

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

GUILHERME MORO NETO

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E ANÁLISE DO RISCO A
INUNDAÇÃO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DE IBITIRAMA-ES

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2017

GUILHERME MORO NETO

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E ANÁLISE DO RISCO
DE INUNDAÇÃO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DE IBITIRAMA-ES

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção de título de Engenheiro Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2017

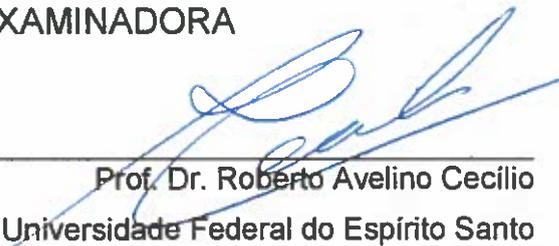
GUILHERME MORO NETO

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E ANÁLISE DO RISCO
DE INUNDAÇÃO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DE IBITIRAMA-ES

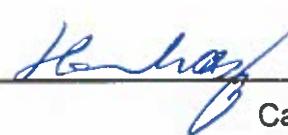
Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção de título
de Engenheiro Florestal.

Aprovada em 18 de DEZEMBRO de 2017

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Carlos Silva Dambroz
Msc. Global Change Ecology
Examinador



Francielle Rodrigues de Oliveira
Engenheira Florestal
Examinadora

“Eu nunca perco. Ou eu ganho, ou aprendo.”
(Nelson Mandela)

AGRADECIMENTOS

Aos meus avós pelo incentivo, ensinamentos e por serem a base da nossa família, sem eles nada disso seria possível.

Aos meus pais pelo amor incondicional e por sempre terem feito de tudo para que meus sonhos fossem alcançados, e se mais essa etapa se completa é devido a todo esse esforço.

À minha irmã, pelo companheirismo e apoio em todos os momentos.

À minha parceira de vida, Maria Julia, que sempre acreditou e viu o melhor em mim.

Ao meu filho Arthur, que deu um novo sentido à minha vida.

À todos da minha da família que de alguma forma me apoiaram.

Ao professor Roberto Avelino Cecílio, pela oportunidade de usufruir de seus conhecimentos como orientador, para realização desse trabalho.

Ao Carlos Dambroz e Francielle Rodrigues, por aceitarem fazer parte da minha banca.

Aos bons mestres do Centro de Ciências Agrárias e do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, que não somente ensinaram o conteúdo disciplinar, mas que se preocuparam fortemente com a formação do caráter profissional de cada aluno.

Aos amigos que também fazem parte da minha família e são responsáveis por alguns dos melhores momentos da minha vida.

À Deus, ao universo e a vida, por ser essa jornada tão incrível.

RESUMO

A bacia hidrográfica como unidade geográfica é ideal para se caracterizar, diagnosticar, avaliar e planejar o uso dos recursos naturais. A caracterização morfométrica e a análise de risco de inundação fornecem parâmetros para um adequado manejo da bacia. Estes parâmetros podem evidenciar indicadores físicos específicos para um local específico, de modo a qualificarem as alterações ambientais. O presente trabalho foi realizado em uma sub-bacia do rio Itapemirim, à montante da estação fluviométrica de Ibitirama, no estado do Espírito Santo, tendo como objetivos a sua caracterização morfométrica e a elaboração de um mapa temático do risco de inundação, por meio de técnicas de geoprocessamento. Visou fornecer uma base sólida de dados que possibilitem um planejamento adequado do uso sustentável dos recursos naturais nesta sub-bacia. Constatou-se que a sub-bacia possui um perímetro de 118,83 km, área de 341,51 km², com formato alongado, não sujeita a enchentes, altitude média de 1198 m e 2120 m de amplitude altimétrica, o relevo caracteriza-se por topos predominantemente aguçados e ocasionalmente convexados com declividade média de 34,55%, comprimento do curso d'água principal 32,83 km, índice de sinuosidade da rede de drenagem de 45,87% e orientação predominante norte (14,88%). Quanto ao risco de inundação, a sub-bacia do estudo, de forma geral, pode ser considerada de médio-baixo risco a inundações, apresentando 32,48% da área da sub-bacia com essa classificação.

Palavras chave: Morfometria. Inundações. SIG. Manejo de bacias hidrográficas.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos	10
1.1.1 Objetivo Geral	10
1.1.2 Objetivos Específicos.....	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 O problema e sua importância	11
2.2 A sub-bacia como unidade de análise	12
2.3 Caracterização morfométrica	13
2.4 Risco de inundação	15
2.5 O uso do Sistema de Informação Geográfica em análises hídricas	16
3 METODOLOGIA	18
3.1 Caracterização da área	18
3.2 Caracterização morfométrica	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Análise Morfométrica	27
4.2 Risco de inundação	39
5 CONCLUSÕES	45
6 REFERÊNCIAS	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros e equações de caracterização morfométrica utilizados no estudo	21
Tabela 2 - Grau de suscetibilidade a inundação	23
Tabela 3 - Notas estabelecidas para altitude	23
Tabela 4 - Notas estabelecidas para declividade	24
Tabela 5 - Notas estabelecidas para uso do solo.....	24
Tabela 6 - Notas estabelecidas para tipo de solo.....	25
Tabela 7 - Escala de comparadores.....	25
Tabela 8 - Matriz de comparação pareada.....	26
Tabela 9 - Determinação dos pesos estatísticos para cada variável.....	26
Tabela 10 – Índices morfométricos relacionados à geometria da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES.....	27
Tabela 11 – Índices morfométricos relacionados à rede de drenagem da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES	29
Tabela 12 – Índices morfométricos relacionados ao relevo da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES.....	30
Tabela 13 – Cálculos de distribuição de altitude referente à sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES.....	33
Tabela 14 – Quantificação das áreas homogêneas por classes de declividade para a sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES	35
Tabela 15 – Orientação do terreno da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES.....	37
Tabela 16 - Áreas e porcentagens de cada classificação referente ao risco de inundação da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES	19
Figura 2 - Fluxograma de etapas para a análise morfométrica	20
Figura 3 - Fluxograma da confecção dos mapas de declividade, orientação do terreno e modelo sombreado.....	21
Figura 4 – Rede de drenagem da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES.....	29
Figura 5 – Histograma de frequência de altitudes	31
Figura 6 - Hipsometria da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES	32
Figura 7 - Curva hipsométrica da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama	34
Figura 8 - Mapa de declividade da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES	36
Figura 9 - Mapa de orientação do terreno da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama	38
Figura 10 - Modelo sombreado da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES.....	39
Figura 11 - Precipitação pluviométrica mensal dos municípios de Ibitirama e Lúna, referente ao período de 1971 a 2011	40
Figura 12 - Mapa pedológico da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES	42
Figura 13 - Mapa de uso do solo para a sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES.....	43
Figura 14 - Mapa de risco de inundação da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES.. ..	45

1 INTRODUÇÃO

A intensa utilização da água e a contínua interferência antrópica nos sistemas hidrográficos, tem influenciado fortemente o seu equilíbrio dinâmico, necessitando de estudos específicos para um correto gerenciamento dos recursos naturais.

Conforme definido por Tucci (2000), bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída, seu exutório. É uma área representada topograficamente, delimitada pelos divisores de água, drenada por um único ou por um sistema conectado de cursos d'água, de modo que toda vazão efluente seja descarregada por uma simples saída.

Modeladas pelas condições geológicas e climáticas locais, as bacias hidrográficas estruturam-se atualmente como umas das principais unidades de gerenciamento territorial nas atividades agrossilvipastoris. No entanto, em decorrência das ações antrópicas, efeitos como alterações na estrutura física dos canais, no aporte de sedimentos, no regime hidráulico e no fluxo de matéria e energia são frequentemente encontrados nas bacias hidrográficas (VANACKER et al., 2005).

O uso intensivo dos recursos naturais sem o devido planejamento, aliado às características de solo e clima, promoveu grandes perdas de solo por erosão (VANZELA et al., 2010). Conforme Pereira (2002), o uso indiscriminado das terras, desconsiderando suas potencialidades e os graus de sensibilidade (fragilidade e/ou estabilidade) dos agroecossistemas é uma das principais causas da degradação dos solos, da erosão e da perda de sua capacidade produtiva.

Ações preventivas e de correção surgiram em função da discussão sobre a importância em se promover à proteção ambiental aliada ao desenvolvimento econômico e social, onde a inclusão de medidas de disciplinamento, principalmente da ocupação e uso do solo e da apropriação dos recursos naturais assumem um papel fundamental (BEZERRA, 2008).

A caracterização morfométrica da bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais frequentes procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais e, tem a finalidade de esclarecer as diversas questões relativas ao entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO et al., 2007). É definida como a análise quantitativa das relações entre a fisiografia da bacia e a sua dinâmica hidrológica

(SANTOS, et al., 2012), sendo de grande importância para a definição de uma sequência de prioridades na gestão e elaboração de um plano de ação.

A associação dos diversos dados morfométricos de bacias hidrográficas possibilita a diferenciação de áreas homogêneas (ANTONELLI e THOMAZ, 2007), os quais podem evidenciar indicadores físicos específicos para um certo local, de modo a qualificarem as alterações ambientais e facilitarem estudos de riscos.

Segundo Santos et al. (2012), a degradação dos mananciais é resultado da intensa conversão da paisagem, ocasionado tanto por ações muitas vezes, irresponsáveis. Portanto, a caracterização física de uma bacia hidrográfica, é importante principalmente por permitir a aplicação de instrumentos de gestão eficientes, incluindo a proteção dos recursos naturais e o planejamento regional, a fim de mitigar os efeitos antrópicos no ambiente.

Técnicas de sensoriamento remoto aliadas a um sistema de informação geográfica permitem representar com rapidez, a informação espacial e temporal de bacias hidrográficas por meio de mapas, contribuindo no diagnóstico e no entendimento dos processos decorrentes da dinâmica geomorfológica e hidrológica. (TUCCI, 2000; JENSEN, 2000)

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Caracterizar os atributos morfométricos e avaliar o risco de inundação de uma sub-bacia do rio Itapemirim, à montante da estação fluviométrica de Ibitirama.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar e classificar a morfometria da sub-bacia;
- b) Identificar áreas mais suscetíveis a ocorrência de inundações.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O problema e sua importância

Especialmente os recursos hídricos estão sendo fortemente comprometidos no que tange à qualidade e/ou quantidade, igualmente no que diz respeito às alterações das estruturas dos cursos d'água (EMBRAPA, 2012). O avanço da urbanização dos últimos 50 anos ocasionou diversas alterações no ciclo hidrológico, pois causa drásticas alterações na drenagem, elevando a possibilidade de ocorrência de enchentes e deslizamentos.

Rogers et al. (2006) afirma que a crise da água no século XXI é muito mais de gerenciamento do que uma crise real de escassez e estresse. Um dos desafios nas pesquisas de cunho ambiental é a definição de unidades ambientais homogêneas que possibilite englobar as novas demandas no enfrentamento dos problemas ambientais em escala integrada (NOAL, 2001).

A maioria das cidades brasileiras enfrenta problemas relacionados às enchentes e inundações, principalmente aquelas que apresentam núcleos habitacionais de baixa renda ocupando as várzeas dos rios (IPT, 2007).

A bacia hidrográfica do Rio Itapemirim abastece 17 municípios, atendendo, segundo o censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 1996, uma população de cerca de 410 mil habitantes, o que corresponde a quase 25% da população do estado do Espírito Santo. O rio Itapemirim é formado pelo rio Castelo e pelos rios Braço Norte Direito e Braço Norte Esquerdo (pertencente à Ibitirama), cujas nascentes situam-se no Parque Nacional do Caparaó.

A sub-bacia hidrográfica de Ibitirama, pertencente aos limites territoriais da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim-ES, está localizada no sul do estado do Espírito Santo, onde é comum a ocorrência de enchentes em eventos de chuvas intensas. As áreas urbanas dos municípios localizados em porções planas a jusante são eventualmente atingidas pelos efeitos da concentração das águas, conforme Coutinho e Glória (2013).

Diante do exposto, surge a necessidade de estudos relacionados ao planejamento socioambiental em diferentes escalas de análise, como por exemplo, as sub-bacias hidrográficas. O presente estudo é uma forma de contribuição científica no

que diz respeito aos dados referentes às características morfológicas e risco de inundação da sub-bacia em questão. Esta caracterização revela informações que ajudam a mapear áreas com potencial de armazenamento de água no solo, responsável pela regulamentação hídrica da unidade hidrológica.

