

Alocação de Barraginhas com Uso de Modelagem Hidrológica e Geoprocessamento



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
190**

**Alocação de Barraginhas com Uso de
Modelagem Hidrológica e Geoprocessamento**

Matheus Terra Hipólito
Thomaz Correa e Castro da Costa
Luciano Cordoval de Barros
Amanda Aparecida de Oliveira Neves Viana

*Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2019*

Esta publicação está disponível no endereço:
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

Embrapa Milho e Sorgo
Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
www.embrapa.br/fale-conosco/sa

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Sidney Netto Parentoni

Secretário-Executivo
Elena Charlotte Landau

Membros
Antonio Claudio da Silva Barros, Cynthia Maria Borges Damasceno, Maria Lúcia Ferreira Simeone, Roberto dos Santos Trindade e Rosângela Lacerda de Castro

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

Tratamento das ilustrações
Tânia Mara Assunção Barbosa

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Tânia Mara Assunção Barbosa

Foto da capa
Google

1ª edição
Publicação digitalizada (2019)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Nome da unidade catalogadora

Alocação de barraginhas com uso de modelagem hidrológica e geoprocessamento / Matheus Terra Hipólito ... [et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2019.

28 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 190).

1. Hidrologia. 2. Reservatório de água. 3. Águas pluviais. 4. Sistema de Informação Geográfica. I. Hipólito, Matheus Terra. II. Costa, Thomaz Correa e Castro da. III. Barros, Luciano Cordoval de. IV. Viana, Amanda Aparecida de Oliveira Neves. V. Série.

CDD 551.48 (21. ed.)

Sumário

Resumo	05
Abstract	06
Introdução.....	07
Material e Métodos	08
Resultados e Discussão	16
Conclusões.....	24
Agradecimentos.....	24
Referências	24

Alocação de Barraginhas com Uso de Modelagem Hidrológica e Geoprocessamento

Matheus Terra Hipólito¹

Thomaz Correa e Castro da Costa²

Luciano Cordoval de Barros³

Amanda Aparecida de Oliveira Neves Viana⁴

Resumo – Barraginhas são bacias que represam e infiltram a água durante as estações chuvosas, ocupando o espaço poroso do solo, reforçando o lençol freático. São construídas por iniciativas próprias, ou por especialistas. Este estudo propõe uma metodologia para indicar locais com menor risco de rompimento de barraginhas, por meio da análise hidrológica e do uso do geoprocessamento. Uma área com barraginhas instaladas, no município de Sete Lagoas-MG, foi utilizada para validação. Usaram-se dados climatológicos do INMET no período de 50 anos, o modelo digital de elevação TanDEM-X e os sistemas Google Earth, SPRING e IDRISI. Foi obtido o escoamento superficial corrigido pela infiltração e, por meio da chuva extrema e da capacidade de armazenamento das barraginhas, foi obtido o limiar máximo de escoamento superficial que uma barraginha suporta. Os resultados indicaram 40% das barraginhas amostradas com risco de rompimento por estarem em locais com escoamento acima da capacidade de armazenamento.

Termos para indexação: hidrologia, barragens de contenção, *runoff*.

¹ Eng. Ambiental, Faculdades Santo Agostinho, Sete Lagoas, MG.

² Corresponding author, Eng. Florestal, D.Sc. em Geoprocessamento da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

³ Analista da Embrapa Milho e Sorgo, Captação e Conservação de Água de Chuvas, Sete Lagoas, MG.

⁴ Eng.-Agrôn., D.Sc em Ciência do solo (Unesp Jaboticabal).

Small Dams' allocation Using Hydrological Modeling and Geoprocessing

Abstract – Dams are basins that trap and infiltrate water during rainy seasons, occupying the porous space of the soil, reinforcing the water table. It is built by their own initiatives of farmers or by specialists. This study proposes a method to indicate sites with lower risk of burrowing, through hydrological analysis and the use of geoprocessing. An area in Sete Lagoas, State of Minas Gerais, Brazil, with dams, was used for validation. We used climate INMET data over a period of 50 years, the TanDEM-X digital elevation model and the GIS SPRING, IDRISI and Google Earth. The runoff corrected by the infiltration was obtained and, through the extreme rainfall and the storage capacity dams, the maximum threshold that dams supported was obtained. The results indicated 40% of the sampled dams with risk of disruption because they are in places with a flow above the storage capacity.

Index terms: hydrology, containment dams, runoff.

Introdução

Um problema comum em áreas rurais é a erosão dos solos, principalmente em regiões tropicais, onde os índices pluviométricos são altos. Tal fenômeno é agravado por atividades antrópicas, tais como exploração de madeira, produção agropecuária e incêndios, que deixam o solo exposto e desprotegido, suscetível a incidência das chuvas (Guerra et al., 2012).

A degradação do solo, provocada principalmente pela sua exposição, que aumenta o escoamento superficial, reduzindo a infiltração e recarga de lençóis freáticos, além da perda de produtividade, poderá culminar na formação de ravinas e voçorocas, que são processos mais críticos de degradação de terras (Bertoni; Lombardi Neto, 2012).

Preocupados com suas áreas degradadas, produtores rurais procuram orientação para diminuir ou interromper processos erosivos. Dentre as práticas para atenuação da erosão, tais como terraceamento e canais de escoamento, alguns produtores optam pela construção de barraginhas (Barros, 2000).

Barraginhas (ou bacias de contenção) são pequenas bacias que se carregam e descarregam das águas precipitadas e escoadas, de três a seis vezes durante a estação chuvosa no semiárido, e de oito a doze vezes no subúmido, ocupando o espaço poroso do solo, reforçando o lençol freático e funcionando como uma caixa d'água natural. É uma prática para coleta de água das enxurradas, proporcionando infiltração rápida entre uma chuva e outra (Barros, 2000).

