

## ESTIMATIVA DO FATOR C DA USLE ATRAVÉS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) EM SUB-BACIA DO RIO MOGI GUAÇU

Anna Hoffmann Oliveira<sup>1</sup>, Gustavo Klinke Neto<sup>2</sup>, Sueli Yoshinaga Pereira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de São Carlos, annahoffmann@ufscar.br; <sup>2</sup>Universidade Estadual de Campinas, gus.klinke@gmail.com, sueliyos@ige.unicamp.br

### Resumo

A cobertura vegetal impacta de forma determinante a intensidade do processo erosivo sobre o solo. A análise da vegetação na modelagem da erosão pela Equação Universal de Perdas de Solo (Universal Soil Loss Equation - USLE) (Wishmeier & Smith, 1978) é dada pelo fator C, cuja obtenção em campo é complexa, morosa e de elevado custo. Assim, o objetivo do presente estudo foi analisar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), que considera a refletância da vegetação, para estimativa do fator C. Verificou-se que o NDVI foi eficiente em avaliar as variações de densidade das diferentes coberturas vegetais presentes e pode ser utilizado na análise do fator C, contudo adequações de escala e referências de campo presentes na literatura devem ser ponderadas para uma real representação do fator C.

### Introdução

A vegetação é considerada a variável mais importante no desenvolvimento do processo erosivo, uma vez que protege o solo contra o impacto das gotas de chuva, melhora a estrutura do solo pela matéria orgânica e diminui o escoamento superficial da enxurrada (Bertol et al., 2019). Dessa forma, a espécie vegetal, seus aspectos físicos e morfológicos (tipo, densidade, grau de desenvolvimento, arquitetura da planta, índice de área foliar, etc) e sua alteração sazonal são fatores de elevada importância na redução da erosão.

A Equação Universal de Perdas de Solo (Universal Soil Loss Equation - USLE) (Wishmeier & Smith, 1978) é o principal método utilizado na estimativa da erosão. O fator C expressa a cobertura do solo na USLE e representa a relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado sob determinado manejo e as perdas correspondentes em um terreno mantido continuamente descoberto (Wishmeier e Smith, 1978). O cálculo do fator C envolve os dados gerados nas parcelas padrão, utilizados para estabelecer a razão de perdas de solo em cada estágio da vegetação, e os valores de erosividade da chuva, o que demanda pesquisas de longo prazo para cada vegetação e manejos específicos. Conforme destaca Bertol et al. (2019), é o fator mais complexo e difícil de ser obtido.

Neste sentido, métodos atualmente disponíveis que consideram a refletância da vegetação têm apresentado satisfatória precisão em estudos de erosão hídrica (Lima et al., 2013; Silva et al., 2013; Carvalho et al., 2014; Silva et al., 2017). Os índices de vegetação permitem analisar a presença e condição da vegetação com base nos padrões característicos de refletância da vegetação verde, sendo o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) um dos mais significativos e utilizados. Além da redução da morosidade e custo da avaliação direta deste fator no campo, a análise da cobertura vegetal através da aplicação de técnicas de geoprocessamento permite a substituição dos valores médios por valores distribuídos, ou seja, valores específicos para cada unidade de área (pixel). Assim, o objetivo do presente estudo foi analisar o NDVI para a obtenção do fator C da USLE.

### Materiais e Métodos

A área do projeto está inserida às margens do Rio Mogi Guaçu, no município de Mogi Guaçu, Estado de São Paulo. A área de estudo possui 1.296,9 ha e está localizada no Complexo de Unidades de Conservação de Mogi Guaçu (CUCMG), composto pela Estação Ecológica (EEc), Estação Experimental (EEx) e Instituto de Botânica (IB), e administrado pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo (IF).

O clima definido para a área varia, de acordo com a classificação de Koppen, entre clima Aw (clima tropical com estação seca de inverno e chuvosa no verão) e clima Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente). O CUCMG está situado na zona de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica, com características bióticas de ambos, podendo ser considerada um ecótono. A área inclui também uma importante parcela da Área de Preservação Permanente (APP) do Rio Mogi Guaçu, de suas sub-bacias e mananciais.

O trabalho foi realizado em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software ArcGIS 10.2 (ESRI, 2014) para dar suporte às análises de geoprocessamento. A informação acerca da cobertura do solo foi obtida através da interpretação de imagens do satélite CBERS 4 pancromática de 10/01/2016, com resolução de 5 metros, disponibilizadas gratuitamente pelo site da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A imagem passou por um pré-tratamento (equalização), onde foi feita uma composição das bandas de interesse e em seguida realizado o registro da imagem “mapa para mapa” com auxílio da imagem GeoCover disponibilizada pela National Aeronautics and Space Administration (NASA). O mapa de uso do solo e cobertura vegetal foi gerado pelo método de classificação supervisionada multivariada de Máxima Verossimilhança do software ArcGIS 10.2. Tais informações foram complementadas com observações de campo.