Estes parâmetros podem evidenciar indicadores físicos específicos para um certo local, de modo a qualificarem as alterações ambientais. Também destaca-se sua relevância nos estudos sobre vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas. A descrição de características morfológicas e hidrológicas de uma bacia hidrográfica, aliada ao conhecimento do uso do solo, auxilia no processo de avaliação de possíveis efeitos de perturbação das características do ecossistema em suas condições naturais de equilíbrio (OLSZEVSKI et al., 2011).

As unidades hidrológicas possuem papel relevante no planejamento e gestão de um município, pois mapeia os conflitos socioambientais, sendo possível verificar quais são as restrições naturais em contraste com os usos sociais e econômicos e propor soluções legais. É de fundamental importância, para uma melhor gestão e manejo dos recursos hídricos de uma determinada área, que seja feito um estudo detalhado sobre a bacia hidrográfica da região, para que assim se utilize seus recursos da melhor forma possível, sem danificá-los.

2.2 A sub-bacia como unidade de análise

Instituída por lei como unidade de planejamento, a bacia hidrográfica é considerada a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), sendo de grande importância para gestores e pesquisadores a compreensão íntegra de bacia hidrográfica e de suas subdivisões.

Diversos conceitos de bacia hidrográfica foram elaborados ao longo do tempo. Uma definição consistente sobre tal é a de Tucci (1997), na qual afirma que bacia hidrográfica é um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório ou foz.

Guerra e Cunha (1996) afirmam que as bacias hidrográficas possuem caráter integrador, por isso são consideradas excelentes unidades de gestão dos elementos naturais e sociais. Contudo, é possível acompanhar as mudanças antrópicas e as respectivas respostas da natureza.

As sub-bacias são áreas de drenagem dos afluentes do curso d'água principal e possuem áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km² (FAUSTINO, 1996). Uma sub-bacia pode ser entendida como parte de uma bacia hidrográfica de um rio maior, correspondente a um de seus afluentes ou tributário.

A subdivisão de uma bacia hidrográfica possibilita a enumeração de problemas indefinidos, o que facilita a identificação de focos de degradação de recursos naturais, da natureza dos processos de degradação ambiental instalados e o grau de comprometimento da produção sustentada existente (FERNANDES e SILVA, 1994).

Nesse contexto, nos últimos anos, tem-se constatado acentuada ocorrência de estudos sobre bacias e sub-bacias hidrográficas, nas quais observam-se enormes alterações provocadas pelas atividades humanas, pela transformação das paisagens naturais para outros usos da terra. A situação dos recursos hídricos é preocupante, pela disponibilidade limitada e devido ao consumo exacerbado pelos mais diferentes tipos de usuários, principalmente pela atividade agropecuária.

Conforme Botelho e Silva (2004), uma bacia hidrográfica é a unidade básica da análise ambiental e permite conhecer e avaliar seus componentes, processos e interações ocorridas, fundamentada em uma visão sistêmica e integrada do ambiente. Santos (2004) afirma que a mesma é um sistema com delimitação natural no espaço, fazendo dela uma unidade espacial de fácil identificação e caracterização. Nesse contexto, o gerenciamento dos recursos hídricos é uma ferramenta onde subsidia políticas públicas e interesses da sociedade, quanto ao uso, oferta e preservação ambiental em longo prazo.

2.3 Caracterização morfométrica

As características físicas e bióticas de uma bacia apresentam relevante papel nos processos do ciclo hidrológico e influenciam, dentre outros, a quantidade de água produzida como deflúvio, a infiltração, o escoamento superficial e sub-superficial e a

evapotranspiração (TONELLO et al., 2006), sendo o processo de caracterização da mesma muito utilizado em análises ambientais e hidrológicas.

Segundo Cardoso et al. (2006), é necessário conhecer inicialmente, as características do ecossistema em condições naturais de equilíbrio de uma bacia hidrográfica, para avaliar o grau de perturbações ocorridas. O mesmo autor afirma ainda que é importante determinar comparações entre condições hidrológicas e de qualidade da água no ecossistema natural, em relação aos ecossistemas nos quais ocorre ação antrópica.

Tonello (2005) afirma que o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, dentre outros) e do tipo de cobertura (uso e ocupação).

A caracterização morfométrica de uma unidade hidrológica é uma das primeiras e mais comuns ferramentas executadas em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como finalidade explicar diversas questões referentes ao entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO et al, 2007).

Florenzano (2008), relaciona morfometria aos aspectos quantitativos do relevo, como variáveis relacionadas a medidas de altura, comprimento, largura, superfície, volume, altura absoluta e relativa, inclinação (declividade), curvatura, orientação, densidade e frequência de suas formas.

Salles (2010) afirma que a morfometria de bacias hidrográficas é a análise quantitativa dos elementos resultantes do relevo modelado, ou seja a expressão e a configuração espacial, sendo o conjunto das vertentes e canais que compõem o relevo. A caracterização morfométrica se aplica principalmente para resolução de questões relacionadas como o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO et al., 2007).

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica, combinada aos variados dados morfométricos, possibilita a diferenciação de áreas homogêneas. Estes parâmetros podem evidenciar indicadores físicos específicos para um certo local, de modo a qualificarem as alterações ambientais e estudos sobre vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas (Antoneli e Thomaz, 2007). De Almeida et al., (2017) destacam que individualmente tais características não são satisfatórias para a quantificação das enchentes em uma região. Os mesmos autores

afirmam que há necessidade de associá-las com dados hidrometeorológicos, destacadamente vazão e precipitação, para enfim poder estimar a magnitude dos picos de enchentes com mais confiabilidade.

As características morfométricas podem ser divididas em três classes: características geométricas, do relevo e da rede de drenagem (TONELLO, 2005).

2.4 Risco de inundação

Todo processo de ocupação da superfície terrestre causa algum tipo de modificação, tendo como consequência o uso da terra indevido, necessitando de estudos prioritários específicos para cada situação isoladamente.

Recentemente, o estudo da paisagem tem se apresentado como uma alternativa possível para compreensão de impactos ambientais, com resultados relevantes, o que leva necessariamente o reconhecimento da vulnerabilidade e potencialidade da natureza.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 2007), a inundação é o fenômeno que ocorre quando a vazão ultrapassa a capacidade de descarga do rio, atingindo áreas marginais, e segundo Castro (2002) é decorrente de drenagem deficiente.

Existem dois tipos de inundações, nas quais diferenciam-se quanto à velocidade e o tempo de duração do evento. As inundações graduais, geralmente previsíveis, ocorrem num intervalo de tempo mais longo, o que permite ao poder público tomar medidas que levem a minimizar os danos econômicos e sociais às áreas atingidas. Já as inundações bruscas, mais súbitas, são de curta duração, não permite ao poder público tomar medidas que visam minimizar os danos econômicos e sociais às áreas atingidas, sendo consideradas mais severas (KOBAYAMA et al., 2006).

“Risco de inundação é a combinação da probabilidade de ocorrência, tendo em conta a sua magnitude, e as potenciais consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o patrimônio cultural, as infraestruturas e as atividades econômicas, sendo as suas consequências prejudiciais avaliadas através da identificação do número e tipo de atividade afetada, podendo por vezes ser apoiada numa análise quantitativa” (BRASIL, 2010).

As características morfométricas estão intimamente ligadas ao risco de inundação. O relevo de uma bacia tem forte influência sobre os fatores hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial e conseqüentemente o tempo de concentração são determinados pela inclinação do terreno. A declividade média de uma bacia hidrográfica tem elevada importância no escoamento superficial da água, dentre outros processos.

A inundação é consequência de vários fatores que interferem na forma como a bacia hidrográfica escoar seu conteúdo hídrico e sedimentar. Toda a área a montante de uma bacia contribui com o seu volume de água na seção transversal de um rio.

Sirangelo (2014) afirma que a topografia e a característica da drenagem à montante da bacia são os elementos naturais envolvidos em um evento de inundação. O tempo de concentração é reduzido pelas altas declividades dos cursos d'água, período entre o início da chuva e a ocorrência da vazão máxima em uma seção do rio, ocasionando maior vazão à jusante. Maiores declividades resultam em maior velocidade e, portanto, maior poder destrutivo. A mesma autora complementa ainda que, área da seção transversal, a declividade do rio, o perímetro da seção e a rugosidade do leito e das margens do rio, influenciam diretamente na capacidade de escoamento de um rio.

Na atualidade, a ocorrência de riscos naturais é razão de estudo e investigação pela comunidade científica. Apesar da humanidade não possuir a capacidade de eliminá-los, os riscos podem ser previstos, geridos e examinados nas suas minúcias, de modo que o planejamento e a estruturação do território, através de uma análise dos cenários, possam criar estratégias de prevenção e controle de efeitos danosos (DAMASCO; FURTADO; BENTO-GONÇALVES, 2014).

2.5 O uso do Sistema de Informação Geográfica em análises hídricas

Os estudos morfométricos, anteriormente, eram elaborados manualmente, o que tornava o processo trabalhoso e mais suscetível a erros. Com o avanço da utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG), a análise morfométrica de bacias é feita com a integração de informações de relevo (OLIVEIRA et al., 2010) e

tornou-se acessível proporcionando maior agilidade na geração e análise das informações necessárias para as tomadas de decisões (SALLES, 2010).

A utilização de Sistemas de Informações Geográficas, associados a novas geotecnologias, para a produção de mapas de áreas susceptíveis a riscos tem se mostrado uma eficaz ferramenta para prevenção, mitigação e gestão de riscos naturais.

Dentre as inúmeras potencialidades operacionais oferecidas pelos SIGs, Klinkenberg, et al. (2006), destacam a obtenção automática de parâmetros morfométricos, o monitoramento da evolução de fenômenos, a realização de mapeamentos em diversas escalas e a análise integrada de dados provenientes de variadas fontes como requisitos fundamentais no âmbito dos estudos morfométricos.

A aplicação de modelos hidrológicos em nível de bacias hidrográficas com auxílio dos SIG pode constituir um avanço quantitativo na caracterização dos parâmetros hidrológicos, fornecendo dados reais da situação ambiental para subsidiar políticas de conservação (SOUZA, 2013).

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área

A sub-bacia hidrográfica de Ibitirama está à montante da estação fluviométrica de Ibitirama, sul do estado do Espírito Santo - Brasil (Figura 1). É parte integrante da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, que por sua vez pertence à Região Hidrográfica Costeira do Sudeste, sendo essa última constituída pelas bacias hidrográficas de rios que deságuam no Atlântico – trecho Sudeste. A sub-bacia engloba 6 municípios efetivamente: Ibitirama, Iúna, Irupi, Ibatiba, Dolores do Rio Preto e Divino São Lourenço, representando respectivamente, 223,81 km², 65,62 km², 51,37 km², 0,65 km², 0,03 km², 0,02 km² do total de 341,51 km² da área da sub-bacia.

A região tem coordenadas geográficas 20°32'29" S e 41°40'02" W, com altitude média de 1198 metros. O clima predominante da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Tropical de Altitude (Cwb). A temperatura média anual é 23°C e a média anual de pluviosidade é de 1800 mm (INCAPER, 2011). A área de estudo está inserida na região serrana do estado, onde o relevo caracteriza-se por topos predominantemente aguçados e ocasionalmente convexizados (ANTONGIOVANNI e COELHO, 2005).

Os solos predominantes são classificados como Latossolo Vermelho, Amarelo, Distrófico com manchas de terra roxa. Em sua grande maioria, são solos de baixa e média fertilidade, com elevado teor de manganês e alumínio e baixos teores de cálcio e magnésio, apresentando acidez elevada, com pH em torno de 4,5 a 5,0 (INCAPER, 2011). Segundo o mesmo Instituto, a principal atividade agrícola da maior parte territorial pertencente à sub-bacia de hidrográfica de Ibitirama é a cafeicultura, seguido da bovinocultura de leite e da silvicultura (eucalipto e outras). Outro aspecto relevante é que na sub-bacia em questão, está localizado o Parque Nacional do Caparaó unidade de conservação de Proteção Integral.

