

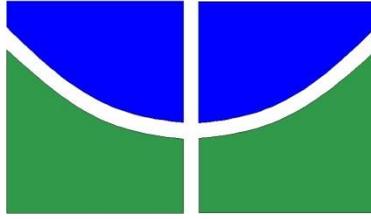


**ANÁLISE DO POTENCIAL DE EROSÃO LAMINAR NA SUB-BACIA  
RIBEIRÃO PONTE ALTA (DF) UTILIZANDO A EUPS**

**Paula Lopes Germano de Oliveira**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE EROSÃO LAMINAR NA SUB-BACIA  
RIBEIRÃO PONTE ALTA (DF) UTILIZANDO A EUPS**

**Paula Lopes Germano de Oliveira**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Brasília, novembro de 2018



Universidade de Brasília – UnB  
Faculdade de Tecnologia – FT  
Departamento de Engenharia Florestal – EFL

## **Análise do potencial de erosão laminar na sub-bacia Ribeirão Ponte Alta (DF) utilizando a EUPS**

Estudante: Paula Lopes Germano de Oliveira

Matrícula: 12/0053497

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli

Matricardi Menção: **SS**

Prof. Dr. Eraldo A. T. Matricardi  
Universidade de Brasília -UnB  
Departamento de Engenharia Florestal –  
EFL Orientador

Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Gaspar  
Universidade de Brasília -UnB  
Departamento de Engenharia Florestal -  
EFL Membro da Banca

**Novembro, 2018.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais que sempre acreditaram no meu potencial, me apoiaram e proporcionaram tudo que estava ao alcance para que eu pudesse chegar aonde estou.

Ao meu professor e orientador Eraldo A. T. Matricardi quem eu tenho grande admiração por sua sabedoria, carisma e paciência, e que teve e sempre terá um importante papel no meu desenvolvimento acadêmico, profissional e pessoal.

Ao meu namorado que esteve comigo na maior parte da graduação, por ter me ensinado bastante, pela sua paciência, companheirismo e todo amor construído durante esses anos.

Aos meus amigos que me acompanham nessa louca aventura que é a vida, que me deram suporte para vencer todos os obstáculos e que me fazem amadurecer como pessoa todos os dias.

A toda a equipe da gerência de Agroecologia e Meio Ambiente da EMATER por terem me acolhido como parte da equipe, pelos ensinamentos e por terem contribuído significativamente no meu crescimento profissional e pessoal.

Ao Departamento de Engenharia Florestal, ao corpo docente e funcionários que sempre estiveram disponíveis e solícitos para toda e qualquer necessidade.

A banca examinadora pelo apoio e disposição em participar dessa importante etapa da minha graduação.

## RESUMO

### ANÁLISE DO POTENCIAL DE EROÇÃO LAMINAR NA SUB-BACIA RIBEIRÃO PONTE ALTA (DF) UTILIZANDO A EUPS

Várias áreas ecologicamente importantes do bioma Cerrado têm sido destruídas ou estão sobre grande pressão antrópica como consequência do acelerado processo de expansão da ocupação das terras no Distrito Federal. A aceleração dos processos de erosão dos solos é um dos efeitos da expansão humana sobre os recursos naturais. O desencadeamento dos processos erosivos depende da interação das variáveis influentes no processo, como a erosividade da chuva, as propriedades do solo, características geomorfológicas do terreno e manejo do solo. A erosão laminar é originada quando a energia do escoamento superficial é maior que as forças de coesão que mantêm as partículas de solo juntas. Esse tipo de erosão ocorre de forma difusa, sem o desenvolvimento de fluxos canalizados visíveis, entretanto, pode ocasionar perdas significativas de solo e de produtividade dos solos. A presente pesquisa teve como objetivo analisar o potencial de perda de solo por erosão laminar na sub bacia Ribeirão Ponte Alta (DF), através da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS). A EUPS aliada à Sistema de Informação Geográfica – SIG permitiu a avaliação do potencial de perda de solo em diversas condições fisiográficas na área de estudo. O cálculo da perda de solo anual da área de estudo foi realizado a partir da elaboração de mapas temáticos individualizados para cada componente da EUPS, sendo eles os fatores R, K, LS e CP. Para o fator erosividade da chuva (R) a média anual para a área de estudo foi de 8.420,88 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>. As classes de solo predominantes na área estudada foram os Cambissolos e Latossolos, os valores para o fator K adotados foram, 0,0217 e 0,0151 t.ha.h/ha.MJ.mm respectivamente. O fator topográfico LS atingiu valores máximos de 39,76. Na área desta pesquisa, observou-se uma predominância de áreas cobertas por vários tipos de vegetação nativa alternadas por uso chácaras de uso misto e pastagens. Em geral, a taxa anual de erosão laminar estimada foi considerada baixa, apresentando variação em alguns locais normalmente devido as alterações na cobertura do solo. Os resultados da presente pesquisa poderão auxiliar o direcionamento de ações pelos gestores da sub-bacia estudada na definição e implementação de usos alternativos e manejo dos solos para redução ou mitigação dos processos erosivos mais acelerados na região de estudo.

