

ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO UTILIZANDO VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS

Luan Viana dos **Santos**¹, Rafael Alvarenga **Almeida**², Daniel Brasil Ferreira **Pinto**³, Camila de Sousa Queiroz **Almeida**⁴

(1 – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, luan.ufvjm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5135-3445>; 2 – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, rafael.almeida@ufvjm.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-3828-7305>; 3 – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, daniel.brasil@ufvjm.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-6968-8435>; 4 – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, camila.queiroz@ufvjm.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-3177-7862>)

Resumo: Os processos erosivos ocorrem de forma natural e são essenciais para a formação do solo. Entretanto, têm sido acelerados por ações antrópicas e contribuem para prejuízos sociais, ambientais e econômicos. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia de identificação e quantificação da perda do solo a partir de modelos digitais de elevação obtidos através de imagens por veículos aéreos não tripulados. Nas três áreas de estudo selecionadas em Teófilo Otoni – MG foram comparados os modelos gerados antes e após eventos de precipitação. O fator de erosividade anual pode ser classificado como muito baixo, indicando características regionais de baixo potencial erosivo. Este trabalho propôs diferentes equações para a utilização dos Modelos Digitais de Elevação como fonte de dados para a identificação e quantificação da perda de solo por erosão hídrica. Os resultados obtidos indicam que voos realizados a até 70 metros contribuem para a qualidade do mapeamento e indicam a necessidade de novos estudos para a calibração da metodologia a fim de utilizá-la para quantificar a perda de solo e torná-la replicável em diferentes situações.

Palavras-chave: Perda do solo, Modelos digitais de elevação, VANTs

ESTIMATION OF SOIL LOSS USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

Abstract: Erosive processes occur naturally and are essential for soil formation. However, they have been accelerated by anthropogenic actions, contributing to social, environmental, and economic damages. The aim of this study was to develop a methodology for the identification and quantification of soil loss using digital elevation models obtained through imagery from unmanned aerial vehicles (UAVs). In the three selected study areas in Teófilo Otoni – MG, the generated models were compared before and after precipitation events. The annual erosivity factor can be classified as very low, indicating regional characteristics of low erosive potential. This work proposed different equations for the use of Digital Elevation Models as a data source for the identification and quantification of soil loss through water erosion. The results obtained indicate that flights conducted up to 70 meters contribute to mapping quality and highlight the need for further studies to calibrate the methodology for quantifying soil loss and making it replicable in different situations.

Keywords: Soil loss, Digital elevation models, UAVs

ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DEL SUELO UTILIZANDO VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS

Resumen: Los procesos erosivos ocurren de forma natural y son esenciales para la formación del suelo. Sin embargo, han sido acelerados por acciones antrópicas y contribuyen a pérdidas sociales, ambientales y económicas. El objetivo de este trabajo fue desarrollar una metodología de identificación y cuantificación de la pérdida de suelo a partir de modelos digitales de elevación obtenidos mediante imágenes de vehículos aéreos no tripulados. En las tres áreas de estudio seleccionadas en Teófilo Otoni, MG, se compararon los modelos generados antes y después de eventos de precipitación. El factor de erosividad anual puede clasificarse como muy bajo, indicando características regionales de bajo potencial erosivo. Este trabajo propuso diferentes ecuaciones para la utilización de los Modelos Digitales de Elevación como fuente de datos para la identificación y cuantificación de la pérdida de suelo por erosión hídrica. Los resultados obtenidos indican que los vuelos realizados hasta 70 metros contribuyen a la calidad del mapeo e indican la necesidad de nuevos estudios para la calibración de la metodología a fin de utilizarla para cuantificar la pérdida de suelo y hacerla replicable en diferentes situaciones.

Palabras clave: Pérdida del suelo, Modelos digitales de elevación, VANTs

Introdução

A erosão é um fenômeno natural que envolve o desprendimento, transporte e deposição de partículas do solo, sendo predominantemente influenciada pelo vento e pela água, com esta última desempenhando um papel mais significativo em condições tropicais (Carvalho, 2012). A erosão hídrica, especificamente, abrange processos como o desprendimento de partículas de solo pelo impacto da chuva e o subsequente escoamento gerado por ela (Asadi, Ghadiri, Rose & Rouhipour, 2007). Este processo, acelerado por atividades antrópicas, pode causar impactos adversos nas atividades econômicas devido à sua rapidez e aos danos resultantes (Pruski, 2006). A erosão acelerada compromete a qualidade do solo, reduz a produtividade agrícola e contribui para a deposição de partículas em corpos d'água, afetando negativamente a capacidade de transporte dos rios (Li & Fang, 2016; Singh & Panda, 2017).

Além dos impactos no solo, a sedimentação resultante da erosão influencia negativamente a capacidade de armazenamento de corpos d'água, aumentando o risco de inundações e reduzindo a vida útil das estruturas marginais (Singh & Panda, 2017). Ainda, contribui para problemas ambientais, como o assoreamento de cursos d'água e o aumento da concentração de nutrientes e elementos tóxicos, prejudicando a qualidade da água para consumo humano, animal, irrigação e geração de energia (Bolina et al., 2017; Mendonça, Paterlini, Oliveira, Barbosa & Santos, 2014).

A compreensão da erosão é crucial e depende de fatores como chuva, solo, cobertura e manejo do solo, práticas conservacionistas e relevo. A previsão da perda de solo pode ser realizada por métodos diretos, como a coleta e pesagem do solo erodido, ou métodos indiretos, como a Equação Universal da Perda de Solo (USLE), que incorpora fatores naturais e antrópicos (Wischmeier & Smith, 1978; Alewell, Borrelli, Meusbürger & Panagos, 2019). O avanço das geotecnologias, incluindo Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), tem facilitado a aplicação desses métodos, proporcionando uma visão mais detalhada e precisa do terreno (Barbosa, Oliveira, Miotto & Filho, 2015; Oltmanns, Marzolf, Peter & Ries, 2012).

Assim, o objetivo desse trabalho foi desenvolver uma metodologia para a utilização de VANT na identificação e estimativa da perda de solo. Dessa forma, buscou-se estimar a perda de solo na área de estudo, identificando as regiões que ocorrem perda e deposição das partículas de solo. Ainda foi possível testar a influência de diferentes alturas de voo na obtenção de dados para a estimar a perda de solo.