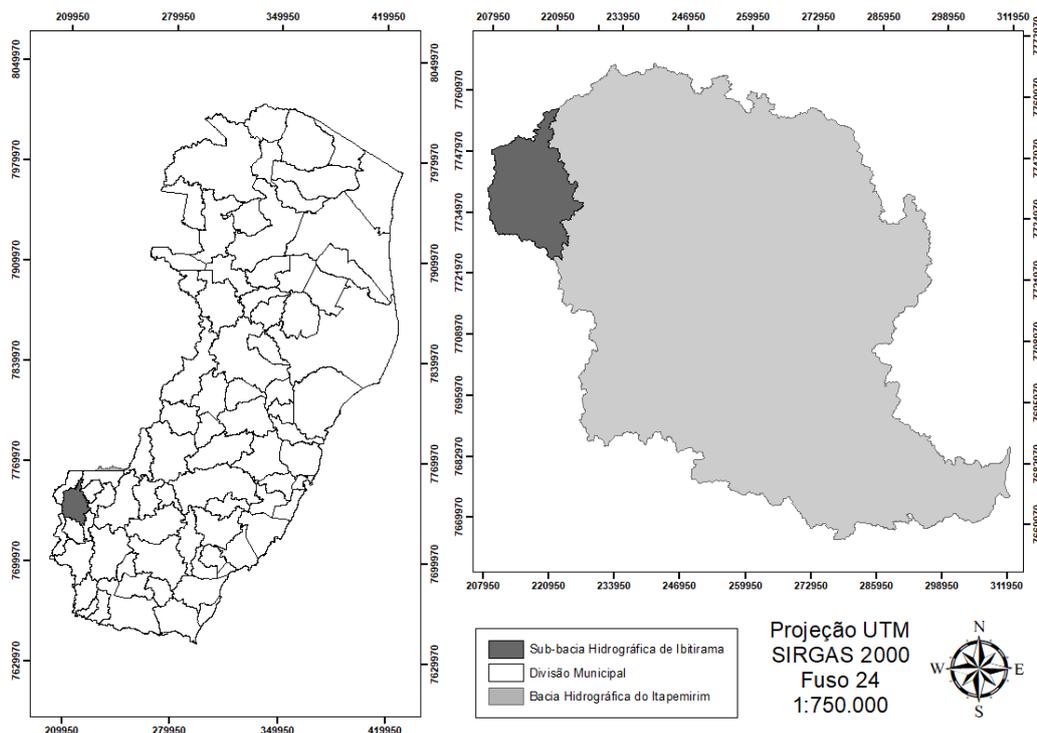


Figura 1 - Localização da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES
Fonte: o autor.

3.2 Caracterização morfométrica

A análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica foi realizada por meio das características geométricas, de relevo, e das características da rede de drenagem.

A base de dados e as análises foram elaboradas através do Sistema de Informações Geográficas, utilizando o ArcGIS 10.5.1®. As curvas de nível foram geradas a partir de imagens *SRTM* (*Shuttle Radar Topography Mission*), com a resolução de 30 metros obtida no site TOPODATA do INPE.

Foram geradas curvas de nível de 20 em 20 metros através da ferramenta *Contour* contida na extensão *Spatial Analyst Tools*. O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi gerado a partir da interpolação das curvas de nível de 20 metros de equidistância, que deu origem a uma grade triangular ou TIN por meio da ferramenta *3D Analyst Tools* na opção *Create - TIN from features*. Para que fosse possível realizar a delimitação da bacia, o arquivo TIN foi convertido para o formato Raster através da ferramenta *Conversion - TIN to Raster* no menu *3D Analyst*. As depressões contidas no MDE foram corrigidas por meio da ferramenta *Fill*, do módulo *Hidrology*.

Foi utilizado o MDE corrigido para se delimitar a bacia em plataforma SIG, de forma automática. Foram realizadas as seguintes operações: *Flow Direction*: avaliação de direção de fluxo; *Flow Accumulation*: cálculo do fluxo acumulado; *Watershed*: delimitação da bacia; *Raster to Features*: transformação de raster para polígono.

Após a delimitação do polígono da bacia foi utilizada a ferramenta *Stream Network* para determinar de forma automática a rede hidrográfica, que posteriormente foi recortada utilizando-se a ferramenta *Clip*.

O mapa de declividade foi gerado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) onde foram definidos seis intervalos distintos seguindo metodologia desenvolvida pela Embrapa (1979), utilizando-se a ferramenta *Spatial Analyst* do ArcGIS10.5.1®. O cálculo da orientação do terreno, foi realizado utilizando-se o modelo digital de elevação (MDE) e para a reclassificação da grade de aspectos do terreno foi seguida a metodologia de Santos (2010). A representação do relevo foi realizada através de um mapa de sombreamento. Essa representação do terreno foi obtida utilizando-se o comando *Hillshade* contida na ferramenta *Spatial Analyst*.

Os perímetros e comprimentos da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama foram calculados com o auxílio de comandos específicos do ArcGIS 10.5.1®. Os fluxogramas das etapas realizadas podem ser visualizados nas Figuras 2 e 3.

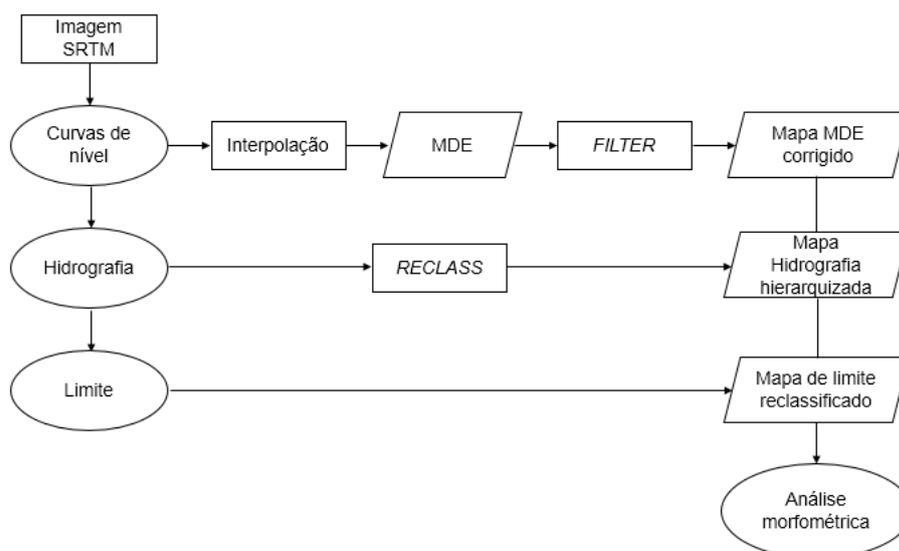


Figura 2 - Fluxograma de etapas para a análise morfométrica
Fonte: Adaptado de Ferrari et. al (2012)

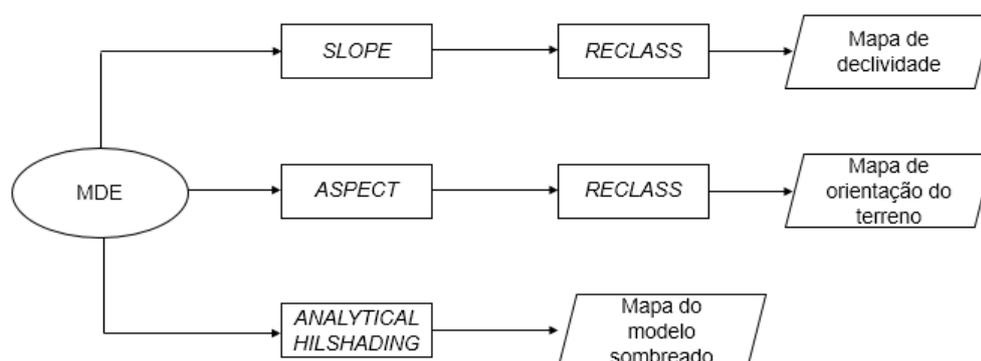


Figura 3 - Fluxograma da confecção dos mapas de declividade, orientação do terreno e modelo sombreado

Fonte: Adaptado de Ferrari et. al (2012).

A partir desses dados processados e analisados foram calculadas as variáveis morfométricas da sub bacia, subdivididas conforme Coutinho et al. (2011). Foram calculadas as características morfométricas conforme a Tabela 1, adaptada de Souza et al. (2013).

Tabela 1 - Parâmetros e equações de caracterização morfométrica utilizados no estudo

	Índices	Unid.	Objetivo	Fórmula
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	Coeficiente de compacidade	-	Relaciona a bacia a um círculo, K e quanto mais próximo a 1 mais sujeitas a inundação.	$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$
	Fator de forma	-	Relação entre largura e comprimento para avaliação de geometria de bacias.	$K_f = \frac{A}{L_{axial}^2}$
	Razão de alongação	-	Relação entre o diâmetro da área (circular) e o comprimento do eixo da bacia.	$Re = 1,128 \left[\frac{A^{0,5}}{L_{axial}} \right]$
	Índice de circularidade	-	Quanto mais próximo do valor 1 maior a circularidade e mais sujeita a inundações.	$IC = 12,57 \frac{A}{P^2}$

Continua...

Continuação

Tabela 1 – Parâmetros e equações de caracterização morfométrica utilizados no estudo

CARACTERÍSTICAS DE REDE DE DRENAGEM	Sinuosidade do curso d'água	km km ⁻¹	Quanto maior, maior a sinuosidade do curso d'água e menor será a declividade do terreno (bacia).	$\text{Sin} = \frac{L}{L_{\text{talvegue}}}$
	Índice de sinuosidade	%	Relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial do canal principal.	$\text{IS} = \frac{100 \cdot (L - L_{\text{talvegue}})}{L}$
CARACTERÍSTICAS DO RELEVO	Índice de rugosidade	-	Combina a diferença de nível da bacia e a densidade de drenagem, onde valores altos indicam vertentes íngremes e longas.	$\text{HD} = \Delta a \cdot D_d$
	Razão de relevo	km km ⁻¹	Indica a declividade média pela relação entre a amplitude altimétrica e comprimento axial.	$\text{Rr} = \frac{\Delta a}{L_{\text{axial}}}$

Fonte: Adaptado de Souza, Formiga e Veiga (2013)

Kc = coeficiente de compacidade; P = perímetro da bacia; A = área da bacia; Kf = fator de forma; L_{axial} = comprimento axial da bacia hidrográfica; IC = índice de circularidade; Re = razão de alongação; D_d = densidade de drenagem; Lt = somatório do comprimento de todos os cursos d'água; Dh = densidade hidrográfica; N = número de cursos d'água; Sin = sinuosidade do curso d'água; L = comprimento do curso d'água principal; L_{talvegue} = comprimento do talvegue do curso d'água principal; IS = índice de sinuosidade; HD = índice de rugosidade; Δa = amplitude altimétrica; e Rr = razão de relevo.

3.3 Análise do Risco de Inundação

Para caracterizar o ritmo climático na bacia, principalmente das chuvas, foram realizadas análises de séries de dados pluviométricos levantados no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), buscando caracterizar a variação espaço-temporal das chuvas. Utilizou-se uma série de 40 anos de dados, referentes ao período (1971 a 2011) que foi utilizado para a série de dados de chuva. Tais dados foram obtidos junto à estação fluviométrica de Lúna e de Ibitirama, ambas localizadas dentro dos limites territoriais da sub-bacia.

Foram obtidos o mapa de uso de solo do banco de dados do Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA) e o tipo de solo, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

O mapa de risco de inundação da sub-bacia foi elaborado a partir da reclassificação das variáveis ambientais de 4 mapas: altitude, declividade, uso do solo e tipo de solo. Foram estabelecidas notas de 1 a 10 para cada variável, baseados na suscetibilidade a inundação de cada uma delas, sendo 1 menos susceptível e 10 mais susceptível, seguindo a metodologia de Santos (2010), conforme a Tabela 2.

As notas atribuídas aos mapas supracitados (declividade, altitude, uso do solo e tipo de solo) estão dispostas nas Tabelas 3, 4, 5 e 6.

Tabela 2 - Grau de suscetibilidade a inundação

Valores	Grau de suscetibilidade
0	Menos susceptível
10	Mais susceptível

Fonte: Santos (2010).

Tabela 3 - Notas estabelecidas para altitude

Altitude (m)	Nota
740 – 820	10
820 – 840	9
840 – 860	8

Continua...

Continuação

Tabela 3 – Notas estabelecidas para altitude

860 – 880	7
880 – 900	6
900 – 1000	5
1000 – 1500	4
1500 – 1900	3
1900 – 2860	2

Fonte: Adaptado de Santos (2010).

Tabela 4 - Notas estabelecidas para declividade

Declividade (%)	Nota
0 – 3% (plano)	10
3 – 8% (suavemente ondulado)	9
8 – 20% (ondulado)	5
20 – 45% (fortemente ondulado)	3
45 – 75% (montanhoso)	1
> 75% (fortemente montanhoso)	1

Fonte: Santos (2010).

