

# Parametrização geotécnica para modelagem de suscetibilidade a escorregamentos translacionais em Fradinhos, Vitória-ES

Geotechnical parametrization for shallow landslide modelling in Fradinhos, Vitória, Espírito Santo - Brazil

*Julia Frederica Effgen*<sup>1</sup> 

*Pablo de Azevedo Rocha*<sup>2</sup> 

*Patrício José Moreira Pires*<sup>3</sup> 

*Eberval Marchioro*<sup>4</sup> 

## Palavras-chave:

Solos  
SHALSTAB  
Análise textural  
Permeabilidade  
Cisalhamento direto

## Resumo

Vitória tem tendência a desenvolver processos de escorregamentos translacionais, dadas as características climáticas e de relevo que possui. O modelo SHALSTAB foi utilizado, considerando a coesão dos solos, para avaliar a suscetibilidade a escorregamentos translacionais na bacia de drenagem de Fradinhos, localizada no Maciço Central de Vitória. A parametrização foi feita através de coleta de amostras de solo em três pontos distintos da bacia e realização de ensaios de cisalhamento direto, permeabilidade de carga variável e granulometria. Os solos amostrados têm características de Argissolos desenvolvidos a partir de colúvio, Latossolos e Cambissolos, com associação a declividade. Cerca de 95% da bacia foi modelada como de baixa instabilidade ( $\log Q/T > -2,2$ ), sendo áreas de caráter retilíneo e divergente, com declividade variável. Existe forte associação das áreas instáveis às drenagens, concavidades e zonas de alta declividade. A modelagem com resultados em chuva crítica, que considera a transmissividade hidráulica em sua formulação, tem as zonas de maior instabilidade (com potencial de iniciação de escorregamentos com menos de 2,5mm de chuva) associadas às convergências de drenagem e altas declividades. Ao redor do ponto de solo câmbico, com menor condutividade hidráulica e espessura do solo, a tendência a iniciação de escorregamentos com menor índice pluviométrico é maior. Ao redor do argissosolo formado a partir de colúvio, a chuva crítica para iniciação de escorregamento é maior, com exceção de zonas de alta convergência de fluxos e declividade. O modelo SHASTAB foi uma ferramenta eficiente para a geração de cenários críticos de suscetibilidade a escorregamentos rasos na bacia de Fradinhos com maior propensão nas encostas côncavas e mais inclinadas.

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Geografia (UFES). Laboratório de Monitoramento e Modelagem de Sistemas Ambientais (LAMOSA). [juliaeffgen@gmail.com](mailto:juliaeffgen@gmail.com)

<sup>2</sup>Laboratório de Geografia Física – Departamento de Geografia (UFES). [pab\\_zulu@yahoo.com](mailto:pab_zulu@yahoo.com)

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (UFES). [patricio.pires@gmail.com](mailto:patricio.pires@gmail.com)

<sup>4</sup>Programa de Pós-Graduação em Geografia (UFES). Laboratório de Monitoramento e Modelagem de Sistemas Ambientais (LAMOSA). [ebervalm@gmail.com](mailto:ebervalm@gmail.com)

**Keywords:**

Soils  
SHALSTAB  
Textural tests  
Permeability  
Shear test

**Abstract**

Vitória is prone to shallow landslides processes given its climatic and relief characteristics. The SHALSTAB model was used considering the soil's cohesion to assess the susceptibility to shallow landsliding at the Fradinhos watershed, located in the Central Massif of Vitória. The parametrization was done with soil samples collected on three separate places in the watershed and submitted to shearing, permeability and texture tests. The soil samples were close to Oxisols (either developed from colluvium or not) and Inceptisols, with association with slope angle. Almost 95% of the watershed was modelled in a lower instability class ( $\log Q/T > 2.2$ ), with flow lines ranging from straight to divergent and variable slope angle. There is a strong association of the unstable areas to the drainage lines, hollows and steeper slopes. The modelling with results in critical rainfall, which considers the saturated transmissivity in its formulation, has the most unstable zones (with shallow landslide initiation potential with rainfalls of 2.5mm or less) related to drainage lines and steeper slopes. Closer to the Inceptisol soil sample, where we found the smallest values of saturated conductivity and soil thickness, the proneness to landslide initiation with lesser rainfalls is high. Close to the Oxisol developed from colluvium soil sample point, the critical rainfall for landslide initiation is elevated, with exception to areas with higher flow convergence and steeper slopes. The SHALSTAB model was an efficient tool to generate critical scenarios for shallow landslide susceptibility at the Fradinhos watershed, with greater proneness on hollows and steeper slopes.

**INTRODUÇÃO**

Modelagem é uma das mais importantes ferramentas de análise da pesquisa em geografia física, sendo utilizados para simulações e análises de processos e formas do relevo atuais, futuras ou pretéritas. Os modelos são entendidos como simplificações da realidade observada, com redução da complexidade real para a síntese de relações julgadas mais importantes para os processos estudados (FERNANDES, 2016). A modelagem preditiva de movimentos de massa, especificamente, é utilizada para o mapeamento de áreas com propensão a ocorrência de tais processos. Os mapeamentos (sejam de suscetibilidade, risco, inventário, entre outros tipos) são de suma importância para auxiliar na tomada de decisão de gestores públicos e planejamentos de uso e cobertura da terra.

Os movimentos de massa são processos de grande magnitude que atuam na modelagem do relevo terrestre. Os escorregamentos translacionais são os de maior frequência dentre as tipologias de movimentos de massa (a saber, escorregamentos translacionais e rotacionais, quedas de blocos, rastejos e corridas). As superfícies de ruptura são tipicamente planares e acompanham discontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas dos solos, como contatos solo-solo e

solo-rocha, com ocorrência associada a períodos de precipitação intensa (FERNANDES; AMARAL, 2011; GUIDICINI; NIEBLE, 1983).

Vitória tem sua área territorial (cerca de 96km<sup>2</sup>) dividida entre ilhas e continente, com maciços rochosos, manguezais, planícies flúvio-marinhas e costeiras, apresentando grande amplitude topográfica e clima tropical-úmido. Os maciços rochosos têm altas declividades e passaram a ser ocupados com mais intensidade a partir da década de 1920. Com o desmatamento de florestas, alterações de geometrias de encostas, deposição de lixo e água de forma desordenada, tais maciços rochosos se tornaram palcos de diversos processos erosivos e de movimentos de massa (IBGE, 2019; MACHADO et al., 2018; VITÓRIA, 2013).

Bortoloti et al. (2015) apontam que os processos mais comuns de movimentos de massa em Vitória são os escorregamentos translacionais, com predominância em solos pouco desenvolvidos e encostas muito inclinadas. A indução dos processos de escorregamentos é dada, principalmente, pelas atividades de desestabilização de blocos rochosos e cortes em depósitos de tálus e coluvionares para ocupação urbana.

O modelo SHALSTAB – Shallow Landslide Stability – avalia a influência topográfica, por meio de declividades e convergências de fluxos,

para a ocorrência de escorregamentos rasos, a partir da combinação de um modelo de estabilidade de encostas baseado na Equação do Talude Infinito e um modelo steady-state hidrológico (MONTGOMERY; DIETRICH, 1994; O'LOUGHLIN, 1986).

O SHALSTAB é um dos modelos mais utilizados no mundo (FERNANDES, 2016), tendo obtido sucesso em diversos países (ARISTIZÁBAL et al., 2015; DIETRICH et al., 2001; GUIMARÃES et al., 2009; PRADHAN; KIM, 2015).

No Brasil, o SHALSTAB já foi aplicado em diversos estudos distintos de avaliação de suscetibilidades em bacias hidrográficas (FERNANDES et al., 2001, 2004; GUIMARÃES et al., 2003; LISTO; VIEIRA, 2012; MARTINS et al., 2017; ZAIDAN; FERNANDES, 2009, 2015).

Silva et al. (2013) utilizaram o SHALSTAB na ilha de Vitória, porém com dados geotécnicos das bacias hidrográficas Quitite e Papagaio, localizadas no Maciço da Tijuca (Rio de Janeiro/RJ) (GUIMARÃES et al., 2003). As áreas de maior instabilidade estão associadas ao Maciço Central, com zonas de maior estabilidade em áreas planas e divergentes.

Assim, o objetivo deste estudo foi calcular as suscetibilidades a escorregamentos translacionais na bacia de drenagem de Fradinhos, parte do Maciço Central de Vitória, a partir do modelo SHALSTAB, em sua formulação completa (considerando coesão dos solos), com parametrização local.

## ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido na bacia de drenagem de Fradinhos, que está situada na capital do estado do Espírito Santo, Vitória, e tem 2,27km<sup>2</sup>. Cerca de 20 mil habitantes residem na bacia, o que corresponde a pouco mais de 5% da população da cidade de Vitória (estimada em 360 mil habitantes) (IBGE, 2019).

O clima de Vitória é quente e úmido, com temperatura média anual de 25,3°C e precipitação média anual de 1303,50mm. Os meses mais chuvosos são os de novembro, dezembro e janeiro (200mm, 183,9mm e 131,4mm, respectivamente), enquanto os mais secos são os de junho a agosto (67,2mm, 72mm e 50mm,

respectivamente) (EFFGEN, 2018).