Material e métodos

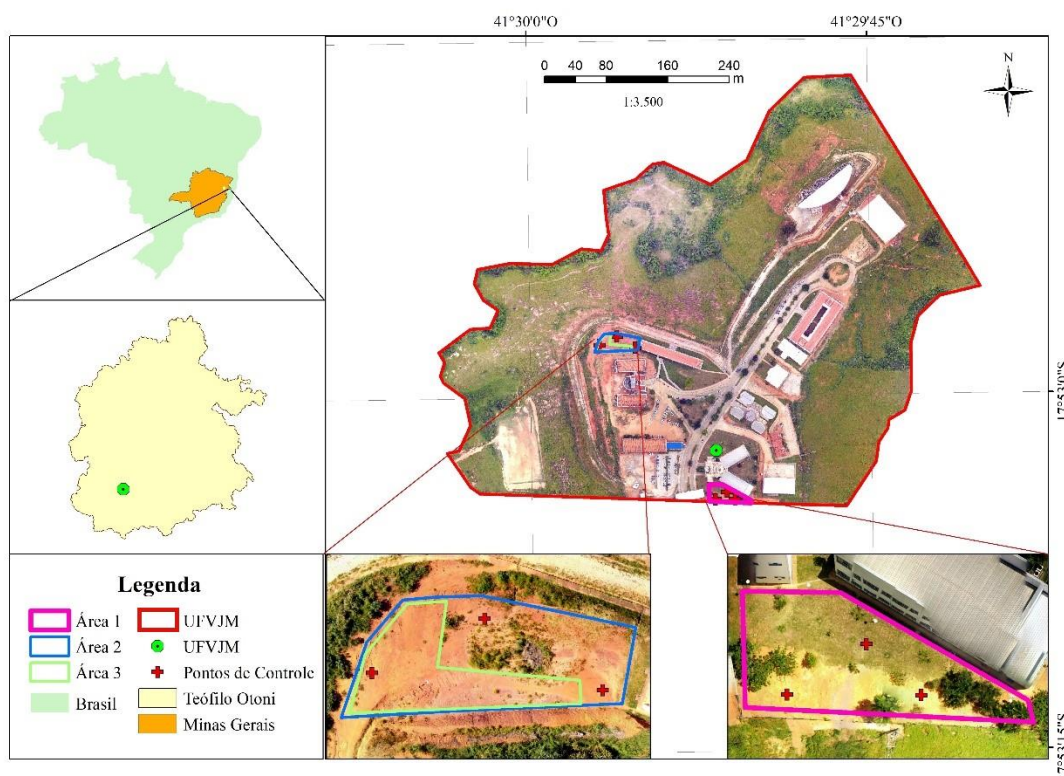
Caracterização da área de estudo

A construção do campus Mucuri da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) em Teófilo Otoni – MG iniciou em 2006, com início das atividades acadêmicas em 2009. Desde então, é uma área em expansão e uma região propícia para implementação de áreas-teste para monitoramento da perda de solo, dados a ocorrência de processos erosivos decorrentes dos procedimentos construtivos e maquinários pesados, da movimentação do solo e do histórico local de uso do solo com pastagens mal manejadas.

Para delimitação da área de estudo, foram considerados os seguintes parâmetros: estar dentro do perímetro da UFVJM – Campus do Mucuri; apresentar pouca ou nenhuma cobertura vegetal; e apresentar pouca ou nenhuma interferência antrópica (construções ou intervenções) durante o período de realização deste estudo. Foram selecionadas três áreas-teste (Figura 1), com 1.170, 1.100 e 488 m², respectivamente. A área 3 foi definida como uma extração da área 2 em que presença de vegetação é ainda mais escassa, visando avaliar a interferência da vegetação no processo de identificação da movimentação do solo.

A cidade de Teófilo Otoni é caracterizada majoritariamente por latossolos, sendo este o solo predominante também nas regiões de estudo. A caracterização da textura do solo foi realizada através de análises granulométricas visando a mensuração do teor de argila, areia e silte. A coleta de amostras para cada área seguiu orientações de Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2012), sendo retiradas a uma profundidade de 20 cm e depositadas em sacos plásticos para envio ao laboratório.

Figura 1 – Delimitação das três áreas-teste no campus Mucuri – UFVJM em Teófilo Otoni – MG.



O Fator de Erodibilidade K considera a composição do solo para quantificar sua susceptibilidade aos processos erosivos. O cálculo do fator K para as áreas de estudo foi realizado pela Equação de Bouyocos, apresentada na Equação 1 (Manningel, Carvalho, Moreti & Medeiros, 2008).

$$K = \frac{\%ar + \%si}{\%ag} \quad (1)$$

Onde:

K = Fator de Erodibilidade, $t \text{ ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$

%ar = Porcentagem de areia na composição do solo

%si = Porcentagem de silte na composição do solo

%ag = Porcentagem de argila na composição do solo

Monitoramento da precipitação:

A altura pluviométrica foi monitorada pelo pluviógrafo componente do equipamento Estação Meteorológica TFA Nexus, instalada em 13 de novembro de 2018 na cobertura do prédio do Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia (ICET) da UFVJM. O acompanhamento da precipitação foi iniciado em 01 de janeiro de 2019 com registro horário de precipitação através do software disponibilizado pela fabricante. Para o cálculo da intensidade de precipitação, observou-se a altura pluviométrica (em milímetros) e a duração dos eventos (em horas), sendo expressa em milímetros por hora através da relação entre estes dados.

A Erosividade da Chuva (R), que expressa a sua capacidade de causar erosão em uma área sem proteção (Pruski, 2006), é dada pelo índice de erosão EI_{30} ($MJ\ ha^{-1}\ mm\ h^{-1}$), conforme Equação 2 (Pruski, 2006):

$$EI_{30} = EC I_{30} \quad (2)$$

Onde:

EC = Energia cinética, $MJ\ ha^{-1}$;

I_{30} = Intensidade Máxima de Precipitação para 30 minutos

Sendo que a energia cinética (EC) é obtida através da Equação 3, proposta por Wischmeier e Smith (1958):

$$EC = 0,119 + 0,0873 \log_i \quad (3)$$

Sendo, i = Intensidade da chuva ($mm\ h^{-1}$).

Já a intensidade máxima da chuva em 30 minutos pode ser obtida através da Equação 4, proposta por Carvalho (1987) e aplicada por Colodro, Carvalho, Roque & Prado (2002):

$$I_{30} = \sum_{i=1}^n \frac{i_n t_n}{30} \quad (4)$$

Considerando,

i = Intensidade da chuva ($mm\ h^{-1}$);

t = Tempo de ocorrência (minutos).

Por fim, para a classificação da erosividade, foram adotadas as classes propostas por Santos (2008) e adaptadas por Back e Poletto (2018). Pruski (2006), no entanto, recomenda que o cálculo do índice de erosividade de um determinado local seja estimado com base em dados de, no mínimo, 20 anos. Deste modo, utilizou-se também o fator de erosividade obtido por Moreira, Pruski, Oliveira, Pinto & Silva (2008), que desenvolveram um programa computacional que estima valores de R para todo o estado de Minas Gerais com base em Redes Neurais Artificiais (RNA) denominado NetErosividade MG.

Implantação dos Pontos de Controle

Utilizando um GPS RTK, coletou-se a posição da base GPS instalada e seis pontos de controle (PC) distribuídos nas áreas de estudo. Os dados coletados foram corrigidos pelo sistema IBGE-PPP e utilizados para o processo de georreferenciamento das imagens. Após corrigidos, os PC possuem as coordenadas UTM (m) apresentadas na Tabela 1 e foram demarcados na área de estudo através da implantação de piquetes de localização.

Tabela 1 - Localização dos pontos de controle:

Ponto	Localização	Latitude (m)	Longitude (m)	Altitude (m)
Base	Base	235247,921	8020918,802	382,600
Controle 01	Área 1	235350,862	8020814,803	383,588
Controle 02	Área 1	235376,390	8020814,968	383,241
Controle 03	Área 1	235365,872	8020824,665	382,369
Controle 01	Área 2 e 3	235200,883	8021015,560	371,530
Controle 02	Área 2 e 3	235223,507	8021026,679	370,075
Controle 03	Área 2 e 3	235247,344	8021012,280	370,180

Elaboração dos Planos de Voo

Os planos de voos foram elaborados utilizando o software Drone Deploy, em sua versão gratuita. A fim de avaliar a influência da altitude de voo na estimativa da perda de solo, realizou-se o mapeamento em 3 diferentes altitudes, 20 m (a menor altitude permitida pelo software), 120 m (a maior permitida pela legislação) e 70 m (ponto intermediário). Vale ressaltar que tal parâmetro influencia diretamente a resolução espacial (tamanho do pixel da imagem), tempo de voo e quantidade de imagens necessárias para se mapear toda a área.

Outro parâmetro importante para a elaboração de um plano de voo é a sobreposição das imagens coletadas. O software sugere sobreposição frontal (Front Overlap) e lateral (Side Overlap) mínima de 70% e 60%, respectivamente. Tarigan, Suwardhi, Fajri & Fahmi (2017) indica que o overlap deve ser conciliado com a capacidade da bateria para realização do voo, uma vez que quanto maior a sobreposição, maior o tempo de duração do voo. Para este estudo, utilizou-se Front Overlap e Side Overlap de 75%.

