

Revista Brasileira de Geografia Física

REVISTA BRASILEIRA DE
GEOGRAFIA FÍSICA

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Caracterização Geomorfométrica e Mapeamento dos Conflitos de Uso na Bacia de Drenagem do Açude Soledade

Lucas da Silva ¹, Eduardo Rodrigues Viana de Lima ², Hermes Alves de Almeida ³, José Ferreira da Costa Filho ⁴

Artigo recebido em 11/12/2009 e aceito em 06/04/2010

RESUMO

Os procedimentos empregados para determinação dos conflitos de uso basearam-se na identificação das características morfométricas e do uso do solo da bacia de drenagem do açude Soledade, localizada na microrregião do Curimataú Ocidental, no estado da Paraíba. O uso do solo da bacia foi obtido com a interpretação visual de uma imagem digital do sensor HRC-CBERS-2B do dia 12/12/2008, complementada com levantamentos de campo. A caracterização morfométrica foi gerada com base em mapas temáticos da rede de drenagem, declividade e hipsometria, utilizando recursos do sistema de informação geográfica SPRING. A área da bacia hidrográfica é de 316,55km²; a hierarquia fluvial é de 5ª ordem, com uma drenagem retangular dendrítica e um relevo predominantemente plano. A classe que ocupou a maior área foi a de vegetação densa, com 40,7% da área da bacia. As áreas cultivadas ocuparam 33,7km², ou seja, 10,6% da área total. Essas áreas são formadas principalmente de cultivo de palma, agave e milho. Para identificar e quantificar os usos conflitantes foram cruzados os mapas de uso da terra com o da classificação das microbacias segundo o coeficiente de rugosidade (CR), utilizando a linguagem legal do SPRING. O conflito de uso da terra existiu em áreas de cultivos agrícolas ou de pastagens desenvolvidas em áreas impróprias, ou seja, em áreas de Coeficiente de Rugosidade das classes B, C ou D e também sem tratos conservacionistas, e em áreas com pecuária desenvolvida em locais com Coeficiente de Rugosidade da classe D.

Palavras-chave: Conflito de uso, SIG, sensoriamento remoto.

Geomorphometric Characterization and Mapping of Land Use Conflicts in the Drainage Basin of the Soledade Dam

ABSTRACT

The employed procedures to determine conflicts of use were based on the identification of morphometric and usage characteristics of the soil in the drainage basin of the dam Soledade, located in the microregion Weste CR Curimataú, in Paraíba State. The use of basin soil was obtained through visual interpretation of a digital image from the sensor HRC CBERS-2B on 12/12/2008, complemented by field surveys. The morphometric characterization was generated based on thematic maps of the drainage network, slope, and hypsometry, using features from the geographic information system SPRING. The area of the hydrographic basin is 316.55km²; the fluvial hierarchy is 5th order, with a rectangular dendritic drainage and predominantly plain relief. The class that occupied the largest area was the dense vegetation, with 40.7% of the basin area. The cultivated areas covered 33.7km², i.e., 10.6% of the total area. These areas are composed mainly of palm, agave and maize cultivation. In order to identify and to quantify the conflicting uses, the maps of land use were crossed with the ranking of the microbasins according to CR, using the legal language of SPRING. The conflict of land usage were detected in areas of agricultural crops or pasture developed in unsuitable areas, that is, in areas of Roughness Coefficient classes B, C or D, and without conservation treatment, and in areas with cattle breeding developed in places with Roughness Coefficient class D.

Keywords: Conflict of use, GIS, remote sensing.

Introdução

As bacias hidrográficas ou de drenagem se configuram como uma das principais unidades de gerenciamento territorial e são áreas importantes para a

¹ Prof. MSc do IFCE, Campus Quixadá, Quixadá – CE.

² Prof. Dr. do Departamento de Geociências /CCEN/UFPB, Campus I, João Pessoa-PB.

³ Prof. Dr. do Departamento de História e Geografia /CEDUC/UEPB, Campina Grande-PB.

⁴ Prof. Dr. do Departamento de Solos e Engenharia Rural/CCA/UFPB, Campus II, Areia-PB.

^{*} E-mail para correspondência: lucasifce.edu.br; eduvianalima@gmail.com; hermes_almeida@uol.com.br; costafi@cca.ufpb.br.

conservação dos recursos naturais, sendo modeladas pelas condições geológicas e climáticas locais. Deste modo, o manejo racional dos seus recursos é de fundamental importância para o desenvolvimento sustentável, notadamente quando se pensa em utilizar racionalmente as reservas de água para diversos fins, principalmente para o consumo humano, animal e para a irrigação. No entanto, para realizar um manejo racional em uma bacia hidrográfica, torna-se indispensável o conhecimento de uma série de parâmetros morfométricos e fisiográficos.

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; Christofoletti, 1978).

Rodrigues et al. (2008), morfométrica na microbacia hidrográfica contribui para a compreensão do sistema de drenagem e do relevo, de parâmetros que consistiram levantamentos de índices, relações e valores numéricos. Esses parâmetros definem a natureza dos sistemas. Tais características constituem fator indicador das condições do ecossistema, no que se refere aos efeitos do desequilíbrio interações das dos respectivos componentes (Souza et al., 2002). Muitas destas características físicas da bacia hidrográfica, por sua vez, são, em grande parte, controladas ou influenciadas por sua estrutura geológica (Pissarra, 2002).

