os grandes amigos, não dá para citar todos).

A todos que, de alguma forma, me apoiaram

Muito Obrigada!

## BIOGRAFIA

VANESSA PATARO MAFFIA, filha de Eduardo Marcio Maffia e Maria Cristina Pataro Maffia, nasceu em 29 de dezembro de 1981, em Viçosa, Minas Gerais.

Em janeiro de 2008, graduou-se na Universidade Federal de Viçosa no curso de Engenharia Florestal.

Em 2009, iniciou o programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, na área de Meio Ambiente e subárea Hidrologia Florestal e Manejo de Bacias Hidrográficas, pela Universidade Federal de Viçosa, concluindo os requisitos indispensáveis para obtenção do título de *Magister Scientiae* em fevereiro de 2011.



## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	xi
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Objetivos .....	3
1.1.1 Objetivo geral .....	3
1.1.2 Objetivos específicos .....	3
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1 Funções ambientais das florestas naturais .....	4
2.2 O eucalipto e a sustentabilidade .....	6
2.3 Influência da cobertura florestal no ciclo hidrológico .....	7
2.3.1 Ciclo hidrológico .....	8
2.3.2 Precipitação .....	9
2.3.3 Evapotranspiração .....	10
2.3.4 Infiltração .....	11
2.3.5 Escoamento superficial .....	12
2.4 Bacias hidrográficas como unidade de planejamento .....	14
2.4.1 Características fisiográficas de interesse hidrológico .....	16
2.5 Qualidade da água .....	17

	<b>Página</b>
3 METODOLOGIA .....	20
3.1 Caracterização da área .....	20
3.2 Parâmetros morfométricos .....	23
3.3 Precipitação .....	28
3.4 Vazão .....	30
3.5 Infiltração, resistência mecânica e umidade do solo .....	33
3.5.1 Infiltração .....	35
3.5.2 Resistência mecânica do solo .....	38
3.5.3 Teor de umidade do solo .....	39
3.6 Qualidade da água .....	40
3.6.1 Parâmetros físicos .....	40
3.6.2 Parâmetros químicos .....	41
3.7 Análise estatística .....	41
3.8 Balanço hídrico .....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
4.1 Morfometria .....	43
4.2 Precipitação .....	49
4.3 Vazão .....	52
4.4 Infiltração, umidade e resistência mecânica do solo .....	56
4.4.1 Avaliação da capacidade de infiltração de água no solo .....	56
4.4.2 Avaliação do teor de umidade do solo .....	60
4.4.3 Avaliação da resistência mecânica do solo .....	63
4.5 Parâmetros físico-químicos da água .....	65
4.5.1 Análise média dos dados mensais .....	65
4.5.2 Análise temporal dos dados mensais .....	69
4.5.3 Enquadramento do corpo d'água .....	72
4.6 Balanço hídrico .....	74
5 CONCLUSÃO .....	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77

## RESUMO

MAFFIA, Vanessa Pataro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2011. **Monitoramento hidrológico da bacia hidrográfica do córrego Águia, Francisco Dumont, MG.** Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias. Coorientadores: Haroldo Nogueira de Paiva e Helio Garcia Leite.

A importância econômica dos reflorestamentos com eucalipto para o país é inquestionável, sendo diversos os produtos fornecidos pelas florestas. Porém, os plantios de eucalipto ainda geram debates sobre os possíveis danos ao meio ambiente, especialmente aqueles relacionados ao consumo de água e esgotamento de nutrientes do solo. Este trabalho teve por objetivo monitorar a qualidade e quantidade de água de uma bacia reflorestada com eucalipto, no município de Francisco Dumont, norte do Estado de Minas Gerais. A bacia em estudo situa-se na Serra do Cabral, que reserva importantes riquezas naturais, com extensos campos emoldurados por elevações rochosas, veredas, cerrados e florestas e várias cachoeiras nas encostas da serra. O trabalho consistiu em obter os parâmetros morfométricos da bacia, como área de drenagem, perímetro, fator de forma, coeficiente de compacidade, dentre outros; e monitorar as precipitações e vazões, desde o início dos plantios na área. Para o monitoramento hidrológico foram instalados medidores de chuva e realizadas medições de vazão mensalmente. Em 2009, iniciou-se a coleta de água para monitoramento da qualidade, do pH, da turbidez, da condutividade elétrica e do oxigênio dissolvido. Em um segundo momento, foram realizados testes de infiltração de

água, umidade e resistência mecânica do solo, nos diferentes usos da área em estudo. A bacia possui forma alongada, com baixa densidade de drenagem e declividade média de 3,38%. Observou-se que os plantios não estão interferindo na vazão dos rios, mesmo tendo havido uma diminuição da precipitação ao longo dos anos do período de estudo. As atividades silviculturais praticadas nos povoamentos não prejudicaram e nem impactaram o solo. Em relação à qualidade da água, de acordo com os parâmetros avaliados, a água não possui padrão para consumo, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005.

## ABSTRACT

MAFFIA, Vanessa Pataro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March of 2011. **Hydrological monitoring in a watershed reforested with eucalyptus in northern of Minas Gerais State.** Adviser: Herly Carlos Teixeira Dias. Co-advisers: Kelly Cristina Tonello and Helio Garcia Leite.

The economic importance of eucalyptus reforestation is unquestionable for the country, several products are provided, but the eucalyptus plantations has lead to debates about the possible damage to the environment, especially those related to water consumption and depletion of soil nutrients. This study aimed to monitor the quality and quantity of water from watershed reforestation with eucalyptus, district of Francisco Dumont, State of Minas Gerais. The study watershed is located into Serra do Cabral, which holds important natural resources with vast fields framed by rocky hills, trails, forests, savannahs, and numerous waterfalls. This work aimed to obtain the morphometric parameters for the watershed drainage area, perimeter, shape factor, compactness coefficient among others and monitor the flow and rainfall since the beginning of the area plantations. For hydrological monitoring, rain gauges were installed into watershed and flow measurements were carried out monthly since September 2007. At 2009 started the monitoring of water quality, parameters such as pH, turbidity, conductivity and dissolved oxygen were measured monthly. In the second stage tests were conducted of water infiltration, moisture and mechanical strength of the soil in different land uses in the study area.

Regarding morphology, the basin has elongated shape, with low drainage density and slope of 3.38%. It was noted that the plantings are not influencing the flow of rivers, while there were a decrease in rainfall in recent years in the region. The silvicultural activities practiced in the stands not damaged or impacted the ground. The water consumed by the population does not fit in Class 1, according to CONAMA n<sup>o</sup> 357/2005.

# 1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a existência dos seres vivos e constitui fator imprescindível para o desenvolvimento econômico, para a saúde e o bem-estar dos seres humanos. A importância da água, no contexto geopolítico, faz dela um elemento de pesquisas, no intuito de conservar a sua qualidade e melhorar as condições de uso e seu aproveitamento em diferentes ecossistemas.

O conhecimento da influência da floresta sobre a água no solo é de grande importância, para que sejam adotadas técnicas adequadas de manejo. Sabe-se que o solo florestal apresenta boas condições de infiltração e que as áreas florestadas são importantes fontes de abastecimento de aquíferos. Para que se possam compreender os efeitos da floresta sobre a produção de água, é fundamental o entendimento do funcionamento de todos os processos do ciclo hidrológico.

O ciclo hidrológico é um processo cíclico que não tem início nem fim, porém é frequente iniciar-se os estudos pela evaporação das águas dos oceanos e da superfície continental. Essa evaporação irá formar uma umidade que precipitará sobre os oceanos e continentes. A água precipitada nos continentes pode seguir dois caminhos, onde uma parte é interceptada pela floresta e a outra chega diretamente na superfície do solo. Esta água, que chega à superfície, poderá escoar pelo terreno ou infiltrar-se no solo, envolvendo outros processos complexos, como evaporação, precipitação,

interceptação, transpiração, infiltração, percolação e escoamento superficial (BUCHIANERI, 2004).

As alterações na paisagem, ocasionadas pelas atividades do homem, em uma bacia hidrográfica, interferem diretamente nas propriedades do solo e da água. Desta forma, pode-se dizer que a cobertura vegetal, somada às práticas de manejo utilizadas, interfere em todos os processos que envolvem o ciclo hidrológico.

De acordo com Tonello (2005), bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da chuva, drenada por canais, tributários e ravinas, até um curso d'água principal, tendo a vazão uma saída única que deságua em um curso d'água maior (lago ou oceano).

Os estudos envolvendo bacias hidrográficas têm se intensificado cada vez mais, pelo fato de a bacia ser uma unidade ecossistêmica de planejamento com condições de integrar os seguintes valores ecológicos: proteção dos recursos hídricos, em qualidade e quantidade, manutenção do potencial produtivo ou da capacidade de suporte do solo, manutenção da biodiversidade, principalmente em áreas hidrologicamente mais dinâmicas e vulneráveis.

Embora o Brasil possua cerca de 5,5 milhões de hectares de plantações de eucaliptos (BRACELPA, 2008), esse gênero ainda gera grandes debates e questionamentos sobre os possíveis danos ao meio ambiente, especialmente aqueles relacionados ao consumo de água e esgotamento de nutrientes do solo.

Hoje, pode-se dizer que o eucalipto é uma necessidade, pois o desenvolvimento mundial está atrelado ao uso das florestas como fonte de energia e suprimento de madeira. Esta necessidade foi, durante muitos anos, suprida quase que exclusivamente por meio de florestas inequiâneas, o que provocou grandes destruições ao habitat natural, gerando danos aos ecossistemas. O plantio de eucalipto é uma solução para diminuir a pressão sobre as florestas inequiâneas, viabilizando a produção de madeira para atender as necessidades da sociedade.

Lima (2006) relata alguns trabalhos conduzidos por Hibbert (1967), Swank e Miller (1968) e Vertessy *et al.* (2001), sobre a influência das florestas equiâneas na quantidade de água de microbacias. Esses trabalhos denotam que o deflúvio da bacia diminui com o plantio e o crescimento da floresta e aumenta após seu corte raso, o que ocorre também quando se refloresta uma



microbacia anteriormente coberta com pastagem. Porém, este possível impacto das florestas sobre a quantidade das águas será mais ou menos severo, dependendo das condições hidrológicas regionais e da disponibilidade de água, em termos de balanço hídrico. De acordo com Cossalter e Pye Smith (2003), quando os plantios são estabelecidos, haverá inevitavelmente um impacto no ciclo hidrológico, sendo que a intensidade do impacto dependerá do tipo de uso e do manejo do solo anteriormente às plantações. Com o devido tempo, os plantios de eucalipto irão promover um controle dos processos de escoamento superficial, de erosão e ciclagem de nutrientes, contribuindo para melhoria da qualidade e da quantidade de água produzida na microbacia. Por isso, o monitoramento hidrológico de uma bacia hidrográfica é uma importante ferramenta no controle dos impactos ambientais e do manejo sustentável dos recursos naturais.

## **1.1 Objetivos**

### *1.1.1 Objetivo geral*

Analisar os parâmetros de qualidade e quantidade das águas da bacia do córrego Águida, visando detectar possíveis impactos do reflorestamento de eucalipto nos recursos hídricos locais, por meio de um programa permanente de monitoramento hidrológico.

### *1.1.2 Objetivos específicos*

- Caracterizar os parâmetros morfométricos da bacia.
- Monitorar todos os eventos de chuva na bacia hidrográfica do córrego Águida.
- Monitorar a vazão mensal do córrego Águida.
- Monitorar a qualidade da água do Córrego Águida.
- Avaliar a capacidade de infiltração, umidade e resistência mecânica do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Funções ambientais das florestas naturais

As florestas são um dos principais componentes naturais que garantem vida sobre a superfície da Terra, exercendo, também, um papel fundamental no equilíbrio ambiental, proporcionando abrigo e segurança para uma vida saudável ao homem (LIMA; ZAKIA, 2006).

Atualmente, a degradação e as modificações do meio ambiente têm sido uma das maiores discussões e vêm causando grande impacto na biodiversidade, no clima e nos seres vivos.

De todas as mudanças ocorridas no mundo atual, a conscientização e a mobilização das pessoas diante dos problemas ambientais do planeta constituem, sem dúvida, uma das mais salutaras conquistas do mundo moderno. Um marco importante que possibilitou o início destas mudanças foi com a reunião da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED) em 1992, no Rio de Janeiro. No que diz respeito aos problemas atuais das florestas e da diversidade biológica, a Agenda 21, da UNCED, define claramente:

“As florestas em todo o mundo estão sendo ameaçadas pela degradação descontrolada e a transformação de usos da terra; influenciada pelo aumento das necessidades humanas; expansão agrícola e má gestão ambiental, incluindo: falta de controle dos incêndios florestais, insustentável exploração de madeira,

sobrepastoreio, poluentes atmosféricos, incentivos econômicos e atividades de outros setores da economia. Os impactos da perda e degradação das florestas são na forma de erosão do solo, perda da diversidade biológica, danos aos habitats silvestres, degradação dos mananciais, deterioração da qualidade de vida e redução das opções para o desenvolvimento” (ISIK *et al.*, 1997).

As florestas em seu estado natural prestam inúmeros serviços ambientais, gerando benefícios à humanidade. Como funções ambientais e de proteção das florestas observam-se:

- proteção dos recursos hídricos: através de sua folhagem, casca e serrapilheira abundante, as florestas diminuem a velocidade de dispersão de água, favorecendo a infiltração de águas pluviais (ISIK *et al.*, 1997);

- proteção do solo: o dossel florestal diminui o impacto do vento e das gotas de chuva sobre o solo. As raízes promovem a estruturação do solo, protegendo-o contra erosões. Com a combinação da dispersão mais lenta da percolação de água de lençóis freáticos e intermediários, a floresta exerce um importante efeito-tampão, que protege contra as inundações e erosões das margens do rio (ISIK *et al.*, 1997);

- influência sobre o clima local e redução dos impactos das emissões de gases: pelo controle da velocidade do vento e dos fluxos de ar, a floresta influencia a circulação do ar atmosférico local, mantendo os sólidos e elementos gasosos suspensos; e funcionam como um filtro de massas de ar. As florestas exercem também um efeito climático, proporcionando temperaturas amenas e causando maior bem-estar à população que vive nestas áreas. Esta capacidade é muito útil para a proteção de zonas habitadas que fazem fronteira com zonas industriais e de silvicultura urbana em geral (ISIK *et al.*, 1997);

- conservação do habitat natural e da diversidade biológica: a floresta oferece um habitat para a flora e a fauna e, dependendo de sua saúde, vitalidade e, finalmente, do modo como ela é gerida ou protegida, garante sua própria perpetuação, por meio da manutenção dos processos ecológicos (ISIK *et al.*, 1997);

- lazer e outras funções sociais das florestas: além de suas funções físicas, biológicas e de proteção, as florestas têm ganhado cada vez mais importantes funções recreativas durante as últimas décadas. Os parques

urbanos e as unidades de conservação têm atraído cada vez mais visitantes, proporcionado bem-estar e recreação para a população (ISIK *et al.*, 1997).

Estas funções somente serão possíveis de serem prestadas pelas florestas se houver preservação e práticas de manejo adequadas, visando à sustentabilidade. De acordo com os preceitos da Agenda 21, fica claro que não há mais lugar para empreendimentos florestais que não estejam fundamentados na sustentabilidade.

## **2.2 O eucalipto e a sustentabilidade**

As plantações de espécie exótica vêm crescendo a cada dia e preocupando alguns setores da sociedade. Estes seguimentos acreditam que essas espécies prejudicam a bacia hidrográfica e degradam a paisagem como um todo, principalmente no que tange às características hidrológicas originais. Entretanto, esta questão deve ser alvo de intensas pesquisas, no intuito de solucionar este problema.

O efeito visível do consumo de água é comum em qualquer tipo de plantação, seja florestal ou não, em níveis variados, dependendo da espécie plantada. Mesmo as florestas nativas consomem água dos mananciais e do solo; contudo, esta questão persiste sobre o eucalipto, visto que esta espécie causa muita polêmica no meio social (OLERIANO; DIAS, 2007).

Os ecossistemas florestais desempenham inúmeras funções, como mitigação do clima (temperatura e umidade), minimização do pico do hidrograma (redução de enchentes e recarga para os rios), controle de erosão, atenuação da poluição atmosférica, fornecimento do oxigênio (O<sub>2</sub>) e absorção do gás carbônico (CO<sub>2</sub>), prevenção contra ação do vento e dos ruídos, produção de biomassa e fornecimento de energia (KOBAYAMA, 2000).

Porém, sabe-se que áreas cobertas com plantações florestais, além de melhorarem a paisagem como um todo, promovem a redução de erosão do solo, ajudando na potencialização da infiltração da água da chuva, para que esta possa abastecer os lençóis subterrâneos.

Atualmente, com a inserção do conceito de sustentabilidade, não há mais espaço para atividades que comprometam a disponibilidade dos recursos hídricos, tanto no aspecto quantitativo quanto qualitativo.

De acordo com Couto e Dubé (2001), o cultivo do eucalipto é uma alternativa de preservação da natureza, pois, a partir de 1994, as práticas silviculturais sugeriram abolir a queima e o preparo convencional do solo. 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.

As florestas plantadas manejadas adequadamente constituem-se em uma forma apropriada do uso do solo, sendo menos impactantes do que qualquer outra cultura intensiva. Entretanto, precisam estar em harmonia com as prioridades ecológicas e sociais da região (POGGIANI *et al.*, 1998).

A sustentabilidade de uma floresta manejada ou de uma plantação florestal está fundamentada nas seguintes premissas básicas: manutenção e até aumento da produção de madeira, perpetuidade do equilíbrio dinâmico entre a entrada e saída de energia e nutrientes, assim como conservação da capacidade de regeneração do ecossistema (POGGIANI *et al.*, 1998).

### **2.3 Influência da cobertura florestal no ciclo hidrológico**

As alterações na estrutura da paisagem, ocasionadas pelas atividades do homem em uma bacia hidrográfica, irão interferir diretamente nas propriedades do solo, que, por sua vez, irá refletir nas propriedades das águas em qualidade e quantidade. Desta forma, pode-se dizer que a presença ou ausência da vegetação, as práticas de manejo utilizadas e os diferentes usos do solo, interferem nas características das águas que, nesse sentido, irá interferir em todo ciclo hidrológico.

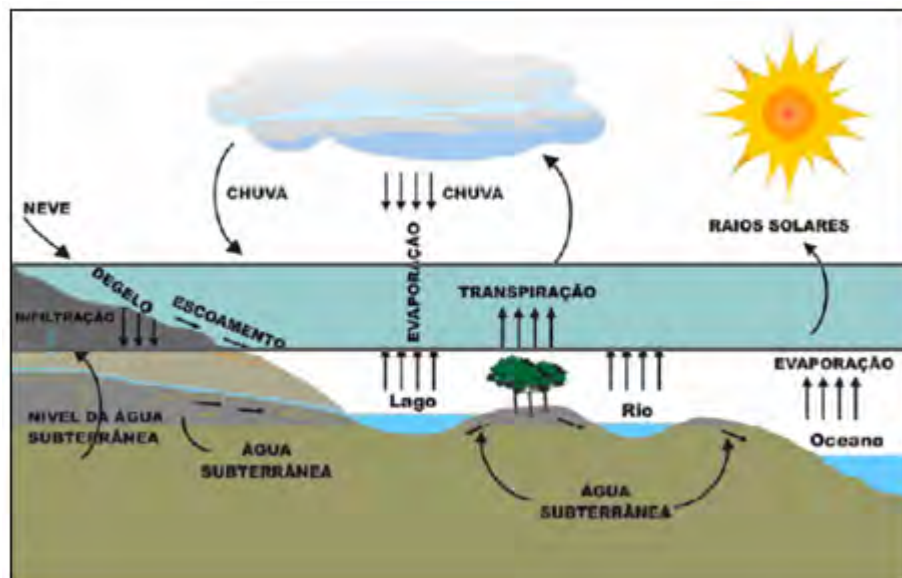
Para se atingir um nível desejável de preservação destes recursos naturais, faz-se necessário o desenvolvimento de pesquisas voltadas para análise e monitoramento de todos os componentes do ciclo hidrológico e sua relação com os fatores que irão influenciar a dinâmica da bacia, bem como a manutenção destas, por meio de processos de interceptação pluviométrica, precipitação interna, escoamento pelo tronco e fluxo de água no solo (BALBINOT *et al.*, 2008).

A presença do piso florestal protege a superfície do solo dos impactos das gotas de chuva, dos efeitos de radiação solar e do vento e diminui a evaporação de sua superfície.

### 2.3.1 Ciclo hidrológico

A quantidade de água existente na Terra é praticamente constante e está distribuída por uma série de domínios ou ambientes, os quais, no seu conjunto, constituem a hidrosfera. Entre esses ambientes as águas circulam constante e continuamente. Esse processo repetitivo que, em médio prazo, se configura estacionário ou constante, é o chamado Ciclo Hidrológico (Figura 1).

As águas dos oceanos e da superfície continental evaporam-se, tornando parte da atmosfera, que formará uma umidade que irá precipitar sobre os oceanos e continentes. A água precipitada nos continentes pode seguir dois caminhos, onde uma parte é interceptada pela floresta/vegetação e a outra parte chega diretamente na superfície do solo. Esta água que chega à superfície do solo poderá escoar pelo terreno ou infiltrar-se no solo de onde pode ser absorvida pelas plantas.



Fonte: adaptado de Buchianeri (2004).

Figura 1 – Ciclo hidrológico.

### 2.3.2 Precipitação

A ciclagem de água na atmosfera é proporcionada pela relação entre sua demanda e seu excesso, denominada diferença de pressão de vapor da atmosfera. A demanda está relacionada às características do ar relativamente seco, do vento e da radiação solar, que, juntos, fazem com que a água evapore dos oceanos, lagos, rios, solos e outras superfícies molhadas, e seja carregada pelo ar. As condições de excesso ocorrem quando o ar está saturado de vapor, cessando o processo de evaporação e permitindo que a água retorne à superfície terrestre por meio da precipitação (REICHARDT, 1990).

O termo precipitação inclui todas as formas de água depositadas na superfície da terra, que sejam provenientes do vapor atmosférico, sendo as mais importantes: neblina, chuva, granizo, geada e neve. Muitas vezes, este termo é usado apenas para se referir à chuva. Ainda, há alguns autores que não consideram a condensação sobre superfícies sólidas ou líquidas sob a forma de orvalho ou geada como uma forma de precipitação (WISLER; BRATER, 1964).

Cada uma das formas de precipitação contribui de maneira distinta para o *input* de água nos solos florestais e, conseqüentemente, possui diferentes participações no ciclo hidrológico. Entretanto, a principal forma pela qual a água retorna da atmosfera para as culturas agrícolas e o solo, nas regiões tropicais e subtropicais, é através da chuva (REICHARDT, 1990). A sua distribuição no tempo e espaço depende do clima, da natureza e da cobertura vegetal, permitindo a circulação da água na atmosfera (MOLCHANOV, 1963). Desta forma, as distintas características das chuvas irão contribuir de diferentes maneiras no contínuo solo-planta-atmosfera.