Obtenção das Imagens

As datas de realização dos voos foram definidas com base na ocorrência de eventos de precipitação e na disponibilidade do VANT para a obtenção das imagens e ocorreram conforme indicado na Tabela 2. Em cada data, foram realizados três voos em cada área, nas alturas determinadas no planejamento – 20, 70 e 120 metros. Para identificar corretamente os pontos de controle nas imagens, utilizou-se cal para ressaltá-los. Os períodos de estudo são determinados pelos intervalos entre dois voos subsequentes de cada área.

Tabela 2 – Datas de realização de voos

Voo	Data	
	Área 1	Áreas 2 e 3
1	14 de janeiro de 2019	14 de janeiro de 2019
2	12 de fevereiro de 2019	12 de fevereiro de 2019
3	16 de fevereiro de 2019	18 de fevereiro de 2019
4	18 de fevereiro de 2019	06 de março de 2019
5	08 de março de 2019	10 de maio de 2019
6	21 de março de 2019	22 de maio de 2019
7	13 de maio de 2019	-----

Processamento dos Dados

Após os voos, as imagens foram processadas no software Agisoft Photoscan para obtenção dos dados necessários para este estudo - Modelo Digital de Elevação (MDE) e ortomosaico. Sopchaki, Paz, Graça & Sampaio, (2018) e Oliveira, Cicerelli, Almeida & Marotta (2017) descrevem os processos e etapas comumente utilizados para obtenção do MDE e ortomosaico utilizando VANT. Nas etapas do pré-processamento, o software utilizou os dados vinculados às imagens obtidas pelo VANT, segundo metodologia definida por Oliveira et al. (2017) para posicionar as imagens globalmente.

A partir das imagens georreferenciadas, seguiu-se as orientações do software para a construção padrão do ortomosaico. Para este estudo, utilizou-se intensidade de processamento definida como ‘agressiva’. Ressalta-se que, para este estudo, adequações foram realizadas, sendo que os processos ‘mesh’, ‘texture’ e ‘tiled model’ disponíveis no workflow não foram executados, uma vez que não exercem influência direta na qualidade do MDE e ortomosaico.

Análise dos Dados

Os dados de MDE e ortomosaico foram exportados em formato GEOTIFF para que fossem manipulados em um sistema de informações geográficas (SIG). Dentro do SIG, o MDE foi manipulado a fim de se extrair apenas a área de interesse do estudo. Ainda no SIG, os dados foram manipulados a fim de se obter a diferença de nível entre dois períodos distintos.

A estimativa da perda de solo é baseada nos valores de altitude de cada pixel, e obtida através da Álgebra de Mapas, onde foi possível realizar operações matemáticas entre dois ou mais dados. A estimativa da Perda de Solo por pixel (PS) é dada pela Equação 5:

$$PS = ST_i - ST_f \quad (5)$$

Onde:

PS = Perda de solo (m);

ST_i = Altitude do pixel na imagem anterior (m);

ST_f = Altitude do pixel na imagem atual (m).

Esta estimativa possibilita identificar os locais de ocorrência dos processos de perda e deposição de partículas de solo. Valores de PS positivos indicam áreas de perda de solo e valores negativos indicam regiões de deposição de partículas. Esses valores foram expressos através de mapas de movimentação do solo. Utilizando o valor médio da PS para cada período, utilizou-se a Equação 6 para estimar o volume de solo movimentado por hectare:

$$PSp = (PS_m \cdot 10000)(\rho_s) \quad (6)$$

Sendo:

PS_p = Perda de solo por período (t ha⁻¹);

PS_m = Perda de solo média por período (m);

ρ_s = Massa específica do solo ($t\ m^{-3}$)

A massa específica (ρ_s) é determinado pelo peso das partículas sólidas e o seu volume. Para uma amostra de solo localizada na UFVJM – Campus do Mucuri, a massa específica apresentada é de $2,27\ g\ cm^{-3}$ (Silva & Condé, 2018).

O cálculo da Perda de Solo Total (PSt) foi realizado através da análise do intervalo total observado (período entre o primeiro e o último voo) e ajustado para valores anuais através da Equação 7:

$$PS_t = (PS_m \cdot 10000)(\rho_s) \left(\frac{365}{D} \right) \quad (7)$$

Onde:

PS_t = Perda de solo total ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

PS_m = Perda de solo média por pixel (m);

ρ_s = Massa específica do solo ($t\ m^{-3}$);

D = Número de dias do período.

Além disso, através da manipulação do MDE, foi possível extrair dados para a aplicação da Equação Universal da Perda de Solo, USLE, como a declividade local, o comprimento da encosta e a declividade da encosta, informações primordiais para o entendimento dos processos erosivos,

Validação dos Resultados

Os resultados foram validados a partir de três metodologias. A primeira delas visou avaliar a interferência da altura de voo nos resultados da perda de solo. Utilizou-se o software Past para geração do modelo polinomial que melhor adequasse à relação entre os dias de observação e a perda de solo acumulada em cada data. Para cada área e altura, optou-se pelo modelo que apresentou maior significância (p-valor) e maior relação entre perda de solo e número de dias (R^2).

Para as metodologias seguintes, foram calculados parâmetros de comparação, obtidos através da Equação Universal da Perda de Solo, USLE. Definida por Wischmeier e Smith (1978), a USLE é representada pela Equação 8:

$$PS = R K L S C P \quad (8)$$

Em que:

PS = Perda de solo média anual, $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$;

R = Erosividade da chuva, $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$;

K = Erodibilidade do solo, $t \text{ ha}^{-1} / (\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1})$;

L = Comprimento da encosta, adimensional;

S = Declividade da encosta, adimensional;

C = Uso e manejo do solo, adimensional;

P = Práticas conservacionistas, adimensional.

Assim, para as duas metodologias seguintes de validação dos dados, foram calculados parâmetros de comparação, obtidos através da Equação Universal da Perda de Solo e calibrada sob duas condições: USLE 1 – Considerou a Erodibilidade e Erosividade obtidas por esta pesquisa através do monitoramento da precipitação e da análise de solo (equações 1 e 2, respectivamente); e USLE 2 – Considerou a Erosividade apresentada por Moreira et al. (2008) e Erodibilidade calculada por Oliveira e Bahia (1984). Os fatores L, S, C e P foram os mesmos para a USLE 1 e USLE 2. Os fatores L e S foram calculado pela manipulação do MDE e os fatores C e P foram obtidos pela análise da cobertura do solo através dos ortomosaicos.

A USLE 1 foi utilizada como parâmetro para comparação da perda de solo em cada período (P_{Sp}). A correlação entre os valores de perda de solo obtidos em cada período e os valores calculados para a USLE 1 foi realizada utilizando o coeficiente de correlação de Pearson. A USLE 2 foi utilizada como parâmetro para comparação da perda de solo anual (P_{St}), analisando a variação da perda de solo anual entre melhores modelos para cada área e a USLE 2. A análise estatística observou o erro médio e o desvio padrão para as três áreas.

Resultados e discussão

Precipitação e caracterização do solo

A Figura 2 apresenta a Altura de Precipitação mensal. Observou-se que os meses mais chuvosos foram março, abril e fevereiro, com 103,7 mm, 103 mm e 53,6 mm respectivamente. Dessa forma, a maior parte dos voos para obtenção de dados foi realizada durante esses três meses. Dentre os 161 dias monitorados, 33 apresentaram eventos de precipitação de qualquer intensidade. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no entanto, considera como dia seco todo aquele com precipitação acumulada inferior a cinco milímetros, deste modo, apenas 13 dias observados classificam-se como chuvosos. O comportamento da precipitação ao longo do período de observação para as áreas de estudo é apresentado na Tabela 3.

Figura 2 - Altura de precipitação mensal (em milímetros - mm).