As análises sobre redes de drenagens tornaram-se consistentes devido às idéias de Horton (1945), o qual desenvolveu um grupo de leis chamadas "Leis da composição de drenagem", obtidas através da análise morfométrica de Strahler (1952).

A declividade média de uma bacia hidrográfica é muito importante no planejamento, tanto para o cumprimento da legislação quanto para garantir a eficiência das intervenções do homem no meio, e possui importante papel na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo, dentre outros processos (Tonello et al., 2006).

O fator de forma (F), coeficiente de compacidade (Kc) e o índice de circularidade (IC) são índices que se relacionam com formas geométricas e permitem conhecer a forma da Bacia. A forma sua superficial é importante na determinação do tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que toda a bacia contribua para a saída da água após uma precipitação(Villela & Mattos, 1975).

O sensoriamento remoto por satélite vem se tornando uma importante ferramenta na obtenção de informações de tais características, considerando que, tais dados orbital atendem à necessidade de informação em diversas escalas, representando um meio viável de monitoramento da superfície terrestre através de

satélites e seus sensores, e vem servindo de fonte de informações para estudos e levantamentos geológicos, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, entre outros (Novo, 1988; Crósta, 1993).

Associados ao sensoriamento remoto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), podem caracterizar de forma sistemática o comportamento e a variação espaço-temporal das condições naturais em uma determinada região (Silva, 2009). Assim, por meio dessas técnicas é possível produzir mapas de classificação da paisagem numa determinada área, em séries temporais, para avaliar a evolução da situação.

Segundo Ferreira (1997), os SIG's são considerados instrumentos para mapear e indicar respostas relativas ao planejamento da utilização dos recursos naturais, descrevendo os mecanismos das mudanças que operam no meio ambiente, proporcionando um número enorme de possibilidades em seus diversos produtos e usos.

Essas técnicas têm se mostrado um eficiente mecanismo destinado a apresentar e interpretar alterações que ocorrem na superfície terrestre, tornando-se uma ferramenta de fundamental importância no apoio à decisão, em termos de conhecimento, planejamento e gestão do espaço.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo principal determinar as características morfométricas e fisiográficas da bacia de drenagem do açude Soledade, que tem a finalidade de contribuir com os estudos sobre planejamentos e gestão de bacias hidrográficas da região semiáridas.

Material e métodos

Caracterização da área da bacia de drenagem do Acude Soledade

A bacia de drenagem do açude Soledade está situada na parte central do estado da Paraíba, na Mesorregião do Agreste e Microrregião de Soledade, inserida no semiárido brasileiro, entre os paralelos de 7°7'18" e 6°50'7" de Latitude Sul e os meridianos de 36°24'19" e 36°7'50" de Longitude Oeste. Sua área compreende em grande parte os municípios de Olivedos e Soledade, e em menor proporção os municípios de Barra de Santa Rosa e Cubati.

A bacia tem como principais cursos d'água o Riacho do Padre, que deságua no açude Olivedos, o Riacho Santana, na margem direita, e o Rio Soledade, que é contribuinte da bacia do rio Taperoá, principal tributário do rio Paraíba.

O açude Soledade é o principal manancial da bacia hidrográfica, com uma capacidade de 27.058.100m³. Além dele existe o açude de Olivedos, com 5.875.124m³ (AESA, 2007), e outros açudes menores situados em propriedades particulares.

Levantamento dos aspectos físico-geográficos

Os aspectos físicos- geográficos da bacia de drenagem do açude Soledade (Figura 1) foram logrados a partir de dados obtidos nas cartas planialtimétricas e nas imagens SRTM, os quais foram manipulados no SPRING.

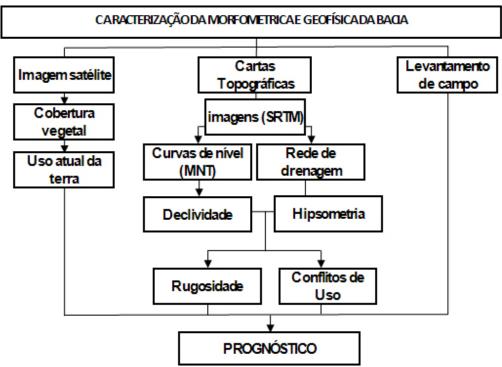


Figura 1. Fluxograma do roteiro das etapas de trabalho executadas para o prognóstico físico- geográfico da bacia de drenagem do açude Soledade.

