



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## ESTUDO DA EROSÃO LAMINAR NO MUNICÍPIO DE FRANCISCO BELTRÃO – PR

Marina de Souza Muniz<sup>1</sup>, Júlio Caetano Tomazoni<sup>2</sup>, Bruno Baierle<sup>3</sup>

### RESUMO

Este estudo teve como objetivo a sistematização da Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS no *software* SPRING, usando a Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – LEGAL, a fim de estimar a perda de solo por erosão laminar que ocorre no município de Francisco Beltrão – PR, em toneladas por hectare por ano. O município de Francisco Beltrão está situado no sudoeste do Estado do Paraná e possui 735,11 km<sup>2</sup> de área total. Utilizando o SPRING geraram-se mapas deste município referentes aos tipos de solos, ao uso e ocupação do solo, aos fatores da EUPS e também às perdas de solo por erosão laminar. Após a análise dos mapas foi possível concluir que em 85,52% do território do município, as perdas de solo por erosão laminar estão dentro do tolerado para cada tipo de solo, enquanto que em 14,48% do território do município, as perdas de solo por erosão laminar estão acima do tolerado para cada tipo de solo, sendo que desses, 4,47% perdem 100 toneladas de solo por hectare por ano.

**Palavras-chave:** EUPS, erosão hídrica, perda de solo, SIG.

## STUDY OF SHEET EROSION IN THE MUNICIPALITY OF FRANCISCO BELTRÃO – PR

### ABSTRACT

This study aims to systematize the Universal Soil Loss Equation - USLE in SPRING software, using Space Language for Algebraic Geoprocessing - LEGAL, to estimate soil loss by sheet erosion that occurs in the municipality of Francisco Beltrão – PR, in tons per hectare per year. The municipality of Francisco Beltrão is located in the southwest of Paraná State and has 735.11 km<sup>2</sup> of total area. Using SPRING were generated maps of this city related to the type of land use, land use and occupation, to the USLE factors and also to soil loss by sheet erosion occurring throughout the territory. After analyzing the maps, it was concluded that in 85.52% of the city territory the loss of sheet erosion soils are within the tolerated for each soil type, while in 14.48% of the city territory, the losses soil by sheet erosion are above the tolerated for each soil type present at the site, and of these, 4.47% loses 100 tons of soil per hectare per year.

**Keywords:** USLE, water erosion, soil loss, GIS.

<sup>1</sup> Acadêmica do Curso de Engenharia Ambiental, da UTFPR Campus Francisco Beltrão. E-mail: marinasmuniz@gmail.com.

<sup>2</sup> Professor da UTFPR Campus Francisco Beltrão, do Curso de Engenharia Ambiental. E-mail: caetano@utfpr.edu.br.

<sup>3</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Ambiental, da UTFPR Campus Francisco Beltrão. E-mail: bruno.baierle@hotmail.com.

<sup>1, 2 e 3</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Francisco Beltrão. E-mail: Linha Santa Bárbara s/n, Caixa Postal 135, CEP 85601-970 – Francisco Beltrão – PR, Brasil.

## 1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural exaurível, pois o tempo requerido para ser formado é consideravelmente maior do que a média de vida humana. A utilização do solo para o desenvolvimento de atividades da agropecuária vem se intensificando nas últimas décadas, fato que tem acelerado os processos erosivos sobre os mesmos. O processo erosivo do solo é ocasionado por fatores naturais e pelo uso antrópico e isso pode levar à desertificação de regiões que atualmente são férteis (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

A principal causa de perda do solo é a erosão, que ocasiona a perda de nutrientes, além de outros fatores que o debilitam. No Brasil, a erosão hídrica é a forma mais preocupante, podendo ser definida como o processo de desprendimento das partículas do solo, causado pela força com que a gota de água o atinge, seu posterior transporte e deposição. Tal deposição, no contexto de bacia hidrográfica, ocorrerá nas partes mais baixas e dentro de corpos hídricos (NEVES et al., 2011).

Guerra, Silva e Botelho (2009) alegam que a erosão hídrica se subdivide em estágios, sendo o primeiro o salpicamento, que é a ruptura dos agregados pela reação física no momento em que a água atinge a superfície do solo;

o segundo é a evolução para a erosão laminar, na qual há remoção de uma camada fina e uniforme do solo pela precipitação pluvial e pelo escoamento superficial; o terceiro é a erosão em sulcos, que é derivada da concentração de enxurradas em alguns pontos do terreno; e o quarto e quinto estágios são, respectivamente, as ravinas e voçorocas, que são os estágios mais avançados da erosão.

O fluxo de água proveniente do escoamento superficial é responsável pela erosão laminar, vista anteriormente, que é uma forma de erosão dificilmente perceptível. Entretanto, Bertoni e Lombardi Neto (2012) reiteram que é possível perceber, após alguns anos, a profundidade da camada de solo que foi arrastada quando as raízes de culturas perenes forem expostas.

Tomazoni e Guimarães (2005) afirmam que na região sudoeste do Estado do Paraná, os principais problemas ambientais são provenientes do uso inadequado do solo, principalmente no setor agrícola, que fazem por acelerar os processos erosivos das bacias hidrográficas ali localizadas.

O município de Francisco Beltrão – PR possui em seu território diferentes tipos de solo que são: chernossolos, latossolos, neossolos e nitossolos (EMBRAPA, 2008).

Esses solos são utilizados predominantemente para a agricultura e os principais problemas ambientais estão ligados ao processo erosivo hídrico.

Segundo a EMBRAPA (2008) e Santos et al. (2006), os principais tipos de solos que ocorrem na área são: Chernossolos Argilúvicos Férricos saprolíticos - MTfe, Chernossolos Háplicos Órticoslépticos - MXo, Latossolo Vermelho Distroférico - LVdf, Neossolos Regolíticos Eutróficos - RRe, Nitossolos Vermelhos Distroféricos - NVdf e Nitossolos Vermelhos Eutroféricos - NVef.

Este trabalho utilizou Sistema de Informação Geográfica - SIG, Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas - SPRING, para estimar a perda de solo do município de Francisco Beltrão por erosão laminar a partir da sistematização da Equação Universal de Perdas de Solos - EUPS, neste *software*. Esta equação foi desenvolvida nos anos 1970, por Wischmeier e Smith, e permite uma aplicação praticamente universal por ser um método mais amigável de ser utilizado (CHAVES, 2010).

Com os resultados estimados EUPS é possível definir práticas conservacionistas para a prevenção ou minimização das perdas de solo causadas pela erosão laminar (SILVA, SCHULZ, CAMARGO,

2007; BERTONI, LOMBARDI NETO, 2012).

Portanto, através deste estudo foi possível quantificar o processo erosivo laminar dos solos do município, e propor medidas mitigadoras e compensatórias, de controle deste fenômeno.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o Município de Francisco Beltrão (Figura 1), com área total de 735,11 km<sup>2</sup>, localizado no Sudoeste do Estado do Paraná, cujo retângulo envolvente fica entre as coordenadas geográficas: 26°11'55"S e 53°22'38"O; 25°56'17"S e 52°53'04"O.

Para a realização deste estudo foi utilizado o *software* SPRING, versão 5.2.7, que é um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que possui funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica do terreno e consultas a banco de dados espaciais, operando como um banco de dados geográficos, suportando grande volume de dados e administrando dados vetoriais e matriciais (INPE, 2009).

Esse *software* possui uma Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico - LEGAL. Um programa LEGAL é constituído de sentenças estruturadas em três partes:

declarações, instanciacões e operações (INPE, 2009).

Foram criados scripts com a linguagem LEGAL para cada um dos fatores da EUPS, além de scripts para classificação do tipo e do uso do solo de Francisco Beltrão e para a determinação de perda de solo por erosão laminar. Esses programas foram baseados na pesquisa de Tomazoni (2003).