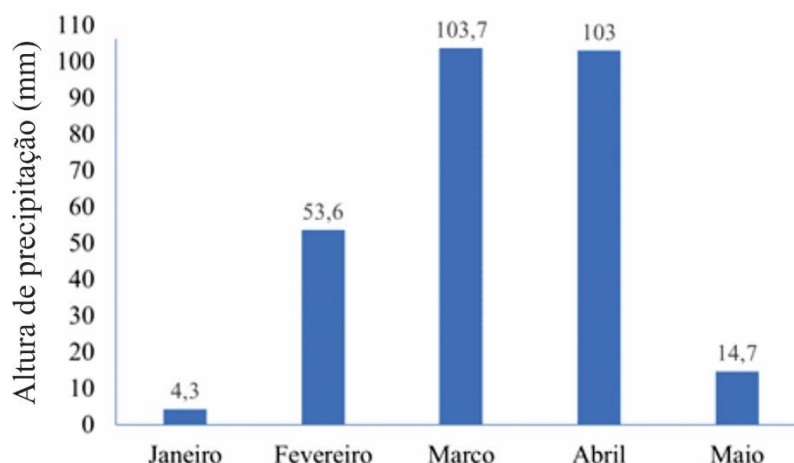


Tabela 3 - Altura precipitada por período (em mm).

Período	Área 1				Áreas 2 e 3			
	Total	Máxima	Mínima	Média	Total	Máxima	Mínima	Média
1	28,2	12,0	0,7	4,7	28,2	12	0,7	4,7
2	10,6	7,8	0,7	2,6	18,3	7,8	0,7	2,0
3	13,4	5,7	0,7	2,2	13,4	10,6	0,7	3,8
4	13,4	10,6	0,7	3,4	203,1	51,5	0,7	7,6
5	79,0	51,5	0,7	15,8	7,0	4,9	0,7	2,3
6	124,1	29,6	0,7	5,4	-	-	-	-

Com base nas informações de altura precipitada e duração dos eventos de precipitação, foi obtido o Fator de Erosividade (R), representado pelo índice EI30, em cada período (Tabela 4). Também é apresentado o valor anual de referência obtido pela ferramenta NetErosividade, apresentado por Moreira et al. (2008).

Tabela 4 - Fator de Erosividade (R) dado pelo índice EI₃₀ e valor de referência anual obtido através do NetErosividade.

Período	Área 1	Áreas 2 e 3
	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹
1	20,15	20,15
2	8,42	17,39
3	8,66	14,49
4	10,57	426,25
5	88,50	3,31
6	194,12	-----
Anual	2.331,00	

A erosividade anual apresentada nas áreas de estudo pode ser classificada como muito baixas, de acordo com as classes propostas por Santos (2008) e adaptadas por Back e Poletto (2018), abaixo de 2.500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Isso indica que as características da precipitação na região implicam em baixo potencial erosivo, observação constatada também através do NetErosividade, apresentado por Moreira et al. (2008). Mello et al. (2007), por sua vez, apresenta valores de erosividade para o estado de Minas Gerais variando entre 5.000 e 12.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, superiores ao obtido neste estudo. Para a região de Uberlândia – MG, Nascimento, Romão e Sales (2018) obtiveram valores de erosividade superiores a 11.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Porém, Estes resultados foram obtidos considerando os meses de outubro a abril, estação das chuvas, divergindo do período utilizado neste trabalho.

Os resultados dos testes de composição do solo realizados para as áreas de estudo e o fator de Erodibilidade (K) são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Textura do solo e erodibilidade (K)

Área	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	K (t ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
Área 1	35,0	10,0	55,0	0,008
Área 2	32,5	25,0	42,5	0,013
Área 3	32,5	25,0	42,5	0,013

As áreas 2 e 3 apresentam os mesmos resultados pois uma está contida em outra. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2017), o Fator de Erodibilidade pode ser determinado em um intervalo entre 0 e 1. Os valores obtidos para a região de estudo podem ser considerados como baixos, de acordo com Carvalho (1994), que enquadra nesta categoria valores abaixo de

0,15 t ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ e indica solo com menor susceptibilidade a ocorrência de processos erosivos.

Em um estudo de seis solos do município de Lavras, Oliveira e Bahia (1984) obtiveram para o horizonte superficial de Latossolos valores de fator K entre 0,002 e 0,004, se caracterizando como os menos susceptíveis à erosão. Silva et al. (2010) observaram valores do Fator K para latossolos no Vale do Rio Doce que também indicam solo com baixa propensão a ocorrência de processos erosivos. Apesar dos resultados encontrados serem também classificados como baixos, observa-se que os fatores obtidos por Oliveira e Bahia (1984) e Silva, Silva, Curi, Avanzi & Leite (2011) são inferiores aos calculados para as áreas de estudo. Tais características podem indicar a alteração das características naturais da composição do solo nas áreas de estudo, visto que se diferem neste quesito das áreas estudadas por outros autores. Considerando as intervenções antrópicas ocorridas antes do início desta pesquisa, uma vez que as áreas se encontram em uma universidade em expansão, é possível que as camadas superficiais de solo tenham sido substituídas e estruturas através de processos de corte e aterro do solo.

Estimativa da perda de solo

As configurações dos levantamentos coletados pelo VANT e processados no software Agisoft Photoscan são apresentados na Tabela 6. Cabe destacar que as resoluções foram definidas automaticamente pelo software. Observa-se a viabilidade de obtenção de dados com resolução espacial superior às geradas por satélite e disponibilizadas gratuitamente na internet, como as dos satélites imageadores LandSat, CBERS, ResourceSat e outras oferecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, cuja resolução mínima apresentada é de 30 metros. O aumento na altura de voo resulta em uma ampliação da área abrangida por cada voo e, conseqüentemente, diminui o número de fotos necessárias para cobrir a área de interesse e o tempo médio de processamento dos dados.

Tabela 6 – Configurações dos levantamentos realizados por VANT nas três áreas de estudo.

	Área 1			Área 2 e Área 3		
Altura de Voo (m)	20	70	120	20	70	120
Resolução Espacial MDE (m)	0,03	0,06	0,12	0,03	0,06	0,12
Resolução Espacial Ortofoto (m)	0,008	0,03	0,05	0,008	0,03	0,05
Número de Fotos	93	45	36	93*	33*	30*

* Números referentes apenas à área 2.

O MDE apresenta a amplitude altimétrica da região e, através deles, é possível obter informações de maior relevância para o entendimento da dinâmica hídrica e erosiva da região, como a declividade local, apresentada na Figura 3. A elevação mínima da área 1 foi de 318,7 m e a máxima de 387,8 m; na área 2, a elevação mínima foi de 369,4 e a máxima de 372,4; e na área 3 a elevação mínima foi de 369,6 e a máxima de 372,4. As áreas de estudo se enquadram, em sua maioria, nas classes de relevo ondulado e suavemente ondulado, com base na Classificação de Declividade da EMBRAPA (1979), com existência ainda de áreas de relevo forte ondulado, montanhoso e forte montanhoso, conforme exposto na Tabela 7. Foram identificadas regiões com indicação de declividade montanhosa e forte montanhosa, entretanto, ao analisar também os ortomosaicos apresentados, notou-se a existência de indivíduos arbóreos de médio porte, indicando que estes podem ter interferido no processo de classificação da declividade.

Figura 3 - Declividade das áreas de estudo 1 (A), 2 (B) e 3 (C).

