

IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO SHALSTAB EM FERRAMENTAS PARA ARCGIS E QGIS

João Vicente Zancan Godoy¹; Anne Biehl²; Carla Moreira Melo³; Gean Paulo Michel⁴

ABSTRACT – Landslides causes several economic and humans damages, including in Brazil. The SHALSTAB model is widely applied to map landslides areas. This paper presents two new tools to apply SHALSTAB model in ArcGis (without vegetation influence) and Qgis (with vegetation influence). Both tools were compared using different methodologies to calculate specific contributing area and slope. Also the tools were compared with the original tools of SHALSTAB model in ArcView 3. Comparisons shown that the calibration is highly necessary due different methodologies adopted in each model, evidencing great differences in the Log q/T ranges utilizing different specific contribution area and slope calculation methods. The advantages of the new tools include the possibility to use spatially distributed soil data and to be open source.

Palavras-Chave – SHALSTAB, escorregamentos, área específica de contribuição.

1) Mestrando PPG Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – IPH - UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS – Brasil, joao.godoy@ufrgs.br

2) Acadêmica de Engenharia Hídrica - UFRGS, biehlanne@gmail.com

3) Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – IPH – UFRGS, carla.mm.melo@gmail.com

4) Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS, gean.michel@ufrgs.br

1 - INTRODUÇÃO

Conforme estudos, no mundo, os desastres hidrológicos são uma das formas de desastres naturais mais presentes no cotidiano da sociedade (Goerl e Kobiyama, 2013). Dentre eles, se destacam os movimentos de massa, que, segundo Kobiyama *et al.* (2015), são responsáveis por mais de 4.000 óbitos ocorridos durante os últimos cem anos, no Brasil. Além dos movimentos de massa causarem risco a vida, também são responsáveis por grandes volumes de solo erodido e posterior transporte nos cursos hídricos, degradando a qualidade da água (Kobiyama *et al.*, 2011).

Entre os movimentos de massa que apresentam maior perigo para a sociedade estão os escorregamentos translacionais rasos e os fluxos de detritos, este último é comumente desencadeado por escorregamentos translacionais rasos dependendo de condicionantes topográficas e de oferta de água (Iverson *et al.*, 1997). Portanto, maximizando o perigo apresentado por escorregamentos translacionais rasos.

Existem diversos modelos para a identificação de áreas suscetíveis a escorregamentos translacionais, dentre eles o *Shallow Landsliding Stability Model* (SHALSTAB), (Dietrich e Montgomery, 1998). Este é um modelo fisicamente embasado que utiliza o critério de ruptura de Mohr-Coulomb e adota a teoria de encosta infinita, aliado a um modelo hidrológico.

Originalmente o SHALSTAB está disponível no software ArcView 3 e utiliza de análises feitas a partir de um modelo digital de elevação e parâmetros físicos e mecânicos do solo constantes para toda a área de estudo, tais como massa específica, profundidade, coesão e ângulo de atrito. Desta forma o SHALSTAB em sua forma original apresenta algumas limitações: está disponível em um software pouco utilizado, não inclui heterogeneidades dos parâmetros do solo e não considera o efeito da vegetação na estabilidade de encostas.

Com o intuito de ultrapassar as limitações apresentadas da versão original do SHALSTAB, o presente trabalho apresenta o modelo implementado em caixas de ferramentas para outros dois *softwares*: uma para ArcGis 10.3, sem considerar a influência da vegetação, e outra para Qgis 3.0, considerando a influencia da vegetação. Ambas apresentam sua estrutura editável e os dados de entrada são espacialmente discretizados, podendo representar a heterogeneidade física e mecânica do solo.

