

KELLY CRISTINA TONELLO

**ANÁLISE HIDROAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DA CACHOEIRA
DAS POMBAS, GUANHÃES, MG**

Tese 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
2005

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

T

T664a
2005

Tonello, Kelly Cristina, 1979-
Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da
Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG / Kelly Cristina
Tonello. – Viçosa : UFV, 2005.
xiv, 69f. : il. ; 29cm.

Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

1. Florestas - Conservação. 2. Geomorfologia. 3. Bacias
Hidrográficas - Aspectos ambientais. 4. Água - Conserva-
ção. 5. Conservação da natureza. I. Universidade Federal
de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 634.9164

KELLY CRISTINA TONELLO

**ANÁLISE HIDROAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DA CACHOEIRA
DAS POMBAS, GUANHÃES, MG**

Tese 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: 22 de fevereiro de 2005

Prof. Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro
(Conselheiro)

Prof. Agostinho Lopes de Souza
(Conselheiro)

Prof. Elias Silva

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho

Prof. Herly Carlos Teixeira Dias
(Orientador)

A Deus.

Aos Anjos.

Aos meus pais, João e Maria.

Ao meu irmão, Robson.

Ao meu amor, Henrique.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo amor, dedicação e confiança; por todos os sacrifícios; e pela pessoa que sou hoje.

Ao meu namorado Henrique, pelo carinho, estímulo, dedicação, companheirismo, e presença constante em todos os momentos.

Ao meu irmão Robson, futuro Nutricionista, pelas palavras positivas, paciência e solidariedade na divisão de trabalho quando do uso do nosso computador.

Ao Prof. Herly Carlos Teixeira Dias, pela valiosa orientação e grandiosa dedicação em todos os momentos acadêmicos, pela amizade e confiança.

Ao professor Elias Silva, pela confiança durante toda a minha jornada acadêmica, pelos valiosos ensinamentos e estímulos.

Aos professores Agostinho Lopes de Souza, Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro e Elpídio Inácio Fernandes Filho, pelos esclarecimentos e pelo pronto atendimento.

À CENIBRA S.A., por todo apoio, fornecimento de dados e informações essenciais para o andamento deste trabalho, em especial ao Antônio Claret, Mary Santana e aos Engenheiros Deuseles João Firme e Fernando Palha Leite. Também ao pessoal de Guanhães e do Clube Campestre Cachoeira das Pombas: Fátima, Décio, Adriano, Jamir, Sena, Agostinho e Dona Maria, pela atenção dispensada em todas as nossas visitas.

Aos amigos sempre presentes, Dalton, Heloisa, Rodrigo, Thiago, Tigrão, Hygor, Roberto, Guilherme, Fernanda e Felipe.

Aos amigos da Equipe de Pesquisa e Extensão em Hidrologia Florestal – EPEHF, Ana Paula, Christiany, José Carlos e Marcelo, pela troca de conhecimentos, dedicação e esforço na coleta de dados e desenvolvimento de atividades.

Aos Engenheiros Agrimensores, Ronaldo Medeiros dos Santos e Ângelo Marcos Silva, pelo conhecimento do *software* Hidrodata a mim repassado e ajuda no processamento dos dados.

Aos amigos que, embora distantes, sempre estiveram em contato: Camilla, Milena, Renato, Pedro, André e Alexandre (*in memoriam*).

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

À Ritinha, Frederico, Chiquinho, Jamile, Rita, Imaculada, Noêmia, Rose e Tadeu, pela competência e palavras de amizade. Também aos funcionários da biblioteca da SIF, José Mauro, Chiquinho e Miguel, pela simpatia e dedicação no desenvolvimento de seu trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), em especial ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade de realizar o Curso de Mestrado em Ciência Florestal.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro concedido durante parte do desenvolvimento da pesquisa.

A Deus.

Aos anjos.

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

BIOGRAFIA

KELLY CRISTINA TONELLO, filha de João Carlos Tonello e Maria José Indalécio Tonello, nasceu aos 13 de novembro de 1979, na cidade de Valinhos, Estado de São Paulo.

Em 1998, ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais, graduando-se em março de 2003.

Em março de 2003, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, na área de Hidrologia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo os requisitos indispensáveis para obtenção do título de *Magister Scientiae* no segundo semestre de 2004.

CONTEÚDO

LISTA DE QUADROS	VIII
LISTA DE FIGURAS	X
RESUMO.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5

CAPÍTULO 1. MORFOMETRIA DA BACIA HDROGRÁFICA DA CACHOEIRA DAS POMBAS, GUANHÃES, MG

RESUMO.....	7
1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1. Caracterização da área de estudo	13
2.2. Morfometria da bacia e sub-bacias hidrográficas	14
2.2.1. Plataforma de trabalho e base de dados	14
2.2.2. Características morfométricas	16
2.2.2.1. Área de drenagem e Perímetro	18
2.2.2.2. Comprimento total dos cursos d'água.....	19
2.2.2.3. Densidade de Drenagem	19
2.2.2.4. Forma da bacia hidrográfica.....	19
2.2.2.4.1. Coeficiente de Compacidade.....	20

2.2.2.4.2. Fator de forma	20
2.2.2.4.3. Índice de circularidade	21
2.2.2.5. Ordem dos cursos d'água	21
2.2.2.6. Características do relevo	21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
3.1. Morfometria da bacia hidrográfica	26
3.2. Morfometria das sub-bacias	35
4. CONCLUSÕES	39
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

CAPÍTULO 2. ANÁLISE HIDROAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DA CACHOEIRA DAS POMBAS, GUANHÃES, MG

RESUMO	44
1. INTRODUÇÃO	46
2. MATERIAL E MÉTODOS	48
2.1. Caracterização da área de estudo	48
2.1.1. Características Físicas	48
2.1.1.1. Localização	48
2.1.1.2. Clima	49
2.1.1.3. Características geológicas e uso atual do solo	50
2.1.1.4. Morfometria da bacia hidrográfica	52
2.1.2. Características Biológicas	52
2.1.3. Características Sócio-econômicas	53
2.2. Caracterização das nascentes e análise hidroambiental	54
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
3.1. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica	55
4. CONCLUSÕES	63
5. RECOMENDAÇÕES GERAIS	64
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1

	Página
1 Índices calculados para o estudo na bacia e sub-bacias hidrográficas.....	14
2 Classificação da declividade segundo Embrapa (1979).....	22
3 Classes de exposição do terreno (Santos, 2001).....	23
4 Características da bacia hidrográfica Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG.....	26
5 Distribuição das classes de declividade na bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, 2004.....	32
6 Distribuição das áreas em função da exposição do terreno na bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, 2004.....	33
7 Características das sub-bacias, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, 2004.....	37
8 Distribuição das classes de declividade em percentil, para as sub-bacias da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, 2004.....	37
9 Distribuição das áreas na forma de percentil em função da exposição do terreno nas sub-bacias da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, 2004.....	38
10 Declividade média dos cursos d'água principais para as sub-bacias da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, 2004.....	38

CAPÍTULO 2

	Página
1 Caracterização das nascentes e seus valores de vazão, Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.....	56

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

	Página
1 Modelo Digital de elevação hidrograficamente consistente, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões-MG, 2004.....	15
2 Direção de escoamento, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, 2004.....	15
3 Hidrografia rasterizada, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, 2004.....	16
4 Representação das classes de exposição do terreno (Santos, 2001).....	22
5 Fluxograma representando as operações realizadas na modelagem hidrológica do terreno.....	25
6 Ordenamento dos cursos d'água, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, 2004.....	28
7 Variação altimétrica determinada pelo modelo digital de elevação hidrograficamente consistente, em intervalos de 30 em 30 m para a bacia hidrográfica, Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, 2004.....	29
8 Distribuição das altitudes pela área da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, 2004.....	30
9 Mapa de declividade da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, 2004.....	31

10	Reclassificação da declividade na bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, de acordo com Embrapa, 1979.....	32
11	Ilustração da exposição do terreno, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.....	34
12	Ilustração das áreas sombreadas, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.....	35
13	Visualização das sub-bacias, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.....	36

CAPÍTULO 2

	Página	
1	Localização da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004, na bacia hidrográfica do rio Doce. Fonte: adaptado de Sistema de meteorologia e recursos hídricos de Minas Gerais, 2005.....	49
2	Classificação dos solos nas áreas de plantio da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004 (CENIBRA, 2005).....	51
3	Delimitação das sub-bacias, nascentes e represas, Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.....	55
4	Visualização da represa D, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004. (a) estação chuvosa e (b) estação seca.....	57
5	Área de contribuição da nascente 1b, Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG, 2004.....	57
6	Represa que armazena água da nascente 1b, Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004: (a) estação chuvosa e (b) estação seca.....	58
7	Nascente 5, Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004: (a) estação chuvosa e (b) estação seca.....	59
8	Curso d'água da nascente 5, Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004. (a) estação chuvosa, (b) estação seca.....	60
9	Inundação da estrada por água produzida pela nascente 4, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.....	60

	Página
10 Desmoronamento de taludes na bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.....	61
11 Focos de assoreamento (seta vermelha) na represa B durante a estação seca, Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.....	61
12 Aspecto da água da represa A. (a) estação chuvosa, (b) estação seca.....	62
13 Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004. (a) estação chuvosa e (b) estação seca.....	62
14 Ilustração do monitoramento hidrológico para a bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG, 2004.....	65

RESUMO

TONELLO, Kelly Cristina, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro 2005.
Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG. Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias. Conselheiros: Agostinho Lopes de Souza e Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro.

O objetivo deste trabalho foi efetuar a caracterização morfométrica e avaliar a questão hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, em Guanhões, Minas Gerais, visando o seu manejo. O estudo foi dividido em dois capítulos. O primeiro trata da caracterização morfométrica, obtendo-se parâmetros como área de drenagem, perímetro, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, dentre outros. Para um estudo mais detalhado, procurou-se também caracterizar suas sub-bacias. Já o segundo capítulo, busca a caracterização das nascentes, quanto ao seu tipo, persistência de fluxo, estado de conservação, valores de vazão e avaliação do estado de conservação hídrico e ambiental. De forma geral, constatou-se que a área estudada possui forma alongada, com baixa densidade de drenagem, relevo forte ondulado e declividade média de 33,9 %. Quanto ao estado conservação hídrico e ambiental da bacia hidrográfica, conclui-se pela necessidade de se realizar práticas de manejo integrado dos recursos naturais, uma vez que a vazão dos cursos d'água apresentou-se desregularizada, com grandes oscilações entre as estações chuvosa e seca, além da presença de vários focos de erosão e assoreamentos.

ABSTRACT

TONELLO, Kelly Cristina, M.S., Universidade Federal de Viçosa, february, 2005. **Hydrological and environmental analysis of Cachoeira das Pombas watershed, Guanhões, MG.** Adviser: Herly Carlos Teixeira Dias. Committee Members: Agostinho Lopes de Souza and Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro.

The objectives of this work were to study the morphometric characteristics of Cachoeira das Pombas watershed, in Guanhões, eastern Minas Gerais State, Brazil, and evaluate hydrological and environmental issues, in order to make its management possible. The study was divided into two chapters. The first one concerns on morphometric characterization of the watershed, considering parameters such as drainage area, perimeter, compactness coefficient, shape, and circularity index. For a detailed analysis, the smaller watersheds were likewise considered. The second chapter concerns on characterization of the water sources, as for its types, flow persistence, conservation state, outflow values, and on evaluation of the hydrological and environmental conservation state of the watershed. It was verified that the studied area has long shape, low drainage density, strongly wavy lands and average declivity of 33,9 %. As for the hydrological and environmental conservation state of the watershed, it was concluded that an integrated management of natural resources is necessary, because the flow rate showed to be irregular, with variations in the period between rainy and dry seasons, and because several erosion and silting spots were noticed.

INTRODUÇÃO GERAL

A água é um recurso peculiar, não somente pela sua amplitude de utilização, mas também por ser exímio indicador ambiental da qualidade da manipulação do solo pelo homem. As águas dos cursos que drenam uma região apresentam características físico-químicas próprias, que refletem as atividades do solo da respectiva bacia hidrográfica.

O termo bacia hidrográfica pode ser definido como a área de captação natural da água da precipitação, drenando essa água por ravinas, canais e tributários, para um curso d'água principal, tendo a vazão uma única saída, desaguando em um curso d'água maior, lago ou oceano.

A bacia hidrográfica é ainda delimitada por dois tipos de divisores de águas: divisor freático e divisor topográfico. O divisor freático é, em geral, determinado pela estrutura geológica dos terrenos, sendo influenciado pela topografia, estabelecendo os limites dos reservatórios de água subterrânea, de onde é derivado o deflúvio básico da bacia. Já o divisor topográfico consiste na linha imaginária que acompanha as maiores altitudes locais e topos de morros, separando uma bacia da outra.

A bacia hidrográfica deve ser considerada como uma unidade quando se deseja a preservação dos recursos hídricos, já que as atividades desenvolvidas no seu interior têm influência sobre a quantidade e qualidade da água. Constitui-se na mais adequada unidade de planejamento para o uso e exploração dos recursos naturais, pois seus limites são imutáveis dentro do horizonte de planejamento humano, o que facilita o acompanhamento das alterações naturais ou introduzidas pelo homem na área. Assim, o disciplinamento do uso e da ocupação dos solos da

bacia hidrográfica é o meio mais eficiente de controle dos recursos hídricos que a integram.

O manejo de bacias hidrográficas corresponde ao processo que permite formular um conjunto integrado de ações sobre o meio ambiente, a estrutura social, econômica, institucional e legal de uma bacia, a fim de promover a conservação e utilização sustentável dos recursos naturais e desenvolvimento sustentável.

Atualmente têm-se verificado uma grande pressão da mídia, ONG's e ambientalistas sobre bacias hidrográficas ocupadas por florestas plantadas em relação aos recursos naturais. As principais degradações apontadas são a diminuição da vazão dos cursos d'água, secamento do solo e ocupação das áreas de preservação permanente (ASCOM/RMA, 2003, GRAZIANO, 2004, SILVEIRA, 2004, INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR, 2005).

Aliado ao lado emocional da questão, o aspecto ambiental do reflorestamento com eucalipto ganhou ímpeto em anos recentes, mercê da mobilização mundial em torno dos problemas ecológicos do planeta. De acordo com Lima (1997), já não há lugar para atividades de uso dos recursos naturais que não estejam baseadas em um cuidadoso plano de manejo, no qual o aspecto ambiental é de fundamental importância. Todavia, quando se trata de procurar entender o que realmente está por trás das inúmeras alegações de possíveis impactos ambientais do reflorestamento, é preciso ir a fundo na questão e analisar o aparente conflito nos seus mais diversos ângulos (LIMA, 1997).

Lima (1996) cita alguns estudos realizados por Reinhart e Pierce (1964) e Corbett e Lynch (1985), onde se constatou que, do ponto de vista do estabelecimento de plantações florestais com o propósito de melhorar as condições hidrológicas de bacias degradadas, o uso do eucalipto parece promover, com o devido tempo, um adequado controle dos processos de escoamento superficial, erosão e ciclagem de nutrientes, contribuindo desta forma, para a melhoria da qualidade da água produzida pela bacia.

Segundo Cossalter e Pye-Smith (2003), quando a plantação é estabelecida, haverá inevitavelmente uma alteração do ciclo hidrológico, sendo que a natureza da mudança dependerá de qual tipo de hábitat as plantações substituíram. Estes autores afirmam ainda que, quando a floresta nativa é convertida em uma plantação, as maiores mudanças ocorrerão durante os primeiros anos seguintes da derrubada e plantio. Em contraste, quando as plantações são desenvolvidas em pastagens, a

mudança inicial na hidrologia será ligeira, mas tornará progressivamente mais pronunciada na medida em que a plantação aproxima-se da maturidade.

A respeito do elevado consumo de água por espécies de eucalipto, através de uma minuciosa revisão sobre o tema, Lima (1996) explica que o regime da água do solo e da água subterrânea sob plantações de eucalipto não difere marcadamente daquele observado sob plantações de outras espécies florestais, ou mesmo de outros tipos de vegetação. Em relação ao déficit anual da água do solo e à dinâmica da água subterrânea, ou seja, da flutuação e da recarga do lençol freático, o eucalipto comporta-se como qualquer outra espécie florestal e quanto à questão de avaliar seu efeito sobre o balanço hídrico, evidentemente, deve-se levar em conta a precipitação média anual como regra principal para qualquer empreendimento agrícola.

Para Mosca (2003), um dos mecanismos de controle utilizados para avaliar os impactos ambientais no setor florestal relacionados com a manutenção da produção de água em quantidade e qualidade tem sido a inserção da noção de monitoramento ambiental por meio da instrumentação de bacias hidrográficas experimentais.

No Brasil, ainda existem poucos estudos envolvendo o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas onde se encontram florestas plantadas. Isto demonstra a importância do apoio a projetos onde se propõe o levantamento e análise de alguns dos aspectos relacionados ao comportamento hidrológico de uma bacia na produção de água.

Localizada no município de Guanhães, MG, a bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas possui uma área de aproximadamente 700 ha, onde cerca de 350 ha estão ocupados com florestas de eucaliptos. Em sua foz foi construído um clube social, sendo a beleza natural do local o principal motivo da criação desta área, notadamente pela existência da cachoeira que se tornou uma grande referência para as comunidades próximas. O clube é constituído por uma fazenda (ex-sede do antigo proprietário), duas piscinas, sendo uma natural (correspondendo à cachoeira), restaurante, vestiário, sauna, quiosques, sede, quadra de vôlei, futebol, área de play-ground, recepção e residência de caseiro. Em princípio, o clube seria aberto somente para funcionários da empresa e seus familiares nos finais de semana. Mas, na época, devido à grande carência de lazer na cidade de Guanhães, foi decidido pela abertura também para os sócios contribuintes da Comunidade.