Para estudos hidrológicos é importante quantificar as precipitações. Para isto, o processo mais utilizado se dá com a instalação de pluviômetros e pluviógrafos dentro dos limites da bacia.

Desta forma, a quantidade de precipitação ( $P$ ) é medida em termos de volume de água ( $V$ ) precipitada por unidade de área ( $A$ ), em que  $P = V/A$ . A unidade de medida de chuva mais utilizada é em milímetros de água de chuva, que se refere ao espalhamento de 1 L de água em uma superfície plana de 1 m<sup>2</sup>, gerando uma lâmina de chuva de 1 mm de altura.

### 2.3.3 Evapotranspiração

A evapotranspiração é a transferência de água na forma de vapor, do sistema solo-planta-atmosfera, que possui grande influência nas alterações do regime hidrológico do solo (MOLCHANOV, 1963; REICHARDT, 1990).

Dentre os componentes do ciclo hidrológico, a evapotranspiração é o processo mais importante, em termos de magnitude. Em estudos na Amazônia Central, obteve-se que 97% da precipitação não é escoada, permanecendo na superfície do solo, e desta quantidade, cerca de 67,6% são evapotranspiradas (BACELLAR, 2009). Desta forma, a vazão anual de uma bacia diminui quanto maior for sua capacidade evapotranspirativa.

Como forma de padronização, considera-se evapotranspiração potencial de referência (ET<sub>o</sub>), a quantidade de água evapotranspirada em unidade de tempo e área, por uma cultura de cobertura do solo, de baixo porte e altura uniforme, sem deficiência de água. A evapotranspiração máxima de uma cultura (ET<sub>m</sub>) é a máxima perda de água que uma cultura sofre, em um determinado estágio de desenvolvimento, quando não há restrição da água no solo (REICHARDT, 1990).

Ainda, segundo este autor, a evapotranspiração real (ET<sub>a</sub>) é aquela que realmente ocorre, em que:

- ET<sub>a</sub> = ET<sub>m</sub>, se houver água disponível no solo e o fluxo de água na planta atender à demanda atmosférica; e
- ET<sub>a</sub> ≤ ET<sub>m</sub>, se houver restrição de água no solo e a demanda atmosférica não for atendida.

Sob pastagem, o solo encontra-se mais propenso à evaporação quando comparado à presença de floresta, que é capaz de conservar maiores umidades ao longo do seu perfil e em maiores profundidades.

A distribuição e quantidade de raízes em uma planta afeta a absorção de água e, conseqüentemente, a transpiração. A transpiração faz parte dos processos fisiológicos das plantas e ocorre na interface folha-atmosfera, principalmente através dos estômatos, permitindo que a água na forma líquida presente no interior da planta seja perdida para a atmosfera na forma de vapor.



### 2.3.4 Infiltração

A infiltração é a passagem da água existente na superfície para o interior do solo, sendo um processo que depende essencialmente do volume de água disponível para infiltrar, das características do solo, como textura e estrutura, das características de sua superfície e das quantidades de água e ar existentes no seu interior (LIMA, 2008).

De acordo com Lima (1996), o conceito de infiltração no ciclo hidrológico foi introduzido por Horton (1945), sendo definida pelo autor, como a “capacidade de infiltração” ( $f_c$ ) como a taxa máxima com que um dado solo, em determinadas condições, pode absorver água.

O estudo da capacidade de infiltração de um solo é importante ao diferenciar o potencial que o solo tem de absorver água pela sua superfície da taxa real de infiltração, que ocorre quando há disponibilidade de água para penetrar no solo. Desta forma, a curva de infiltração da taxa real de um solo somente irá coincidir com a curva da capacidade de infiltração se o aporte superficial de água tiver intensidade superior ou igual à capacidade de infiltração.

Quando a precipitação atinge o solo com intensidade menor que sua capacidade de infiltração, toda a água irá penetrar no solo e sua capacidade de infiltração irá se igualar à intensidade de chuva. Quando a intensidade de chuva for maior que a capacidade de infiltração do solo ocorrerá o escoamento superficial. Quando termina a precipitação e não há mais aporte de água na superfície do solo, a taxa de infiltração real anula-se rapidamente e a capacidade de infiltração volta a crescer, porque o solo continua a perder umidade para as camadas mais profundas, além das perdas por evapotranspiração.

De acordo com Pierce (1967), a taxa de infiltração somente será mantida no seu máximo se houver uma cobertura florestal não explorada. Outros autores como Muschler (2000) e Barbera-Castillo (2001) discutiram sobre o fato da presença de árvores aumentar o aporte de matéria orgânica dos solos, conservando a umidade; aumentando a capacidade de absorção e infiltração de água; reduzindo o risco de erosão; e estimulando a atividade biológica. Desta forma, sob florestas, os solos apresentam significativa porosidade, especialmente macroporosidade. Estes macroporos são caminhos

preferenciais que facilitam a infiltração, percolação e a recarga dos aquíferos (CHENG *et al.*, 2002).

Alguns resultados podem ser demonstrados como na comparação feita por Arend (1942), em que foi realizada uma medição da infiltração em diferentes tratamentos quanto aos diferentes usos do solo (Tabela 1).

Tabela 1 – Infiltração média em parcelas contendo diferentes condições de piso florestal

Tratamento	Infiltração (mm/h)
Piso florestal intacto	59,9
Piso removido mecanicamente	49,3
Piso queimado anualmente	40,1
Pastagem degradada	24,1

Fonte: Arend (1942).

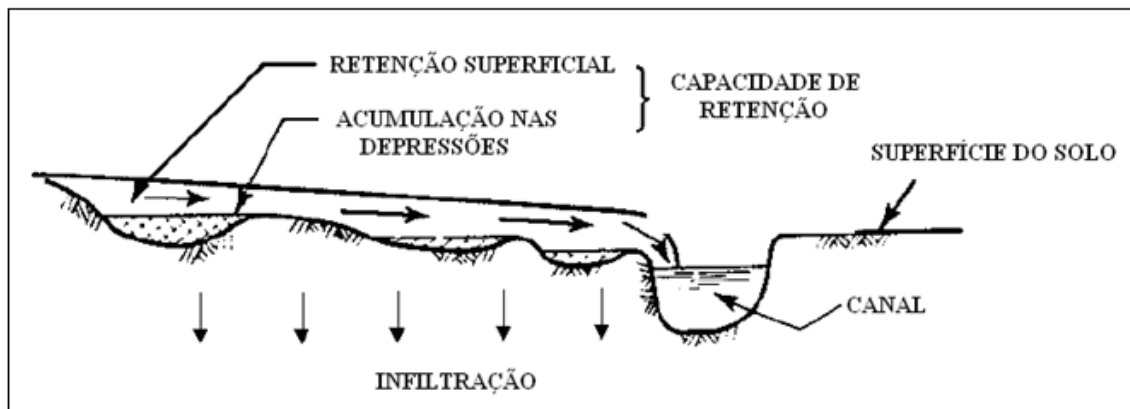
A prática de cultivo agrícola tem sido uma situação preocupante em relação à infiltração, pois a aração ou revolvimento e as práticas adotadas para cultivo alteram as características do solo e, conseqüentemente, a infiltração. As atividades silviculturais relacionadas com o preparo do solo, o corte e a retirada da madeira também causam alteração na infiltração. A preocupação de manutenção de condições ótimas de infiltração durante estas atividades deve estar centrada na manutenção da integridade do piso florestal.

### 2.3.5 *Escoamento superficial*

O escoamento superficial tem origem, principalmente, nas precipitações. Ao chegar ao solo, parte da água se infiltra, parte é retida pelas depressões do terreno e parte escoam pela superfície.

A soma das quantidades de água retidas pelo processo de interceptação (capacidade de retenção) mais a acumulação nas depressões define a “abstração inicial”. Antes que possa ocorrer escoamento superficial, esta abstração inicial deve ser completada. Após este estágio, se a intensidade da chuva exceder a capacidade de infiltração do solo, a diferença será denominada “excesso de chuva”. Este excesso de chuva então é denominado de

escoamento superficial, ou seja, a quantidade de água excedente que escoou sobre a superfície do terreno (Figura 2) (LIMA, 1996).



Fonte: adaptado de Gray *et al.* (1973).

Figura 2 – Escoamento superficial.

Essa água que escoou pode seguir três caminhos para atingir o curso d'água: o escoamento superficial, o escoamento subsuperficial e o escoamento subterrâneo. O deflúvio direto abrange o escoamento superficial e grande parte do subsuperficial.

Para melhor entender o que é o deflúvio, Dnaee, citado por Lima (1996), conceitua-se como sendo o volume de água que passa, em determinado período, pela secção transversal de um rio. Desta forma, o deflúvio define a expressão “produção de água” ou “rendimento de água” de uma bacia hidrográfica.

Assim, pode-se dizer que o deflúvio irá refletir-se em todos os fatores hidrológicos em uma bacia hidrográfica, incluindo, também, as características topográficas, o clima, o solo, a geologia e o uso do solo. De acordo com Fujieda *et al.* (1997),

“o uso do solo, nele incluindo o tipo de vegetação e as atividades antropogênicas, afeta a formação de deflúvio pela sua influência na evapotranspiração, infiltração de água para o interior do solo e percolação da água na bacia. Esse fator, sem dúvida alguma, é dos mais relevantes a ser considerado, pois dependendo das práticas realizadas pelo homem o deflúvio pode ser modificado de maneira prejudicial ou favorável para os usuários da bacia”.

## 2.4 Bacias hidrográficas como unidade de planejamento

Muitas definições envolvendo o termo bacia hidrográfica foram estabelecidas durante um longo período, porém todas essas definições possuem uma relação no que diz respeito ao recorte espacial, com base na área de concentração de determinada rede de drenagem. Os conceitos envolvem as subdivisões da bacia hidrográfica (microbacia e sub-bacia), apresentando diferentes abordagens que vão desde os fatores físicos ao ecológico.

De acordo com Dias (2009), a bacia é a porção natural de terra, geograficamente delimitada por divisores de água, englobando toda a área de drenagem do curso d'água.

Para Lima e Zakia (1996), a bacia hidrográfica é toda área de captação natural da água da chuva, que proporciona escoamento para o canal principal e seus tributários. O limite superior de uma bacia é o divisor de águas, ou seja, o divisor topográfico, e a delimitação inferior é a foz da bacia; isto é, sua confluência. O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características morfológicas, ou seja, área, forma, topografia, geologia, solo, bem como a cobertura florestal.

A respeito dos termos sub-bacia e microbacia, os conceitos não irão apresentar a mesma convergência conceitual. Estes conceitos se diferem, principalmente, nas unidades de medidas utilizadas.

Sendo a sub-bacia uma área de drenagem dos tributários do curso d'água principal, Faustino (1996) conceitua a microbacia como sendo áreas maiores que 100 km<sup>2</sup> e menores que 700 km<sup>2</sup>. Já para Rocha (1997), são áreas entre 20.000 e 30.000 ha (200 a 300 km<sup>2</sup>). Para Santana (2003), bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia.

Tanto as sub-bacias com as microbacias não devem ser caracterizadas em relação à área de drenagem. As sub-bacias são subunidades das bacias hidrográficas, podendo ser de qualquer tamanho; já as microbacias são bacias menores capazes de refletir toda interação dos processos hidrológicos dentro de seus limites.

Walling (2004), em seu conceito de microbacia hidrográfica, sintetizou a base teórica para os estudos de hidrologia em microbacias, definindo-o como uma unidade natural da paisagem, que representa a definição espacial de um ecossistema aberto, onde ocorre uma contínua troca de energia com o meio, fazendo com que a qualidade da água nela produzida seja resultado de diversas características da microbacia, entre as quais se destaca a cobertura vegetal. Esta condição singular permite o estudo da interação entre o uso da terra e a qualidade nela produzida.

O uso do solo tem um impacto sobre o regime hidrológico e a qualidade da água à jusante. A importância deste impacto varia com o tipo de uso da terra, o tamanho da bacia, clima, características do solo, topografia, geologia, etc. (CALDER, 1999). Desta forma, as bacias hidrográficas são ecossistemas capazes de avaliar os impactos causados pelas atividades antrópicas, que podem acarretar danos ao equilíbrio e à manutenção da quantidade e qualidade da água (RANZINI, 2009); ou seja, as bacias são unidades naturais, que possuem características próprias, as quais permitem utilizá-las para testar os efeitos do uso da terra nos ecossistemas (CASTRO *et al.*, 1983).

Seguindo os conceitos mencionados, a bacia hidrográfica vem sendo cada vez mais designada como a principal unidade de planejamento, por ser capaz de preservar os recursos naturais através de um dinâmico solo, água e cobertura vegetal, que ocorre em seu interior. Somando a esse conceito surge o manejo de bacias como um processo capaz de formular um conjunto integrado de ações sobre o meio ambiente, a estrutura social, econômica, institucional e legal, a fim de promover a conservação e a utilização sustentável dos recursos naturais, principalmente os recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável (TONELLO, 2005).

A bacia hidrográfica é considerada um sistema, podendo ser determinada por dois tipos: o sistema fechado, onde são estudados os impactos pontuais nesta bacia, e o sistema aberto, em que existe a manutenção de um equilíbrio dinâmico, onde irá receber energia dos agentes climáticos, permitindo a entrada da água, via precipitação, e a saída, via deflúvio (MAIA; LESJAK, 1997; citados por VALERI *et al.*, 2004).

De acordo com Lima (1996), o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica se apresenta na interação de suas características geomorfológicas,

como forma, relevo (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, etc.) e do tipo da cobertura vegetal existente. Desta forma, estas características físicas e bióticas demonstram um importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração e a quantidade de água produzida, como deflúvio, a evapotranspiração e os escoamentos superficial e subsuperficial (TONELLO, 2005).

#### *2.4.1 Características fisiográficas de interesse hidrológico*

De acordo com Chaves (2002), as características físicas de uma bacia hidrográfica são todos os dados de sua superfície, que podem ser extraídos de forma direta ou indireta (por meio de índices), de mapas e produtos de sensoriamento remoto.

A caracterização do terreno, por meio da geração dos parâmetros morfométricos, é de suma importância para geração da modelagem de processos hidrológicos. Sabe-se da importância da topografia nos processos e fenômenos de superfície que influencia tanto o escoamento superficial e subterrâneo, como também o potencial de erosão e umidade do solo, afetando, assim, suas características físicas e químicas (HUTCHINSON, 1988).

Desta forma, as características morfométricas do relevo e do padrão de drenagem irão refletir nas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio, e expressam uma correlação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre.

Para Chaves (2002), a ordenação de um curso d'água consiste em um método que permite enquadrá-lo em uma sequência numérica dentro de uma rede de drenagem, o que reflete o grau de bifurcação dentro de uma bacia. Algumas características dos rios podem ser inferidas, simplesmente quando se conhece sua ordem. Já os parâmetros de elevação são importantes pela influência que exercem sobre a precipitação, a temperatura, as perdas de água por evaporação e transpiração e, conseqüentemente, sobre o deflúvio médio.

Os parâmetros morfométricos mais comumente utilizados nos estudos de bacia hidrográfica são a área, o perímetro, o fator de forma, o coeficiente de compacidade, o índice de circularidade, o padrão de drenagem, a orientação da bacia, a declividade, a altitude, o comprimento dos cursos d'água, a

densidade de drenagem e a ordem dos cursos d'água. Todos estes parâmetros em conjunto irão contribuir para compreensão e avaliação dos processos que ocorrem dentro dos limites da bacia, como também para realização do manejo e as práticas que serão adotadas.

## 2.5 Qualidade da água

O crescimento demográfico e o desenvolvimento socioeconômico têm alterado a distribuição dos recursos hídricos em qualidade e quantidade, ameaçando a sobrevivência humana e as demais espécies do planeta.

Os diversos componentes que atuam na dinâmica de uma microbacia irão influenciar na qualidade da água, dentre eles estão o clima, a cobertura vegetal, a topografia, a geologia, bem como o uso e o manejo do solo (DONADIO, 2005). Segundo Arcova *et al.* (1998), os vários processos que controlam a qualidade da água de determinado manancial fazem parte de um frágil equilíbrio, motivo pelo qual alterações de ordem física, química ou climática, na bacia hidrográfica, podem modificar a sua qualidade.

Segundo Bollmann *et al.* (2005), na contaminação das águas superficiais os principais poluentes que causam riscos são:

- sólidos em suspensão e dissolvidos que, transportados pelo escoamento superficial rural e urbano, causam turbidez nas águas;
- material orgânico: proveniente de atividades rurais, industriais e urbanas pontuais ou difusas, reduzindo a disponibilidade do oxigênio dissolvido para a biota do meio aquático;
- nutrientes: principalmente nitrogênio e fósforo, promovendo um rápido e intenso crescimento na produção primária dos reservatórios e outros problemas associados;
- metais pesados, poluentes orgânicos e outras substâncias perigosas que acumulam nos sedimentos e na biota do ecossistema; e
- bactérias e vírus potencialmente causadores de doenças.

Desta forma, torna-se de grande importância o manejo adequado das bacias hidrográficas, visto que as atividades praticadas na bacia irão influenciar diretamente a qualidade e a quantidade de água. A cobertura vegetal promove

a proteção contra erosão do solo, sedimentação e a lixiviação de nutrientes. Arcova e Cicco (1998) salientam que nas microbacias de uso agrícola quando comparadas às de uso florestal, o transporte de sedimentos e a perda de nutrientes são maiores. Para Margalef, citado por Donadio *et al.* (2005), os sistemas aquáticos são receptores das descargas resultantes das várias atividades humanas nas bacias hidrográficas.

Diversos parâmetros são utilizados para caracterizar um recurso hídrico, de forma a representar suas características físicas, químicas e biológicas. Esses parâmetros são indicadores da qualidade da água e constituem impurezas quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso. Dentre eles estão a turbidez, o pH, a condutividade elétrica (Ce), o oxigênio dissolvido (OD), os sólidos suspensos, a demanda bioquímica por oxigênio (DBO), a demanda química de oxigênio (DQO), a temperatura e o teor de matéria orgânica.

A resolução do CONAMA nº 357/2005 estabelece a classificação dos corpos d'água, o enquadramento destes e as condições de padrão de lançamentos de efluentes. Considera, ainda, dentre outros argumentos (BRASIL, 2005):

“a água integra as preocupações do desenvolvimento sustentável; tem função ecológica; sua natureza possui valor intrínseco; e a saúde, o bem-estar humano e o equilíbrio ecológico não devem ser afetados pela deterioração da qualidade das águas.”

Para assegurar os serviços prestados pela água, ainda na resolução, os corpos d'água são classificados em águas doces, salobras e salinas, integrando 13 classes de uso conforme sua qualidade. Abaixo são listadas as cinco classes das águas doces:

- Classe especial: destinada ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção, preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas, preservação do equilíbrio natural em unidades de conservação de proteção integral;
- Classe 1: podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, proteção das comunidades aquáticas, a



recreação, a irrigação de hortaliças consumidas cruas e a proteção de comunidades aquáticas em áreas indígenas;

- Classe 2: podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, para proteção das comunidades aquáticas, recreação, irrigação de hortaliças, de frutíferas, de parques e jardins e na aquicultura ou atividade pesqueira;

- Classe 3: podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento avançado, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à pesca amadora, à recreação de contato secundário e à dessedentação de animais; e

- Classe 4: pode ser destinada à navegação e à harmonia paisagística.

O monitoramento da qualidade da água proporciona um amplo campo de participação e divulgação de conhecimentos na sociedade, fornecendo ferramentas para a compreensão do meio ambiente e tomadas de decisões. Estas informações podem ser repassadas ao público para entendimento do ambiente local, além de monitorar as mudanças ambientais provocadas por ações antropogênicas e para efeitos positivos das medidas mitigadoras adotadas na bacia. Permite identificar os locais mais degradados com necessidade de remediação mais urgente e pesquisas mais aprofundadas sobre a presença de contaminantes especiais e fontes de poluição (CANADA, 2006).

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Caracterização da área**

O presente estudo foi realizado em área pertencente à empresa Scflor Empreendimentos Agrícolas Ltda., localizada na fazenda Espírito Santo, município de Francisco Dumont, microrregião de Bocaiúva, na região Centro-Norte do Estado de Minas Gerais, nas coordenadas 17°18'54" S e 44°14'02" O.

A bacia hidrográfica em estudo está inserida na Serra do Cabral, que reserva importantes riquezas naturais com extensos campos emoldurados por elevações rochosas, veredas, cerrados e florestas, e uma infinidade de cachoeiras nas encostas da serra.

O córrego Águia deságua no rio Jequitaiá, que, por sua vez, deságua na margem direita do rio São Francisco, que forma uma das mais importantes bacias hidrográficas do Brasil.

Os solos são geralmente profundos no cerrado baixo e rasos e arenosos no alto da serra, altamente ácidos e extremamente pobres em nutrientes (SILVA, 2005).

O clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical de altitude, com verões quentes e chuvosos e invernos secos (Cwa), com temperaturas médias anuais entre 16,1 e 29,1 °C (mínimas e máximas).

O histórico de ocupação da serra do Cabral, no que diz respeito aos reflorestamentos, iniciou-se na década de 1980, época dos incentivos fiscais. Uma grande área foi reflorestada com plantios de Pinus em toda a serra, inclusive em áreas de preservação permanente (APPs), incluindo construções de fornos de carvão.

A partir de 2007, ano que a empresa SCFLOR adquiriu áreas na região, foram realizadas reformas destas áreas com plantios de eucalipto, delimitação das áreas de preservação permanente, inativação de estradas, retirada dos fornos de carvão irregulares e recuperação de nascentes e veredas (Tabela 2 e Figura 3). A partir de então, após essa readequação ambiental, iniciou-se o monitoramento hidrológico da bacia.