Tabela 5 - Notas estabelecidas para uso do solo

Uso do Solo	Nota
Afloramento	7
Brejo	10
Campo rupestre/Altitude	1
Agricultura	8
Macega	6
Massa d'água	10
Mata nativa	1
Pastagem	9
Reflorestamento - eucalipto	2

Continua...

Continuação

Tabela 5 - Notas estabelecidas para uso do solo

Solo exposto	7
Área edificada	9

Fonte: Adaptado de Santos (2010).

Tabela 6 - Notas estabelecidas para tipo de solo

Tipo de solo	Nota
Terra roxa	4
Cambissolo	3
Latosolo	4
Afloramento rochoso	10

Fonte: Santos (2010).

Após a reclassificação dos mapas foram estabelecidos pesos estatísticos para cada um deles, baseados no método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) proposto por Saaty (1977), através da decisão do problema em níveis hierárquicos (Tabela 7), onde foi realizada a construção da hierarquia do problema, a avaliação dos elementos em pares e a comparação entre eles (Tabela 8). A partir dessa comparação foram atribuídos valores e assim calculados os pesos estatísticos para cada mapa (Tabela 9).

Tabela 7 - Escala de comparadores

Valores	Importância Mútua
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que

Continua...

Continuação

Tabela 7 - Escala de comparadores

7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Saaty (1977).

Tabela 8 - Matriz de comparação pareada

Fatores	Tipo de Solo	Uso do Solo	Altitude	Declividade
Tipo de Solo	1	1/3	1/5	1/7
Uso do Solo	3	1	1/3	1/5
Altitude	5	3	1	1/3
Declividade	7	5	3	1

Fonte: Santos (2010)

Tabela 9 - Determinação dos pesos estatísticos para cada variável

Fatores	Tipo de Solo	Uso do Solo	Altitude	Declividade	Pesos
Tipo de Solo	$1/16 = 0,0625$	$0,33/9,33 = 0,0357$	$0,20/4,53 = 0,0441$	$0,14/1,68 = 0,0852$	0,0553
Uso do Solo	$3/16 = 0,1875$	$1/9,33 = 0,1075$	$0,33/4,53 = 0,0735$	$0,20/1,68 = 0,1193$	0,1175
Altitude	$5/16 = 0,3125$	$3/9,33 = 0,3214$	$1/4,53 = 0,2206$	$0,33/1,68 = 0,1988$	0,2622
Declividade	$7/16 = 0,4375$	$5/9,33 = 0,5357$	$3/4,53 = 0,6618$	$1/1,68 = 0,5966$	0,5650

Fonte: Santos (2010)

Após calculados os pesos estatísticos de cada variável foi realizada a soma dos 4 mapas (declividade, altitude, uso do solo e tipo de solo) com os seus respectivos pesos, através da ferramenta *Raster Calculator*, gerando assim o mapa de risco de inundação para a sub-bacia em questão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Morfométrica

Os resultados dos índices morfométricos originários da caracterização geométrica podem ser visualizados na Tabela 10. A sub-bacia hidrográfica de Ibitirama possui área de drenagem igual a 341,51 km², representando 5,74% da área da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, a qual está inserida. O perímetro total da área de estudo equivale à 118,83 km e o comprimento axial, 37,85 km.

Tabela 10 – Índices morfométricos relacionados à geometria da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES

Características geométricas	Valores obtidos
Área de drenagem (A)	341,51 km ²
Perímetro (P)	118,83 km
Comprimento axial (L_{axial})	37,85 km
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,80
Fator de forma (Kf)	0,23
Razão de alongação (Re)	0,55
Índice de circularidade (Ic)	0,30

Fonte: o autor.

O índice de circularidade, fator de forma e coeficiente de compacidade são indicadores da forma da bacia, fornecendo informações sobre o potencial de escoamento da bacia. A área de estudo apresentou alto índice de compacidade (maior que 1,5), inferindo-se que a sub-bacia possui elevado tempo de concentração, e que conseqüentemente terá uma baixa tendência à enchentes. Segundo Matos, Silva e Pruski (2006), tempo de concentração refere-se ao tempo em que a água, que cai no ponto mais remoto de uma bacia, leva para chegar até a foz.

A sub-bacia em questão apresenta baixo índice de fator de forma (menor que 0,5), sugerindo por meio deste valor que a bacia não possui forma circular, possuindo, portanto, uma tendência de forma alongada. Este valor do fator de forma, combinado com aquele anteriormente apresentado do coeficiente de compacidade, sugere que a forma dessa bacia a torna pouco propensa a inundações, segundo Silva e Mello (2006). Confirma-se tal formato por meio do baixo índice de circularidade (0,30) e pela

razão de alongação (0,55) apresentados. Nessa situação, a precipitação pluviométrica se concentra em diferentes pontos, apresentando um risco menor de enchentes em condições normais de precipitação. Villela e Mattos (1975) afirmam que esse tipo de bacia tem maior escoamento superficial justamente devido à sua topologia favorável.

Coutinho e Glória (2013) identificaram em um estudo de análise morfométrica na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim – ES, valores correspondentes ao formato alongado (Kc: 1,97; Kf: 0,44; Ic: 0,25 e Re: 0,75), as quais inferem menor concentração de deflúvio e menor risco de enchentes.

O mesmo ocorreu em um estudo realizado por Bertossi et al (2011), ao analisar as características morfométricas da sub-bacia do Córrego do Horizonte, em Alegre – ES. Verificou-se também valores que evidenciam o mesmo formato dos casos anteriores (Kc: 1,58; Kf: 0,32; Ic: 0,39; Re: 2,42).

Nesse contexto, pode-se inferir que algumas unidades hidrológicas da região da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim possuem formato irregular, alongado e estreito, os quais as classificam como pouco suscetível à enchentes. Valores de coeficiente de compacidade alto e fator de forma baixo, indicam menores possibilidades de ocorrência de chuvas intensas que abranjam toda a extensão da bacia (VILLELA e MATTOS, 1975). Vale ressaltar que o relevo acidentado e montanhoso da região, contribui para esse fato.

As bases hidrográficas da região constitui-se por aproximadamente 1195 cursos d'água (Figura 4), sendo o Rio Braço Norte Direito como principal, com cerca de 32,83 km de extensão.

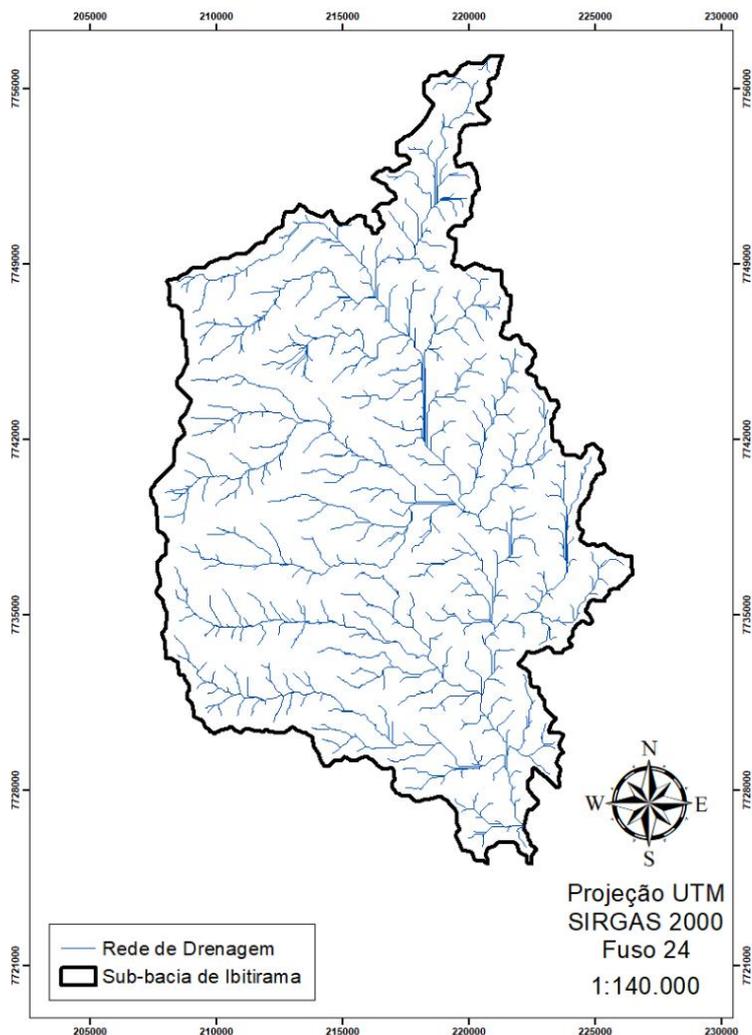


Figura 4 – Rede de drenagem da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES
Fonte: o autor.

A Tabela 11 mostra os índices morfométricos referentes à caracterização da rede de drenagem para a sub-bacia analisada.

Tabela 11 – Índices morfométricos relacionados à rede de drenagem da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES

Características de rede de drenagem	Valores obtidos
Canal principal (L)	32,83 km
Soma dos comprimentos dos canais (L_t)	592,81 km
Talvegue ($L_{talvegue}$)	17,17 km
Sinuosidade do curso d'água (Sin)	1,84 km km ⁻¹
Índice de Sinuosidade (IS)	45,87%

Fonte: o autor.

De acordo com Alves e Castro (2003), valores de sinuosidade do curso d'água bem próximos a 1 indicam que o canal tende a ser retilíneo (alta influência da carga sedimentar) e valores acima de 2 indicam um canal tortuoso (baixa influência da carga sedimentar). Já os valores intermediários a esses limites apontam para formas de transição, fato encontrado no estudo em questão. O valor de sinuosidade apresentado ($1,84 \text{ km km}^{-1}$) para o curso d'água da sub-bacia, significa que o canal principal tem a tendência a apresentar forma retilínea e tortuosa. Segundo Antoneli e Thomaz (2007) valores mais próximos de 1, favorece um maior velocidade no transporte de sedimento, devido a facilidade encontrada pelo deslocamento da água no seu caminho até a foz, sendo que valores acima de 2 possuem certa dificuldade para tal processo.

O índice de sinuosidade (IS) indica que o comprimento do canal principal é 45,87% maior é o comprimento de seu talvegue.

As características do relevo encontradas para a bacia em estudo, podem ser visualizadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Índices morfométricos relacionados ao relevo da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES

Características do relevo	Valores obtidos
Altitude mínima	740 m
Altitude média	1198 m
Altitude máxima	2860 m
Declividade mínima	0%
Declividade média	34,55%
Declividade máxima	339%
Índice de rugosidade (HD)	3667,60
Razão de relevo (Rr)	0,056 m m ⁻¹

Fonte: o autor.

Os valores referentes aos intervalos de altitude e a expressão das respectivas porcentagens podem ser visualizados na Figura 5.

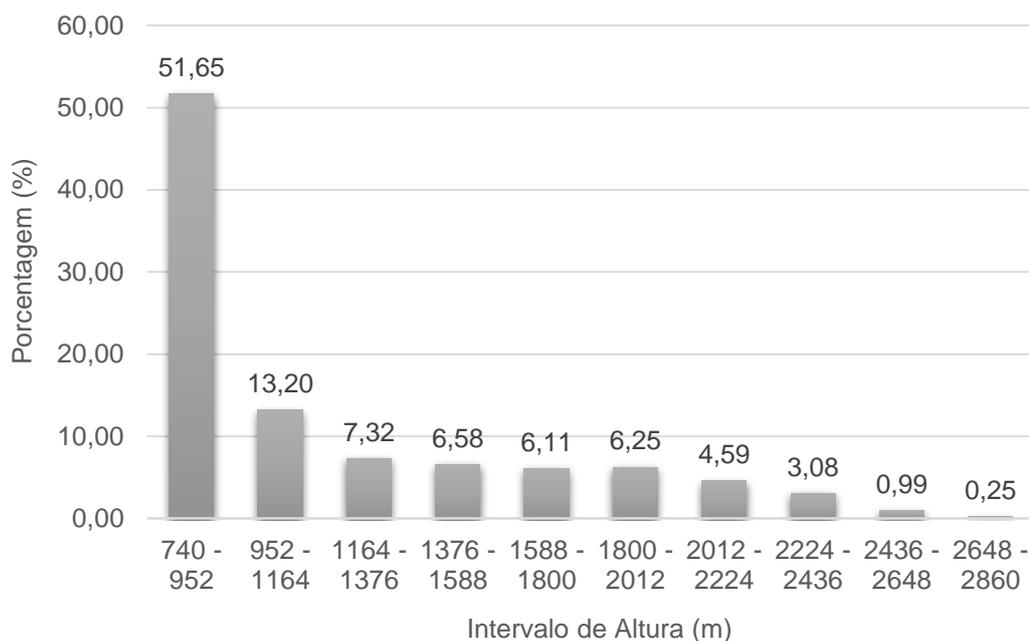


Figura 5 – Histograma de frequência de altitudes

Fonte: o autor.