Para um dimensionamento seguro das bacias de contenção, bem como sua viabilidade técnica e econômica, faz-se necessário o conhecimento pluviométrico das áreas em estudo, efetuando-se os cálculos de chuvas intensas para cálculo das cheias (Mello et al., 2003). Portanto, para que as barraginhas controlem processos erosivos, evitando impactos tanto hídricos como no solo, é preciso dimensioná-las e alocá-las considerando a hidrologia (Lima, 2011), o clima e o uso e cobertura da terra.

O tratamento espacial de informações do terreno (Rocha, 2000) pode auxiliar em projetos de alocação e dimensionamento de bacias de contenção,

que irão depender da qualidade dos dados espaciais, relativa à resolução espacial e precisão geométrica.

Para aplicar a metodologia de alocação de barraginhas é preciso selecionar uma região que esteja em relevo de suave ondulado a fortemente ondulado, com degradação de solos, e com barraginhas, para efetuar sua validação.

A Sub-Bacia do Ribeirão do Paiol, localizada nos distritos da Estiva e Silva Xavier, pertencentes ao município de Sete Lagoas-MG, atende aos requisitos para validação desta metodologia. É uma sub-bacia com relevância ambiental, com parte de vegetação e recursos hídricos preservados. As áreas antropizadas são objetos de atenção e de necessidade de controle das atividades no local. Centenas de barraginhas estão instaladas nesta região, com o propósito de auxiliar na manutenção da recarga hídrica dos lençóis, bem como diminuir efeitos erosivos.

Na escolha dos locais para alocação de barraginhas, feita por um especialista, existe o risco de instalação em local pouco apropriado, o que pode gerar gastos desnecessários com HHT (Horas Homem Trabalhadas), gastos com deslocamentos de veículos e equipamentos, além de afetar a funcionalidade da barraginha e a retirada da camada superficial, no caso do seu rompimento. Outra justificativa é que a área a ser avaliada in loco pode ser de grande extensão, tornando o processo lento e de alto custo.

Assim, o objetivo deste trabalho é aplicar a metodologia proposta e validar a alocação de barraginhas.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido na região do Paiol (UTM 7857801.41 m S; 577436.19 m E), localizada no distrito pertencente a Sete Lagoas-MG, em uma área de 627 mil m² (Figura 1).

O modelo geométrico associado à forma da barraginha foi o da calota esférica (Figura 2).

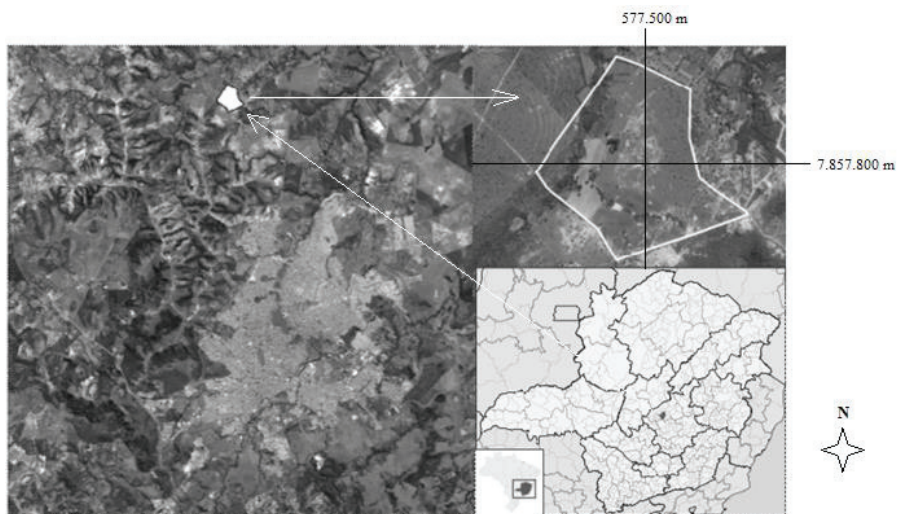


Figura 1. Imagem de Satélite da área de estudo - Região do Paiol. Fonte: Google Earth®.

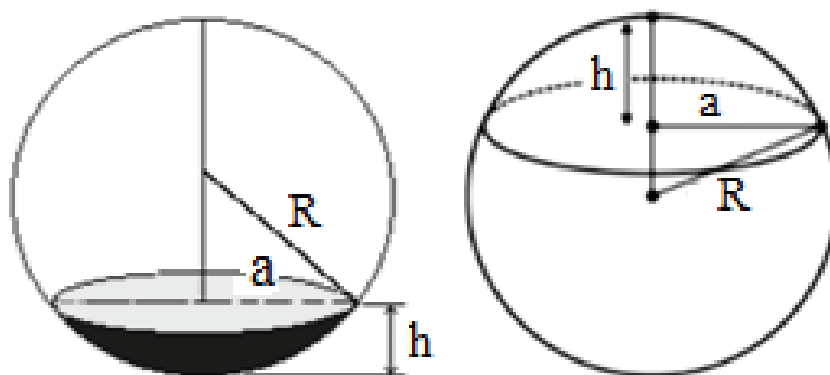


Figura 2. Representação dos determinantes para o cálculo do volume da calota esférica. Fonte: Adaptado do site <http://obaricentrodamente.blogspot.com.br/> e site <http://www.interaula.com>

Das 50 barraginhas instaladas no local, foram selecionadas 15 de forma aleatória, no ambiente do Google Earth®, mensurando-se dois diâmetros ortogonais, e sua área superficial, para efetuar o cálculo do volume de armazenamento (m^3) de água (Equação 1):

$$Vce = \frac{1}{6}\pi h(3a^2 + h^2) \quad Vce = \frac{1}{6}\pi h(3a^2 + h^2) \quad (1),$$

Sendo

h = a altura da barraginha (m)

a = o raio da base superficial da barraginha (m)

O volume de armazenamento de água da barraginha foi dado pela média entre volumes das 15 barraginhas amostradas.