Com a imagem do sensor CBERS-4 multiespectral com resolução de 10 metros foi realizada a análise da vegetação através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), onde foi composta a imagem na faixa do visível (R: banda 3, G: banda 2, B: banda 1) e processado o NDVI com as bandas 3 (refletância no vermelho - V) e 4 (refletância no infra-vermelho próximo - IV) (ASRAR et al., 1984):  $NDVI = (IV - V) / (IV + V)$ . Este índice detém a habilidade de minimizar efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida, a qual varia de -1 (ausência de vegetação) a +1 (alta densidade de vegetação). O solo nu é representado com valores de NDVI que são os mais próximos de 0 e os corpos d'água são representados com valores negativos de NDVI.

Os valores de fator C variam de 0 (alta densidade de vegetação) a 1 (ausência de vegetação). Apesar de não terem a mesma proporcionalidade, a escala do fator C é inversa à do NDVI. Uma vez que o NDVI não apresentou valores negativos no presente estudo, foi proposta a equação: Fator C = - NDVI/100. As estradas foram mapeadas no mapa de uso e ocupação e transpostas para a imagem multiespectral, considerando a baixa visualização das mesmas na imagem multiespectral para as análises de NDVI e sua importância nas perdas de solo de uma bacia de uso florestal. Neste caso, atribuiu-se o valor de fator C igual a 0,1 e não 1 (solo descoberto e revolvido) (Bertoni & Lombardi Neto, 2005), devido à compactação do solo na estrada que o protege da perda excessiva por erosão hídrica comparado ao solo revolvido (arado e gradeado).

## Resultados e Discussão

As principais formações vegetais ou fitofisionomias encontradas no CUCMG são: Floresta Estacional Semidecidual Submontana (Mata Atlântica) (FESD), a Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Mata Galeria) (FESDA), Savana (Cerrado) e a Vegetação com

influência fluvial, que compreende as várzeas e os campos úmidos. As áreas úmidas (vegetação com influência fluvial) estão localizadas em área de transição da floresta e margem dos cursos de água. O mapeamento do uso das terras pode ser observado na Figura 1.

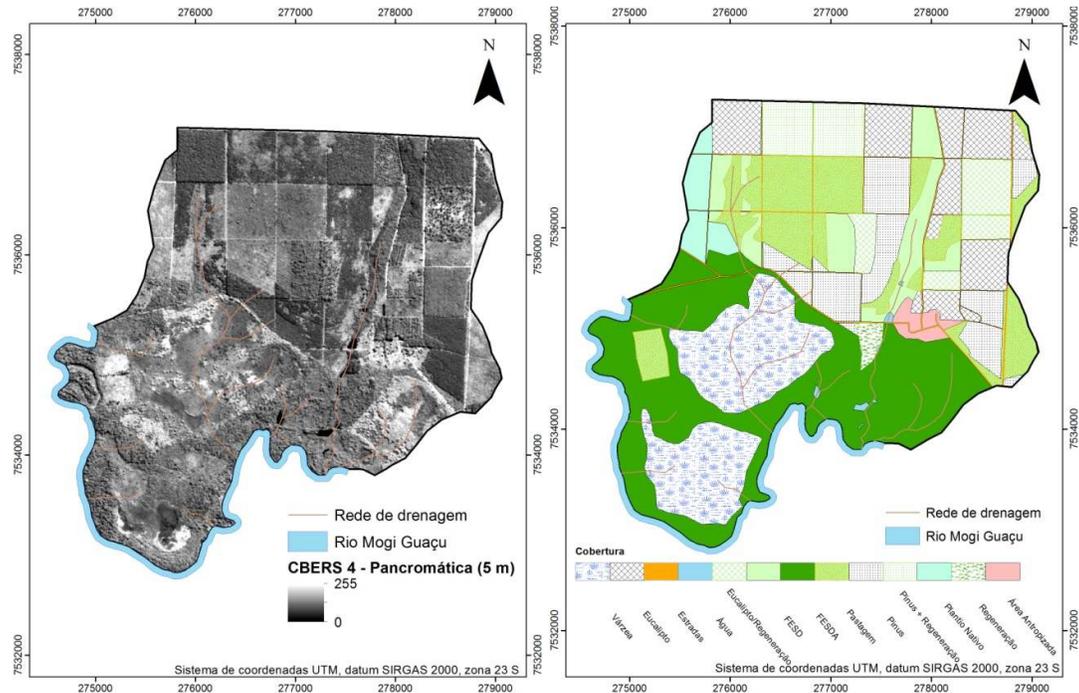


Figura 1 – Imagem CBERS-4 de 10/01/2016 e mapa de cobertura do solo na sub-bacia de estudo.

