

## **INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES AEROPORTUÁRIAS NA PERDA DE SOLO POR EROSÃO LAMINAR UTILIZANDO DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

**Camila Lourdes da Silva, Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi**

Universidade de Brasília  
Departamento de Engenharia Florestal, Campus Darcy Ribeiro, aculdade de Tecnologia,  
CEP: 70910-000, Fone: 55- 61 – 3107-5649, Brasília, DF – Brasil  
Email: ematricardi@gmail.com

**RESUMO** - A implantação, operação e expansão dos aeroportos são consideradas atividades potencialmente causadoras de grandes impactos ao meio ambiente. Elas desencadeiam processos erosivos, desmatamentos e danos a corpos hídricos. Estudos relacionados à erosão do solo são escassos em ambientes aeroportuários. O presente trabalho tem como objetivo identificar, mapear e estimar a perda de solo para os anos de 2003, 2009 e 2013 no Aeroporto Internacional de Brasília - Presidente Juscelino Kubitschek e seu entorno (2 km), período em que muitas obras de expansão foram realizadas. Foram utilizadas imagens de satélite de alta resolução espacial e Sistema de Informação Geográfica. Para identificar as áreas suscetíveis à erosão, foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solo – EUPS. Os resultados da EUPS mostraram que a área de estudo apresentou baixa perda de solos nos três anos analisados (inferior a  $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), indicando que os impactos causados pela expansão urbana (observada na área do entorno) e pelas atividades aeroportuárias foram similares. Esta pesquisa contribui para auxiliar na caracterização temporal da área do aeroporto e seu entorno, formando uma base para o planejamento ambiental estratégico e para futuras análises das mudanças do uso da terra na área de estudo.

**Palavras-Chave:** Sensoriamento Remoto, SIG, EUPS, atividades aeroportuárias.

**ABSTRACT** - The implementation, operation and expansion of airports are considered potentially causing activities of large impacts on the environment. They may trigger soil erosion, deforestation, and damage to water bodies. Studies related to soil erosion are still scarce for airport environments. This study aims to identify, map and estimate the environmental impacts on soil in 2003, 2009 and 2013 in the Brasília International Airport - President Juscelino Kubitschek and its surrounding area (2 km), a period in which several expansion works were conducted. Satellite images of high spatial resolution and Geographic Information System were used. The Universal Soil Loss Equation - USLE was used to identify areas susceptible to erosion. This study results using the USLE showed a low soil loss in the study area during the three studied years (less than  $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ), which indicated that the impacts caused by urban sprawl (observed within the surrounding area) and the airport activities were similar. Thus, this research results contribute to better characterize temporal changes in the airport and its surrounding area as a basis for strategic environmental planning and for future analysis of land use changes in the studied area.

**Keywords:** Remote Sensing, USLE, environmental, GIS, airport activities.

## INTRODUÇÃO

A erosão dos solos tem se acelerado em muitas partes do mundo, especialmente nos países em desenvolvimento, devido às diferentes condições socioeconômicas, aos fatores demográficos e aos recursos limitados (BAYRAMIN *et al.*, 2003; SHIFERAW, 2011), o que tem causado preocupação entre os pesquisadores de diversas áreas sobre as perdas e os custos incorridos (SHIFERAW, 2011).

A ação urbana pode promover um aumento substancial da taxa de erosão e sedimentação pela ocupação desordenada e o manejo inadequado do solo (CURI *et al.*, 1993; MATA *et al.*, 2007). De acordo com Moretti *et al.* (2013) o acelerado processo de urbanização e o crescimento desordenado das cidades

mudam severamente a paisagem, marcada por diferentes processos do meio físico, em geral associados a alguma degradação ambiental.

A construção de aeroportos, assim como outras grandes obras civis, requer atividades de terraplanagem que podem prejudicar o solo, a fauna, flora e recursos hídricos locais (ANDRADE *et al.*, 2004). Segundo Martins (2008), os problemas ambientais surgem não apenas quando os novos aeroportos estão sendo construídos, mas também quando as instalações nos aeroportos existentes são expandidas. Contudo, a natureza dos problemas varia de um aeroporto para outro.

A ocupação do solo nos aeroportos e seu entorno exige um tratamento diferenciado, pois se tratam de atividades de grande porte em áreas urbanas (MORAIS, 2008), consideradas indutoras de desenvolvimento para a região onde ele é construído, e sua implantação, operação e expansão são potencialmente modificadoras substanciais do meio ambiente. De acordo com o Brasil (2011), à medida que se implanta a infraestrutura para viabilizar a construção de um aeroporto, o fluxo natural de expansão e ocupação urbana é vetorizado na direção de seu entorno, pois a população busca usufruir das benfeitorias implantadas.

Segundo Valladares *et al.*, (2012) a equação universal de perda de solo (USLE) é considerado o modelo mais eficiente para estimar perdas de solo. Nesta equação, os fatores naturais mais importantes estão ligados ao clima, ao solo, à morfologia do terreno, e a fatores associados ao manejo (características da cultura) e à ocupação da terra (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

A USLE foi criada para aplicação em pequenas áreas de clima temperado, entretanto, seu uso em regiões tropicais e em escala regional é possível, principalmente, em um enfoque qualitativo a fim de discriminar áreas de maior e menor suscetibilidade à erosão (HOYOS, 2005; STEIN *et al.*, 1987; BLOISE *et al.*, 2001; MATA *et al.*, 2007).

Esta informação, ainda que qualitativa, fornece subsídios relevantes para a elaboração do planejamento agrícola e ambiental de bacias hidrográficas. A adequação do modelo da EUPS em ambiente computacional de um SIG permite uma otimização e resultados espaciais mais precisos (MATA *et al.*, 2007).

O presente trabalho buscou avaliar os impactos das atividades aeroportuárias no Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek sobre o solo ocorridos na última década, com base em dados de sensoriamento remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG). A área do estudo envolveu toda a área do referido aeroporto e seu entorno, localizado em Brasília, Distrito Federal.

## METODOLOGIA

A área de estudo envolve toda a área do aeroporto de Brasília e uma área de influência de 2 quilômetros, limitados pelas coordenadas 15°48'00" e 15°56'00" de latitude Sul e 47°51'00" e 47°58'00" de longitude Oeste, correspondendo a aproximadamente 7.873,39 hectares (Figura 1).