Todas as barraginhas analisadas possuem suas paredes em formato de meia lua, com um vertedouro (sangradouro) (Figura 3) em um dos seus lados ou em ambos, para que a água escoada não fique acumulada em excesso, de forma que ela possa escoar para as barraginhas seguintes, executando um processo de amortização do escoamento superficial.



Figura 3. Sangradouro da barraginha na lateral da parede dela.

A precipitação máxima, por meio das chuvas intensas, necessária para calcular o escoamento superficial da área e, conseqüentemente, para avaliar a capacidade de acumulação do volume escoado pelas barraginhas, foi consultada na base de dados climáticos dos últimos 50 anos da estação do INMET de Sete Lagoas-MG, Brasil, pelo site <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>

O uso e a cobertura da terra foram interpretados *in loco* nas seguintes classes: Mata, Área cultivável, Pasto, Pasto degradado, para serem digitalizados no Google Earth, e exportados para o SPRING (Camara et al., 1996), onde foi realizada a edição vetorial e criada a topologia.

Os dados georreferenciados da hidrografia do local em estudo foram extraídos da Carta Topográfica de Sete Lagoas na escala 1:100.000, adquirida em formato digital no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019).

O modelo digital de elevação utilizado foi o TanDEM-X, adquirido por Viana et al. (2015), com resolução de 12,5 m x 12,5 m, tendo o pixel da área próxima da área média das barraginhas. Embora o TanDEM-X seja um modelo digital de superfície, a variação de altura entre feições não tem grande interferência no local avaliado, pois as barraginhas estão alocadas em áreas de lavoura ou pastagem, plantas com alturas próximas ao solo.

As operações para construção do banco de dados geográficos usado na análise estão em Hipólito (2016). As coordenadas do projeto em WGS 84, UTM 23 são: x1= 576600, y1= 7857000, x2=578600, y2=7858850.

Do MDE (Modelo Digital de Elevação) foi gerada a declividade, que foi reclassificada com código 1 para 0-5%, 2 para 5-10%, 3 para 10-30%, 4 para 30-70%.

No Google Earth, que armazena imagens Ikonos, reamostradas para 4 m de pixel, foram delimitadas as classes de Uso e Cobertura da Terra na área de estudo, que receberam os códigos: Mata (1), Agrícola (2), Pasto (3), PastoDegradado (4). Após esta operação, os polígonos foram exportados em formato KML, e convertidos em formato SHP para a importação no SPRING, para correção de inconsistências (linhas duplas, polígonos abertos dentre outros). Após a edição vetorial foi construída a topologia.

As etapas a seguir foram realizadas no SIG IDRISI (Eastman, 2003), pela dificuldade em resolver problemas de configuração para o uso da linguagem Legal.

Utilizou-se a classificação cruzada com o módulo CrossTab entre os layers “Declividade %” e “Uso e Cobertura da Terra”, que gerou 13 classes: 11, 21, 31, 12, 22, 32, 42, 13, 23, 33, 14, 24, 34. As demais combinações não existem na área de estudo.

Para cálculo de *runoff*, usou-se a metodologia D8, baseada em Jenson e Domingue (1988). A Figura 4 auxilia na interpretação do algoritmo para cálculo do escoamento superficial ou bacia de acumulação para cada célula (pixel). No modelo digital de elevação (Figura 4a) são eliminadas depressões que comprometem o fluxo hídrico, onde células com cotas mais baixas, que têm variação de cota maior que o limite estabelecido em relação à sua vizinhança, são identificadas e recodificadas para a cota mais baixa das células vizinhas, permitindo a continuidade do fluxo.

A direção do fluxo é determinada para cada célula, em operação de vizinhança, numa matriz 3 x 3 pixels (Figura 4b). A célula com a mais baixa altitude em relação à célula central é escolhida para a direção do fluxo. O cálculo leva em consideração a diferença de cota entre a célula central e cada uma da vizinhança, sendo que para células nos vértices da matriz é usada a distância da diagonal, e para as células direita, esquerda, superior e inferior é usada a distância de lado da célula.

Após a identificação da célula com maior desnível em relação à célula central (tarja azul), é atribuída a codificação por ID 2 exponencial (Figura 5 e Figura 4c), que indica a direção do fluxo hídrico no terreno (Figura 4d). Por fim, considerando uma precipitação hipotética de 1 mm em cada célula, é calculado o escoamento superficial com base no fluxo hídrico (Figura 4e).

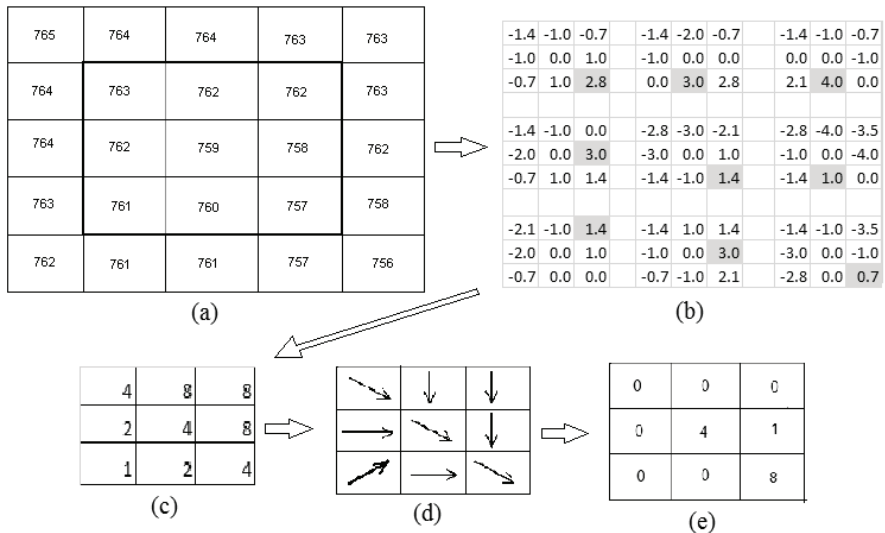


Figura 4. Modelo digital de elevação (a), cálculo para direção do fluxo hídrico (b), codificação da direção do fluxo hídrico (c), representação do fluxo (d), escoamento superficial com base no fluxo hídrico (*runoff*) (e), a partir da precipitação hipotética de 1 mm por célula. Fonte: Costa e Guimarães (2005).