Sendo assim, a bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas possui funções ecológicas, ambientais, sociais e estéticas, uma vez que as áreas verdes urbanas proporcionam melhorias no espaço excessivamente antropizado das cidades e benefícios para os habitantes das mesmas.

A função ecológica deve-se à preservação da vegetação, do solo não impermeabilizado e de uma fauna mais diversificada nessas áreas, promovendo melhorias no clima do lugar e na qualidade do ar, água e solo. A função social está intimamente relacionada com a possibilidade de lazer que essas áreas oferecem à população. Com relação a este aspecto, deve-se considerar a necessidade de hierarquização, segundo as tipologias e categorias de espaços livres. A função estética diz respeito à diversificação da paisagem construída e o embelezamento do Clube. Neste contexto, deve ser ressaltada a importância da vegetação como elemento ambiental e ornamental.

Outro aspecto que acaba por ser conseqüentemente enfatizado é a função educativa, que está relacionada com a possibilidade que essas áreas oferecem como ambientes para o desenvolvimento das atividades de educação ambiental.

A função psicológica ocorre quando as pessoas em contato com os elementos naturais desses espaços relaxam, funcionando como antiestresse. Este aspecto está relacionado com o exercício do lazer e da recreação nas áreas verdes.

A caracterização morfométrica objetiva obter índices quantitativos, os quais auxiliam os estudos hidrológicos de uma bacia hidrográfica. Com a análise das características morfométricas procura-se entender a relação solo-superfície, em decorrência dos processos erosivos sobre estruturas e litologias variadas.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo a caracterização morfométrica e a análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, a fim de tornar possível o manejo integrado dos seus recursos naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASCOM/RMA. Carta de Porto Seguro. **Biblioteca da RMA**. Disponível em:<http://www.rma.org.br/biblioteca_leg.asp?tipo=d>. Acesso em: 5 fev. 2005.

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

GRAZIANO, X. Sofisma Ambiental. **Sociedade Brasileira de Silvicultura**. Destaques. 8 de Junho de 2004. Disponível em:<http://www.sbs.org.br/destaques_xicograziano.htm>. Acesso em: 5 fev. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR - IDEC. O lado escuro do papel. **Revista do Idec on-line**. Serviço: ambiente. Disponível em:<http://www.idec.org.br/rev_servicosambiente.asp>. Acesso em: 5 fev. 2005.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2ªed. São Paulo: EDUSP, 1996. 301p.

LIMA, W.P. Indicadores hidrológicos do manejo sustentável de plantações de eucalipto. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPT. **Anais...** Colombo: Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, 1997. p. 13-29.

MOSCA, A.A.O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas**. 2003. 96f. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), Piracicaba, SP, 2003.

SILVEIRA, C. Manejo do eucalipto exige cuidados. **Jornal Manuelzão**. Belo Horizonte, set. 2004. Caminhos do mundo, p. 7.

CAPÍTULO 1

MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA CACHOEIRA DAS POMBAS, GUANHÃES, MG

RESUMO

TONELLO, Kelly Cristina, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro 2005.
Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG. Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias. Conselheiros: Agostinho Lopes de Souza e Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro.

As características físicas e bióticas de uma bacia hidrográfica desempenham importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração, deflúvio, evapotranspiração, os escoamentos superficial e sub-superficial. Estas características, juntamente com o uso do solo e as atividades realizadas em uma bacia hidrográfica, definem a quantidade e a qualidade da água. Existem poucos estudos envolvendo o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas onde se encontram florestas plantadas. Isto demonstra a importância do presente estudo, já que se propõe o levantamento e análise de alguns dos aspectos relacionados ao comportamento hidrológico da bacia na produção de água. Assim, o objetivo deste trabalho foi apresentar o estudo da morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, localizada no município de Guanhões, MG, a fim de tornar possível o manejo integrado de seus recursos naturais. Os dados da morfometria foram automaticamente gerados pelo *software* Hidrodata 2.0. A base de

dados, disponibilizada pelo convênio SIF/CENIBRA/UFV, consistiu nos grids Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC), rede hidrográfica e direções de escoamento. A área de drenagem encontrada foi de 6,981 km² e perímetro de 14,864 km. De forma geral, observou-se que a bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas possui forma alongada, de acordo com os valores encontrados para coeficiente de compacidade (1,575), fator de forma (0,409) e índice de circularidade (0,397), evidenciando um menor risco de grandes cheias em condições normais de pluviosidade anual e topografia muito favorável ao escoamento superficial. A declividade média encontrada para a bacia foi de 33,9 %, caracterizando o relevo como forte ondulado, drenagem deficiente ($Dd = 1,049 \text{ km/km}^2$) e precipitação anual de 1.183 mm. Estes parâmetros possuem grande influência sobre o escoamento superficial e conseqüentemente o processo de erosão, que resulta em perda de solo, água, matéria orgânica, nutrientes e microfauna, que podem vir a provocar o assoreamento e eutrofização dos corpos d'água. Quanto à orientação do terreno, pôde-se constatar que 41 % do terreno da bacia hidrográfica está exposto para face Norte-Oeste e 33 % de sua área total encontra-se sombreada. Para um estudo mais detalhado, a bacia hidrográfica foi ainda dividida em 5 sub-bacias, onde cada sub-bacia foi analisada individualmente, concluindo-se que as 5 sub-bacias apresentam deficiência de densidade de drenagem e forma alongada. Em termos de declividade média, os valores variaram entre 29,6 a 40,4 %, representando o relevo forte ondulado. Pôde-se constatar também que a morfometria diferenciada entre as sub-bacias, sugere a necessidade de um manejo específico para cada uma delas.

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica tem sido utilizada como uma unidade geomorfológica fundamental. Isso se deve ao fato de suas características governarem, no seu interior, todo o fluxo superficial da água. Assim, vem sendo considerada uma unidade territorial ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais (PISSARRA, 1998, PISSARRA *et al.*,2004).

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, etc.) e do tipo da cobertura vegetal existente (LIMA, 1986). Portanto, as características físicas e bióticas de uma bacia possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração, os escoamentos superficial e sub-superficial. Além disso, o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica também é afetado por ações antrópicas, uma vez que, ao intervir no meio natural, o homem acaba interferindo nos processos do ciclo hidrológico.

De acordo com Lima (1986), um sistema pode ser considerado fechado quando apresenta limites bem definidos, através dos quais não ocorre nem importação nem exportação de matéria. Um sistema fechado desenvolve-se a partir de um fornecimento inicial de energia, ao passo que um sistema do tipo aberto requer suprimento contínuo, funcionando pelo recebimento e pela perda contínua de energia. A bacia hidrográfica pode, desta forma, ser considerada como um sistema geomorfológico aberto, recebendo energia do clima reinante sobre a bacia, e perdendo continuamente energia através do deflúvio.

Ainda de acordo com Lima (1986), a bacia hidrográfica como sistema aberto, pode ser descrita em termos de variáveis interdependentes, as quais oscilam ao longo de um padrão, ou de uma média. Como tal, ela se encontra, mesmo quando não perturbada, em contínua flutuação, num estado de equilíbrio transacional ou dinâmico. Ou seja, a adição de energia e a perda de energia do próprio ecossistema, encontram-se sempre em delicado balanço. Desse modo, a área da bacia hidrográfica tem influência sobre a quantidade de água produzida como deflúvio. A forma e o relevo, por outro lado, atuam sobre a taxa, ou sobre o regime desta produção de água, assim como a taxa de sedimentação. O caráter e a extensão dos canais (padrão de drenagem) afetam a disponibilidade de sedimentos, bem como a taxa de formação do deflúvio. Muitas destas características físicas da bacia hidrográfica, por sua vez, são em grande parte controladas ou influenciadas pela sua estrutura geológica.

As características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo refletem algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio das águas das chuvas, e expressam estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre. Portanto, estão entre as classes de informações morfológicas que determinam diferenças essenciais entre distintas paisagens, como relatam estudos clássicos desenvolvidos por Horton (1945), Strahler (1957), França (1968) e Christofolletti (1978).

Para investigar as características das diversas formas de relevo, as bacias hidrográficas se configuram como feições importantes, principalmente no que se refere aos estudos de evolução do modelado da superfície terrestre. Entretanto, a maioria dos trabalhos científicos acerca de bacias hidrográficas evidencia qualitativamente os aspectos de forma o que, em geral, é insuficiente para a identificação de homogeneidades, no que diz respeito aos fatores que influenciam as formas de relevo. Assim, é evidente a necessidade do emprego de métodos quantitativos para estudos desta natureza (ALVES & CASTRO, 2003).

Em estudos das interações entre os processos, sob o ponto de vista quantitativo, utiliza-se o método de análise morfométrica através dos seguintes parâmetros: densidade de drenagem, coeficiente de compacidade, índice de circularidade, forma da bacia, dentre outros. Estes parâmetros podem revelar indicadores físicos específicos para um determinado local, de forma a qualificarem as alterações ambientais (ALVES & CASTRO, 2003).

Em meados de 1940, Robert E. Horton procurou estabelecer leis do desenvolvimento dos cursos d'água e suas respectivas bacias, utilizando uma abordagem quantitativa, o que serviu para uma nova concepção metodológica.

A partir da década de 50, novos parâmetros foram definidos, conforme apresentado nos estudos de Freitas (1952), Strahler (1952, 1957), Schumm (1956), Lubwe (1964), Tolentino *et al.* (1968), Christofolletti (1969, 1970, 1977, 1978, 1980), dentre outros. Preocupado com o entendimento da importância e descrição dos variados aspectos da análise morfométrica de bacias hidrográficas, Christofolletti (1969) desenvolveu um trabalho bastante completo integrando os índices e parâmetros desenvolvidos.

Guerra & Guerra (2003) definem, resumidamente, a morfometria como sendo o estudo quantitativo das formas de relevo. No entanto, a morfometria fluvial corresponde ao estudo das bacias hidrográficas com vista a uma análise linear, areal e hipsométrica.

Para Villela & Mattos (1975), as características físicas de uma bacia constituem elementos de grande importância para avaliação de seu comportamento hidrológico, pois, ao estabelecerem-se relações e comparações entre eles e dados hidrológicos conhecidos, pode-se determinar indiretamente os valores hidrológicos em locais nos quais faltem dados. Christofolletti (1970) ressalta ainda que, a análise de aspectos relacionados à drenagem, relevo e geologia pode levar à elucidação e compreensão de diversas questões associadas à dinâmica ambiental local.

Cabe lembrar que nenhum desses índices isoladamente deve ser entendido como capaz de simplificar a complexa dinâmica da bacia, a qual inclusive tem magnitude temporal.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm sido muito utilizados devido à sua flexibilidade e disponibilidade, consistindo de sistemas computadorizados que permitem sobrepor, diversas informações espaciais da bacia hidrográfica. A informação é armazenada digitalmente e apresentada visual ou graficamente, permitindo a comparação e a correlação entre informações. A utilização dos SIGs para o gerenciamento ambiental de bacias hidrográficas envolve muitas outras atividades, além da elaboração e manutenção de um banco de dados geocodificados, de onde são retiradas as diversas informações estatísticas sobre as características da unidade de estudo (PIRES *et al.*, 2002).

O manejo de bacias hidrográficas, assim como o Geoprocessamento, é uma ciência interdisciplinar que tem tido evolução significativa em face dos problemas crescentes, resultados da ocupação das bacias, do incremento significativo da utilização da água e do resultante impacto sobre o meio ambiente.

Para Soares (2000), o movimento da água depende fundamentalmente da morfometria da bacia, por isto seu conhecimento é fundamental para o estabelecimento de estratégias de manejo.

A quantificação da disponibilidade hídrica serve de base para o projeto e planejamento dos recursos hídricos. Para tanto, é preciso expressar quantitativamente todas as características de forma, de processos e de suas inter-relações.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho compreendeu o estudo da morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, localizada no município de Guanhães, MG, a fim de tornar possível o manejo integrado de seus recursos naturais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi realizado em área de propriedade da empresa Florestal Celulose Nipo-Brasileira - CENIBRA S.A., nos limites do projeto Cachoeira das Pombas, situada no município de Guanhães - MG, na região do Alto e Médio rio Doce.

A bacia hidrográfica em questão insere-se na bacia do rio Corrente Grande, afluente pela margem esquerda do rio Doce e drena parcialmente a região onde se encontram os municípios de Guanhães, Virginópolis, São João Evangelista, Gonzaga, Santa Efigênia de Minas, São Geraldo da Piedade, Açucena, Periquito, Governador Valadares e Divinolândia de Minas.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima predominante na região é Aw – Clima Tropical chuvoso de savana, ou seja, inverno seco e chuvas máximas no verão (SOUZA *et al.*, 2003).

Conforme registros da Estação Meteorológica da CENIBRA S.A., localizada em Guanhães (42°58'WGr, 18°38'S e altitude 801 m), para o período de 1990 a 2004, a temperatura média anual foi de 21,7°C e variou de 17,8°C em julho a 24,3°C em fevereiro. A temperatura mínima média anual neste período foi de 15,9°C, sendo que o menor valor ocorre em julho (11,7°C), e o maior em janeiro e fevereiro (18,6°C). A média anual das máximas foi 27,0°C, o mês de maior valor foi fevereiro (29,6°C) e o de menor julho (24,2°C). A umidade relativa média variou de 66,5 % em outubro a 81,2 % em janeiro, sendo a média anual de 73,9 %.

A precipitação média anual foi de 1183 mm, sendo o trimestre mais chuvoso o de novembro, dezembro e janeiro, com um total precipitado de 679 mm. O trimestre mais seco foi o de junho a agosto, com um acúmulo de 35 mm.

De acordo com Thornthwaite e Mather (1955), têm-se como balanço hídrico para Guanhães, no período de 1990 a 2004: evapotranspiração potencial (ETP) de 1038 mm, evapotranspiração real média anual (ETR) de 886 mm, deficiência hídrica anual (DEF) de 152 mm e excesso hídrico anual (EXC) de 299 mm.

2.2. Morfometria da bacia e sub-bacias hidrográficas

A morfometria da bacia hidrográfica, assim como das sub-bacias foi representada pelas características e índices apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Índices calculados para o estudo na bacia e sub-bacias hidrográficas

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

2.2.1. Plataforma de trabalho e base de dados

A estação de trabalho utilizada para o processamento dos dados foi um microcomputador pessoal com HD de 40 GB, memória RAM 256 MB e processador Intel Pentium IV, 2.80 GHz.

A base de dados utilizada foi disponibilizada pelo convênio SIF/CENIBRA/UFV, "Geração de Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistentes". Foram disponibilizados os grids do modelo digital hidrograficamente consistente (Mdehc), direção de escoamento (Dir_esc) e hidrografia rasterizada

(Hidro_grid), com tamanho de célula igual a 4 m, projeção Transverse Mercator (*False Easting*: 500.000, *False Northing*: 0.0, *Central Meridian*: -45, *Scale Factor*: 0.9996 e datum SAD 69) ilustrados nas Figuras 1, 2, e 3, respectivamente.

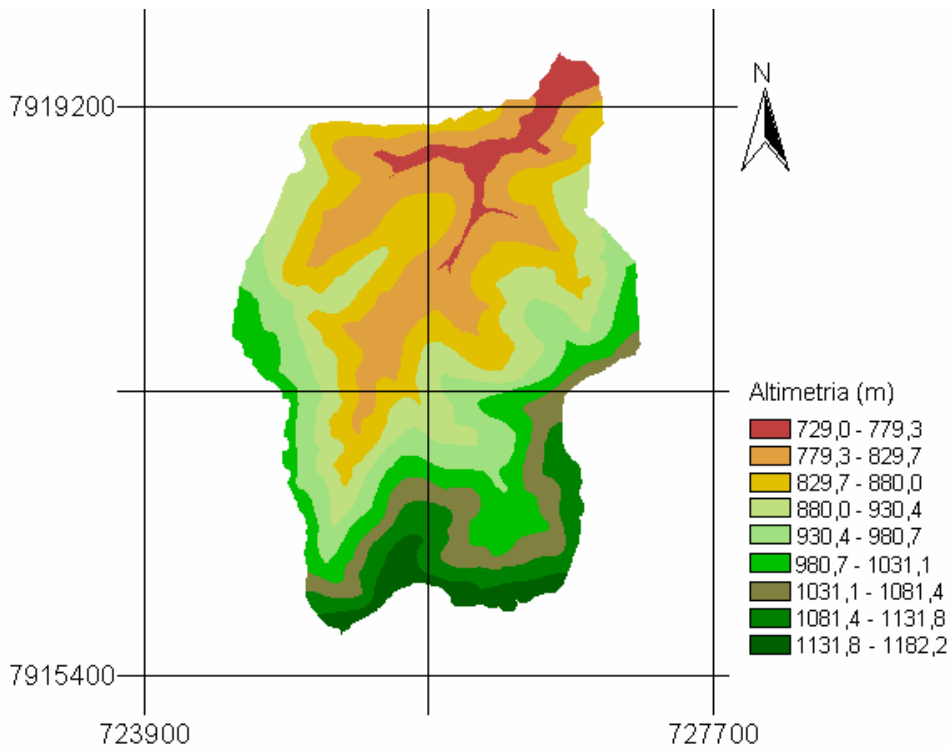


Figura 1 - Modelo digital de elevação hidrograficamente consistente, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG, 2004.