A EUPS, equação (1), relaciona fatores que dependem de características naturais (R, K e LS) com fatores que dependem das formas de ocupação e práticas conservacionistas (CP), para estimar a perda de solo de um dado local em decorrência da erosão laminar (A), em ton/ha/ano de solo perdido (BRAGA et al. 2005).

$$A = R * K * LS * C * P \quad (1)$$



**Figura 1:** Localização do município de Francisco Beltrão no Estado do Paraná.

O primeiro fator a ser analisado foi a erosividade da chuva (R), que se trata de um índice numérico que expressa a capacidade da precipitação em causar erosão no solo. É expresso em  $\text{tm mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  ou em  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007). Esse fator pode ser calculado a partir

da equação (2) proposta por Bertoni e Lombardi Neto (2012).

$$R = 67,355 * (r^2/P)^{0,85} \quad (2)$$

Onde: R = média mensal do índice de erosão, em  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ; r = precipitação média mensal, em mm; P = precipitação média anual, em mm.

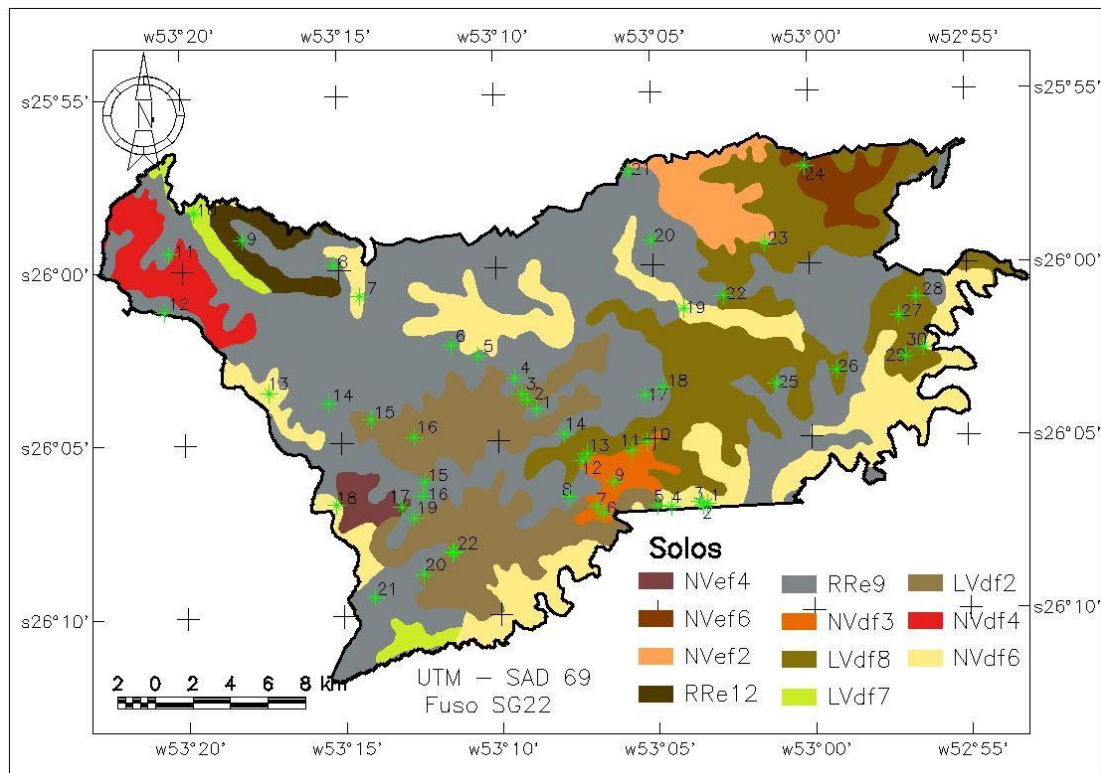
Para cálculo do R, inicialmente digitalizou-se as isoietas de precipitação média mensal e anual do Estado do Paraná do Atlas da Suderhsa (SUDERHSA, 1998).

Em seguida desenvolveu-se um script em LEGAL do fator R no qual sistematizou-se a equação (2), convertendo os dados pluviométricos em índices de erosividade da chuva, gerando um Plano de Informação (PI) no em categoria do modelo MNT, com a grade dos valores calculados para R.

Em seguida foi necessário criar uma categoria temática de declive do solo, com as seguintes classes: 0 – 8%, 8 – 20%, 20 a 30% e >30%, para gerar um script em LEGAL de classificação dos solos, obtendo como produto uma categoria temática de Solo Classificado.

Outro fator da EUPS é a erodibilidade do solo (K), que é a susceptibilidade do solo em ser erodido. Essa susceptibilidade é influenciada por cada uma das características do solo, que são: textura, estrutura, porosidade, permeabilidade e matéria orgânica. Essas características são de grande importância no processo erosivo por determinarem a resistência às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento ou por afetarem a velocidade de infiltração e armazenagem da água da chuva no solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Foram coletadas 52 amostras de solo de horizontes A de diferentes locais do município conforme localização na Figura 2, para análise laboratorial, para obter resultados de análises químicas e físicas do solo.



**Figura 2:** Tipos de solos do Município de Francisco Beltrão e Pontos de Coletas de Amostras.

A partir dos resultados obtidos foi possível calcular o fator K para os diferentes tipos de solo de Francisco Beltrão, sendo basicamente Chernossolos, Latossolos, Neossolos e Nitossolos, que foram classificados conforme descrito anteriormente. Esse cálculo foi feito com o a equação (3), proposta por Denardin (1990).

$$K = (0,00000748 * M) + (0,00448059 * P) - (0,0631175 * DMP) + (0,01039567 * R) \quad (3)$$

Onde: K = fator K, expresso em  $t \cdot ha^{-1} \cdot h \cdot mm^{-1} \cdot ha \cdot MJ^{-1}$ ; M = (Areia Fina(%) + Silte(%)) \* (Areia Fina(%) + Silte(%) + Areia Grossa(%)); P = permeabilidade do solo codificada: 1 = muito baixa, 2 = baixa, 3 = baixa a moderada, 4 = moderada, 5 = moderada a rápida, 6 = rápida; DMP = Diâmetro médio das partículas dado por:  $[(0,65 * \text{Areia Grossa}(\%)) + (0,15 * \text{Areia Fina}(\%)) + (0,0117 * \text{Silte}(\%))] / 100$ ; R = Nova Areia dado por:  $[\text{Areia Grossa}(\%) * (\text{Matéria Orgânica}(\%) / 100)]$ .

Com os resultados referentes ao fator K de cada um dos tipos de solo do município em questão, foi possível criar o script em LEGAL deste fator no SPRING, que gerou uma categoria MNT com grade dos valores calculados para K.

Os fatores comprimento e inclinação de declive (LS) influenciam fortemente na erosão do solo pela água, pois o tamanho e a quantidade de material desprendido arrastado pela água dependem da velocidade com que

ela escorre, e essa velocidade é diretamente proporcional ao comprimento do lançante e ao grau de declividade do terreno. À medida que o caminho percorrido pela enxurrada aumenta, as águas se tornam mais volumosas e sua velocidade vai aumentando. Por isso, o comprimento de rampa também é muito importante no processo erosivo (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007).

Bertoni e Lombardi Neto (2012) apresentam uma equação (4) para o cálculo de LS, que será descrita a seguir.

$$LS = 0,00984 C^{0,63} D^{1,18} \quad (4)$$

Onde: LS = fator topográfico; C = comprimento de rampa, em metros; D = grau de declive, em porcentagem.

No SPRING foram geradas duas categorias MNT, uma para o fator L e outra para o fator S, que auxiliaram para a geração de uma categoria MNT no programa LEGAL para esses dois fatores simultaneamente, ou seja, LS, com o uso da equação (4).