A definição de 2 quilômetros para o buffer foi feita com o intuito de medir o impacto direto da atividade aeroportuária para os índices sugeridos (degradação do solo e da vegetação). Não foi baseada em metodologia prévia. A escolha da dimensão do buffer procurou abranger diferentes tipos de paisagens existentes no entorno do aeroporto (diferentes formas de vegetação e ocupação humana).

Foram utilizadas para a interpretação visual, 3 imagens diferentes. Sendo a mais antiga (2003), originária de um mosaico de imagens datadas de abril de 2003, elaborado a partir de duas imagens obtidas pelo sensor HRV (*High Resolution Visible*)/SPOT com resolução espacial de 10 m. A imagem de 2009 é resultante de fotografias aéreas realizada pela empresa TOPOCART - Topografia

e Engenharia e aerolevantamentos em agosto de 2009, com resolução espacial de 25 cm (OLIVEIRA *et al.*, 2013). Para o ano de 2013 foi adquirida uma imagem digital de maio de 2013 a partir do *Google Earth Pro* 2013 a fim de realizar comparação mais recente.

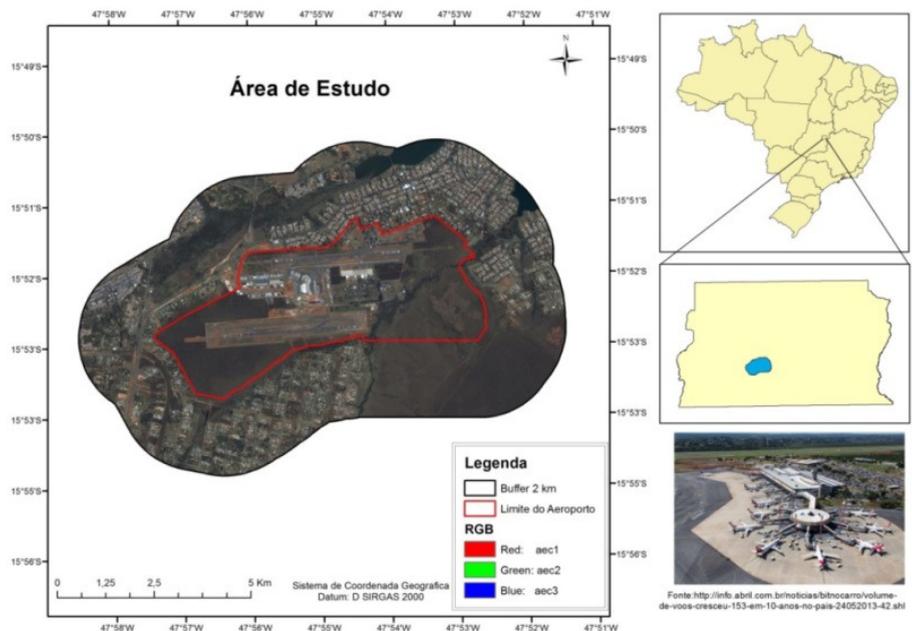


Figura 1 - Mapa de Localização da área de estudo, correspondente ao Aeroporto e uma área de influência (entorno) de 2 km.

A eleição desses diferentes períodos foi para avaliar os diversos marcos que ocorreram no aeroporto. Em 2003, havia somente uma pista de pouso e decolagem. Em 2009, a pista já havia sido construída, além de novas instalações no sítio. Já no ano de 2013, havia uma grande movimentação para a expansão do aeroporto por conta do aumento de usuários e também para o atendimento dos eventos esportivos previstos no país.

Cada uma das imagens foi analisada separadamente, utilizando o método de classificação visual com a finalidade de identificar os principais usos da terra na área de estudo. Para confirmação e integração dos dados, utilizou-se pesquisa bibliográfica e visitas *in loco*.

Adotou-se neste trabalho o sistema de projeções UTM (*Universal Transversa de Mercator*), Zona 23S e *Datum* SIRGAS 2000.

### **Parâmetros da EUPS**

A EUPS é um modelo matemático proposto por Wischmeier & Smith (1965) para prever perda de solo. Esta equação tem sido largamente utilizada para estimar perda de solo e/ou estimar os valores numéricos dos diferentes componentes dos processos erosivos. A EUPS pode ser expressa pela Equação (1):

$$A=R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

onde, A = perda solo, em t/(ha.ano); R = fator de erosividade da chuva, em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>;

K = fator de erodibilidade do solo, em t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>; L = fator de comprimento de rampa, baseado nos valores, em metros, do comprimento de rampa (adimensional); S = fator de declividade, com base nos valores, em porcentagem, da declividade (adimensional); C = fator de uso e manejo (adimensional); P = fator de práticas conservacionistas (adimensional).

Os fatores R, K, L e S dependem das condições naturais do clima, do solo e do relevo, e definem em conjunto o potencial natural de erosão. Os fatores C e P são antrópicos e se relacionam com as formas de ocupação e uso

das terras. Para aplicação do modelo em dada área, os referidos fatores devem ser ajustados considerando as condições locais (WEILL; SPAROVEK, 2007).

### Fator (R) - Erosividade da chuva

O fator R foi calculado a partir de índices mensais de erosão, obtidos pela equação (2), desenvolvida por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992)

$$EI_{30} = 67,355(r^2/P)^{0,85} \quad (2)$$

sendo = média mensal do índice de erosividade, em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>; = média do total mensal de precipitação, em mm; = média do total anual de precipitação, em mm; (1 ≤ i ≤ 12).

Para estimativa da erosividade da chuva, foram adotados os dados de erosividade em diferentes pontos do Distrito Federal, utilizados por Baptista (2003) (Tabela 1).

Os dados de erosividade para cada estação foram espacializados, pela utilização de um procedimento de interpolação, o método geoestatístico Krigagem Ordinária (*Ordinary Kriging*), metodologia aplicada por Oliveira *et al.* (2012), utilizando o software *ArcGis* 10.1. Como essa informação cobre o Distrito Federal foi possível readequar para a área de estudo proposta.

O mapa de Fator (R) foi gerado no SIG, com distribuição espacial das estações (após transformação das estações para o sistema de coordenadas UTM) e seus respectivos valores de erosividade. A interpolação dos valores foi gerada na extensão *Spatial Analyst*, obtendo resultando em um arquivo matricial, utilizado posteriormente para o cálculo de perda do solo.