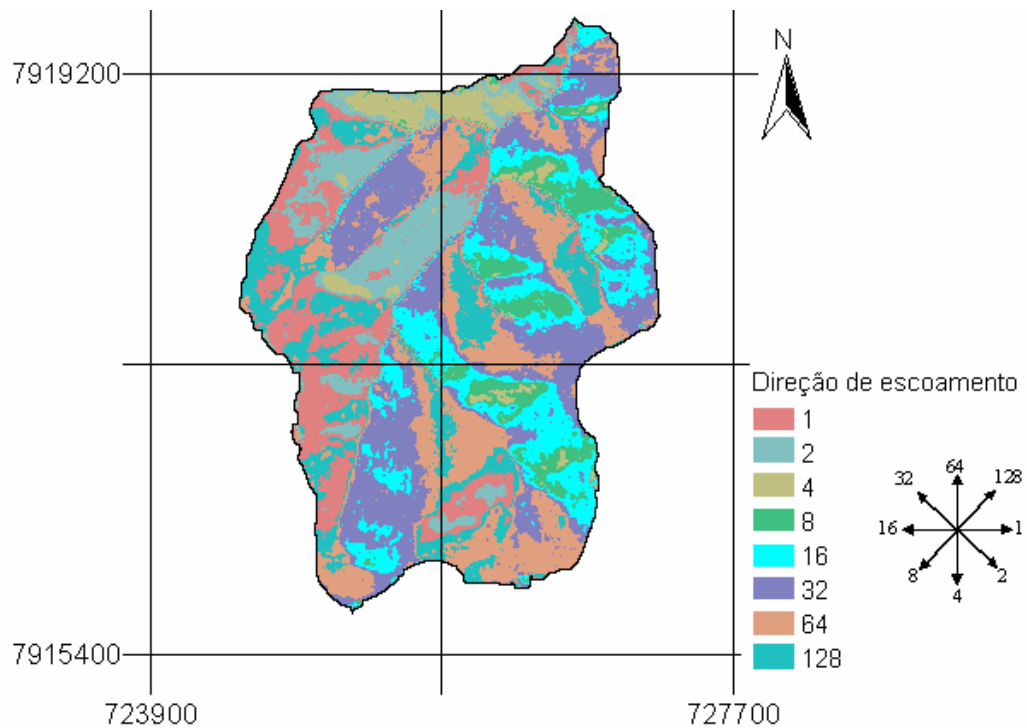


Figura 2 - Direção de escoamento, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.

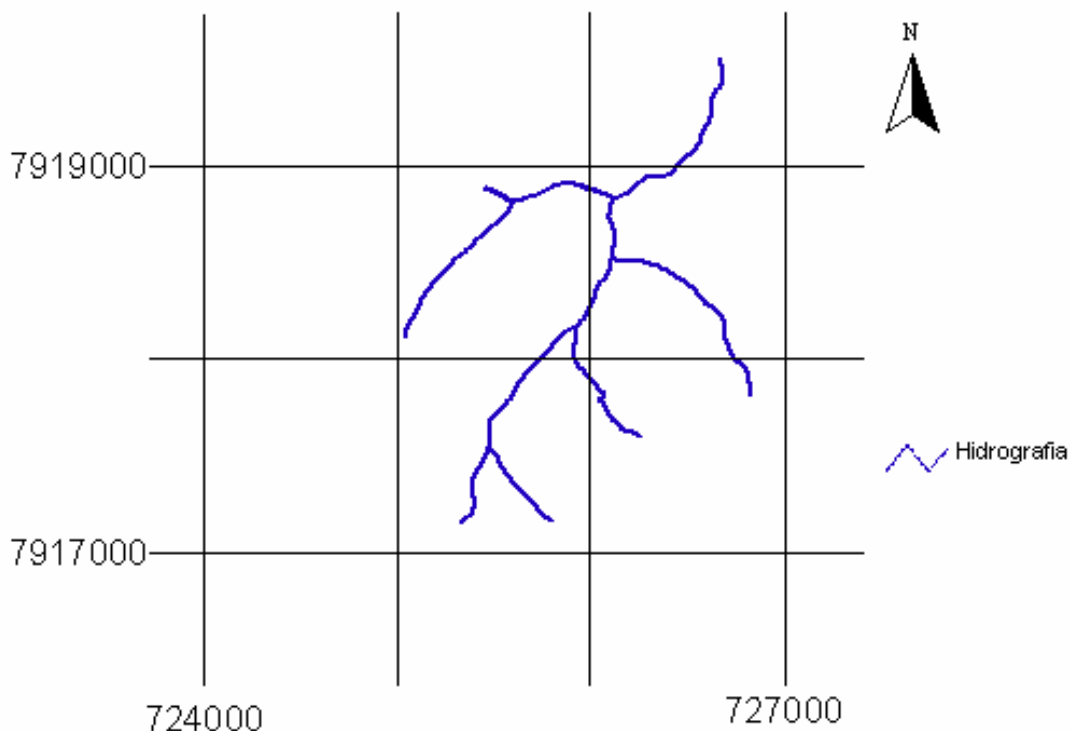


Figura 3 - Hidrografia rasterizada, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.

Utilizou-se o *software* Hidrodata 2.0 (SOCIEDADE DE INVESTIGAÇÕES FLORESTAIS/ UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – SIF/UFV, 2002) para a obtenção automática das características morfométricas e delimitação da bacia e sub-bacias hidrográficas. O Hidrodata é um conjunto de rotinas escritas em AML (*Arc/Info Macro Language*) e a sua execução requer a existência de uma licença válida do sistema de informações geográficas ArcGIS workstation versão 8.x ou posterior com acesso, pelo menos aos seguintes módulos: ArcEdit, ArcPlot, Grid e Network. Neste trabalho utilizou-se a versão 8.3 do ArcGIS.

2.2.2. Características morfométricas

Para a obtenção das características morfométricas, selecionaram-se os três temas de entrada no formato grid (Mdehc, Dir_esc, e Hidro_grid) para a delimitação da bacia hidrográfica, criando-se a base de informações morfométricas e estruturando topologicamente as bacias de contribuição para cada segmento da rede hidrográfica. O Hidrodata executou uma filtragem na hidrografia rasterizada,

eliminando eventuais segmentos espúrios e ao final do processo, os seguintes temas foram adicionados à área de trabalho:

- H-SEM-ESP (vetor): hidrografia vetorial sem segmentos espúrios;
- AREA_SEG (vetor): bacia de contribuição para cada segmento;
- SEG_GRID (grid): hidrografia segmentada;
- SUBBACIAS (grid): bacias de contribuição de cada segmento.

O tema vetorial H_SEM_ESP apresentou, para cada segmento da hidrografia, duas rotas distintas: uma identificando o maior curso d'água da bacia a montante da foz do segmento e outra identificando o trecho entre os pontos situados a 10% e a 85% do comprimento da rota do maior curso d'água, contados a partir de sua nascente. Adicionalmente aos polígonos associados à área de drenagem de cada segmento, o tema vetorial AREA_SEG, utilizando a estrutura de REGIONS disponível no Arc/Info, apresentou todos os possíveis aninhamentos de sub-bacias hidrográficas dentro da área de estudo, criando dois conjuntos distintos de regiões: um identificando a área de drenagem a montante do foz do segmento e outro identificando a respectiva área de drenagem a montante do topo do segmento. Os segmentos associados a tributários de primeira ordem não possuem a região identificando a bacia do topo.

A técnica de segmentação dinâmica é utilizada para a derivação e o armazenamento da rede hidrográfica a montante de cada segmento, tendo por base as feições do tema vetorial H-SEM-ESP. Essa técnica viabiliza a criação de rotas, combinando diversas feições geográficas lineares, sem que haja replicação da parte espacial da base de dados.

Os valores obtidos foram então armazenados na tabela de atributos da rota associada ao maior curso d'água. O Hidrodata 2.0 gerou nessa etapa, as seguintes rotas:

- route.maior: conjunto de todos os segmentos que compõem o maior curso d'água dentro da área que drena para a foz de cada segmento da hidrografia. A tabela de atributos das rotas possui o comprimento total do maior curso d'água (Arclenght); altitude do ponto situado a 10% e 85 % do comprimento do maior curso

d'água, contado a partir de sua nascente (Z10 e Z85, respectivamente), diferença de nível entre os pontos 10% e 85% (Delta_Z), declividade do maior curso d'água, obtida pela divisão da diferença de nível pela distância horizontal entre os pontos 10% e 85% (Delc_1085)

- route.s1085: conjunto de todos os segmentos que compõem o trecho localizado entre os pontos a 10% e 85% do maior curso d'água dentro da área que drena para a foz deste segmento. A tabela de atributos destas rotas possui o comprimento do trecho entre os pontos 10% e 85% (Arclenght).

Também foi gerada uma região para todas as bacias de contribuição, denominada REGION.BACIA, onde os limites internos entre os diversos polígonos foram eliminados, possibilitando identificar, rapidamente, o limite da área de drenagem de cada segmento da rede hidrográfica sem que houvesse repetição das feições geométricas. Dado que cada segmento possui dois extremos (o topo e a foz), derivaram-se duas bacias de contribuição para cada segmento, exceto para os rios de cabeceira, que possuem somente a região associada à bacia de contribuição de sua foz.

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes parâmetros obtidos pelo Hidrodata 2.0:

2.2.2.1. Área de drenagem e Perímetro

A área de drenagem (A) é toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial inclusa entre seus divisores topográficos, projetada em plano horizontal. É o elemento básico para o cálculo de diversos índices morfométricos.

A área de drenagem da bacia hidrográfica foi subdividida em unidades menores para detalhamento da área das nascentes. As sub-áreas ou bacias tributárias foram definidas por divisores internos, da mesma forma que o realizado para a bacia principal.

O perímetro da bacia (P) constitui o comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas.

2.2.2.2. Comprimento total dos cursos d'água

O comprimento total dos cursos d'água para a bacia hidrográfica foi obtido por meio do somatório do comprimento dos arcos de toda a hidrografia dentro da bacia de contribuição.

2.2.2.3. Densidade de Drenagem

O sistema de drenagem é formado pelo rio principal e seus tributários e seu estudo indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, ou seja, a eficiência da drenagem da bacia.

De acordo com Lima (1986), este índice reflete a influência da geologia, topografia, solo e vegetação da bacia hidrográfica, e está relacionado com o tempo gasto para a saída do escoamento superficial da bacia. Horton (1932) definiu densidade de drenagem como sendo a relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia hidrográfica e a área ocupada pela mesma:

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (1.1)$$

onde, Dd = densidade de drenagem (km/km²)

Lt = comprimento total dos cursos d'água (km)

A = área de drenagem da bacia (km²)

2.2.2.4. Forma da bacia hidrográfica

Para Lima (1986), a forma é uma das características físicas mais difíceis de ser expressas em termos quantitativos. A forma da bacia, bem como a forma do sistema de drenagem, pode ser influenciada por algumas outras características da área, principalmente a geologia, além de atuar em processos hidrológicos ou no comportamento hidrológico da bacia.

A forma influencia diretamente o tempo de concentração, isto é, o tempo necessário para que toda bacia contribua para sua saída após uma precipitação (ROMANOVSKI, 2001). Os índices normalmente utilizados são o coeficiente de compacidade (Kc), o fator de forma (F) e o índice de circularidade (IC).

2.2.2.4.1. Coeficiente de Compacidade

O coeficiente de compacidade (K_c) relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. O número calculado independe da área considerada, dependendo apenas da forma da bacia. De acordo com Villela e Mattos (1975), este coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independente de seu tamanho. 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. Uma bacia será mais susceptível à enchentes mais acentuadas quando seu K_c for mais próximo da unidade. O coeficiente de compacidade (K_c) foi obtido pela seguinte equação:

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1.3)$$

onde, K_c = coeficiente de compacidade

P = perímetro da bacia ou sub-bacia (km)

A = área de drenagem da bacia ou sub-bacia (km²)

2.2.2.4.2. Fator de forma

Relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão), determinado por:

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (1.2)$$

onde: F = fator de forma

A = área de drenagem da bacia ou sub-bacia (km²)

L = comprimento do eixo da bacia (km)

2.2.2.4.3. Índice de circularidade

Simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular.

$$IC = \frac{12,57 * A}{P^2} \quad (1.4)$$

onde, IC = índice de circularidade

A = área de drenagem da bacia ou sub-bacia (km²)

P = perímetro da bacia ou sub-bacia (km)

2.2.2.5. Ordem dos cursos d'água

O sistema de drenagem é constituído pelo curso d'água principal e seus tributários ou afluentes e os índices utilizados para caracterizá-lo são a ordem dos cursos d'água e a densidade de drenagem. A ordem dos cursos d'água representa o grau de ramificação do sistema de drenagem da bacia (TUCCI, 2001). A ordem dos cursos d'água pode ser determinada seguindo os critérios introduzidos por Horton (1945) e Strahler (1957). Neste estudo utilizou-se a classificação apresentada por Strahler (1957), no qual para cursos d'água sem tributários é adotada a ordem "1", ou primeira ordem. Cursos d'água denominados de segunda ordem são aqueles que recebem somente tributários de primeira ordem, independentemente do número de tributários. De terceira ordem são aqueles que recebem dois ou mais tributários de segunda ordem, podendo também receber tributários de primeira ordem, e assim sucessivamente (SILVA *et al.*, 2004).

2.2.2.6. Características do relevo

O relevo de uma bacia tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial, e conseqüentemente o tempo de concentração, são determinados pela declividade do terreno. Além disso, a temperatura, a precipitação, a evaporação, etc, são funções da altitude da bacia (MOSCA, 2003). Portanto, é de grande importância a determinação de curvas características do relevo de uma bacia hidrográfica.

A variação da altitude e a elevação média de uma bacia são importantes pela influência que exercem sobre a precipitação, sobre as perdas de água por evaporação e transpiração e, conseqüentemente, sobre o deflúvio médio. Grandes variações de altitude numa bacia acarretam diferenças significativas na temperatura média, a qual, por sua vez, causa variações na evapotranspiração. Mais significativas, porém, são as possíveis variações na precipitação anual.

A declividade do terreno é expressa como a variação de altitude entre dois pontos do terreno, em relação à distância que os separa. O modelo digital de elevação hidrograficamente consistente (Mdehc) foi utilizado como base para a geração do mapa de declividade. As classes de declividades geradas neste tema foram reclassificadas em seis intervalos distintos sugeridos pela Embrapa (1979), como mostra o Quadro 2. Esta operação foi realizada utilizando a técnica de reclassificação disponível na extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS 8.3.

Quadro 2 - Classificação da declividade segundo Embrapa (1979)

Declividade (%)	Discriminação
0 - 3	Relevo plano
3 - 8	Relevo suave ondulado
8 - 20	Relevo ondulado
20 - 45	Relevo forte ondulado
45 - 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo forte montanhoso

A orientação da declividade de um determinado ponto no terreno ou exposição é definida como sendo o azimute em graus (ou ponto cardinal na rosa dos ventos) para o qual se encontra orientado o plano de máxima declividade nesse ponto. Na Figura 4 estão indicadas as posições convencionais de classes de exposição do terreno (oito pontos cardinais mais destacados), junto com o valor (em graus) atribuído a cada um.

No presente trabalho, o cálculo da orientação do terreno foi realizado utilizando como tema de entrada o modelo digital de elevação hidrograficamente consistente, sendo que a grade de exposição do terreno foi reclassificada de acordo com as 8 classes apresentadas na Figura 4, para uma melhor interpretação. Esta reclassificação foi realizada de acordo com o Quadro 3.

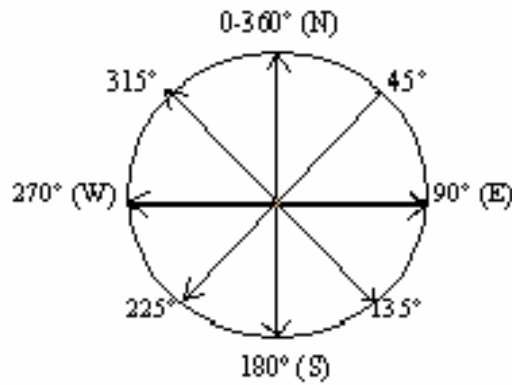


Figura 4 - Representação das classes de exposição do terreno (SANTOS, 2001).

Quadro 3 - Classes de exposição do terreno (SANTOS, 2001)

Ordem	Exposição	Classes
1	N – NE	0° – 45°
2	NE – E	45° - 90°
3	E – SE	90° - 135°
4	SE – S	135° - 180°
5	S – SW	180° - 225°
6	SW – W	225° - 270°
7	W – NW	270° - 315°
8	NW – N	315° - 360°

Uma outra possibilidade de representar o relevo é por meio de um mapa do sombreamento ou iluminação da topografia. Neste caso, a variável representada é uma simulação do nível de luz (ou sombra) refletida pelo relevo ao ser iluminado pelo sol situado numa exposição geográfica determinada. As áreas de maior declividade, que se encontram expostas ao sol, refletirão muita luz e serão, portanto, muito visíveis; aquelas áreas que se encontram nas encostas não iluminadas diretamente pelo sol, não refletirão luz e aparecerão escuras no modelo. No presente trabalho, esta representação do terreno foi obtida utilizando o comando *Hillshade* presente no menu do *Spatial Analyst, Surface Analysis*, com um ângulo azimutal de 315 graus, ângulo de elevação do Sol de 45 graus e o modelo digital de elevação hidrograficamente consistente.

A Figura 5 mostra as operações que envolveram a modelagem hidrológica do terreno.

A análise hipsométrica, associada a estimativas de escoamento superficial da água, pode ser utilizada, por exemplo, para identificar as áreas de maior produção relativa de sedimentos e no estudo das perspectivas de assoreamento de

reservatórios superficiais de uma bacia. Essa produção está estritamente relacionada com os fenômenos de erosão que se produzem na configuração topográfica de uma área de drenagem (LORANDI & CANÇADO, 2002).

O relevo, sendo um componente da natureza se apresenta de modo concreto, através da geometria das formas de diferentes tamanhos e gêneses, desempenha significativo papel na identificação e no entendimento da funcionalidade dos ambientes naturais (ROSS, 2001).