O uso e manejo do solo (C) relaciona a perda de solo com o tipo de terreno cultivado em dadas condições, comparando-o com as perdas de solo de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Para análise do CP, primeiramente foi necessário criar uma categoria de modelo temático para os tipos de Usos do Solo, a partir da classificação de uma imagem LandSat 8, de 07/2013, do município de Francisco Beltrão, através do método de

amostragem, com as classes: vegetação, pastagem, lavoura, solo descoberto e outras. Foram adquiridos *pixels* representativos de amostras para cada uma dessas classes que, em seguida, foram atribuídos ao mapa de Usos do Solo de Francisco Beltrão.

Os valores de CP apresentados (Tabela 1) foram utilizados no programa LEGAL criado para gerar categoria MNT e grade numérica com resultados de CP do município de Francisco Beltrão, juntamente com a

categoria temática de Usos do Solo, descrita anteriormente.

Com a criação de programas LEGAL para todos os fatores da EUPS, migrou-se para o *software* SCARTA, de mesma versão que o SPRING, para gerar os mapas de cada fator analisado. Mas, para que isso fosse possível, foi necessário gerar categorias temáticas para cada um dos fatores gerados no programa LEGAL.

**Tabela 1** - Determinação de CP

Tipo de uso do solo	Valor de C	Valor de P	Valor de CP
Vegetação Primária – VP	0,001	0,01	0,00001
Vegetação secundária em estágio avançado – VSEA	0,001	0,01	0,00001
Vegetação secundária em estágio médio – VSEM	0,003	0,04	0,00012
Vegetação secundária em estágio inicial – VSEI	0,007	0,04	0,00028
Pastagens	0,01	0,3	0,003
Lavouras mecanizadas de tração animal e manuais (+)	0,1376	0,5	0,0688
Solo descoberto (*)	0,1376	1,0	0,1376
Outras	0,00	0,00	0,00

(\*) Usou-se o mesmo valor de lavouras porque, com exceção das áreas urbanas, essas áreas são regiões de cultivo em pousio de inverno.

(+) O valor de C usado para lavouras é a média obtida por BERTONI e LOMBARDI NETO (1990), através de experiências realizadas durante quatro anos com culturas em rotação na região de Campinas-SP. O valor de P corresponde ao uso da prática conservacionista plantio em contorno.

Fonte: Adaptado de BERTONI e LOMBARDI NETO (1990) e RESENDE e ALMEIDA (1985) apud Tomazoni (2003).

A estimativa de perdas de solo por erosão laminar calculada a partir da EUPS deve ser comparada com a tolerância de perdas de solo para a mesma área. Bertoni e Lombardi Neto (2012) estabeleceram um procedimento para a determinação dos valores de perda de solo toleráveis, considerando suas profundidades e algumas propriedades físicas, como mostra a equação (5).

Para escolher as propriedades do solo essenciais no estabelecimento dos padrões de

limites de tolerância de perdas de solo, o critério utilizado pelos autores baseou-se principalmente na profundidade do solo favorável ao desenvolvimento do sistema radicular e na relação textural dos horizontes superficiais.

$$P = 100 h d \quad (5)$$

Onde: P = peso de terra em um hectare, em t/ha; h = espessura do horizonte, em cm; d = densidade do solo, em g/cm<sup>3</sup>.

Por fim, geraram-se no SPRING tabelas, a partir da ferramenta “Tabulação Cruzada”, que contêm os resultados da relação entre a perda de solo encontrada e cada tipo de solo do município, por km<sup>2</sup>, e os intervalos de fator K para cada tipo de solo de Francisco Beltrão, também em km<sup>2</sup>.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram gerados no SCARTA mapas para cada um dos elementos analisados neste estudo, sendo, portanto, o fator R (Figura 3), a Classificação dos Solos (Figura 4), cujo mapa base foi a Carta MIR - 516 - SG-22-Y-A, E:1:250000, (EMBRAPA, 2009), o fator K (Figura 5), o fator LS (Figura 6), os Usos do Solo (Figura 7), o fator CP (Figura 7), e também, a Perda de Solo (A) (Figura 8), que estão dispostos ao fim deste item.

Conforme apresentado na Tabela 2 e Figura 2, o fator R que menos prevalece encontra-se na faixa de 7.637 e 7.880 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, ocorrendo na porção sudeste do município ocupando uma área de 33,97 km<sup>2</sup> (4,62% do município). Em seguida, está presente em 5,93% do território, o intervalo de 6.665 a 6.908 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, ocorrendo na porção noroeste do município, onde as precipitações são menores. Na sequência, em 16,63%, o fator R encontra-se na faixa de 6.908 a 7.151 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, ocorrendo na porção norte do município, onde as precipitações médias anuais variam de 1800 a 2000 mm. Em 30,93% do município, na faixa de transição entre as médias de precipitação

de 1800 a 2000 mm, mais a norte, e 2000 a 2500 mm, mais ao sul, o fator R está no intervalo de 7.151 a 7.394 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. E, por fim, o intervalo de fator R predominante em Francisco Beltrão está contido e 7.394 e 7.637 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, ocorrendo na porção centro-sul do município, ocupando, aproximadamente, 42% do município.

Cabral et al. (2005) afirmam que os valores encontrados para o fator R para as condições brasileiras variam de 5.000 a 12.000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Segundo Waltrick (2010), a erosividade média da chuva para o município de Francisco Beltrão – PR, no período de 1986 a 2008 foi de 11.892 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, portanto, os valores de erosividade para o município de são bastante elevados.

**Tabela 2** – Medidas de classes fator R.

Discriminação (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )	%
6665 – 6908	43,60	5,93
6908 – 7151	122,22	16,63
7151 – 7394	227,36	30,93
7394 – 7637	307,93	41,89
7637 – 7880	33,97	4,62
Área total das classes	735,11	100,00

Analisando a Figura 3 e a Tabela 3, é possível notar que as quantidades de nitossolos e latossolos, que são solos maduros, correspondem respectivamente a 39,05% e 29,93%, abrangendo um total de 68,98% de todo o território. Na sequência aparecem os chernossolos, em 19,42% da área, e os neossolos, em 11,60% da área.



**Tabela 3** – Medidas de classes da classificação do solo.

<b>Discriminação</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Chernossolo (MTf e MXo)	142,75	19,42
Latossolo (LVdf)	220,00	29,93
Neossolo (RRe)	85,29	11,60
Nitossolo (NVdf e NVef)	287,07	39,05
Área total das classes	735,11	100,00

Os resultados obtidos a partir da equação (3) estão demonstrados na Tabela 4, e foram utilizados para a realização do estudo do fator K.

**Tabela 4** - Fator K para os diferentes tipos de solo de Francisco Beltrão – PR e seus parâmetros.

<b>Tipo de solo</b>	<b>M</b>	<b>P</b>	<b>DMP</b>	<b>R</b>	<b>K(t. ha<sup>-1</sup>.h.mm<sup>-1</sup>.ha.MJ<sup>-1</sup>)</b>
Chernossolo (MTf e MXo)	2106,53	4	0,07	0,30	0,03797
Latossolo (LVdf)	787,15	3	0,02	0,08	0,01868
Neossolo (RRe)	1955,69	5	0,04	0,14	0,03573
Nitossolo (NVdf e NVef)	1343,88	3	0,04	0,15	0,02253

O mapa do fator K (Figura 4) foi construído a partir dos resultados demonstrados na Tabela 4 e, observando a Tabela 5, é possível notar que na maior parte do território de Francisco Beltrão este fator está compreendido entre 0,01868 e 0,02253 t.ha<sup>-1</sup>.h.mm<sup>-1</sup>.ha.MJ<sup>-1</sup>, área que equivale a, aproximadamente, 39,05% do município.