A sub-bacia hidrográfica de Ibitirama possui uma variação de altitude significativa, mínima de 740 m e máxima de 2860 m, apresentando uma altitude média de 1198 m, altitude mediana de 1800 m e uma amplitude de 2120 m, o que mostra que a bacia em questão favorece uma menor perda de água. O mapa hipsométrico da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama, pode ser visualizado na Figura 6.

O mapa hipsométrico tem grande relevância na análise da energia do relevo, indicando condições mais favoráveis à dissecação para as áreas de maior altitude e de acumulação para as áreas de menor altitude. De acordo com Castro e Lopes (2001), a altitude média tem influência direta na quantidade de radiação que a bacia hidrográfica recebe, influenciando a precipitação, temperatura e evapotranspiração. Além do balanço de energia, a temperatura também oscila em função da altitude. Isso significa que em altitudes elevadas, a temperatura é baixa, e somente uma pequena quantidade de energia é utilizada para evaporar a água, à medida que, em altitudes baixas, quase toda a energia absorvida é usada para evaporação da água.

Altitudes elevadas tendem a receber maior quantidade de precipitação, além de a perda de água ser menor. Nessas regiões, a precipitação normalmente excede as taxas de evapotranspiração, ocasionando um suprimento de água regular nos

aqüíferos responsáveis pelas nascentes dos cursos d'água (CARDOSO et al., 2006), fato que ocorre na região da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama.

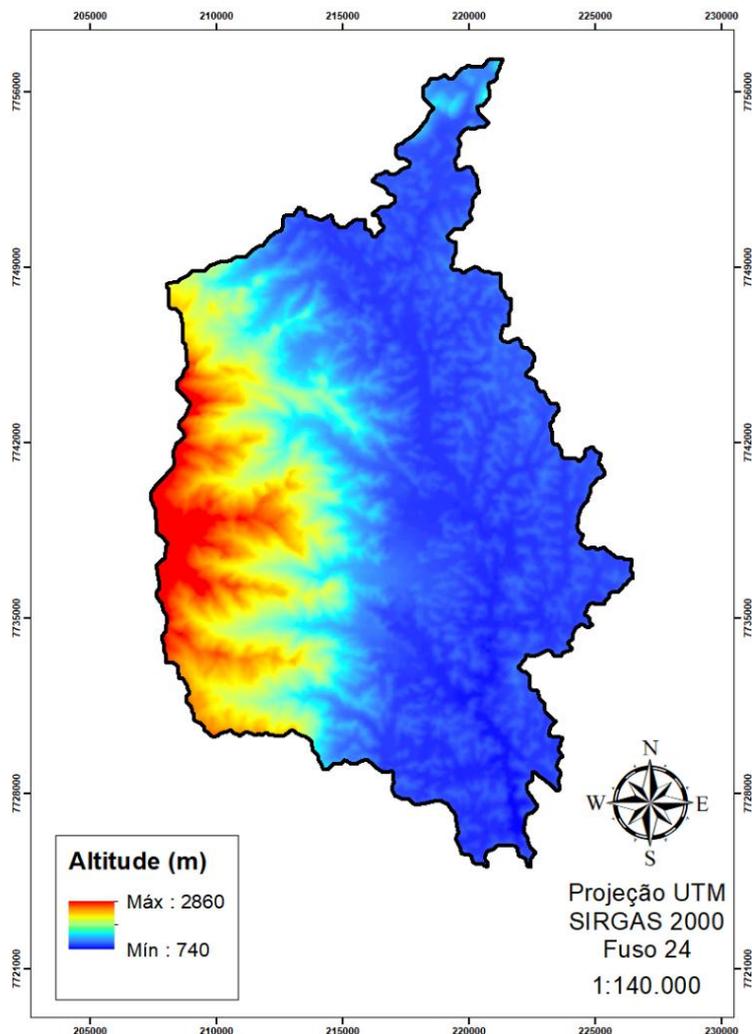


Figura 6 - Hipsometria da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES
Fonte: o autor.

Ainda, referente aos dados de altimetria, a curva hipsométrica é definida como sendo a representação gráfica do relevo médio de uma bacia, apresentando o estudo da variação da elevação dos vários terrenos da bacia com referência ao nível médio do mar. Essa variação pode ser indicada por meio de um gráfico que mostra a porcentagem da área de drenagem que existe acima ou abaixo das várias elevações. Os cálculos de distribuição de altitude para a área podem ser observados na Tabela 13.

Tabela 13 – Cálculos de distribuição de altitude referente à sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES

Cotas intervalo	Cota média intervalo	Área parcial	Área acumulada (km²)	Área total (%)	Altitudes (%)
740 - 952	846	176,37	341,51	100	51,65
952 - 1164	1058	45,07	165,13	48	13,20
1164 - 1376	1270	24,99	120,05	35	7,32
1376 - 1588	1482	22,47	95,05	28	6,58
1588 - 1800	1694	20,86	72,58	21	6,11
1800 - 2012	1906	21,33	51,71	15	6,25
2012 - 2224	2118	15,66	30,38	9	4,59
2224 - 2436	2330	10,50	14,72	4	3,08
2436 - 2648	2542	3,37	4,21	1	0,99
2648 - 2860	2754	0,843	0,84	0	0,25
TOTAL		341,51			100

Fonte: o autor.

A Figura 7, mostra a curva hipsométrica do local de estudo. Segundo Strahler (1952), curvas hipsométricas convexas são bacias jovens, as bacias em formato de S são consideradas mais maduras e bacias com curvas côncavas são consideradas bacias mais avançadas geomorfologicamente. No primeiro e segundo casos, ocorre a existência de um patamar, que corresponde a um acréscimo de área significativo em uma determinada altitude. O patamar no estágio juvenil corresponde à situação de relevo aplainado enquanto o estágio de maturidade refere-se ao aplainamento decorrente da evolução do sistema de drenagem (RIFFEL, 2005).

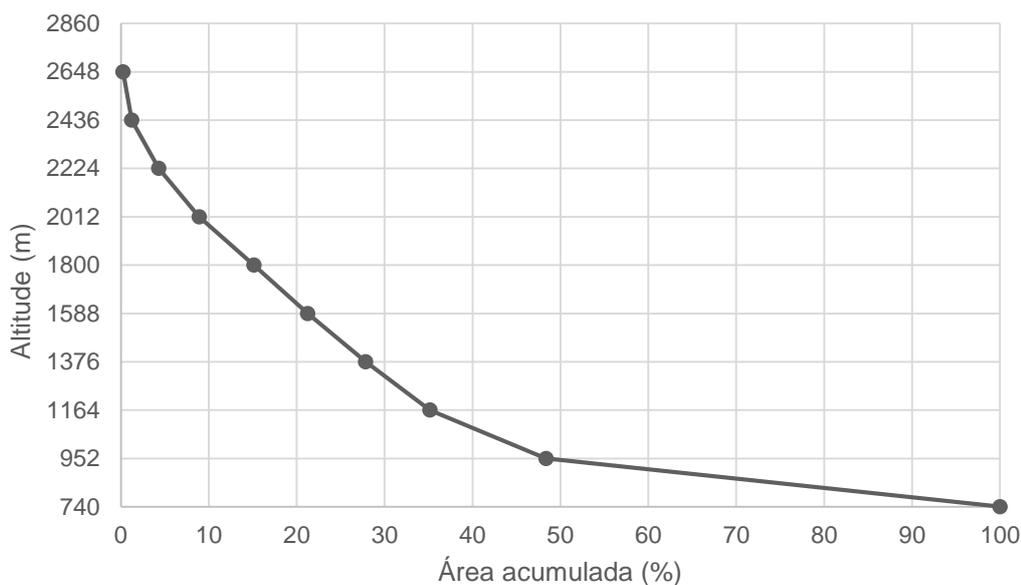


Figura 7 - Curva hipsométrica da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama
Fonte: o autor.

Assim, comparando a curva da sub-bacia com as curvas teóricas de Strahler (1957) é possível observar que a sub-bacia está em uma fase avançada de desenvolvimento.

Riffel (2005) afirma que, à medida que a área acumulada aumenta na curva hipsométrica, há o decréscimo brusco da altitude refletido por um patamar, quando dominado pelo nível de base. No momento em que ocorre a aproximação dos pontos, há a mudança ou ruptura de declive (*knickpoint*), representando a transposição de um novo evento erosivo associado a movimentos tectônicos e/ou mudanças climáticas, ajustando-se a novos processos erosivos e a um novo nível de base local. Sobre a curva hipsométrica gerada a partir dos dados referentes à sub-bacia hidrográfica de Ibitirama, houve um decréscimo significativo no intervalo de classe de 740 - 952 m quando comparado ao restante de intervalos, sendo representado por 50,65% do total, delimitando assim uma área de *knickpoint*. A partir da transposição do mapa altimétrico e hidrográfico, pode-se verificar que a maior parte dessa área concentra-se na região do rio principal que corta a sub-bacia.

As classes de declividade da sub-bacia estão apresentadas na Tabela 14 e na Figura 8. As diferentes formas de relevo em função das classes de declividade são classificadas conforme a classificação da EMBRAPA.

Tabela 14 – Quantificação das áreas homogêneas por classes de declividade para a sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES

Classes de declividade	Relevo	Área por classe da sub-bacia	
		(km ²)	(%)
0 – 3 %	Relevo Plano	50,89	14,90
3 – 8 %	Relevo Suavemente Ondulado	8,01	2,34
8 – 20 %	Relevo Ondulado	29,67	8,70
20 – 45 %	Relevo Fortemente Ondulado	151,91	44,48
45 – 75 %	Relevo Montanhoso	84,11	24,63
> 75 %	Fortemente Montanhoso	16,92	4,95
Total		341,51	100

Fonte: o autor.

Segundo Borsato e Martoni (2004), a declividade média da bacia é uma característica de grande interesse hidrológico, pois além de auxiliar no cumprimento da legislação ambiental e na racionalização do manejo e a gestão dos recursos hídricos, é um dos fatores principais que influenciam a velocidade de escoamento. A gravidade dos picos de enchente e o grau de infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos dependem da velocidade com que acontece o escoamento sobre os terrenos da bacia (VILELA; MATOS, 1975), tendo relação direta com a declividade, somada a características de solo e de vegetação. Guariz (2008) afirma que quanto maior a inclinação do terreno maior a velocidade de escoamento superficial, menor o tempo de concentração e menor a quantidade de água armazenada, o que amplia as perspectivas de enchentes mais pronunciadas, tornando a bacia sujeita à degradação.

A declividade máxima encontrada na área de estudo foi de 339%, já a declividade média, 34,55%.

Ferrari et al. (2013), ao analisar a sub-bacia hidrográfica do Córrego do Horizonte, em Alegre-ES, afirmou que a mesma possui declividade média de 24,58 %, o que classifica o relevo como fortemente ondulado.

O valor de declividade média para a sub-bacia do presente estudo foi considerado alto, condizente com o relevo fortemente ondulado da região (20 – 45%), correspondendo a 44,48% do total da área, ou seja, 151,91 km². No entanto, vale

destacar que próximo das cabeceiras as áreas de declividade alcançam valores compatíveis com relevo montanhoso (24,63%) a fortemente montanhoso (4,95%).

O relevo montanhoso apresentou 24,63%, sendo o segundo valor mais expressivo de declividade, correspondendo a uma área de 84,11 km². A porcentagem do relevo plano (14,90%), onde localiza-se o rio principal da sub-bacia, indica que a erosão hídrica não oferece problema para essa porção de área, porém as práticas de conservação (preparo do solo e cultivo em nível) e cobertura vegetal são necessárias.

De acordo com a classificação de De Biasi (1970), declividades entre 30 e 47%, há sérios problemas de erosão e instabilidade de vertentes, pelo fato de serem fortemente inclinadas, não podendo ficar sem cobertura vegetal.