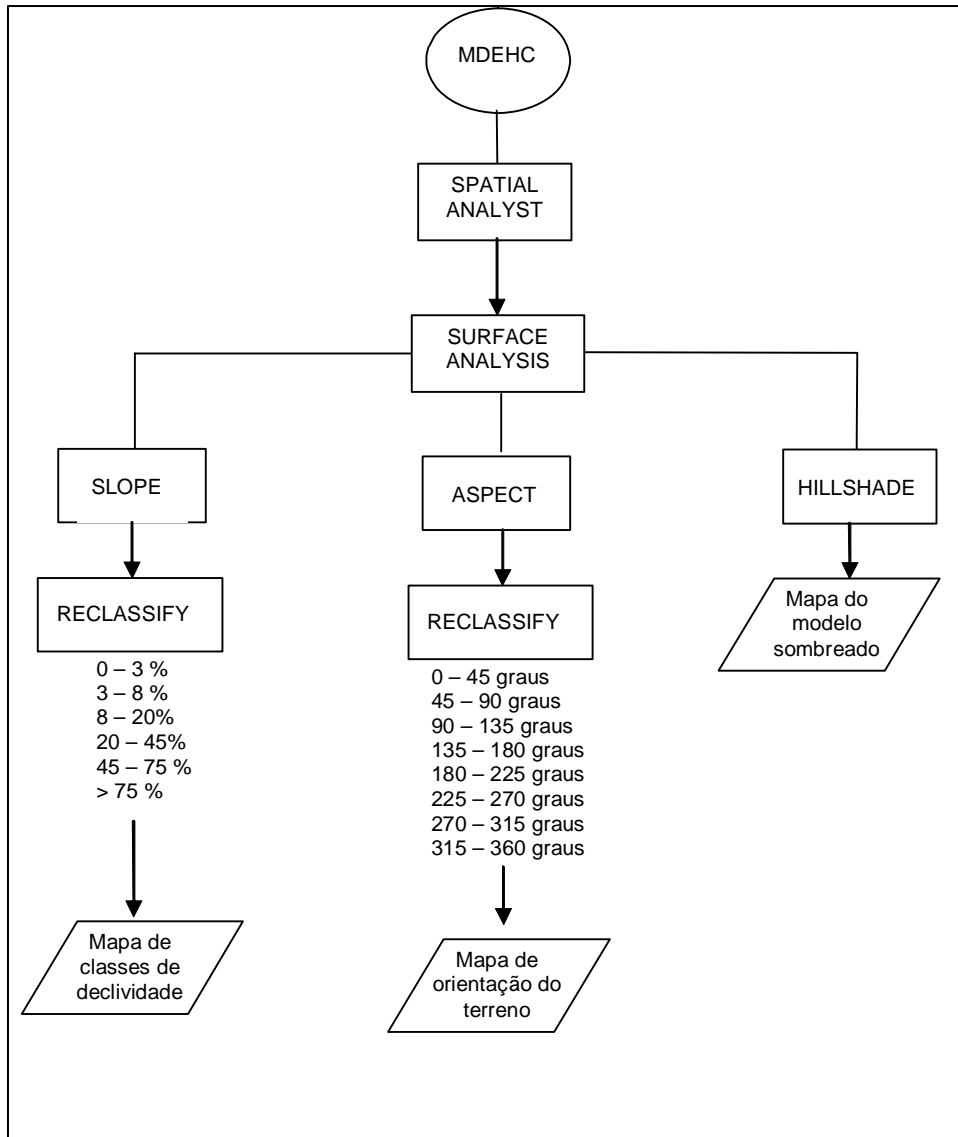


Figura 5 - Fluxograma representando as operações realizadas na modelagem hidrológica do terreno.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Morfometria da bacia hidrográfica

O Quadro 4 mostra os valores obtidos para a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica estudada.

Quadro 4 - Características da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG

Características Morfométricas	Valores
Área de drenagem (A)	6,981 km ²
Perímetro (P)	14,864 km
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,575
Fator de Forma (F)	0,409
Índice de circularidade (IC)	0,397
Padrão de drenagem	Dendrítico
Orientação	Nordeste
Declividade mínima	0,0 %
Declividade média	33,9 %
Declividade máxima	127,4 %
Altitude mínima	729 m
Altitude média	955 m
Altitude máxima	1182 m
Declividade média do maior curso d'água	0,015 m/m
Comprimento total dos canais (Lt)	7,327 km
Comprimento do canal principal (Lp)	3,215 km
Ordem da bacia	3
Densidade de drenagem (Dd)	1,049 km/km ²

A bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas pode ser classificada como uma unidade pequena, pois sua área de drenagem e perímetro foram de 6,981 km² e 14,864 km (Quadro 4), respectivamente, e desse modo, com boas possibilidades de controle dos fatores hidrológicos que ali interferem.

A forma da bacia é determinada por índices que relacionam com formas geométricas conhecidas, como o fator de forma (F), coeficiente de compacidade (Kc) e índice de circularidade (IC). A forma superficial de uma bacia hidrográfica é importante na determinação do tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que toda a bacia contribua para a sua saída após uma precipitação. Quanto maior o tempo de concentração, menor será a vazão máxima de enchente, se mantidas constantes as outras características (VILLELA & MATTOS, 1975).

A bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas apresenta maior tempo de concentração de água da chuva pelo fato do coeficiente de compacidade apresentar o valor afastado da unidade (1,575) e de seu fator de forma apresentar valor baixo (0,409). Estes valores indicam que a bacia não possui formato semelhante ao de uma circunferência, correspondendo, portanto, a uma bacia alongada, conforme verificado na Figura 6. Tal fato pode ainda ser comprovado pelo índice de circularidade, cujo valor é de 0,397.

Segundo Villela & Mattos (1975), as bacias alongadas possuem menor concentração do deflúvio. Considerando esta característica, pode-se inferir que a bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas apresenta menor risco de enchentes nas condições normais de precipitação.

Valores semelhantes foram encontrados por Romanovski (2001), para a bacia hidrográfica da Rua Nova, em Viçosa, MG. O mesmo autor encontrou valores de 1,402 e 0,5669 para o coeficiente de compacidade e fator de forma, respectivamente, o que possibilitou afirmar que a vazão máxima de enchente seria menor do que ocorreria caso a bacia tivesse a forma de uma circunferência e que esta forma geométrica apresenta eficiência na produção da vazão máxima, o que, em casos de chuva convectiva associada com a densa rede de drenagem, poderia provocar enchentes.

A densidade de drenagem obtida foi de 1,049 km/km². Verifica-se que de acordo com Villela & Mattos (1975) este índice pode variar de 0,5 km/km² para bacias com drenagem pobre a 3,5 ou mais para bacias excepcionalmente bem drenadas, indicando portanto, que a bacia em estudo apresenta baixa capacidade

de drenagem. Valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade ou pouca concentração da precipitação.

Para a bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, Santos (2001) encontrou valores de coeficiente de compacidade igual a 1,957 e fator de forma 0,019. No entanto, a bacia em questão apresentou valor de densidade de drenagem igual a 4,634 km/km², mostrando que a bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo apresenta excelente capacidade de drenagem.

O ordenamento dos canais pode ser visualizado na Figura 6. O sistema de drenagem, de acordo com a hierarquia de Strahler, apresenta grau de ramificação de terceira ordem na época de cheia. Ordem inferior ou igual a quatro é comum em pequenas bacias hidrográficas e reflete os efeitos diretos do uso da terra, considera-se que, quanto mais ramificada a rede, mais eficiente será o sistema de drenagem. Observa-se que o movimento do rio principal se dá da direção Sudeste para Nordeste da bacia.

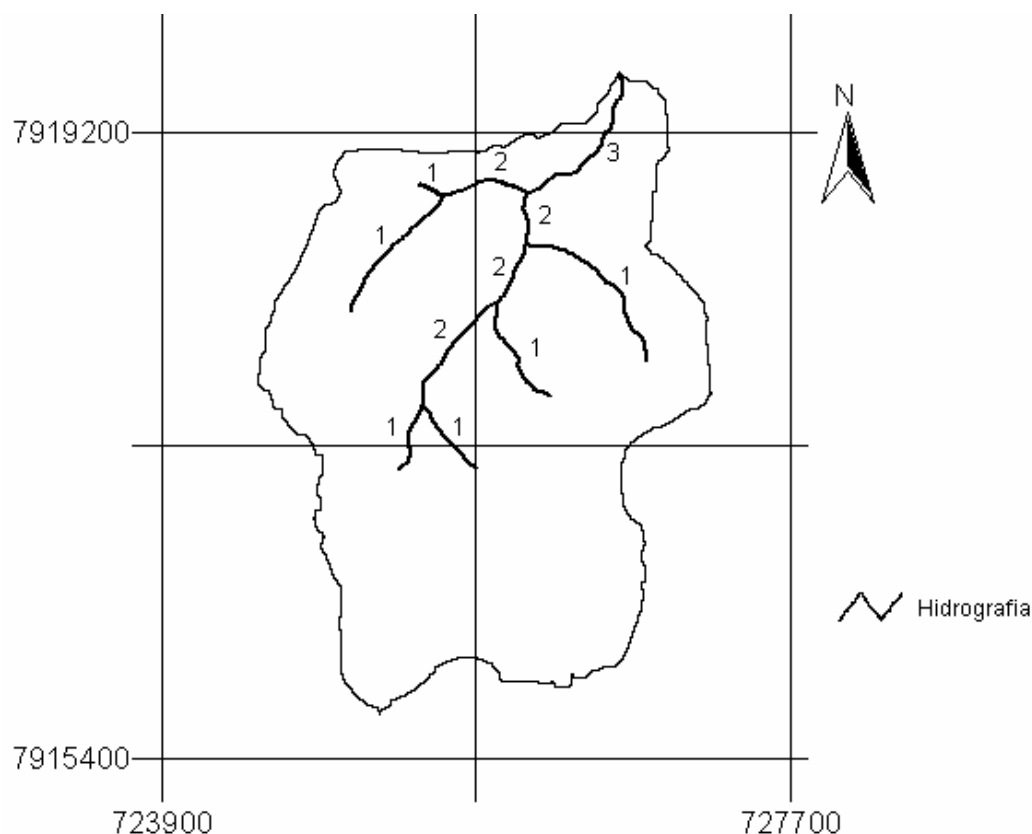


Figura 6 - Ordenamento dos cursos d'água, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.

O padrão formado pelos cursos d'água da bacia caracteriza-se como do tipo dendrítico. Esse padrão ocorre em terras altas, nas quais o regolito e a rocha mãe oferecem uma resistência relativamente uniforme à erosão (SOARES, 2000).

A Figura 7 apresenta a variação altimétrica de 30 em 30 metros, para toda a bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas. Observa-se que a altitude varia de 729 a 1182 metros. Apenas 7 (790 – 1000 m) dos 17 intervalos representam cerca de 69 % (4,778 km²) da área total da bacia.

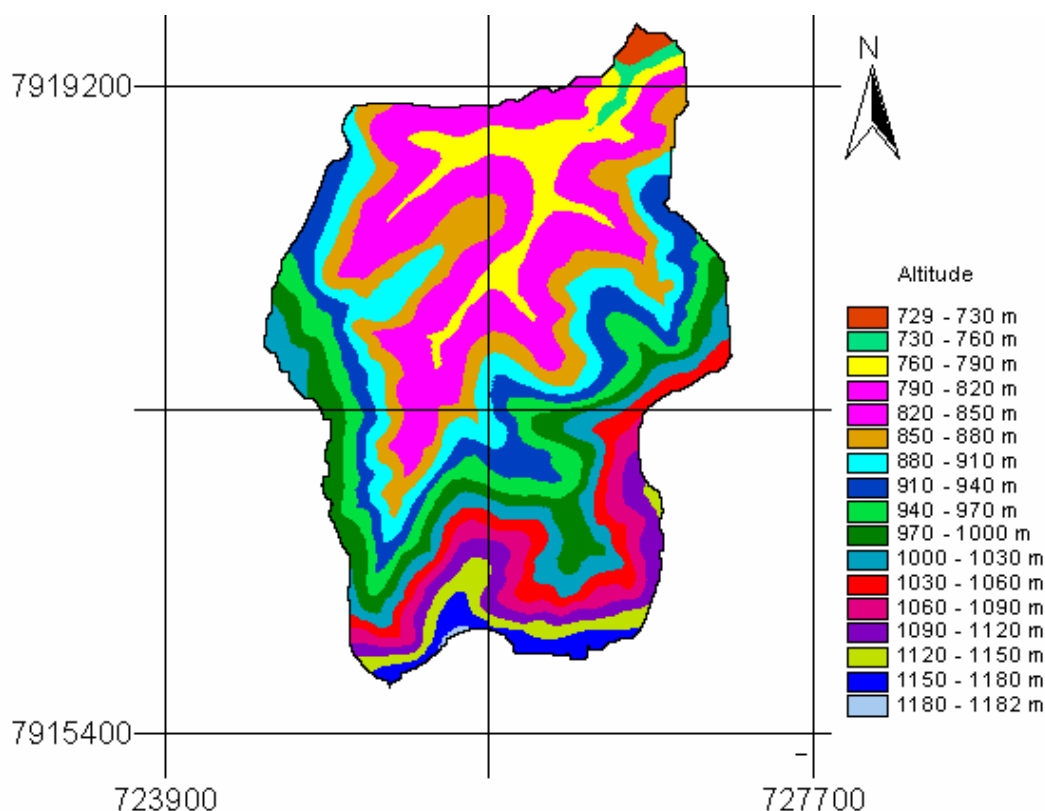


Figura 7 - Variação altimétrica determinada pelo modelo digital de elevação hidrograficamente consistente, em intervalos de 30 em 30 m para a bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhanes, MG, 2004.

A Figura 8 ilustra a distribuição da altitude ponderada pela área da bacia. A altitude média ponderada encontrada foi de 921 m.

A altitude média influencia a quantidade de radiação que a mesma recebe e, conseqüentemente, a evapotranspiração, temperatura e precipitação. Quanto maior a altitude da bacia, menor será a quantidade de energia solar que o ambiente recebe e, portanto, menos energia estará disponível para este fenômeno. Além do balanço de energia, a temperatura também varia em função da altitude; grandes variações na

altitude ocasionam diferenças significativas na temperatura, que, por sua vez, também causa variações na evapotranspiração.

Para Castro & Lopes (2001), em altitudes elevadas, a temperatura é baixa e apenas uma pequena quantidade de energia é utilizada para evaporar a água. Em altitudes baixas, quase toda a energia absorvida é usada para evaporar a água.

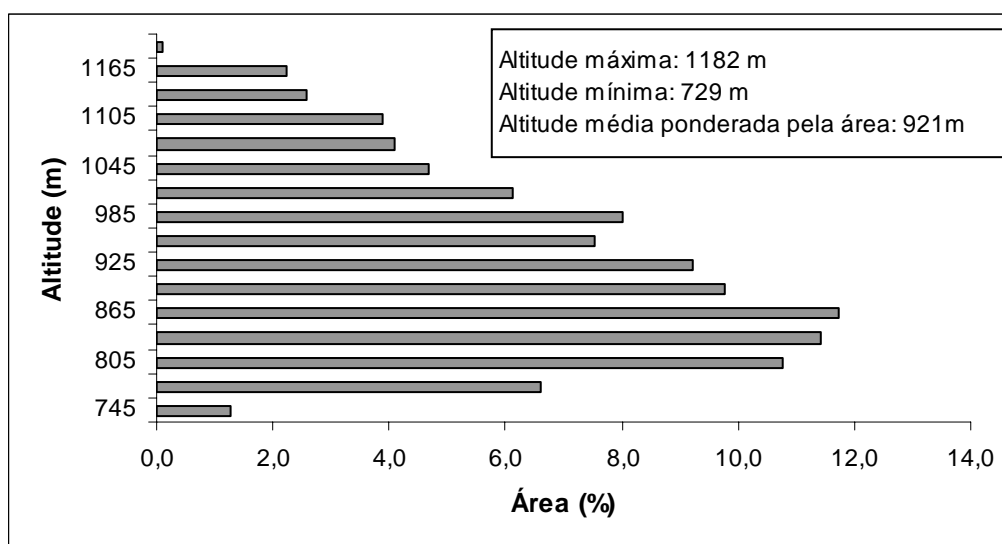


Figura 8 - Distribuição das altitudes pela área da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.

As altitudes elevadas tendem a receber maior quantidade de precipitação, além da perda de água ser menor. Nessas regiões, a precipitação normalmente excede a evapotranspiração, ocasionando, dessa forma, um suprimento de água que mantém o abastecimento regular dos aquíferos responsáveis pelas nascentes dos cursos d'água (CASTRO & LOPES, 2001).

A declividade média de uma bacia hidrográfica tem importante papel na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo, dentre outros processos. A ausência de cobertura vegetal, classe de solo, intensidade de chuvas, dentre outros, associada à maior declividade, conduzirá à maior velocidade de escoamento, menor quantidade de água armazenada no solo e resultará em enchentes mais pronunciadas, sujeitando a bacia à degradação.

Assim, a magnitude dos picos de enchentes ou a menor oportunidade de infiltração e suscetibilidade à erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento superficial, que está fortemente relacionado com o relevo.

As características de declividade do terreno podem ser observadas na Figura 9. A Figura 10 apresenta a reclassificação da declividade em 6 classes, ao passo que o Quadro 5 apresenta as informações quantitativas associadas. Observa-se que a grande parte do relevo da bacia corresponde ao forte ondulado (20 – 45 %), representando 55,8 % da área total. A declividade média encontrada para a bacia hidrográfica foi de 33,9 % (Quadro 4), sendo este valor condizente com o relevo forte ondulado da região.