**Tabela 5** – Medidas de classes fator K

<b>Discriminação</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
0 – 0,01868	220,00	29,93
0,01868 – 0,02253	287,07	39,05
0,02253 – 0,03573	85,29	11,60
0,03573 – 0,03797	142,75	19,42
Área total das classes	735,11	100,00

A Tabela 6 aponta a relação entre os tipos de solo do município e o intervalo de fator K para cada um deles, apresentando o tamanho da área que representa simultaneamente esses dois aspectos.

Esses resultados estão intimamente relacionados com aqueles obtidos a partir da equação (3) (Tabela 4), ou seja, o tipo de solo menos encontrado no território de Francisco

Beltrão, o neossolo, possui fator K compreendido entre 0,02253 e 0,03573 t.ha<sup>-1</sup>.h.mm<sup>-1</sup>.ha.MJ<sup>-1</sup>, mais precisamente de 0,03573 t.ha<sup>-1</sup>.h.mm<sup>-1</sup>.ha.MJ<sup>-1</sup> (Tabela 4), equivalente a 11,60% do município em questão (Tabela 5). Já o nitossolo, que é o solo predominante no município, possui fator K equivalente a 0,02253 t.ha<sup>-1</sup>.h.mm<sup>-1</sup>.ha.MJ<sup>-1</sup>, correspondendo a 39,05% de Francisco Beltrão. O latossolo, que possui fator K de 0,01868 t.ha<sup>-1</sup>.h.mm<sup>-1</sup>.ha.MJ<sup>-1</sup>, está presente em 29,93% do município, enquanto que o chernossolo é encontrado em 19,42% do território, com fator K entre 0,03573 e 0,03797 t.ha<sup>-1</sup>.h.mm<sup>-1</sup>.ha.MJ<sup>-1</sup>.

Bertol et al. (2007) apontam valores de 0,010, 0,030 e 0,060 t.ha<sup>-1</sup>.h.mm<sup>-1</sup>.ha.MJ<sup>-1</sup> para classificar a erodibilidade dos solos (fator K) como sendo baixa, moderada e alta, respectivamente. Analisando os intervalos obtidos na Tabela 5, é possível concluir que, na maioria do território do município, os

valores referentes ao fator K são moderados, com resultados semelhantes aos encontrados

por Ruthes et al. (2012), para uma bacia hidrográfica no município.

**Tabela 6** – Tabulação cruzada entre intervalos do fator K e Tipo de Solo de Francisco Beltrão.

Tipo de Solo	Fator K $t.ha^{-1}.h.mm^{-1}.ha.MJ^{-1}$ - Resultados em $km^2$				Total
	0 – 0,01868	0,01868 – 0,02253	0,02253 – 0,03573	0,03573 – 0,03797	
<b>Latossolo</b>	220,00	0,00	0,00	0,00	220,00
<b>Nitossolo</b>	0,00	287,07	0,00	0,00	287,07
<b>Chernossolo</b>	0,00	0,00	0,00	142,75	142,75
<b>Neossolo</b>	0,00	0,00	85,29	0,00	85,29
<b>Total</b>	220,00	287,07	85,29	142,75	735,11

**Tabela 7** – Medidas de classes fator LS.

Discriminação	Área ( $km^2$ )	%	Classificação*
0 – 1,2	165,27	22,48	Muito baixo
1,2 – 1,7	25,00	3,40	Baixo
1,7 – 3,3	75,28	10,24	Baixo
3,3 – 5,5	100,18	13,63	Moderado
5,5 – 7,5	80,03	10,89	Moderadamente forte
7,5 – 20	238,85	32,49	Forte
> 20	50,50	6,87	Forte
Área total	735,11	100	

\*Fonte: Fornelos e Neves (2007).

Para análise dos resultados obtidos no estudo do fator LS, é necessário observar a Figura 5, com o auxílio da Tabela 7.

Comparando os resultados da Tabela 7 com os intervalos do fator topográfico sugeridos por Fornelos e Neves (2007), 22,48% do território de Francisco Beltrão possuem valores de LS considerados como sendo muito baixo e estão localizados nas áreas de várzea do município, enquanto que, aproximadamente, 13,64% deste território possuem fator LS baixo, e estão localizados na parte intermediária entre o divisor de águas e as áreas de várzea, e 50,25% encontram-se classificados de moderadamente forte a forte, localizados nos topos de morros.

Para que fosse possível estudar o fator CP do município criou-se o mapa das formas como o solo é utilizado no local (Figura 6).

Analisando a Tabela 8 é possível observar que em 36,66% do município há vegetação nativa. Na sequência aparecem as pastagens, em 32,63% da área. As áreas de lavoura estão em 14,65% da área e as áreas de solo descoberto, em 15,94% da área. Excluído a área do perímetro urbano de Francisco Beltrão, o restante são áreas de lavoura em pousio. Portanto, somando as áreas de pastagem com as de lavoura e solo descoberto, tem-se um total de 63,22% da área que é utilizada predominantemente com agropecuária e uma pequena parte utilizada como área urbana.

**Tabela 8** – Medidas de classes dos usos do solo.

Discriminação	Área (km <sup>2</sup> )	%
Vegetação nativa	269,52	36,66
Pastagem	239,90	32,63
Lavoura	107,72	14,65
Solodescoberto	117,14	15,94
Outras*	0,82	0,11
Área total das classes	735,11	100,00

\*A classe “Outras” compreende os corpos hídricos do município.

O fator CP (Figura 6) foi baseado nos dados fornecidos pela Tabela 1 e suas medidas de classes estão dispostas na Tabela 9, onde é possível observar que a maior parte do município possui o fator CP entre 0,00001 e 0,000035, correspondente a 36,66% do território e correspondente às áreas de vegetação nativa, oferecendo ótima proteção aos solos. Em seguida, mostra-se o CP de 0,000035 a 0,0031, que abrange 32,64% e são áreas com pastagem, que protegem medianamente os solos. Os CPs de 0,0031 a 0,00689 correspondem a áreas de lavouras e abrangem 14,66% da área, protegendo pouco os solos do processo erosivo. Por último está o intervalo de 0,00689 a 0,13760, que abrange 15,93% da área e constitui-se pela forma de uso do solo descoberto, que é a pior forma de proteção do solo.

A Figura 7 apresenta o mapa da perda de solo e, ao observar a Tabela 10, percebe-se que a erosão que ocorre em, aproximadamente, 77% do município está entre 0 e 8,75 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, valor tolerável para todos os tipos de solo do município (vide Tabela 11).

**Tabela 9** – Medidas de classes fator CP.

Discriminação	Área (km <sup>2</sup> )	%
0,00001 - 0,000035	269,51	36,66
0,000035 - 0,0031	239,92	32,64
0,0031 - 0,00689	107,75	14,66
0,00689 - 0,13760	117,10	15,93
0 - 0,00001	0,81	0,11
Área total das classes	735,11	100,00

Já 6,37% do município perde de 17,50 a 50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de solo, valor intolerável para todos os tipos de solo presentes no local; 5,06% perde de 8,75 a 13,13 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, valores tolerados para os chernossolos, latossolos e nitossolos; 3,54% apresenta erosão de 50 a 100 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, valores intoleráveis para os tipos de solo do município; 3,07% perde de 13,13 a 17,50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de solo, valores toleráveis para todos os solos, exceto os neossolos.

Observa-se que 106,46 km<sup>2</sup> (14,48%) do município perdem mais solo por erosão laminar do que o tolerado para todos os tipos de solo, simultaneamente. Além disso, aproximadamente 33 km<sup>2</sup> (4,57%) do município perdem 100 toneladas de solo por hectare por ano, fato preocupante, pois esses valores estão acima do tolerado para todos os tipos de solo, sendo que deve ser corrigido com o uso de práticas conservacionistas.

**Tabela 10** – Medidas de classes perda de solo por erosão.

Discriminação (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )	% da área
0 - 8,75	568,93	77,39
8,75 - 13,13	37,19	5,06
13,13 - 17,50	22,53	3,07
17,50 - 50	46,82	6,37
50 - 100	26,02	3,54
>100	33,62	4,57
Área total	735,11	100,00

Os resultados obtidos através da equação (5) de tolerância das perdas de solo estão dispostos na Tabela 11.