Tabela 2 – Distribuição do uso e ocupação do solo na bacia do córrego Águida no município de Francisco Dumont, MG, 2010

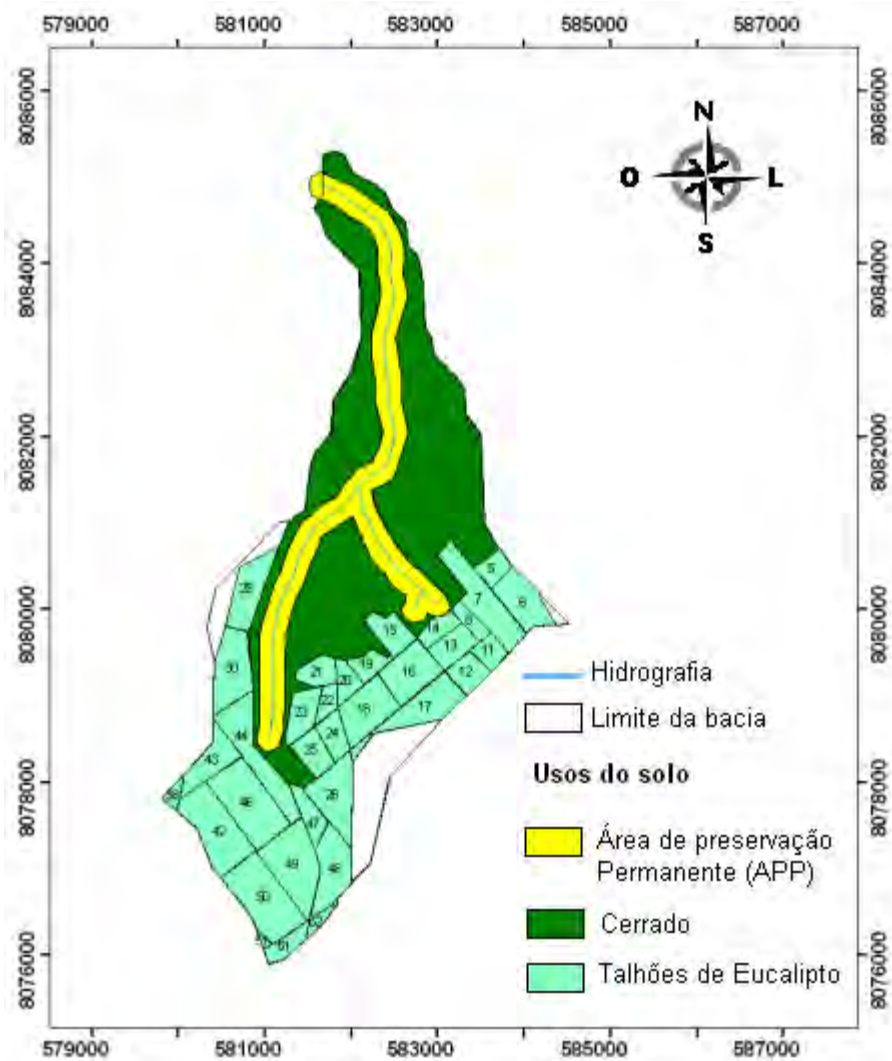
Usos e Ocupação do Solo	Área Total (ha)	Representatividade (%)
Plantios de <i>Eucalyptus</i> sp.	743,60	42,44
Área de preservação permanente (APP)	279,88	15,98
Cerrado	612,93	34,99
Áreas não pertencentes à empresa	115,47	6,59
Área total da bacia	1.751,88	100,00

Os plantios com eucalipto foram iniciados na fazenda Espírito Santo, na qual foi implantada o monitoramento das águas. A fazenda foi dividida em 33 talhões, onde foi implantada a floresta de *Eucalipus* sp., a um espaçamento de 3,5 x 2,6 metros de distância.

Durante os plantios utilizou-se um gel que mantém a umidade do solo. Esse gel é muito utilizado em regiões quentes e terrenos arenosos, pois com ele a muda de eucalipto fica úmida no período mais crítico do desenvolvimento da planta.

Nas áreas de preservação permanente, que compreende todo o trajeto do córrego Águida e seus afluentes, foi delimitada uma faixa de preservação de 150 m para cada margem do rio.

Uma grande área de cerrado, com vegetação menos antropizada, nos locais de maiores declividade da bacia, compreendem as áreas de reserva legal da bacia.



Fonte: base de dados fornecida pela Empresa Scflor.

Figura 3 – Uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do córrego Águia, em Francisco Dumont, MG, 2010.

A Serra do Cabral possui um grande potencial para o turismo ecológico e o município de Francisco Dumont destaca-se neste contexto pela riqueza de sua flora e fauna, abundância de água, com muitas quedas d'água e uma piscina natural no centro da cidade, que é grande atração da população regional (Figura 4). Desta forma, o monitoramento da vazão dos cursos d'água que drenam para a piscina natural sob influência do manejo florestal, tem especial importância para a manutenção do turismo e deste patrimônio natural.

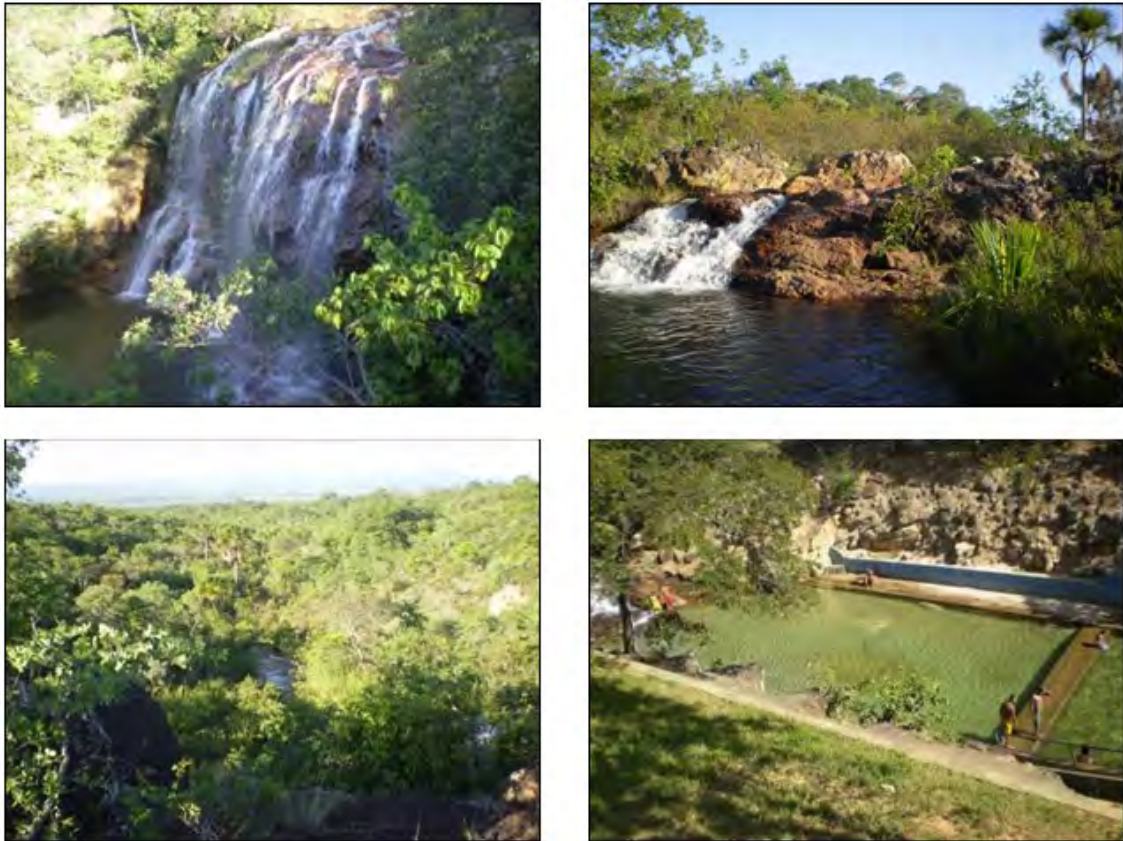


Figura 4 – Potencial turístico do município de Francisco Dumont, MG. Cachoeira do córrego Águia, novembro, 2009.

### 3.2 Parâmetros morfométricos

Para determinação dos parâmetros morfométricos utilizou-se o *software* ArcGIS 9.3, que possui diversas ferramentas aplicadas em estudos hidrológicos os quais possibilitam, de maneira rápida e eficiente, a obtenção de elementos diversos de uma bacia hidrográfica como, por exemplo, parâmetros relativos à drenagem da bacia (rede de drenagem, perímetro, área de contribuição, comprimento da rede de drenagem, dentre outros) e parâmetros relativos ao relevo da bacia (menor altitude, maior altitude, amplitude altimétrica, declividade média, dentre outros).

Para confecção do mapa da bacia e geração dos parâmetros morfométricos, foi utilizada uma base cartográfica na escala de 1:100.000, em formato digital, cedida pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (CODEVASF), contendo curvas de nível e hidrografia

georreferenciada. O mapa foi gerado pela empresa H3M Soluções Ambientais e Gis.

A caracterização morfométrica da bacia foi feita com base na determinação das características indicadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Características morfométricas de bacias hidrográficas

Características Morfométricas	Tipo de Análises
Características geométricas	Área total Perímetro total Coeficiente de compacidade (Kc) Fator de forma (F) Índice de circularidade (IC) Padrão de drenagem
Características do relevo	Orientação Declividade mínima Declividade média Declividade máxima Altitude mínima Altitude média Altitude máxima Declividade média do curso principal
Características da rede de drenagem	Comprimento do curso d'água principal Comprimento total dos cursos d'água Densidade de drenagem (Dd) Ordem dos cursos d'água

Fonte: Tonello (2005).

- **Área de drenagem:** é considerada o elemento mais importante da morfometria de uma bacia hidrográfica. É representada por toda a área drenada do conjunto do sistema fluvial inserido dentro dos limites da bacia. Normalmente, expressa em km<sup>2</sup> ou hectares.

- **Perímetro total (P):** comprimento do contorno da bacia, ou seja, o comprimento de uma linha imaginária sobre os divisores de água da bacia em estudo.

- **Coeficiente de compacidade (Kc):** relaciona a forma da bacia com um círculo. Para indicar a compacidade da bacia o valor do Kc deve ser maior ou igual a um, quanto mais irregular for a bacia maior será o coeficiente de

compacidade. Uma bacia é mais vulnerável a enchentes quando seu  $K_c$  se apresenta mais próximo da unidade.

$$K_c = \frac{0,2821 * P}{A^{0,5}} \quad \text{equação 1}$$

em que  $P$  = perímetro da bacia, em km; e  $A$  = área da bacia em  $\text{km}^2$ .

- **Fator de forma (F)**: as bacias hidrográficas têm uma variedade infinita de formas, sendo que a variação na forma reflete o comportamento hidrológico da bacia. Em uma bacia circular, toda a água escoada tende a alcançar a saída da bacia ao mesmo tempo; já em uma bacia elíptica, tendo a saída da bacia na ponta do maior eixo, o escoamento será mais distribuído no tempo, produzindo, portanto, uma enchente menor.

O fator de forma de uma bacia ( $F$ ) é obtido pela razão entre a área da bacia ( $A$ ) e o quadrado do comprimento ( $L$ ) do eixo, que é obtido pela distância da foz ao ponto mais longínquo da área. Quanto mais próximo de 1, mais circular é a bacia.

Uma bacia com fator de forma alto, tendendo para circular, é mais sujeita a enchentes que outra de mesma área, porém com menor fator de forma. Isso se deve ao fato de que sendo uma bacia circular mais compacta ela receberá precipitações mais homogêneas em sua extensão e com um tempo de concentração menor, ao passo que nas bacias com fator de forma baixo, há menor possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão, sendo, portanto, menos sujeitas a enchentes.

- **Índice de circularidade (IC)**: determina o grau de circularidade de uma bacia, O índice de circularidade tende para unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular.

$$IC = \frac{12,57A}{P^2} \quad \text{equação 2}$$

em que

$A$  = área da bacia em  $\text{km}^2$ ; e

$P$  = perímetro da bacia em km.

- **Orientação do eixo da bacia:** definida como sendo o azimute em graus, para o qual se encontra orientado o seu plano de máxima declividade. A orientação do eixo (L) influencia em algumas características da bacia no hemisfério sul. As bacias com orientação oeste (nascente a leste e fluxo para oeste) e orientação leste (nascente a oeste e fluxo para leste) ficarão mais expostas aos efeitos dos raios solares. Assim, terão maior evapotranspiração, solos com menor teor de umidade e produzirão menos água.

- **Declividade:** a declividade da bacia influenciará principalmente a velocidade de escoamento das águas, ou seja, quanto mais declivosa a bacia, maior a velocidade de escoamento e maior a possibilidade de ocorrer enxurradas, causando erosão, assoreamento de rios, etc.

São diversos os parâmetros de declividade que podem ser calculados. Os parâmetros e os cálculos são representados abaixo:

a) **Amplitude altimétrica (H):**

$$H = e_{\text{máx}} - e_{\text{mín}} \quad \text{equação 3}$$

em que

$e_{\text{máx}}$  = altitude máxima (m); e

$e_{\text{mín}}$  = altitude mínima (m).

b) **Declividade geral da bacia (SB):**

$$SB = \frac{H}{L_e} \quad \text{equação 4}$$

em que

$L_e$  = comprimento da bacia (m); e

H = amplitude altimétrica (m).

c) **Declividade média (S):**

$$S\% = \frac{DL}{A} \times 100 \quad \text{equação 5}$$



em que

D = distância entre as curvas de nível (m);

L = comprimento do canal principal (m); e

A = área da bacia (m<sup>2</sup>).

- **Altitude:** a altitude, por sua vez, influencia principalmente as temperaturas e as chuvas na bacia: quanto mais elevada menor a temperatura e maior a probabilidade de ocorrer maiores chuvas. Esta pode ser medida com a utilização de um GPS, ou por um mapa altimétrico da bacia. Verificam-se as altitudes do terreno, podendo-se então calcular a altitude média a partir de uma média aritmética simples.

- **Densidade de drenagem (Dd):** a densidade de drenagem é obtida pela razão entre o somatório do comprimento de todos os canais e da área da bacia, sendo normalmente expressa em km/km<sup>2</sup>. Este índice está relacionado ao tempo de saída do escoamento superficial da bacia, influenciado pela geologia, pela vegetação, pela topografia e pelo tipo de solo.

Com base no valor da densidade de drenagem as bacias são classificadas, segundo Strahler (1957), em:

- baixa densidade = < 5,0 km/km<sup>2</sup>;

- média densidade = 5,0 – 13,5 km/km<sup>2</sup>;

- alta densidade = 13,5 a 155,5 km/km<sup>2</sup>; e

- muito alta densidade = > 155,5 km/km<sup>2</sup>.

- **Ordem dos cursos d'água:** a metodologia usual para ordenar os canais de uma bacia é o proposto por Strahler (1957), em que os canais primários (nascentes) são designados de 1<sup>a</sup> ordem, a junção de dois canais primários forma um de 2<sup>a</sup> ordem e, assim, sucessivamente. A junção de um canal de uma dada ordem a um canal de ordem superior não altera a sua ordem. A ordem do canal à saída da bacia é também a ordem da bacia (Figura 5).

Para estudos de manejo de bacias utilizam-se bacias pequenas ou microbacias de 1<sup>a</sup> a 4<sup>a</sup> ordem. A menor bacia é a de 1<sup>a</sup> ordem, a junção de duas bacias primárias forma uma de segunda ordem e, assim, sucessivamente, até a formação de uma bacia maior, a bacia de um rio.

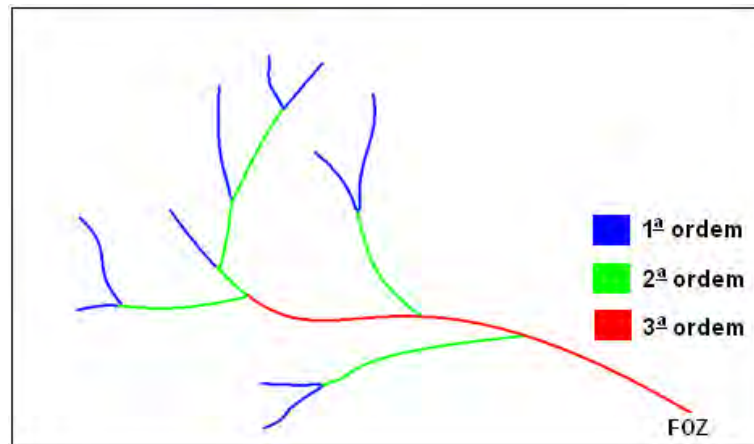


Figura 5 – Ordenamento dos cursos d'água da bacia hidrográfica do córrego Águia.

### 3.3 Precipitação

Para realização das coletas dos dados de precipitação da bacia do córrego Águia foram utilizados seis pluviômetros (Figura 6a) e um pluviógrafo (Figura 6b). Os pluviômetros foram confeccionados manualmente com tubo de PVC, sendo a área de captação de 167 cm<sup>2</sup>, onde todos os eventos de chuva ao longo do período de estudo foram registrados com auxílio de uma proveta graduada. O pluviógrafo utilizado foi o Irriplus, modelo P300, com área de captação de 314 cm<sup>2</sup>, permitindo o armazenamento de todos os eventos de chuva, com a facilidade de estes serem posteriormente transferidos diretamente para computadores portáteis.

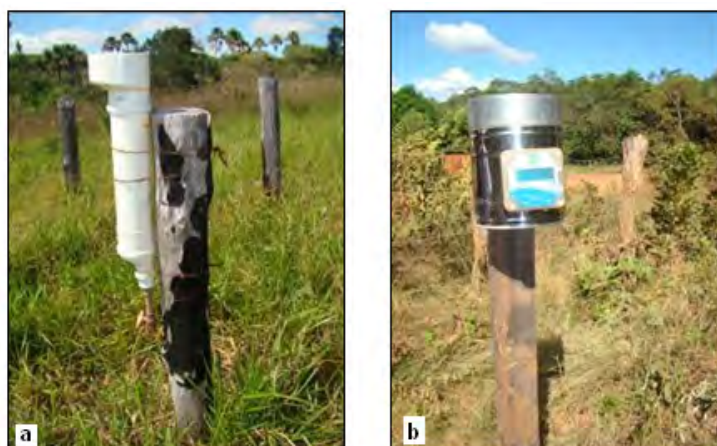


Figura 6 – Pluviômetro instalado na vereda (a), pluviógrafo na guarita da fazenda Espírito Santo (b); e bacia hidrográfica do córrego Águia, Francisco Dumont, MG.

Tanto os pluviômetros quanto o pluviógrafo foram instalados em locais abertos, com intuito de obter o total de chuva mensal e anual sobre a bacia (Figura 7). Estes pontos são identificados no mapa e localizados: um no escritório da SCFLOR (pluviômetro 1); um na cascalheira (pluviômetro 2); um na água limpa, ponto dois de medição da vazão (pluviômetro 3); um na cabeceira do barraco do Lú (pluviômetro 4); um na Vereda Poço Bonito, ponto 3 de medição da vazão (pluviômetro 5); e um no viveiro da fazenda (pluviômetro 6). O pluviógrafo se encontra na guarita da fazenda. Na Tabela 4 contém as coordenadas geográficas da localização de todos os instrumentos.

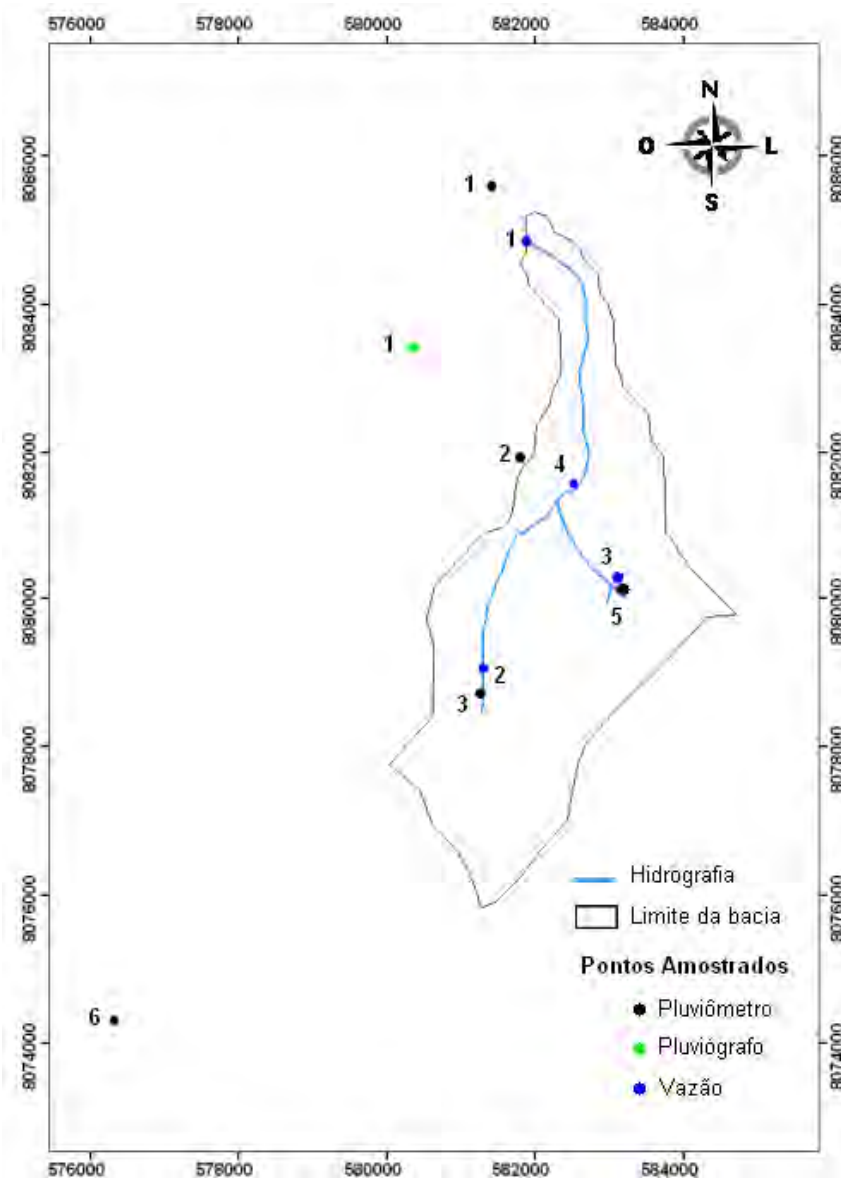


Figura 7 – Distribuição espacial dos pontos amostrados na bacia hidrográfica do córrego Águida, Francisco Dumont, MG, 2010.

Tabela 4 – Localização dos pluviômetros na bacia hidrográfica do córrego Águida. Francisco Dumont, MG, agosto de 2010

Localização	Coordenadas Geográficas	Altitude (m)
	Datum WGS 84	
Pluviógrafo	17°19'58"S, 44°14'33"W	720
Pluviômetro 1	17°18'46"S, 44°13'58"W	618
Pluviômetro 2	17°20'45"S, 44°13'45"W	895
Pluviômetro 3	17°22'30"S, 44°14'02"W	986
Pluviômetro 5	17°21'44"S, 44°12'58"W	961
Pluviômetro 6	17°24'54"S, 44°16'49"W	918

Para determinação da precipitação mensal, foi calculada a média mensal da precipitação de todos os pluviômetros instalados na bacia.

### 3.4 Vazão

Primeiramente, foram definidos três pontos de coleta da vazão, sendo dois próximos às nascentes em áreas de veredas e o terceiro na foz da bacia hidrográfica (Figura 7). No decorrer do trabalho foi identificado um local de ocorrência de desvio de água em um ponto anterior à foz, que já vem sendo utilizado pela população local por longo tempo. Desde então, iniciou-se a medição da vazão neste local, sendo uma medição anterior ao desvio e outra logo após o desvio (Figuras 8, 9, 10 e 11).