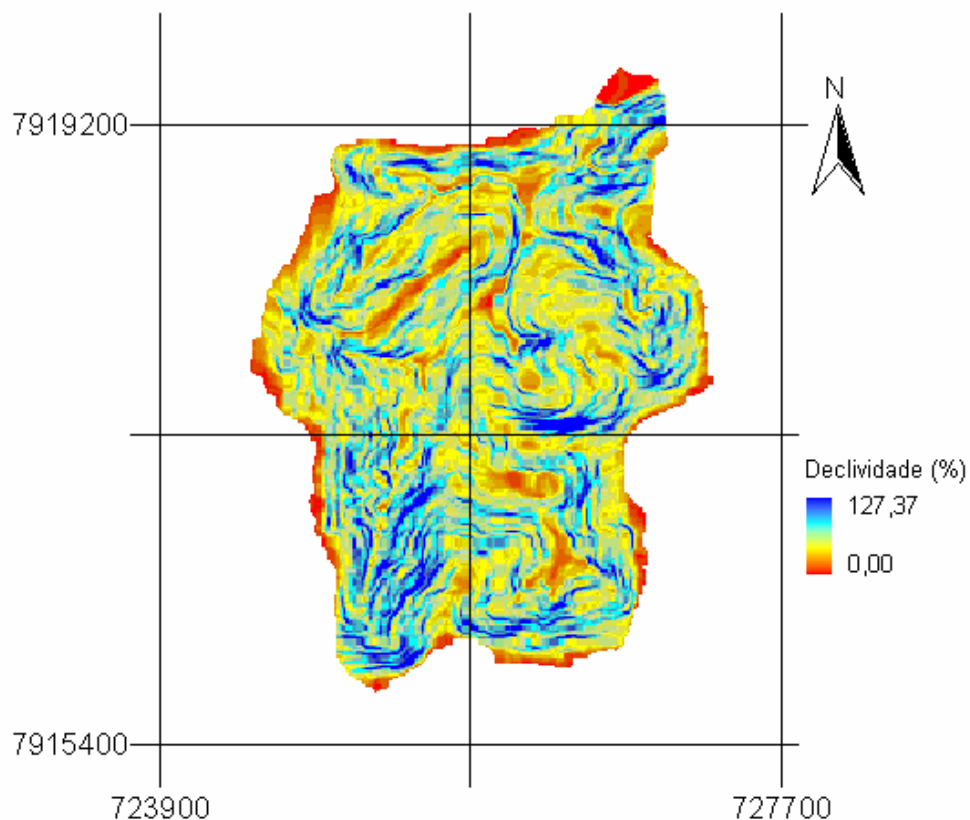


Figura 9 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.

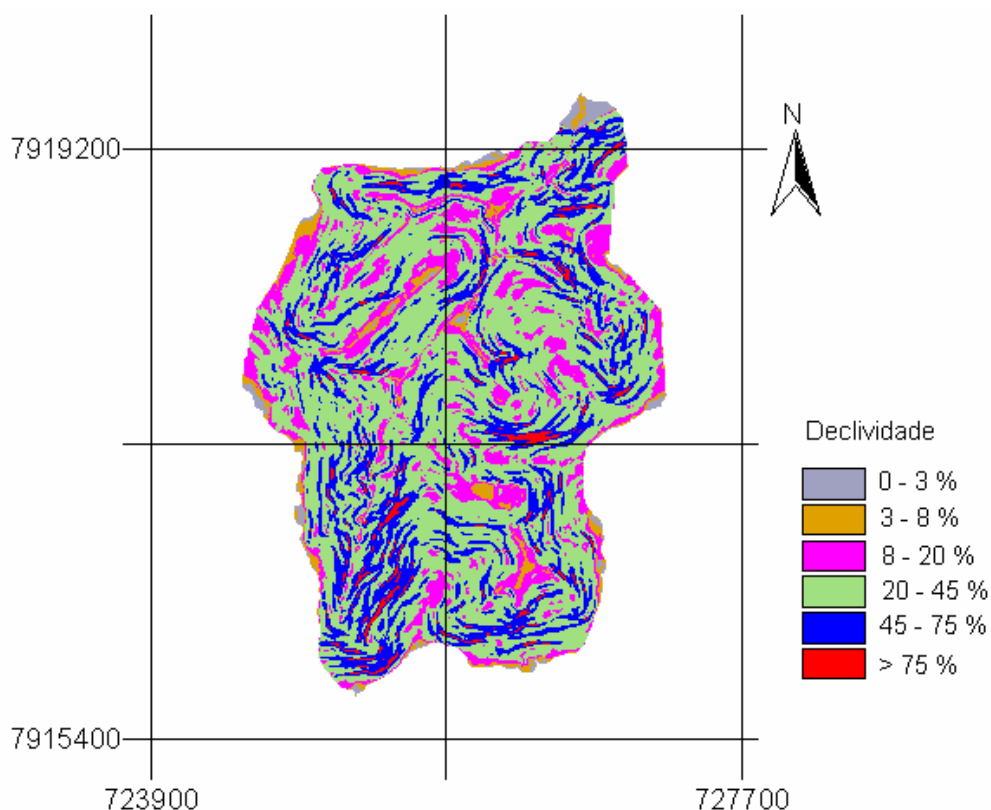


Figura 10 - Reclassificação da declividade na bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, de acordo com Embrapa, 1979.

Quadro 5 - Distribuição das classes de declividade na bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004

Declividade (%)	Relevo	Área (km ²)	%
0 – 3	Plano	0,114	1,63
3 – 8	Suave ondulado	0,222	3,17
8 – 20	Ondulado	1,110	15,90
20 – 45	Forte ondulado	3,895	55,81
45 – 75	Montanhoso	1,468	21,02
> 75	Forte montanhoso	0,172	2,47
Total		6,981	100

A declividade, dentre outros fatores, é relevante no planejamento, tanto para com o cumprimento da legislação quanto para garantir a eficiência das intervenções do homem no meio (ROMANOVSKI, 2001).

A orientação da bacia hidrográfica corresponde à sua exposição aos raios solares, tomando-se como referência os pontos cardeais. No hemisfério Sul, as bacias com orientação Norte recebem maior quantidade de calor do que as de orientação Sul. O significado quantitativo em termos de produção de água das

nascentes, quanto às diferenças nas orientações Norte e Sul das bacias é ainda muito desconhecido. No entanto, nessas diferenças devem ser levados em consideração os diferentes tipos de cobertura vegetal, já que nas bacias de orientação Norte deve-se esperar maiores taxas de evapotranspiração. Também deve-se atentar ao fato de que é esperado uma maior produção de água das nascentes de orientação Leste do que na de Oeste (CASTRO & LOPES, 2001). Em resumo, as nascentes de orientação Sul e Leste são conservadoras de umidade, ao passo que as de Norte e Oeste são dispersoras.

Na Figura 11 observa-se a orientação do terreno da bacia, em valores agrupados com 8 principais direções cardinais. O Quadro 6 apresenta a superfície ocupada por cada classe de exposição do terreno na bacia. Aproximadamente 21 % da área total da bacia apresenta exposição do terreno para a direção Noroeste – Norte (NW – N).

Quadro 6 - Distribuição das áreas em função da exposição do terreno na bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004

Orientação (graus)	Exposição	Área (Km ²)	%
0 - 45	N – NE	1,119	16,03
45 - 90	NE – E	0,896	12,83
90 - 135	E – SE	0,865	12,39
135 - 180	SE – S	0,387	5,54
180 - 225	S – SW	0,282	4,04
225 - 270	SW – W	0,608	8,71
270 - 315	W – NW	1,364	19,54
315 - 360	NW – N	1,460	20,92
Total		6,981	100

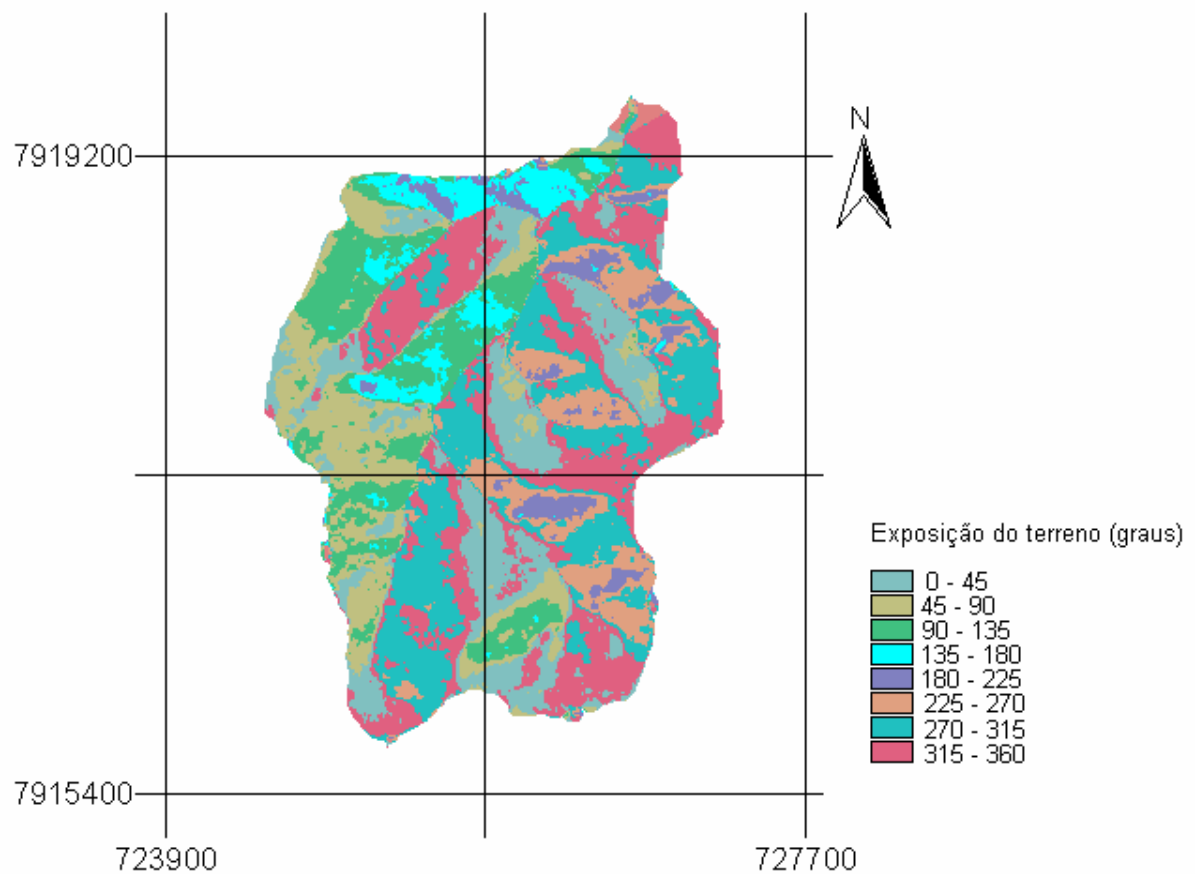


Figura 11 - Ilustração da exposição do terreno, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.

O mapa de modelo sombreado do relevo obtido para a bacia, considerando um ângulo azimutal de 315 graus e uma elevação de 45 graus é apresentado na Figura 12. As áreas sombreadas correspondem cerca de 33 % da área total da bacia. Esse percentual está relacionado com a grande variação de declividade, o que acaba influenciando o sombreamento.

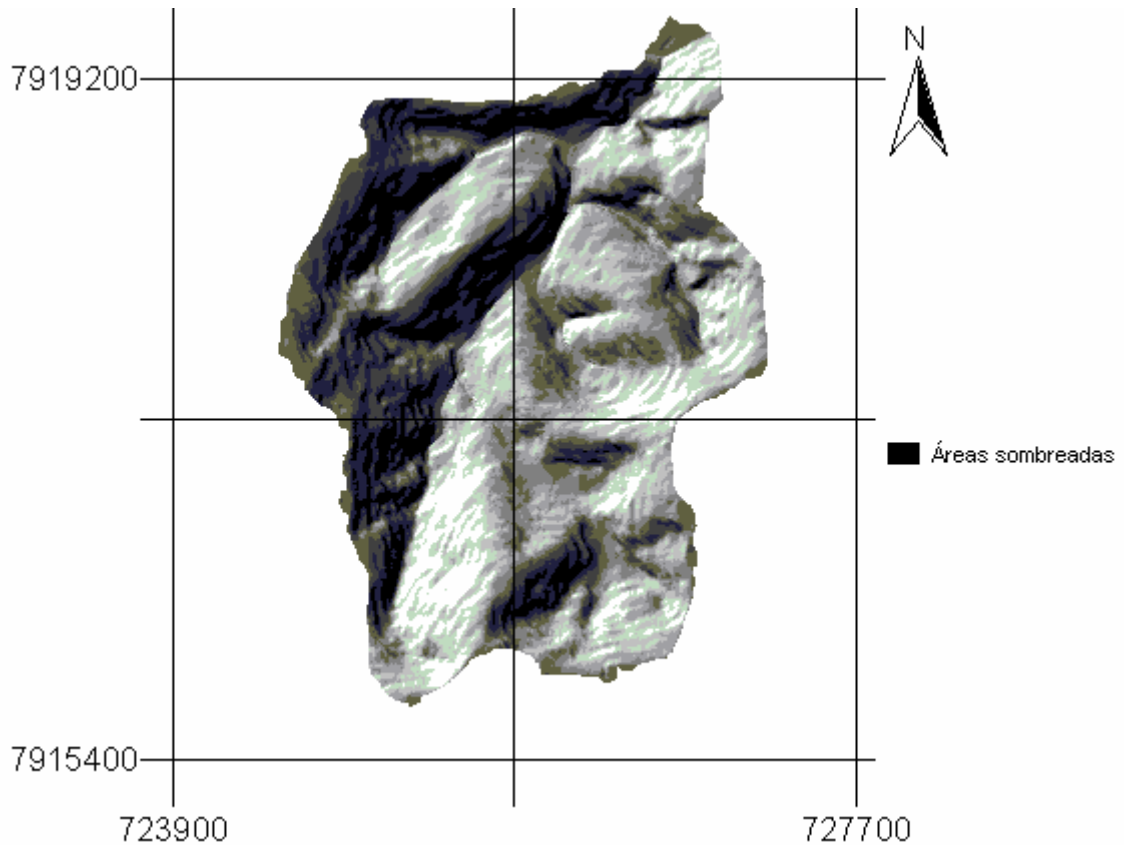


Figura 12 - Ilustração das áreas sombreadas, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.

3.2. Morfometria das sub-bacias

Para um estudo mais detalhado, a bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, com base nos seus divisores topográficos internos, foi dividida em 5 sub-bacias, onde cada sub-bacia foi analisada individualmente, como mostra a Figura 13. Os valores morfométricos destas estão apresentados no Quadro 7.

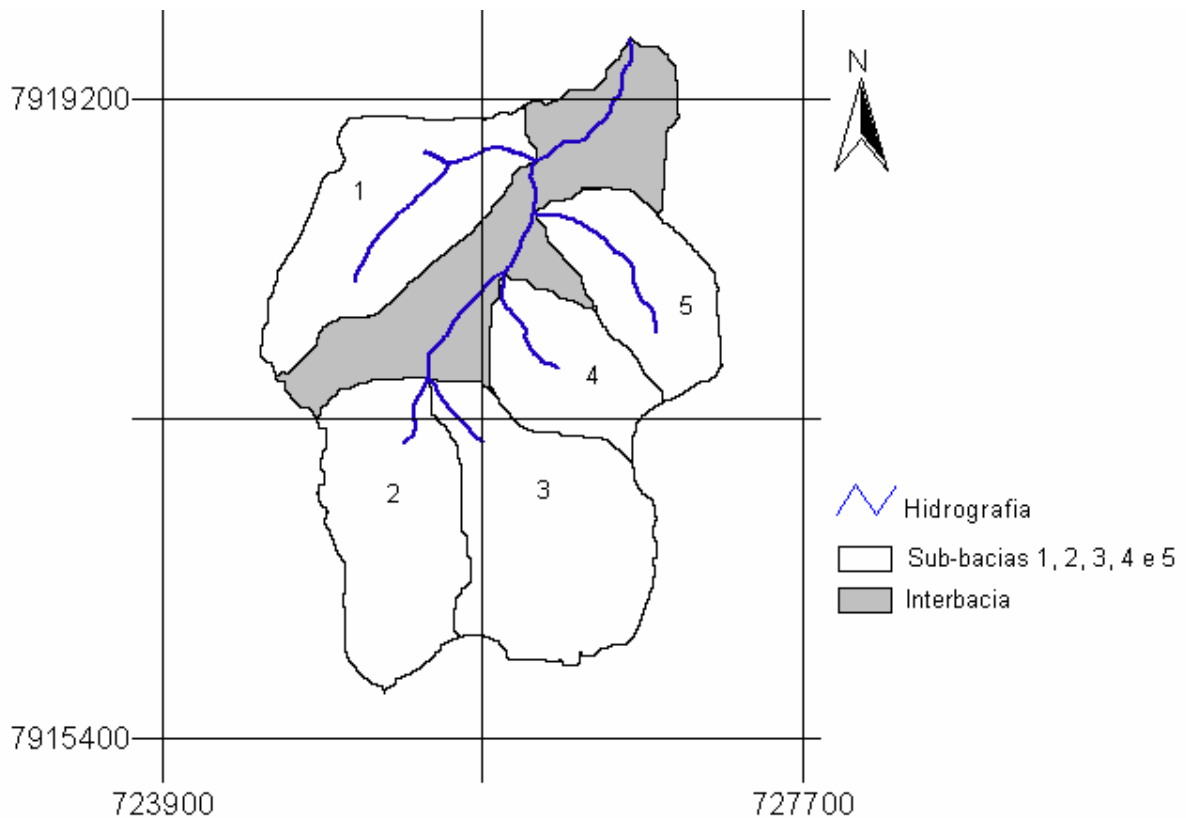


Figura 13 - Visualização das sub-bacias, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.

Em termos de densidade de drenagem, todas as sub-bacias apresentaram deficiência de drenagem, conforme os índices apresentados no Quadro 7.