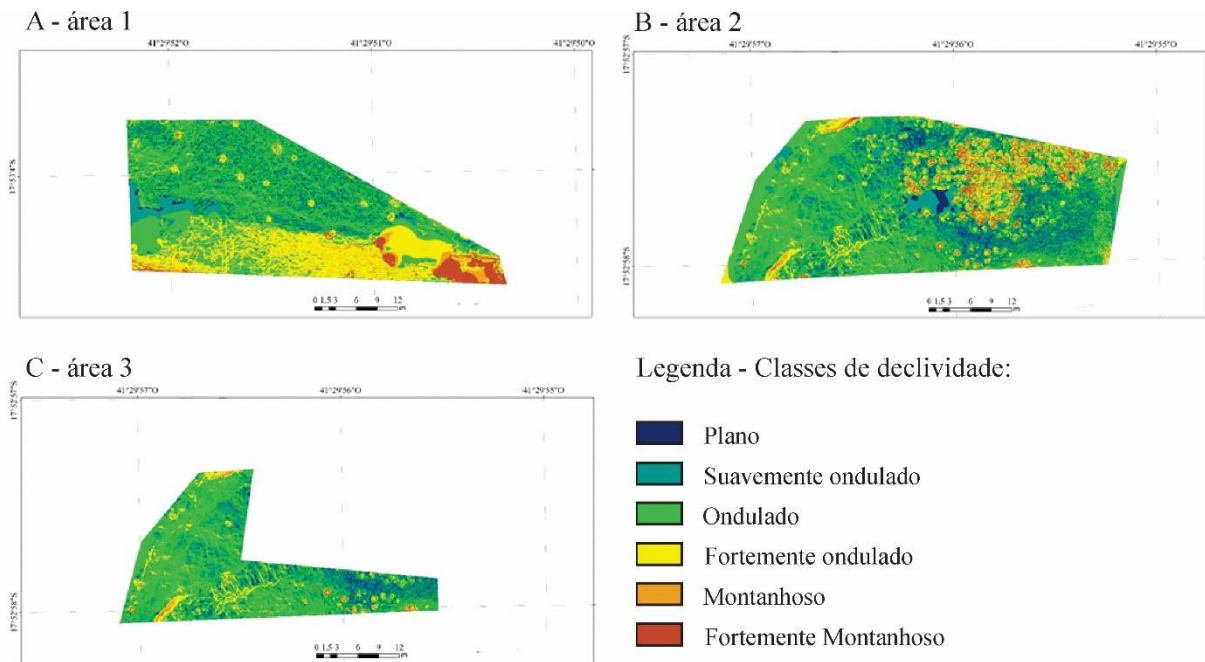


Tabela 7 – Percentagem de área por classe de declividade (%)

	Área 1	Área 2	Área 3
Plano	5,0	7,7	5,7
Suavemente Ondulado	23,3	30,2	29,3
Ondulado	38,3	42,7	53,9
Fortemente Ondulado	24,9	12,0	9,1
Montanhoso	4,6	3,7	1,3
Forte montanhoso	3,9	3,7	0,7

Conforme Amorim, Silva, Pruski e Matos (2001) apontam, a energia cinética presente no escoamento superficial da chuva aumenta com o aumento da declividade. Isso indica que os locais de maior declividade tendem a estar mais susceptíveis à ocorrência de processos de perda de solo, ocorrendo a deposição onde a energia cinética do escoamento não é mais suficiente para a manutenção das partículas em suspensão, em áreas de menor declividade. Santos, Caldas e Silva (2019) observaram que regiões de relevo plano apresentam baixa susceptibilidade à erosão laminar. Além disso, obtiveram resultados de erosão moderada para regiões de declividade superior a 30%, equivalente a classe de relevo fortemente ondulado e superiores. Observou-se que, apesar de poucas áreas superiores a 30%, os processos erosivos foram intensos, sendo justificado pelo alinhamento da declividade moderada (suavemente ondulado e ondulado) com a escassez de cobertura vegetal.

Machado, Loss, Bacic, Dortzbach & Lalane (2017) apresentam vulnerabilidade à perda de solo para classes ondulada e fortemente ondulada, estando estas classes em zonas de transição entre o estável e instável para a movimentação do solo. Estas classes predominam nas áreas deste estudo e a instabilidade do solo pode ser aumentada pela ausência da cobertura vegetal, intensidade das chuvas e uso da terra. Nenhuma prática conservacionista é aplicada às regiões de estudo, conforme observado nas visitas a campo e pelas imagens aéreas. Tal condição implica em valor 1 para o parâmetro P da Equação Universal da Perda de Solo. A ausência de práticas conservacionistas e o baixo percentual de cobertura vegetal aumentam a tendência de ocorrência de processos erosivos e consequente perda de solo, conforme apontam Baldassarini e Nunes (2018) e Sousa, Palácio, Ribeiro Filho, Araujo Neto & Moura (2016), contribuindo para elevada movimentação de solo na região.

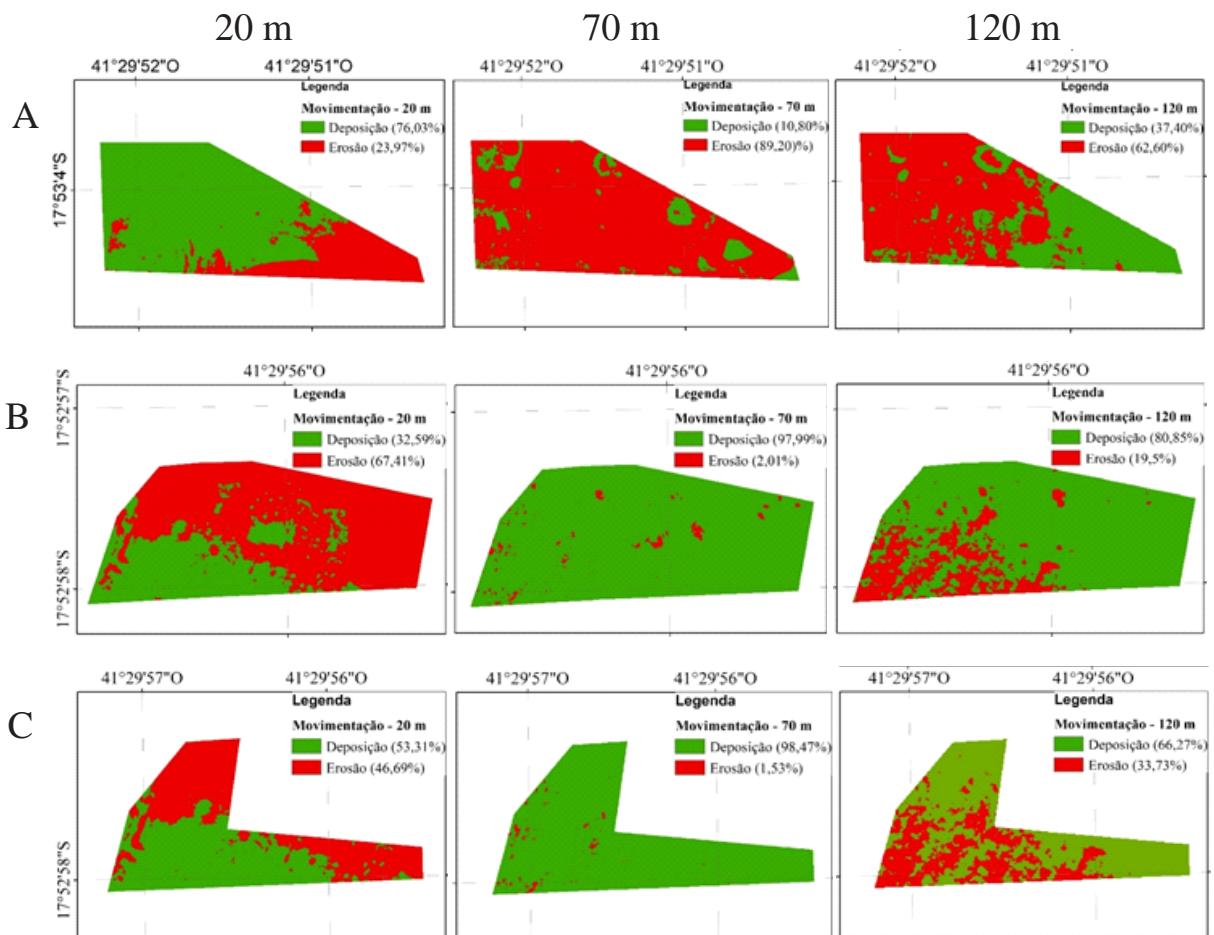
A subtração do MDE entre dois períodos subsequentes permitiu analisar o comportamento da movimentação do solo neste intervalo. Os pontos com diminuição na sua elevação inicial sofreram erosão e o acréscimo na elevação indicou regiões de deposição de partículas. Na Figura 4, apresentam-se as movimentações do solo para o período total das áreas de estudo 1, 2 e 3, respectivamente.