A Tabela 12 relaciona os resultados das perdas de solo por erosão laminar com os tipos de solo presentes em Francisco Beltrão.

Aproximadamente 39 km<sup>2</sup>, dos 142,75 km<sup>2</sup>, onde há predominância de Chernossolos, perdem quantidades de solo por ano acima do tolerável (Tabela 12). Esse valor corresponde a, aproximadamente, 27% das áreas com presença desse tipo de solo.

Dos 220 km<sup>2</sup> onde há ocorrência de Latossolos, 10,23 km<sup>2</sup> (4,7%) possuem erosão acima de 17,50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, ou seja, acima do valor tolerado para esse tipo de solo.

Os neossolos, que toleram perda de solo de 8,75 toneladas por hectare por ano, estão perdendo, no município de Francisco Beltrão, mais do que esse valor em 38,12% de suas áreas de ocorrência, ou seja, em 32,51 km<sup>2</sup> a erosão ocorre acima do tolerado.

Já para os nitossolos, que toleram perdas de, no máximo, 17,50 toneladas de solo por hectare por ano, a perda excede o limite em 46,40 km<sup>2</sup>, de um total de 287 km<sup>2</sup>, equivalendo a, aproximadamente, 16% do total de áreas onde há predominância de nitossolos.

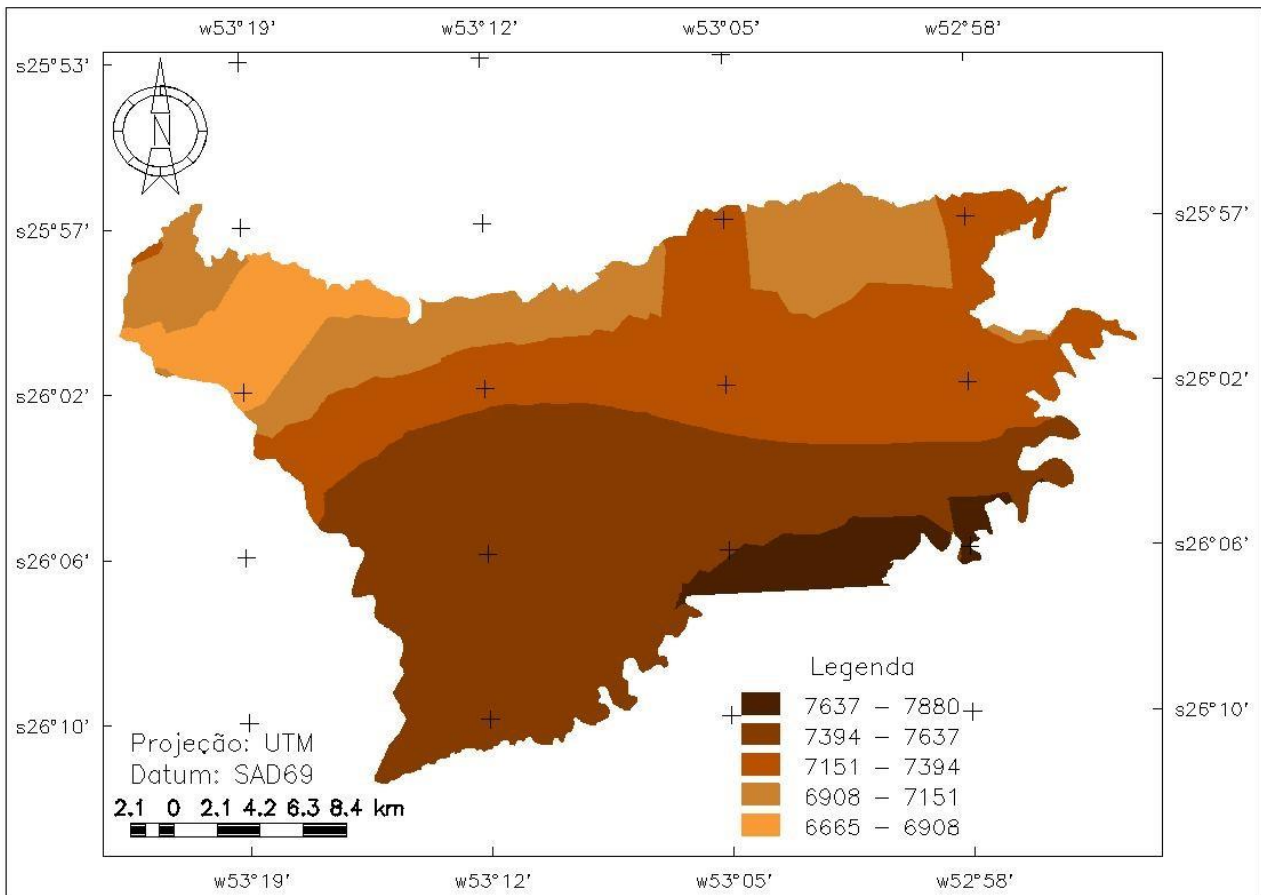
**Tabela 11** - Tolerância de perdas de solo no município de Francisco Beltrão, em t/ha/ano, e parâmetros utilizados.

Tipo de solo	Argila no horizonte e A (%)	Argila no horizonte B (%)	Relação textural entre A e B	Profundidade cm (h)	Densidade de g/cm <sup>3</sup> (d)	Peso de Terra t/ha (P) (P=100 h d)	Tolerância perda,/ano t/ha (Pt),Pt=P/1000
<b>Chernossolo (MTf e MXo)</b>	43,0	52,6	1,22	75	1,75	13125	13,13
<b>Latossolo (LVdf)</b>	71,8	75,9	1,06	100	1,75	17500	17,50
<b>Neossolo (RRe)</b>	54,3	-	>1	50	1,75	8750	8,75
<b>Nitossolo (NVdf e NVef)</b>	62,0	70,8	1,14	100	1,75	17500	17,50