Cartas topográficas e imagens

Inicialmente, foram utilizadas as cartas topográficas Soledade SB-24-Z-D-III e Picuí SB-24-Z-A-VI, editadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG), na escala de 1:100.000, e uma imagem do sensor HRC do satélite CBERS-2B, monocromática, com resolução de 2,5 m x 2,5 m, órbita/ponto 147_B/108_2, de 11 de dezembro de 2008, fornecida pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Adicionalmente, foram usadas imagens do SRTM, com resolução de 90m, para geração das curvas com equidistância de cinco metros.

softwares utilizados para manipulação, tratamento e análise dos dados, foram o GLOBAL MAPPER para geração das curvas de nível, o SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas), versão 5.0.4, assim como os aplicativos IMPIMA (visualização de imagens), SCARTA (editor de elementos de carta) e o TRACKMAKER Professional versão 3.8 Evolution, usado para transferir os dados obtidos com o GPS para o computador e, posteriormente, para o SPRING.

Características dimensionais da rede de drenagem

Os valores dimensionais de bacias hidrográficas são parâmetros quantitativos que permitem eliminar a subjetividade na sua caracterização (Oliveira & Ferreira, 2001). Na determinação desses parâmetros foi seguida a metodologia citada por Oliveira & Ferreira (2001) para o cálculo do maior comprimento (C), do comprimento do curso principal (Cp), do comprimento total da rede (Cr), do perímetro (P) e da área (A), que foram obtidos com a função "operações métricas" do SPRING.

Para definição da hierarquização da rede de drenagem foi seguida a metodologia sugerida por Strahler (1957 citada por Oliveira & Ferreira, 2001).

Características morfométricas

A densidade hidrográfica (Dh), a densidade de drenagem (Dd), a extensão do percurso superficial (Eps), a extensão média do escoamento superficial (I), a textura da topografia (Tt), o coeficiente de manutenção (Cm), a rugosidade topográfica (Rt) e o índice de forma (K) foram determinados a partir da metodologia desenvolvida por Christofoletti (1969 citado por Silva et al., 2004). Já o fator de forma (Kf) foi determinado pela metodologia utilizada por Almeida (2007).

Densidade hidrográfica (Dh)

A densidade hidrográfica é a relação existente entre o número de rios ou canais e a área da bacia hidrográfica (Christofoletti, 1969), sendo expressa pela equação:

$$Dh = \frac{N}{A}$$

onde:

Dh: densidade hidrográfica (km⁻²);

N: número total de rios:

A: área da bacia hidrográfica (km²).

Densidade de drenagem (Dd)

A densidade de drenagem é a correlação do comprimento total dos rios com a área da bacia, sendo obtida a partir da seguinte fórmula (Silva et al., 2004):

$$Dd = \frac{L}{A}$$

onde:

Dd: densidade de drenagem (km/km²);

L: comprimento total dos rios ou canais – drenagem (km);

A: área da bacia (km²).

Segundo Christofoletti (1969 citado por Silva et al., 2004), a densidade de drenagem pode ser classificada em três classes de interpretação, descritas na tabela abaixo.

Tabela 1. Classes de interpretação para os valores da densidade de drenagem.

| densidade de dienageni. | |
|-------------------------|----------------------------|
| Classes de valores | Interpretação |
| (km^2) | |
| Menor que 7,5 | Baixa densidade de |
| | drenagem |
| Entre 7,5 e 10,0 | Média densidade de |
| | drenagem |
| Maior que 10,0 | Alta densidade de drenagem |

Fonte: Christofoletti (1969 citado por Silva et al., 2004).

Coeficiente de compacidade (Kc)

O coeficiente de compacidade (Kc) foi determinado usando metodologia utilizada por Almeida (2007). O Kc constitui a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de uma circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Uma bacia será mais susceptível a enchentes quando seu Kc for mais próximo da unidade. O Kc foi determinado segundo a equação abaixo:

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

em que: P e A são, respectivamente, o perímetro(km) e a área da bacia(km²).

Índice de circularidade (IC)

O índice de circularidade, também denominado por alguns autores como índice de forma, representa a relação existente entre o perímetro e a área da bacia. O número calculado independe da área considerada, dependendo apenas da forma da bacia (Silva et al., 2004). O menor valor possível a ser encontrado é 1,0, correspondendo a uma bacia circular (Gandolfi, 1971, citado por Silva et al., 2004). Esse parâmetro influencia a determinação do débito (vazão) e a intensidade de escoamento (Morisawa, 1962, citado por Christofoletti, 1970; Silva et al., 2004). O índice de circularidade foi determinado de acordo com Miller (1953, citado por Christofoletti, 1974), expresso pela equação:

TC=12,57
$$\frac{A}{P^2}$$

onde:

K: índice de circularidade;

P: perímetro da bacia (km);

A: área da bacia (km²).

Fator de forma (Kf)

O fator de forma é determinado pela relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia (comprimento do curso de água principal). Segundo Villela & Mattos (1975), uma bacia com o fator de

forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com outro fator de forma. O fator de forma foi determinado utilizando a metodologia utilizada por Almeida (2007), segundo a seguinte equação:

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

onde:

Kf: fator de forma;

L: é o comprimento do rio principal da bacia (km);

A: área da bacia (km²).

Determinação das características do relevo da bacia

As características do relevo da bacia foram determinadas a partir da declividade média, da declividade, da altitude média, altitude máxima, altitude mínima e altitude mediana, todas definidas utilizando o programa SPRING.