**Palavras-Chave:** Cerrado, erosão, Equação Universal da Perda de Solo, geoprocessamento.

## ABSTRACT

### ANALYSIS OF THE POTENTIAL OF SHEET EROSION IN THE RIBEIRÃO PONTE ALTA WATERSHED IN THE FEDERAL DISTRICT USING USLE

Several environmentally relevant areas of Cerrado biome have been destroyed or are under anthropic pressure because of the accelerated process of expansion of land occupation in the Federal District. The acceleration of soil erosion processes is one of the effects of human expansion on natural resources. The trigger of soil erosion depends on the interaction of related variables in the erosion process, as the rainfall erosivity, soils properties, geomorphological characteristics of the terrain, plant cover, and soil management. The sheet or laminar erosion begins when the energy of the flow of water surface is greater than the cohesive forces that keeps soil particles together. This type of erosion occurs in a diffuse manner without developing visible channeled flow, however, may cause significant soil loss or loss of soil productivity. This research aimed to analyze the potential of soil loss caused by sheet erosion in the Ribeirão Ponte Alta watershed especially located in the Federal District (DF) of Brazil by applying the Universal Soil Loss Equation (USLE). The USLE combined with a Geographic Information System - GIS allowed to assess the potential of soil losses under various physiographic conditions in the study area. The estimation of the annual soil loss for the study area was achieved by using thematic maps that corresponded to the components (factors R, K, LS e CP) of the USLE. Based on this study results, I estimated that the rain erosivity factor (R) for the study site is approximately  $8.420,88 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}\text{h}^{-1}$ . Most of the study area was covered by Cambissolos and Latossolos, which were assigned soil erosivity scores of 0,0217 and 0,0151  $\text{t.ha.h/ha.MJ.mm}$ , respectively. The estimated maximum topographic factor (LS) was 39,76. I also observed that the study area was predominantly covered by different types of native vegetation alternated by mixed-farm uses and pastures. The estimated annual rate of sheet erosion was considered low although it is variable in some places because of land use and cover changes. Based on it, this study may support decision maker to define strategies of soil management and to enforce alternative land uses to reduce or mitigate the accelerated erosive processes in the study region.

**Keywords:** Cerrado, erosion, Universal Soil Loss Equation, geoprocessing.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	3
1.1.	QUESTÕES NORTEADORAS DE ESTUDO .....	4
2.	OBJETIVOS .....	5
2.1.	Objetivo geral .....	5
2.2.	Objetivos específicos .....	5
3.	REVISÃO DE LITERATURA .....	5
3.1.	Expansão agrícola e urbana no Distrito Federal .....	5
3.2.	Erosão .....	6
3.2.1.	Erosão laminar .....	7
3.2.2.	Sulcos, ravinas e voçorocas .....	7
3.2.3.	Fatores condicionantes dos processos erosivos .....	8
3.3.	Equação Universal de Perda de Solo – EUPS .....	10
3.3.1.	Fator Erosividade da Chuva (R) .....	11
3.3.2.	Fator Erodibilidade do Solo (K) .....	11
3.3.3.	Fator Comprimento de Rampa e Declividade (LS) .....	12
3.3.4.	Fator Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas (CP) .....	12
3.4.	Geoprocessamento .....	12
3.5.	Uso e Cobertura da Terra.....	13
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
4.1.	Localização e caracterização da área de estudo .....	13
4.1.2.	Solo.....	15
4.1.3.	Clima .....	15
4.1.4.	Relevo.....	15
4.1.5.	Vegetação .....	16
4.1.6.	Uso e Cobertura da Terra.....	16
4.2.	Base de dados.....	17
4.3.	EUPS.....	18
4.3.1.	Determinação do Fator R.....	18
4.3.2.	Determinação do Fator K .....	20
4.3.3.	Determinação do Fator LS.....	21