O aparelho utilizado para medir a vazão foi o micromolinete Flow Probe FP101 (Figura 12a), o qual fornece a velocidade do fluxo de água em metros por segundo. Quando o micromolinete é inserido no rio, simultaneamente inicia-se a cronometragem, o relógio é pausado a cada dois minutos e feita a leitura da velocidade média. O aparelho possui uma hélice na parte anterior que gira de acordo com o fluxo de água armazenando os dados das velocidades médias no ponto.

As medições da vazão iniciaram-se em outubro de 2007 e foram realizadas durante três dias consecutivos a cada mês. Em cada um desses dias foram realizadas dez repetições de 2 minutos cada. Para cada repetição de 2 minutos obteve-se a vazão média em m/s, com as dez repetições são calculadas as médias diárias. Finalmente, obtêm-se a média dos três dias de medição, que representa a velocidade em m/s do ponto mensal.



Figura 8 – Ponto 1 de medição da vazão da bacia do córrego Águia, Francisco Dumont, MG, maio, 2008.



Figura 9 – Ponto 2 de medição da vazão da bacia do córrego Águia, Francisco Dumont, MG, outubro, 2009.



Figura 10 – Ponto de medição da vazão anterior ao desvio das águas da bacia do córrego Águia, Francisco Dumont, MG, outubro, 2009



Figura 11 – Ponto 3 de medição da vazão da bacia do córrego Águida, Francisco Dumont, MG, setembro 2009

Para o cálculo da vazão, multiplicam-se a velocidade média encontrada (m/s) pela área seccional do córrego ( $m^2$ ), como demonstrado na equação (6), a seguir:

$$Q = A_s \times V \quad \text{Equação 6}$$

em que

$Q$  = vazão do córrego em  $m^3/s$ ;

$A_s$  = área da seção em  $m^2$ ; e

$V$  = velocidade em m/s.

Para o cálculo das áreas seccionais nos pontos de medição da vazão do córrego, foram medidas as profundidades a 10 ou 20 cm de equidistância e a largura da seção do córrego. Para cada uma dessas seções, foi calculada uma área em  $m^2$ ; o somatório de todas as áreas resultou na área total, ou seja, representa a área seccional do córrego (Figura 12b).

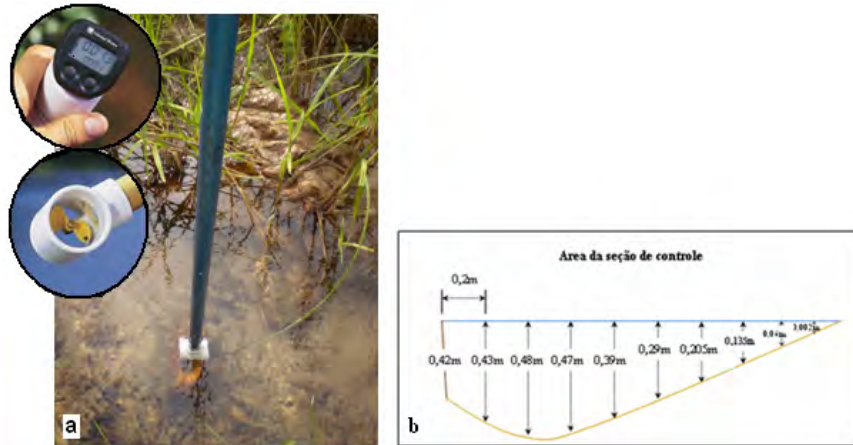


Figura 12 – *Micromolinete Flow Probe* FP101 (a). Esquema representativo para cálculo da área da seção do córrego Águia, Francisco Dumont (b), MG.

### 3.5 Infiltração, resistência mecânica e umidade do solo

Para realização dos testes de infiltração, resistência mecânica do solo e teor de umidade do solo, estratificou-se o ambiente de modo que toda área abrangida pela bacia fosse representada. Desta forma, o ambiente foi dividido em três cenários sendo representados por:

- Cenário 1: vegetação nativa, englobando o cerrado e áreas de veredas;
- Cenário 2: dentro dos plantios de eucalipto; e
- Cenário 3: mata ciliar, sendo representado pela mata ciliar próxima ao córrego Águia e outra em um riacho próximo às nascentes.

Os testes foram realizados durante três dias consecutivos no mês de março de 2010, sendo necessário meio período para cada área amostrada.

Cada cenário foi representado por apenas duas repetições, em virtude da homogeneidade local, e em cada uma destas áreas foram realizadas repetições diferentes para cada tipo de equipamento (Figuras 13, 14, 15 e 16).



Figura 13 – Cenário 1: Veredas (a) cerrado (b). Bacia hidrográfica do córrego Águia, Francisco Dumont, MG, março de 2010.



Figura 14 – Cenário 2: talhões de eucalipto, em detalhe a medição da infiltração. Bacia hidrográfica do córrego Águia, Francisco Dumont, MG, março de 2010.



Figura 15 – Cenário 3: mata ciliar próxima a foz da bacia hidrográfica do córrego Águia, Francisco Dumont, MG, março de 2010.





Figura 16 – Cenário 3: mata ciliar (a); detalhe da serrapilheira (b); e teste com o penetrômetro (c). Bacia hidrográfica do córrego Águída, Francisco Dumont, MG, março de 2010.

### 3.5.1 Infiltração

A medição da infiltração de água no solo foi realizada empregando um infiltrômetro de anéis concêntricos (Figura 17), que consiste em dois cilindros metálicos, sendo o externo com 10 cm de diâmetro e o interno com 5 cm. O aparelho possui uma boia no interior do cilindro interno e uma régua graduada em milímetros. Conforme a água infiltra no solo, a boia abaixa e a leitura é realizada na régua.

Para realização dos testes, inicialmente o infiltrômetro é introduzido no solo a uma profundidade de 5 cm. Adiciona-se água no anel externo até saturar o solo, assegurando que o processo de infiltração não sofra interrupção, ou



Figura 17 – Infiltrômetro de anéis concêntricos: detalhe os dois anéis e a boia flutuante.

seja, que não haja movimentação lateral da água a partir do anel interno. Neste momento, inicia-se a medição da infiltração, adicionando-se 300 mL de água no anel interno, determina-se um tempo fixo e no fim de cada tempo realiza-se a leitura da lâmina. São realizadas repetições até que a leitura da lâmina de água permaneça constante. Calcula-se então a taxa de infiltração, que é a relação entre os volumes d'água adicionados e os intervalos de tempo gastos para sua penetração no solo.

A metodologia consistiu em três repetições para cada ponto de medição. A localização destes pontos foi de acordo com os diferentes usos do solo dentro da bacia para que haja uma representatividade da área em estudo (Figura 18):

<b>Cenário</b>	<b>Pontos Amostrados</b>	<b>Descrição</b>	<b>Nomenclatura</b>
Cenário 1	Ponto de infiltração 1	Mata nativa: Vereda	MN1
	Ponto de infiltração 2	Mata nativa: Cerrado	MN2
Cenário 2	Ponto de infiltração 1	Talhão de eucalipto 1	E1
	Ponto de infiltração 2	Talhão de eucalipto 2	E2
Cenário 3	Ponto de infiltração 1	Mata ciliar próximo a foz da bacia.	MC1
	Ponto de infiltração 2	Não foi possível a execução do teste	

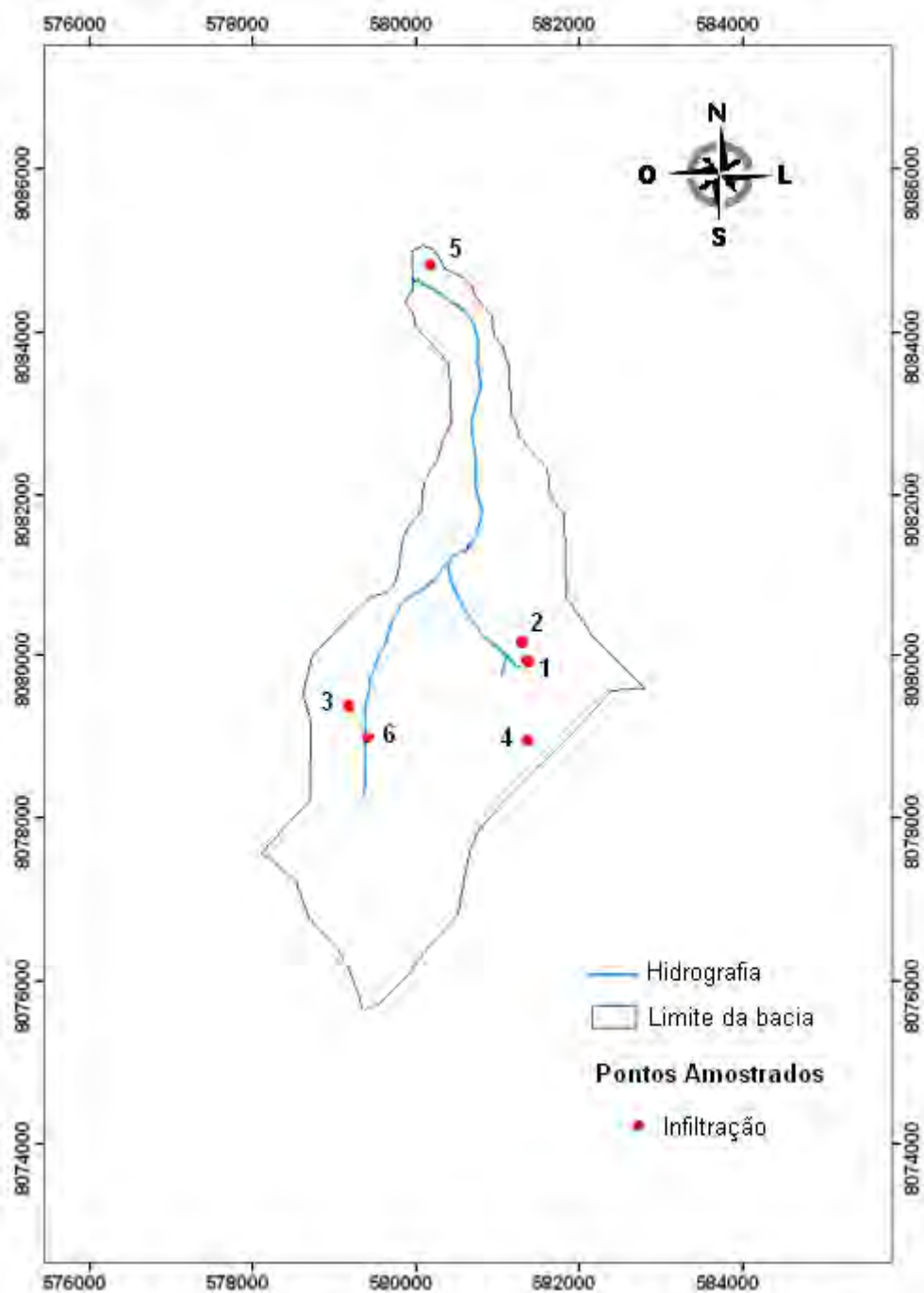


Figura 18 – Distribuição dos pontos de infiltração amostrados na bacia hidrográfica do córrego Águia, Francisco Dumont, março, 2010.

A localização dos pontos de 1 a 6 foi aleatória e para as três repetições, equidistantes 2 m entre si, em forma de um triângulo equilátero (Figura 19).

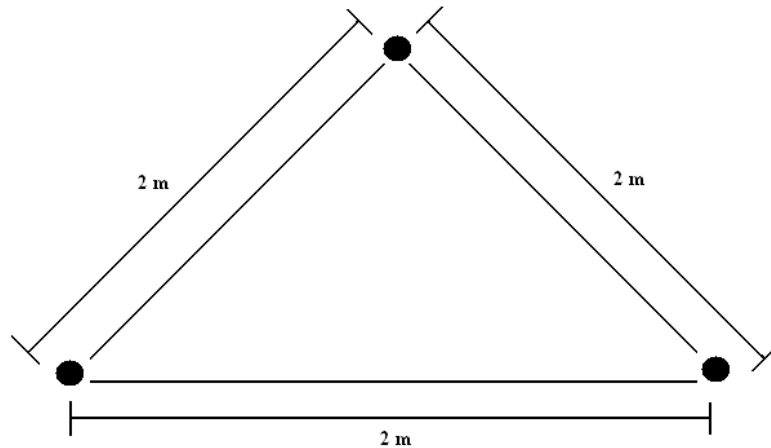


Figura 19 – Representação esquemática da repetição para os testes de infiltração.

### 3.5.2 Resistência mecânica do solo

Para realização dos testes de resistência mecânica do solo foi utilizado o aparelho denominado penetrômetro de anel da marca Solotestes, modelo Mitutoyo 2046F, graduado com subdivisões de 0,01 mm. O aparelho possui um anel diamétrico com relógio comparador analógico equipado na sua extremidade e uma ponta cônica para penetração em aço de diâmetro de 4 cm. Sua escala de trabalho é de 0 a 100 kgf (Figura 20).



Figura 20 – Penetrômetro de anel Solotestes, modelo Mitutoyo 2046F.

A resistência à penetração foi determinada a partir de dez pontos aleatórios, a fim de se obter uma média representativa da resistência na área em estudo. Os pontos medidos foram próximos aos pontos de medição da infiltração de água no solo. Dada a influência da umidade nas determinações com o penetrômetro, tomou-se o cuidado de realizar os dez pontos em um mesmo dia, para garantir as mesmas condições de umidade do solo durante a realização da penetrometria. Para determinação da resistência do solo introduziu-se o equipamento ao solo, onde a cada leitura em kgf foi realizada de acordo com a profundidade máxima alcançada pelo penetrômetro. As leituras foram transformadas para resistência do solo à penetração em (MPa), de acordo com a equação 7:

$$MPa = \frac{10 \text{ kgf}}{A (\text{cm}^2)} \quad \text{equação 7}$$

em que

kgf = leitura realizada à profundidade máxima; e

A = área em cm<sup>2</sup> da ponteira do equipamento penetrado no solo.

### 3.5.3 Teor de umidade do solo

A umidade do solo foi determinada empregando-se o equipamento Soil moisture monitor, modelo ECH30 Check, da marca Decagon Devices. Para isto, o sensor foi introduzido no solo à aproximadamente 20 cm de profundidade, onde as leituras foram realizadas instantaneamente (Figura 21). Este valor é dado em porcentagem de água no solo e representa a umidade no local de medição de infiltração. Foram integrados os mesmo pontos de medição da infiltração.



Figura 21 – Equipamento utilizado para mediação de umidade do solo na bacia hidrográfica do córrego Águida, Francisco Dumont, MG, março 2010.

### 3.6 Qualidade da água

#### 3.6.1 Parâmetros físicos

Para maior precisão e representatividade de toda a área da bacia hidrográfica, foram estipulados quatro pontos estratégicos de amostragem de parâmetros físicos da qualidade de água (Tabela 5).

Tabela 5 – Localização geográfica dos pontos de coleta de água para análise dos parâmetros físicos e químicos da bacia do córrego Águida, Francisco Dumont, MG

Localização	Coordenadas Geográficas	Altitude (m)
	Datum WGS 84	
Ponto 1	17°19'08" S, 44°13'38" W	631
Ponto 2	17°20'57" S, 44°13'20" W	877
Ponto 3	17°22'15" S, 44°14'01" W	971
Ponto 4	17°21'39" S, 44°12'59" W	948

O ponto 1 é localizado na foz da microbacia, próximo à piscina. O ponto 2 mais à frente na Serra é localizado em um desvio de águas que abastece a população local. Já os pontos 3 e 4 são localizados mais à frente, nas nascentes cujo córrego, formado por cada uma delas se encontram na área de vereda.

A coleta das amostras iniciou-se em outubro de 2009, desde então as análises foram realizadas mensalmente até agosto de 2010. Para isto, foi coletada uma amostra composta, a partir de amostras que integrem a variação vertical de toda a lâmina d'água no ponto central do canal. Foram utilizadas garrafas de polietileno identificadas e as amostras coletadas foram analisadas em campo por meio da leitura direta pelos aparelhos portáteis da marca Digimed: pHmetro, condutímetro, turbidímetro e oxímetro.

### *3.6.2 Parâmetros químicos*

Os parâmetros químicos da água foram feitos pela empresa Ecolabor e fornecidos pela empresa SCFLOR Empreendimentos Ltda.

A coleta foi realizada no dia 5 de agosto de 2009, às 10h50 sobre temperatura do ar de 22 °C e da água à 22 °C. Foram avaliados os seguintes parâmetros: DBO 5 dias à 20 °C, Fipronil, orto-fosfato, OD – medido em campo, sólidos totais, sufloramida, nitratos, glifosfato, pH – água, turbidez, coliformes fecais, cloro total e cloro livre.

### **3.7 Análise estatística**

Para avaliação dos resultados obtidos, da capacidade de infiltração de água no solo, resistência mecânica do solo, teor de umidade do solo e os parâmetros físicos-químicos da água, foi utilizado o teste t, para amostras independentes por meio do *software* Statistic 7.0

Para a capacidade de infiltração foram comparadas as médias por tratamento em relação à localização dos pontos amostrados, para verificar a influência dos biomas e da cobertura vegetal sobre a infiltração da água. A resistência mecânica do solo e o teor de umidade seguiram a mesma metodologia.

Os parâmetros físicos e químicos da água, além da comparação entre os locais amostrados, avaliaram-se os resultados em relação ao período de chuva e estiagem, para verificar a influência das chuvas sobre os teores de pH, turbidez, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica da água.

### 3.8 Balanço hídrico

Para realização do balanço hídrico, foram utilizados os dados de precipitação mensal no período de 2007 a 2010 e os dados de vazão do período de 2008 a 2010. O deflúvio foi obtido a partir dos valores de vazão, onde foi utilizada a área da bacia no valor de 1.743,71 ha. O deflúvio, de acordo com DNAEE, (1970), “é o volume total de água que passa, em determinado período, pela secção transversal de um curso d’água”. O deflúvio pode ser medido em unidades de deflúvio anual, mensal, semanal, diário, sendo expresso em mm de altura de água sobre a bacia correspondente. Neste estudo foi calculado o deflúvio mensal contendo 31 dias/mês.

$$D = \frac{Q \times 60 \times 60 \times 24 \times 31}{A} \quad \text{equação 8}$$

em que

Q = vazão (L/s);

D = deflúvio mensal (mm); e

A = área da bacia (m<sup>2</sup>).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Morfometria

As características morfométricas estudadas irão interferir no padrão de drenagem e do relevo, refletindo algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio das águas das chuvas expressando estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre (HORTON, 1945; STRAHLER, 1957; FRANÇA, 1968).

A bacia hidrográfica do córrego Águida abrange uma área de drenagem de 1.743,7 ha, perímetro de 23,04 km e classificada de segunda ordem, segundo Strahler (1957) (Tabela 6).

A área de uma bacia está correlacionada com a maioria das suas características hidrológicas. Segundo Lima (2008), as bacias são classificadas como grandes e pequenas, não apenas em função do tamanho de sua área, mas também em relação aos efeitos de fatores dominantes na geração do deflúvio. Para estudos de bacias hidrográficas é importante que exista a sensibilidade tanto das chuvas quanto do uso do solo na dinâmica da bacia. Se a bacia em estudo fosse classificada de acordo com sua área seria enquadrada como uma grande bacia, porém é uma bacia de segunda ordem, e sua área tem relação com as características geográficas da região.

Tabela 6 – Características morfométricas da bacia do córrego Águida no município de Francisco Dumont, MG

<b>Características Morfométricas</b>	<b>Estimativas</b>
Área total	1.743,7 ha
Perímetro total	23,038 km
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,4
Fator de forma (F)	1,8
Índice de circularidade (IC)	0,4
Padrão de drenagem	Dendrítico
Orientação	Norte à Noroeste
Declividade mínima	0,01%
Declividade média	3,38%
Declividade máxima	27,25%
Altitude mínima	623,7 m
Altitude média	946,8 m
Altitude máxima	1.053,3 m
Declividade média do curso principal	0,047 m/m
Comprimento do curso d'água principal	7.354,6 m
Comprimento total dos cursos d'água	9.291,4m
Densidade de drenagem (Dd)	0,53 km/km
Ordem da Bacia	2

A forma alongada é predominante na bacia, onde o coeficiente de compacidade (Kc) mostrou-se igual a 1,4 e índice de circularidade (IC) de 0,4. Segundo Villela e Mattos (1975), o Kc relaciona a forma da bacia com um círculo; quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1. Simultaneamente ao Kc, o IC tende para a unidade, à medida que a bacia se aproxima da forma circular, e diminui à medida que a forma torna-se alongada. Estas características da forma expressam o tempo de concentração da água de chuva dentro da bacia, ou seja, o tempo que, a partir do início da precipitação, a água leva para chegar à foz da bacia, indicando ser uma área pouco provável a inundações.

O fator de forma (F) confirma o predomínio da forma alongada da bacia, que também indica a probabilidade de ocorrência de enchentes na área; quanto maior o índice menos sujeita às enchentes.

A densidade de drenagem é um fator importante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia. Sendo assim, este índice fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia, sendo expressa pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede; sejam eles, perenes, intermitentes ou temporários e a área total da bacia (ANTONELI; THOMAZ, 2007). A bacia em estudo apresenta baixa densidade de drenagem, ou seja, apresenta um relevo pouco declivoso, com rampas longas e solos profundos no cerrado baixo e rasos e arenosos no alto da serra com alta capacidade de infiltração. Lima (1996) relata que valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade.

As características do padrão de drenagem repercutem no comportamento hidrológico e litológico; o padrão de drenagem foi do tipo dendrítico, indicando região com predomínio de rochas de resistência uniforme à erosão.

O ordenamento da bacia, de acordo com a classificação de Strahler (1957), apresentou grau de ramificação de segunda ordem (Figura 22), sendo esta baixa ramificação explicada pela alta permeabilidade dos solos da região.

A declividade média foi de 3,38%, indicando ser uma bacia com relevo suave ondulado, de acordo com Embrapa (1999) (Figura 23). Este parâmetro influencia principalmente a velocidade de escoamento das águas que, de acordo com Lima (1996), existe também uma influência da orientação da bacia, sendo esta uma bacia de orientação noroeste, as águas drenam para o sentido noroeste. A orientação afeta as perdas por evapotranspiração, que está relacionada com o tempo de exposição ao sol.

A altitude média também influenciará os mesmos fatores descritos, por afetar a quantidade de radiação solar recebida na área. A altitude média foi de 946,8 m, com valor mínimo de 626,0 m e máximo de 1.053,3 m (Figura 24).