Observa-se que, mesmo ao analisarmos o mesmo período para as áreas, as diferentes alturas de voo resultaram em interpretação totalmente diferente da movimentação do solo, inclusive quanto aos percentuais de cada ação. Tal observação indica diferente percepção dos sensores do VANT conforme modificação da altura do voo, podendo estar relacionada aos diferentes tamanhos de pixel gerados e conduzidos ao processamento. Para alguns dados, em

especial em voos realizados a 120 metros, a ocorrência de perda de solo se dá principalmente nas regiões de declividade elevada, em concordância com Joshi e Tambe (2010) que apresentaram perda de partículas mais elevada em regiões mais declivosas.

Carvalho (2012) indica que a boa cobertura vegetal do solo contribui para a diminuição dos processos erosivos. No caso da área 1, pontos de cobertura vegetal rasteira foram classificados em duas das alturas de voo como áreas de erosão. Apenas no voo a 20 metros, as regiões da área 1 cobertas por vegetação rasteira foram identificadas como áreas de deposição de partículas de solo.

Figura 4 - Movimentação do Solo por altura para Período Total nas áreas de estudo: 1 (A), 2 (B) e 3 (C) em três alturas de voo distintas, 20, 70 e 120 m.



A comparação entre áreas as 2 e 3 visou analisar a interferência da vegetação existente na identificação das áreas de erosão e deposição. Conforme observa-se na Figura 4 B, as regiões centrais com ocorrência de vegetação foram identificadas como áreas de deposição de

partículas. A redução da declividade e o crescimento dos arbustos podem corroborar com tal fato. Pruski (2006) afirma que a maior parte do transporte das partículas desagregadas se dá pelo escoamento superficial, em função da sua velocidade de escoamento. A deposição se dá quando o escoamento superficial já não possui energia suficiente para o transporte das partículas, ocorrendo, em grande parte, nas áreas de menor declividade.

Além disso, o crescimento da vegetação ao longo do período de estudo pode ter contribuído para a identificação de áreas de deposição elevadas, uma vez que a cada voo há um acréscimo na altitude daquele ponto. A remoção das áreas de vegetação rasteira existentes na área 2 pela delimitação da área 3 gerou, então, alteração no percentual de ocupação por classe a cada voo. Esperava-se um aumento na proporção ocupada pela classe de erosão, no entanto, não foi comprovada pelos resultados, indicando que, para este caso, a presença da vegetação rasteira não foi suficiente para alterar a dinâmica do solo apresentada por cada voo.

O cálculo do volume da perda de solo para as áreas de estudo apresentou variações inconstantes de acordo com a altura de realização do voo (Tabela 8). Ao alterar a altura, parâmetros fotogramétricos também são alterados, modificando a área de cobertura inserida dentro de cada pixel. Sopchaki et al. (2018) afirmam que existem erros que podem estar ligados a qualidade planimétrica, sendo relacionados com o deslocamento da imagem no espaço ou ainda deslocamentos internos a imagem. Isso significa que, a cada altura de voo, a posição dos pixels pode ter sido alterada, gerando variações na perda de solo por unidade e, conseqüentemente, na perda de solo total. Valores negativos para a perda de solo indicam períodos nos quais a deposição é superior às perdas de partículas de solo. Moro (2011) afirma que nem todo material mobilizado dentro de uma área de estudo é transportado para fora dela, podendo, de acordo com as características do solo e da precipitação, ser depositado dentro da mesma área. Considerando ainda que as áreas de estudo não estão isoladas de seus arredores, é possível que partículas de solo das adjacências sejam carregadas e depositadas nos limites de suas áreas.

O comportamento apresentado pela movimentação do solo nas áreas, no entanto, impossibilita assegurar a influência da cobertura vegetal na perda ou deposição de solo, visto que as variações apresentadas são desconsideráveis, na maior parte dos casos. Esta situação conflita com o exposto por Pinheiro, Santos, Palácio, Neto & Andrade (2018), que apresentam análise de um mesmo solo, com cobertura vegetal e com superfície exposta, encontrando perda de solo 17 vezes maior no solo sem cobertura vegetal. Apesar da rápida expansão das aplicações

de VANT para monitoramento ambiental, apontada por Manfreda et al. (2018), metodologias para a geração e manipulação dos dados ainda estão sendo desenvolvidas e testadas, possibilitando a ocorrência de erros em seu processo, especialmente relacionados ao controle das variáveis e do processamento dos dados.

Tabela 8- Movimentação de Solo nas três áreas de estudo em função da altitude de voo.

Período	Área 1		Área 2		Área 3	
	Altitude (m)	PS (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	PS (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	PS (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	PS (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	PS (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)
1	20	-423,4	3325,5	2916,9		
	70	-417,7	-1125,9	2916,9		
	120	162,3	-1977,2	-1284,8		
	USLE 1	15,9	4,6	4,8		
2	20	3874,9	1759,3	1707,0		
	70	1064,6	-161,2	136,2		
	120	2063,9	202,0	515,3		
	USLE 1	6,4	3,9	4,3		
3	20	989,7	-821,7	-1884,1		
	70	-8,6	-456,3	-279,2		
	120	-1461,0	7012,0	4708,0		
	USLE 1	7,2	3,2	3,4		
4	20	175,0	-3019,1	-1305,3		
	70	-316,0	-933,0	-415,4		
	120	1014,0	-6898,5	-4855,5		
	USLE 1	8,8	97,4	102,3		
5	20	-95,3	694,6	-1511,8		
	70	-435,8	494,9	-25,0		
	120	1554,7	308,8	490,3		
	USLE 1	70,1	0,7	0,7		
6	20	-2276,8	-----	-----		
	70	2008,9	-----	-----		
	120	-3484,0	-----	-----		
	USLE 1	154,5	-----	-----		
Período Total	20	6743,1	5610,7	-195,7		
	70	5989,6	-6295,7	-3118,5		
USLE 2	120	-441,9	-3947,0	-1226,5		
	USLE 2	2234,9	538,5	251,3		

Para avaliar a relação entre a altura de voo e a qualidade dos resultados, utilizou-se o software Past para a geração dos modelos que melhor se adequassem aos resultados obtidos (Tabela 9).

A Área 1 apresentou modelos de alta complexidade – grau quatro – para todas as alturas avaliadas, sendo este o melhor ajuste independente das alturas. A 20 m, apesar da alta complexidade, o modelo apresenta significância a 5%, sendo esta a altura de voo indicada de acordo com os resultados desta área. A Área 2 apresenta modelos de primeiro grau para as

alturas 20 m e 70 m. Para voos realizados a 120 m, o modelo que melhor representa é o de quarto grau. Neste caso, no entanto, apenas o voo a 70 m apresentou significância a 5%. Já na Área 3, o modelo de primeira ordem foi o que melhor se adequou a altura de 20 e 70 metros. Para as duas alturas, o modelo apresentou significância a 5%. Para 120 m, o modelo de terceira ordem é o mais recomendado, apesar de não apresentar significância.

Tabela 9 - Avaliação das alturas de voo.