Declividade média

A magnitude dos picos de enchente e de infiltração de água, trazendo como consequência maior ou menor grau de erosão, depende da declividade média da bacia (que determina a maior ou menor velocidade de escoamento da água superficial), associada à cobertura vegetal, tipo de solo e tipo de uso da terra (Rocha & Silva, 2001). A declividade média foi obtida a partir da seguinte fórmula:

$$S = \left(\frac{D.L}{A}\right).100,$$

onde:

S: declividade média (%);

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

L: comprimento total das curvas de nível (m);

A: área da bacia (m²).

Declividade

A partir das curvas de nível da área e pelos pontos cotados presentes nas cartas do IBGE foi reproduzida a superfície do terreno utilizando-se a triangulação de Delaunay (Modelo TIN). Em seguida, foi gerada uma grade regular de declividade com malha de 5m x 5m. Essa matriz foi a base para a confecção do mapa de declividade em uma categoria temática.

O mapa de declividade é o resultado do fatiamento da matriz de declividade; para a definição das classes, foram empregados intervalos variáveis. As classes de declividade foram estabelecidas seguindo a metodologia de De Biase (1993), vide Tabela 2.

Tabela 2. Correlação entre classes de declividade e relevo (De Biase, 1993).

| Classes de Declividade (%) | Relevo |
|----------------------------|------------------------|
| 0-3 | Várzea |
| 3-6 | Plano a suave ondulado |
| 6-12 | Suave ondulado a |
| | ondulado |
| 12-20 | Ondulado a forte |
| | ondulado |
| 20-40 | Forte ondulado a |

Hipsometria

A hipsometria da bacia de drenagem do açude Soledade foi gerada a partir do fatiamento de uma grade regular gerada no SPRING. Em seguida foi gerado o mapa no aplicativo SCARTA.

Uso da terra

A definição do uso da terra foi feita com o programa SPRING, utilizando imagem de alta resolução espacial do sensor HRC do satélite CBERS-2B. O procedimento utilizado foi o de interpretação visual da imagem. Posteriormente foi gerado o mapa de uso da terra no aplicativo SCARTA. As classes estabelecidas foram vegetação densa, vegetação aberta, vegetação herbácea (pasto), área cultivada, solos expostos e corpos de água.

Coeficiente de rugosidade (CR)

O coeficiente de rugosidade (CR = Dd . H, onde: CR = coeficiente de rugosidade; Dd = densidade de drenagem e H = declividade média), por ser um parâmetro que direciona o uso potencial das terras rurais, dependendo das características das atividades – agricultura, pecuária, silvicultura com reflorestamento ou preservação permanente –, foi usado para definir as classes de uso da terra das cinco microbacias hidrográficas da bacia do rio Soledade, que são: A (menor valor de CR) – terras apropriadas à agricultura; B – terras apropriadas à pecuária; C – terras apropriadas à pecuária e reflorestamento e D (maior valor de CR) – terras apropriadas para florestas e reflorestamento, segundo Rocha & Silva (2001).

As classes A, B, C e D para caracterização do uso potencial da terra de cada microbacia foram obtidas através do cálculo da amplitude, que é a diferença entre o maior e o menor valor de CR encontrada para as bacias de terceira ordem de ramificação e o intervalo de domínio – amplitude dividida por 4 –, que é o número de classes preconizadas pelo método de Sicco Smith (Rocha & Silva, 2001).

Conflito de uso da terra

Para identificar e quantificar os tipos de uso conflitantes foram cruzados os mapas de uso da terra com o da classificação das microbacias segundo o CR, utilizando a linguagem legal do SPRING.

Resultados e discussão

Análise das características dimensionais da rede drenagem

A bacia de drenagem do açude Soledade apresenta uma área de 316,5km², com perímetro total de 118,3km. O rio principal, identificado como Riacho do Padre, aparece em destaque, sendo que o fluxo de água se dá na direção SW-NE da bacia, com um comprimento de 23,8km. Já o comprimento total da rede de drenagem da bacia hidrográfica em estudo é de 484,1km (Tabela 3), demonstrando ser uma bacia com poucos canais de drenagem, característica das bacias hidrográficas localizadas no semi-árido.

Tabela 3. Características dimensionais da rede de drenagem da bacia de drenagem do açude Soledade. P = perímetro da bacia; A = área de drenagem; Cp = comprimento do canal principal; Cr = comprimento total da rede de drenagem.

P (km) A (km²) Cp (km) Cr (km) 118,3 316,5 23,8 484,1

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos para a bacia considerando o número de canais, o comprimento total e a porcentagem de ocorrência de cada uma das ordens dos cursos d'água. Conforme os valores expressos na Tabela 4 pode-se observar que os canais de 1ª ordem apresentam um comprimento de 240,4km, sendo a ordem que apresenta maior frequência, ou seja, aproximadamente 50% do número total dos rios e canais da bacia, que totalizaram 326 unidades. Os canais de 2ª ordem vêm em seguida, em grande quantidade e comprimento (96 unidades e 115,4km, respectivamente), correspondendo a 23,8% do total de canais da bacia.