64	128	1
32	x	2
16	8	4

Figura 5. Identificador da direção e sentido do fluxo hídrico na matriz 3 x 3 pixels pela codificação exponencial (20 a 27). Fonte: Jenson e Domingue (1988).

O módulo “*Runoff*” no IDRISI foi executado com o MDE na resolução espacial de 12 x 12 m, com opção “pitremoval”, para remoção de depressões que interrompem o fluxo hídrico. Para subtrair a quantidade de água infiltrada do montante de água escoada, aplicaram-se as proporções de escoamento (coeficientes de *runoff*) informadas por Carvalho e Silva (2006) (Tabela 1).

A classe predominante na área de estudo é de “Solo Argiloso”. Os coeficientes foram, desta forma, atribuídos às 13 classes que combinam declividade com tipo de uso e cobertura da terra, pelo módulo de reclassificação. E, para obter o *runoff*, descontando a infiltração, executou-se a multiplicação entre mapas com o módulo “Overlay”: *runoff* x coeficientes de *runoff*.

Tabela 1. Proporção de escoamento superficial (runoff), de acordo com a classe de declividade %, a textura do solo, e o uso e cobertura da terra.

Declividade (%)	Solo Arenoso	Solo Franco	Solo Argiloso
	<u>Florestas</u>		
0 a 5	0,10	0,30	0,40
5 a 10	0,25	0,35	0,50
10 a 30	0,30	0,50	0,60
	<u>Pastagens</u>		
0 a 5	0,10	0,30	0,40
5 a 10	0,15	0,35	0,55
10 a 30	0,20	0,40	0,60
	<u>Terras Cultivadas</u>		
0 a 5	0,30	0,50	0,60
5 a 10	0,40	0,60	0,70
10 a 30	0,50	0,70	0,80

Fonte: Carvalho e Silva (2006).

Para converter a capacidade máxima de armazenamento de águas pluviais em uma barraginha para a variável espacial “número de células a montante” usou-se o maior índice de chuva da série climatológica de 50 anos para obter o máximo escoamento a montante que uma barraginha pode captar sem romper, considerando seu volume de armazenamento estimado. Para conversão do máximo escoamento em volume para número de células, são necessários os seguintes parâmetros e cálculos:

Capacidade de Armazenamento da Barraginha

Diâmetro médio obtido entre as 15 barraginhas amostradas = 13,48 m

Raio superficial (a) = 6,74 m

Altura (h) = 2 m

Área = 143,75 m²

Resolução espacial de 1 célula do MDE = 12 x 12 m = 144 m²

Volume da calota esférica: $V_{ce} = \frac{1}{6}\pi h(3a^2 + h^2) = \frac{1}{6}\pi \times 2(3 \times 6,74^2 + 2^2) = 146,90\text{m}^3$

Varição de volume de armazenamento de uma barraginha¹: $V = 100$ a 200 m^3 .

Chuvas Extremas (1960 – 2011)

A chuva extrema, sem considerar duração e período de retorno, foi de 152,9 mm (0,1529 m) no dia 23/01/1977. Considera-se que esta coluna d'água caiu instantaneamente, e que todas as células na área a montante drenaram a água ao mesmo tempo. Esta é uma condição fictícia. O intervalo entre as possíveis parciais da quantidade de chuva durante as 24 horas permitiria redução do *runoff* e aumento do esvaziamento da barraginha por infiltração, sendo que a velocidade de infiltração irá diminuir à medida que o solo for saturando. Estas condições não foram adotadas pela ausência de dados de chuvas intensas e pela complexidade do cálculo. Desta forma, o limiar de transbordamento da barraginha adotado é conservador, pois a quantidade drenada será menor por causa do maior tempo de infiltração da água no solo.

Para calcular o volume de água precipitada em cada célula pela chuva mais intensa, multiplicou-se a área de uma célula (144 m^2) pelo volume de chuva mais intensa: $144 \times 0,1529 = 22,02 \text{ m}^3$. Ou seja, em uma célula é possível chover em um período de 24h, $22,02 \text{ m}^3$.

Máxima Área de Contribuição para uma Barraginha

Para obter o máximo escoamento de água receitado pela barraginha, convertido em número de células a montante, dividiu-se o volume da barraginha pelo volume precipitado em uma célula: $146,90 \text{ m}^3 / 22,02 \text{ m}^3 \approx 7$ células de contribuição.

Assim, qualquer contribuição (*runoff*) para uma determinada célula (equivalente a área de uma barraginha) que ultrapasse o valor de 7 células, desclassifica esta célula para instalação de uma barraginha. Ou seja, células com valor de *runoff* > 7 não são aptas para instalação. Para obter áreas inaptas para construção de barraginhas usou-se o módulo "Reclassificação", resultando em um mapa binário em que o código (1) indica as áreas inaptas (>7

células) e o código (0) indica as áreas aptas para construção de barraginhas (≤ 7 células).

Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta os dados das barraginhas mensuradas para o cálculo de volume de captação médio de água, usando o modelo da calota esférica.

Tabela 2. Cálculo de volume da calota esférica das barraginhas.