2 - APLICAÇÃO

2.1 - Aplicação Geral

2.1.1 - Estrutura do modelo

Ambas as ferramentas são adaptações do SHALSTAB, uma delas dispõe do efeito da vegetação sob a estabilidade de encostas. As ferramentas foram incorporadas em plataformas de sistema de informação geográfica (SIG) através do modo *Builder* dos *softwares* ArcGis e Qgis. As

ferramentas foram implementadas a partir da metodologia proposta por Michel (2013) para a identificação de áreas suscetíveis a escorregamentos translacionais rasos através do modelo SHALSTAB. Ambas as ferramentas estarão disponíveis para download no site do Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais (GPDEN) em sua página na internet (www.ufrgs.br/gpden).

A metodologia proposta por Michel (2013) é uma sequência de cálculos sobre arquivos em formato raster, o que permite a entrada de dados discretizados. Caso, ao utilizar o modelo, não haja informações espacialmente discretizadas dos dados de entrada, é disponibilizada a ferramenta de criação de raster com valor constante. Ambas as versões são abertas e editáveis para quem interessar.

2.1.2 - Dados de entrada

Os dados de entrada das ferramentas são: declividade do terreno [graus], área de contribuição específica ou área de contribuição dividida pelo comprimento de célula [m], massa específica do solo [kg/m^3], profundidade do solo [m], coesão do solo [Pa], coesão das raízes [Pa], sobrecarga gerada pelo peso das árvores [Pa] e ângulo de atrito interno do solo [graus].

Os dados de terreno, tal como declividade e área de contribuição específica devem ser calculados anteriormente a execução do programa. O presente trabalho indica que seja utilizado o algoritmo de infinitas direções de fluxo (D_{inf} daqui em diante) (Tarboton, 1998) para o cálculo de área de contribuição específica. Todavia, Dietrich e Montgomery (1998) utilizaram do algoritmo FD8 para o cálculo de área de contribuição específica. O funcionamento do algoritmo FD8 é explicado em Dietrich e Montgomery (1998). Ambas as metodologias de cálculo da área de contribuição específica apresentam bons resultados para a área da encosta, embora o algoritmo D_{inf} tenda a minimizar as áreas instáveis e diminuir a dispersão do fluxo da água na encosta (Erskine *et al.*, 2006; Huang *et al.*, 2007). A metodologia proposta por Tarboton (1998) é aqui indicada para a aplicação do modelo, devido à disponibilidade. A ferramenta de cálculo da área de contribuição através do algoritmo D_{inf} é de livre acesso e está disponível no site do grupo de pesquisa de hidrologia da universidade de Utah.

2.2 - SHALSTAB para ArcGis sem influência da vegetação

A ferramenta proposta para o ArcGis 10.3 não leva em consideração o efeito da vegetação. Para isto, as equações inseridas nas calculadoras de raster foram simplificadas ao considerar os parâmetros da vegetação igual a zero. Todavia, a caixa de ferramentas disponibilizada está editável para que os usuários possam fazer as alterações necessárias para cada aplicação do modelo.

2.2.1 - Aplicando o SHALSTAB no ArcGis

Para aplicar o SHALSTAB no *software* ArcGis é indicado primeiramente criar as seguintes pastas no disco C:/ de seu computador:

C:\GPDEN_Shalstab

C:\GPDEN_Shalstab\Parametros de Entrada

C:\GPDEN_Shalstab\Parametros de Saida

Para maior facilidade na aplicação do modelo é interessante colocar todos os rasters de parâmetros de entrada na pasta “C:\GPDEN_Shalstab\Parametros de Entrada”. A partir de um modelo digital de terreno com resolução adequada deverá então se criar um raster da declividade do terreno em graus e um raster da área de contribuição específica utilizando o algoritmo D_{inf} disponível na caixa de ferramentas do TauDem, ou algum outro algoritmo que apresente boa representação do fluxo sub-superficial em uma encosta.

Os parâmetros mecânicos e físicos do solo podem ser obtidos através de mapas específicos. Para a utilização destes na predição de áreas suscetíveis a escorregamentos translacionais rasos na presente versão do SHALSTAB cada parâmetro deverá estar no formato raster e alocado na pasta “Parametros de Entrada”. Caso não se tenha a informação desses parâmetros discretizados pode-se criar um raster de valor constante para cada parâmetro, devendo sempre ter a análise se os valores utilizados são representativos para a bacia, uma vez que determinadas áreas podem ter grandes variações espaciais dos parâmetros mecânicos e físicos do solo.