A bacia de Fradinhos se localiza na face sudeste do Maciço Central de Vitória, com elevação variando entre 2 e 306m (Figura 1).

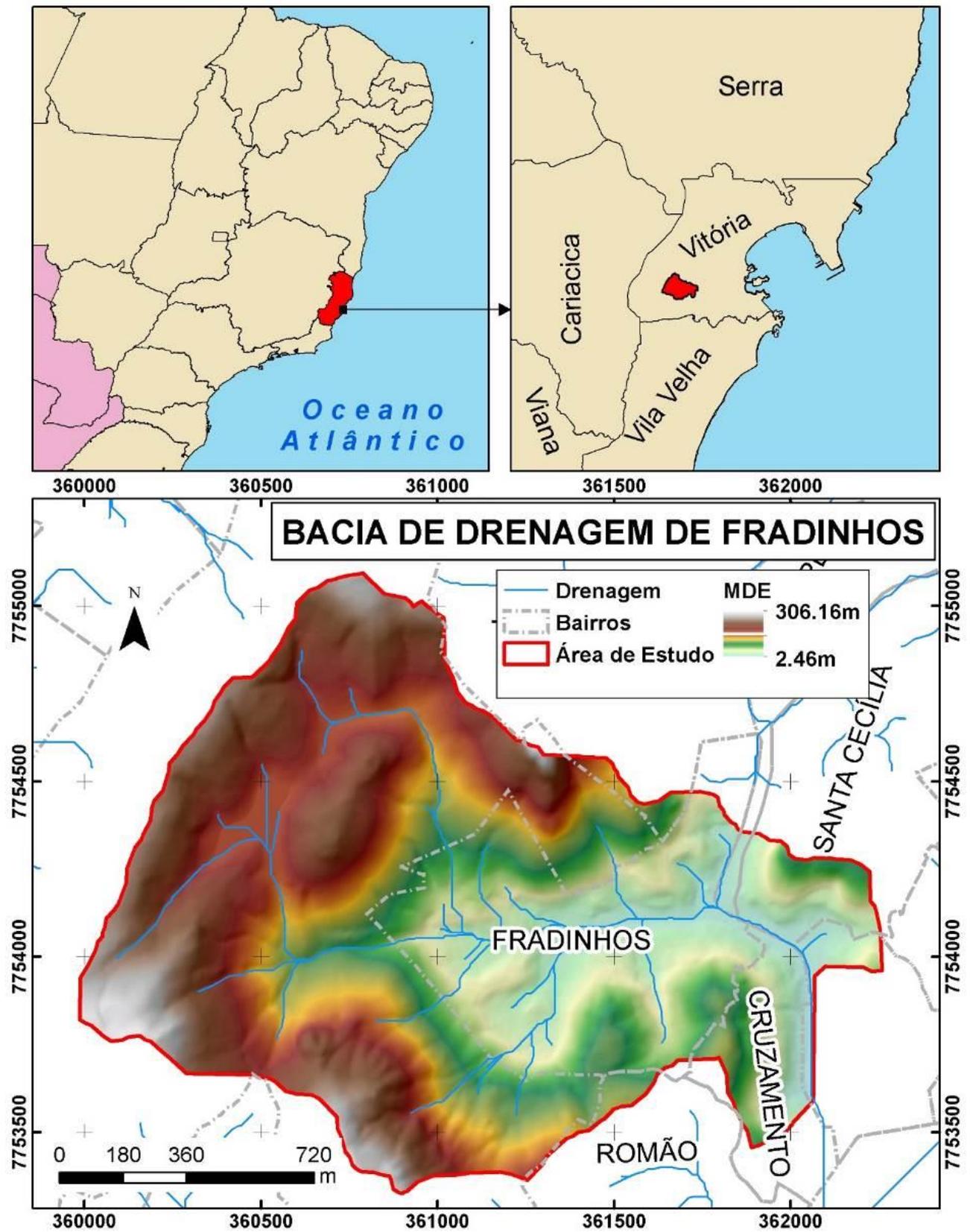
De acordo com o mapeamento geológico de Vitória, realizado em escala 1:100.000, a unidade geológica correspondente a Maciço Central é chamada Maciço Vitória. Esta faz parte da Suíte Intrusiva Espírito Santo, com idade entre 542-488 milhões de anos, e tem como característica a presença de granitos de granulação fina a média (RADAMBRASIL, 1983; SGB, 2019).

A unidade geomorfológica local, mapeada em escala 1:250.000, é de Colinas e Maciços Costeiros. Esta unidade é caracterizada por ter topografia rebaixada em relação às outras unidades do Domínio Morfoestrutural da Faixa de Dobramentos Remobilizados, de estrutura fraturada e dobrada. As Colinas e Maciços têm cobertura coluvionar nos topos, com linhas de pedras de caráter anguloso e/ou subarredondado entre o colúvio e o manto de alteração. As encostas com colúvio de baixa espessura apresentam matações e blocos rochosos (COELHO et al., 2012; RADAMBRASIL, 1983).

A carta geotécnica de Vitória (em escala 1:16.000) enquadra na área de estudo as unidades Aterro, Afloramento Rochoso, Solo Residual e Depósito de Tálus, como exposto na Figura 2.

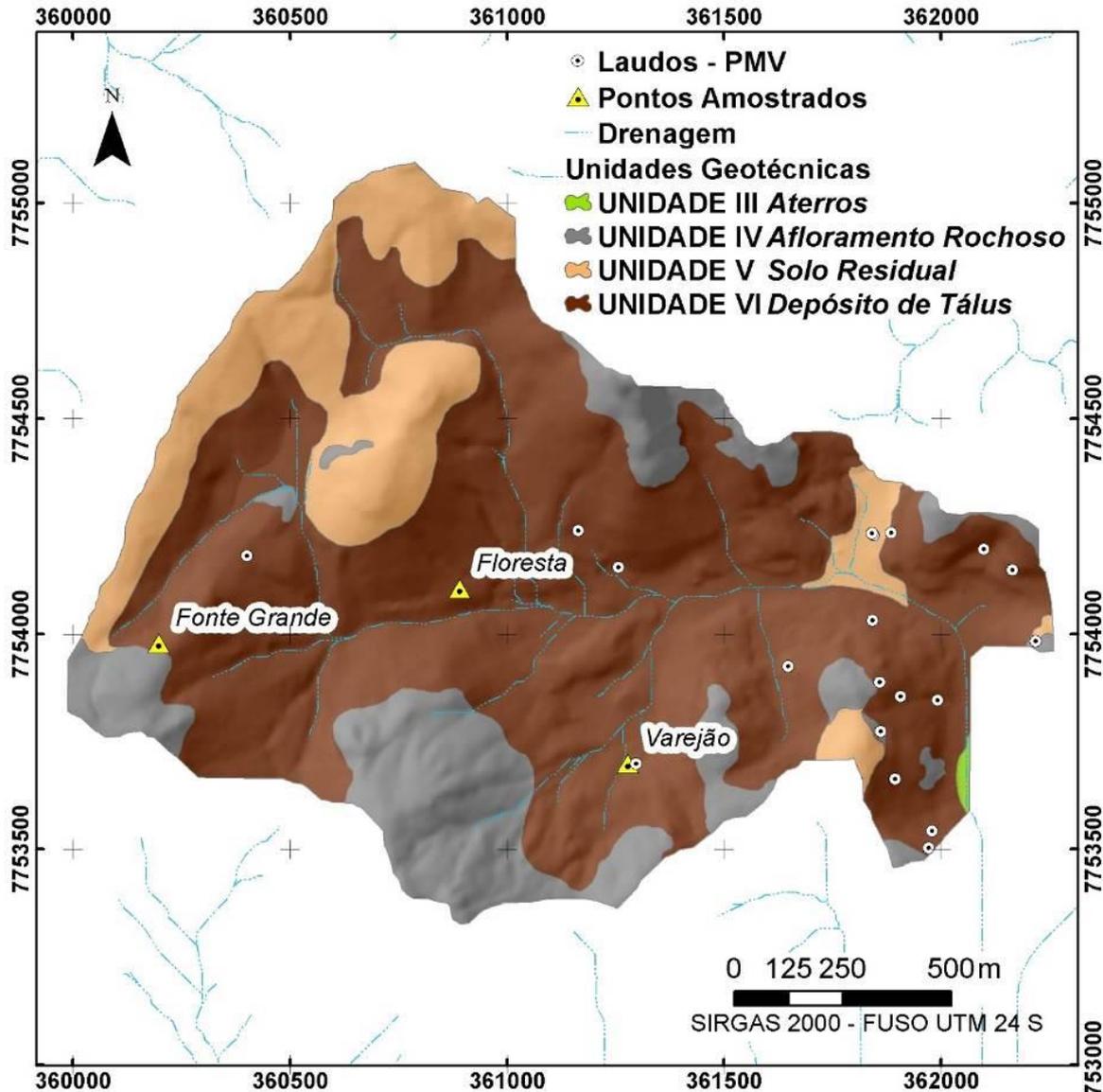
A unidade Aterro é condicionada ao exutório da bacia, onde existia um manguezal. Essa unidade é propensa a alagamentos e recalques estruturais. A unidade dos Afloramentos Rochosos é associada a solos de pouca espessura e vertentes com mais de 35% de declividade. A unidade é sujeita a processos de quedas e rolamentos de blocos, com indicação de ocupação apenas nas áreas com declividades abaixo de 20%. A unidade Solo Residual apresenta solos com espessuras de até 10m, ocorrendo em áreas de declividade entre 20-35%. Com suscetibilidade a processos de escorregamentos rasos e erosão, a ocupação é liberada para áreas com declividade abaixo de 30%. A unidade Depósito de Tálus é composta por materiais transportados, tendo, portanto, solos com textura heterogênea, com porosidade alta e permeabilidade de média a alta. As áreas com declividades entre 5-45% tem tendência a processos erosivos e de movimentos de massa (VITÓRIA, 2014).