Tabela 1: Erosividade da chuva em diferentes pontos do DF.

<b>Pontos</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Fator R</b>
Cabeça de veado	15°53'00"	47°51'00"	Paranoá	8129,5
ETEB SUL	15°49'00"	47°55'00"	Paranoá	7683,6
Jockey Club	15°48'00"	47°59'00"	São Bartolomeu	7885,6
Riacho Fundo GM 3	15°53'00"	48°03'00"	Paranoá	8286,1
ETEB NORTE	15°45'00"	47°53'00"	Paranoá	7800,6
Taquara	15°37'00"	47°31'00"	São Bartolomeu	7743,8
Paranoá	15°47'00"	47°43'00"	Paranoá	7125,5
Gama	15°59'00"	48°03'00"	Paranoá	8770,6
Descoberto	15°47'00"	48°14'00"	Descoberto	7869,2
Jatobazinho	15°43'00"	46°06'00"	Descoberto	8574,4
Brazlândia	15°41'00"	48°13'00"	Descoberto	8699,6
Barreiro	15°51'00"	47°38'00"	São Bartolomeu	7878,4
Área Alfa	15°49'00"	47°58'00"	São Bartolomeu	7799,4
Papuda	15°58'00"	47°40'00"	São Bartolomeu	7793,6
Planaltina	15°40'00"	47°43'00"	São Bartolomeu	7523,0
Contagem	15°39'00"	47°55'00"	Paranoá	8609,5
Taguatinga	15°47'00"	48°08'00"	Descoberto	8873,0
Rio preto	15°48'00"	47°27'00"	Rio Preto	6932,3

Fonte: Baptista (2003) adaptado.

### **Fator (K) - Erodibilidade dos solos**

A espacialização do fator (K) está relacionada ao mapa pedológico da área de estudo, visto que a erodibilidade é uma propriedade inerente a cada classe de solo. Por essa razão, ela é fundamental para auxiliar na identificação e conversão dos dados de erodibilidade. Este valor foi determinado a partir do Nomograma de Wischmeier *et al.* (1971), conforme descrito na Tabela 2 deste manuscrito.

Tabela 2: Erodibilidade dos solos, segundo nomograma Wischmeier et al. (1971).

<b>Grandes grupos de solos</b>	<b>Erodibilidade em (t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>)</b>
Latossolo Vermelho-escuro	0,013
Latossolo Vermelho-amarelo	0,02
<b>Grandes grupos de solos</b>	<b>Erodibilidade em (t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>)</b>
Gleissolo Háptico	0,031
Plintossolo Pétrico	0,031
Lago, lagoa, represa	0
Cambissolo	0,024

Para o atributo lago, lagoa, represa, como a informação sobre o solo existente anteriormente no local é desconhecida, ele foi utilizado como máscara, ou seja, foi atribuído zero na variável.

A Tabela 3 apresenta classes de interpretação utilizada para embasar o resultado dos índices de erodibilidade do solo, conforme Borges (2009).

Tabela 3: Intervalo de classes da Erodibilidade com sua respectiva interpretação.

<b>Intervalo de Classes (t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>)</b>	<b>Interpretação</b>
< 0,15	Baixa
0,15 - 0,30	Média
> 0,30	Alta

### **Fator (CP) - Uso e manejo da terra e práticas conservacionistas**

Os fatores C e P estão relacionados ao uso da Terra e cobertura vegetal da área estudada, podendo, portanto, variar ao longo dos anos em função de mudanças na forma e intensidade deste uso (BORGES, 2009).

Buscando-se correlacionar as classes de uso e ocupação de solo com as variáveis CP integradas, foi adotado o procedimento descrito por Baptista (2003), segundo o qual, na integração, foi adotado 1 para o valor constante de P (práticas conservacionistas). A atribuição desse peso para o fator P ocorre por ser a pior situação quanto às perdas de solo em função das práticas conservacionistas, tendo em vista que não se conseguem valores confiáveis de P quando se utilizam as técnicas de geoprocessamento.

Para determinar o mapa de uso e ocupação da terra foi necessário, a partir da interpretação visual, correlacionar às classes identificadas com os valores pré-determinados, adaptando a metodologia seguida por Baptista (2003) (Tabela 4).

Para avaliar a dinâmica do uso e cobertura da terra ocorrida durante os anos de 2003, 2009 e 2013, foram elaborados mapas de uso e cobertura do solo a partir de interpretação visual de imagens de satélite de alta resolução espacial.

Esta etapa consistiu em delimitar visualmente em tela de computador, com a ajuda do programa *ArcGis* 10.1® as classes de uso da terra de interesse neste estudo, a partir de uma legenda pré-definida. As classes identificadas por esse diagnóstico foram: Área urbanizada, Cerrado Sentido Restrito, Corpo d'água, Campos (gramínea), Estrutura Operacional do Aeroporto, Área degradada, Mata Ciliar e Mata de Galeria, Murundus e veredas. A partir do ano de 2009, foi adicionada mais uma classe (“área em recuperação”) de uso da terra, observada em decorrência da implementação de atividades de redução de impactos ambientais na área de estudo.

A partir desses dados, foi possível a localização e quantificação de cada classe de uso identificada nas áreas de estudo e o cálculo da área de cada classe. O mapeamento do uso e cobertura da terra foi utilizado também para fundamentar os dados da fragmentação.

Tabela 4: Valores de CP para as classes de uso e ocupação de terra identificadas.

Uso e ocupação do solo	CP
Espaço urbano consolidado	0,00000
Mata Galeria	0,00004
Campo (limpo/sujo/úmido)	0,01000
Cerrado (sentido restrito)	0,00070
Reflorestamento	0,00001
Áreas degradadas (cascalheira/areal/aterro /áreas de empréstimo)	1,00000
Lagos/lagoas/reservatórios	0,00000

Fonte: Baptista (2003) adaptado.