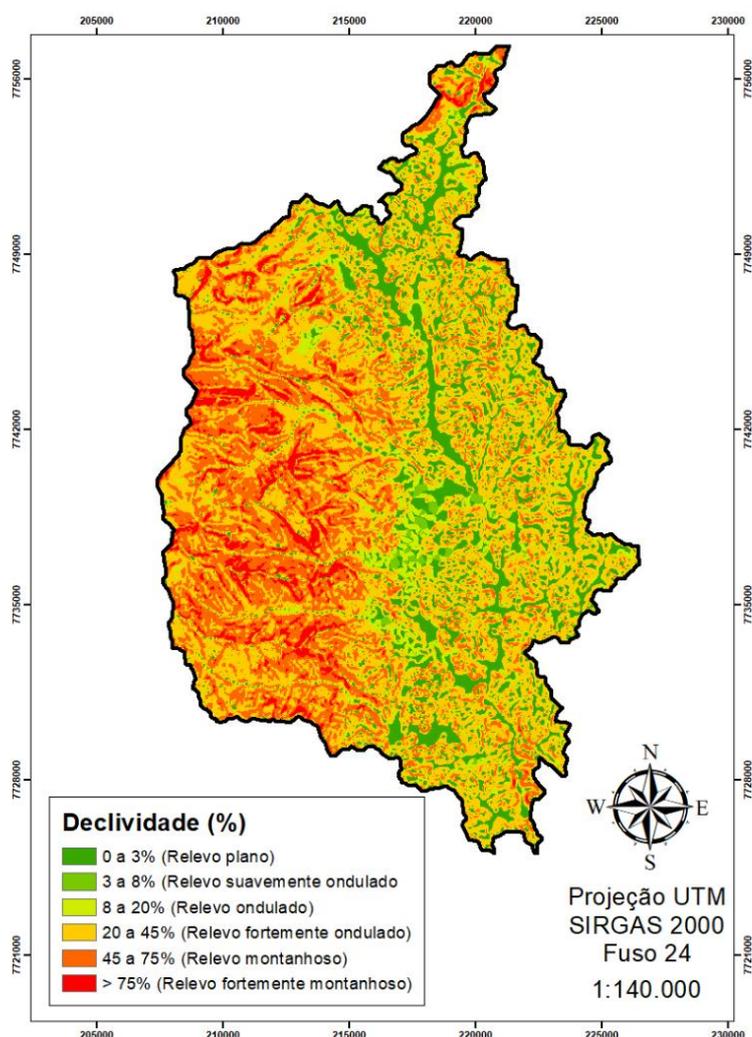


Figura 8 - Mapa de declividade da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES
Fonte: o autor.

O índice de rugosidade apresentou valor de 3667,60, o qual é considerado alto, ou seja, há um alto risco de degradação da bacia, indicando vertentes são íngremes e longas. Este índice relaciona a disponibilidade do escoamento hídrico superficial com seu potencial erosivo, expresso pela declividade média (EMBRAPA, 2012). A razão de relevo, apresentou valor de 0,056 m m⁻¹, o qual é considerado baixo conforme a classificação Rossi e Pfeifer (1999). Os mesmos autores afirmam que quanto maior o valor desse índice, mais acidentado é o relevo predominante na região, sendo refletido também na relação infiltração/deflúvio, demonstrando uma identificação com a densidade de drenagem.

A Tabela 15 e a Figura 9 apresentam a orientação do relevo da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama, na qual se percebe que o relevo caracterizado como fortemente ondulado, com predominância de orientação norte (14,88%), porém com valores expressivos na orientação nordeste e leste. Conforme Tonello et al. (2006) as bacias com orientação norte no Hemisfério Sul recebem maior quantidade de calor do que as de orientação sul, implicando numa maior taxa de evapotranspiração. A produção de água nas nascentes é mais expressiva em orientações sul e leste, pois são regiões conservadoras de umidade e menos propensas à erosão, pois sua capacidade de recuperação é maior devido a vegetação ser mais abundante, ao passo que as orientações de norte, são mais dispersoras de umidade. Diante disso, pode-se afirmar que pelo fato da predominância orientação da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama estar voltada para o norte, está mais propensa à erosão devido ao fato explicitado acima. Mas deve-se atentar aos outros dois valores significativos, nordeste e leste, visto que o último confere uma menor taxa de evapotranspiração.

Tabela 15 – Orientação do terreno da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES

Orientação	Orientação (°)	Área (km²)	Área (%)
Relevo plano	0	44,62	13,06
Norte	0 – 45 (N – NE)	50,84	14,88
Nordeste	45 – 90 (NE – L)	48,73	14,26
Leste	90 – 135 (L – SE)	49,29	14,43
Sudeste	135 – 180 (SE – S)	42,37	12,40

Continua...

Continuação

Tabela 15 – Orientação do terreno da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES

Sul	180 – 225 (S – SO)	34,10	9,99
Sudoeste	225 – 270 (SO – O)	20,11	5,88
Oeste	270 – 315 (O – NE)	20,47	5,99
Noroeste	315 – 360 (NE – N)	30,98	9,07
Total		341,51	100

Fonte: o autor.

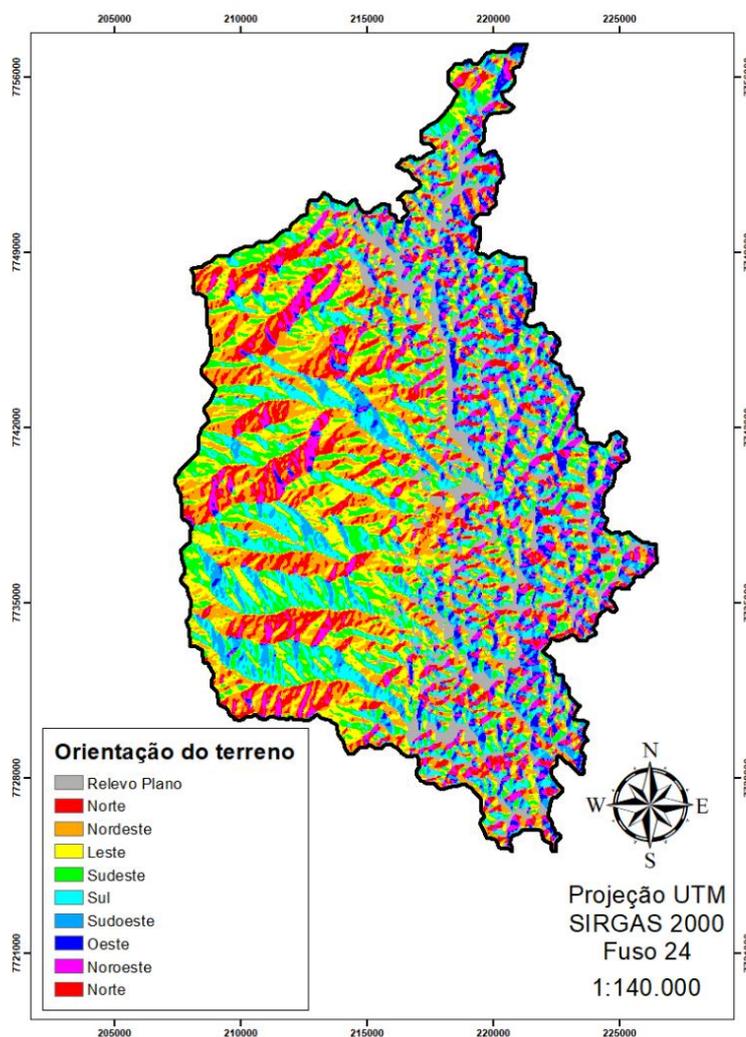


Figura 9 - Mapa de orientação do terreno da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama
Fonte: o autor.

O mapa de modelo sombreado apresenta uma nova forma de se representar o relevo, sendo apresentado uma simulação de níveis de luz ou de sombra refletidos pelo relevo ao ser iluminado por luz solar. As áreas de maior declividade refletirão muita luz e serão, portanto, muito visíveis. Já as áreas que se encontram em encostas não havendo iluminação direta pelo sol, não refletirão luz, aparecendo escuras no modelo sombreado (SANTOS, 2011). A partir da retroanálise da Figura 10, sob um ângulo azimutal de 315° e ângulo de elevação do Sol de 45° , a comprovação desse fato supracitado acima.

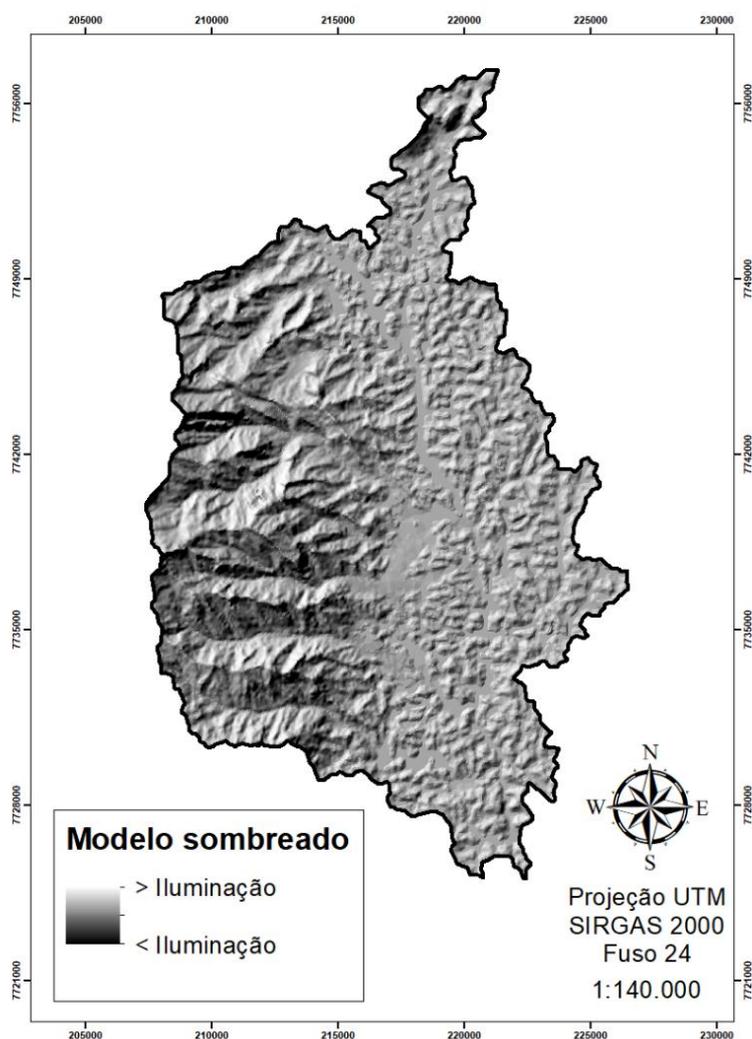


Figura 10 - Modelo sombreado da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES
Fonte: o autor.

4.2 Risco de inundação

O risco de inundação da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama foi realizado a partir das análises da pluviosidade, altitude, declividade e uso do solo, gerando-se o mapa

de risco a inundação. É importante mencionar que uma bacia naturalmente tende à inundação ou não, diretamente dependente de índices morfométricos, sendo necessário uma análise holística de fatores externos, influentes nos processos hídricos da mesma.

As análises pluviométricas demonstraram que a precipitação média mensal nos 40 anos (1971 – 2011) na região de Ibitirama, variou entre 31 mm a 281,3 mm e 16 mm a 233,3 mm na região de Lúna. As chuvas são na quase totalidade dos casos a agente deflagradora do evento de desastre, os quais se concentram consequentemente no período chuvoso.

Da água precipitada sobre uma bacia de drenagem, uma parcela retorna à atmosfera através de processos de evaporação da água superficial, ainda durante a chuva, e de evapotranspiração do solo e plantas. O restante participará do escoamento fluvial, por meio do escoamento superficial e da infiltração no solo.

Os maiores índices pluviométricos para a série histórica na região, concentraram-se nos meses de novembro, dezembro, janeiro e março. Tal informação indica que nesses períodos a região da sub-bacia está mais propensa ao acúmulo de água nos cursos d'água, podendo-se inferir que, pode haver um maior risco de inundação nesses locais.

A distribuição da precipitação nos municípios pode ser observada na Figura 11.