Com relação à forma das sub-bacias, todas apresentaram forma alongada, o que pode ser comprovado pelos valores obtidos para o coeficiente de compacidade, fator de forma e índice de circularidade, indicando menor concentração de água da chuva e assim, não sujeitas à enchentes.

Em termos de declividade média, os valores variaram de 29,6 a 40,4 % representando um relevo forte ondulado. Há um destaque da sub-bacia 2 que apresentou maior valor de declividade média (40,4 %). Espera-se um maior escoamento superficial nesta sub-bacia quando comparado com as demais, sob as mesmas condições de cobertura vegetal, classe de solo e intensidade de chuvas, por exemplo, indicando uma maior predisposição à degradação.

Observa-se no Quadro 8 a distribuição das classes de declividade em cada sub-bacia. Em média, mais de 50 % da área total de cada sub-bacia apresenta relevo forte ondulado.

Quadro 7 - Características das sub-bacias, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004

Características Físicas	Sub-bacias				
	1	2	3	4	5
Área de drenagem (km ²)	1,265	1,246	1,503	0,680	0,773
Perímetro (km)	6,736	5,888	6,488	4,368	4,784
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,677	1,477	1,482	1,483	1,524
Fator de Forma (F)	0,313	0,358	0,391	0,381	0,372
Índice de circularidade (IC)	0,351	0,452	0,449	0,448	0,424
Orientação	NE	N	NO	NO	NO
Declividade mínima (%)	0,06	0,00	0,00	0,00	0,18
Declividade média (%)	29,6	40,4	32,9	35,6	34,7
Declividade máxima (%)	117,8	113,6	107,5	127,4	102,6
Altitude mínima (m)	762	791	790	778	771
Altitude média (m)	860	973	1030	910	907
Altitude máxima (m)	1022	1182	1181	1098	1050
Comprimento do canal principal (km)	1,541	0,461	0,521	0,742	1,183
Comprimento total dos canais (km)	1,726	0,461	0,521	0,742	1,183
Ordem dos cursos d'água	2	1	1	1	1
Densidade de drenagem	1,364	0,370	0,347	1,090	1,530

Quadro 8 - Distribuição das classes de declividade em percentil, para as sub-bacias da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004

Classe de declividade	Sub-bacias*				
	1	2	3	4	5
0 - 3 %	1,94	1,37	0,97	0,19	1,15
3 - 8 %	5,45	2,37	3,64	0,90	1,84
8 - 20 %	22,95	7,30	16,33	14,76	16,75
20 - 45 %	52,75	52,40	57,99	59,86	56,90
45 - 75 %	15,69	31,97	19,28	20,45	20,84
> 75 %	1,23	4,59	1,80	3,85	2,53

*Área em porcentagem(%)

As sub-bacias 1 e 4 apresentam respectivamente, cerca de 23 % e 28 % do seu terreno orientado para a direção NW - N (Quadro 9). Nas sub-bacias 2 e 5, cerca de 33 % e 26 % do terreno está orientado para W – NW, respectivamente. A sub-bacia 3 possui 25 % de seu terreno direcionado para N – NE.

Quadro 9 - Distribuição das áreas na forma de percentil em função da exposição do terreno nas sub-bacias da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004

Exposição (graus)	Discriminação	Sub-bacias*				
		1	2	3	4	5
0 - 45	N – NE	15,97	8,93	25,05	19,32	22,12
45 - 90	NE – E	16,95	21,90	7,60	5,29	3,89
90 - 135	E – SE	22,19	15,05	6,47	0,05	0,14
135 - 180	SE – S	12,62	0,85	0,28	0,00	0,54
180 - 225	S – SW	5,00	0,10	5,77	2,77	10,12
225 - 270	SW – W	0,13	2,07	17,12	21,04	18,53
270 - 315	W – NW	4,61	32,48	16,86	23,53	25,48
315 - 360	NW – N	22,52	18,63	20,85	28,00	19,17

*Área em porcentagem(%)

A declividade média do curso d'água principal é outro aspecto relevante da morfometria, pois interfere na velocidade do escoamento da água no curso. Como mostra o Quadro 10, o curso d'água da sub-bacia 4 apresentou a maior declividade média (0,999 m/m), sugerindo um maior escoamento de água nesta sub-bacia e menor tempo de permanência da água, sendo assim conveniente um manejo de solo e água mais intensivo. Em contrapartida, o curso d'água da sub-bacia 1, apresentou o menor valor de declividade média (0,022 m/m). Para a bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas o valor encontrado foi ainda menor, 0,015 m/m entre 797,07 m e 747,07 m para o comprimento do curso d'água principal igual a 3215 m.

Quadro 10 - Declividade média dos cursos d'água principais para as sub-bacias da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004

Sub-bacia	Z10 (m)	Z85 (m)	Diferença de nível (m)	Declividade (m/m)
1	797,82	763,73	34,09	0,022
2	814,98	801,35	13,63	0,394
3	883,64	803,61	80,03	0,205
4	836,41	780,82	55,59	0,999
5	877,70	776,01	101,69	0,115

4. CONCLUSÕES

A análise dos dados e a interpretação dos resultados obtidos nas condições atuais da bacia hidrográfica, permitiram concluir que:

1. A bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas possui forma alongada. Este fato pôde ser comprovado pelos valores obtidos quanto ao fator de forma (0,409), índice de compacidade (1,575) e índice de circularidade (0,397), evidenciando um menor risco de cheias em condições normais de pluviosidade anual.
2. A declividade média encontrada para a bacia foi de 33,9 %, caracterizando o relevo como forte ondulado, drenagem deficiente ($Dd = 1,049 \text{ km/km}^2$) e precipitação anual de 1.183 mm. Estes parâmetros possuem grande influência sobre o escoamento superficial e conseqüentemente sobre o processo de erosão, que resulta em perda de solo, água, matéria orgânica, nutrientes e microfauna, provocando assim, assoreamento e eutrofização dos corpos d'água.
3. O padrão de drenagem formado pelos cursos d'água caracteriza-se como do tipo dendrítico com baixo grau de ramificação (ordem 3).
4. Grande porcentagem do terreno da bacia em estudo possui seu terreno voltado para a face Norte - Oeste (aproximadamente 41 %), indicando deficiência na retenção de umidade.
6. A morfometria diferenciada entre as sub-bacias, principalmente em termos de declividade, exposição do terreno e declividade média do curso d'água principal, indica um provável comportamento hidrológico também diferenciado, o que sugere a necessidade de um manejo específico para cada uma delas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J.M.P.; CASTRO, P.T.A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n.2, p. 117-127, jun/2003.

CASTRO, P.; LOPES, J.D.S. **Recuperação e Conservação de nascentes**. Viçosa: CPT, 2001. 84p.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 9, n. 18, p. 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas no Planalto de Poços de Caldas**. 1970. 375f. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1970.

CHRISTOFOLETTI, A. A mecânica do transporte fluvial. **Geomorfologia**, v. 51, p. 1-42, 1977.

CHRISTOFOLETTI, A. Morfologia de bacias de drenagem. **Notícia Geomorfológica**, v. 18, p. 130-132, 1978.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2º ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980, 188p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula**

da **X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 83p, 1979. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

FRANÇA, G.V. **Interpretação fotográfica de bacias e de rede de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba, SP**. 1968. 151f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), Piracicaba, SP, 1968.

FREITAS, R.O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. São Paulo, **Boletim Paulista de Geografia**. v. 11, p. 53-57, 1952.

GUERRA, A.T.; GUERRA, A.J.T. **Novo dicionário Geológico-geomorfológico**. 3ªed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 652p.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology New York: **Geological Society of American Bulletin**, v. 56, p. 807-813, 1945.

LIMA, W.P. **Princípios de Hidrologia Florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1986. 242p.

LORANDI, R.; CANÇADO, C.J. Parâmetros Físicos para Gerenciamento de Bacias Hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A. & CAMARGO, A.F.M. (Ed.). **Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações**. Ilhéus, Ba: Editus, 2002. p.37-65.

PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E.; DEL PRETTE, M.E. A utilização do conceito bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A. & CAMARGO, A.F.M. (Ed.). **Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, Ba: Editus, 2002. p.17-35.

PISSARRA, T.C.T. **Avaliação quantitativa das características geomorfológicas de microbacias hidrográficas 1º ordem de magnitude em quatro posições do sistema natural de drenagem**. 1998. 124f. Tese (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, 1998.

PISSARRA, T.C.T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A.S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 28, 297-305, 2004.

ROMANOVSKI, Z. **Morfologia e aspectos hidrológicos para fins de manejo da microbacia da Rua Nova, Viçosa-MG, para fins de manejo.** 2001. 99f. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

ROSS, J.L.S. Geomorfologia Ambiental. In: CUNHA, S.B., GUERRA, A.J.T. (Org.) **Geomorfologia do Brasil.** 2ºed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p.351-388.

SANTOS A.R. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, Viçosa, MG.** 2001. 141p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, v.67, p. 597- 646, 1956.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. **Erosão e Hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.** São Carlos: RIMA, 2004.140p.

SOARES, J.V. **Curso de introdução à hidrologia florestal.** INPE: São José dos Campos-SP. 2000. 78p.

SOUZA, M.J.H.; RIBEIRO, A.; LEITE, F.P. Balanço hídrico e caracterização climática de Guanhães, Nova Era e Rio Doce. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA (13.: 2003: Santa Maria) **Anais...**Santa Maria: UNIFRA, SBA, UFSM, 2003. 2v. 131-132p.

STRAHLER, A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin.** v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952.

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transacions: American Geophysical Union**, 38:913-920, 1957.

TOLENTINO, M.; GANDOLFI, N.; PARAGUASSU, A.B. Estudo morfométrico das bacias hidrográficas do Planalto de São Carlos - SP. **Revista Brasileira de Geografia**, v.30, n. 4, p.42-50, 1968.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre, RS: Editora da Universidade (UFRGS)/Edusp/ABRH, 2001.943p.

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

CAPÍTULO 2

ANÁLISE HIDROAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DA CACHOEIRA DAS POMBAS, GUANHÃES, MG

RESUMO

TONELLO, Kelly Cristina, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro 2005. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG.** Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias. Conselheiros: Agostinho Lopes de Souza e Carlos Antonio Alvares Soares Ribeiro.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o estado de conservação hídrica e ambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, localizada no município de Guanhães-MG, visando seu manejo integrado. A área de estudo possui cerca de 50 % de ocupação com plantios efetivos de eucalipto, sendo o restante de terreno preservação permanente, reserva legal, estradas e represas. A bacia hidrográfica está inserida em uma região de relevo acidentado, sendo este classificado como forte ondulado, onde a declividade média é igual a 34 %. De forma geral, verificou-se que quanto ao do estado de conservação das seis nascentes, três encontravam-se preservadas, duas degradadas e uma perturbada. Quanto à persistência da vazão, três foram caracterizadas como intermitentes e três perenes. A vazão dos cursos d'água apresentou-se desregularizada, com grandes valores na estação chuvosa e posterior redução na estiagem. Foram observados alguns problemas ambientais, como focos de erosão, traçado inadequado de estradas, cursos d'água e represas

bastante assoreadas e com uma visível alteração na cor e turbidez da água entre os períodos de estiagem e cheia. Verificou-se ainda que apesar do plantio de eucalipto ser considerado uma prática de proteção do solo contra o processo erosivo, em determinadas condições este não ofereceu proteção suficiente ao solo a ponto de impedir o escoamento superficial na bacia hidrográfica, comprometendo os recursos hídricos da área, o que evidencia a necessidade urgente da realização de práticas conservacionistas de solo e água, assim como o monitoramento hidrológico da bacia hidrográfica.

1. INTRODUÇÃO

A utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento ambiental não é recente. Há tempos os hidrólogos têm reconhecido as ligações entre características físicas de uma bacia hidrográfica e a quantidade de água que chega aos corpos hídricos. Por outro lado, os limnólogos têm considerado que as características do corpo d'água refletem as características de sua bacia de drenagem. Neste sentido, as abordagens de planejamento e gerenciamento ambiental utilizando a bacia hidrográfica como unidade de estudo têm evoluído bastante, desde que as mesmas apresentam características biogeofísicas que denominam sistemas ecológicos e hidrológicos relativamente coesos (Dasmann *et al.*, 1973 citado por PIRES *et al.*, 2002).

Para o trabalho de conservação do solo e da água, algumas regiões utilizavam como unidades de planejamento, a propriedade e a comunidade. No entanto, esses limites, via de regra, não coincidem com os limites naturais. O planejamento ambiental por bacia hidrográfica, por outro lado, apresenta a vantagem de concentrar as ações numa área geográfica definida previamente com o auxílio de cartas topográficas e delimitada pelos divisores de água, de onde fluem as águas da chuva para as partes mais baixas do terreno, formando os cursos d'água. Nas bacias estão localizadas as nascentes dos córregos, que compõem, junto com os rios dos quais são tributários, o sistema de drenagem de uma determinada região. Assim, as intervenções no nível da sub-bacia visam atenuar os impactos gerados pela ação humana nas cabeceiras dos rios, como forma de beneficiar tanto a população da área rural, quanto às populações das cidades, geralmente localizadas a jusante das bacias (FARAH & BARBOZA, 2000).

As bacias hidrográficas muitas vezes transcendem os limites político-administrativos que separam os municípios, englobando vários deles. Por isso, o manejo dos recursos naturais tomando a bacia como unidade de planejamento tem sido centralizado e gerenciado por órgãos públicos estaduais ou por consórcios intermunicipais de recursos hídricos (FARAH & BARBOZA, 2000).

O estudo e a compreensão da distribuição da água na vegetação, principalmente a florestal, podem gerar formas de manejo tecnicamente viáveis, facilitando a tomada de decisões importantes para o uso integrado das bacias hidrográficas (VALCARCEL, 1984).

Durante a Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos, Lima (1997) discorreu sobre a polêmica das plantações florestais com espécies de rápido crescimento, principalmente com eucaliptos, criticadas por seus impactos ambientais. De acordo com o autor, as evidências disponíveis são claras para eliminar a maior parte das afirmações exageradas nesta polêmica, mas de qualquer forma, há bastante espaço para a melhoria das práticas de manejo das plantações florestais visando minimizar efeitos ecológicos, a fim de garantir a integridade do ecossistema. A noção da microbacia hidrográfica como unidade ecossistêmica de planejamento das atividades florestais, possibilita a identificação de indicadores hidrológicos para o manejo sustentável de recursos naturais.

É notório que a irregularidade da distribuição temporal das chuvas tem sido a responsável pela insatisfação dos consumos da população em épocas de estiagem. Contudo, a degradação ambiental dos recursos naturais de uma bacia hidrográfica pode comprometer as reservas subterrâneas, aumentando ainda mais estas dificuldades. Desse modo, torna-se necessário conhecer em profundidade o funcionamento dos ecossistemas e os fatores que atuam sobre eles, a fim de obter referenciais que permitam a avaliação da magnitude dos impactos ambientais decorrentes da intervenção antrópica sobre os mesmos.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi analisar o estado de conservação hídrica e ambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, localizada no município de Guanhães-MG.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

2.1.1. Características Físicas

2.1.1.1. Localização

O presente estudo foi realizado em área de propriedade da empresa Florestal Celulose Nipo-Brasileira - CENIBRA S.A., nos limites do projeto Cachoeira das Pombas, no município de Guanhães - MG, na região do Alto e Médio rio Doce (Figura 1).

A bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas pertence à bacia do rio Corrente Grande, afluente pela margem esquerda do rio Doce e drena parcialmente a região onde se inserem os municípios de Guanhães, Virginópolis, São João Evangelista, Gonzaga, Santa Efigênia de Minas, São Geraldo da Piedade, Açucena, Periquito, Governador Valadares e Divinolândia de Minas.

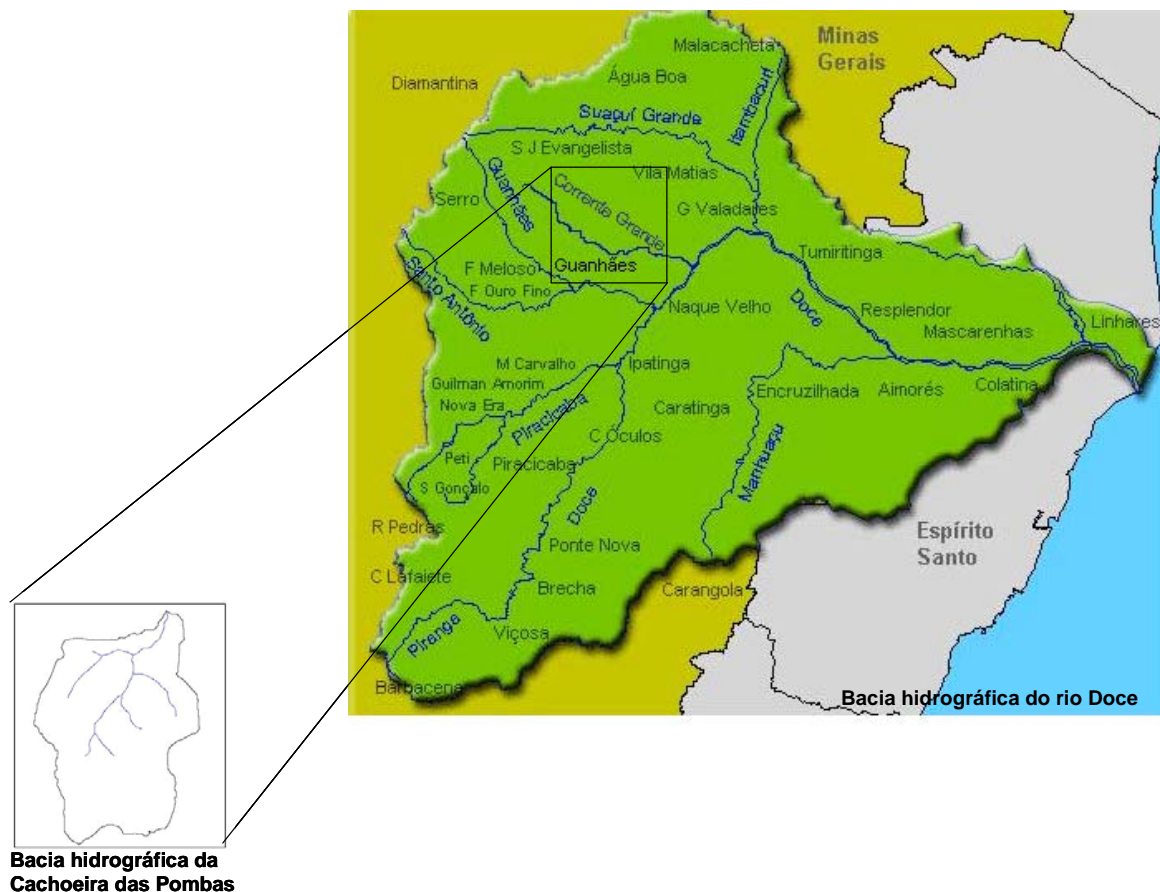


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, na bacia hidrográfica do rio Doce. Fonte: adaptado de Sistema de meteorologia e recursos hídricos de Minas Gerais, 2005.