Os canais de 3ª e 4ª ordem apresentam um total de 22 canais e comprimento médio de 4,74km, correspondendo juntos 10,5% do total de canais da bacia.

De modo geral, o comprimento total do curso de água apresenta um valor de 484,1km, distribuídos por 445 canais, caracterizados de 1ª a 5ª ordem (Tabela 4), o que significa um comprimento médio de 1,08km.

Tabela 4. Comprimento total e porcentagem de ocorrência de cada uma das ordens dos cursos de água

| Nº de | Comprimento (km) | Porcentagem (%) |
|-------|--|--|
| | ` ' | 49,6 |
| | · · · · · · · · · · · · · · · · · · · | 23,8 |
| | | 15,9 |
| 10 | · · · · · · · · · · · · · · · · · · · | 5,5 |
| 1 | · · | 4,9 |
| 1/15 | , | 100% |
| | N° de canais 326 96 18 4 1 | canais (km) 326 240,4 96 115,4 18 77,3 4 26,9 1 23,8 |

Análise das características morfométricas

As características da rede de drenagem da bacia de drenagem do açude Soledade são apresentadas na Tabela 5, e mostram que a densidade de drenagem foi de 1,5km/km² e a densidade hidrográfica de 1,4km/km².

Segundo classificação de Christofoletti (1969, citado por Silva et al., 2004), a densidade de drenagem da bacia do açude Soledade é baixa, pois é menor que 7,5km/km². Já para Villela & Mattos (1975), esse índice pode variar de 0,5km/km², em bacias com drenagem pobre, a 3,5km/km² ou mais, nas bacias excepcionalmente bem drenadas, indicando, portanto, que a bacia em estudo apresenta baixa 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.

Tabela 5. Características da rede drenagem da bacia de drenagem do acude Soledade.

| Características | Valores |
|-----------------------------|----------------------|
| Ordem dos cursos de água | Ordem 5 |
| Densidade hidrográfica (Dh) | 1,4 |
| Densidade de drenagem (Dd) | $1,5 \text{km/km}^2$ |

Coeficiente de compacidade, fator de forma, e índice de circularidade ou índice de forma

Na Tabela 5 observa-se que a densidade hidrográfica foi de 1,4, ou seja, cerca de um canal e meio para cada km² da área da bacia. A mesma tabela mostra que o coeficiente de compacidade da bacia foi maior do que 1 (1,86) e o fator de forma foi considerado baixo, 0,56 (Tabela 6). Por meio desse resultado pode-se afirmar que a bacia de drenagem do açude Soledade, em condições normais de precipitação, ou seja, excluindo-se eventos de intensidades anormais, é pouco susceptível a enchentes.

Assim, há uma indicação de que a bacia não possui forma circular, possuindo, portanto, uma tendência de forma alongada, elíptica (Santos, 2001; Rocha & Silva, 2001).

Também pelo coeficiente de compacidade verificase que a bacia não possui forma próxima à circular, isto é, apresenta forma alongada.

Tal fato pode, ainda, ser comprovado pelo índice de circularidade, cujo valor é de 0,28.

Tabela 7. Características dimensionais da bacia de drenagem do acude Soledade.

| Kc | Kf | IC | |
|--------|------|------|--|
| 1,86 | 0,56 | 0,28 | |

Kc = coeficiente de compacidade; Kf = fator de forma; IC = índice de circularidade ou índice de forma.

Características do relevo

A bacia de drenagem do açude Soledade possui pequena variação de altitude, mínima de 515m e máxima de 660m, apresentando uma altitude média de 587m e uma amplitude de 145m, o que mostra que a bacia em questão favorece uma maior perda de água.

A declividade máxima foi de 72%, já a declividade média apresentada foi de 3,4% (Tabela 7).

Tabela 7. Características do relevo da bacia de drenagem do açude Soledade.

| Características | Valores |
|--------------------|---------|
| Declividade média | 3,4% |
| Declividade máxima | 71,9% |
| Declividade mínima | 0,0% |
| Altitude máxima | 660 m |
| Altitude mínima | 515 m |
| Altitude média | 587m |
| Altitude mediana | 590 m |

A Tabela 8 e a Figura 2 mostram as classes de hipsometria da área da bacia de drenagem do açude Soledade. Verifica-se que as áreas com altitudes inferiores a 545m constituem 31,41km², ou 9,9% do total, estando localizadas principalmente junto ao leito dos rios.

Tabela 8. Quantificação das áreas homogêneas por classes de hipsometria

| Classes de | Área por Clas | se |
|-------------|--------------------|--------|
| Hipsometria | (km ²) | (%) |
| 515-545m | 31,41 | 9,9 |
| 545-575m | 85,36 | 27,0 |
| 575-605m | 123,47 | 39,0 |
| 605-635m | 73,23 | 23,1 |
| 635-665m | 3,21 | 1,0 |
| Total | 316,55 | 100,00 |

Áreas que apresentam altitude entre 545 e 575 metros correspondem a 85,36km², ou 27% do total, e localizam-se principalmente na parte central da área. Já as altitudes entre 575 e 605m correspondem a 123,47km², sendo as que ocupam a maior área da bacia, 39%.