Barraginha	Diâmetro 1 (m)	Diâmetro 2 (m)	Raio médio (m)	Área (m ²)
01	16	11	6,75	143,14
02	17	10	6,75	143,14
03	12,5	13	6,375	127,68
04	11,5	11,5	5,75	103,87
05	13	15	7,0	153,94
06	16,5	11	6,875	148,49
07	19	8	6,75	143,14
08	12	15	6,75	143,14
09	10	13	5,75	103,87
10	13	16	7,25	165,13
11	16,5	14	7,625	182,65
12	15	12	6,75	143,14
13	17	12	7,25	165,13
14	14	10	6,0	113,10
15	17	13	7,5	176,71
Raio médio			6,74	143,76
Diâmetro médio			13,48	
Volume médio (m ³)				146,9

Dentre as classes Pasto, Pasto degradado, Área cultivável e Matas (Tabela 3), a concentração de barraginhas localiza-se quase que integralmente na classe “Pasto Degradado”, pois a técnica tem o intuito de mitigar as ações erosivas (Figura 6).

Somando as áreas de cinquenta barraginhas no local, a área ocupada por todas será de aproximadamente 7.187,50 m², ou seja, 1,15% de toda a área estudada (627.000 m²).

Tabela 3. Uso e cobertura da terra na área de estudo.

Classe	Área (m ²)	Área (ha)	Representação na área (%)
Mata	66,474	6,6474	10,59
Agrícola (Área Cultivável)	67,138	6,7138	10,70
Pasto	291,119	29,1119	46,40
Pasto Degradado	202,699	20,2699	32,31
Área total	627,430	62,743	100

Os dados de declividade percentual da área estudada, na Figura 7, mostram que existe uma pequena porção de áreas acima de 30% de declividade. E as áreas com índices de declividade de 10 a 30%, são, em maioria, as áreas que apresentam uso e cobertura da terra classificado como Pasto Degradado.

Com os dados de uso e cobertura da terra, classes de declividade, volume de chuva mais intensa e os índices de escoamento superficial (Carvalho; Silva, 2006), os cálculos do dimensionamento e da capacidade de retenção de cada barraginha, obtém-se um mapa indicando áreas onde o *runoff* é igual ou superior a 7 células, ou seja, onde não é indicada a instalação das barraginhas (Figuras 8 e 10).

É possível observar também a magnitude do número de células que escoam para a célula receptora, caracterizando o volume de enxurradas em determinados pontos. Percebe-se que algumas barraginhas estão em lugares com *runoff* >129 células, que corresponde a um escoamento de mais de 2.840 m³, caracterizando um risco muito grande dessas barraginhas não suportarem altas cargas de escoamento.

Outra verificação é que a maioria das barraginhas está locada nas maiores concentrações de fluxo hídrico detectados pelo processamento do MDE, mostrando a capacidade empírica da metodologia tradicional para alocar barraginhas nas áreas de drenagem. E boa parte está localizada no início da

drenagem, em regiões onde começa a avolumar o escoamento superficial, o que é recomendado tecnicamente.

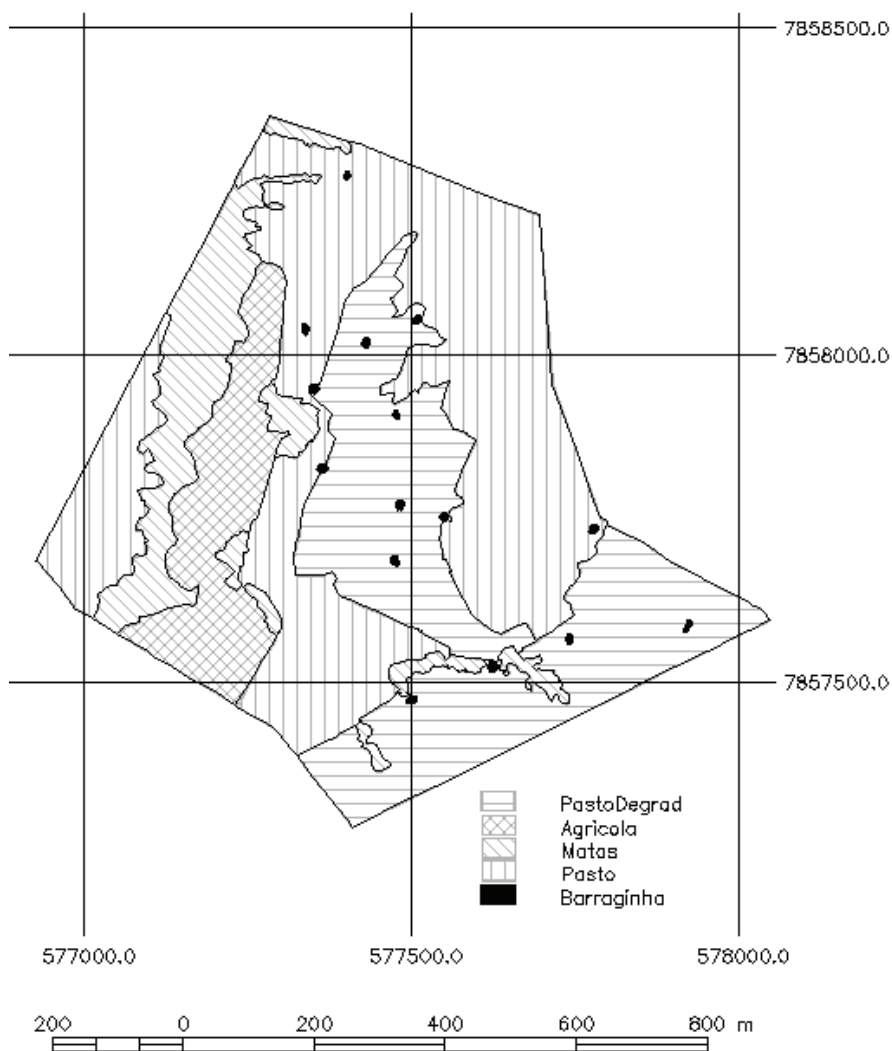


Figura 6. Barraginhas amostradas e uso e cobertura da terra da área estudada.