Figura 1 – Localização e elevação da Bacia de Drenagem de Fradinhos.



Fonte: IBGE (2015b); IJSN (2019). Organizada pelos autores.

Figura 2 – Unidades Geotécnicas da Bacia de Drenagem de Fradinhos.



Fonte: Vitória (2014). Organizada pelos autores.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Modelo SHALSTAB

A forma de controle topográfico do modelo SHALSTAB, mais comumente utilizada, que considera solos não coesivos, é a seguinte (MONTGOMERY; DIETRICH, 1994):

$$\log\left(\frac{Q}{T}\right) = \frac{\text{sen } \theta}{a/b} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \varphi}\right) \quad (1)$$

Onde  $Q/T$  é uma razão hidrológica, dada em função da taxa constante de recarga ( $Q$ ) e da transmissividade do solo ( $T$ ), declividade do terreno ( $\theta$ ), área drenada a montante ( $a$ ), dimensão do contorno inferior da célula ( $b$ ), densidade aparente do solo úmido ( $\rho_s$ ), densidade

da água ( $\rho_w$ ) e ângulo de atrito interno do solo ( $\varphi$ ).

A forma completa do modelo SHALSTAB, considerando a coesão dos solos, é a seguinte (MONTGOMERY et al., 1998):

$$\log\left(\frac{Q}{T}\right) = \frac{\text{sen } \theta}{a/b} \frac{c}{\rho_w g z \cos^2 \theta \tan \varphi} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \varphi}\right) \quad (2)$$

Onde  $g$  é a aceleração da gravidade e  $C$  é a coesão do solo.

A quantidade de chuva crítica necessária para a ocorrência de escorregamentos translacionais pode ser calculada através da seguinte equação:

$$Q = \frac{T}{a/b} \text{sen } \theta \frac{c}{\rho_w g z \cos^2 \theta \tan \varphi} + \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \varphi}\right) \quad (3)$$

O SHALSTAB calcula uma situação crítica hidrológica para a estabilidade de encostas, por não considerar a variação temporal e em profundidade dos processos hidrológicos (como a poro-pressão), que controlam os escorregamentos (FERNANDES, 2016; GUIMARÃES et al., 2003).

Maiores detalhes no desenvolvimento teórico do modelo podem ser encontrados em trabalhos de Melo e Kobiyama (2018), Montgomery et al. (1998) e Montgomery e Dietrich (1994).

### Parâmetros físicos do solo

Para a obtenção dos parâmetros de densidade aparente ( $\rho_s$ ), ângulo de atrito ( $\phi$ ) e coesão (C), foi realizado o ensaio de cisalhamento direto, seguindo a norma D3080:2012 (ASTM, 2012). Amostras indeformadas de formato cúbico (30cm de aresta) foram coletadas na área de estudo, seguindo a Norma Brasileira (NBR) 9604:2016 (ABNT, 2016), para a execução do ensaio.

Os ensaios de permeabilidade de carga variável, visando obter condutividade hidráulica saturada ( $k_{sat}$ ), usada para o cálculo da transmissividade do solo (T), foram realizados de acordo com a NBR 14545:2000 (ABNT, 2000). As amostras eram indeformadas, de formato cilíndrico (anel de cravação de 15cm de diâmetro e 13cm de altura).

Três pontos foram selecionados para amostragem, considerando o uso e cobertura da terra (Tabela 1). Foi realizado levantamento de reconhecimento dos solos, com análise morfológica para separação de perfis em campo,

de acordo com a metodologia proposta pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015a).

**Tabela 1.** Coordenadas e Uso e Cobertura da Terra dos pontos amostrados

Nome	X (m)	Y (m)	Uso e Cobertura da Terra
Floresta	360891	7754105	Mata Atlântica
Fonte Grande	360197,4	7753978,5	Pastagem
Varejão	361277,9	7753698,1	Área Urbana

Organização dos autores.

A amostra Floresta foi coletada no Parque Estadual da Fonte Grande, unidade de conservação localizada no Maciço Central de Vitória, com vegetação característica de encostas da Mata Atlântica. A unidade geotécnica identificada para este ponto amostral, de acordo com a Figura 2, é de Depósito de Tálus.

A amostra Fonte Grande foi coletada em uma cicatriz de escorregamento, na porção oeste da bacia (Figura 3). A cobertura de terra local é de pastagem, com grandes blocos rochosos presentes. A unidade geotécnica é identificada como Depósito de Tálus, mas bem próxima ao contato com a unidade de Afloramentos Rochosos (Figura 2).

Figura 3 – Cicatrizes de escorregamento translacionais, nos pontos de amostra Fonte Grande e Varejão, respectivamente



Organização dos autores.

O perfil Varejão foi aberto em área urbana, com presença de cicatriz de escorregamento (Figura 3), na porção sudeste da bacia de Fradinhos. A cicatriz de escorregamento apresenta grande quantidade de blocos rochosos e

entulho de obras. A unidade geotécnica identificada é de Depósito de Tálus (Figura 2).

A estimativa da profundidade do plano de ruptura (z) foi realizada através de análise granulométrica dos solos, seguindo as

metodologias de Ruiz (2005) e IBGE (2015a), considerando que o plano de ruptura se encontra entre camadas de solo.

### *Operações de Geoprocessamento*

As operações de geoprocessamento e mapeamento foram realizadas com os softwares ArcMap™ 10.3 (ESRI, 2014) e Surfer® 14 (GOLDEN SOFTWARE, 2017).

Planos de informação de limites de bairros, municípios e estados foram obtidos via Portal de Mapas (IBGE, 2015b) e Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do estado do Espírito Santo – GEOBASES (IJSN, 2019).

A espacialização dos parâmetros físicos do solo foi feita através do método de interpolação Inverse Distance to a Power, com peso 2, o que o torna o Inverso do Quadrado da Distância. Este método utiliza a distância entre os pontos com dados conhecidos para determinar a influência sobre pontos sem amostragem, sendo que quanto maior a distância, menor a influência. Por ser um método geométrico, com cálculo de distâncias euclidianas (através de iterações do teorema de Pitágoras), a medida de incerteza da interpolação não é calculada, assim como não são considerados fatores relativos à formação e evolução dos solos (GOLDEN SOFTWARE, 2017; MICHEL; KOBIYAMA, 2015; YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

O modelo digital de elevação (MDE) e seus produtos (declividades, relevo sombreado e áreas de contribuição), necessários para a modelagem, foram elaborados a partir de curvas de nível de 5m de equidistância e pontos cotados (IJSN, 2019). A resolução do MDE é de 3m.

As áreas de contribuição, em direções infinitas de fluxos, foram geradas a partir do pacote TauDEM (TARBOTON, 1997). O modelo SHALSTAB foi executado a partir da ferramenta Raster Calculator. A Prefeitura Municipal de Vitória cedeu planos de informação dos laudos técnicos de vistorias de locais com ocorrências de movimentos de massa, utilizados para validação da modelagem de suscetibilidades a escorregamentos translacionais (PROJETO MAPENCO, 2018).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Análise textural para determinação de profundidade de ruptura (z)*

No perfil Floresta, foram identificadas três camadas em aproximadamente um metro de

profundidade (Figura 4). Amostras foram coletadas nas camadas de 0-30cm de profundidade, 30-70cm, +70cm e +80cm. Na camada de 30-70cm de profundidade foi identificada presença de raízes grossas e atividade de bioturbação promovida por térmitas e formigas.

O perfil Fonte Grande teve cinco camadas identificadas, com profundidade superior a 128cm. A primeira camada, de 0-30cm de profundidade, apresenta atividade de bioturbação de minhocas e térmitas. O perfil Varejão teve sete camadas identificadas, com profundidade superior a 115cm. A Figura 5 apresenta as distribuições granulométricas dos perfis amostrados, com suas camadas e profundidades.

De acordo com a classificação do IBGE (2015a), as camadas do perfil Floresta (Figura 5) são argiloarenosa, franco-argiloarenosa, muito argilosa e argilosa, respectivamente.

O perfil Fonte Grande, por sua vez, apresenta as texturas franco-argiloarenosa (camadas C1 e C2, até 40cm de profundidade), francoargilosa (camada C3, 40-95cm de profundidade), argilosa (C4, 95-128cm de profundidade) e francoargilosa (C5, com mais de 128cm de profundidade), de acordo com IBGE (2015a).