Áreas com altitudes superiores a 605m correspondem a 76,43km², 24% do total, e localizamse, de maneira geral, na porção centro-leste e centro-oeste da área de estudo, mais afastadas das margens do rio principal (Figura 2).

A análise da altitude torna-se relevante na análise de diferentes elementos climáticos e de diferentes áreas de acumulação e erosão. Equivalente importância tem a amplitude na determinação das formas do relevo. Trentin & Robaina (2005) comentam que o mapa hipsométrico tem fundamental importância na análise da energia do relevo, indicando condições mais propícias à dessecação para as áreas de maior altitude e de acumulação para as áreas de menor altitude.

As classes de declividade da bacia de drenagem do açude Soledade estão apresentadas na Tabela 9 e na Figura 3. Observa-se que mais da metade da área da bacia (54,13%) apresentou declividades menores que 3%, o que corresponde, segundo classificação de De Biase (1993), a relevo de várzea. Em seguida, há declividades no intervalo de 3 a 6%, que ocorrem em uma área de 125,12km², correspondente a 39,55% da área total. Essa classe compreende áreas com relevo plano a suave ondulado, onde a erosão hídrica não oferece problema e somente as práticas de conservação (preparo do solo e cultivo em nível) são necessárias, exceto em solos erodíveis (arenosos) com comprimento de rampa muito longo.

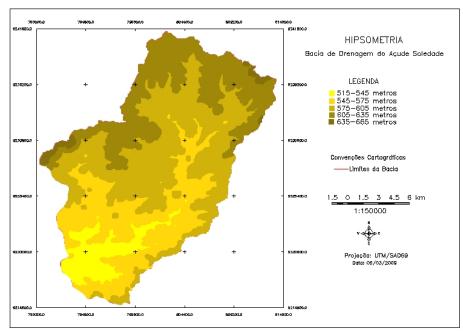


Figura 2. Mapa hipsométrico da bacia de drenagem do açude Soledade.

Apenas cerca de 6% da área da bacia apresenta declividade entre 6 e 12%, representando áreas de relevo ondulado a montanhoso. As demais declividades acima de 12% corresponderam apenas a

uma área de 0,45km². Essas áreas apresentam um escoamento superficial muito rápido e solos facilmente erodíveis, conforme Santos (2001).

Tabela 9. Quantificação das áreas homogêneas por classes de declividade para a bacia hidrográfica.

| Classes de declividade | Relevo | Área por Classe | |
|------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------|
| | (%) | (km ²) | (%) |
| 0-3 | Várzea | 171,34 | 54,13 |
| 3-6 | Plano a suave ondulado | 125,12 | 39,55 |
| 6-12 | Suave ondulado a ondulado | 19,55 | 6,18 |
| 12-20 | Ondulado a forte ondulado | 0,3976 | $13x10^{-6}$ |
| 20-40 | Forte ondulado a montanhoso | 0,0491 | $16x10^{-7}$ |
| >40 | Montanhoso | 0,0034 | $11x10^{-8}$ |
| Total | | 316,55 | 100,00 |

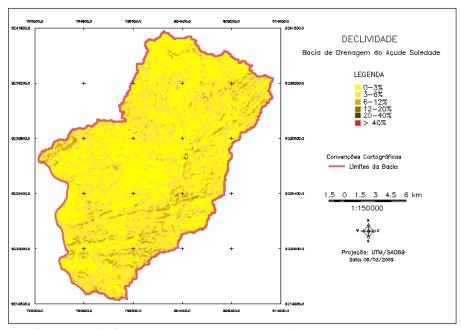


Figura 3. Mapa de declividade da bacia de drenagem do açude Soledade.

Ocupação e uso da terra da bacia de drenagem do açude Soledade

De acordo com a distribuição das classes identificadas na área em estudo, observa-se que a caatinga densa, a caatinga aberta e a vegetação herbácea ocupam, respectivamente, 129,03, 108,67 e

29,33km², perfazendo uma área total de 267km², o que corresponde 82,2% da área da bacia. A classe que ocupa a maior área é a de vegetação densa, com 40,7% da área da bacia (Tabela 10 e Figura 4).

Tabela 10. Quantificação das áreas homogêneas por classes de uso da terra para a bacia de drenagem do açude Soledade.

| | Área por | · Classe |
|-----------------------------|--------------------|----------|
| Classes de Uso da Terra | (km ²) | (%) |
| Vegetação densa | 129,03 | 40,7 |
| Vegetação aberta | 108,67 | 34,3 |
| Vegetação herbácea (compus) | 29,33 | 9,2 |
| Área cultivada | 33,7 | 10,6 |
| Solos expostos | 9,82 | 3,1 |
| Corpos d'água | 6,51 | 2,1 |
| Total | 316,55 | 100,00 |

As áreas cultivadas ocupam uma área de 33,7 km², ou seja, 10,6% da área total. Essas áreas são formadas principalmente de cultivo de palma, agave e milho. Na contabilidade dessas áreas foram incluídas áreas agrícolas, onde a colheita havia ocorrido pouco antes da passagem do satélite.