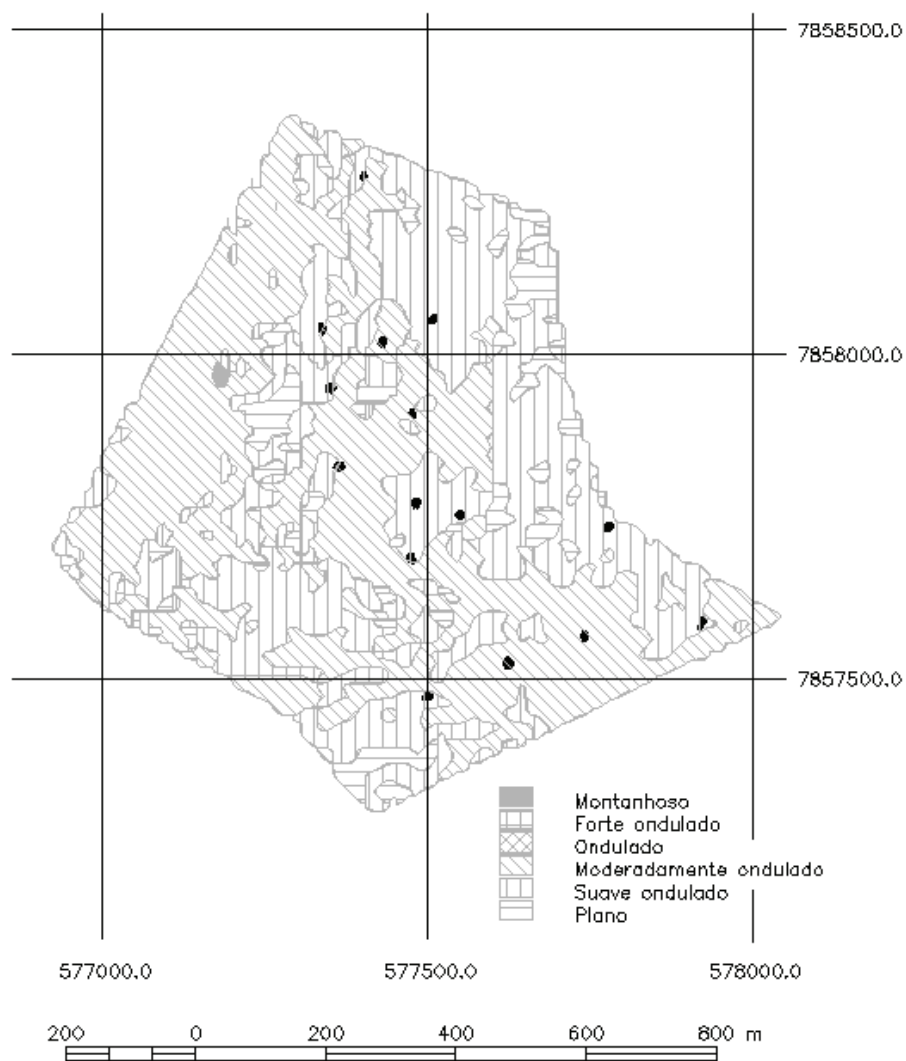


Figura 7. Porcentagem de declividade da área de estudo

Na comparação das Figuras 8 e 10 é perceptível que 6 barraginhas (40% da amostra) estão instaladas em locais onde existe alto risco de rompimento, considerando o retorno do maior índice pluviométrico dos últimos 50 anos. A Figura 9 exemplifica uma barraginha que não suportou a magnitude do escoamento, perdendo parte da parede de contenção.

Devido ao posicionamento estratégico da instalação de barraginhas, ocorre um processo de amortização e atenuação do escoamento superficial. E, pelo projeto, devem possuir vertedouro, ou seja, uma parte rebaixada que funciona como um “ladrão”, para que parte da água que tende a acumular na barraginha seja escoada para outras. Tal fato não foi considerado neste estágio de avaliação. De qualquer forma, a metodologia aplicada garante uma segurança maior do que a esperada.