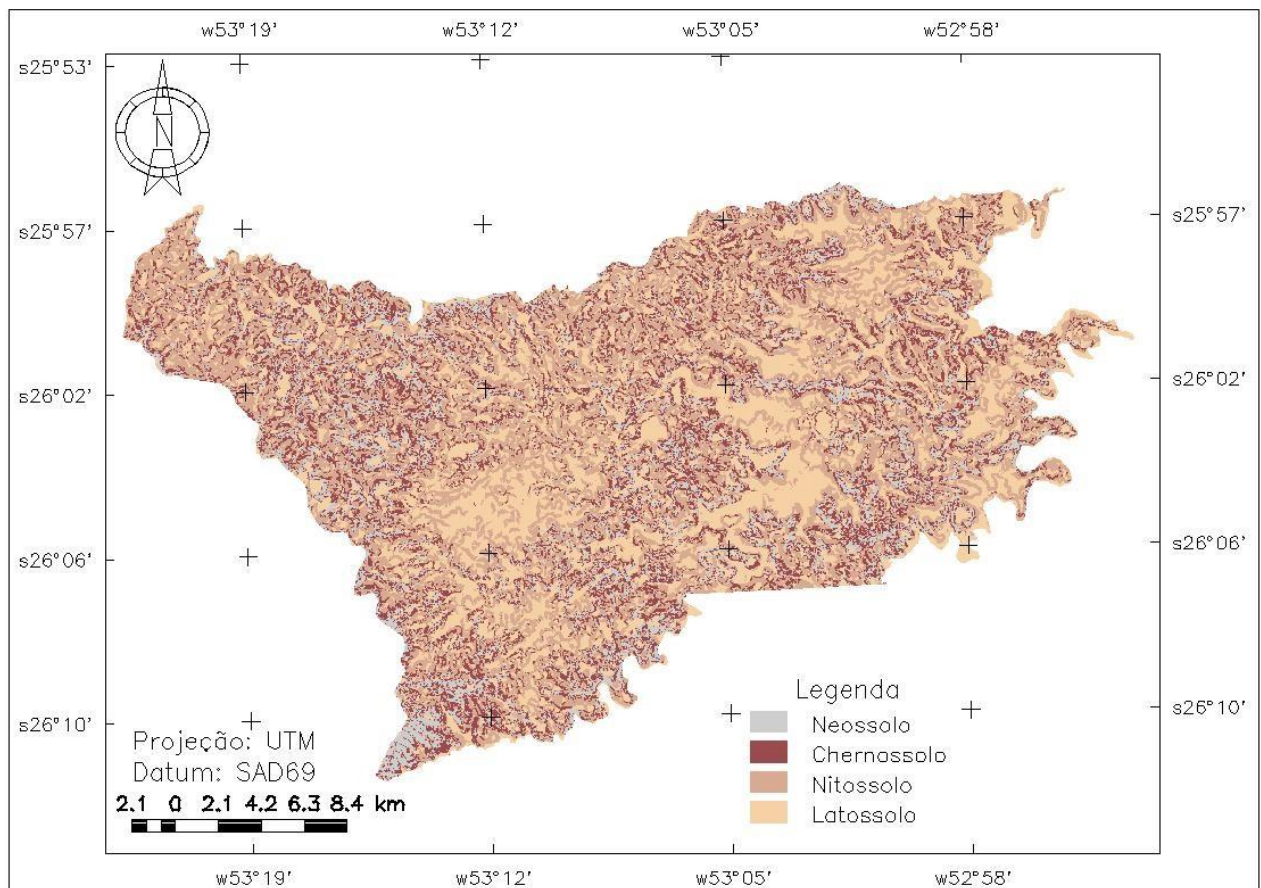
Os dados referentes à porcentagem de argila, relação textural e profundidade foram obtidos através de análises laboratoriais de amostras de solo do município.

**Tabela 12** – Tabulação cruzada entre Perda de Solo e Tipo de Solo de Francisco Beltrão.

Tipo de solo	t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> (Resultados em km <sup>2</sup> )						Total (km <sup>2</sup> )
	0 - 8,75	8,75 - 13,13	13,13 - 17,50	17,50 - 50	50 - 100	>100	
<b>Chernossolo (MTf e MXo)</b>	85,95	17,37	10,19	12,02	1,74	15,48	142,75
<b>Latossolo (LVdf)</b>	203,84	3,21	2,72	9,37	0,64	0,22	220,00
<b>Neossolo (RRe)</b>	52,78	6,17	5,75	11,44	1,44	7,71	85,29
<b>Nitossolo (NVdf e NVef)</b>	226,36	10,44	3,87	13,99	22,20	10,21	287,07
<b>Total (km<sup>2</sup>)</b>	568,93	37,19	22,53	46,82	26,02	33,62	735,11



**Figura 3:** Mapa do fator R do município de Francisco Beltrão.



**Figura 4:** Mapa de Classificação dos Solos do município de Francisco Beltrão.



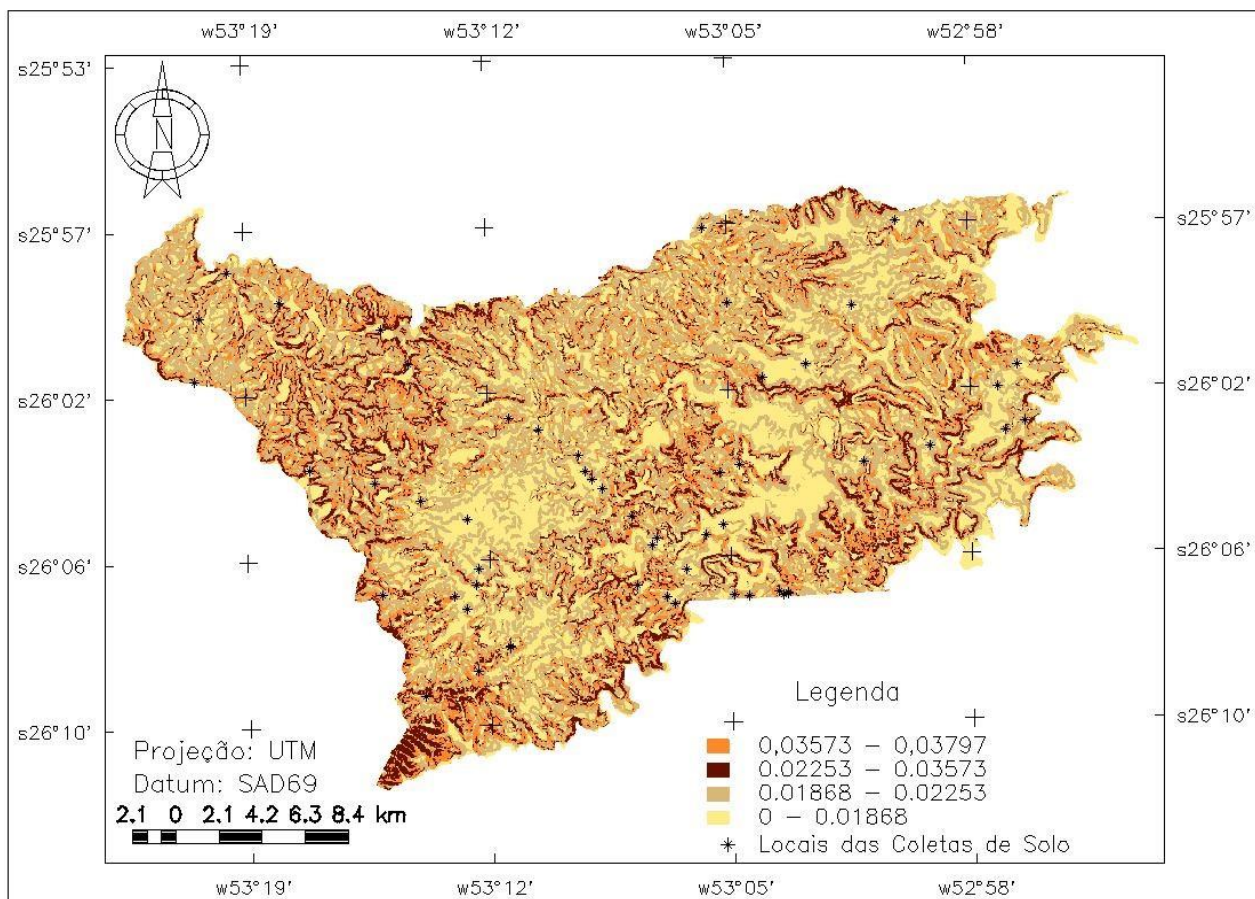


Figura 5: Mapa do fator K do município de Francisco Beltrão.