Os arquivos na pasta “Parametros de Saida” devem ser limpos anteriormente a cada aplicação do modelo. Nela são criados 4 arquivos: mapas de áreas incondicionalmente instáveis, de áreas incondicionalmente estáveis, da recarga dividido pela transmissividade (q/T) e o produto final que é o mapa de estabilidade de encostas. Como o ArcGis não substitui arquivos com mesmo nome a limpeza da pasta se faz necessária a cada utilização.

2.3 - SHALSTAB para Qgis com influência da vegetação

A versão criada para o QGIS 3.0 considera o efeito da vegetação, como proposto por Michel (2013). Os parâmetros de entrada para as equações inseridas nas calculadoras de raster, contam com valores de sobrecarga da vegetação e coesão das raízes. Entretanto, é possível desconsiderar esse efeito aplicando rasters constantes de valor zero. A caixa de ferramentas disponibilizada é editável, para que os usuários possam fazer as alterações necessárias para melhor atender suas necessidades específicas.

2.3.1 - Aplicando o SHALSTAB no QGIS

Para o melhor funcionamento do SHALSTAB no *software* QGIS é indicado manter todos os arquivos em uma única pasta no disco local do computador, evitando possíveis erros de localização. Recomenda-se a criação de uma pasta onde serão armazenados os parâmetros de entrada, em formato TIF, e as saídas.

Os rasters de declividade do terreno, em graus, e de área de contribuição específica, em metros, devem ser criados, se não existirem, a partir de um modelo digital de terreno com apropriada resolução. Para a criação do segundo, recomenda-se a utilização do algoritmo D_{inf} , disponível na caixa de ferramentas do TauDem ou algum outro algoritmo que apresente boa representação do fluxo subsuperficial em uma encosta.

Os parâmetros mecânicos e físicos do solo podem ser obtidos através de mapas específicos, ou ainda, moldados a partir de uma ferramenta de criação de raster de valor constante. Esse valor constante deve ser representativo para a bacia analisada, para isso é necessário um estudo da área em questão.

Todos os dados devem estar em formato raster, com a mesma projeção cartográfica. No momento da seleção dos parâmetros, para iniciar o processamento do modelo, é possível escolher os arquivos que serão gerados. O recomendável é manter somente os 4 arquivos principais: mapa de áreas incondicionalmente instáveis, mapa de áreas incondicionalmente estáveis, mapa da recarga dividido pela transmissividade (q/T) e o produto final, o mapa de estabilidade de encostas. Para salvar esses arquivos é necessário escolher uma pasta de destino, a pasta criada anteriormente no disco local, e um nome para o arquivo.

3 - ANÁLISE DE DESEMPENHO

3.1 - Área de estudo

As ferramentas foram testadas na bacia Sanga Groß (1km²) que está embutida na bacia do arroio Jaguar (25km²), na encosta gaúcha da Serra Geral, município de São Vendelino/RS (Michel, 2015). A presente área de estudo possui área propícia a escorregamentos e histórico de escorregamentos.

Dados topográficos da região foram obtidos por CPRM (2014). Os dados pedológicos utilizados foram obtidos a partir de Michel (2015) e Melo (2018).

3.2 - Metodologia para análise de desempenho

Para o teste de desempenho das ferramentas foram determinados dois índices. O primeiro é o índice de erro absoluto:

$$E_{abs} = \frac{|ST_2 - ST_1|}{|ST_1|} \quad (1)$$

Sendo E_{abs} o erro absoluto; ST_1 o índice de estabilidade de encosta de referência e ST_2 o índice de estabilidade de encosta a ser comparado.