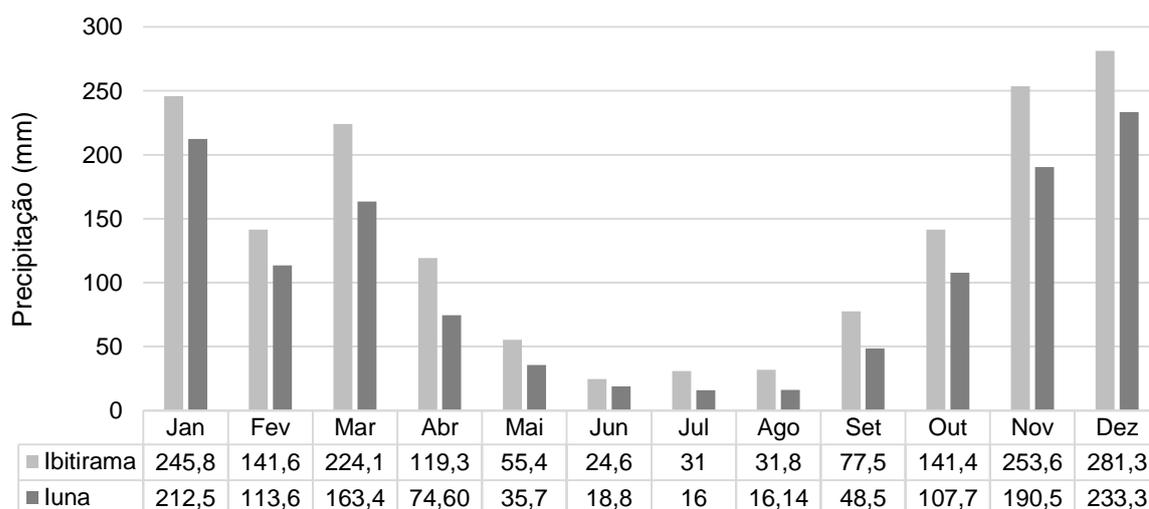


Figura 11 - Precipitação pluviométrica mensal dos municípios de Ibitirama e Lúna, referente ao período de 1971 a 2011

Fonte: o autor.

Através dos resultados obtidos a partir da análise das formas de relevo da área, foi possível observar que a expressividade da faixa de altitude abaixo de 900 m, equivalente a cerca de 39,17% (133,77 km²) da área total estudada e a sua associação às áreas de relevo plano (declividades menores que 8%) delinea um cenário favorável a ocorrência de inundações em diferentes regimes de cheias do rio. A declividade da sub-bacia favorável a tal fato corresponde a 13,72% de uma área de 46,87 km² do total.

Segundo Tucci (2005), áreas planas, localizadas próximo à rede de drenagem, são consideradas zonas de amortecimento de enchente. As áreas de planícies fluviais são vulneráveis e suscetíveis aos riscos relacionados a inundação, devido a própria geomorfologia local. Nos pontos mais altos de uma bacia hidrográfica ocorre infiltração significativa devido à morfologia aplainada, à considerável cobertura vegetal e elevada permeabilidade dos solos. Portanto, essas características são determinantes para não ocorrência de inundações na porção da bacia hidrográfica com altimetria mais elevada (ANDRADE; FERREIRA; SILVA, 2013).

Quanto ao tipo de solo, verifica-se a presença de 4 classes (Figura 12), sendo o Latossolo Vermelho Amarelo, Terra Roxa, Afloramento de Rochas e Solos Cambissólicos. Dentre os tipos de solo, a classe Afloramento de Rochas, que representa 3,41 km², apresentou um maior risco à inundação. A classificação apresentada, deve-se à baixa capacidade de infiltração e ausência de vegetação para auxiliar na interceptação da água. Na sub-bacia hidrográfica de Ibitirama, essa classe não apresenta problemas, pois concentra-se em topos de morro, especificadamente na região do Parque Nacional do Caparaó onde as altitudes e a declividade são as mais expressivas.

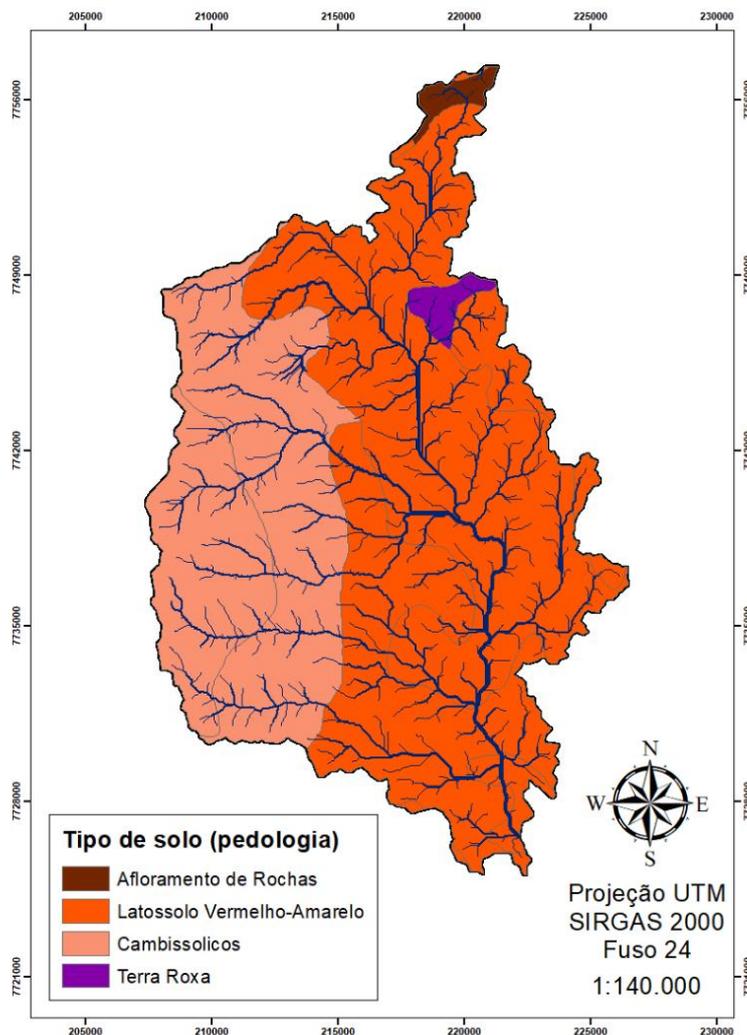


Figura 12 - Mapa pedológico da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES
Fonte: o autor.

Quanto às formas de uso e ocupação, foram identificados 14 tipos (Figura 13), sendo estes referentes às tipologias de ocupação humana, atividades agrícolas, solo exposto/afloramento rochoso e cobertura vegetal. As classes que mais se destacaram foram as classificadas como Solo exposto/Afloramento de rochas, Cultivos agrícolas, Macega/Pastagem e a Massa d'água/Brejo/Área edificada, representando respectivamente, 5,83%, 24,75%, 25,60%, 2,07%, em um total de 198,92 km² de área referente aos usos de solos mais suscetíveis à inundação. As classes que apresentam um mínimo risco à inundação são as que contemplam de cobertura vegetal como áreas de mata nativa e reflorestamentos.

A vegetação expressa diversas funcionalidades, entre as quais se destaca a de interceptação de parte da precipitação. As mesmas retêm água por meio desse

processo, dando tempo para efetivação do processo de evapotranspiração. Quanto mais intensas e/ou mais longas as chuvas, menor a capacidade relativa de interceptação, constituindo um importante fator de equilíbrio hidrológico.

No caso da sub-bacia do estudo, a impermeabilização do solo verificadas nas classes mencionadas acima (Solo exposto/Afloramento de rochas, Cultivos agrícolas, Macega/Pastagem e a Massa d'água/Brejo/Área edificada), é responsável pela redução das áreas de drenagem das águas superficiais. Com isso, a exposição do solo e o corte de vegetação facilitam a movimentação do solo, além de permitirem o livre escoamento das águas que funcionam como intensificadores de processos erosivos, escorregamentos e inundações (RODRIGUES e LISTO, 2015).

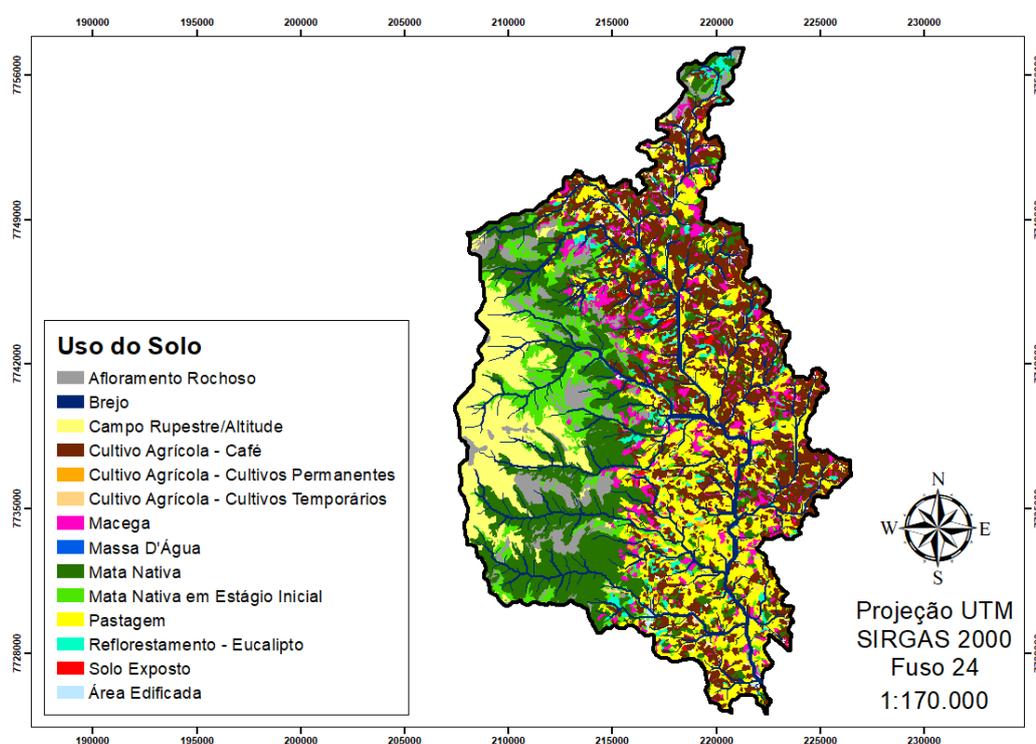


Figura 13 - Mapa de uso do solo para a sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES
Fonte: o autor.

A Tabela 16, apresenta o quantitativo de áreas e suas respectivas porcentagens, referente a classificação das áreas da bacia quanto ao risco de inundação.

Tabela 16 - Áreas e porcentagens de cada classificação referente ao risco de inundação da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES

Classificação	Área (km²)	Porcentagem (%)
Baixo-baixíssimo risco	58,60	17,15
Médio-baixo risco	110,93	32,48
Médio risco	102,48	30,00
Alto-médio risco	27,52	8,06
Altíssimo-alto risco	41,98	12,29
TOTAL	341,51	100,00

Fonte: o autor.

A sub-bacia do estudo, de forma geral, pode ser considerada de médio-baixo risco a inundações, visto que apresentou a maior parte da área classificada nessa tipologia, ou seja, 110,93 km². A mesma classificação pode ser observada no Atlas das Áreas com Potencial de Riscos do Estado do Espírito Santo (ESPÍRITO SANTO, 2006). Analisadas conjuntamente, as classes de Alto-médio e Altíssimo risco à inundação representaram cerca de 20,35% da área total da sub-bacia, ou seja, 69,5 km² e se concentram nas áreas próximas aos principais cursos d'água da sub-bacia (rio Braço Norte Direito e rio Santa Clara), fato comprovado pelo mapeamento de Vulnerabilidade a Inundações do Estado do Espírito Santo (ANA, 2014).

A ocupação do solo de maneira desordenada e não planejada no Brasil, gera uma série de problemas ambientais. Essa ocupação não planejada acabou por ocasionar à ocupação de áreas cada vez menos propícias a atividades agrícolas e antrópicas, com alto grau de suscetibilidade a inundações. É fundamental que o planejamento do uso do solo seja feito mediante às dinâmicas do meio físico, de forma a não ampliar o seu impacto sobre o desenvolvimento de inundações (FRANCO e SANTO, 2015).

O mapa de risco de inundação da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama pode ser visualizado na Figura 14.