Foram feitas adequações para algumas classes de interpretação utilizadas nessa metodologia para os valores de CP: assim sendo, para a classe área urbana e estrutura operacional do aeroporto, foi atribuída à denominação espaço urbano consolidado. Para área em recuperação considerou-se reflorestamento. Para murundus e veredas foi utilizado o uso para campo úmido. E para corpo d'água foi usada à classificação do valor CP equivalente a Lago/lagoas/reservatórios adotado por Baptista (2003).

### Fator (LS) – Fator Topográfico

O fator topográfico foi obtido a partir dos parâmetros de comprimento de rampa e declividade da vertente, extraídos do Modelo Digital de Terreno (MDT). Conforme Bloise *et al.* (2001) ele é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço.

O MDT no ZEE-DF (2011) foi gerado a partir da interpolação dos pontos cotados e das curvas de nível na escala de 1:10.000 do SICAD/SITURB.

Para confecção do mapa de Fator LS foi preciso gerar outros produtos intermediários no formato matricial.

Para gerar o mapa de Acúmulo de Fluxo, utilizou-se o *software* ArcGis 10.1 ®, módulo *Spatial Analyst tools, hydrology*. Utilizou-se a ferramenta *fill* para preencher os valores vazios do MDT e em seguida foi obtido o arquivo em formato matricial para direção de fluxo. A partir dessa informação foi possível gerar o mapa de acúmulo de fluxo, usando a ferramenta *flow accumulation*.

Para modelagem em áreas de deposição, seguiu-se a metodologia utilizada por Souza e Matricardi (2012) na qual foram consideradas como áreas de deposição, áreas com concavidade acima de 0,2 assumindo perda de solo nula. Para a validação das informações obtidas, foi realizado um corte na USLE, tendo como base o modelo de concavidade do terreno.

Como uma das limitações da USLE está no fato de não conseguir modelar adequadamente perda de solo em áreas de deposição, que são terrenos côncavos (Figura 2. B), a USLE é eficiente na modelagem em terrenos convexos e lineares (2. A/C).

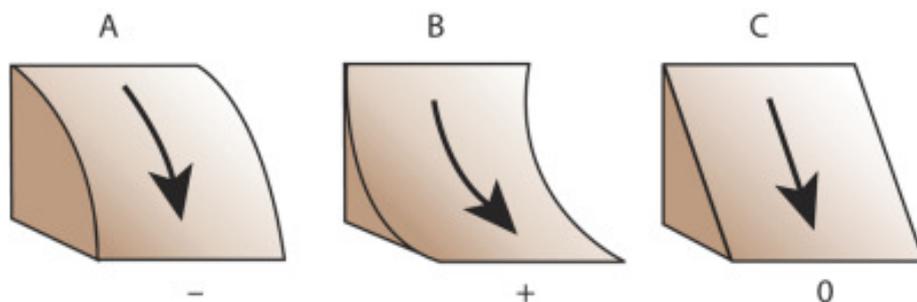


Figura 2 - Perfil de curvatura: A) Terreno convexo; B) Terreno côncavo; C) Terreno linear. Fonte: <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2010/10/27/understanding-curvature-rasters/>

Utilizou-se o modelo proposto por Shiferaw (2011) para a estimativa do fator LS da EUPS, cuja formulação é apresentada na Equação 3.

$$LS = \left( \frac{\text{Fluxo acumulado} \times \text{Tamanho da célula}}{22,13} \right)^{0,4} \times \left( \frac{\text{seno(declividade)}}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (3)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Fator (R)

Os resultados da análise da erosividade das chuvas mostraram que os valores variaram de 8.125,14 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 7.765,88 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (Figura 3). O valor médio anual encontrado para a área de estudo foi de aproximadamente 7.962,71 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

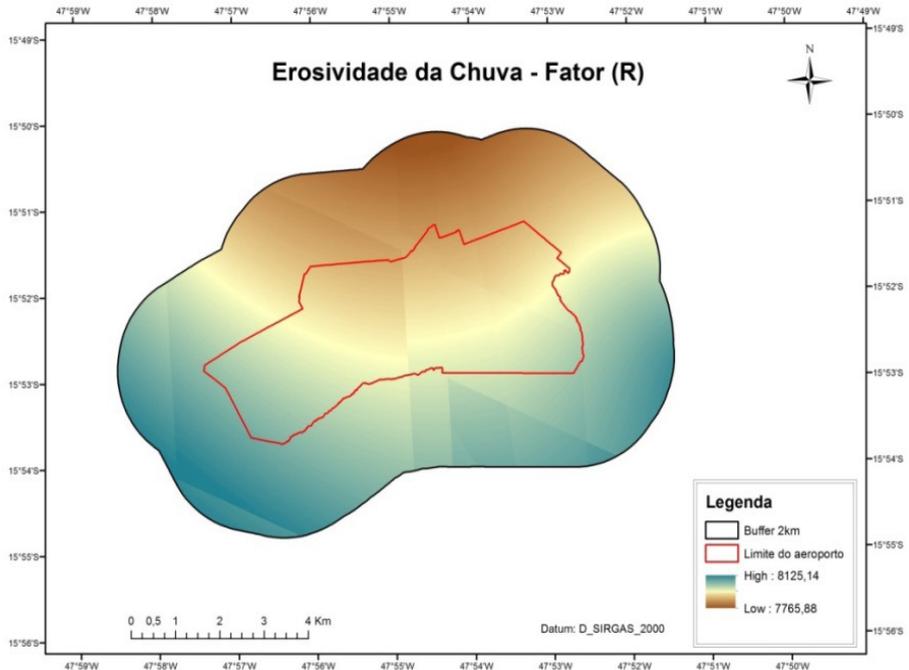


Figura 3 – Fator R – Mapeamento da Erosividade da chuva, em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

Souza e Matricardi (2012) encontraram média de  $6.674,9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  em um estudo na APA Gama e Cabeça de Veado, área na qual este estudo está inserido.

### Fator (K)

Segundo proposto por Borges (2009) os valores de K foram divididos nas classes de interpretação de erodibilidade, (Tabela 2) sendo dispostos como mostra a Figura 4.