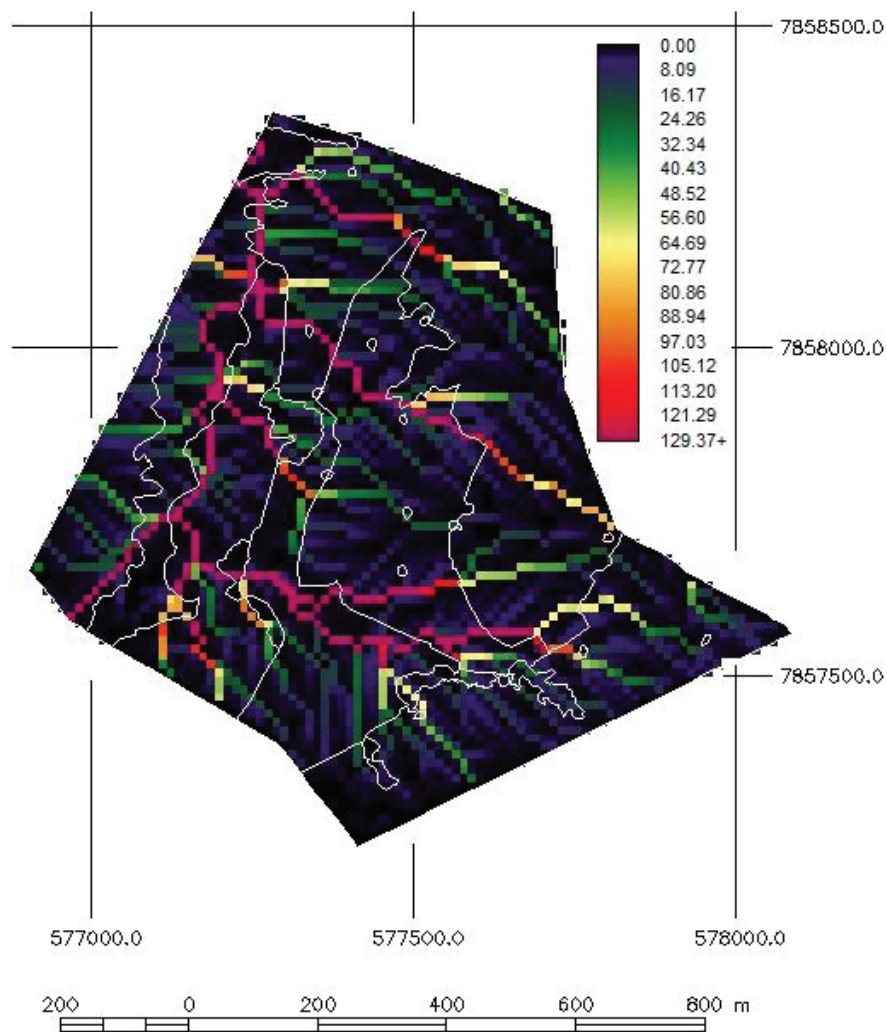


Figura 8. Escoamento superficial (*Runoff*) em gradientes de mm acumulados (legenda).



(a)

(b)

Figura 9. Barragem instalada em março de 2016 (a); Comparação estrutural da mesma barragem durante o período de chuvas, em novembro de 2016 (b).

Outra observação é que as variáveis tempo de infiltração no solo e duração da chuva não foram consideradas, apenas declividade e uso e cobertura da terra. Dependendo da duração do período da chuva extrema, a capacidade de armazenamento pode aumentar ou diminuir.

Por meio desta metodologia é possível propor locais para instalação de barragens, alocando-as no início dos pontos de acumulação, em direção aos maiores fluxos hídricos.

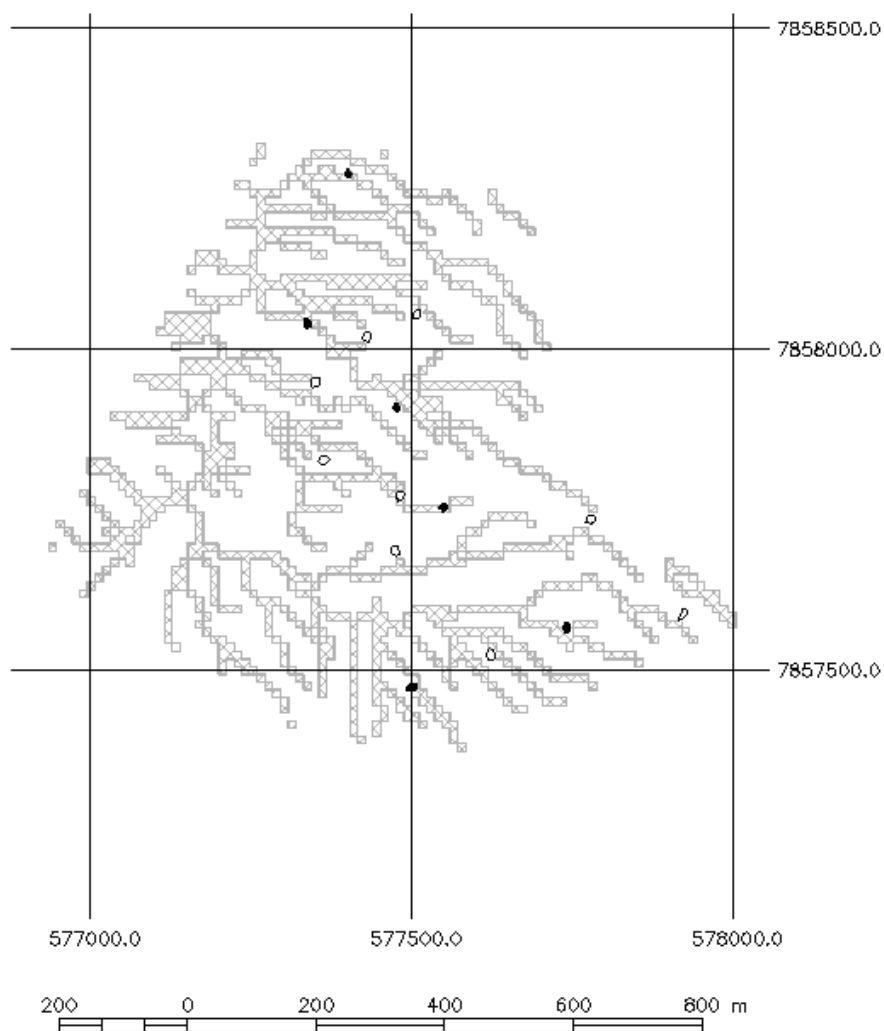


Figura 10. Barraginhas em áreas com *runoff* > 7 (células em preto).

Conclusões

A metodologia apresentada é teoricamente consistente e conservadora para analisar risco de rompimento, podendo auxiliar no planejamento para distribuição de barraginhas em larga escala. São vários os requisitos para melhorar a modelagem apresentada. Estudos recomendados de chuvas intensas, maior resolução de um modelo topográfico, calibração de parâmetros de infiltração de água no solo e conectividade entre barraginhas para desconto da captação estão entre eles.

Agradecimentos

Ao projeto 02.14.21.001.00.00 “Geotecnologias para aplicações de indicadores agrometeorológicos no Estado de Minas Gerais” e aos alunos do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária das Faculdades Santo Agostinho (FASA), que escolheram o tema “Barraginhas” em trabalhos de disciplina, o que derivou na oportunidade desta atividade de pesquisa para a monografia do autor

Referências

BARROS, L. C. de. **Captação de águas superficiais de chuvas em barraginhas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000.16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 2).

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.

CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. Spring: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. Escoamento superficial. In: CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2019.