Foram definidas as seguintes classes de mapeamento de usos e cobertura do solo na sub-bacia: florestas nativas (FESD e FESDA), plantio nativo, regeneração, florestas plantadas de Pinus, florestas plantadas de Pinus + regeneração, florestas plantadas de Eucalipto, florestas plantadas de Eucalipto + regeneração, pastagem, várzea, área antropizada, corpos d'água e estradas (Figura 1). A FESDA representa a maior parte do uso na sub-bacia, com 363,73 ha, seguida da várzea e pastagem (Tabela 1). As florestas ocupam aproximadamente 67% da sub-bacia, sendo que as coberturas florestais nativas (FESDA, FESD, plantio nativo e regeneração) alcançam 38,1% da área, enquanto as florestas plantadas (eucalipto, pinus, eucalipto + regeneração e pinus + regeneração) ocupam 28,6%. A cobertura designada “regeneração” compreende áreas derivadas do plantio de espécies nativas com a finalidade de recuperar a vegetação local. Junto às florestas plantadas, o termo “regeneração” refere-se ao crescimento espontâneo de espécies nativas. As áreas de várzea compreendem as planícies aluviais inundáveis cobertas por vegetação arbustiva com a presença esparsa de lianas e herbáceas.

Ao analisar a intensidade das atividades fotossintéticas pelo NDVI verificou-se que a vegetação com maior quantidade de biomassa, identificada pelos tons mais claros de cinza (valores mais elevados), são mais frequentes na parte inferior da sub-bacia, ocupada por FESDA, comparada à parte alta, ocupada por cobertura vegetal de média a baixa densidade (tons mais escuros de cinza) representada principalmente pelas florestas plantadas e pastagens (Figura 2). Os menores valores de NDVI caracterizam regiões de solo exposto referentes às

áreas de regeneração e pastagens degradadas, portanto, são regiões mais propensas à erosão hídrica. Há ainda áreas sem vegetação referentes às estradas e corpos d'água, ou muito pouca vegetação como as várzeas, as quais apresentam baixos valores de NDVI.

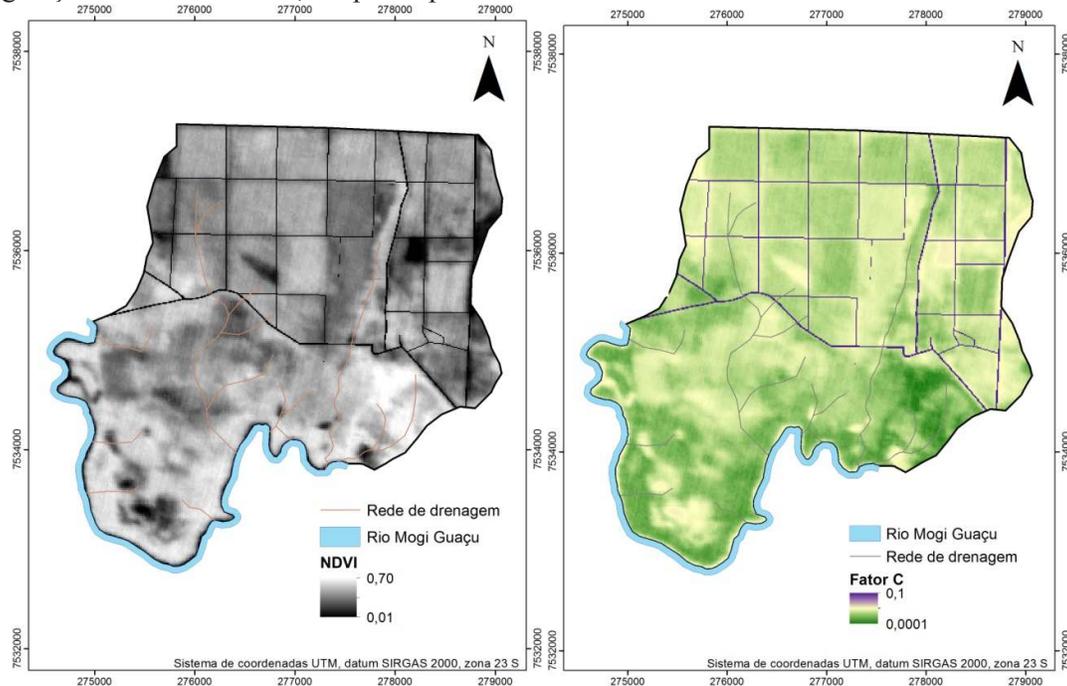


Figura 2 – Mapa da análise do NDVI e do fator C na sub-bacia de estudo.