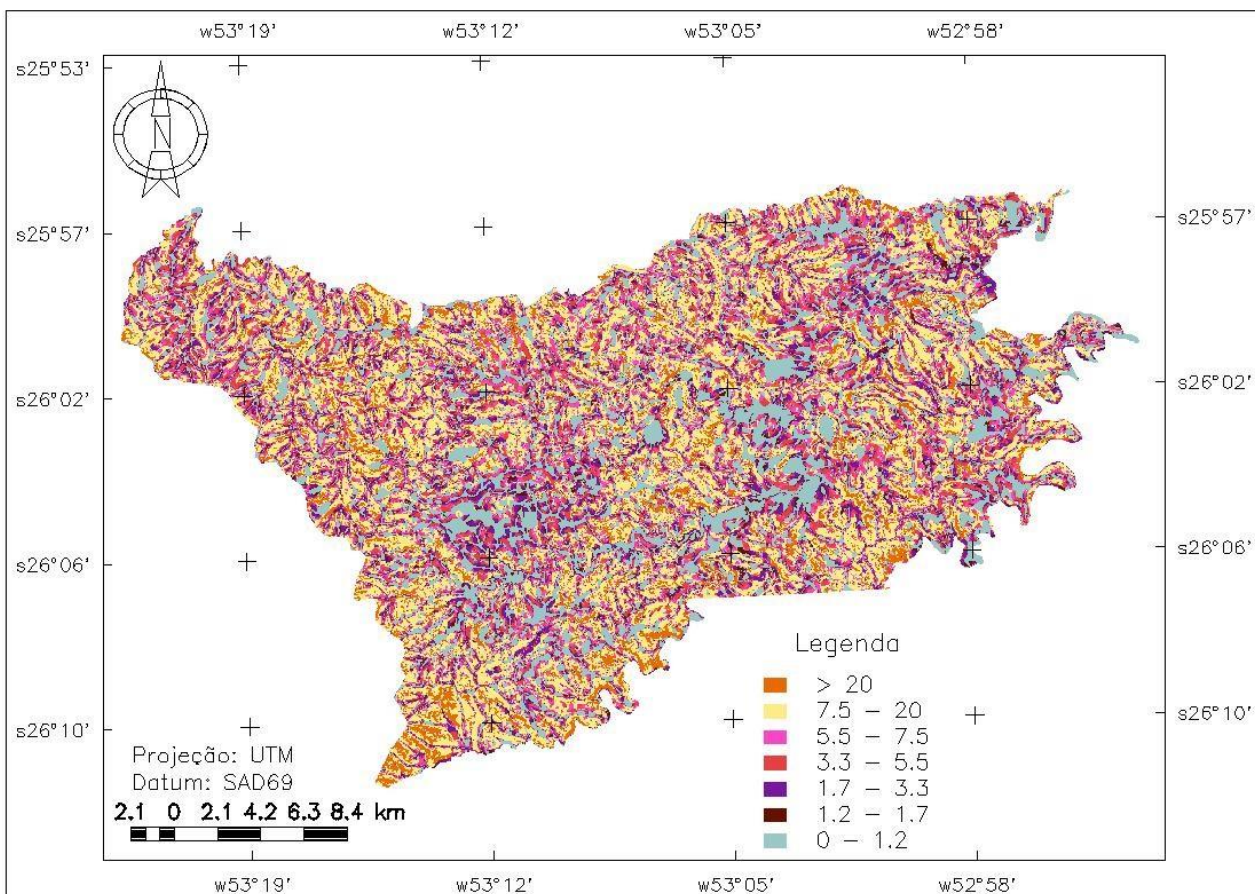


Figura 6: Mapa do fator LS do município de Francisco Beltrão.



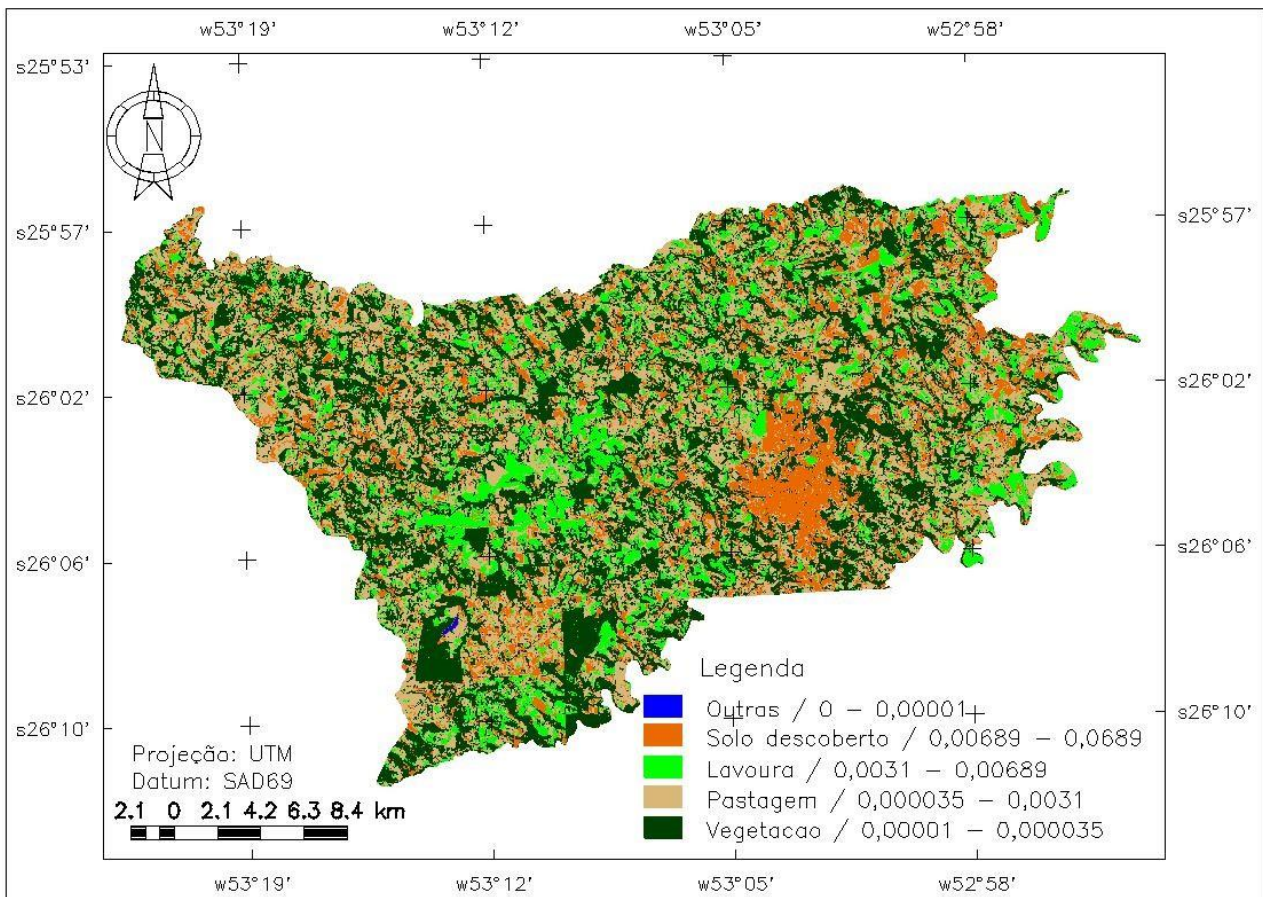


Figura 7: Mapa de classificação dos Usos do Solo e do Fator CP do município de Francisco Beltrão.