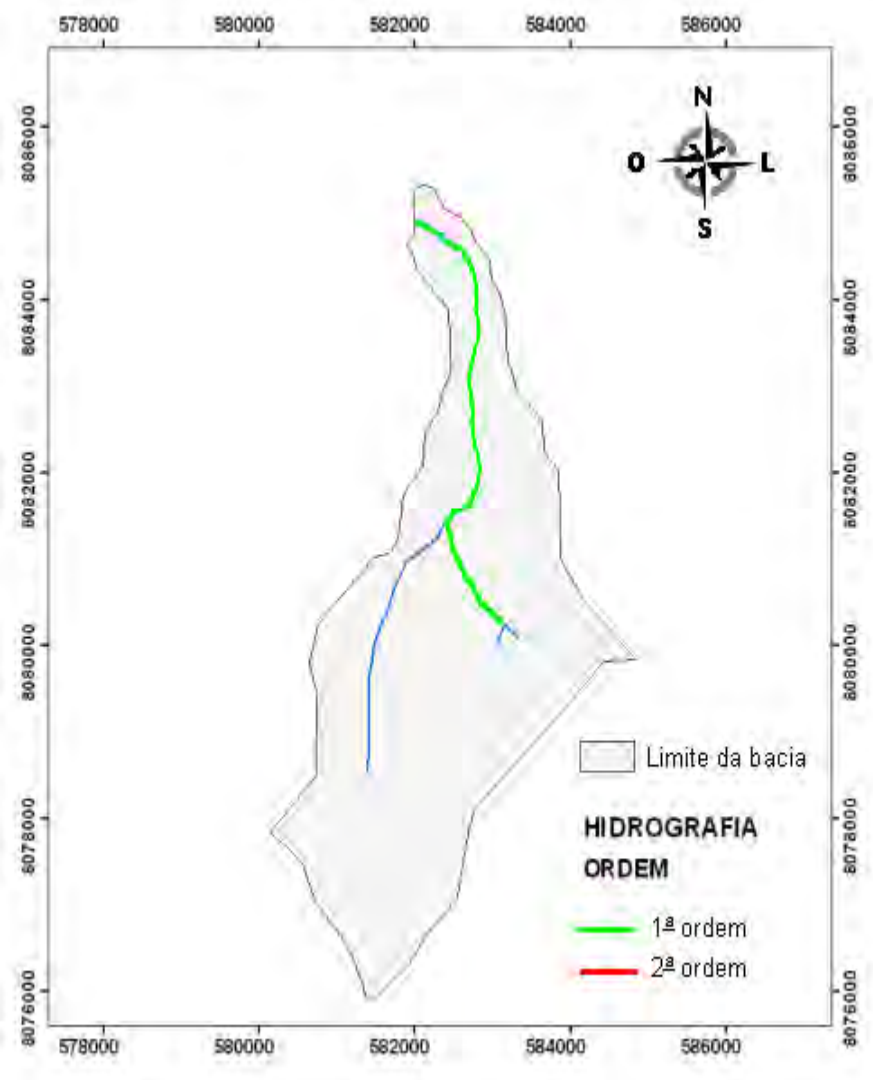


Figura 22 – Ordenamento dos cursos d'água, de acordo com Strahler (1957), bacia hidrográfica do córrego Águida, Francisco Dumont, MG.

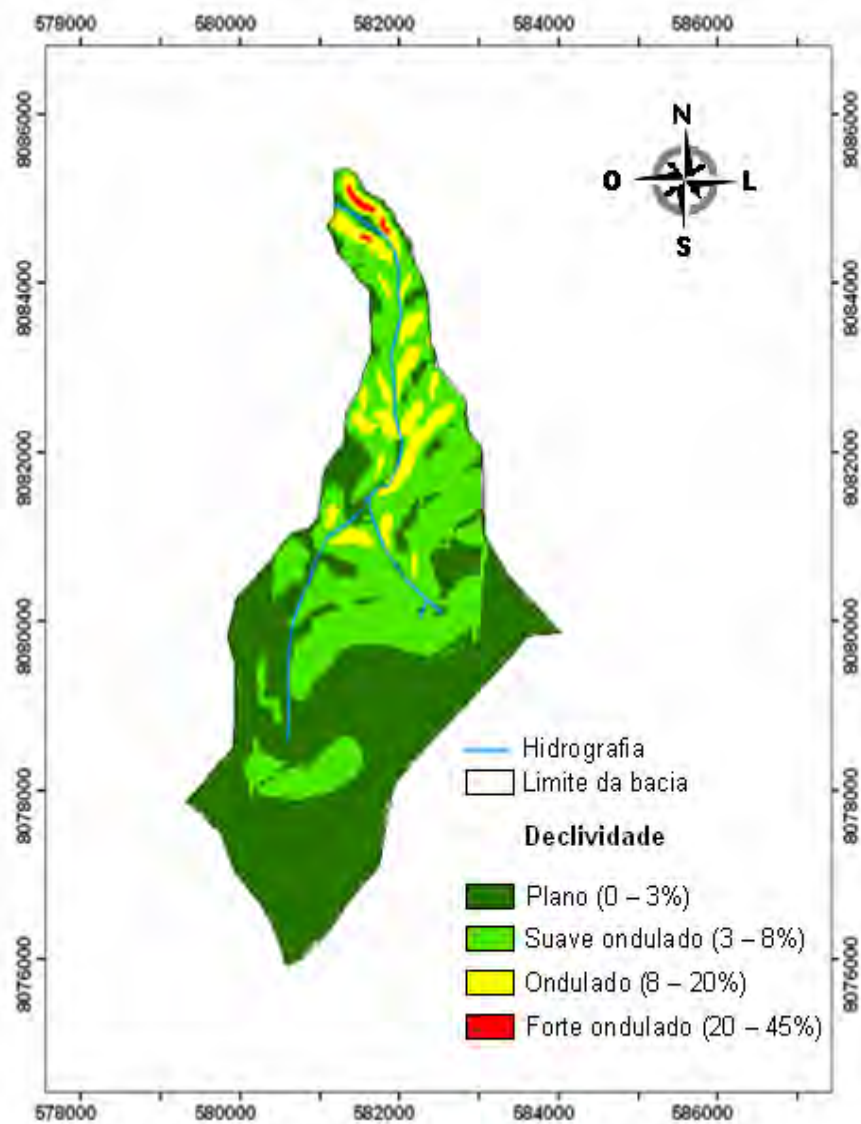


Figura 23 – Declividade da bacia hidrográfica do córrego Águida, Francisco Dumont, MG.

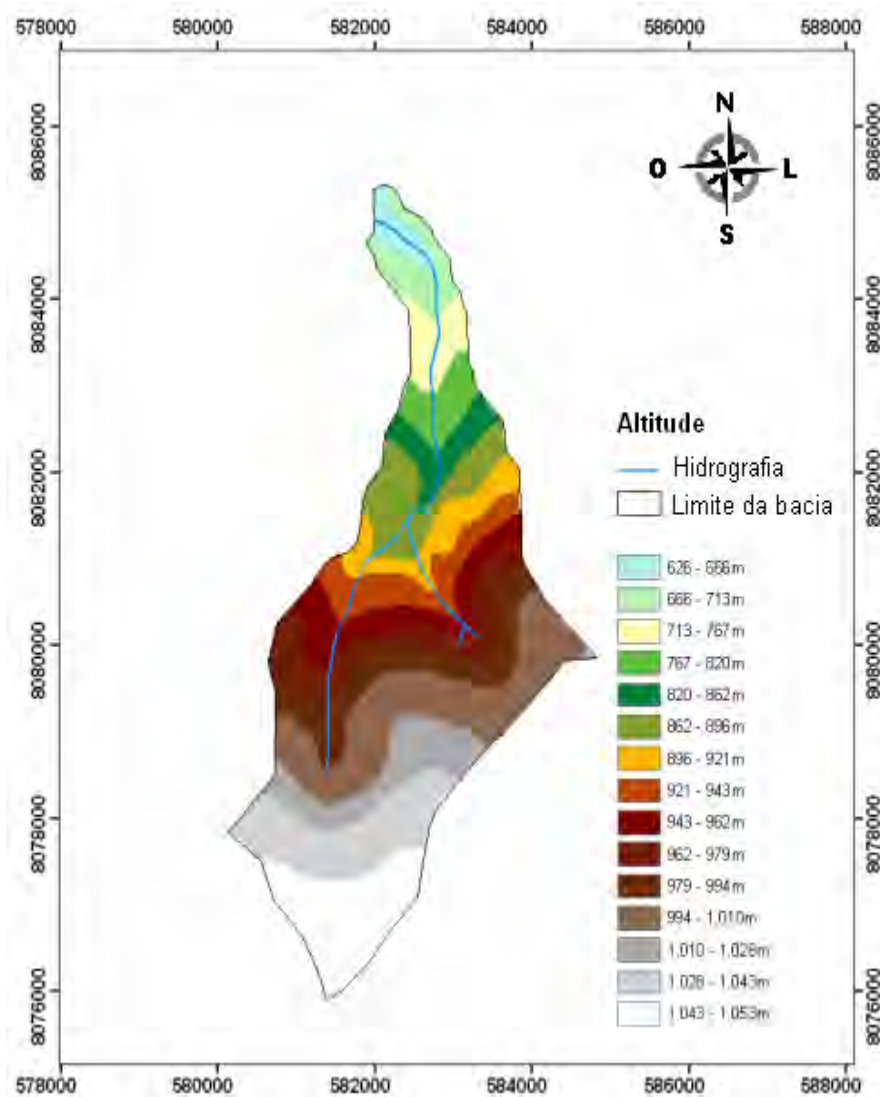


Figura 24 – Variação altimétrica gerada pelo modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC), em intervalos de 40 m para a bacia hidrográfica do córrego Águia, Francisco Dumont, MG.

## 4.2 Precipitação

As precipitações médias anuais mensuradas na bacia para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010 foram de 360,5, 900,8, 848,0 e 310,1 mm, respectivamente, visto que, para o ano de 2007 os dados abrangeram o período de cinco meses, sendo de outubro a dezembro, em 2008 e 2009 compreende todo o ano, em 2010 de janeiro a agosto (Tabela 7)

Tabela 7 – Precipitação média mensal coletada nos anos de 2007 a 2010 na bacia do córrego Águia, em Francisco Dumont, MG

Meses/Ano	Precipitação (mm)					Normais Climatológicas
	2007	2008	2009	2010	Média	
Janeiro	-	111,6	246,6	65,0	141,1	216,1
Fevereiro	-	72,1	27,5	9,1	36,2	147,2
Março	-	166,3	111,7	171,1	149,7	134,1
Abril	-	61,7	25,0	36,2	40,9	64,8
Mai	-	0,6	0,6	28,7	30,3	13,7
Junho	-	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5
Julho	-	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4
Agosto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1
Setembro	75,0	10,0	52,2	-	45,7	34,6
Outubro	112,0	17,0	174,7	-	101,2	73,1
Novembro	51,0	219,3	30,1	-	100,1	206,4
Dezembro	122,5	242,2	179,6	-	181,4	285,2
<b>Total</b>	<b>360,5</b>	<b>900,8</b>	<b>847,8</b>	<b>310,1</b>	<b>826,8</b>	<b>1.188,2</b>

A média anual do período estudado foi de 806,4 mm. Comparando este valor com as normais climatológicas para o município de Francisco Dumont, descrito entre os anos de 1961 a 1990, com média anual de 1.188,2 mm, o período em estudo apresentou uma grande diminuição nas chuvas locais (Figura 25).

Nota-se que houve uma diminuição nas chuvas a partir do ano de 2007. Para este ano de 2010, houve uma queda maior e os impactos decorrentes a esta diminuição podem ser visualizados no local: nascentes que nunca ficaram secas, de acordo com relatos da população e as medições desde 2007, ficaram secas durante os meses de julho e agosto 2010; veredas que apresentavam inúmeras nascentes difusas também secaram neste período (Figura 26).

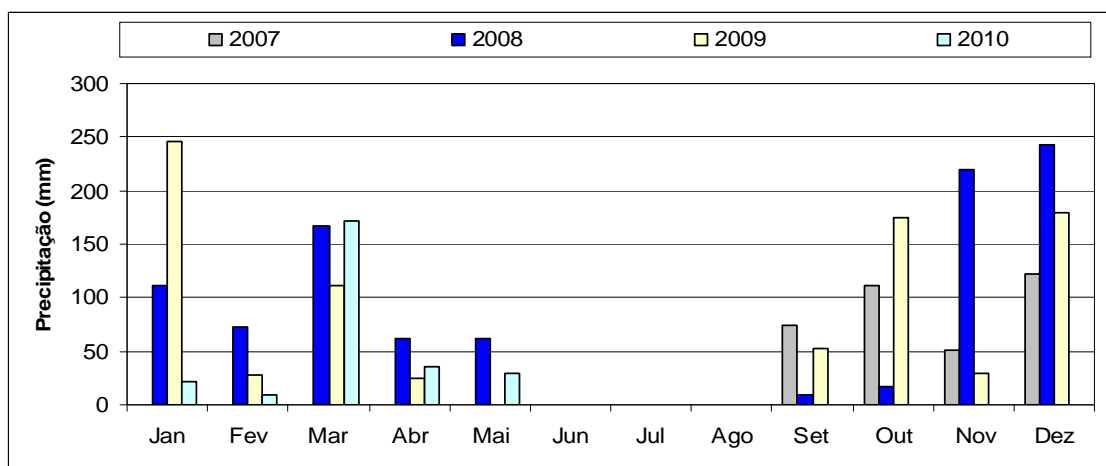


Figura 25 – Precipitação média mensal para os anos de 2007 a 2010, Francisco Dumont, MG.

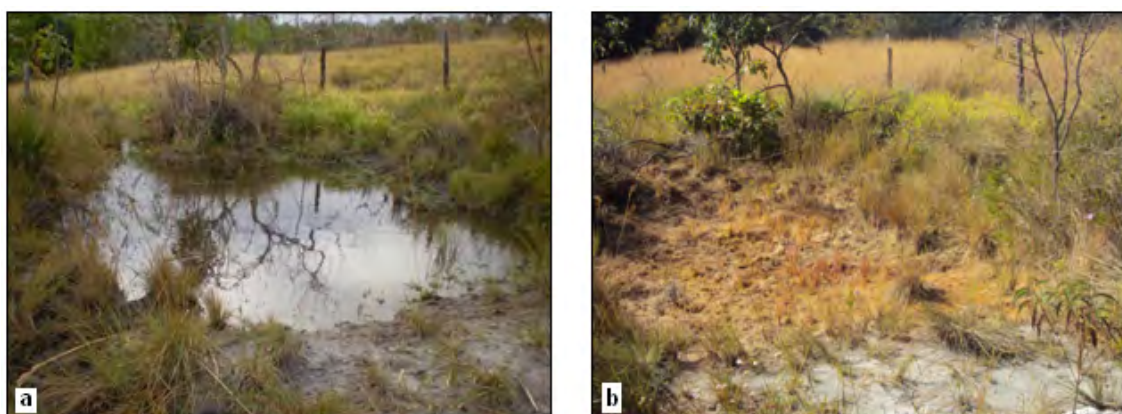


Figura 26 – Principal nascente da bacia do córrego Águia, setembro de 2008 (a) e julho de 2010 (b).

A distribuição mensal da precipitação pluviométrica para o período de 2007 a 2010 na bacia em estudo está disposta na Tabela 8. Observa-se que o período de estiagem na região é severo entre os meses de maio a setembro, com média de 15,2 mm, sendo o período de outubro a março as precipitações mais concentradas, com média de 107,2 mm mensal, representando este o período das chuvas.

Outra forma de visualizar a distribuição de chuvas em uma dada região é por meio de sua distribuição média mensal acumulada (Figura 27). A inclinação da reta indica os períodos de chuvas mais intensas. Nota-se que quanto mais inclinada maior concentração de chuva. A linha reta representa o período de estiagem, ou seja, período em que não houve acréscimo de chuva na região.



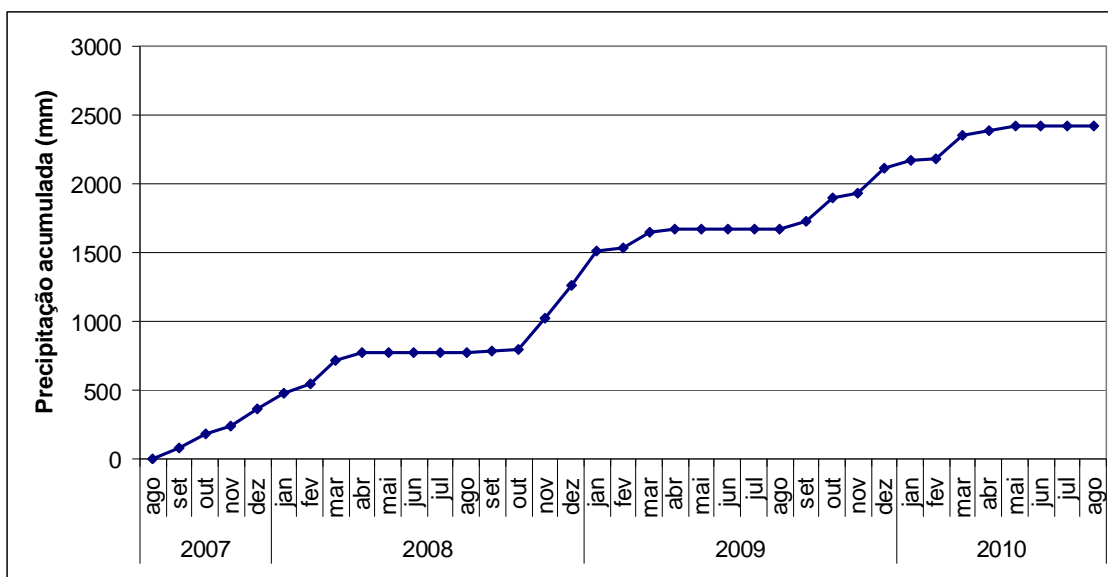


Figura 27 – Distribuição da precipitação média mensal acumulada no período de 2007 a 2010, em Francisco Dumont, MG.

Quando foram comparadas as médias mensais da precipitação quantificada na bacia em relação às normais climatológicas (Figura 28), verificou-se que os dois gráficos se assemelham e indicam a mesma tendência entre os períodos de estiagem e de chuvas.

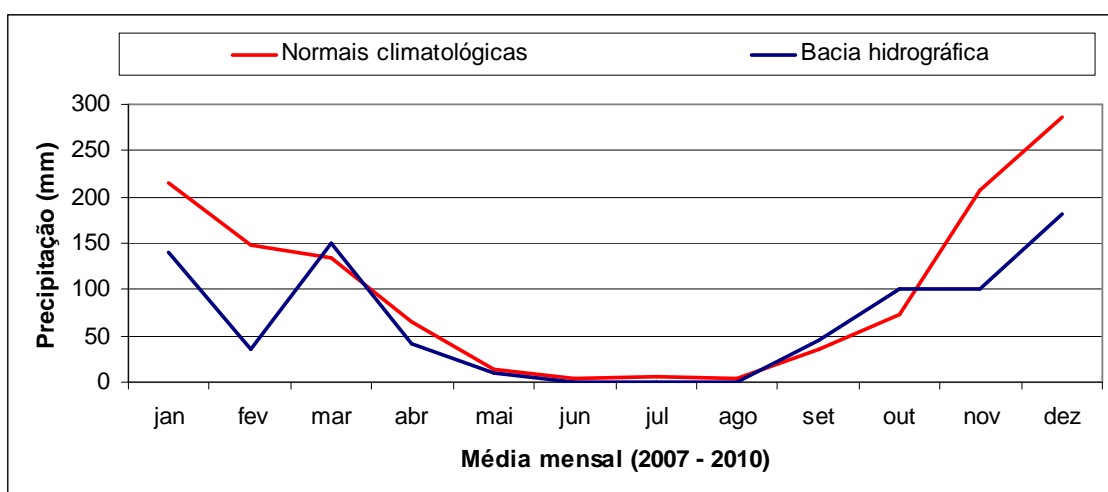


Figura 28 – Distribuição da precipitação média das normais climatológicas no período de 1961 a 1990 e da precipitação média entre os anos de 2007 a 2010, na Bacia Hidrográfica do córrego Águida, em Francisco Dumont, MG.

### 4.3 Vazão

Nas Tabelas 8, 9, 10 e 11 podem ser observados os valores de vazão, ao longo do período de estudo, para a bacia hidrográfica do córrego Águida, em cada ponto de medição pré-estipulado. Observa-se que nos meses de chuvas mais intensas houve um aumento da vazão. Nota-se, também, um aumento na vazão entre os anos de 2008 e 2009, mesmo ocorrendo a diminuição da precipitação para este período. De acordo com Carvalho e Silva (2006), são inúmeros os fatores que influenciam o comportamento da vazão; fatores estes que podem ser de natureza climática, relacionados à precipitação, de natureza fisiográfica, ligados às características físicas da bacia e os usos do solo.

Tabela 8 – Valores mensais da vazão em litros por segundo (L/s) nos pontos amostrados da bacia para o ano de 2008, em Francisco Dumont, MG

2008	Vazão (L/s)		
	1	2	3
Janeiro	89,00	19,00	59,00
Fevereiro	-	-	-
Março	240,00	49,00	25,00
Abril	-	-	-
Maio	89,90	30,10	12,50
Junho	-	-	-
Julho	100,50	37,70	8,60
Agosto	-	-	-
Setembro	41,20	41,90	12,40
Outubro	7,54	34,00	-
Novembro	-	-	-
Dezembro	727,60	67,20	9,90

A intensidade e a duração da chuva e a precipitação antecedente são fatores importantes nesta relação com a vazão, pois, quanto maior a intensidade, mais rápido o solo atinge a sua capacidade de infiltração, provocando um excesso de precipitação que escoará superficialmente. A duração é diretamente proporcional ao escoamento, pois para chuvas de intensidade constante, haverá maior oportunidade de escoamento quanto maior for a duração, e, quando o solo já está umedecido por uma precipitação anterior, haverá também maior facilidade de escoamento.

Tabela 9 – Valores mensais da vazão em litros por segundo (L/s), nos pontos amostrados da bacia para o ano de 2009, em Francisco Dumont, MG

2009	Vazão (L/s)				
	1	2	3	A. D.*	D. D.**
Janeiro	525,50	61,10	30,80	-	-
Fevereiro	306,00	90,70	36,00	-	-
Março	423,60	78,50	42,00	-	-
Abril	427,60	60,20	33,40	-	-
Maiο	306,40	33,40	24,70	-	-
Junho	285,80	37,10	20,90	-	-
Julho	190,80	40,70	21,50	-	-
Agosto	107,70	9,30	26,40	-	-
Setembro	143,30	9,90	19,10	-	-
Outubro	254,30	9,90	37,10	511,70	67,80
Novembro	229,40	95,90	29,90	225,20	188,60
Dezembro	291,10	67,80	22,90	337,70	205,80

\* A.D. = antes do desvio; e \*\* D.D. = depois do desvio.