Tabela 1- Área e média do fator C nos usos do solo da sub-bacia.

Uso do solo	Área (ha)	Média Fator C
Água	2,72	0
Área antropizada	14,57	0,0042
Várzea	208,94	0
Estradas	24,96	0,1000
Eucalipto	141,70	0,0021
Eucalipto + regeneração	57,20	0,0018
FESD	85,65	0,0022
FESDA	363,73	0,0007
Pastagem	181,33	0,0001
Pinus	119,04	0,0002
Plantio nativo	36,05	0,0024
Regeneração	8,18	0,0004
Pinus + regeneração	52,86	0,0030

O fator C varia de 0 a 1 de acordo com a erosividade e a erodibilidade, aproxima-se de zero nos sistemas de manejo conservacionistas e de 1, nos sistemas não conservacionistas. O fator C médio estimado através do NDVI (Figura 2) variou de 0,0001 para pastagem a 0,042 nas áreas antropizadas, onde há plantio de pomar (Tabela 1). Estes resultados são inferiores aos estimados por Carvalho et al. (2014) através do NDVI. Contudo, os valores estão próximos ao citado para mata nativa por Silva et al. (2010), de 0,0004, em comparação aos

estimados no presente estudo para as florestas nativas FESD e FESDA, referencial de sistema em equilíbrio, onde o fator C médio foi de 0,0022 e 0,0007 (Tabela 1).

Para os plantios de eucalipto e pinus, com e sem regeneração, e pastagens, os valores de fator C obtidos foram mais baixos aos mencionados por Silva et al. (2010) para reflorestamento de eucalipto, o que condiz com a realidade local, já que os plantios e a pastagens são não comerciais e não manejados, aumentando a proteção do solo pelo livre desenvolvimento da cobertura e regeneração natural. As pastagens não degradadas apresentam boa cobertura do solo e um sistema de raízes que ajuda na agregação e infiltração de água no solo, podendo apresentar valores de fator C abaixo dos encontrados em florestas (Tabela 1).

### Conclusão

Verificou-se que o NDVI foi eficiente em avaliar as variações de densidade das diferentes coberturas vegetais presentes e pode ser utilizado na análise do fator C, contudo adequações de escala e referências de campo presentes na literatura devem ser ponderadas para uma real representação do fator C sem que se gere uma superestimativa nas perdas de solo derivadas.

### Agradecimentos

À CAPES e ao CNPq, pela concessão das bolsas de estudo aos autores deste trabalho; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do projeto (Nº 2013/22729-2); e ao Instituto Florestal (IF-SP) pelo apoio logístico para condução do estudo.

### Referências Bibliográficas

- Bertol, I.; Cassol, E.C.; Merten, G.H. Modelagem e modelos utilizados para estimar a erosão do solo. In: Bertol, I.; De Maria, I.C. Souza, L.S. *Manejo e Conservação do Solo e da Água*. Viçosa: SBCS, 2019. 1355p.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. *Conservação do solo*. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355 p.
- Carvalho, D.F. de; Durigon, V.L.; Antunes, M.A.H.; Almeida, W.S. de; Oliveira, P.T.S. de. Predicting soil erosion using Rusle and NDVI time series from TM Landsat 5. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(3), 215-224. 2014.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI. *ArcGIS Professional GIS for the desktop, version 10.2*. Redlands, 2014. CD ROM.
- Lima, G.C.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Silva, M.A. da; Oliveira, A.H.; Avanzi, J.C.; Ummus, M.E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). *Revista Ambiente & Água*, 8(2), 204-214. 2013.
- Silva, R.M. da; Santos, S.A.G.; Montenegro, S.M.G.L. Identification of critical erosion prone areas and estimation of natural potential for erosion using GIS and remote sensing. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, Nº 65/5, p. 881-894, 2013.
- Silva, D.C.C.; Albuquerque Filho, J.L.; Sales, J.C.A.; Lourenço, R.W. Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator C da USLE. *Ra'e Ga*. Curitiba, v.42, p. 72 -85, Dez./2017.
- Silva, F.D.G.; Minotti, F.; Lombardi Neto, F.; Primavesi, O.; Crestana, S. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim-SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. *Engenharia Sanitária & Ambiental*, v. 15, p. 141-148, 2010.
- Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. Washington, USDA, *Agricultural Handbook*, (537), 1978. 58p.