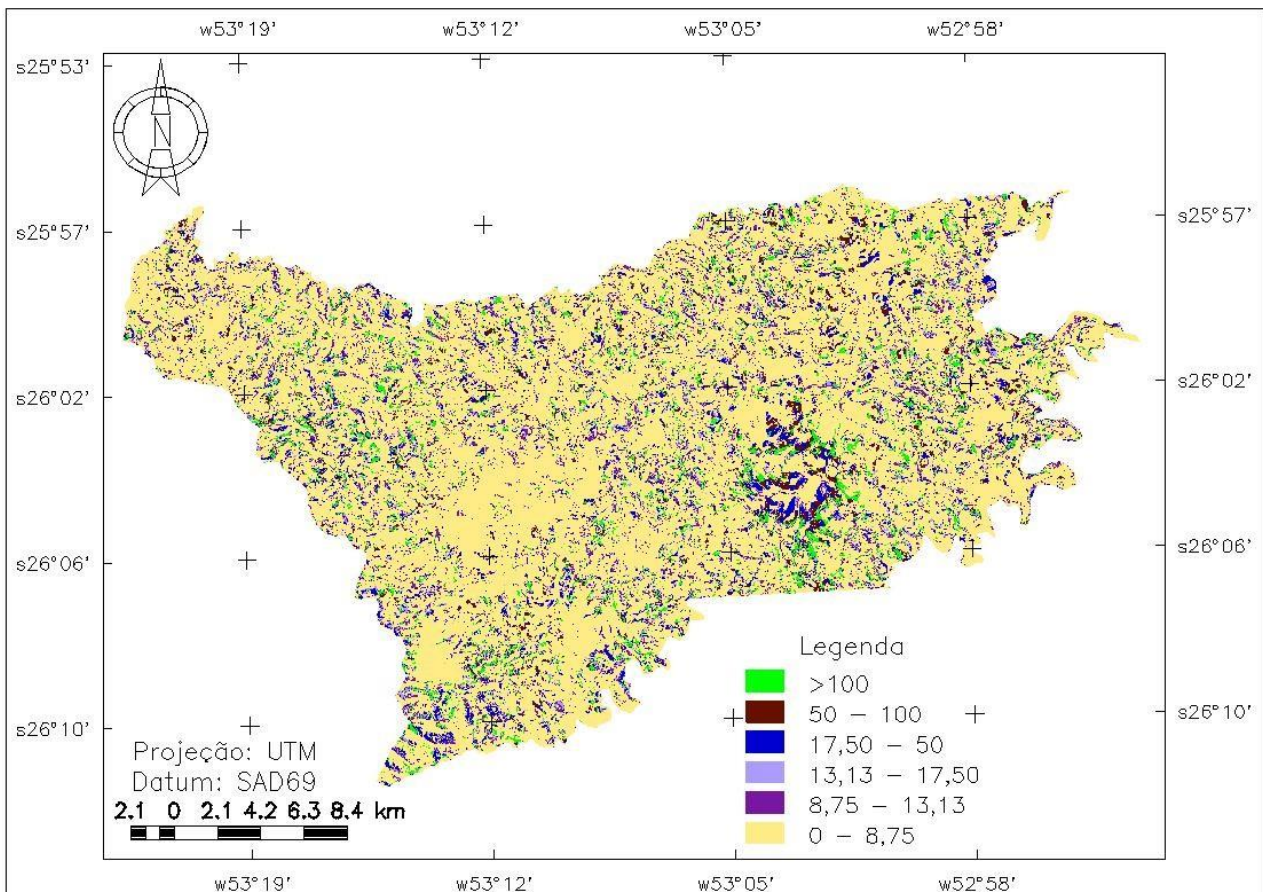


Figura 8: Mapa da Perda de Solo (A) em  $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$  do município de Francisco Beltrão.

#### 4. CONCLUSÃO

Ao analisar os resultados obtidos com a sistematização da EUPS observa-se que em 106,46 km<sup>2</sup>, ou 14,48%, do município de Francisco Beltrão – PR as perdas de solo por erosão laminar são maiores que o tolerado pelos solos existentes no local, fato que é preocupante, pois nestes locais perde-se mais material do que é formado pelos processos intempéricos.

Na grande maioria da área, 85,52% do território do município, as perdas de solo por erosão laminar estão dentro do tolerado para cada tipo de solo.

No contexto geral, a população do município deve optar por utilizar práticas conservacionistas de uso e manejo do solo a fim de reduzir níveis de perda de solo por erosão laminar e, desta forma, ter uma produção agrícola sustentável.

A partir da execução deste estudo foi possível verificar a facilidade e eficiência dos resultados ao sistematizar a EUPS no *software* SPRING com o propósito de se obter a estimativa de perda de solo de determinada área, por erosão laminar.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná por oferecer subsídios e condições, além do incentivo a projetos de pesquisa e desenvolvimento para a concretização do estudo apresentado.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Arraes, C. L., Bueno, C. R. P., Pissarra, T. C. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia Córrego do Tijuco, SP. **BioscienceJournal**. v. 26, n. 6, p. 849-857, 2010.
- Bagherzadeh, Ali. Estimation of soil losses by USLE model using GIS at Mashhad plain, Northeast of Iran. **Saudi Society of Geosciences**. n. 7, p. 206-220, 2012.
- Bertol, I., Leite, D., Engel, F. L., Cogo, N. P., González, A. P. Erodibilidade de um nitossolo háplico alumínico determinada em condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, n. 3, p. 541-549, 2007.
- Bertoni, J., Lombardi Neto, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012.
- Braga, B., Hespanhol, I., Conejo, J. G. L., Mierzwa, J. C., Barros, M. T. L. de, Specer, M., Porto, M., Nucci, N., Juliano, N., Eiger, S. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- Cabral, J. B. P., Becegato, V. A., Scopel, I., Lopes, R. M. Estudo da erosividade e espacialização dos dados com técnicas de geoprocessamento na carta topográfica de Morrinhos – Goiás/Brasil para o período de 1971 a 2000. **GeoFocus**. n. 5, p. 1-18, 2005.
- Chaves, H. M. L. **Incertezas na predição da erosão com a USLE: impactos e mitigação**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. v. 34, p. 2021-2029, 2010.
- EMBRAPA. **Mapa de solos do estado do Paraná**. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA. 1 disco laser, 2008.
- EMBRAPA. **Carta de Solos do Estado do Paraná - MIR - 516 - Folha SG.22-Y-**



- A. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA, E:1:250000, 2008.
- Fornelos, L. F., Neves, S. M. A. S. Uso de modelos digitais de elevação (MDE) gerados a partir de imagens de radar interferométrico (SRTM) na estimativa de perdas de solo. **Revista Brasileira de Cartografia**. n. 59/01, abr, p. 25-33, 2007.
- Guerra, A. J. T., Silva, A. S. da, Botelho, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.
- INPE. **Tutorial 10 aulas – SPRING 5.1**. [S.l.]. 41 p, 2009.
- Neves, S. M. A. da S., Nunes, M. C. M., Neves, R. J., Soares, E. R. C. Estimativa da perda de solo por erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Jauru/MT. **Sociedade & Natureza**. Uberlândia, v. 23, n. 3, set.-dez, 2001.
- Paranhas Filho, A. C., Fiori, A. P., Disperati, L., Lucchesi, C., Ciali, A., Lastoria, G. Avaliação multitemporal das perdas de solos na bacia do rio Taquarizinho – MS. **Boletim Paranaense de Geociências**. Paraná, n. 52, p. 49-59, 2003.
- Ruthes, J. M., Tomazoni, J. C., Guimarães, E., Gomes, T. C. **Propriedades do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Catorze que Intensificam a Erosão Laminar**. *Revista Brasileira de Geografia Física*. p. 160-169, 2012.
- Santos, H. G. dos, Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C. dos, Oliveira, V. A. de, Oliveira, J. B. de, Coelho, M. R., Lumbreras, J. F., Cunha, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.
- Silva, A. M. da, Schulz, H. E., Camargo, P. B. de. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2007.
- Silva, M. A. da, Silva, M. L. N., Curi, N., Santos, G. R. dos, Marques, J. J. G. de S. e M. M., Menezes, M. D. de, Leite, F. P. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. n. 34, p. 1029-1039, 2010.
- Tomazoni, J. C., Guimarães, E. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 57, n. 3, p. 235-244, 2005.
- Tomazoni, J. C. (2003). **Morfodinâmica e transporte fluvial no Sudoeste do Estado do Paraná por método de levantamento de microbacias hidrográficas através de geoprocessamento**. 2003. 307 f. Dissertação (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – Pr, 2003.
- Vitte, A. C., Vilela Filho, L. R. Estimativa de perdas de solos em uma bacia hidrográfica sob o cultivo de frutíferas, no município de Valinhos (SP). **GEOUSP – Espaço e Tempo**. São Paulo, n. 20. p. 45-64, 2006.
- Waltrick, P. C. **Erosividade de chuvas no Paraná: atualização, influência do “El Niño” e “La Niña” e estimativa para cenários futuros**. 2010. 107 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2010.