O perfil Varejão tem grande predomínio da fração arenosa (Figura 5), com o maior teor na camada de 95-115cm de profundidade (68,9%) e o menor teor na camada de 24-40cm (44,7%). A fração argilosa tende a diminuir com a profundidade do perfil, com exceção na camada de 24-40cm (41,2%). A grande concentração da fração arenosa e a baixa concentração da fração argilosa no perfil Varejão podem ser indicativos de material parental presente no depósito coluvionar e em blocos rochosos da encosta analisada. As texturas, de acordo com o IBGE (2015a), portanto, são: franco-argiloarenosa (0-14cm), francoarenosa (14-24cm), argilosa (24-40cm) e francoarenosa (de 40cm até +115cm).

A infiltração de chuva ocorre com maior facilidade nas camadas permeáveis (mais arenosas) e são acumuladas junto as camadas mais impermeáveis (mais argilosas ou de rocha matriz, por exemplo). Tal comportamento promove a formação de fluxos subsuperficiais e saturação dos horizontes mais superficiais, podendo causar a perda de coesão do solo, originando escorregamentos (CARSON; KIRKBY, 1975; COELHO NETTO, 2008; FERNANDES et al., 1994; SELBY, 1993).

A alternância entre camadas de diferentes comportamentos mecânicos e/ou hidráulicos pode formar frentes impermeáveis no interior do solo. Os planos de ruptura dos dois casos de

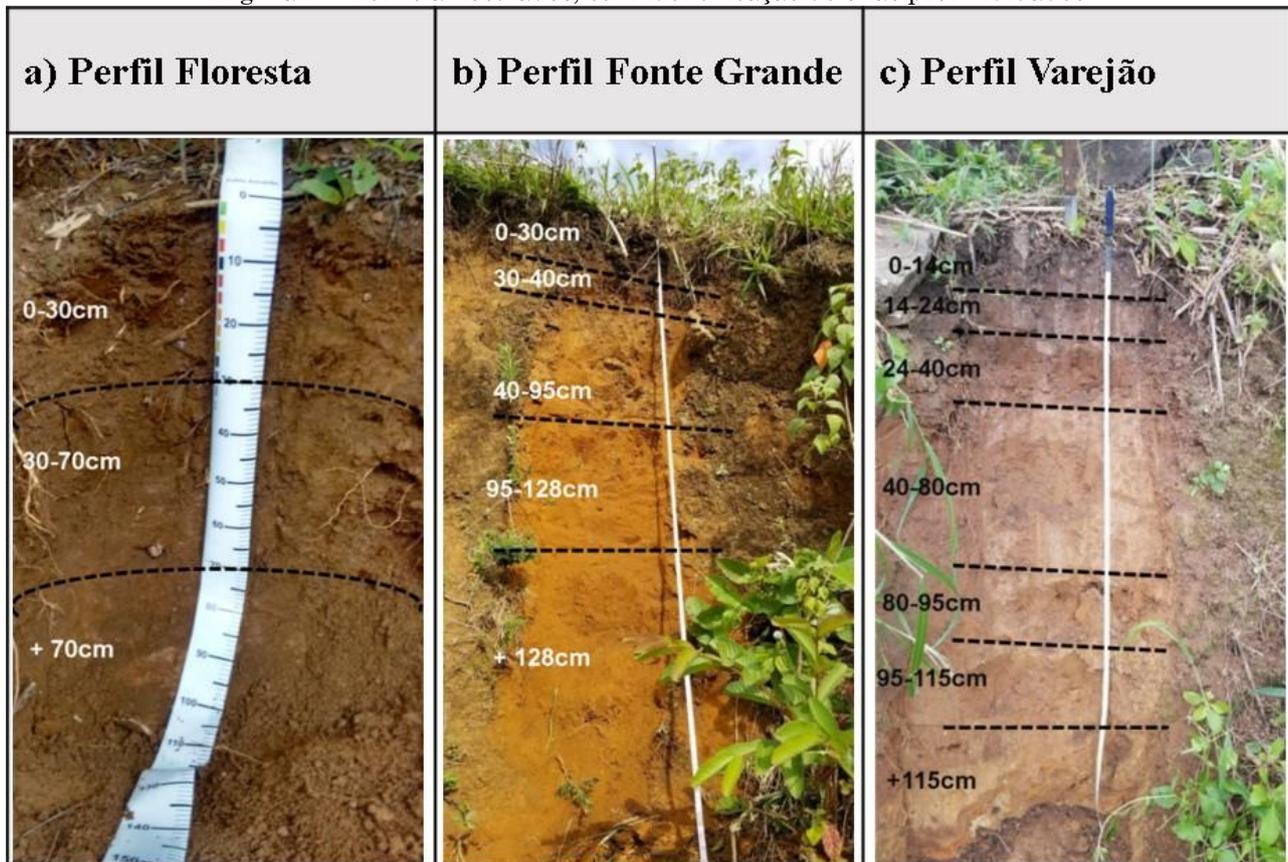
escorregamentos translacionais investigados (Figura 4), por exemplo, se deram no contato solo-solo.

Portanto, para a modelagem com o SHALSTAB, o valor de  $z$  foi definido como o limite da camada onde ocorre mudança textural abrupta, sendo de 70cm para o ponto Floresta, 95cm para o ponto Fonte Grande e 24cm para o ponto Varejão.

A partir da caracterização morfológica realizadas nos perfis amostrados, foram identificadas três classes de solos. O perfil Floresta é um solo desenvolvido a partir de depósito de colúvio, sendo dividido em camadas de deposição com grau incipiente de pedogênese. O perfil Fonte Grande tem características morfológicas de Latossolo Amarelo, enquanto o perfil Varejão apresenta características morfológicas típicas de um Cambissolo Háptico.

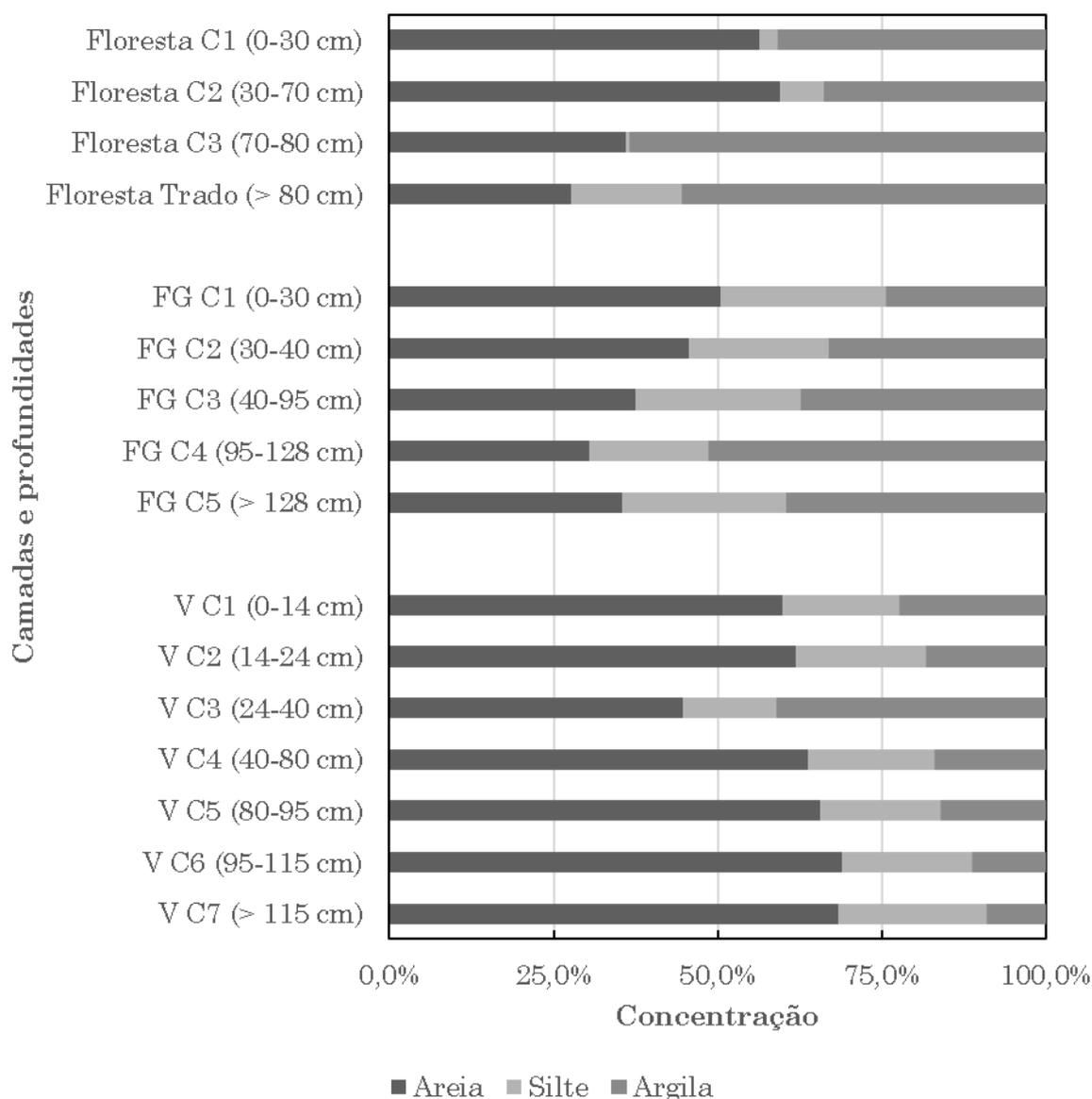
O Horizonte diagnóstico Bw, representativo dos Latossolos, é bastante espesso, característica marcante da classe. Esta se deve a um profundo manto de intemperismo oriundo da decomposição das rochas, predominando rochas gnáissicas e rochas graníticas mais jovens. O relevante índice pluviométrico pretérito e atual, assim como as características físicas e químicas das rochas, como bandeamento e presença de minerais facilmente intemperizáveis, são fatores proponderantes para o avanço da frente de intemperismo, o que imprime nesses solos características químicas que denotam baixos teores de nutrientes, elevada acidez (pH em torno de 4,5) e baixa reserva mineral. Esses solos caracterizam-se, por possuírem boa permeabilidade, boa drenagem, friabilidade e baixa erodibilidade quando argiloso, devido à alta estabilidade de agregados.