2.1.1.2. Clima

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima predominante na região é Aw – Clima Tropical chuvoso de savana, ou seja, inverno seco e chuvas máximas no verão (SOUZA *et al.*, 2003).

Conforme registros da Estação Meteorológica da CENIBRA S.A., localizada em Guanhões (42°58'WGr, 18°38'S e altitude 801 m), para o período de 1990 a 2004, a temperatura média anual foi de 21,7°C e variou de 17,8°C em julho a 24,3°C em fevereiro. A temperatura mínima média anual neste período foi de 15,9°C, sendo que o menor valor ocorre em julho (11,7°C), e o maior em janeiro e fevereiro (18,6°C). A média anual das máximas foi 27,0°C, o mês de maior valor foi fevereiro (29,6°C) e o de menor julho (24,2°C). A umidade relativa média variou de 66,5 % em outubro a 81,2 % em janeiro, sendo a média anual de 73,9 %.

A precipitação média anual foi de 1183 mm, sendo o trimestre mais chuvoso o de novembro, dezembro e janeiro, com um total precipitado de 679 mm. O trimestre mais seco foi o de junho a agosto, com um acúmulo de 35 mm.

De acordo com Thornthwaite e Mather (1955), têm-se como balanço hídrico para Guanhães, no período de 1990 a 2004: evapotranspiração potencial (ETP) de 1038 mm, evapotranspiração real média anual (ETR) de 886 mm, deficiência hídrica anual (DEF) de 152 mm e excesso hídrico anual (EXC) de 299 mm.

2.1.1.3. Características geológicas e uso atual do solo

A área de influência da CENIBRA S.A. está inserida em uma grande unidade geológica caracterizada por rochas proterozóicas, que ocupa grande extensão da bacia do Rio Doce. Localmente há ocorrência de granitos e itabiritos (BURLA, 2001) e rochas magnésíferas, metabasaltos, anfibolitos, xistos, cataitabiritos, rochas básicas e ultrabásicas (CENIBRA, 2003).

De acordo com Burla (2001), os solos da área de estudo possuem profundidade média a alta, fertilidade baixa, com alta acidez, textura argilo-arenosa, e média vulnerabilidade quanto à erosão, compactação e presença de cascalho. A classificação dos solos nas áreas de plantio de eucalipto podem ser visualizadas na Figura 2. A classe de solo citado inicialmente é o predominante em cada talhão.

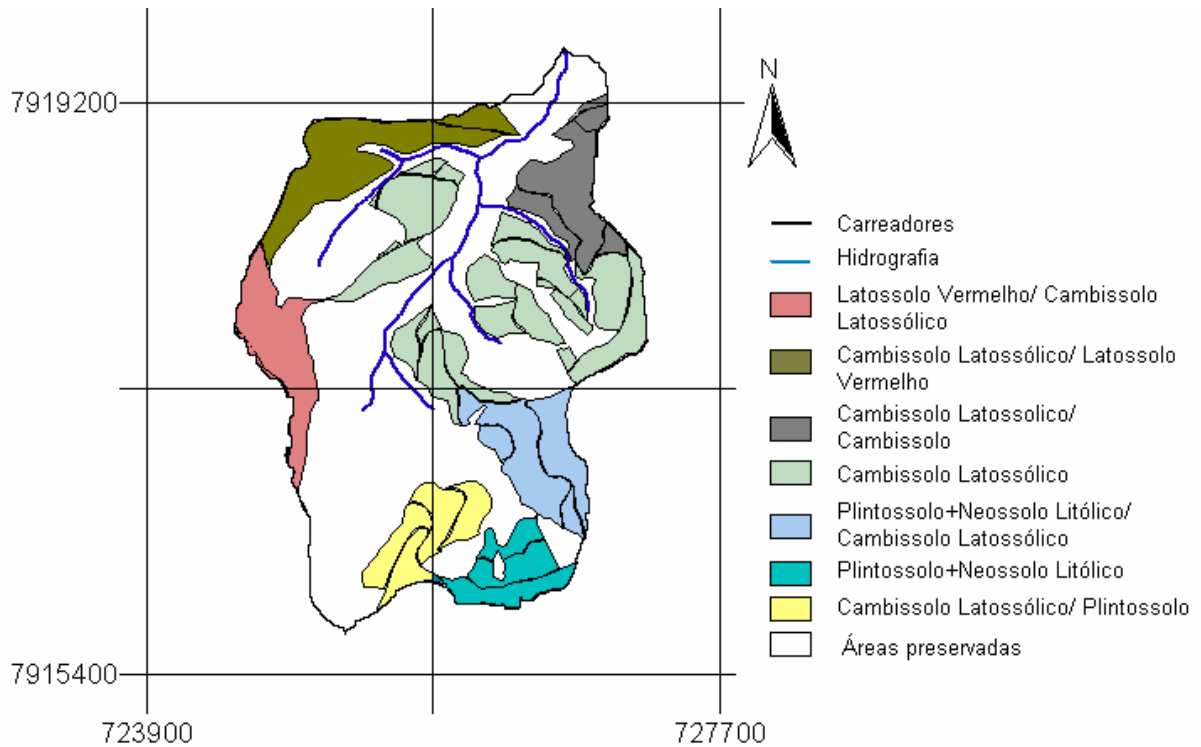


Figura 2 - Classificação dos solos nas áreas de plantio da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004 (CENIBRA, 2005).

O histórico da área de estudo consta que, antes da aquisição da propriedade pela *Florestas Rio Doce S.A.* para plantio de eucalipto em 1972, toda a bacia era ocupada com vegetação nativa. Em 1984, a CENIBRA adquiriu a área, mantendo a mesma atividade econômica.

Desde o início do plantio de eucalipto na área (1972), a distribuição espacial do uso do solo (áreas de reserva legal, preservação permanente, plantios de eucalipto e represas) não sofreu mudanças significativas, sendo mínimos os impactos ambientais da atividade florestal sobre os remanescentes florestais nativos.

Cerca de 350 ha da bacia possui plantios efetivos de *Eucalyptus grandis*, em espaçamento 3 x 2 m, distribuídos em talhões reformados (auto-fuste) e regenerados (talhadia), com idade variando de 8 a 11 anos. A limpeza anterior da área foi realizada com o uso de fogo e o preparo do solo, por coveamento manual (20x20x25 cm).

2.1.1.4. Morfometria da bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas possui área de drenagem pequena (698,1 ha), altitude média igual a 921 m, alta declividade (33,9 % - relevo forte ondulado) e forma alongada (fator de forma, coeficiente de compacidade e índice de circularidade iguais a 0,409, 1,587 e 0,397, respectivamente). A densidade de drenagem ($Dd = 1,049 \text{ km/km}^2$) é baixa e grande porcentagem do terreno da bacia em estudo possui exposição do terreno para a face Norte - Oeste (aproximadamente 41 %), indicando deficiência na retenção de umidade.

As cinco sub-bacias são morfometricamente distintas, como por exemplo, as sub-bacias 2, 3, 4 e 5 apresentam maior declividade do que a sub-bacia 1; as sub-bacias 1,2 e 3 com áreas maiores e semelhantes e as sub-bacias 4 e 5 com áreas menores e também semelhantes, muito embora a forma das sub-bacias seja aproximadamente igual.

2.1.2. Características Biológicas

A cobertura vegetal original onde se insere a área de estudo, ao leste do Estado de Minas Gerais, está situada nos limites da Floresta Atlântica (FUNDAÇÃO S.O.S MATA ATLÂNTICA/ INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS/ INSTITUTO SÓCIO AMBIENTAL, 1998). Entretanto, devido à proximidade com o cerrado, a cobertura florestal desta região sofre interferências deste ecossistema, evidenciado pela existência de diversas espécies típicas deste tipo de ambiente como *Byrsonima* sp., *Cordia sellowiana*, *Machaerium villosum*, *Machaerium opacum*, dentre outras (CENIBRA, 2003).

O Mapa de Vegetação do Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 1993), coloca as formações florestais de ocorrência natural da região como pertencentes à Região Ecológica da Floresta Estacional Semidecidual (Mata Semicaducifolia), assinalando que nessa região florestal são dominantes os gêneros neotropicais *Tabebuia*, *Paratecoma*, *Cariniana*, entre outros, em mistura com os gêneros paleotropicais *Terminalia* e *Erithrina*, e com gêneros austrálicos *Cedrela* e *Sterculia* (CENIBRA, 2003).

De acordo com um estudo realizado pela CENIBRA (2003), a alta diversidade de espécies encontrada na área de estudo ($H' = 4,205$ nats/espécie), quando comparada aos valores encontrados para outras áreas estudadas no Estado de Minas Gerais, está associada à elevada diversidade de nichos existentes e ao fato da área de estudo estar inserida em região de transição entre Cerrado e Floresta Atlântica (CENIBRA, 2003).

Na região de estudo, encontraram-se ainda, quatro espécies citadas na Lista de Espécies da Flora Ameaçada de Extinção publicada pelo IBAMA: Braúna (*Melanoxylon brauna*), Jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra*), Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*) e Peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron*).

O uso do solo citado permitiu a regeneração de vegetação arbórea nativa, nas áreas preservadas, sendo que, segundo CENIBRA (2003), 38 % da área encontra-se nos estágios de sucessão secundária inicial e 51 % em estágio médio de sucessão secundária. Os 11 % restantes compreendem áreas com afloramentos rochosos e vegetação rupestre, caracterizados pela ocorrência de solos rasos, ilhados pela vegetação arbórea, permitindo a ocorrência de ambientes rupestres, com árvores baixas e retorcidas e, espécies das famílias Cyperaceae, Bromeliaceae, Gramineae e Orchidaceae.

Estas características, aliada a elevada diversidade florística, conferem à área de estudo condições de abrigar espécies de grande porte da fauna silvestre regional e ainda receber, através de projetos de reintrodução, espécies extintas na região (CENIBRA, 2003).

2.1.3. Características Sócio-econômicas

Como proprietária da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas e visando aproveitar a beleza natural do local, principalmente pela existência da cachoeira que se tornou uma grande referência para as comunidades próximas, a CENIBRA fundou um clube social de lazer em sua foz, sendo uma de suas piscinas natural, correspondendo à cachoeira. A princípio, o clube seria aberto somente a funcionários da empresa e seus familiares nos finais de semana. Mas na época, devido à grande carência de lazer na cidade de Guanhães, foi decidido sua abertura também para os sócios contribuintes da comunidade local e visitantes.

2.2. Caracterização das nascentes e análise hidroambiental

Toda a bacia hidrográfica foi percorrida para um reconhecimento *in loco* de seus detalhes a respeito do uso do solo e conservação da bacia, assim como para a realização de medições de vazão das nascentes.

As nascentes foram caracterizadas quanto ao seu tipo e persistência, onde avaliou-se também o seu estado de conservação, sendo estas classificadas como preservadas (quando da presença de vegetação nativa em um raio maior ou igual a 50 m), perturbadas (quando não apresentam 50 metros de vegetação nativa no seu entorno, mas se encontram em bom estado de conservação) e degradada (presença de eucalipto no entorno, estradas, erosões e assoreamentos).

Foram coletados valores de vazões mínima (outubro/2004) e máxima (janeiro/2005) das nascentes. Tais vazões foram obtidas por meio de método indireto, pelo uso de micromolinetete modelo FP201 – Global Flow Probe.

As constatações feitas em campo (assoreamentos, erosão, mudança de cor da água e etc.), por estarem tão explicitadas visualmente na paisagem das sub-bacias, não exigiram a aplicação de metodologias de amostragem para constatar a ocorrência ou não do impacto, semelhantemente ao realizado por Mosca (2003).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica

Percorrendo-se a área de estudo, foram identificadas três nascentes perenes, três nascentes intermitentes e cinco represas (Figura 3).

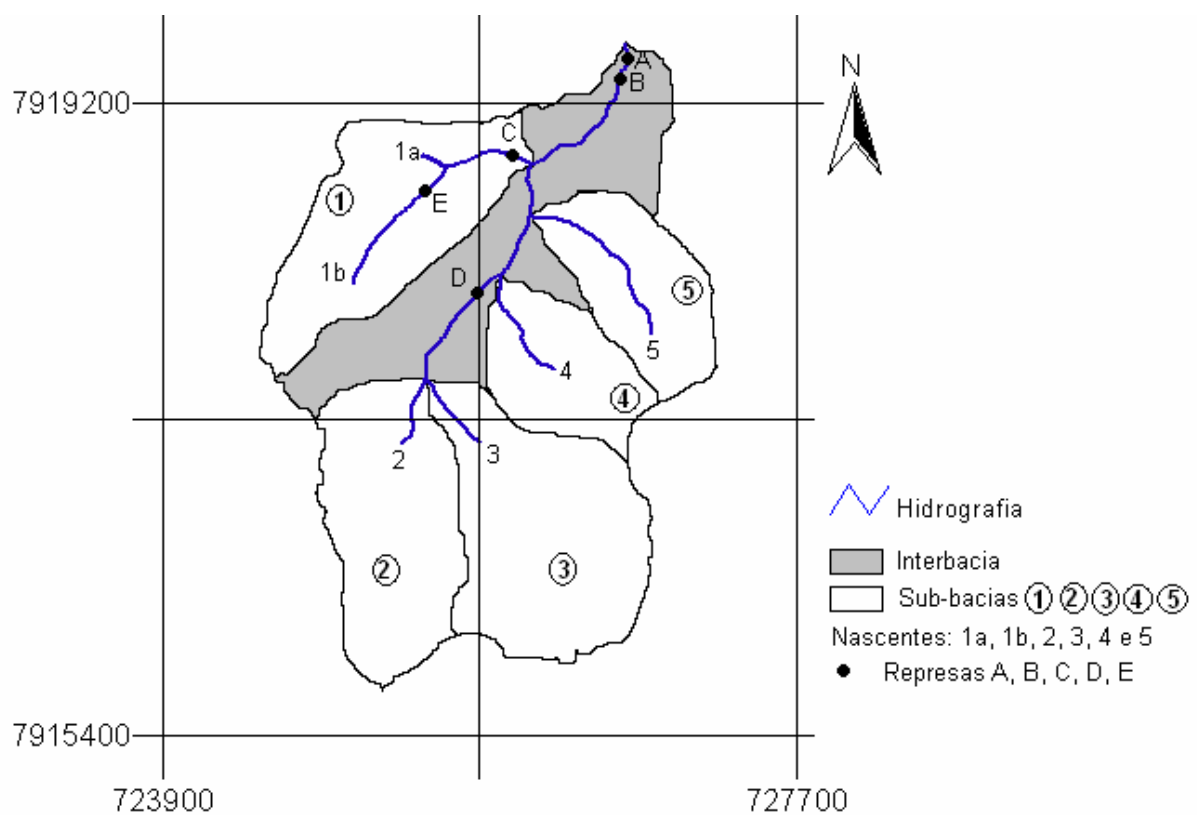


Figura 3 - Delimitação das sub-bacias, nascentes e represas, Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.

Apesar das áreas de plantio possuírem seu sub-bosque protegido com a própria serapilheira, foram constatadas algumas falhas relacionadas à conservação de solo e água.

Para Mosca (2003), os indicadores visuais expressam o resultado das ações humanas ao longo do tempo, facilmente percebidas na paisagem. Ainda de acordo com o mesmo autor, como os parâmetros da qualidade da água, os atributos visualmente percebidos na paisagem permitem integrar respostas às práticas de manejo na escala de microbacia.

O estado de conservação das nascentes visitadas, assim como seus valores de vazão, estão representados no Quadro 1.

Quadro 1 - Caracterização das nascentes, Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004

Nascente	Persistência	Tipo	Vegetação	Vazão estação seca (l/s)	Vazão estação chuvosa (l/s)
1 a	Intermitente	Difusa	Degradada	-	-
1 b	Intermitente	Encosta	Preservada	0	0,53235
2	Perene	Encosta	Preservada	0,1874	1,0135
3	Perene	Encosta	Preservada	0,0572	0,7766
4	Perene	Encosta	Perturbada	0,1167	0,5891
5	Intermitente	Encosta	Degradada	0	0,0856

As nascentes 2 e 3 (Figura 3 e Quadro 1) possuem vazão durante todo o ano e encontram-se preservadas, ao passo que a nascente 4, embora perene, apresentou-se perturbada. As demais nascentes são caracterizadas como intermitentes e variam quanto ao tipo e estado de conservação.

Conforme pode-se observar na Figura 4, a represa D recebe a água das nascentes 2 e 3. Por meio de um diagnóstico visual, observou-se um aspecto amarelado (barrento) da água, indicando a ocorrência de perda de solos, nutrientes e matéria orgânica nas áreas a montante da represa, ao contrário do que pôde ser observado na mesma durante a época de estiagem.