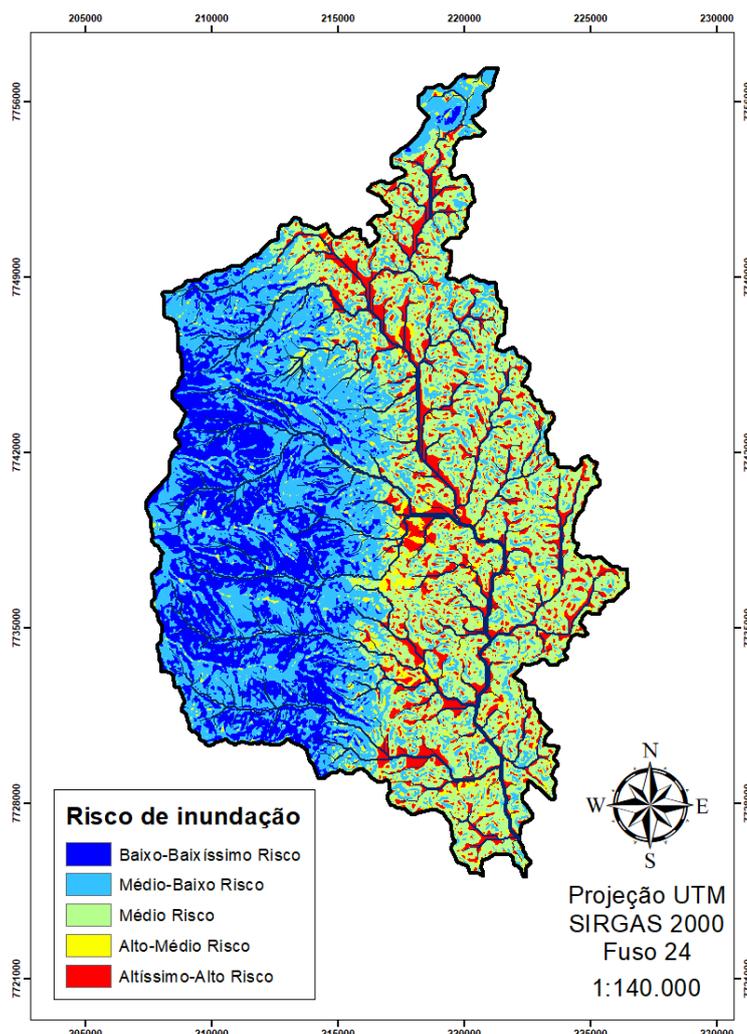


Figura 14 - Mapa de risco de inundação da sub-bacia hidrográfica de Ibitirama-ES
Fonte: o autor.

5 CONCLUSÕES

Do ponto de vista morfométrico, a sub-bacia hidrográfica de Ibitirama tem formato alongado, sendo refletido pelo índice de circularidade, coeficiente de compacidade e fator de forma.

As características hidrográficas e o relevo influenciam a infiltração e o escoamento superficial, favorecendo a concentração hídrica.

As características da declividade da bacia indicam que 44,48% é representado pelo relevo fortemente ondulado, e apresenta uma altitude média de 1198 m.

De uma forma geral, a sub-bacia hidrográfica possui baixos riscos à inundação, apresentando um percentual de 32,48% da área com níveis de médio-baixo risco,

sendo representado pelo maior percentual dentre as classificações. Porém as áreas próximas aos cursos d'água principais, possuem um alto risco à inundações, requerendo portanto uma maior atenção, principalmente nos períodos de maior intensidade pluviométrica.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P.T.A. Influencia 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, 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Vulnerabilidade a Inundações do Estado do Espírito Santo**. Brasília – DF, 2014. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?uuid=2cbc59f2-e09f-4c19-9bd6-9f05d70cdd02>>. Acesso em: 22 dez. 2017

ANDRADE, S. L.; FERREIRA, V. O.; SILVA, M. M. Elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG. **Caderno de Geografia**, v.24, n.41, 2014.

ANTONELI, V; THOMAZ, E.L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Rev. Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.8, n.21, p46-58, jun. 2007.

ANTONGIOVANNI, L. L. COELHO, A. L. N. **Panorama sobre a Desertificação no Estado do Espírito Santo**. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_desertif/_arquivos/panorama_espiritosanto.pdf. Acesso em 07 de ago. de 2017.

BERTOSSI, A. P. A.; KLIPPEL, V. H.; PELUZIO, T. M. O; MENEZES, J. P. C.; CECÍLIO, R. A. Análise morfométrica da sub-bacia do Córrego Horizonte, Alegre-ES, utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG). **NUCLEUS – Revista Científica da Fundação Educacional de Ituverava**, v.8, n.2, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.3738/nucleus.v8i2.608>.

BEZERRA, A. F. **Qualidade Ambiental Urbana do Distrito de Baeta Neves, Município de São Bernardo do Campo (SP)**. São Paulo: USP, 2008.

BORSATO, F.H.; MARTONI, A.M. Estudo da Fisiografia das Bacias Hidrográficas Urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Human and Social Sciences**. v.26, n. 2, p.273-285, 2004.

BRASIL. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. **Decreto-Lei n.º 115/2010: Avaliação e Gestão dos Riscos de Inundações**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Lei n. 9.433: Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.

CASTRO, A. L. C. de (org.). **Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**. 5ª Ed. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil, Ministério da Integração Nacional, 2002.

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

COUTINHO, L. M.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; ZANETTI, S. S.; GARCIA, G. O. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio da Prata, Castelo, ES. **IRRIGA**, v. 16, n. 4, p. 369-381, 2011.

COUTINHO, L. M.; GLÓRIA, P. C. M. Geoprocessamento aplicado à avaliação e controle de inundações: o caso da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim-ES. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.

DAMASCO, F. S.; FURTADO, F. T.; BENTO-GONÇALVES, A. J. Risco de inundação em áreas rurais: bacia do rio Luís Alves (SC). **Geografia Ensino & Pesquisa**, vol. 18, n. 1, jan./abr. 2014.

DE ALMEIDA, L. T.; ABREU, M. C.; FRAGA, M. S.; SILVA, D. D.; CECÍLIO, R. A. Aspectos morfométricos relacionados ao estudo de enchentes na Bacia do Rio

Sapucaí, Minas Gerais. **Nativa Pesquisas Agrárias e Ambientais**, Sinop, v.5, n.3, p.169-174, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5935/2318-7670.v05n03a03>. Acesso em: 23 set. 2017.

DE BIASI, M. **Carta de Declividade de Vertentes: confecção e utilização**. São Paulo. Instituto de Geografia – USP. 1970.

EMBRAPA. **Análise morfométrica de bacia hidrográfica: subsídio à gestão territorial, estudo de caso no alto e médio**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Gestão Territorial. ISSN 2317-8779. Campinas, SP, 2012. 33 p.

EMBRAPA. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 2. **Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica – Subsídio à Gestão Territorial: Estudo de caso no Alto e Médio Mamanguape**. Gestão Territorial, Campinas-SP, 2012.

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS, 1979. 83p. (Embrapa-SNLCS, Série Miscelânea 1).

ESPÍRITO SANTO. **Atlas das Áreas com Potencial de Riscos do Estado do Espírito Santo**. Vitória, 2006.

FERNANDES, M.R. e SILVA, J. C. **Programa Estadual de Manejo de Sub-Bacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias**. EMATER-MG. 24p. 1994. Belo Horizonte, MG.

FERRARI, J. L.; SILVA, S. F.; SANTOS, A. R.; GARCIA, R. F. Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte Alegre, ES. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 181-188, 2013.
<<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i2a1575>>

FLORENZANO, Tereza Galloti. (Org.). **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

FRANCO, A. C. V.; SANTO, M. A. D. Contribuição da Morfometria para o estudo das Inundações na Sub-Bacia do Rio Luís Alves – SC. **Mercator**, v. 14, n. 3, p. 151-167, 2015.

GUARIZ, H. R. **Morfometria e atributos físicos do solo da microbacia do córrego Jaqueira-Alegre, ES**. 2008. 153p. Dissertação Mestrado – Universidade Federal do Espírito Santo, ES.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. In: CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 337-339.

INCAPER. Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural – Proater (2011 – 2013). **Planejamento e Programa de Ações de Ibitirama – ES**. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Caparao/Ibitirama.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios**. Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo, Agostinho Tadashi Ogura (org.). Brasília: Ministério das Cidades, 2007.

JENSEN, J.R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. London: Printice-Hall, 2000. 544 p.

KLINKENBERG, B.; SCHIEFER, E.; HAM, D. GIS. In: GOUDIE, A. S. **Encyclopedia of Geomorphology**. EUA: Routledge, 2006. p.441-444. Disponível em: <<http://earthweb.ess.washington.edu/ess6/links/GoudieEncyclopediaofGeomorphology.pdf>>. Acesso em 10 nov. de 2017.

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de Desastres Naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006.

MATOS, A. T. de; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. **Barragens de terra de pequeno porte**. 2.ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 124p.

NOAL, R. E. **A cartografia ambiental da bacia da lagoa mirim (RS): uma reflexão metodológica acerca do emprego dos sistemas de informações geográficas**.

Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo, 2001.

OLIVEIRA, P. T. S.; SOBRINHO, T. A.; STEFFEN, J. L. RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Rev. bras. eng. Agríc. Ambiental**, vol.14, no8, 2010 Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000800005>>. Acesso em: 16 out. 2017.

OLSZEWSKI, N.; FILHO, E. I. F. COSTA, L. M.; SCHAEFER. C. E. G. R.; SOUZA, E.; COSTA, O. D. V. Morfologia e Aspectos Hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Preto, divisa dos estados do Rio De Janeiro e de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.3, p.485-492, 2011.

PEREIRA, L. C. **Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: proposta metodológica**. Tese de Doutorado/UNICAMP. São Paulo, Campinas. 2002. 122p.

RIFFEL, S. B. **Curva Hipsométrica no Mapeamento de Paleosuperfícies: Abordagem Quantitativa**. 2005. Dissertação de Mestrado em Geologia Ambiental. Pós-Graduação em Geologia – UFPR, Curitiba – PR.

RODRIGUES, F, S. R.; LISTO, F. L. R. Mapeamento de áreas de risco a escorregamentos e inundações em áreas marginais a rodovias na Região Metropolitana de São Paulo. **Eng Sanit Ambient**, v.21, n.4, 2016. Pág.: 765-775.

ROGERS, P. P. et al. (Ed.) **Water crisis: myth or reality?**. London: Fundación Marcelino Botín, Taylor & Francis, 2006. 331p.

ROSSI, M.; PFEIFER, R.M. Remoção de material erodido dos solos de pequenas bacias hidrográficas no Parque Estadual da Serra do Mar em Cubatão (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 58, n.1, p.141-156, 1999.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, North-Holland, v. 48, p. 9-26, 1990

SALLES, M. M. **O uso do sig na análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio São João – MG**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 39. 2010. (528.8).

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012.

(<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.945>)

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

SANTOS, A. R. dos; LOUZADA, F. L. R. de O.; EUGENIO, F. C. **ArcGIS 9.3® total: Aplicações para dados espaciais**. Alegre, ES: CAUFES, 2010. 184p.

SILVA, A. M. da; MELLO, C.R, de. **Apostila de Hidrologia**. UFLA-MG, 2006.

SILVA, J. N. da. **Programa levantamentos geológicos do brasil. Cachoeiro de Itapemirim**. Folha SF-24-VA-V. Estado do Espírito Santo. Escala 1: 250.000. DNPM/CPRM, 165p. 1993.

SIRANGELO, F. R. **Relação entre a ocorrência de inundações e enxurradas e os índices morfométricos das sub-bacias hidrográficas da Região Hidrográfica do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil**. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

SOUZA, R. M. S.; FORMIGA, K. T. M. VEIGA, A. M. Caracterização morfométrica e delimitação da bacia hidrográfica do Córrego Samambaia – GO a partir de dados do SRTM. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu-PR, Brasil, INPE, 2013.

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

STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. Transaction of American Geophysical Union, p. 913-920, 1957.

TEODORO, V. L. I. et al. O Conceito De Bacia Hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, Araraquara, SP, n. 20, 2007.

TEODORO, V. L.; TEIXEIRA, D. COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a importância da Caracterização Morfométrica para o entendimento da Dinâmica Ambiental local. **Revista Uniara**, n.20, 2007.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães**, MG. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; ALVARES, C. A.; RIBEIRO, S.; LEITE, F. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. Metodologia para mapeamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul. In: XI Congresso Brasileiro de geografia Física Aplicada. São Paulo. **Anais...** pp. 3606-3615, São Paulo, 2005.

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997.

TUCCI, C. E. M. **Gestão das inundações urbanas**. Global Water Partnership. Edição em arquivo digital. Brasília, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e aplicação**. Rio Grande do Sul: Editora da universidade federal do Rio Grande do Sul, 2000. 943p.

VANACKER, V.; MOLINA, A.; GOVERS, G.; POESEN, J.; DERCON, G.; DECKERS, S. River channel response to short-term human-induced change in landscape connectivity in Andean ecosystems. **Geomorphology**, v. 72, n. 1-4, p. 340-353, 2005.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, Fernando B. T.; FRANCO, Renato A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras,

Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p.55–64, 2010 Campina Grande, PB, UAEA/UFCG.

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