Figura 4 – Perfis amostrados, com identificação de suas profundidades



Fonte: Effgen (2018). Organização dos autores.

Figura 5 – Distribuições granulométricas dos perfis Floresta, Fonte Grande (FG) e Varejão (V)



Organização dos autores.

Os Cambissolos Háplicos da área se apresentam especialmente isolados ou em associação com Latossolos pouco profundos e apresentam em seu horizonte diagnóstico (Bi) 4% ou mais de minerais primários alteráveis, de menor resistência ao intemperismo, além de possuir 5% ou mais do volume do horizonte com estrutura da rocha original. São solos que possuem, em sua maioria, características físicas ruins (reduzida profundidade e alta desagregação) e elevada susceptibilidade à erosão, devido às condições físicas e ao relevo acidentado, além da baixa fertilidade e elevada acidez.

Os solos de colúvio apresentam boa profundidade, porém grau baixo de pedogênese, apresentando um horizonte A fraco, sobre camadas com o teor das frações finas (Silte e Argila) com tendência de aumento, dando indícios de processo de podzolização, devido ao gradiente textural observado entre as camadas.

### Parâmetros geotécnicos

A Tabela 2 apresenta os valores de condutividade hidráulica saturada, coesão, ângulo de atrito, densidade aparente do solo úmido e profundidade de ruptura obtidos para cada ponto amostral.

**Tabela 2.** Parâmetros geotécnicos dos pontos amostrados, de acordo com o Sistema Internacional de Unidades

Nome	Condutividade hidráulica saturada (Ksat) (cm/s)	Coesão (C) (kgf/cm <sup>2</sup> )	Ângulo de atrito ( $\phi$ ) (°)	Densidade aparente do solo úmido ( $\rho_s$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	Profundidade de ruptura (z) (m)
<b>Floresta</b>	3,6.10-4	0,18	30,58	1610	0,7
<b>Fonte Grande</b>	1,52.10-4	0,058	27,52	1500	0,95
<b>Varejão</b>	2,78.10-5	0,196	24,77	1790	0,24

Organização dos autores.

A condutividade hidráulica representa a facilidade que a água passa através dos espaços vazios do solo, de acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995). Na bacia em análise, a amostra Floresta foi a que teve a maior condutividade hidráulica, enquanto a Varejão teve a menor. Os valores foram influenciados pela textura de cada perfil analisado e a profundidade da qual foram extraídas as amostras indeformadas. Floresta foi amostrado em 60cm (camada franco-arenoargilosa) e Fonte Grande em 40cm (camada francoargilosa). Varejão teve sua amostra colhida no interior da cicatriz de escorregamento, a cerca de 10m de distância de onde foram coletadas as amostras para ensaios texturais e de cisalhamento direto, e profundidade de 60cm, portanto sua permeabilidade é a mais baixa.

Coesão é a resistência que um solo apresenta a forças cisalhantes, independente da força normal (ABNT, 1995; GUIDICINI; NIEBLE, 1983). O maior valor de coesão medido foi da amostra Varejão, enquanto o menor foi da amostra Fonte Grande (0,196 kgf/cm<sup>2</sup> e 0,058 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente).

A resistência do solo ao cisalhamento pode ser expressa pela equação de Coulomb ( $\tau=c+\sigma_n \tan(\phi)$ ). Nessa equação, os parâmetros  $c$  e  $\phi$  representam, respectivamente, a coesão e o coeficiente de atrito entre as partículas do solo. Esses parâmetros são características intrínsecas do solo, sendo determinados por suas propriedades e atributos, tais como textura, estrutura, teor de matéria orgânica, densidade, mineralogia e teor de água (ROCHA et al., 2002).

Os valores de ângulo de atrito das amostras variaram entre 30,58° (amostra Floresta) e 24,77° (Varejão). Tais valores podem ser justificados

tanto pelas texturas de cada amostra (argilas e solos de cobertura, de acordo com a literatura consultada, tem ângulos de atrito típicos entre 20-35°) e pelo uso e cobertura da terra (presença de raízes grossas e finas nos pontos Floresta e Fonte Grande, enquanto o ponto Varejão tem uso urbanizado e solo exposto) (GUIDICINI; NIEBLE, 1983; SELBY, 1993).

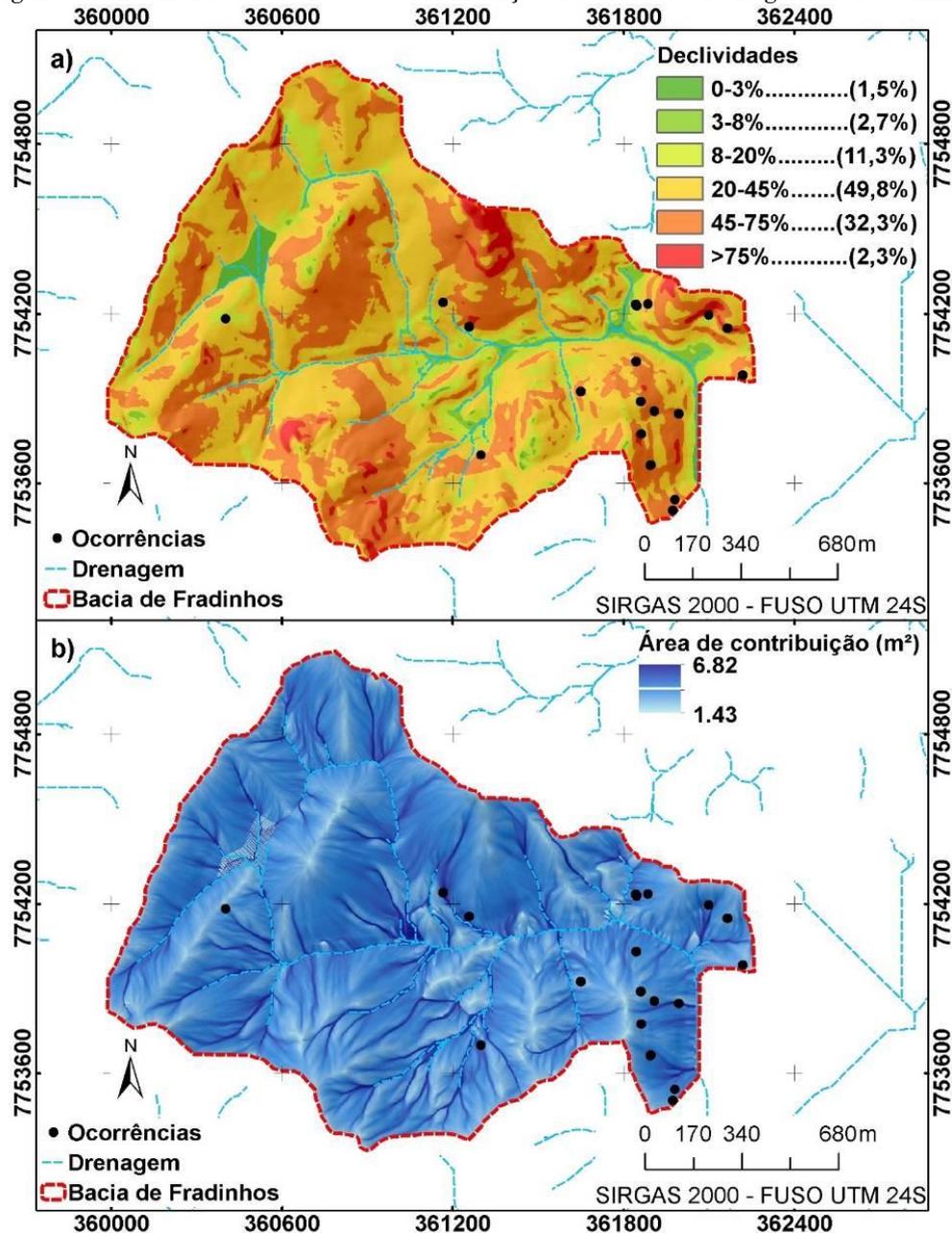
A densidade aparente tem relação com a resistência, morfologia, gênese dos solos, assim como com comportamentos de permeabilidade, infiltração, compacidade, desenvolvimento de raízes e intemperismo (IBGE, 2015a; SELBY, 1993). O maior valor encontrado de densidade aparente foi o do ponto Varejão, com 1790 kg/m<sup>3</sup>, enquanto o menor foi o do ponto Fonte Grande, com 1500 kg/m<sup>3</sup>. Tais valores são concordantes com as texturas e coesões encontradas.