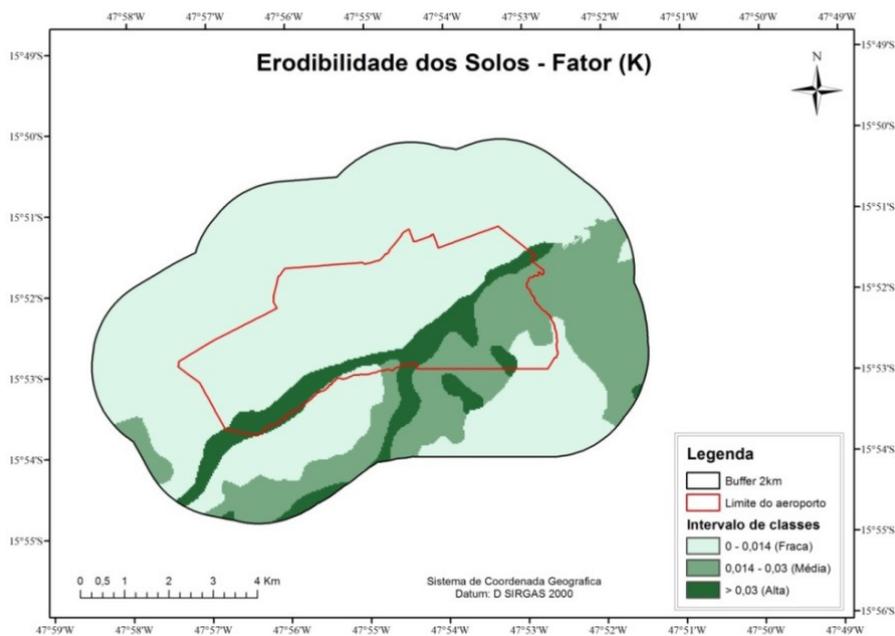


Figura 4 – Fator K – Mapeamento da erodibilidade dos solos, em  $t \text{ ha h}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ .

A espacialização dessa variável está relacionada ao fator pedológico da área de estudo (Figura 5).

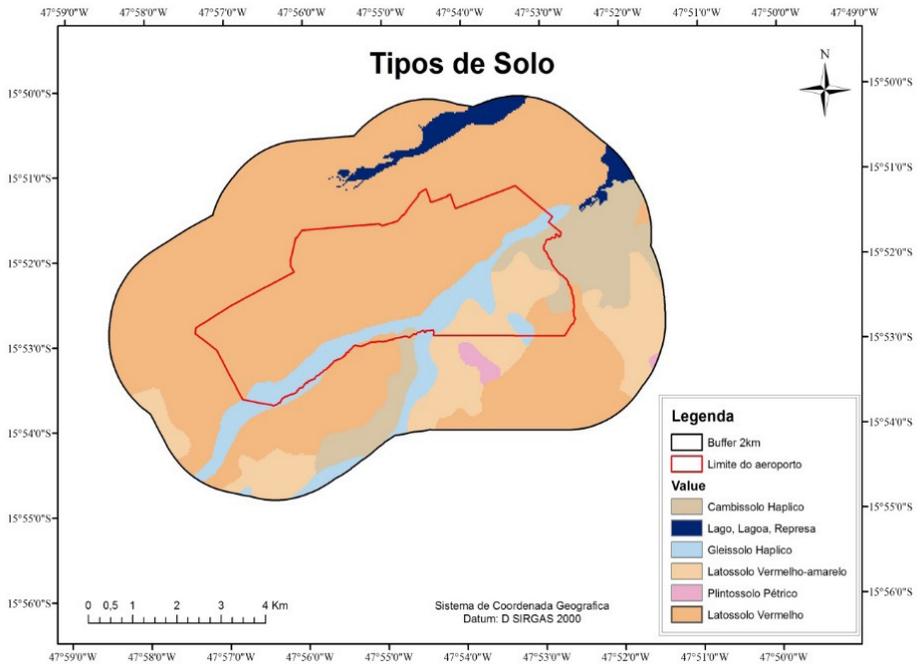


Figura 5 - Tipos de solo encontrados na área de estudo. Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1978), com atualização da nomenclatura das classes conforme EMBRAPA (2006).

Os solos com maior erodibilidade são os Gleissolos e Plintossolos Pétricos. Eles possuem valor de K maiores que  $0,03 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  e possuem menor resistência à erodibilidade, ocupando aproximadamente 7,9% da área.

Os tipos de solo classificados com erodibilidade média foram os Latossolos Vermelho-amarelo e os Cambissolos. Eles ocupam 21,5% da área de estudo. O grupo que possui a maior resistência à erodibilidade do solo (menor erodibilidade) na área de estudo agrupa: Latossolo Vermelho-escuro e Lago, lagoa, represa. Elas representam aproximadamente 70,5% da área. Logo, a maior parte da área de estudo possui solos com erodibilidade média e baixa.

**Fator (CP)**

A partir do mapeamento do uso da terra foi possível observar a evolução temporal do impacto. A tabela 5 mostra o percentual para os anos avaliados.

*Tabela 5: Classes de uso da terra para os três anos avaliados.*

<b>Categoria</b>	<b>Usos 2003 (%)</b>	<b>Usos 2009 (%)</b>	<b>Usos 2013 (%)</b>
Área degradada	1,68	0,72	0,79
Área urbanizada	39,56	41,78	40,09
Campos (gramínea)	17,05	19,32	18,74
Cerrado Sentido Restrito	22,02	16,43	16,13
Corpo d'água	2,01	1,84	1,85
Estrutura operacional do aeroporto	7,47	10,25	11,40
Mata Ciliar e Mata de Galeria	10,08	8,58	9,90
Murundus e veredas	0,12	0,24	0,08
Área em Recuperação		0,85	1,03
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

A partir dos dados da tabela 4, observou-se que a categoria mais representativa na área de estudo é a área urbanizada. Outra informação relevante foi a retração da classe Cerrado Sentido Restrito no decorrer dos anos e a expansão da categoria Estrutura Operacional do Aeroporto.

O mapa referente ao fator CP foi gerado a partir do mapa de uso e cobertura da terra. Para o ano de 2003 não havia a categoria correspondente a reflorestamento (área em recuperação). A estrutura operacional do aeroporto era bem reduzida quando comparada com os anos seguintes avaliados, classificação atribuída à variável espaço urbano consolidado (Figura 6).