O segundo índice determinado para a análise de desempenho é o índice de erro relativo, onde o valor negativo determina células em que é superestimada a estabilidade da encosta e o valor

positivo define células em que a mesma é subestimada. O índice de erro relativo é calculado da seguinte maneira:

$$E_{rel} = \frac{ST_2 - ST_1}{|ST_1|} \quad (2)$$

Sendo E_{rel} o erro relativo; ST_1 o índice de estabilidade de encosta de referência e ST_2 o índice de estabilidade de encosta a ser comparado.

Ambos os índices foram aplicados para sete entre quinze combinações possíveis (Tabela 1). Na Tabela 1 está marcado em "X" as combinações possíveis para a análise e está hachurado em amarelo as combinações analisadas.

Tabela 1 – Casos analisados para análise de desempenho das ferramentas.

	ArcGis Dinf	Qgis Dinf	ArcView Dinf	ArcGis FD8	Qgis FD8	ArcView FD8
ArcGis Dinf	-	X	X	X	X	X
Qgis Dinf	-	-	X	X	X	X
ArcView Dinf	-	-	-	X	X	X
ArcGis FD8	-	-	-	-	X	X
Qgis Dinf FD8	-	-	-	-	-	X
ArcView Dinf FD8	-	-	-	-	-	-

3.3 - Análise de desempenho

3.3.1 - ArcGis Dinf X Qgis Dinf, ArcView Dinf X Qgis Dinf, ArcGis FD8 X Qgis FD8 e ArcView FD8 X Qgis FD8

Três comparações apresentaram resultados muito semelhantes e por isso estão sendo apresentadas no mesmo item. O erro absoluto nas presentes comparações demonstrou que entre 95% e 96% das células apresentaram Erro absoluto menor ou igual a 1%. A diferença não atinge patamares gritantes, entretanto é necessário ser verificada a origem da diferença, uma vez que os dados de entradas utilizados em ambas as ferramentas foram idênticos. Ao analisar o erro relativo observou-se que há erros maiores nas bordas das áreas incondicionalmente instáveis e que erros entre -1 e 1% ocorrem ao longo de toda área condicionalmente estável com distribuição aparentemente aleatória, apresentando poucos padrões dos rasters de declividade e área específica de contribuição.

3.3.2 - ArcGis Dinf X ArcGis FD8

Ao aplicar o índice de erro relativo, observou-se que quando se utiliza o algoritmo Dinf, as áreas instáveis são subestimadas, o que corrobora com os resultados apresentados por Huang *et al.* (2007). Na análise do erro absoluto entre os dois resultados, 44,8% das células obtiveram diferença menor que 0,2%, estas células são em sua maioria incondicionalmente estáveis e instáveis, as quais não dependem do cálculo da área específica de contribuição. As células com erro absoluto entre 0,2 e 5% somaram 34,8% da área de estudo. Erros absolutos entre 5 e 10% somaram 18,6% das células e erros maiores que 10% somaram 1,9% das células.

3.3.3 - ArcView FD8 X ArcGis FD8 e ArcView Dinf X ArcGis Dinf

Para ambos os casos foram encontrados resultados similares. No primeiro cenário obteve-se que todas as áreas condicionalmente instáveis apresentaram de até 5%. Este erro deve ser considerado alto de modo a não poder-se utilizar das faixas de valores de $\text{Log } q/T$ de trabalhos prévios de uma mesma região para a calibração do modelo. Utilizando como exemplo algum local onde áreas instáveis estejam abaixo de $\text{Log } q/T = -3$, um erro de 5% pode levar esses valores a -2,85 ou a -3,15. Desta forma, modificando-se os limiares para a deflagração de escorregamentos.

Ao perceber-se a magnitude do erro foi então constatado que o mapa de declividades gerado pela ferramenta do SHALSTAB implementada no ArcView é diferente do mapa de declividades gerado no ArcGis utilizando a ferramenta Declividade da Caixa de Ferramentas *Spatial Analyst Tools*. Ao utilizar o mesmo mapa de declividades gerado pela ferramenta implementada no ArcView, os mapas de estabilidade de encostas gerados apresentaram em 99,8% das células erros menores que 0,2% e em 0,2% das células erros maiores que 0,2%. Desta forma, apresentando um bom resultado. A análise feita através do erro relativo mostrou que não houve superestimativas da estabilidade de encosta dentro da área de estudo.