Tabela 1 – Valores mensais da vazão em litros por segundo (L/s) nos pontos amostrados da bacia para o ano de 2010, em Francisco Dumont, MG

2010	Vazão (L/s)				
	1	2	3	A. D.	D. D.
Janeiro	393,40	90,30	15,00	301,50	266,80
Fevereiro	99,40	47,50	17,80	241,60	39,00
Março	293,40	62,70	20,50	138,00	<b>167,40</b>
Abril	169,60	42,60	33,20	99,40	<b>107,10</b>
Maiο	150,30	44,40	17,60	90,40	<b>108,30</b>
Junho	147,60	34,10	16,70	77,20	<b>83,30</b>
Julho	70,90	32,50	11,60	76,40	52,50
Agosto	66,40	23,60	11,40	63,90	36,10

Dentre os fatores morfométricos da bacia relacionados com a vazão, os mais importantes são: a área, pois sua extensão está relacionada à maior ou menor quantidade de água que ela pode captar; a forma, relacionado ao tempo de concentração da água na bacia; a permeabilidade do solo, que influi diretamente na capacidade de infiltração, ou seja, quanto mais permeável for o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver, diminuindo, assim, a ocorrência de excesso de precipitação; e a topografia, relacionada à velocidade de escoamento das águas.

Tabela 11 – Médias anuais da vazão nos pontos 1, 2, e 3 de medição na bacia do córrego Águia, no município de Francisco Dumont, MG

Pontos Amostrados	Vazão (L/s)			
	2008	2009	2010	Média
Ponto 1	185,1	290,95	173,87	216,65
Ponto 2	39,84	49,54	47,23	45,53
Ponto 3	21,23	28,72	17,97	22,64
Precipitação total anual	900,80	848,00	310,10	806,47

Outros fatores também são de grande importância como a vegetação, manejo do solo e atividades praticadas dentro dos limites da bacia.

Nota-se, então, que esta relação precipitação – vazão nem sempre é uma relação direta e imediata por sofrer influência de inúmeros outros fatores, como mencionados.

Nos meses de março a julho de 2010 (valores em negrito) ocorreu que a população beneficiada com as águas do rio muitas vezes bloqueavam a passagem das águas utilizando pedras e depois liberavam, fazendo com que a água acumulada para o desvio desça para o rio fazendo a vazão aumentar subitamente. Valores depois do desvio não poderiam apresentar-se maiores aos valores mensurados antes do desvio (Tabela 10).

Outra relação que pode ser visualizada, entre os pontos de medição, são as das maiores vazões na foz da bacia (ponto 1), com sua diminuição nos pontos dois e três, à medida que se afasta da saída da bacia. Esse fato pode ser explicado porque próximo às nascentes existe menor contribuição do escoamento e a vazão possui menor contribuição das águas. Quanto mais se caminha em sentido à foz, esses valores de vazão vão aumentando, como pode ser visto nas Figuras 29, 30 e 31.

Na resposta da vazão pós-precipitação nota-se que quanto mais distante da foz da bacia maior é o tempo necessário para que ocorra o aumento da vazão. Esse fato ocorre devido, principalmente, à forma, à área e à densidade de drenagem da bacia. A bacia possui forma alongada, baixa densidade de drenagem e grande área, fazendo com que necessite de maior tempo de concentração das chuvas para que toda bacia contribua para sua saída pós-precipitação.

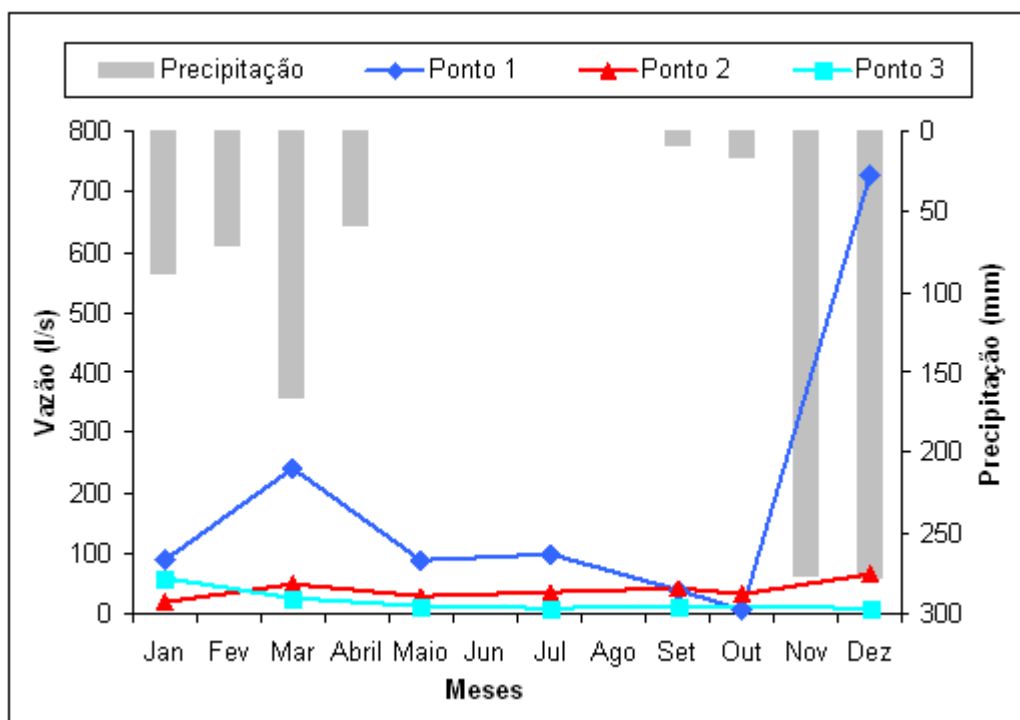


Figura 29 – Relação entre as vazões e precipitações médias mensais para o ano de 2008, na bacia hidrográfica do córrego Águida, no município de Francisco Dumont, MG.

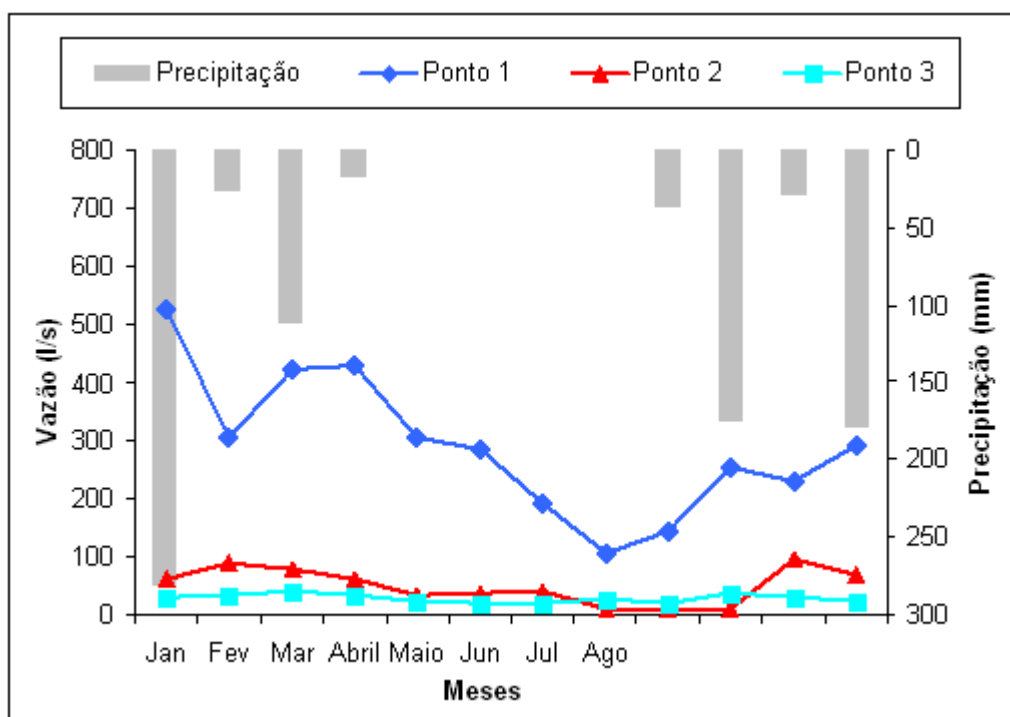


Figura 30 – Relação entre as vazões e precipitações médias mensais para o ano de 2009, na bacia hidrográfica do córrego Águida, no município de Francisco Dumont, MG.

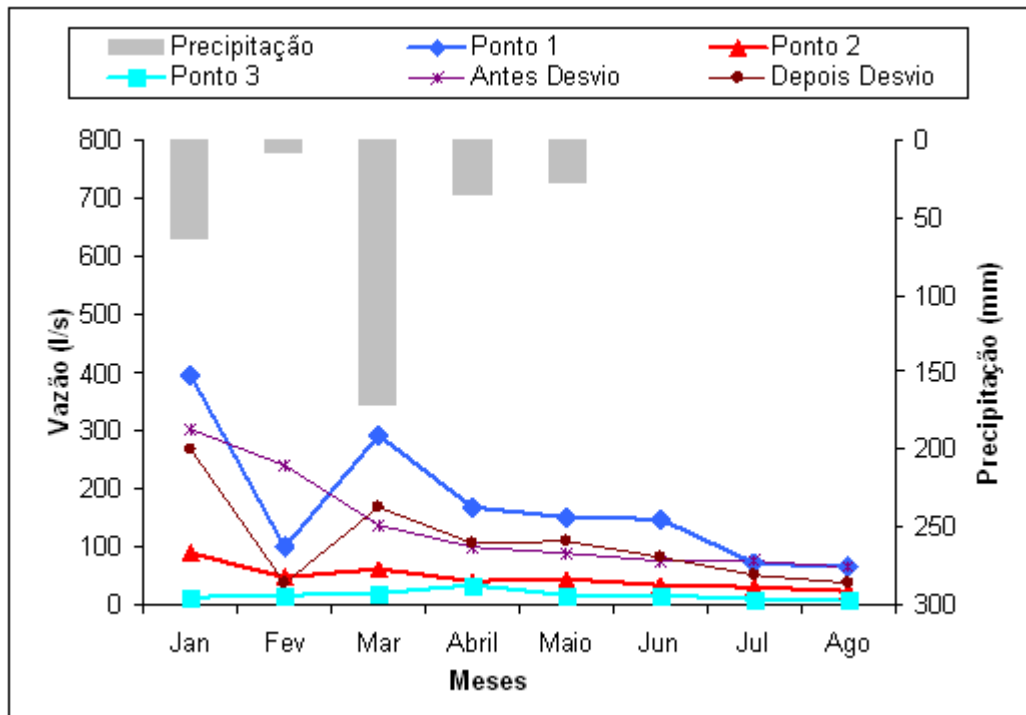


Figura 31 – Relação entre as vazões e precipitações médias mensais para o ano de 2010, na bacia hidrográfica do córrego Águída, no município de Francisco Dumont, MG.

#### 4.4 Infiltração, umidade e resistência mecânica do solo

##### 4.4.1 Avaliação da capacidade de infiltração de água no solo

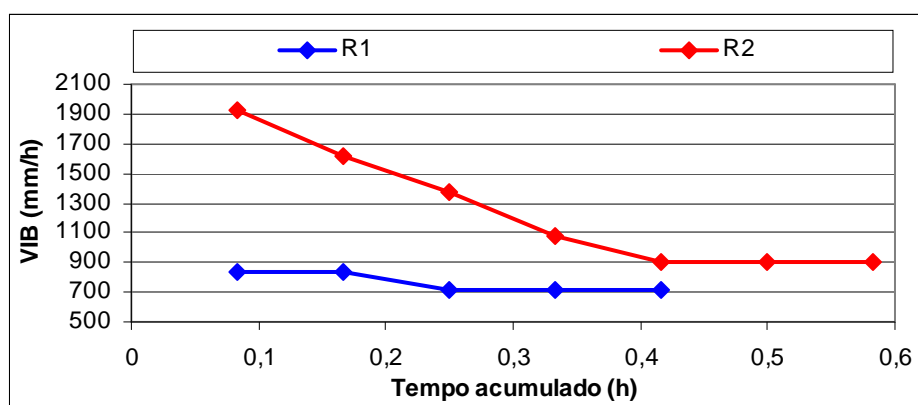
Na Tabela 12 são apresentados os valores médios da velocidade básica de infiltração (VIB) de água no solo, e da capacidade de infiltração (mm/h), para cada tipo de uso do solo amostrado. Observa-se que as coberturas do solo que apresentaram maior infiltração foram na ordem: mata nativa (1.040,88 mm/h), mata ciliar (668,17 mm/h) e plantios de eucalipto (374,83 mm/h).

De acordo com a classificação de Staff (1993), todos os valores encontrados apresentam-se na classe rápida, com permeabilidade acima de 254 mm/h. Este fato pode ser explicado devido à natureza dos solos da região, que são solos arenosos e pedregosos, à presença de cobertura vegetal, ao manejo solo, dentre outros, que faz com que a infiltração nestas áreas seja alta.

Tabela 12 – Velocidades básicas de infiltração (VIB) e Capacidade de infiltração (CI) de acordo com cada repetição e cenário utilizado, na bacia em estudo, Francisco Dumont, MG

Usos do solo	Média VIB (mm/h)	Média CI (mm/h)
Mata nativa (vereda, cerrado)	999,1	1.040,88
Mata ciliar	620,2	668,17
Eucalipto	443,35	374,83

As Figuras 32, 33, 34, 35 e 36 mostram o comportamento da velocidade básica de infiltração em relação ao tempo, indicando que, no início do teste, a taxa de infiltração é mais alta e decresce com o tempo, ou seja, satura o solo. O tempo de aplicação do teste é limitado até o momento em que um valor constante, denominado velocidade básica de infiltração, é alcançado (VIB) indicando neste momento a capacidade de infiltração (CI).

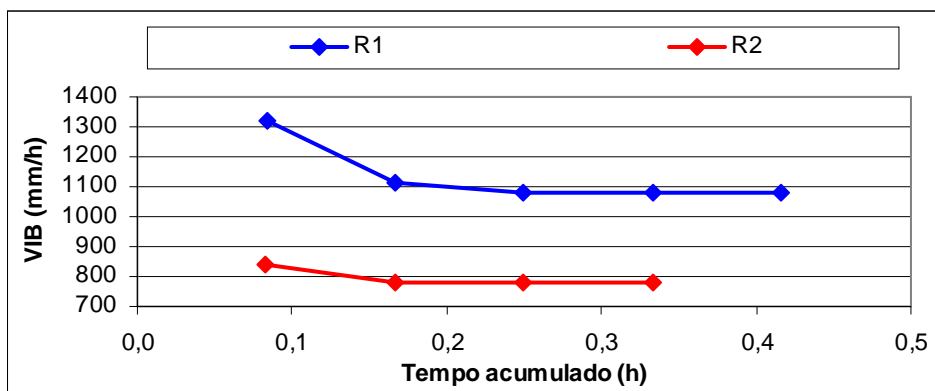


\*\* R1 = repetição 1; e R2 = repetição 2.

Figura 32 – Velocidade básica de infiltração (VIB), em relação ao tempo de infiltração no cenário 1, ponto 1 (vereda), na bacia do córrego Águida, em Francisco Dumont, MG, março, 2010.

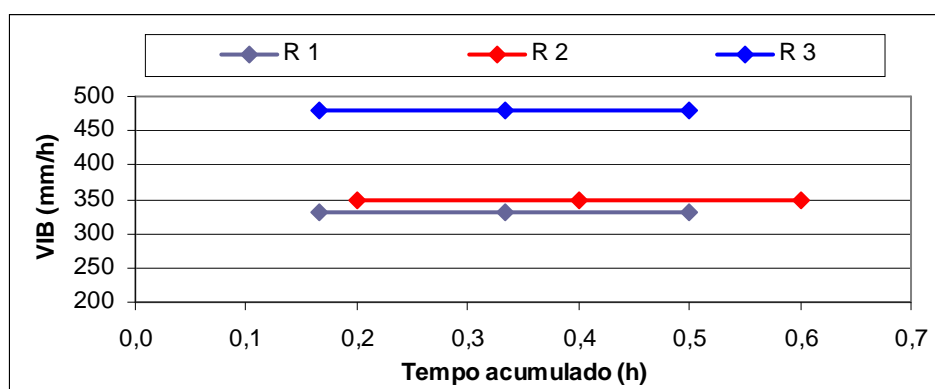
Os testes foram realizados em março de 2010, em época chuvosa, por isso, alguns solos atingiram rapidamente a VIB, não podendo ser expresso os valores de infiltração inicial, que somente é visualizado na estação seca.

O teste teve como objetivo, além de avaliar as condições físicas do solo, comparar diferentes usos do solo e biomas, na bacia em estudo; para isto, foram amostrados mais de um ponto por ambiente com intenção de poder compará-los entre si.



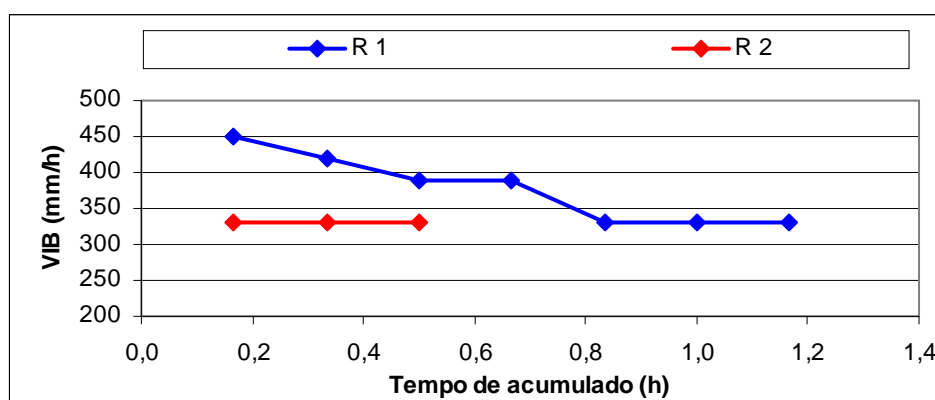
\*\* R1 = repetição 1; e R2 = repetição 2.

Figura 33 – Velocidade básica de infiltração (VIB), em relação ao tempo de infiltração no cenário 1, ponto 2 (cerrado), na bacia do córrego Águda, em Francisco Dumont, MG, março, 2010.



\*\* R1 = repetição 1; e R2 = repetição 2.

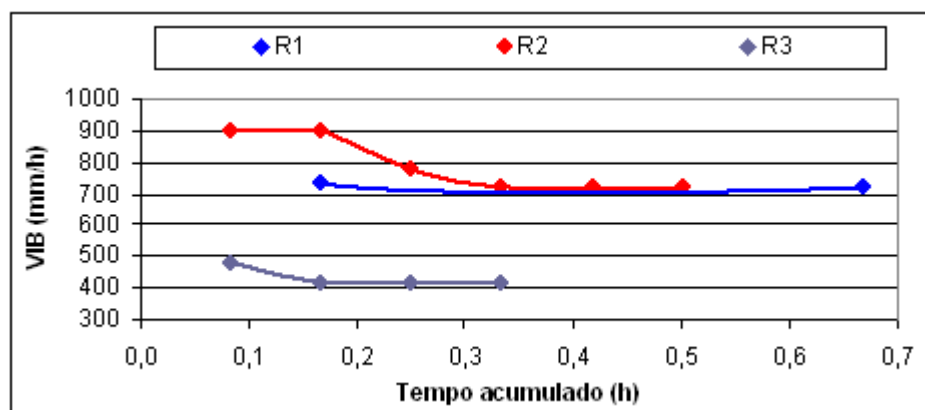
Figura 34 – Velocidade básica de infiltração (VIB), em relação ao tempo de infiltração no cenário 2, ponto 1 (eucalipto), na bacia do córrego Águda, em Francisco Dumont, MG, março, 2010.



\*\* R1 = repetição 1; e R2 = repetição 2.

Figura 35 – Velocidade básica de infiltração, em relação ao tempo de infiltração no cenário 2, ponto 2 (eucalipto), na bacia do córrego Águda, em Francisco Dumont, MG, março 2010.





\*\* R1 = repetição 1; e R2 = repetição 2.

Figura 36 – Velocidade básica de infiltração (VIB), em relação ao tempo de infiltração no cenário 3, ponto 1 (mata ciliar), na bacia do córrego Águida, Francisco Dumont, MG, março 2010.

Segundo Cabeda (1984), citado por Pott (2001), a taxa de infiltração de água no solo é isoladamente a propriedade que melhor reflete as condições físicas do solo, sua qualidade e estabilidade estrutural, sendo um atributo eficaz para avaliação de manejo de solo.

Na mata nativa foram amostrados dois pontos e realizadas duas repetições em cada. (Figuras 32 e 33). O primeiro ponto (vereda) apresentou CI de 800,32 e 1.380,55 mm/h nas duas repetições do segundo ponto (cerrado) 1.172,31 e 810,32 mm/h, respectivamente. Na mata ciliar foi amostrado apenas um ponto e três repetições com CI de 729,0, 825,33 e 450,18 mm/h. Nos plantios de eucalipto foram amostrados dois pontos com três repetições no primeiro, sendo 330,0, 350,0 e 480,0 mm/h, e duas repetições no segundo com 396,0 e 330,0 mm/h, respectivamente.

A área de vereda é muito comum na região e se encontra sobre proteção legislativa, sendo uma área de preservação permanente. É uma área que sofre menos impacto no solo, comparado com os plantios de eucalipto, onde são utilizadas máquinas no preparo do solo, principalmente nas atividades de silvicultura e colheita, compactando sua superfície. Já a mata ciliar, se encontra em uma área de preservação ambiental (APA) destinada ao turismo ecológico, sofrendo impactos devido ao pisoteio nas trilhas.

Segundo Lima (2006), são inúmeros os fatores que influenciam o processo de infiltração, principalmente as atividades de uso da terra, que podem modificar a capacidade de infiltração dos solos por meio do manejo. O

horizonte superficial pode tornar-se impermeável por tráfego intenso, pisoteio exagerado, cultivo ininterrupto, etc. A infiltração também é influenciada pelas características do solo, assim como pela própria água (temperatura, turbidez, viscosidade, etc.). A cobertura vegetal é um dos principais fatores que podem influir sobre esta condição superficial do solo; a presença da vegetação e da camada de material orgânico (serrapilheira, *litter*) fornece proteção contra o impacto das gotas da chuva, reduzindo a compactação e a desagregação. Esta relação, descrita por Lima (2006), pode ser visualizada neste estudo, pois nos locais mais impactados pela atividade do homem menor foi a capacidade de infiltração de água no solo observada.

Os ambientes amostrados não diferiram estatisticamente entre si, comprovando a hipótese testada (Tabela 13). Em relação aos tratamentos testados, houve diferença significativa entre os plantios de eucalipto, a mata ciliar e a mata nativa, refletindo a influência de uso e manejo do solo.

Tabela 13 – Médias da capacidade de infiltração para os tratamentos mata nativa 1 (MN1), mata nativa 2 (MN2), mata ciliar (MC), eucalipto 1 (E1) e eucalipto 2 (E2), para CI, na bacia do córrego Águida, em Francisco Dumont, MG

Tratamento	Média(CI)	Teste t
E2	363,00	A
E1	386,67	a
MC	668,17	b
MN2	991,32	c
MN1	1.090,44	c

\*\* Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si ( $P > 0,05$ ) pelo Teste t..