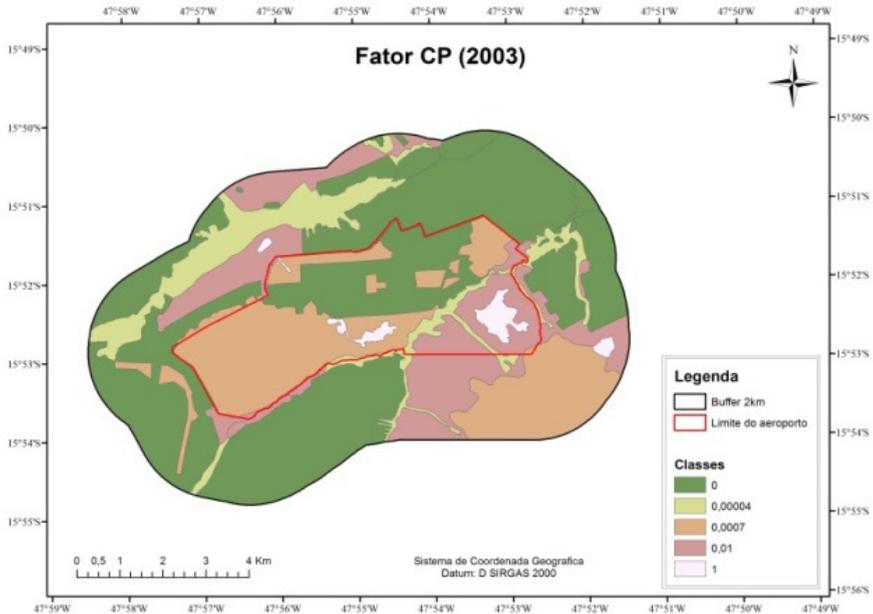


Figura 6 – Mapa de Uso e Manejo do Solo para o ano de 2003.

Entre 2003 e 2009 foi realizada a construção da segunda pista do aeroporto, evento responsável pela expansão da classe denominada espaço urbano consolidado (Figura 7). Conseqüentemente, essa obra gerou uma compensação florestal que resultou na inclusão da classe 0,00001 correspondente a reflorestamento (área em recuperação).

O último ano analisado é 2013, o qual apresentou redução da classe Cerrado (sentido restrito) e aumento da classe espaço urbano consolidado (Figura 8). Esse resultado coincide com as obras de expansão do terminal de passageiros e áreas operacionais para a Copa do Mundo de 2014.

O intervalo predominante para os três anos foi o referente ao valor 0 (zero). Ele corresponde ao uso espaço urbano consolidado, que conforme já citado na metodologia, está classificado como a Área Operacional do Aeroporto, a Área urbanizada e também a categoria Lago/lagoas e reservatórios correspondendo.

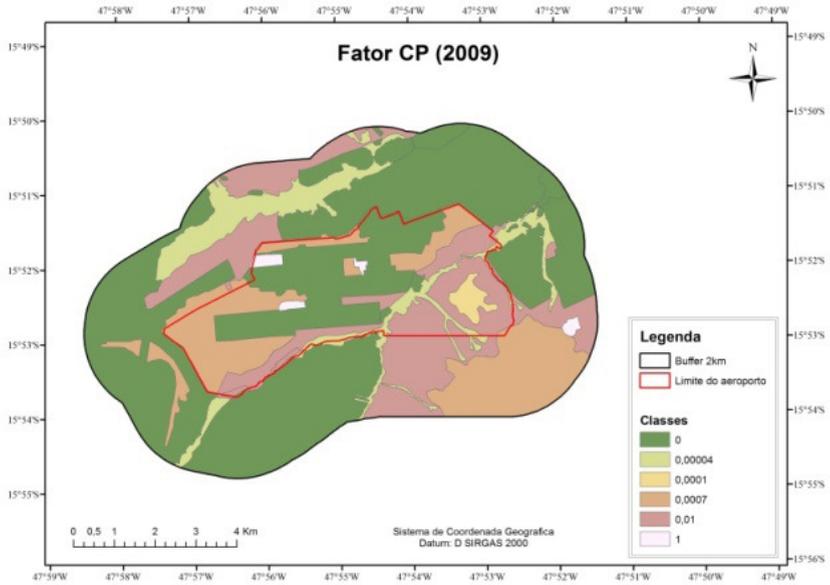


Figura 7 - Mapa de Uso e Manejo do Solo para o ano de 2009.

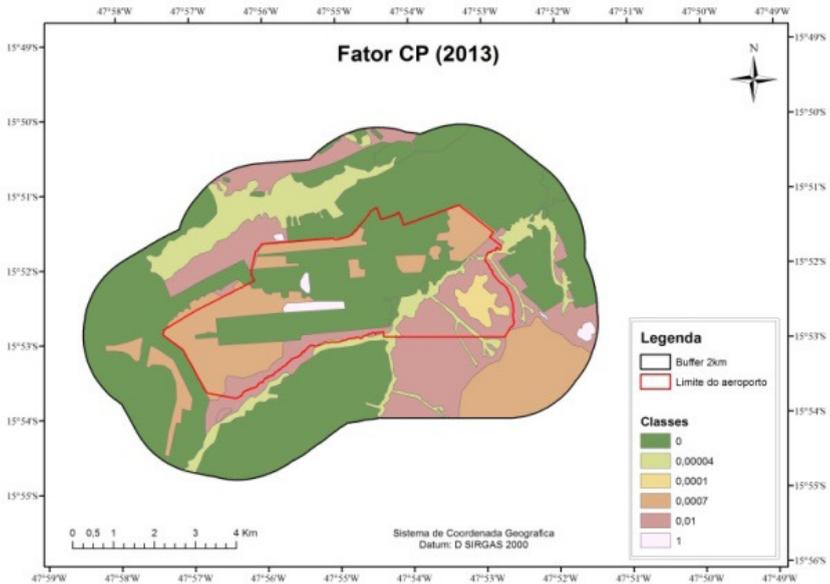


Figura 8 - Mapa de Uso e Manejo do Solo para o ano de 2013.

No decorrer dos 3 anos desta análise, houve diminuição substancial da categoria Cerrado (0,0007), especialmente quando comparada ao intervalo de 2003 e 2009. Tal fato está relacionado à construção da segunda pista de pouso e decolagem, que exigiu o desmatamento de áreas de cerrado.