4 - CONCLUSÕES

As ferramentas apresentadas possuem bom desempenho para a utilização do modelo SHALSTAB. Além de proporcionar a utilização do modelo em softwares mais difundidos, as ferramentas permitem a utilização de dados espacializados no modelo e sem restrição de número de pixels a serem calculados. Além disto, a implementação do modelo para Qgis dispõe do efeito da vegetação sob a estabilidade de encostas.

Os resultados apresentados na análise de desempenho validam as ferramentas. Eles mostraram que as ferramentas têm boa similaridade quando utilizadas com a devida cautela. Esta cautela se destina aos dados de entrada, principalmente os rasters de área de contribuição específica e declividade. Na comparação entre a versão implementada no ArcGis foi encontrado que com a utilização do Dinf há subestimativa da instabilidade das encostas comparando com a utilização do FD8, corroborando com Huang *et al.* (2007).

Tanto algumas diferenças as quais as origens não foram determinadas, quanto as diferenças quanto o método de cálculo da área de contribuição específica e declividade do terreno, fazem necessária a calibração do modelo a cada aplicação. A utilização de valores de $\text{Log } q/T$ da literatura é arriscada, pois cada metodologia para aplicação pode dar diferentes resultados, alterando o mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos.

Ambas as ferramentas são editáveis e disponíveis gratuitamente. Desta maneira é possível implementações de novas metodologias de aplicação ou qualquer alteração no código.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CPRM. *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações 1: 25.000: nota técnica explicativa* (2014). São Paulo: IPT–Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

DIETRICH, W.E.; MONTGOMERY, D.R. (1998). “*SHALSTAB: A digital terrain model for mapping shallow landslide potential*”. Disponível em: <<http://calm.geo.berkeley.edu/geomorph/shalstab/index.htm>>. Acesso em: 08 maio 2018.

ERSKINE, R.H.; GREEN, T.R.; RAMIRES, J.A.; MACDONALD, L.H. (2006). “*Comparison of grid-based algorithms for computing upslope contributing area*”. *Water Resources Research*, Vol. 42, doi:10.1029/2005WR004648.

GOERL, R.F.; KOBAYAMA, M. (2013). “*Redução dos desastres naturais: desafio dos geógrafos*”. *Ambiência*, v. 9, p. 145-172.

Huang, J.C.; Kao, S.J.; Hsu, M.L.; Liu, Y.A. (2007). “*Influence of Specific Contributing Area algorithms on slope failure prediction in landslide modeling*”. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v.7 n.6, p. 781-792.

IVERSON, R.M.; REID, M.E.; LAHUSEN, R.G. (1997). “*Debris-flow mobilization from landslides*”. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v.25, n. 1, p. 85-138.

KOBAYAMA, M. ; MICHEL, G.P. ; ENGSTER, E.C. ; PAIXAO, M.A. (2015). “*Historical Analyses of Debris Flow Disaster Occurrences and of their Scientific Investigation in Brazil*”. *Labor & Engenharia*, v. 9, p. 100-113.

KOBAYAMA, M.; MOTA, A.A. ; GRISON, F.; (2011). “*Landslide influence on turbidity and total solids in Cubatão do Norte River, Santa Catarina, Brazil*”. *Natural Hazards*, v. 59, p. 1077-1086.

MICHEL, G.P. (2013). *Modelagem de estabilidade de encostas com consideração do efeito de vegetação*. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC, 152p.

MICHEL, G.P. (2015). *Estimativa da profundidade do solo e seu efeito na modelagem de escorregamentos*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre/RS, 164p.

MELO, C.M. (2018). *Efeito da caracterização das unidades geotécnicas no mapeamento das áreas susceptíveis a escorregamentos com modelo shalstab*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre/RS, 160p.