Os valores de parametrização geotécnica obtidos para a bacia de drenagem de Fradinhos são condizentes com os encontrados na literatura consultada (CARSON; KIRKBY, 1975; DE PLOEY; CRUZ, 1979; GUIDICINI; NIEBLE, 1983; GUIMARÃES et al., 2003; LACERDA, 2007; SELBY, 1993; VIEIRA; FERNANDES, 2004).

### *Modelagem de suscetibilidade a escorregamentos translacionais*

A distribuição das declividades e áreas de contribuição da bacia em estudo estão na Figura 6. As áreas mais aplainadas, com inclinação do relevo atingindo até 8%, estão associadas aos fundos de vale, com grande convergência de fluxos. As encostas com declividade acima de 45% se associam porções convexas e em terços médios e superiores das vertentes.

Figura 6 – Declividades e áreas de contribuição da bacia de drenagem de Fradinhos



Organização dos autores.

Existe uma forte relação entre as classes de solos encontradas e o relevo da área em estudo, principalmente em relação a declividade do terreno. Conforme Lepsch (2002), o relevo é o fator que promove diferenças facilmente perceptíveis no solo, pela variação de cor, que podem ocorrer a distâncias relativamente pequenas, em sua maioria, resultantes de desigualdades na distribuição no terreno de água da chuva, luz, calor do sol e erosão. O relevo é um fator que atua diretamente sobre o regime hídrico dos solos, aumentando ou reduzindo o volume de água e influenciando o tempo de formação dos diferentes solos, com atuação local, em escala da vertente,

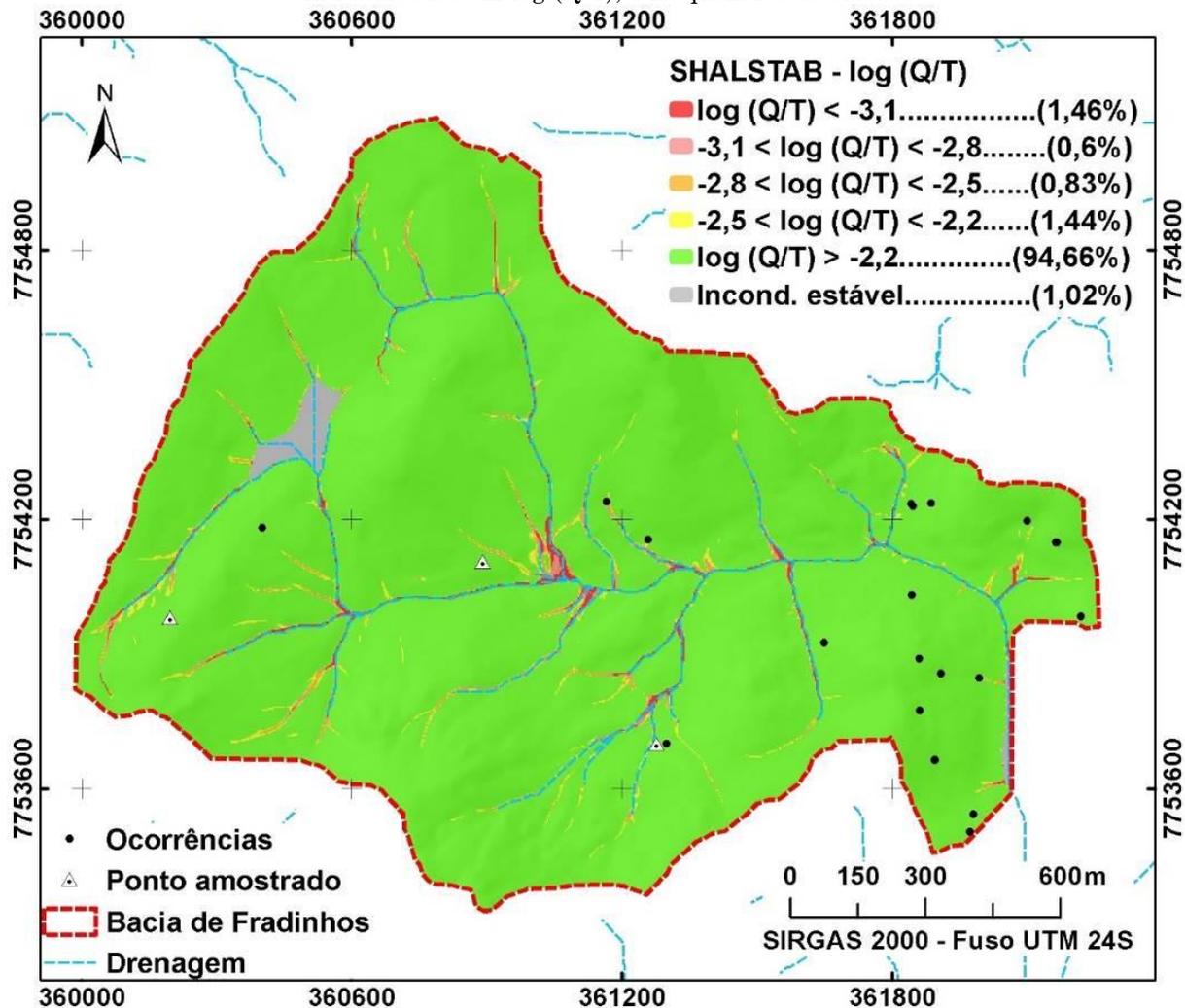
visto que as formas do relevo exercem papel decisivo no tempo de exposição dos materiais de origem, na intensidade e direção do fluxo da água no perfil, de forma que haverá variações nos processos pedogenéticos (CAMPOS, 2012).

Na área foi possível observar que os Latossolos Amarelos se localizam preferencialmente nas vertentes menos inclinadas enquanto os Cambissolos encontram-se nas vertentes mais íngremes. A relação entre relevo e distribuição das classes de solos já foi observada em outros trabalhos (CAMPOS et al., 2011; DEMATTE et al., 1996), sendo que nos locais com maiores declividades, devido à

intensidade dos processos erosivos, há ocorrência de solos mais jovens (Cambissolos), que em geral são pouco desenvolvidos, e nas áreas onde as declividades são mais suaves os solos são mais desenvolvidos (Latosolos).

A Figura 7 traz o modelo gerado de suscetibilidade a escorregamentos translacionais para a bacia de drenagem de Fradinhos, resultante da equação (2), com classificação em  $\log(Q/T)$ .

Figura 7 – Suscetibilidade a escorregamentos translacionais para a bacia de drenagem de Fradinhos, com resultados em  $\log(Q/T)$ , e frequências de classes



Organização dos autores.

Quase a totalidade da bacia de drenagem de Fradinhos (94,66% da área total) foi classificada na faixa de  $\log(Q/T) > -2,2$ . A oeste e leste da bacia, duas porções são classificadas como incondicionalmente estável, ou seja, mesmo em situação de saturação não tem previsão de escorregamentos. São áreas planas e de características retilíneas de curvatura que ocupam 1,02% da área da bacia.

As porções de maior instabilidade (entre as faixas  $\log(Q/T)$  menores que -3,1 e -2,8) ocupam cerca de 2% da área da bacia e estão condicionadas as maiores concentrações de fluxos (hollows) e altas declividades.

A concentração de áreas instáveis em zonas de

concentração de fluxos e altas declividades é esperada do modelo SHALSTAB, pois ele prioriza essas áreas em suas formulações. Isso ocorre porque tais zonas de alta declividade e concentração de fluxos tem sua poro-pressão aumentada rapidamente em eventos de chuvas, tornando os solos pouco coesos e propensos a rupturas (FERNANDES et al., 2001, 2004; GOMES et al., 2013; GUIMARÃES et al., 2003; MONTGOMERY; DIETRICH, 1994).

As áreas de média instabilidade, com valores de  $\log(Q/T)$  entre -2,8 e -2,2 representam zonas de transição entre alta e baixa instabilidade, ocupando 2,27% da bacia.