### Fator (LS)

O fator LS apresenta amplitude de 0 a 1, com média de 0,16 e desvio padrão de 0,36 (Figura 9). Segundo Souza e Matricardi (2012), áreas com baixo fator LS estão mais sujeitas a erosão laminar devido ao maior comprimento de rampas e consequentemente maior velocidade de escoamento.

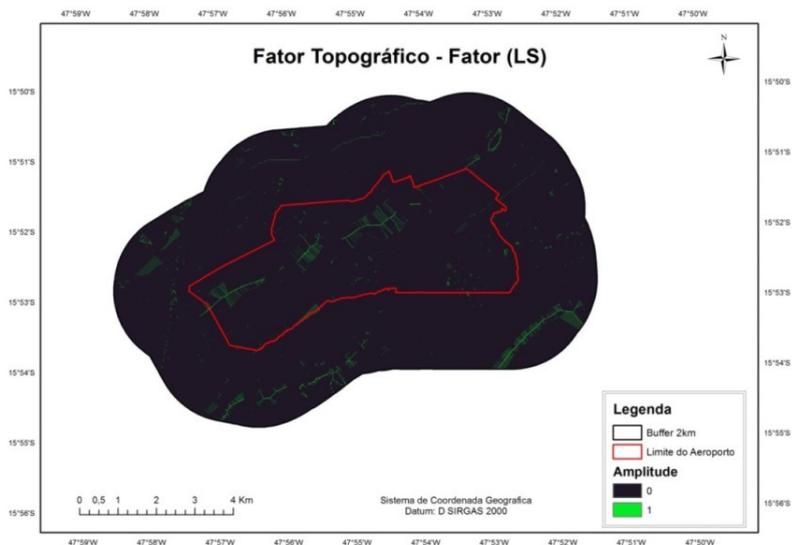


Figura 9 - Mapa de representação do fator topográfico na área de estudo.

Frota (2012) classificou os valores determinados para o fator LS em: amenizador ( $LS < 0,99$ ), por tratar-se de uma classe onde o papel do relevo não é, matematicamente, acelerador, mas sim amenizador do processo erosivo; neutro ( $LS = 1$ ), pois a participação do fator LS é nula (elemento neutro de multiplicação); e acelerador ( $LS > 1$ ).

Neste caso, verifica-se que o valor resultante da perda de solo é ampliado, mostrando a participação do relevo cada vez maior na aceleração do processo de perda de solo em função do aumento do valor LS. De acordo com a EUPS, a integração entre os fatores L e S é o que determinará a real influência da topografia no processo de perdas de solo por erosão laminar. Em termos práticos, quanto maior o comprimento das rampas e mais acentuado o declive, maior será a velocidade do escoamento superficial na vertente e o conseqüente transporte de sedimentos.

### **Perda de solo**

Os valores de perda de solos na área variam de 0 a 99,61 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para o ano de 2003; 0 a 103,26 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para o ano de 2009; e 0 a 103,27 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para o ano de 2013 (Figura 10).

Com a finalidade de investigar alterações referentes à natureza e intensidade do impacto a área de estudo foi dividida em três categorias: área total, área do aeroporto e entorno.

Verificou-se que a maior perda de solo para a área de estudo ocorreu, predominantemente, abaixo de 0,25 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para os três anos analisados, envolvendo um percentual de mais de 99% da área de estudo. Segundo Xavier *et al.* (2013), valores menores que 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> são classificados como baixo grau de erosão de solos.

No estudo realizado por Souza e Matricardi (2012) para a Área de Proteção Ambiental Gama e Cabeça de Veado, Distrito Federal, o risco de erosão laminar foi considerado abaixo dos valores críticos, de forma que 96,4% da área estudada (a APA) apresentava perda abaixo de 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Como o aeroporto está inserido nessa área de preservação, pode-se inferir que o comportamento observado no presente estudo foi similar.

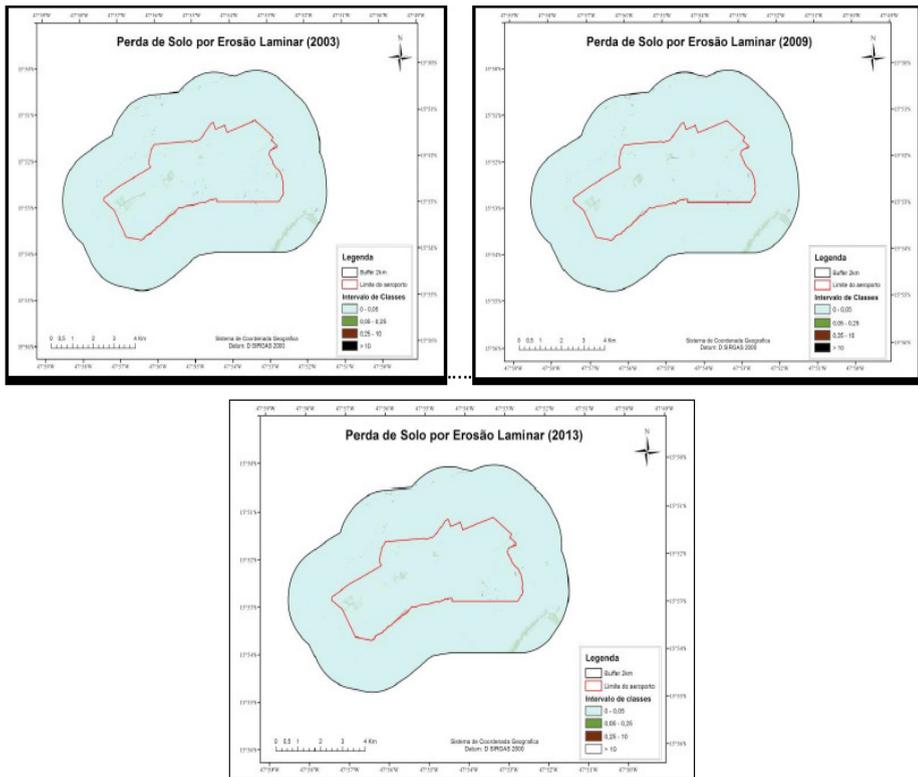


Figura 10 - Perda de solo por erosão laminar para os anos de 2003, 2009 e 2013.