A Figura 5 apresenta um panorama da área de contribuição da sub-bacia 1, onde estão inseridas as nascentes 1a e 1b. No divisor de águas desta sub-bacia, foi possível identificar a presença de plantios de eucalipto. Há uma forte presença de rochas, muitas vezes expostas, formando um vale onde é notável a presença de

floresta nativa. A variação de vazão da nascente 1b entre as estações pode estar relacionada ao afloramento de rochas como o granito, passando a escoar superficialmente toda a água precipitada, contribuindo para as altas vazões no período chuvoso. Este fato pode ser comprovado pela Figura 6, a qual ilustra a represa E que armazena a vazão da nascente 1b nas estações de chuva e seca, respectivamente.



Figura 4 - Visualização da represa D, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004. (a) estação chuvosa e (b) estação seca.



Figura 5 - Área de contribuição da nascente 1b, Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG, 2004.

De acordo com Lima *et al.* (2002), o traçado inadequado de estradas e carreadores afeta o funcionamento hidrológico de toda a bacia. Os problemas mais graves causados pela má locação da rede viária estão associados à captação, condução e deságüe concentrado de enxurrada em determinados pontos do terreno, ocasionando erosão laminar e, ou em sulcos na própria estrada e em talhões

adjacentes. Além das quedas de produtividade ocasionadas pela erosão, o assoreamento de cursos d'água e a perda de valores estéticos e paisagísticos são danos possíveis da má locação e manutenção viária (GONÇALVES, 2002), revestindo-se de grande importância a captação e o disciplinamento dessas águas, de forma a eliminar seu efeito destruidor, acumulando-as em locais determinados e forçando sua penetração na terra, favorecendo o abastecimento do lençol freático e, conseqüentemente, alimentando as fontes e nascentes naturais. Ao percorrer as áreas de contribuição das sub-bacias, esta situação foi visualizada em vários pontos.



Figura 6 - Represa E que armazena água da nascente 1b, Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004: (a) estação chuvosa e (b) estação seca.

O diagnóstico realizado na nascente 1a, localizada um pouco abaixo da 1b, constatou que esta possui vazão somente na estação de chuva e é do tipo difusa. Verificou-se ainda que se apresenta degradada, uma vez que a estrada de contorno acaba sobrepondo parte de sua zona ripária. Este fato, aliado à presença de rochas impermeáveis nesta sub-bacia, acarreta a diminuição de infiltração de água no solo, impedindo o abastecimento do lençol subterrâneo.

Sob a ótica da hidrologia florestal, ou seja, levando em conta a integridade da microbacia hidrográfica, as zonas ripárias ocupam as áreas mais dinâmicas da paisagem, tanto em termos hidrológicos, como ecológicos e geomorfológicos. Sua função hidrológica é representada pela ação direta numa série de processos importantes para a estabilidade da microbacia, para a manutenção da qualidade e da quantidade de água, assim como para a manutenção do próprio ecossistema aquático. Tem sido demonstrado que a recuperação da vegetação ciliar contribui

para o aumento da capacidade de armazenamento da água na microbacia ao longo da zona ripária, o que contribui para o aumento da vazão na estação seca do ano. Assim, a destruição da mata ciliar pode, a médio e longo prazos, diminuir a capacidade de armazenamento da microbacia, e conseqüentemente a vazão na estação seca, como provavelmente ocorre na bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas.

A nascente 5 (Figuras 7 e 8), caracterizada como intermitente e degradada, está localizada à cerca de 20 m da estrada, com remanescentes de eucalipto dentro do raio de 50 m, apresentando em grande parte do curso d'água, a deposição de sedimentos e permanecendo, até mesmo na estiagem, assoreada.

O curso d'água da sub-bacia 4 é cortado pela estrada e embora esta possua um dispositivo de drenagem da água (manilha), não foi suficiente para suportar a vazão da nascente durante a estação de chuva, inundando a estrada (Figura 9). Este fluxo excessivo de água pode causar o empobrecimento do solo da bacia através da lixiviação de nutrientes, matéria orgânica e microfauna, resultando em perda de solo, água e nutrientes, além de originar processos de erosão e assoreamento de cursos d'água a jusante, que, por fim, repercutirá na vazão da Cachoeira das Pombas.



Figura 7 - Nascente 5, Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, 2004: (a) estação chuvosa e (b) estação seca.



(a)



(b)

Figura 8 - Curso d'água da nascente 5, Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, 2004. (a) estação chuvosa, (b) estação seca.



Figura 9 - Inundação da estrada por água produzida pela nascente 4, bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG, 2004.

Ao percorrer a bacia hidrográfica, também foram observados vários desmoronamentos de taludes, principalmente na estação chuvosa. Alguns destes chegavam a bloquear totalmente o acesso às estradas (Figura 10). Essas conseqüências, além de exigirem soluções de alto custo para corrigi-las, trazem danos aos mananciais hídricos pelo assoreamento das nascentes e cursos d'água e pela elevação do nível de turbidez das águas, nas áreas adjacentes às estradas. De acordo com Arruda (1997) estes problemas são conseqüentes da ausência de padrões técnicos construtivos, deficiência do sistema de drenagem (ausência de dispositivos de drenagem superficial, profunda e de transposição de taludes), falta de suporte da camada de rolamento e do subleito (superfície da estrada muito defeituosa) e exposição do horizonte C.



Figura 10 - Desmoronamento de taludes na bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.

As represas A e B (Figuras 11, 12 e 13) são as mais próximas a montante da Cachoeira das Pombas; estão diretamente conectadas e recebem toda a água produzida pela bacia hidrográfica, direcionando-a para a Cachoeira das Pombas.

Como já era esperado, a coloração da água nestas represas entre as estações de chuva e seca, reflete os impactos a montante. Nas chuvas, a água alcança a foz da bacia, ainda com o aspecto barrento como identificado nas áreas a montante. Nota-se um acúmulo de sedimentos em algumas partes da represa B, provocando seu assoreamento (Figura 11).



Figura 11 - Focos de assoreamento (seta vermelha) na represa B durante a estação seca, Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004.



(a)



(b)

Figura 12 - Aspecto da água da represa A. (a) estação chuvosa, (b) estação seca.

Embora não tenham sido mensurados, observou-se uma nítida alteração, não somente da cor, mas também da turbidez da água da bacia em estudo. Estas alterações estão relacionadas à presença de partículas em suspensão nos corpos d'água, o que pode gerar uma considerável redução na quantidade de luz penetrada, com conseqüente diminuição da produtividade global do ecossistema aquático e com implicações sobre o seu conjunto de organismos.

Observa-se na Figura 13, grande variação na vazão entre as estações seca e chuvosa. Na estação seca (Figura 13 b), a vazão foi de 0,3383 l/s enquanto que na estação chuvosa (Figura 13 a) a vazão obtida foi de 6,1047 l/s. Segundo depoimentos de moradores da região, a Cachoeira das Pombas possuía um volume de água maior que o atual, no entanto não existe um histórico da vazão da bacia registrado.



(a)



(b)

Figura 13 - Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG, 2004. (a) estação chuvosa e (b) estação seca.

4. CONCLUSÕES

Nas condições atuais analisadas na bacia hidrográfica pode-se concluir que o estado de conservação hídrico e ambiental indica necessidade de integração dos recursos naturais por meio de um manejo integrado.

Das seis nascentes caracterizadas, cinco são do tipo encosta e uma do tipo difusa. A verificação do estado de conservação permitiu concluir que das seis nascentes, três encontram-se preservadas, duas degradadas e uma perturbada.

A vazão dos cursos d'água apresentou-se desregularizada, durante o período avaliado, com grandes valores na estação chuvosa e posterior redução na estiagem.

Foram verificadas represas bastante assoreadas e com uma visível alteração na cor e turbidez da água entre os períodos de estiagem e cheia.

Verificou-se ainda que apesar do plantio de eucalipto ser considerado uma prática de proteção do solo contra o processo erosivo, em determinadas condições este não ofereceu proteção suficiente a ponto de impedir o escoamento superficial na bacia hidrográfica, comprometendo os recursos hídricos da área. Isto evidencia a necessidade urgente da realização de práticas conservacionistas de solo e água, assim como o monitoramento hidrológico.

Desta forma, torna-se imprescindível que se faça um planejamento em relação ao uso da terra, e que este seja embasado no conhecimento científico dos recursos existentes na bacia hidrográfica, de suas estruturas e interdependências.

5. RECOMENDAÇÕES GERAIS

Na bacia hidrográfica em estudo, detectou-se a ausência de um manejo integrado de seus recursos naturais. Desse modo, foram elencadas algumas práticas aplicáveis na bacia hidrográfica, a fim de promover uma maior infiltração de água no solo, contribuindo para recarga do lençol freático e minimizando a diferença entre vazão máxima e mínima, ou seja, promovendo a regularização da vazão da Cachoeira das Pombas.

- O cultivo mínimo poderá ser aplicado em toda área de plantio da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, sendo indispensável para as sub-bacias de maior declividade média (sub-bacias 2, 3, 4 e 5). Para as áreas com relevo forte ondulado (20 – 45 %) e montanhoso (> 45 % de declive), onde não é possível fazer a operação de forma mecanizada, o preparo do solo deverá ser restrito às covas de plantio abertas manualmente e nas áreas mecanizáveis, relevo plano (0 – 3 % de declive) e suave-ondulado (3- 8 % de declive), o preparo do solo deverá ser realizado com o subsolador nas linhas de plantio (LOUZADA & COSTA, 1997; GATTO, 2000; GONÇALVES, 2002; RANZINI & LIMA, 2002).
- Preparo das linhas de plantio em nível, pois há grande ocorrência de rampas de declividade acentuada na área de estudo, e nos anos em que os plantios ainda não estiverem recobrimo efetivamente o solo, estas linhas em nível poderão ser ativas no processo de retenção de água.
- As águas pluviais constituem a principal causa dos estragos ocasionados pela erosão nas estradas. Uma prática que vem se destacando em termos de

conservação de solo e água em bacias hidrográficas é a construção de caixas de captação em estradas e barraginhas em áreas torrenciais.

- Para o monitoramento hidrológico deverá ser avaliada a variação da vazão em relação às características da bacia e a pluviosidade no local; a variação do nível do lençol freático em um piezômetro; a estimativa da evapotranspiração por meio do atmômetro (este não necessita de outros dados secundários como temperatura, umidade e outros); escoamento superficial dentro dos plantios em função da precipitação efetiva e a taxa de infiltração em diferentes posições do terreno. A Figura 14 ilustra uma possível distribuição dos equipamentos para o monitoramento hidrológico da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, em função de sua morfologia.

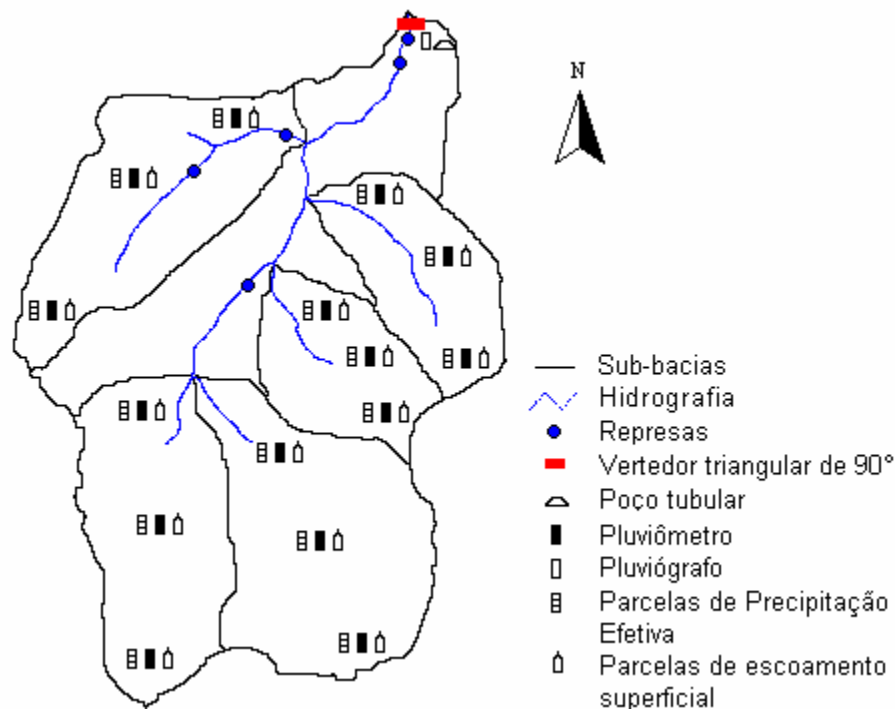


Figura 14 - Ilustração do monitoramento hidrológico para a bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG, 2004.

- Eliminação de algumas represas de modo a proporcionar um maior fluxo de água em direção à foz da bacia hidrográfica. Como foi verificado, no período de estiagem, ocorre uma diminuição natural dos canais. Com o represamento, em sucessivos barramentos, o problema de diminuição da vazão se acentua, comprometendo ainda mais a vazão da Cachoeira das Pombas. Cabe ainda

lembrar que a lâmina de água exposta à radiação solar e vento também propicia uma alta evaporação de água.

- Limpeza das represas remanescentes, retirando o excesso de sedimentos depositados, aumentando assim a capacidade de retenção de água das mesmas, contribuindo para a regularização da vazão do curso d'água. Também os cursos d'água deverão ser desobstruídos, proporcionando o fluxo contínuo da água.
- A vegetação ciliar, principalmente nas zonas ripárias, constitui a condição básica para garantir a manutenção e integridade dos processos hidrológicos e ecológicos (LIMA & ZAKIA, 2000). Desse modo, deve-se respeitar as áreas de preservação permanente, principalmente as zonas ripárias, promovendo a recuperação destas, retirando os indivíduos remanescentes de eucaliptos e realizar o enriquecimento destes locais com espécies nativas da região adaptadas a este microclima.
- Minimizar as travessias dos cursos d'água por estradas e carreadores; localizar o ponto de travessia de curso d'água de sorte a minimizar os impactos ambientais; localizar o traçado de estradas e carreadores fora das zonas ripárias.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, P.R.R. **Uma contribuição ao estudo ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa, MG.** 1997. 108f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

BURLA, E.R. **Mecanização de atividades silviculturais em relevo ondulado.** Belo Oriente: Cenibra, 2001. 144p.

CENIBRA – CELULOSE NIPO-BRASILEIRA. **Estudo florístico, fitossociológico e paramétrico das áreas de reserva legal e de preservação permanente da Cenibra.** Projeto Cachoeira das Pombas – Região de Guanhães. Belo Oriente: 2003. 143p. (Relatório Final).

CENIBRA – CELULOSE NIPO-BRASILEIRA. **Levantamento semi-detalhado dos solos da região de atuação da CENIBRA.** Belo Oriente: 2005. (Relatório interno em andamento).

GATTO, A. **Manejo do solo em áreas de reforma de floresta de eucalipto e seus reflexos na produtividade.** 2000. 62f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

GONÇALVES, J.L.M. Conservação do solo. In: GONÇALVES, J.L.M & STAPE, J.L. (ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais.** Piracicaba: IPEF. 2002. p.47-129.

FARAH, M.F.S.; BARBOZA, H.B. **Novas Experiências de Gestão Pública e Cidadania.** Rio de Janeiro: Editora FGV, 2000. 296 p. – (Coleção FGV Prática).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Recursos Naturais e Meio Ambiente**: uma visão do Brasil. Rio de Janeiro, 1993. 154p.

LIMA, W.P. Indicadores hidrológicos do manejo sustentável de plantações de eucalipto. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPT. **Proceedings...** Colombo: Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, 1997. p. 13-29.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES & LEITÃO FILHO (Ed.). **Matas Ciliares – Conservação e Recuperação**. São Paulo: EDUSP/FAPESP: 2000. p.33-44.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B.; CÂMARA, C.D. Implicações da colheita florestal e do preparo do solo na erosão e assoreamento de bacias hidrográficas. In: GONÇALVES, J.L.M & STAPE, J.L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF. 2002.p.373-391.

LOUZADA, P.T.C.; COSTA, L.M. Aspecto da utilização do sistema de cultivo mínimo na implantação de florestas de eucalipto na Veracruz Florestal. In: I SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS. Curitiba: **Anais...** Piracicaba, CNPFloresta/IPEF/UNESP/SIF/FUPEF, 1997. p. 73-87.

MOSCA, A.A.O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas**. 2003. 96f. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), Piracicaba, SP, 2003.

PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E.; DEL PRETTE, M.E. A utilização do conceito bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A. & CAMARGO, A.F.M. (Ed.). **Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações**. Ilhéus, Ba: Editus, 2002. p.17-35.

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

SISTEMA DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS - SIMGE. **Sistema de Alerta a inundações**. Disponível em: <http://www.simge.mg.gov.br/Transferir/alerta_doce/index.html>. Acesso em: 13 mar. 2005.

FUNDAÇÃO S.O.S MATA ATLÂNTICA/ INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS/ INSTITUTO SÓCIO AMBIENTAL - SOS MATA ATLÂNTICA/ INPE/ ISA. **Atlas da evolução dos Remanescentes Florestais e Ecossistemas Associados no Domínio da Mata Atlântica.** São Paulo: Fundação S.O.S. Mata Atlântica, 1998. 54p. (Relatório Nacional).

SOUZA, M.J.H.; RIBEIRO, A.; LEITE, F.P. Balanço hídrico e caracterização climáticas de Guanhães, Nova Era e Rio Doce. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. **Anais...** Santa Maria: UNIFRA, SBA, UFSM, 2003. p.99-100.

VALCARCEL, R. Balanço hídrico no ecossistema florestal e sua importância conservacionista na região ocidental dos Andes Venezuelanos. In: XI SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS. **Anais...** Embrapa, Curitiba, PR. 1984.142p.