A predominância de área verde na bacia está relacionada à grande quantidade de chuva que ocorreu na região no ano de 2008.

A Tabela 11 e a Figura 5 mostram as classes de rugosidade, em que observa-se que 37,1%, ou 117,43 km² da área da bacia de drenagem do açude Soledade são apropriados para atividades agrícolas, desde que se

respeitem as distâncias estabelecidas por lei das áreas consideradas como de preservação permanente (Rocha & Silva, 2001). A área apropriada para pastagens representou 55,7km², correspondendo a 17,6% da área total da bacia.

Um percentual de 20,3% da área de estudo foi considerado apropriado para sistema agropastoril e 25% para florestas. Com isso, percebe-se que a bacia em estudo é pouco suscetível à erosão, já que apresentou apenas 25% da área com rugosidade elevada.

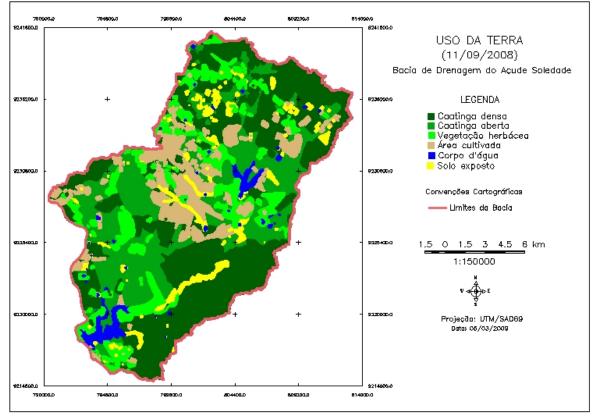


Figura 4. Mapa de uso da terra da bacia de drenagem do açude Soledade.

Tabela 11. Quantificação das áreas homogêneas por classes de rugosidade para a bacia de drenagem do açude Soledade.

| | Área por Classe | | |
|---|--------------------|--------|--|
| Classes de Uso da Terra | (km ²) | (%) | |
| A - solos apropriados para agricultura | 117,43 | 37,1 | |
| B - solos apropriados para pastagens (pecuária) | 55,7 | 17,6 | |
| C - solos apropriados para pastagem/florestamento | 64,24 | 20,3 | |
| D - solos apropriados para florestamentos | 79,2 | 25,0 | |
| Total | 316,55 | 100,00 | |

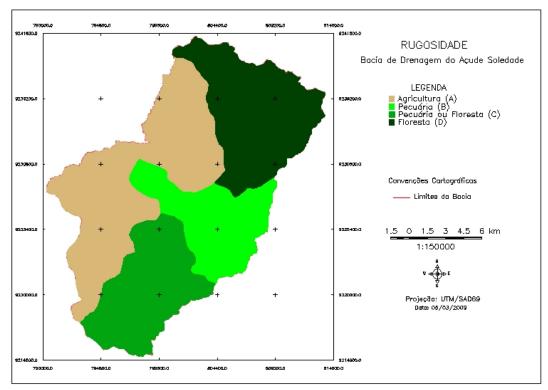


Figura 5. Mapa de rugosidade da bacia de drenagem do açude Soledade.

Conflitos de uso

Ocorrem na bacia conflitos de uso da terra em áreas de cultivos agrícolas ou de pastagens desenvolvidas em áreas impróprias, ou seja, em áreas de coeficiente de rugosidade das classes B, C ou D e também sem tratos conservacionistas; bem como o desenvolvimento da pecuária em locais com coeficiente de rugosidade da classe D.

A ocorrência dos conflitos pode ser observada na Tabela 12 e na Figura 6, estabelecidas com base no mapa de uso da terra.

A área total conflitante na bacia foi de 20,02km², que representa 6,3% da área total, sendo que os maiores conflitos ocorreram na microbacia 3, que é indicada para pecuária; no entanto, 9,36km² são ocupados por culturas. Nas microbacias 1 e 2, que são apropriadas para pecuária/florestas e florestas, respectivamente, também foram detectadas áreas cultivadas; na primeira uma área de 1,39km² e na segunda 4,41km². Esta última, além da presença de áreas cultivadas, apresentava também 4,86km² de atividades de pecuária.

Tabela 12. Quantificação das áreas homogêneas por classes de conflito de uso para a bacia hidrográfica.

| Conflito de Uso — | Área por Classe | | |
|---------------------------------------|--------------------|-----|--|
| | (km ²) | (%) | |
| Agricultura X Pecurária | 9,36 | 3 | |
| Agricultura X Pecurária/Florestamento | 1,39 | 0,5 | |
| Agricultura X Florestamento | 4,41 | 1,4 | |
| Pecurária X Florestamento | 4,86 | 1,5 | |
| Total | 20,02 | 6,3 | |

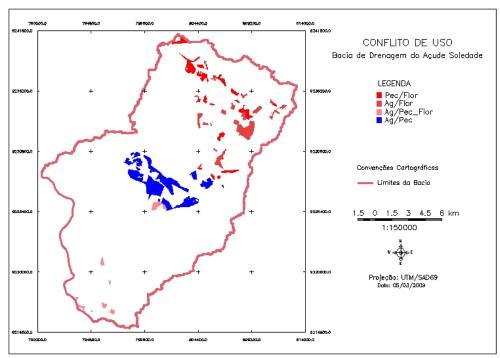


Figura 6. Mapa de conflito de uso da bacia de drenagem do açude Soledade.