Dos 21 laudos de escorregamentos

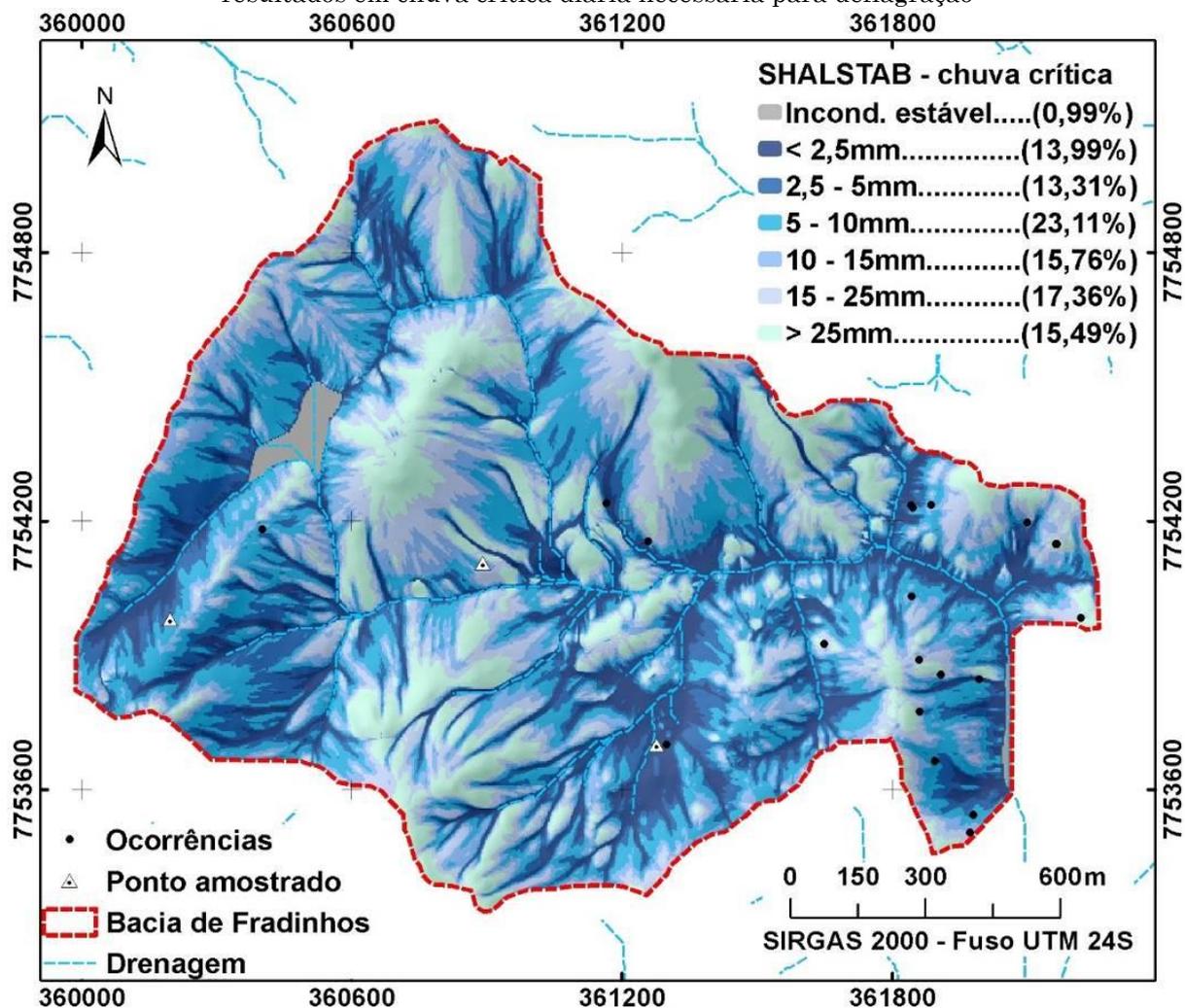
translacionais registrados pela Defesa Civil de Vitória e localizados na bacia, 20 foram modelados na classe  $\log Q/T > -2,2$  – considerada de menor instabilidade. Um laudo teve resultado modelado como pertencente a classe  $-2,5 < \log Q/T < -2,2$  – consideradas de média instabilidade (LISTO; VIEIRA, 2012; ZAIDAN; FERNANDES, 2009, 2015).

Zaidan e Fernandes (2009) apontam que o modelo SHALSTAB é mais eficaz quando utilizado em áreas com planos de características geotécnicas bem diferenciadas (como contatos solo-rocha), perdendo parte de sua capacidade preditiva em solos espessos, encostas pouco

inclinadas e afloramentos rochosos. Melo e Kobiyama (2018), em trabalho de revisão sobre o modelo SHALSTAB, apontam que o uso da parametrização completa está relacionado a maior frequência de classes estáveis, uma vez que a coesão dos solos (C) é ligada a resistência ao cisalhamento.

A Figura 8 mostra o resultado modelado de chuva crítica diária necessária para a deflagração de escorregamentos translacionais na bacia de drenagem de Fradinhos, com as frequências de cada classe. A classificação de chuva crítica segue a utilizada em Effgen (2018).

Figura 8 – Suscetibilidade a escorregamentos translacionais na bacia de drenagem de Fradinhos, com resultados em chuva crítica diária necessária para deflagração



Organização dos autores.

A classe incondicionalmente estável é equivalente a modelagem anterior, restrita a porções planas e de curvatura retilínea. Mesmo em condições críticas de saturação, não há previsão de escorregamentos.

As zonas que necessitam de menores índices

de precipitação diária para deflagração de escorregamentos são associadas aos *hollows* e terços inferiores das encostas, ou seja, são áreas que concentram os fluxos subsuperficiais.

As zonas que mais precisam de precipitação para deflagrar escorregamentos são os topos de

morros, zonas convexas e porções superiores das encostas, que são mais propensas a dispersão de fluxos e menor geração de fluxos subsuperficiais.

A classe de maior prevalência na bacia de drenagem de Fradinhos é a que deflagra escorregamentos com chuva diária entre 5-10mm, com 23,11% da bacia, seguidas pelos intervalos de 15-25mm (com 17,36%) e 10-15mm (com 15,76% da área da bacia). As faixas de precipitação com as maiores quantidades de laudos registrados são as de 5-10mm e 15-25mm, com 7 e 5 laudos, cada uma.

A classe de chuva crítica menor que 2,5mm teve dois laudos registrados, enquanto a de chuvas entre 2,5-5mm teve três laudos registrados de escorregamentos translacionais. Tanto as faixas de chuva crítica de 10-15mm e acima de 25mm tiveram apenas dois registros de escorregamentos cada. As zonas incondicionalmente estáveis não tiveram registros de escorregamentos.

A normal climatológica (medida entre 1961-2015), tem 62,5% dos dias sem registro de precipitação em Vitória, com tendência de diminuição de frequência com o aumento do volume precipitado (Tabela 3) (EFFGEN, 2018).

**Tabela 3.** Frequência de classes de chuvas diárias em Vitória (normal climatológica de 1961-2015).

Chuva diária	Frequência (%)
0 mm	62,5
0,1 - 2,5 mm	16,1
2,5 – 5 mm	5,8
5 – 10 mm	5,9
10 – 15 mm	2,9
15 – 25 mm	3,1
> 25 mm	3,6
Total	100

Fonte: adaptado de Effgen (2018).

Ao considerar a transmissividade hidráulica na modelagem de suscetibilidades, o resultado da Figura 8 se mostra bastante alterado em relação ao anterior (Figura 7). A predominância de uma classe de instabilidade ( $\log Q/T < -2,2$ ) dá lugar a grande variabilidade de classes de precipitação crítica necessária para a ocorrência de escorregamentos translacionais.

Ao redor do ponto amostral Varejão, de menor permeabilidade dentre os três medidos, a quantidade de chuva necessária para a deflagração de escorregamentos é menor (até 10mm/dia), ou seja, essa porção do relevo tem forte propensão a formação de zonas de saturação.

Ao redor do ponto Floresta a quantidade mínima de chuva necessária para iniciar um escorregamento está acima dos 10mm/dia. Tal fato é relacionado a grande permeabilidade dos solos dessa área. As zonas de grandes convergências de fluxos e altas declividades nos arredores do ponto Floresta são exceção, necessitando de menos de 2,5mm/dia para a iniciação de escorregamentos. Os topos de morro e zonas convexas, com tendência de dispersão de fluxos, necessitam de volumes superiores a 25mm de chuva por dia para a iniciação de escorregamentos.

## CONCLUSÕES

A bacia de drenagem de Fradinhos apresenta suscetibilidades a escorregamentos translacionais, como demonstrado, em diferentes graus. As zonas de maior convergência de fluxos e altas declividades apresentam mais propensão ao desenvolvimento de escorregamentos do que as áreas planas e convexas.

O modelo SHALSTAB se mostrou uma boa ferramenta para geração de cenários críticos, mesmo com a limitação de não considerar a variação temporal das características de propensão no solo. A adoção de modelos transientes se torna, portanto, um próximo passo a ser tomado nas pesquisas de suscetibilidades a escorregamentos translacionais.

A espacialização relacionando solo e relevo é fundamental para o planejamento ambiental e locacional em uma determinada área, uma vez que a alocação de infraestruturas sem o conhecimento das características do terreno pode desencadear graves problemas relacionados a movimento de massa e instalação de processos erosivos, perda de água por escoamento superficial acelerado, assim como por assoreamento de cursos d'água.

## AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Monitoramento e Modelagem de Sistemas Ambientais (LAMOSA), ao Laboratório de Geografia Física (Departamento de Geografia), ao Laboratório de Mecânica de Solos (Departamento de Engenharia Civil). À Pró-Reitoria de Extensão da Universidade Federal do Espírito Santo (PROEX-UFES) por conceder bolsa de extensão ao LAMOSA, à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES)

por conceder bolsa de Mestrado, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGG-UFES).

## REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14545**: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2000.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1995.
- \_\_\_\_\_. **NBR 9604**: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas – Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016.
- ARISTIZÁBAL, E.; GARCÍA, E.; MARTÍNEZ, C. Susceptibility assessment of shallow landslides triggered by rainfall in tropical basins and mountainous terrains. **Natural Hazards**, v. 78, n. 1, p. 621-634, 8 ago. 2015. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1736-4>
- ASTM – American Society for Testing and Materials. **Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions**. Pennsylvania: American Society for Testing and Materials, 2012.
- BORTOLOTTI, F. D. et al. Preliminary landslide susceptibility zonation using GIS-based fuzzy logic in Vitória, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 3, p. 2125-2141, 1 ago. 2015. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4200-6>
- CAMPOS, M. C. C. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. **Revista Ambiência**, v. 8, n. 3, p. 963-982, 30 dez. 2012. <https://doi.org/10.5777/ambiencia.2012.05.01rb>
- \_\_\_\_\_. Relações solo-paisagem em uma toposequência sobre substrato granítico em Santo Antônio do Matupi, Manicoré (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 13-23, fev. 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100002>
- CARSON, M. A.; KIRKBY, M. J. **Hillslope form and process**. 1. ed. Londres: Cambridge University Press, 1975.
- COELHO, A. L. N. et al. **Mapeamento geomorfológico do estado do Espírito Santo**. Vitória: IJSN, 2012.
- COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização bases e conceitos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. p. 93-148.
- DE PLOEY, J.; CRUZ, O. Landslides in the Serra do Mar, Brazil. **Catena**, v. 6, p. 111-122, 1979. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(79\)80008-9](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(79)80008-9)
- DEMATTE, J. L. I.; MAZZA, J. A.; DEMATTE, J. A. M. Caracterização e gênese de uma toposequência latossolo amarelo-podzol originado de material da Formação Barreiras - Estado de Alagoas. **Scientia Agricola**, v. 53, n. 1, p. 20-30, 1996. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161996000100004>
- DIETRICH, W. E.; BELLUGI, D.; REAL DE ASUA, R. Validation of the Shallow Landslide Model, SHALSTAB, for forest management. In: WIGMOSTA, M. S.; BURGESS, S. J. (Org.). **Land Use and Watersheds: Human Influence on Hydrology and Geomorphology in Urban and Forested Areas**. Washington DC: American Geophysical Union, 2001. v. 2. p. 195-227. [doi.org/10.1029/WS002p0195](https://doi.org/10.1029/WS002p0195)
- EFFGEN, J. F. **Suscetibilidade a escorregamentos translacionais na bacia de drenagem de Fradinhos, Vitória/ES**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2018.
- ESRI – Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2014.
- FERNANDES, N. F. Modelagem em Geografia Física: Teoria, Potencialidades e Desafios. **Espaço Aberto**, v. 6, n. 1, p. 209-247, 2016. <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2016.5243>
- FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- FERNANDES, N. F.; COELHO NETTO, A. L.; LACERDA, W. A. Subsurface hydrology of layered colluvium mantles in unchannelled valleys-south-Eastern Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 19, n. 7, p. 609-626, nov. 1994.

- <https://doi.org/10.1002/esp.3290190703>  
 FERNANDES, N. F. et al. Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001. <https://doi.org/10.20502/rbg.v2i1.8>
- \_\_\_\_\_. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. **CATENA**, v. 55, n. 2, p. 163-181, jan. 2004. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(03\)00115-2](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(03)00115-2)
- GOLDEN SOFTWARE. **Surfer**. Colorado: Golden Software, LLC. 2017.
- GOMES, R. A. T. et al. Combining Spatial Models for Shallow Landslides and Debris-Flows Prediction. **Remote Sensing**, v. 5, n. 5, p. 2219-2237, 10 maio 2013. <https://doi.org/10.3390/rs5052219>
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 1983.
- GUIMARÃES, R. F. et al. Análise temporal das áreas susceptíveis a escorregamentos rasos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (RJ) a partir de dados pluviométricos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 1, p. 190-198, 2009. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2009391190198>
- \_\_\_\_\_. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro. **Engineering Geology**, v. 69, n. 1-2, p. 99-108, abr. 2003. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(02\)00263-6](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(02)00263-6)
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015a.
- \_\_\_\_\_. **Portal de Mapas do IBGE**. 2015b. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>. Acesso em: 6 abr. 2016.
- \_\_\_\_\_. Vitória. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/vitoria/panorama>. Acesso em: 15 jul. 2019.
- IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves. **Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (GEOBASES)**. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/>. Acesso em: 15 jul. 2019.
- LACERDA, W. A. Landslide initiation in saprolite and colluvium in southern Brazil: Field and laboratory observations. **Geomorphology**, v. 87, n. 3, p. 104-119, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.03.037>
- LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- LISTO, F. L. R.; VIEIRA, B. C. Mapping of risk and susceptibility of shallow-landslide in the city of São Paulo, Brazil. **Geomorphology**, v. 169-170, p. 30-44, out. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.01.010>
- MACHADO, G. M. V. et al. Geohistorical evolution and the new geological map of the city of Vitoria, ES, Brazil. **Ocean and Coastal Management**, v. 151, n. February 2017, p. 45-52, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.10.026>
- MARTINS, T. D. et al. Application of the SHALSTAB model for the identification of areas susceptible to landslides: Brazilian case studies. **Revista de Geomorphologie**, v. 19, p. 136-144, 2017. <https://doi.org/10.21094/rg.2017.015>
- MELO, C. M.; KOBİYAMA, M. Aplicação do modelo SHALSTAB no estudo de escorregamentos no Brasil: revisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, 1 out. 2018. <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1372>
- MICHEL, G. P.; KOBİYAMA, M. Estimativa da profundidade do solo: parte 2 - métodos matemáticos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, p. 1225-1243, 2015. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150064>
- MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH, W. E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research**, v. 30, n. 4, p. 1153-1171, 1994. <https://doi.org/10.1029/93WR02979>
- MONTGOMERY, D. R.; SULLIVAN, K.; GREENBERG, H. M. Regional test of a model for shallow landsliding. **Hydrological Processes**, v. 12, n. 6, p. 943-955, 1998. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199805\)12:6<943::AID-HYP664>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199805)12:6<943::AID-HYP664>3.0.CO;2-Z)
- O'LOUGHLIN, E. M. Prediction of Surface Saturation Zones in Natural Catchments by Topographic Analysis. **Water Resources**, v. 22, n. 5, p. 794-804, 1986. <https://doi.org/10.1029/WR022i005p00794>
- PRADHAN, A. M. S.; KIM, Y. T. Application and comparison of shallow landslide susceptibility models in weathered granite soil under

- extreme rainfall events. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 9, p. 5761-5771, 6 maio 2015. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3829-x>
- PROJETO MAPENCO. **Laudos Geológico-Geotécnicos (1999-2018)**. Vitória: FEST, 2018.
- RADAMBRASIL. **Folhas SF.23/24**: Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro: CPRM, 1983.
- ROCHA, W. W. et al. Resistência ao cisalhamento e grau de intemperismo de cinco solos na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 297-303, jun. 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000200002>
- RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 297-300, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000200015>
- SELBY, M. J. **Hillslope materials and processes**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 1993.
- SGB – Serviço Geológico do Brasil – CPRM. **Geo SGB**. Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em: 15 jul. 2019.
- SILVA, E. L. et al. Emprego de modelo de susceptibilidade a escorregamentos rasos para gestão de riscos de desastres no município de Vitória-ES. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 1, p. 119-131, abr. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000100010>
- TARBOTON, D. G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, v. 33, n. 2, p. 309-319, 1997. <https://doi.org/10.1029/96WR03137>
- VIEIRA, B. C.; FERNANDES, N. F. Landslides in Rio de Janeiro: The role played by variations in soil hydraulic conductivity. **Hydrological Processes**, v. 18, n. 4, p. 791-805, 2004. <https://doi.org/10.1002/hyp.1363>
- VITÓRIA, Prefeitura Municipal de Vitória. **Carta Geotécnica de Vitória**. Vitória: Projeto MAPENCO. 2014.
- \_\_\_\_\_. **Plano de Contingência do município de Vitória/ES**. Vitória, 2013.
- YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geostatística: conceitos + aplicações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- ZAIDAN, R. T.; FERNANDES, N. F. Análise de risco de escorregamentos nas encostas edificadas da bacia de drenagem urbana do córrego do Independência - Juiz de Fora (MG). **Revista de Geografia**, v. 5, n. 1, p. 17-32, 2015. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/index.php/geografia/article/view/17989>
- \_\_\_\_\_. Zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos em encostas aplicado à bacia de drenagem urbana do Córrego do Independência - Juiz de Fora (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 2, p. 57-76, 2009. <https://doi.org/10.20502/rbg.v10i2.131>