#### 4.4.2 Avaliação do teor de umidade do solo

Os teores de umidade encontrados nos diferentes tipos de solo estudados foram de 10,57 e 12,63% em área de mata nativa, composta por cerrado, e vereda, 17,93 e 17,65% nos eucaliptos e 12,57 e 34,3% em área de mata ciliar (Figura 37).

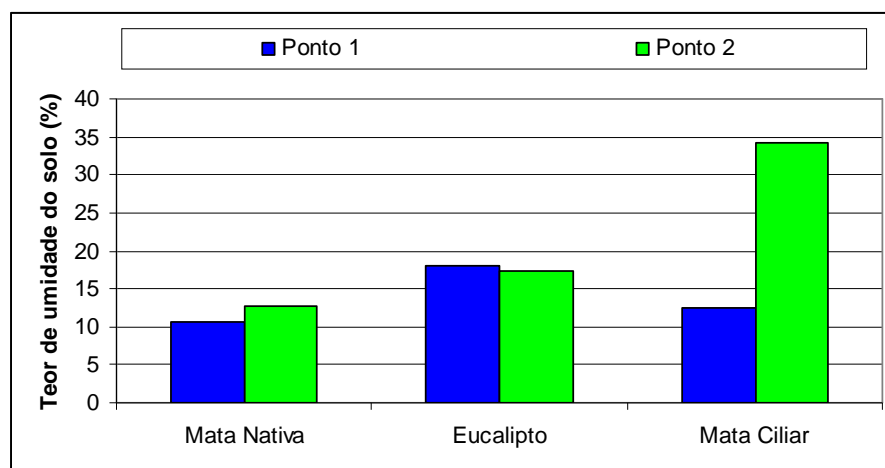


Figura 37 – Teores médios de umidade do solo nos três tipos de usos do solo estudados na bacia do córrego Águída, em Francisco Dumont, MG.

Esperava-se que houvesse uma relação das áreas com a capacidade de infiltração, teor de umidade e resistência à penetração, porém são inúmeros fatores envolvidos que influenciarão esta relação, como o tipo de solo, a cobertura vegetal, as práticas adotadas, etc. Neste trabalho não foi possível verificar a relação existente entre a capacidade de infiltração e teor de umidade do solo, porém os resultados podem ser explicados levando-se em conta outros fatores.

Os efeitos da umidade alteram-se com as características do solo e com o esforço de compactação aplicado sobre o mesmo. Se o teor de umidade aumenta em um solo argiloso, a resistência à compactação diminui, em virtude da maior lubrificação das partículas, até que se atinjam os limites plásticos inferiores e o teor de umidade próximo à capacidade de campo, onde o pico de compactação ocorre. Acima deste limite, próximo do ponto de saturação de cada tipo de solo, o aumento da umidade resulta em redução da densidade, chegando mesmo a causar a destruição da estrutura do solo.

Verifica-se que no solo do cerrado e das veredas o teor de umidade é mais baixo e a capacidade de infiltração é mais alta, isto se deve ao solo nestas áreas ser mais arenoso, promovendo maior infiltração e retendo menos umidade, e por haver menor cobertura vegetal, ficando mais expostos à radiação solar.

Nas áreas com plantios de eucalipto, em virtude da cobertura vegetal do solo e das grandes quantidades de matéria orgânica, os índices de umidades

foram mais altos enquanto a infiltração foi mais baixa, em virtude das práticas de cultivo adotadas que aumentam a compactação do solo.

Nas áreas de mata ciliar foram observadas duas situações distintas, na primeira, avaliada próximo à foz, a mata ciliar apresenta-se com vegetação de cerrado e solo pedregoso, sendo uma vegetação mais densa do que a verificada na área de cerrado, resultando um teor de umidade mais alto. Na segunda área analisada, constituída de um cerradão denso aparentando, foi observada uma grande quantidade de matéria orgânica no solo, com uma camada espessa de serrapilheira e um solo muito argiloso, resultando, assim, em um alto teor de umidade. Os testes de infiltração nesta área não foram possíveis de realizar, em virtude desta espessa camada de serrapilheira que protege o solo, o alto teor de argila, sendo difícil a infiltração de água.

Nota-se que a Mata Nativa (1, e 2) e a Mata Ciliar 1 não diferiram estatisticamente entre si, apresentando menores teores de umidade que os outros tratamentos. Isto se justifica pelo fato da cobertura vegetal nestas áreas ser menos densa que nos plantios de eucalipto; nestas áreas de cerrado e veredas ocorre maior evaporação das águas sobre na superfície do solo, por sua vez vai diminuindo a umidade no perfil do solo (Tabela 14).

Tabela 15 – Médias dos teores de umidade do solo, para os tratamentos avaliados na bacia do córrego Águída, em Francisco Dumont, MG

Tratamentos	Média	Teste t
MN2	10,56	A
MN1	10,56	A
MC1	12,56	A
E2	17,36	B
E1	17,93	B
MC2	34,30	C

\*\* Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste t.

Em relação ao eucalipto, houve diferença estatística em relação ao primeiro grupo descrito acima (MN2, MN1, MC1). Nas áreas de plantio de eucalipto, o solo apresenta maior densidade da cobertura vegetal, em virtude do espaçamento da floresta, promovendo maior concentração da umidade do solo.

A Mata Ciliar 2 é um cerradão e o solo apresenta grande aporte de serrapilheira e matéria orgânica, retendo maior umidade que os outros tratamentos.

#### 4.4.3 Avaliação da resistência mecânica do solo

A resistência mecânica (RMP) do solo foi medida em kgf e os valores transformados em unidade de pressão MPa. Os valores encontrados são visualizados na Figura 38, onde os plantios de eucalipto apresentaram maior resistência com valores de 0,83 e 1,00 MPa; na Mata Nativa 1, com 0,71 e 0,64 MPa, na Mata Nativa 2; e 0,9 e 0,09 MPa, na Mata Ciliar.

No primeiro instante nota-se que para maiores teores de água no solo obteve-se menor resistência do solo em unidades de pressão, porém a relação não é verdadeira em todos os momentos, em virtude da influência de outros fatores externos. Verifica-se que essa relação é inversa para os plantios de eucalipto (Figura 38).

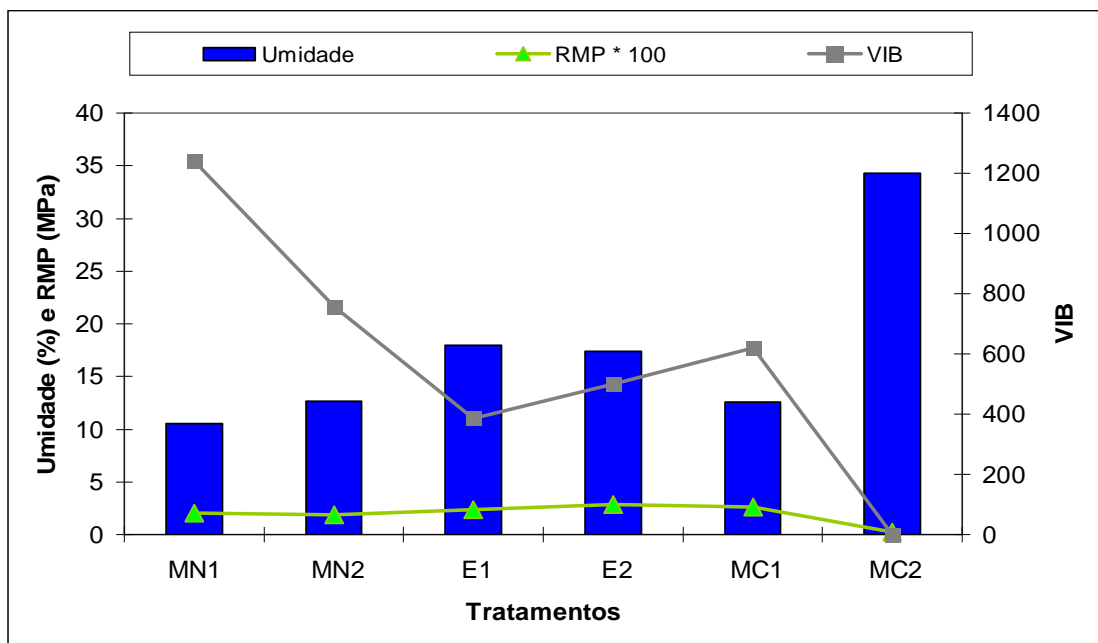


Figura 38 – Visualização gráfica dos valores de VIB (mm/h), umidade do solo (%) e RMP (MPa), nos cenários estudados na bacia do córrego Águda, em Francisco Dumont, MG.

A avaliação da resistência mecânica à penetração é importante por verificar o grau de compactação do solo, de acordo com Tormena e Roloff (1996), este é um dos atributos físicos do solo que mais influencia o crescimento de raízes e serve como base da avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o ambiente radicular.

Os valores apresentaram-se baixos, sendo menores que 1,0 MPa, demonstrando baixa compactação do solo (Tabela 15). De acordo com Hamza e Anderson (2005), os valores de resistência mecânica à penetração do solo, entre 2 e 3 MPa, são considerados limitantes ao desenvolvimento radicular de várias culturas.

Tabela 15 – Médias da resistência mecânica do solo (Mpa), para os seis tratamentos na bacia do córrego Águida, em Francisco Dumont, MG

Tratamento	Média	Teste t
MC2	0,000942	a
MN2	0,006560	b
MN1	0,007202	c
E1	0,008424	c
MC	0,009201	d
E2	0,010148	e

\*\* Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste t.

Segundo Daniel *et al.* (1995), não somente o sistema de utilização das máquinas no campo, mas também as características físicas do solo, o teor de água e a presença de resíduos culturais, são fatores importantes ao entendimento do processo de compactação. As propriedades físicas e mecânicas dos solos os tornam mais ou menos propensos à compactação, influenciando o desenvolvimento das culturas.

Solos que apresentam maior quantidade de matéria orgânica possuem maior grau de elasticidade do que as partículas minerais do solo e proporcionam maior agregação, por meio da formação e estabilização de agregados, agindo de maneira conjunta com a estrutura do solo no aumento da resistência mecânica à compactação (SILVA *et al.*, 2000).

Observa-se que praticamente todos os tratamentos diferem entre si, isto ocorre em virtude dos diferentes tipos de solo, estrutura do solo e cobertura vegetal.

#### 4.5 Parâmetros físico-químicos da água

##### 4.5.1 Análise média dos dados mensais

De acordo com os resultados encontrados durante o período de avaliação das análises física e química da água, percebe-se uma diferença significativa em alguns parâmetros e entre os valores nos pontos de coleta.

A condutividade elétrica é um parâmetro que indica a quantidade de sais existentes na água, ou seja, está relacionada com a concentração total de íons, inferindo também na qualidade dos solos e do tipo de rocha existente na região.

Na Figura 39 observa-se que existe influência quanto à localização das coletas realizadas; o ponto 1, na foz da bacia, recebe maior quantidade de águas provindas de escoamento superficial e escoamento direto, aumentando, assim, a concentração de íons em solução (Tabela 16).

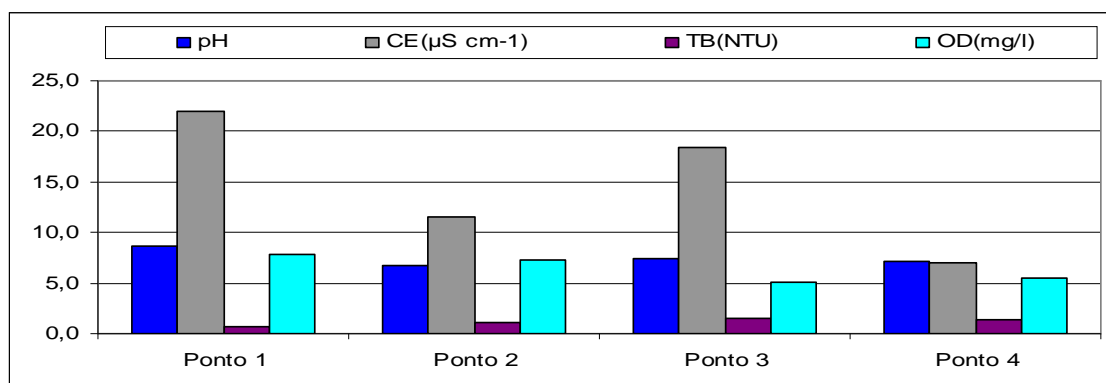


Figura 39 – Valores de pH, CE, TB e OD para os quatro pontos de medição. Bacia hidrográfica do córrego Águída, Francisco Dumont, MG.

Foi verificada nos pontos três e quatro, próximo ao local de medição, uma grande área erodida, que está proporcionando assoreamento no córrego e eutrofização de suas águas.

Tabela 16 – Valores médios dos parâmetros físicos da água: pH, condutividade elétrica (CE), turbidez (TB) e oxigênio dissolvido (OD), nos quatro pontos de medição, no período de outubro de 2009 a julho de 2010, na bacia em estudo

Parâmetro	Média			
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
pH	8,6	6,7	7,5	7,2
CE (Ms/cm)	22,0	11,5	18,4	7,0
TB (NTU)	0,7	1,1	1,5	1,3
OD (MG/l)	7,8	7,3	5,1	5,6

A legislação não determina valores de concentração para classificar as águas em relação ao parâmetro de condutividade elétrica (Tabela 17), mas de acordo com Pinheiro (2008), valores superiores a 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  podem indicar a presença de esgoto doméstico, insumos agrícolas e características corrosivas da água. Segundo Arcova (1999), valores inferiores a 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indicam solos pobres com presença de rochas de difícil intemperização.

Tabela 17 – Médias dos valores de condutividade elétrica para a bacia do córrego Águia, em Francisco Dumont, MG

Local	Média	Teste t
2	3,04	a
4	6,56	b
3	10,65	b
1	26,45	c

\*\* Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste t.

O teste t mostrou-se significativo para os tratamentos de condutividade elétrica; nota-se que o valor de turbidez é maior na saída da bacia, seguindo nas duas nascentes e mais baixo no ponto intermediário.

Os valores de pH, de acordo com o CONAMA nº 357/2005, enquadram-se na classe 1, com valores entre 6,5 e 9,0. De acordo com McNeely (1979) e Canada (1994), a medida de pH indica o balanço entre ácidos e bases na água e a medida da concentração de íons de hidrogênio na solução, sendo a maior influência sobre o pH das águas, exercida pelas características geológicas da bacia hidrográfica.



Canada (1994) relata também que é recomendado que os efluentes não devam causar no corpo receptor oscilação maior do que 0,5 unidades de pH para não afetar a vida aquática.

Seguindo a metodologia utilizada para o parâmetro de condutividade elétrica, foram realizados os teste t, descritos nas Tabelas 18, 19 e 20, com finalidade de comparar os resultados para os diferentes pontos amostrados.

Tabela 18 – Médias dos valores de pH para a bacia do córrego Águia, em Francisco Dumont, MG

Ponto de Medição	Média	Teste t
2	6,82	a
4	7,28	a
3	7,57	b
1	8,54	c

\*\* Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste t.

Tabela 19 – Médias dos valores de turbidez para a bacia do córrego Águia, em Francisco Dumont, MG

Ponto de Medição	Média	Teste t
1	0,80	a
4	1,26	a
2	1,07	a
3	1,43	a

Tabela 20 – Médias dos valores de oxigênio dissolvido para a bacia do córrego Águia, em Francisco Dumont, MG

Ponto de Medição	Média	Teste t
3	5,08	a
4	5,56	a
2	7,26	b
1	7,84	b

\*\* Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste t.

O pH apresentou comportamento muito semelhante ao oxigênio dissolvido. Observa-se que existe uma tendência, pois as médias seguiram o mesmo padrão do OD, com valores mais próximos à foz da bacia, seguido das nascentes e mais baixo no ponto intermediário.

Os resultados em relação à turbidez foram enquadrados na classe 1, ou seja, todas menores que 10 NTU. Os valores apresentaram-se muito baixos, denotando a baixa presença de sólidos em suspensão nos corpos d'água da bacia.

O parâmetro turbidez indica presença de matéria em suspensão na água, como argila, silte, substâncias orgânicas finamente divididas, organismos microscópicos e outras partículas. De acordo com a resolução do CONAMA nº 357/2005, para o enquadramento na classe 1, é determinado até dez unidades nefelométricas de turbidez (NTU). Para British e Columbia (1998), a turbidez reportada em NTU sendo citada como limite: 1 NTU (proteção a saúde) e 5 NTU (para fins estéticos). A detecção de sólidos suspensos ou dissolvidos indica a possibilidade de turvação da água com o impedimento da penetração da luz, influenciando todo o processo biótico.

Os testes realizados para efeito comparativo do efeito da turbidez nos corpos d'água, por meio do teste t, não apresentaram significância a 5% de probabilidade (Tabela 19).

Os valores encontrados para o oxigênio dissolvido em relação à classificação do CONAMA nº 357/2005, se enquadram também na classe 1, com valores superiores a 5 mg/L, porém estes valores se apresentaram muito próximos ao limite estipulado, podendo indicar algum impacto ambiental, como a eutrofização das águas, que têm sido verificada nestas áreas.

Comparando os dois locais próximos às nascentes (ponto 3 e 4) com os outros dois pontos, nota-se uma diferença entre estes, sendo os valores próximos às nascentes, com taxa de oxigênio dissolvido mais baixo. As águas sofrem maior oxigenação nos pontos mais próximos à foz, refletindo essa relação nos resultados obtidos (Tabela 20).

O oxigênio é um elemento indispensável aos organismos aeróbios; a água, em condições normais contém oxigênio dissolvido, cujo teor de saturação depende da altitude e da temperatura. A presença de matéria orgânica nos recursos hídricos faz com que diminua os teores de oxigênio nas águas, devido

ao fato de sua decomposição por bactérias aeróbias ser acompanhada pelo consumo e redução do oxigênio. Dependendo da capacidade de autodepuração do manancial, o teor de oxigênio dissolvido pode alcançar valores muito baixos.

O teste t foi significativo, comprovando a tendência esperada, sendo os pontos mais próximos à foz estatisticamente deferentes dos pontos amostrados nas nascentes.

#### 4.5.2 Análise temporal dos dados mensais

Outra forma de avaliar os resultados é por meio da análise temporal em relação à precipitação na bacia, ou seja, separando os resultados entre os dois períodos do ano em relação às chuvas, constituindo de um período de estiagem ou período seco e o outro num período chuvoso ou período das chuvas.

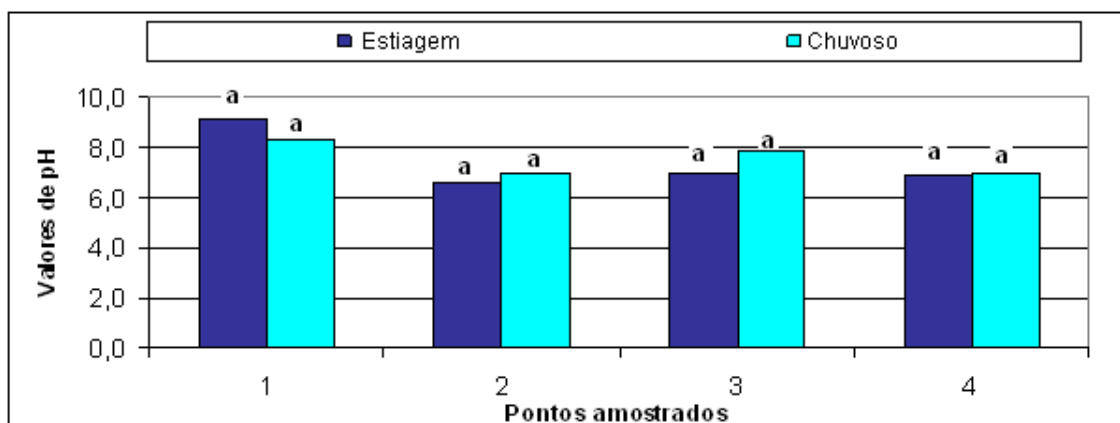
Esta avaliação também é interessante pelo fato das chuvas interferirem na qualidade da água, como, por exemplo, aumentando o escoamento superficial, carregando partículas sólidas, sais, onde se espera a alteração nos teores de condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, turbidez e pH.

Na Tabela 21 estão apresentados os valores médios dos parâmetros avaliados em relação ao período de estiagem e de chuvas, no período de outubro de 2009 a julho de 2010.

Tabela 21 – Parâmetros físicos da qualidade da água, em relação aos períodos de seca e chuvas, entre outubro de 2009 a julho de 2010

Parâmetro	Ponto 1		Ponto 2		Ponto 3		Ponto 4	
	Estiagem	Chuvas	Estiagem	Chuvas	Estiagem	Chuvas	Estiagem	Chuvas
pH	9,1	8,3	6,6	7,0	7,0	7,8	6,9	7,0
CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	9,9	33,6	4,4	13,7	9,5	22,8	15,3	13,7
TB (NTU)	0,5	0,9	2,2	0,5	0,2	1,9	1,9	0,5
OD (mg/l)	8,1	7,7	7,1	7,8	4,3	5,6	5,7	7,8

Para os valores de pH encontrados não houve diferença significativa entre os períodos de estiagem e chuva na bacia, como pode ser visualizado na Figura 40. No período de chuva esperava-se que houvesse algumas alterações em virtude da maior deposição de sedimentos nos cursos d'água, levando a uma variação do pH nestas épocas.

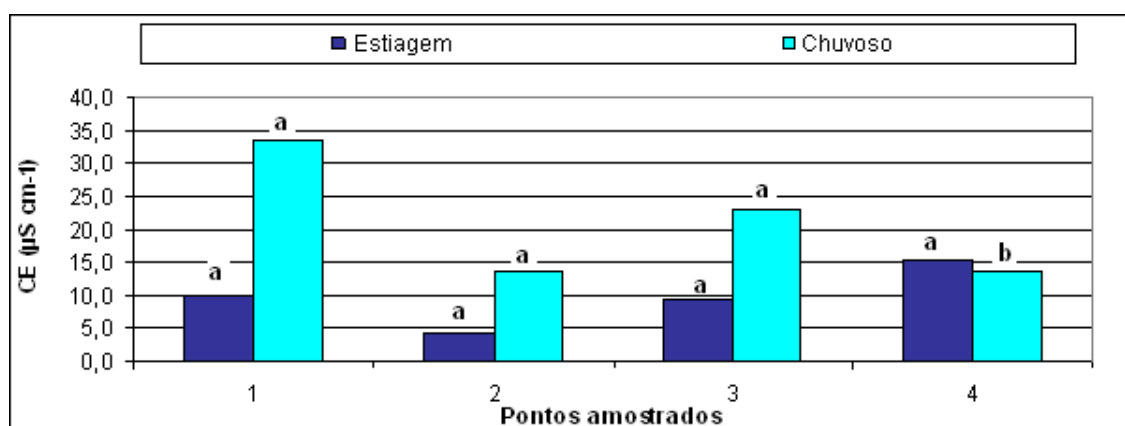


\*\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste t.