COSTA, T. C. e C. da; GUIMARÃES, S. P. **Delineamento e parametrização ambiental de sub-bacias hidrográficas para o Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 40 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 84).

EASTMAN, J. R. **IDRISI kilimanjaro guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark University, 2003. 306 p. Manual version 14.00.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. 340 p.

HIPÓLITO, M. T. **Validação das alocações de barraginhas com uso de modelagem hidrológica**. 2016. 57 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Faculdades Santo Agostinho, Sete Lagoas, 2016.

IBGE. **Sete Lagoas**: folha SE-23-Z-C-II: carta topográfica de Sete Lagoas: escala 1:100.000. Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa16441>>. Acesso em: 11 jun. 2019.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extrating topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.

LIMA, L. S. de. **Implementação de um modelo hidrológico distribuído na plataforma de modelagem Dinamica EGO**. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. Do Autor, 2000. 220 p.

VIANA, J. H. M.; COSTA, A. M.; RIBEIRO, A.; SCHULER, A. F. **Tandem-X derived DEM applied to the modelling of a small rural catchment and the impact assessment of urbanization on its water quality**. 2015. Proposal ID: IDEM_HYDR0093. TanDEM-Science Phase Announcement of Opportunity and Proposal Call (INTERMEDIATE DEM-AO TanDEM-X

IDEM 12m). Disponível em: <https://tandemx-science.dlr.de/cgi-bin/wcm.pl?page=proposals_summary_IntermediateDEM;id=93>. Acesso em: 10 jul. 2019.

Literatura Recomendada

AMES, D. P. **Getting started with the MapWinGIS ActiveX Control**. Idaho: [s.n.], 2006.

ANDREAE, B. **Die Bodenfruchtbarkeit in den Tropen**. Berlin: Paul Parey, 1965. 124 p.

BARRAGINHAS para captação de águas superficiais de chuva. Dia de campo na TV. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 1 videocassete (5 min), VHS, son., color. Programa de TV.

BARROS, L. C. de. **Demonstração de conservação de solo e água na microbacia do Córrego Paiol-Sete Lagoas-Minas Gerais**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1998. 24 p. Relatório final.

BARROS, L. C. de. **Barragens de contenção de águas superficiais de chuvas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 11 p.

BIELENKI JÚNIOR, C.; BARBASSA, A. P. **Geoprocessamento e recursos hídricos**: aplicações práticas. São Carlos, SP: EDUFSCar, 2012. 257 p.

BRANDÃO, V. dos S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 120 p.

BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Brasília, DF, 20 set. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm>. Acesso em: 13 maio 2017.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. New York: Oxford University Press, 1998.

CARDOSO, C. O.; ULLMANN, M. N.; BERTOL, I. Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 131-140, 1998.

CHAVES, R. M. **Mapeamento da vegetação e uso do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Jequitibá**. 2005. 38 f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

COSTA, T. C. e C. da; UZEDA, M. C.; FIDALGO, E. C. C.; LUMBRERAS, J. F.; ZARONI, M. J.; NAIME, U. J.; GUIMARÃES, S. P. Vulnerabilidade ambiental em sub-bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda do solo (USLE), variáveis morfométricas e o uso/coertura da terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 2493-2500.

EARTH POINT. Disponível em: <<http://www.earthpoint.us/Shapes.aspx>>. Acesso em: 1 jun. 2019. Software online.

EVENARI, M.; SHANAN, L.; TADMOR, N. H. "Runoff farming" in the desert. I. Experimental layout. **Agronomy Journal**, v. 60, n. 1, p. 29-32, 1968.

FERNANDES FILHO, E. I. (Coord.). **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2010a. 1 CD-ROM.

FERNANDES FILHO, E. I. (Coord.). **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2010b. 49 p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Banco de solos de Minas Gerais**. Disponível em: <<http://www.feam.br/noticias/1/949-mapas-de-solo-do-estado-de-minas-gerais>>. Acesso em: 28 abr. 2019.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Diagnóstico ambiental e plano de ações para a Bacia do Ribeirão Jequitibá**. Belo Horizonte, 2013. Relatório técnico de diagnóstico local. Disponível em: <<http://cbhvelhas.org.br/images/subcomites/projetos/jequitiba/02%20REL%20JEQUITIBA%20DIAGNOSTICO.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal>>. Acesso em: 13 maio 2019.

MELLO, C. R.; FERREIRA, D. F.; SILVA, A. M.; LIMA, J. M. Análise de modelos matemáticos aplicados ao estudo de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 693-698, 2001.

OLIVEIRA, S. N. de; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; SILVA, T. M. da; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. de S.; GUIMARÃES, R. F.; SILVA, N. C. da. Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 1, p. 3-21, 2007.

RENNÓ, C. D. **Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica**: aplicação a bacias hidrográficas. 2003. 158 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/rep-/sid.inpe.br/jeferson/2003/06.10.13.53>>. Acesso em: 24 maio 2019.

SANTOS, L. L. Modelos hidráulicos-hidrológicos: conceitos e aplicações. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 3, p. 1-19, 2009.

SILVA, J. X. da; ZAIDAN, R. T. (Org.). **Geoprocessamento & análise ambiental**: aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 368 p.

SILVA JÚNIOR, J. F. da; SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Classificação numérica e modelo digital de elevação na caracterização espacial de atributos dos solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 415-424, 2012.

SOUSA JÚNIOR, J. G. de; DEMATTÊ, J. A. M. Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 449-456, 2008.

TARBOTON, D. G. A new method for the determination of flow directions and upsole áreas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, v. 33, n. 2, p. 309-319, 1997.

TIMBÓ, M. A. **Modelos digitais de elevação**. 2005. Notas de Aula da disciplina "Modelagem de Dados Espaciais", do Curso de Especialização em Geoprocessamento, UFMG.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 669 p.

Embrapa

Milho e Sorgo

BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO 190



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CGPE 15454