Em geral, a bacia de drenagem do açude Soledade apresenta poucos conflitos de uso, representando apenas 6,6% da área total da bacia. Mesmo assim, torna-se necessário a adoção de medidas imediatas por parte de órgãos ambientais para a preservação e recuperação dessas áreas.

Os conflitos de uso da terra figuram entre os maiores responsáveis pela erosão, assoreamento de rios, barragens e açudes, enchentes e agravamento dos efeitos das secas.

Conclusões

A bacia de drenagem do açude Soledade, com base em suas características morfométricas, tem forma alongada, apresenta densidade de drenagem de 1,5 km/km² e predominantemente relevo de várzea.

As técnicas do sensoriamento remoto e do geoprocessamento possibilitaram de forma satisfatória a identificação do uso e da cobertura do solo, além da determinação das características físicas e morfométricas da área de estudo. O uso dessas ferramentas viabiliza o monitoramento e a gestão do uso do solo e dos recursos hídricos em bacias hidrográficas.

Referências

Almeida A.Q. de. 2007. Influência do desmatamento na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Corrego do Galo, Domingos Martins, ES. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) Espírito Santo – Brasil Julho –2007 Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Ambiental - Centro Tecnológico - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitoria, ES, 2007.

Christofoletti, A. Análise morfometrica das bacias hidrográficas. Notícia Geomorfologia, Campinas, 9(18):35-64, 1969.

Crósta, A.P. 1993. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Ed. ver. Campinas: UNICAMPIG. 164 p.

Ferreira, C.C.M. 1997. Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 158p.

França, G.V. 2005. Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicadas a solos da região do Piracicaba. 151 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Gandolfi, P.A. 1971. Investigações sedimentológicas, morfométricas e físio-químicas nas bacias do Moji-Guaçu, do Ribeira e do Peixe. Tese (Livre Docência). Departamento de Geologia e Mecânica dos Solos, EESC-USP, São Carlos, SP.

Guerra, A.J.T.; Cunha, S.B. 1996. Degradação ambiental. In: Cunha, S. B. Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. pp. 337-339.

Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hidrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of American, 56, 3, 275-370.

Lima, W.P. 1986. Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba; ESALQ/USP. 242p.

Moreira, M.A. 2001. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. São José dos Campos: INPE. 250 p.

Novo, E.M.L.M. 1988. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 2ª Ed. São Paulo: Edgard Blüncher. 308p.

Oliveira, A. de; Ferreira, E. 2001. Caracterização de sub-bacias hidrográficas. Lavras: UFLA/FAEPE, 64p. (Textos Acadêmicos. Curso de pós-graduação

- "Lato Sensu" (especialização) a Distância. Gestão e manejo ambiental em sistemas agrícolas).
- Pissarra, T.C.T. 2002. Análise da bacia hidrográfica do Córrego Rico na sub-região de Jaboticabal, SP: comparação entre imagens TM-LANSAT 5 e fotografias aéreas verticais. 132p. Dissertação (Doutorado em Conservação e Manejo da Água e do Solo) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- Rocha, J.S.M. da.; Silvia Kurtz, S.M. de J.M.. 2001. Manual de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas, 4ª ed. - Santa Maria: Edições UFSM CCR/UFSM 302p. tab., gráfs., il.
- Rodrigues, F.M.; Pissarra, T.C.T.; Campos, S. 2008. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do Córrego da Fazenda Glória, município de Taquaritinga, SP. Irriga, 13, 3, 310-322
- Santos, A.R. dos. 2001. Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, micro-região de Viçosa, MG. 141p. (Tese de Doutorado Engenharia Agrícola) -Universidade Federal de Viçosa, MG.
- Silva, A.M.; Schulz, H.E.; Barbosa, C.P.. 2004. Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias hidrográficas. São Carlos: RiMa. 141p.
- Silva, L. da. 2009. Balanço de Radiação e Caracterização Geomorfométrica a Bacia de Drenagem do açude Soledade, usando Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. 123 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- Souza. C.G., et al. 2002. Caracterização e manejo integrado de bacias hidrográficas. Belo Horizonte: EMATER. 124p.
- Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transaction of the American Geophysical Union. 38, 6, 913-920.
- Strahler, A.N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosion al topography. Geol. Soc. America Bulletin, 63, 1117-1142.
- Tonello, K.C.; Dias, H.C.T.; Souza, A.L. de; Ribeiro, C.A.A.S.R.; Leite, F.P. 2006. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. Ver. Árvore, 30, 5, 849-857.
- Trentin, R.; Robaina, L.E. de S. 2005. Metodologia para mapeamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul. In: XI Congresso Brasileiro de geografia Física Aplicada. São Paulo. Anais... São Paulo, pp. 3606-3615.
- Villela, S.M.; Mattos, A. 1975. Hidrologia Aplicada. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil. 245p.