## CONCLUSÕES

A perda de solo foi considerada de baixa intensidade para a área do aeroporto, o entorno e área total para o período avaliado. Souza e Matricardi (2012) também obtiveram valores similares de erosão laminar em outro estudo para a APA Gama Cabeça de Veado, onde a área do aeroporto está inserida (SOUZA; MATRICARDI, 2012).

A variável CP teve influência para a aquisição desse resultado, pois a partir da análise dos fatores antrópicos, pôde-se perceber que a área era ocupada predominantemente pela categoria classificada como “espaço urbano

consolidado”, que engloba principalmente a estrutura operacional do aeroporto e a área urbanizada, qualificadas com CP igual 0,0000.

Observou-se a substituição da vegetação nativa pela urbanização da área estudada para os três anos avaliados, confirmando o efeito da CP.

Os resultados desse estudo podem contribuir para o melhor entendimento da distribuição espacial e dos fatores responsáveis pelos processos erosivos, auxiliando o planejamento do uso do solo e a mitigação de impactos decorrentes das atividades aeroportuárias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A. G; MELO, A. S; BARUQUI, A. M; CAPECHE, C. L; SANTOS, F. A; PORTOCARRERO, H; LIMA, J. A. S; PEREIRA, N.R; TOLEDO, O. M.R; SILVA, P. E. F; TAPAJÓS, P. B. A; PRADO, R. B; FERRAZ, R. P. D; RAMALHO-FILHO, A.; TAVARES, S. R. L; BHERING, S. B; CUNHA, T. J. F; COSTA, T. C. C. Soil Conservation and Degraded land recovery in Brazilian Airports. In: Fourth International Conference and Land Degradation. Cartagena, Colômbia. **Anais**. 2004. 5p.
- BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico ambiental de erosão laminar: Modelo Geotecnológico e aplicação**. Editora Universa. Brasília, DF. 140p. 2003.
- BAYRAMIN, I., O.; DENGİZ., O.; BASKAN, M.; PARLAK, M. Soil Erosion Risk Assessment with ICONA Model; Case Study: Beypazari Area. **Turk Journal of Agriculture and Forestry**. v. 27. p. 105 – 116. 2003.
- BLOISE, G. L. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; REATTO, A.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E. S.; DE CARVALHO, A. P. F. **Avaliação da suscetibilidade natural à erosão dos solos da Bacia do Olaria – DF**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Cerrados, Planaltina – DF. p. 1 – 33. 2001.

- BORGES, K. M. R. **Avaliação da susceptibilidade erosiva da bacia do rio Carinhonha (MG/BA) por meio da EUPS – Equação Universal de Perda de Solos.** 2009. 91 ff. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília. 2009.
- BRASIL. Instituto de Aviação Civil (IAC). **Manual de Gerenciamento de Uso do Solo no Entorno de Aeródromos.** *sd.* Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/arquivos/pdf/manualSolo.pdf>. Acessado em: outubro de 2011.
- CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. (1993) **Vocabulário de ciência do solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 89p.
- FROTA, P.V. Potencial na Bacia de Drenagem do Açude Orós – CE. Brasília, 2012. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília. 2012. 179p.
- HOYOS, N. (2005). Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Catena*, 63 (1): 85 -108.
- LOMBARDI NETO, F. & MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). *Bragantia*, 51: 189-196, 1992.
- MARTINS, E. M. **Gestão Ambiental de Resíduos em Aeroportos.** 2008. 130 f. Monografia (pós-graduação em gestão e planejamento ambiental). Universidade Estácio de Sá, 2008.
- MATA, C. L.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F. Avaliação multitemporal da suscetibilidade erosiva na bacia do rio Urucuia (MG) por meio da equação universal de perdas de solos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.8, p. 57-71, 2007.
- MORAIS, L.R. **Estudo de Barreiras Acústicas no Controle do Ruído Aeroportuário.** 314 f. 2008. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.
- MORETTI, R.V; VIVANCO, J. M.C; LOLLO J.A. Mapa de Landforms para previsão

- preliminar de Suscetibilidade à Erosão para a área de expansão urbana de Ilha Solteira – SP. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais**. Foz do Iguaçu, PR. 2013. 1106 -1113 p.
- OLIVEIRA, B, E, N.; MATRICARDI, E. A. T.; CHAVES, H. M. L. BIAS, E. S. Identificação dos processos erosivos lineares no Distrito Federal através de fotografias aéreas e geoprocessamento. **Geociências**, v. 32, n. 1, p. 152-165, 2013.
- OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B.B.; SOBRINHO, T, A.; DE CARVALHO, D. F.; PANACHUKI, E. Spatial variability of the rainfall erosive potential in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Eng. Agric.**, Jaboticabal, v.32, n.1, p.69-79, jan./fev. 2012.
- SHIFERAW, A. Estimating soil loss rates for soil conservation planning in the Borena Woreda of South Wollo Highlands, Ethiopia. **Journal of Sustainable Development in Africa**. Vol. 13. n. 3. 2011.
- STEIN, D.P.; DONZELLI, P.L.; GIMENEZ, A.F.; PONÇANO, W. L; LOMBARDI NETO, F. (1987). Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na Bacia do Peixe-Paranapanema. **Anais**. 4º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Marília-SP: ABGE/DAEE, p. 105 – 135.1987.
- VALLADARES, G. S.; GOMES, A. S.; TORRESAN, F.E.; RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R. Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.9, p.1376-1383, 2012.
- WEILL, M. A. M.; SPAROVEK, G. **Estudo da erosão na microbacia do ceveiro (Piracicaba, SP). I – Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS**. R. Bras. Ci. Solo, 32. 801 – 814, 2008.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. (1978) **Predicting rainfall erosion losses; a guide to consevation planning**. Washington: United States - Department of Agriculture, 58 p. (USDA Agric. Handbook, n. 537).

WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.; CROSS, B. (1971) A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil Water Conservation**, 26 (2): 189-193.

WISCHMEIER, H. D.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains**. Washington, USDA, 1965. 47 p

ZEE-DF - ZONEAMENTO ECOLÓGICO E ECONÔMICO DO DISTRITO FEDERAL. (2011). Execução técnica - Greentec Consultoria e Planejamento Ltda, vencedora do processo licitatório - Solicitação de Proposta nº 004/2008, por meio do contrato de serviço nº 21/2009 (UGP/SEDUMA).