Área - Altura	Modelo	p-valor	R ²
Área 1 – 20 m	$-0,01023x^4 + 2,739x^3 - 256x^2 + 10000x - 13365$	0,0443	0,9991
Área 1 – 70 m	$-0,002456x^4 + 0,6744x^3 - 64,17x^2 + 2514x - 33750$	0,1602	0,9885
Área 1 – 120 m	$-0,004302x^4 + 1,073x^3 - 91,82x^2 + 3300x - 40910$	0,5872	0,8274
Área 2- 20 m	$-2,11x + 5233$	0,0644	0,7319
Área 2- 70 m	$-12,49x - 918,3$	0,0302	0,8339
Área 2 – 120 m	$0,06207x^3 - 17,01x^2 + 1382x - 29790$	0,4396	0,8755
Área 3 – 20 m	$-33,55x + 4703$	0,0423	0,7944
Área 3 – 70 m	$-6,816x + 3170$	0,0049	0,9491
Área 3 – 120 m	$0,04805x^3 - 12,88x^2 + 1028x - 21680$	0,3789	0,9086

Os resultados apresentados pelas áreas conduzem para a interferências das áreas na decisão da altura adequada para os voos. A complexidade dos modelos encontrados para a Área 1 pode estar relacionada à presença de interferências externas, que dificultam a identificação de um padrão de comportamento do solo com relação a perda de solo. Já a Área 3, composta basicamente por regiões de solo exposto, sem a presença de indivíduos arbóreos ou construções, apresentou os melhores resultados quando comparados às demais áreas, podendo ser descritos para 20 m e 70 m através de modelos do primeiro grau. Isso indica que a análise em solos sem perturbações causadas por elementos externos é a mais apropriada para o estudo da perda de solo. Avaliando a influência da altitude na geração de modelos digitais de elevação, Yusoff, Darwin, Ariff & Idris (2018) identificaram maior precisão em condições de voo mais elevadas, sendo o melhor resultado obtido à altura máxima avaliada – 60 m. Tal resultado aponta que a realização de voos em faixas de altitudes intermediárias (60 a 70 m) pode contribuir para a qualidade das análises espaciais.

Para avaliar os valores de perda de solo obtidos para cada período, aplicou-se a correlação de Pearson (Tabela 10). A análise foi realizada utilizando a USLE 1 e o melhor modelo para cada área. O voo realizado a 20 m para a área 1 apresentou correlação negativa de 0,04, considerado por Cohen (1988) como correlação média. Os voos realizados a 70 m para as áreas 2 e 3 apresentaram correlação negativa superior a 0,90, podendo ser considerados como

uma forte correlação entre os dados, de acordo com Dancey e Reidy (2008). Tais resultados indicam um melhor desempenho de voos a 70 m para a quantificação da perda de solo.

Tabela 10 – Índices de Correlação de Pearson para a USLE 1.

USLE 1		
	p-valor	Correlação (r)
Área 1 – 20 m	0,93	-0,04
Área 2- 70 m	0,03	-0,91
Área 3 – 70 m	0,01	-0,95

A baixa altura de voo exige maior precisão no georreferenciamento, podendo causar interferências nos resultados da movimentação do solo. Reberte et al. (2016), ao analisar a influência da altura na geração de ortomosaicos com drones identificou erro médio superior ao erro teórico ao avaliar voos a 50 metros, indicando erros de pontaria no processo de geoprocessamento como uma das possíveis causas de desvios.

Por fim, para avaliar a perda de solo anual e a aplicabilidade na quantificação no volume total de solo movimentado, comparou-se os valores obtidos na melhor altura de cada área e comparou-se estatisticamente com a USLE 2, calculada com base em valores de referência (Tabela 11).

Tabela 11 – Avaliação da Perda de Solo Total e variação (Perda de solo – USLE 2).

	Perda de solo (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	USLE 2 (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Variação (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)
Área 1 – 20 m	6743,12	2234,86	4508,26
Área 2- 70 m	-6295,67	538,53	-6834,2
Área 3 – 70 m	-3118,48	251,33	-3369,81
Erro médio	3925,38	618,89	3355,90
Desvio padrão	6798,97	1071,95	5812,59

A aplicação da metodologia para quantificação da perda de solo resultou em grandes variações quando comparadas à USLE 2, que estimou a Perda de Solo Anual (PSt) para as áreas. A Área 1 apresentou a maior (PSt) pelas duas metodologias avaliadas e a Área 3 apresentou a menor variação. A Área 1 demonstrou maior percentual de cobertura por regiões de declividade superior a 45%, podendo estar relacionada ao maior volume de solo movimentado, considerando que o relevo é um fator decisivo no processo erosivo já que regula a velocidade e o volume do escoamento superficial e, conseqüentemente, a quantidade de solo e água

perdidos por erosão hídrica (Silva et al., 2011). A Área 3, por sua vez, possui a menor (PSt) entre as situações observadas e também a menor variação. Tal resultado pode estar relacionado ao menor tamanho da área comparada com as demais e na ausência de elementos externos causando interferências no cálculo da perda de solo.

Conclusões

- Os resultados obtidos neste trabalho indicam que voos realizados em até 70 m de altura permitem observar uma relação de primeira ordem entre perda de solo acumulada e dias avaliados. A altura de 20 m é a altura mais segura para a realização dos voos uma vez que apresentou significância para as 3 áreas analisadas. Já os voos a 120 m não são recomendados, pois não apresentaram significância em nenhuma das condições avaliadas.
- A presença de vegetação e interferências externas dificultou a modelagem dos resultados e é fator de impacto negativo. A aplicação destes procedimentos em regiões compostas basicamente por solo exposto e sem a presença de elementos externos pode contribuir para estimar a perda de solo e identificar áreas suscetíveis a processos erosivos.
- A quantificação da perda de solo precisa ser otimizada a fim de apresentar menor variação entre a realidade e oferecer resultados que descrevem com qualidade a situação enfrentada em campo. A presença de vegetação interferiu nos cálculos de volume da perda de solo movimentada, trazendo valores discrepantes do esperado pelas características locais.
- Investigações futuras podem aplicar esta metodologia a áreas de estudo controladas, com cercamento da área e controle da cobertura vegetal, a fim de implementar melhorias e possibilitar a calibração desta técnica para quantificação da movimentação do solo.

Referências bibliográficas

- Alewell, C., Borrelli, P., Meusburger, K. & Panagos, P. (2019). Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(3), 203-225. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>
- Amorim, R. S. S., Silva, D. D., Pruski, F. F. & Matos, A. T. (2001). Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos.

- Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 5(1), 124-130.
<https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000100023>
- Asadi, H., Ghadiri, H., Rose, C. W. & Rouhipour, H. (2007). Interril soil erosion processes and their interaction on low slopes. *Earth Surface Process. Landfoms*, 32(5), 711-724.
<https://doi.org/10.1002/esp.1426>
- Back, A. J. & Poleto, C. (2018). Distribuição espacial e temporal da erosividade das chuvas no estado de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 22, 381-403.
- Baldassarini, J. S. & Nunes, J. O. R. (2018). Estimação da Perda de Solo por processos erosivos utilizando pinos de erosão no interior do estado de São Paulo. *Revista Franco-Brasileira de Geografia*, 38. <https://doi.org/10.4000/confins.16084>
- Barbosa, A. F., Oliveira, E. F., Miotto, C. L. & Filho, A. C. P. (2015). Aplicação da USLE em Softwares Livres e Gratuitos. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 38(1), 170-179.
http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_170_179
- Bertoni, J. & Lombardi Neto, F. (2017). *Conservação do Solo* (10ª ed.). São Paulo-SP: Ícone.
- Bolina, C. C., Silva, E. E. R., Souza, L. R. P., Macedo, M. A., Rodrigues, J. F. & Gomes, M. I. L. (2017). Sistema de Informações Geográficas: Estimativa da Erosão Laminar na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite – GO. *Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia*, 11(11), 328-353.
- Carvalho, A. C. B. (2012). *Avaliação da perda de solo por fluxo superficial em cultivos puro e consorciado* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil.
- Carvalho, M. P. (1987). *Erosividade da chuva: distribuição e correlação com as perdas de solo de Mococa – SP* (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil.
- Carvalho, N. O. (1994). *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro-RJ: Companhia de Pesquisa em Recursos minerais (CPRM).
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2 ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Colodro, G., Carvalho, M. P., Roque, C. G. & Prado, R. M. (2002). Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26(3), 809-818. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000300027>