Figura 40 – Valores médios de pH entre o período de chuva e a estiagem, na bacia do córrego Águída, em Francisco Dumont, MG.

Percebe-se uma grande variação da condutividade elétrica entre os dois períodos avaliados (Figura 40); isto se deve ao fato da precipitação poder carrear grande quantidade de sais aos cursos d'água, aumentando, assim, seus valores na época chuvosa. Porém, a única diferença significativa verificada entre os períodos de chuva e a estiagem foi no ponto 4. Isto se deve à grande heterogeneidade dos valores amostrados nos dez meses de estudo.

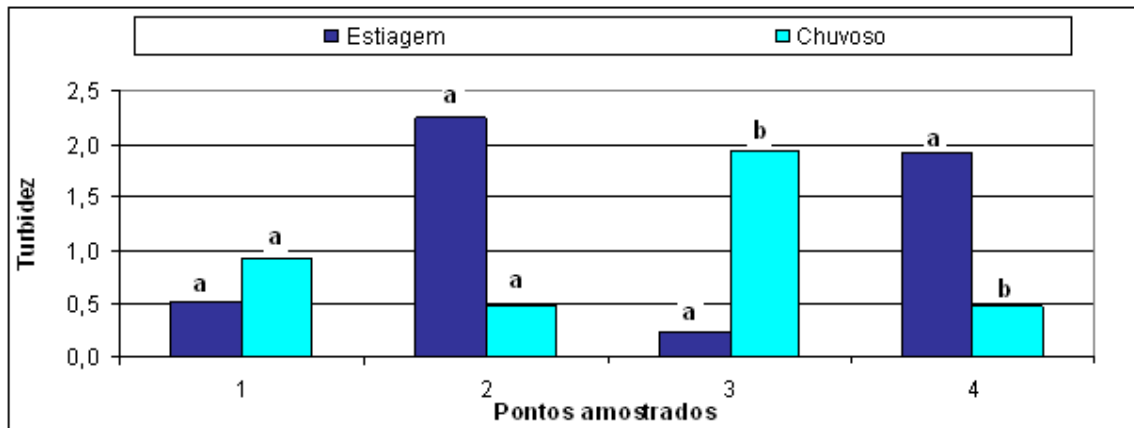
O ponto 4, por ter maior proximidade com a nascente, não apresentou essa relação como nos outros pontos, por não receber muitas águas de escoamento, que é a principal fonte do aumento de sais nas águas.



\*\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste t.

Figura 41 – Valores médios de CE entre o período de chuva e estiagem, na bacia do córrego Águída, em Francisco Dumont, MG.

A turbidez apresentou uma grande diferença entre os pontos em relação aos dois períodos discutidos, porém o teste foi significativo apenas para os pontos 3 e 4 (Figura 42). Esperava-se que nas chuvas aumentassem os valores de turbidez nas águas, pelo fato do carreamento de partículas e maior movimentação das águas, etc.



\*\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ( $P > 0,05$ ), pelo teste t.

Figura 42 – Valores médios de turbidez entre o período de chuva e estiagem, na bacia do córrego Águida, em Francisco Dumont, MG.

O oxigênio dissolvido apresentou um aumento na estação chuvosa em todos os pontos amostrados, como pode ser visto na Figura 43. Essa relação permite inferir que nessas épocas com aumento e maior movimentação da água provoca uma maior oxigenação destas.

Pelo teste t, não houve nenhuma diferença significativa, a 5% de probabilidade, entre os períodos de chuva e estiagem na bacia em estudo.

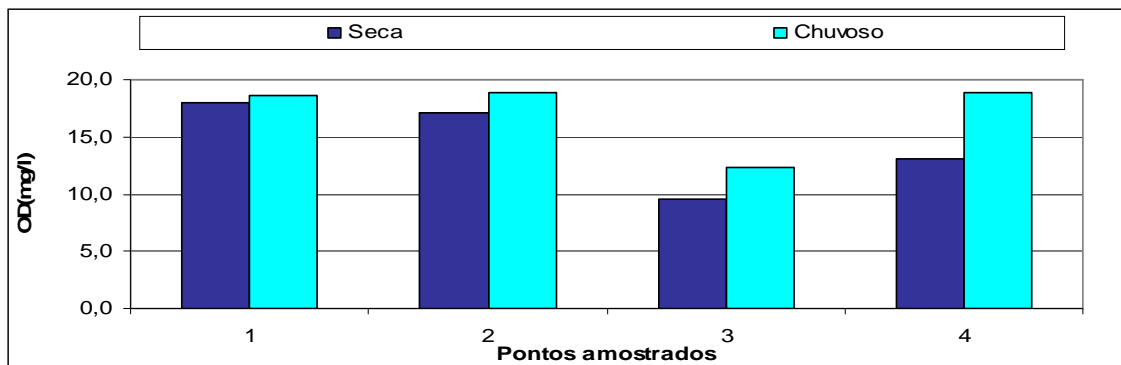


Figura 43 – Relação dos valores de oxigênio dissolvido entre o período de chuva e seca, na bacia do córrego Águida, em Francisco Dumont, MG.

#### 4.5.3 Enquadramento do corpo d'água

As análises mensais das águas do córrego Águida não foram suficientes para avaliar a sua qualidade, em virtude do número restrito de parâmetros avaliados.

Para enquadramento dos corpos d'água, foi realizada uma coleta pontual de amostra da água para avaliação dos parâmetros físico-químicos, pela empresa Ecolabor, no dia 5 de agosto de 2009, às 10h50 da manhã, nas coordenadas de 581725,87 m E, 80804498, 85 m S, no córrego Águida, a uma temperatura de 22 °C.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 20/86,

“o enquadramento dos corpos d'água deve considerar não necessariamente seu estado atual, mas os níveis de qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade e garantir os usos concebidos para os recursos hídricos”.

Os parâmetros avaliados, seguidos dos resultados, são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Parâmetros físico-químicos da água da bacia do córrego Águida, no município de Francisco Dumont, MG, agosto de 2009

Parâmetros	Unidades	LD	Resultados
DBO 5 dias à 20 °C	mg/L	1,20	3,00
Fipronil	µg/L	500,00	n.d.
orto-fosfato	mg/L	0,00	0,00
OD - medido em campo	mg/L	0,10	3,60
Sólidos totais	mg/L	3,00	8,00
Sufluramida	µg/L	500,00	n.d.
Nitratos	mg/L	0,00	0,11
Glifosfato	mg/L	0,00	n.d.
pH – água	-	-	5,09
Turbidez	UT	0,20	0,30
Coliformes fecais	NMP/100mL	n.d.	n.d.
Cloro total	PPM	0,1 g/L	n.d.
Cloro livre	PPM	0,1 g/L	n.d.

LD = limite de detecção do método; e n.d. = não detectado.

Para classificação dos corpos de água, segundo a Resolução nº 357, proposta por CONAMA (2005), o enquadramento será realizado de acordo com o uso preponderante das águas. Dessa forma, os parâmetros de qualidade de água analisados na bacia do córrego Águida foram comparados com os limites ditados pelos padrões de Classe 1, que determina:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em terras Indígenas.

Os padrões de qualidade determinados na resolução estabelecem limites para diferentes substâncias em cada classe, sendo que a resolução abrange um número superior de parâmetros além daqueles analisados neste trabalho. Outra determinação na Resolução nº 357, em que a violação de apenas um parâmetro é suficiente para que o curso d'água não possa ser enquadrado em classes de maior qualidade.

Os resultados encontrados não enquadram os corpos d'água na classe 1, em virtude dos parâmetros de oxigênio dissolvido e do pH que ultrapassam o limite estabelecido na resolução.

Estes dois parâmetros nas análises mensais realizadas desde outubro de 2009, não ultrapassaram o limite de classe estabelecida, porém como já mencionado, a violação de uma amostra é suficiente para o não enquadramento desta.

O oxigênio dissolvido pode estar sofrendo interferência, em virtude do alto grau de eutrofização e assoreamento das águas próximo às nascentes. Desta forma, é necessário que se tome providências em relação a estes parâmetros, visto que a população utiliza a água para consumo sem que ela seja tratada.

#### 4.6 Balanço hídrico

Segundo Oki (2002), quando se considera o ano hídrico, o armazenamento de água no solo tende a 0, simplificando a equação, de modo que a diferença entre a precipitação e o deflúvio é uma estimativa razoável da evapotranspiração. Na Tabela 23, são visualizados os valores da evapotranspiração, precipitação e deflúvio para o período em estudo da bacia.

Tabela 23 – Dados médios mensais para o período de 2007 a 2010, de precipitação, vazão, deflúvio e evapotranspiração, na Bacia do córrego Águida, em Francisco Dumont, MG

2007-2010 (Meses)	Precipitação (mm)	Vazão (L/s)	Deflúvio (mm)	Evapotranspiração		Excesso (mm)	Déficit (mm)
				mm	%		
Jan.	141,1	335,97	49,94	91,13	64,60	49,94	0,00
Fev.	36,2	202,70	30,13	6,10	16,84	30,13	0,00
Mar.	149,7	319,01	47,42	102,28	68,32	47,42	0,00
Abr.	41,0	298,61	44,39	-3,42	-8,35	0,00	3,42
Mai	10,0	198,15	29,45	-19,49	-195,53	0,00	19,49
Jun.	0,0	218,05	32,41	-32,41	0,00	0,00	32,41
Jul.	0,0	146,30	21,75	-21,75	0,00	0,00	21,75
Ago.	0,0	107,70	16,01	-16,01	0,00	0,00	16,01
Set.	45,7	68,27	10,15	35,59	77,81	10,15	0,00
Out.	101,2	124,95	18,57	82,66	81,65	18,57	0,00
Nov.	100,1	163,20	24,26	75,87	75,77	24,26	0,00
Dez.	181,4	365,91	54,39	127,04	70,02	54,39	0,00

A quantidade de água que a floresta devolve para a atmosfera pode representar uma grande diferença na produção de água pela bacia. De acordo com Studart (2003), cerca de 70% da quantidade da água precipitada sobre a superfície terrestre retornam à atmosfera pelos efeitos da transpiração, interceptação e evaporação direta da água do solo. Neste trabalho foi encontrado o valor máximo de 81,65% ou 82,66 mm de água evapotranspirada.



Nota-se que nos meses que apresentaram maior deflúvio na bacia são os mesmos meses com maiores chuvas na região, indicando a influência da precipitação na dinâmica das águas da bacia.

Foi observada uma deficiência hídrica para os meses de abril a agosto, variando de 3,42 a 32,41 mm, ocorrendo a reposição de água no solo nos meses seguintes (Figura 44).

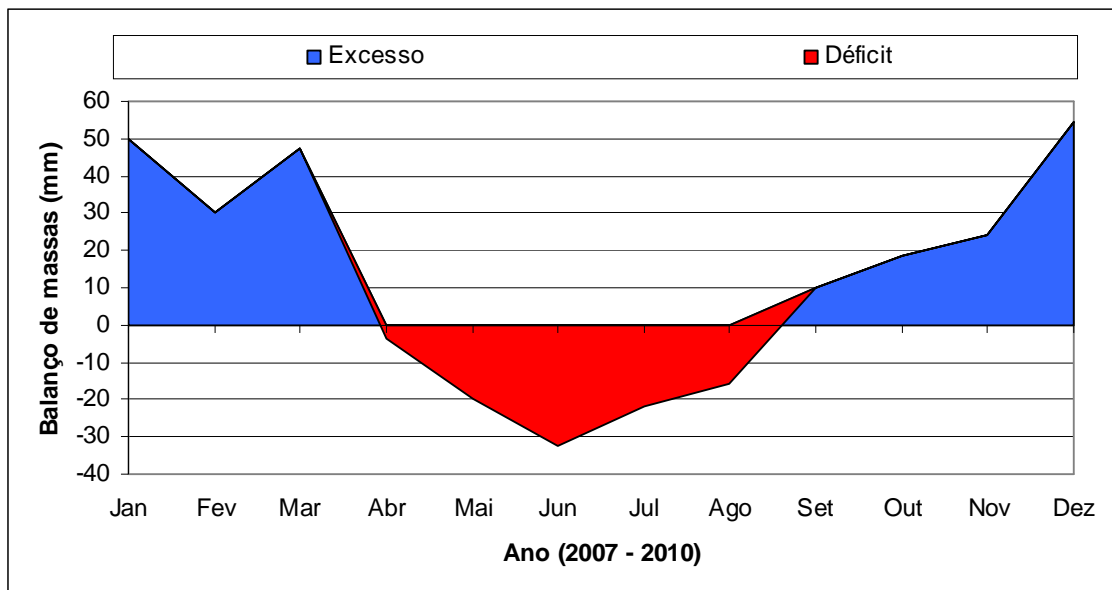


Figura 44 – Balanço hídrico para a bacia do córrego Águida, para o período de 2007 a 2010, em Francisco Dumont, MG.

## 5 CONCLUSÃO

Pelas análises realizadas no estudo da bacia hidrográfica do córrego Águida concluiu-se que os plantios de eucalipto não comprometem a hidrologia da bacia, visto que foi verificada, durante os três anos de estudo, que a vazão mínima não diminuiu, mesmo havendo neste período uma diminuição da precipitação na região.

As nascentes que secaram no ano de 2010 não apresentaram relação com as atividades praticadas na bacia, mas, sim, em virtude do longo período de estiagem e a diminuição da precipitação na região.

Os testes de infiltração demonstram que, mesmo que nas áreas de plantios tenham apresentado uma capacidade de infiltração inferior às encontradas nas áreas de cerrado, veredas e mata ciliar, os índices são altos, comprovando que as atividades silviculturais não prejudicaram e, ou, impactaram os solos dessas áreas.

Em relação à qualidade da água, de acordo com os parâmetros avaliados, a água não possui padrão para consumo, ou seja, não se enquadra na classe 1, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 8, n. 21, p. 46-58, 2007.

ARCOVA, F. C. S.; CESAR, S. F.; CICCIO, V. Qualidade da água em microbacias recobertas por floresta de Mata Atlântica, Cunha, São Paulo. **Revista do Instituto Florestal de São Paulo**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 185-96, 1998.

AREND, J. L. Infiltration as affected by the forest floor. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 6, p. 430-435, 1942.

BACELLAR, L. A. P. **O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas**. Universidade Federal de Ouro Preto, MG. 2005. Disponível em: <<http://www.degeo.ufop.br/geobr>>. Acesso em: 19 abr. 2009.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.

BARBERA-CASTILLO, N. M. **Diversidad de especies de hormigas em sistemas agroforestales contrastantes de café, em Turrialba, Costa Rica**. 2001. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Agronómico, 2001.

BOLLMANN, H. A.; CARNEIRO, C.; PEGORINI, E. S. Qualidade da água e dinâmica de nutrientes. In: ANDREOLI, C. V. (Org.). **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: SANEPAR, 2005. p. 213-269.

BRACELPA, 2009. **Setor de celulose e papel do Brasil é referência mundial**. Associação Brasileira de Papel e Celulose, São Paulo, 2009. Disponível em: <[http://www.bracelpa.org.br/bra/releases\\_bracelpa/Florestas\\_Plantadas\\_sao\\_referencia\\_mundial\\_02%2009%20\\_2\\_.pdf](http://www.bracelpa.org.br/bra/releases_bracelpa/Florestas_Plantadas_sao_referencia_mundial_02%2009%20_2_.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2010.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2000.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986. **Estabelece a classificação de águas doces, salobras e salinas**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1986.

BUCHIANERI, V. C. **Geração da serie histórica de vazão por meio de Modelo Smap**: subsidio para o plano de manejo da bacia do Rio Grande de Ubatuba. 2004. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. Apostila: hidrologia – escoamento superficial. Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2006. p. 95-114. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>>. Acesso em: 31 ago.2010.

CANADA, C. B. S. **A política da água mineral e avaliação do indicador energético-ambiental**: uma proposta de política pública para o Município de Poá-SP. Campinas. 2006. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Recursos Hídricos, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2006.

CANADA (New Brunswick Water/Economy Agreement). **Monitoring surface water quality**: A guide for citizens, students and communities in Atlantic Canada. Canada: New Brunswick, Environment Canada, 1994. 76 p.

CALDER, I. R. **The blue revolution**: land use and integrated water resources management. London: Earthscan, 1999. 192 p.

CASTRO, P. S.; VALENTE, O. F; COELHO, D. T; RAMALHO, R. S. Interceptação da chuva por mata natural secundária na região de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, Minas Gerais, v. 7, n. 1, p. 76-89, 1983.

CHAVES, M. A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a bacia amazônica**. 2002. 113 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

CHENG *et al.* Influences of forests on water flows from headwater watersheds in Taiwan. **Forest Ecology and Management**, v. 165, p. 11-28, 2002.

COUTO, L.; DUBÉ, F. The status and practice of forestry in Brazil at the beginning of the 21st century: A review. **The Forestry Chronicle**, Ottawa v. 77, n. 5 p. 817-830, 2001.

COSSALTER, C.; PYE SMITH, C. Fast-wood forest: myths and realities. Jakarta, **Forest Perspectives**, CIFOR, 2003. 50 p.

DANIEL, L. A.; LUCARELLI, J. R.; CARVALHO, J. F. Efeito do método de preparo do solo na formação e localização de camadas compactadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBEA/UFV, 1995. p. 370.

DIAS, H. C. T. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, notas de aula, Hidrologia e Manejo de Bacias Hidrográficas, Viçosa, MG, 2009.

D.N.A.E.E. **Normas e recomendações hidrológicas** – Fluviometria. Ministério de Minas e Energia, 1970. 94 p.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, A. A.; PAULA, R. C. P. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego rico, São Paulo, Brasil. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 115-125, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e de rede de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba, SP**. 1968. 151 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90 p.

FUJIEDA, M.; KUDOH, T.; CICCIO, V.; CARVALHO, J. L. Hydrological processes at two subtropical forest catchments; the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. **Journal of Hydrology**, n. 196, p. 26-46, 1997.

GRAY *et al.* Infiltration and de physics of flow through porous media. In: GRAY, D. M. (Ed.). **Handbook of the principles of hydrology**. Water Information Center, New York, 1973. p. 5.1 a 5.58.

HAMZA, M. A.; Anderson, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Till. Res.**, v. 82, p. 121-145, 2005.

HIBBERT, A. R. Forest treatment effects on water yield. In: Sopper e Lull (Ed.). International Symposium on Forest Hydrology. 1967. **Articles...** Pergamon Press, 1967, p. 527-543.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bull. Geol. Soc. Am.**, v. 56, p. 275-370, 1945.

HUTCHINSON, M. F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In: Third International Symposium on spatial data Handling. **Articles...** Sidney Columbus, Ohio: International Geographical Union, 1988.

ISIK, K.; YALTIRIK, F.; AKESSEN, A. The interrelationship of forests, biological diversity and the maintenance of natural resources. In: Eleventh World Forestry Congress: Forests, biological diversity and the maintenance of the natural heritage, Unasylva. **International Journal of Forestry and Forest Industries**, v. 48, n. 190-191, FAO, 1997.

KOBIYAMA, M. Ruralização na gestão de recursos hídricos em área urbana. **Revista OESP Construção**, São Paulo, v. 5, n. 32, p.112-117, 2000.

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 Guanhões-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 455-62, 1997.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**: Apostila, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz". Departamento de Ciências Florestais Piracicaba, São Paulo, 2008.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. **As florestas plantadas e a água**: Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. 1. ed. São Carlos: Rima, 2006. 218 p.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Monitoramento de bacias hidrográficas em áreas florestadas. In: Workshop sobre monitoramento ambiental em áreas florestadas, 1., PIRACICABA, 1996. **Memória**, v. 10, n. 29, p. 11-21, 1996 (Série Técnica IPEF).

McNEELY, R. N.; NEIMANIS, V. P.; DWYER, L. **Water quality sourcebook**: A guide to water quality parameters. Ottawa: Environment Canada, 1979. 90 p.

MOLCHANOV, A. A. **Hidrologia florestal**. Fundação Calouste Gulbankian. Lisboa, 1963. 413 p.

MUSCHLER, R. G. **Árboles en cafetales**. Turrialba, Costa Rica: Catie/GTZ, 2000.

OLERIANO, E. S.; DIAS, H. C. T. A dinâmica da água em microbacias hidrográficas reflorestadas com eucalipto. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: O EUCALIPTO E O CICLO HIDROLÓGICO, 1., 2007. Taubaté. **Anais...** Taubaté: IPABHi, 2007. P. 215-222.

OKI, V. K. **Impactos da colheita de *Pinus taeda* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e a ciclagem de nutrientes em microbacias.** 2002. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PIERCE, R. S. Evidence of overland flow on forest watershed. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST HYDROLOGY. **Article...** Pergamon Press, 1967. p. 247-254.

POTT, C. A. **Determinação da velocidade de infiltração básica de água no solo por meio de infiltrômetros de aspersão, de pressão e de tensão, em três solos do estado de São Paulo.** 2001. 77 f. Dissertação (mestrado) – Instituto Agrônomo, Campinas, São Paulo, 2001.

POGGIANI, F.; STAPE, J. L.; GONÇALVES, J. L. M. Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais. **Memória**, v. 12, n. 31, p. 33-44, abr. 1998 (Série Técnica IPEF).

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**, n. 61, p. 144-159, 2002. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr61/cap13.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2009.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas.** Editora Manole, 1. ed. São Paulo, 1990. 188 p.

ROCHA, J. S. M. **Manual de manejo Integrado de bacias hidrográficas.** 2. ed. Santa Maria: UFSM, 1991. 1981 p.

SANTANA, D. P. **Manejo integrado de bacias hidrográficas.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SILVA, E. D. **A subfamília Papilionoideae (Leguminosae Adans.) na Serra do Cabral, Minas Gerais.** 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 5, p. 795-801, 2000.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual.** Washington-DC: United States Government Print Office, 1993. 437 p. (Handbook 18).

StatSoft, Inc. (2004). **Statistica** (data analysis software system), version 7. Disponível em: <<http://www.statsoft.com>>.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Trans. Am. Geophys. Un.**, v. 38, p. 913-920, 1957.

SWANK, W. T.; MINER, N. H. Conversion of hardwood-covered watersheds to White Pine reduces water yield. **Water Resources Research**, v. 4, p. 947-954, 1968.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões, MG**. 2005. 69 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 333-339, 1996.

VALERI, S. V.; POLITANO, W.; SENO, K. C. A.; BARRETO, A. L. N. M. **Manejo e recuperação florestal: legislação, uso da água e sistemas agroflorestais**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2003. 180 p.

VERTESSY, R. A.; WATSON, F. G. R.; O'SULLIVAN, S. K. Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests. **Forest Ecology and Management**, v. 143, p. 13-26, 2001.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WISLER, C. O.; BRATER, E. F. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: Centro de Publicações Técnicas da Aliança, 1964. 484 p.

WALLING, D. E. Water in the catchment ecosystem. In: Câmara. **Critérios e indicadores para monitoramento hidrológico de florestas plantadas**. Dissertação (Mestrado). São Carlos, 2004.