- Dancey, C. P. & Reidy, J. (2008). *Estatística sem matemática para a psicologia*. Porto Alegre-RS: Penso.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. (1979). *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos*. Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro - RJ.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. (2012). *Coleta de Solo para Análise: Orientações*. Macapá - AP.
- Joshi, V. U. & Tambe, D. T. (2010). Estimation of infiltration rate, run-off and sediment yield under simulated rainfall experiments in upper Pravara Basin, India: Effect of slope angle and grass-cover. *Journal of Earth System Science*, 119, 763-777. <https://doi.org/10.1007/s12040-010-0055-0>
- Li, Z. & Fang, H. (2016). Impacts of climate change on water erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, 163, 94-117. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.10.004>
- Machado, L. N., Loss, A., Bacic, I. L. Z., Dortzbach, D. & Lalane, H. C. (2017). Vulnerabilidade à perda de solo na microbacia Lajeado Pessegueiro, Brasil. *Scientia Agropecuaria*, 8(2). <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.08>
- Manfreda, S., McCabe, M. F., Miller, P. E., Lucas, R., Madrigal, V. P., Mallinis, G., Toth, B. (2018). On the use on unmanned aerial system for environmental monitoring. *Remote Sensing*, 10(4), 641. <https://doi.org/10.3390/rs10040641>
- Manningel, A. R., Carvalho, M.P., Moreti, D. & Medeiros, L.R. (2008). Fator erodibilidade e tolerância de perdas de solo do estado de São Paulo. *Acta Scientiarum*, 24(5), 1335-1340. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v24i0.2374>
- Mello, C. R., Sá, M. A. C., Curi, N., Mello, J. M., Viola, M. R. & Silva, A. M. (2007). Erosividade média mensal e anual no estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(4), 537-545. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400012>
- Mendonça, H. F. P., Paterlini, E. M., Oliveira, F.S., Barbosa, R. P. & Santos, A. R. (2014). Estimativa de perda de solo por erosão laminar para o município de Iconha, Estado do Espírito Santo. *Enciclopédia Biosfera*, 10(19). Recuperado de <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/2335>
- Moreira, C. M., Pruski, F. F., Oliveira, T. E. C., Pinto, F. A. C. & Silva, D. D. (2008). NetErosividade MG: Erosividade da chuva em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, 1349-1353. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300042>

- Moro, M. (2011). *Avaliação do modelo LISEM na simulação dos processos hidrossedimentológicos de uma pequena bacia rural localizada nas encostas basálticas do RS* (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Nascimento, D. T. F., Romão, P. A. & Sales, M. M. (2018). Erosividade e erodibilidade ao longo da dutovia cortando os estados de Minas Gerais e Goiás – Brasil. *Ateliê Geográfico*, 12(1), 97-117. <https://doi.org/10.5216/ag.v12i1.46152>
- Oliveira, D. R., Cicerelli, R. E., Almeida, T. & Marotta, G. S. (2017). Geração de modelo digital do terreno a partir de imagens obtidas por veículo aéreo não tripulado. *Revista Brasileira De Cartografia*, 69(6). <https://doi.org/10.14393/rbcv69n6-44316>
- Oliveira, V. H. & Bahia, V. G. (1984). Erodibilidade de seis solos do município de Lavras usando o método do nomograma. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 19 (9), 1157-1162.
- Oltmanns, S., Marzolf, I., Peter, K. D. & Ries, J. B. (2012). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco. *Remote Sensing*, 4(11), 3390-3416. <https://doi.org/10.3390/rs4113390>
- Pinheiro, A. G., Santos, J. C. N., Palácio, H. A. Q., Neto, J. R. A. & Andrade, E. M. (2018). Eficiência da cobertura vegetal na redução das perdas de água e solo no município de Iguatu. *IRRIGA – Brazilian Journal of Irrigation and Drainage*, 23(1), 133-142. <https://doi.org/10.15809/irriga.2018v23n1p133>
- Pruski, F. F. (2006). *Conservação de Solo e Água*. Viçosa - MG: UFV.
- Reberte, J. C. B., Moreira, L. M. F., Pereira, M. A., Botelho, M. F., Silva, J. M., & Molina, P. C. (2016, setembro). Avaliação da influência da altura de voo de um drone na geração de ortofoto utilizando o software Photoscan. In *Anais do V Simpósio de Pós-Graduação do Instituto Federal Sul de Minas*, Pouso Alegre, MG.
- Santos, C. N. (2008). *El Niño, La Niña e a erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul* (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.
- Santos, J. P. C., Caldas, V. I. S. P. & Silva, A. S. (2019). Suscetibilidade a Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica Lagos – São João, no Estado do Rio de Janeiro – Brasil, a partir do Método AHP e Análise Multicritério. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(4), 1415-1430. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.4.p1415-1430>

- Silva, N. C. & Condé, T. R. P. (2018). *Caracterização dos Solos. Estudo de Caso: Campus do Mucuri UFVJM* (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, MG, Brasil.
- Silva, M. A.; Silva, M. L. N.; Avanzi, J. C.; Oliveira, A. H.; Lima, G. C.; Curi, N. & Leite, F. P. (2010, agosto). Erodibilidade de latossolos no vale do rio doce, região centroleste do estado de Minas Gerais. In *Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, Uberlândia, MG.
- Silva, M. A.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Avanzi, J. C. & Leite, F. P. (2011). Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce, MG. *Ciência Florestal*, 21(4), 765-776. <https://doi.org/10.5902/198050984520>
- Singh, G. & Panda, R. K. (2017). Grid-cell based assessment of soil erosion potential for identification of critical erosion prone areas using USLE, GIS and remote sensing: A case study in the Kapgari watershed, India. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(3), 202-211. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.006>
- Sopchaki, C. H., Paz, O. L. S., Graça, N. L. S. S. & Sampaio, T. V. M. (2018). Verificação da qualidade de ortomosaicos produzidos a partir de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada sem o uso de pontos de apoio. *RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise*, 43, 200-214. <https://doi.org/10.5380/raega.v43i0.56564>
- Sousa, M. M. M., Palácio, H. A. Q., Ribeiro Filho, J. C., Araujo Neto, J. R. & Moura, M. M. S. (2016). Influência da cobertura vegetal nas perdas de solo e água em parcelas de erosão no semiárido brasileiro. *Revista Geonorte*, 7(26), 160-171.
- Tarigan, A. P. M, Suwardhi, D., Fajri, M. N. & Fahmi, F. (2017). Mapping a Volcano Hazard Area of Mount Sinabung Using Drone: Preliminary Results. *IOP Conference Series: Materials, Science and Engineering*, 180. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/180/1/012277>
- Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. (1958). Rainfall energy and its relationship with soil loss. *EOS Transactions American Geophysical Union*, 39(2), 285-291. <https://doi.org/10.1029/TR039i002p00285>
- Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (Agriculture handbook, 537). Washington, DC: USDA.
- Yusoff, A. R., Darwin, N., Ariff, M. F. M. & Idris, K. M. (2018). Comprehensive Analysis of flying altitude for high resolution slope mapping using UAV technology. *The International*

Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-3/W4, 583-589. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-583-2018>

Publisher: Universidade Federal de Jataí. Instituto de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFJ. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores: Luan Viana dos Santos: Conceituação, Análise formal, Investigação, Validação, Escrita – rascunho original; Rafael Alvarenga Almeida: Conceituação, Análise formal, Investigação, Validação, Escrita – revisão e edição; Daniel Brasil Ferreira Pinto: Conceituação, Análise formal, Escrita – revisão; Camila de Sousa Queiroz Almeida: Análise formal, Escrita – revisão e edição. Declaramos ainda ciência das Diretrizes Gerais da Geoambiente On-line.

Financiamento: Bolsa de pós-graduação nível Mestrado vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade (PPGTAS) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio do Processo APQ 427163/2018-8

Conflito de interesse: Os autores declaram que não possuem interesses financeiros ou não financeiros relevantes relacionados a este trabalho.