4.3.4.	Determinação do Fator CP .....	22
4.3.5.	Cálculo da Estimativa de Erosão .....	23
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
5.1.	Erosividade da chuva (Fator R) .....	24
5.2.	Erodibilidade dos solos (Fator K) .....	27
5.3.	Comprimento de Rampa e Declividade (LS).....	28
5.4.	Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas (CP).....	29
5.5.	Potencial de Erosão Laminar .....	32
5.6.	Medidas de mitigação .....	34
6.	CONCLUSÃO.....	35
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de localização das estações pluviométricas.....	19
Tabela 2 – Atribuição de escores de valores do fator K para cada tipo de solo presentes na área de estudo proposto por Bloise et al. ( 2001), segundo o monograma de Wischmeier et al. (1971). .....	21
Tabela 3 - Coeficientes do fator CP para cada tipo de uso do solo com base no trabalho de Stein et al. (1987).....	23
Tabela 4 - Fator R para cada estação pluviométrica.....	25
Tabela 5 - Classes de erosividade da cuhva média anual propostas por Carvalho (2008) e adaptada por Queiroz (2014). .....	26
Tabela 6 - Área (em ha e %) e Fator K para cada tipo de solo.....	27
Tabela 7 - Fator CP e área (em ha e %) para cada classe de uso da terra.....	31
Tabela 8 - Resultado da EUPS em classes de perda de solo (ton/ha.ano). Grau de erosão segundo a proposta da FAO, UNEP e UNESCO apud Valente et al. (2001).....	32

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da sub bacia Ribeirão Ponte Alta, inserida da bacia do rio Corumbá na região Sudoeste do Distrito Federal. ....	14
Figura 2 - Mapa de localização das estações pluviométricas utilizadas para o cálculo do fator R. ....	20
Figura 3 - Perfil de Curvatura para identificar superfícies potenciais de deposição e de erosão superficial. ....	24
Figura 4 - Fator Erosividade das chuvas (R) para o Ribeirão Ponte Alta em MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> . ....	26
Figura 5 - Fator Erodibilidade dos Solos (K) para a sub-bacia Ribeirão Ponte Alta. ....	28
Figura 6 - Fator Comprimento de Rampa (L) e Declividade (S) para o Ribeirão Ponte Alta. ....	29
Figura 7 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Ribeirão Ponte Alta. ....	30
Figura 8 - Fator CP para o Ribeirão Ponte Alta. ....	31
Figura 9 - Resultado do mapeamento de perda de solo para o Ribeirão Ponte Alta. ....	33

## 1. INTRODUÇÃO

A criação de Brasília exerceu um poder de atração para migrantes em direção à capital do país. No entanto, o Distrito Federal (DF) não estava dotado de capacidade suficiente para absorver contingentes populacionais sem lançar mão dos recursos naturais da região, como água e solo. O mesmo caso ocorre no entorno do DF que, nos últimos anos, a população e, conseqüentemente, a ocupação das terras está crescendo a taxas elevadas (DUARTE, 2012). Os padrões de produção sobre os quais se deu o crescimento econômico no Cerrado são dificilmente sustentáveis em longo prazo, uma vez que há constante impermeabilização do solo, desmatamentos, contaminação dos recursos hídricos e manejo inadequado da terra para a produção (FELIZOLA et al., 2001).

Em função do acelerado processo de ocupação do solo no Distrito Federal, áreas representativas do bioma Cerrado têm desaparecido ou encontram-se sob grande pressão antrópica (FELIZOLA et al., 2001). Diante deste panorama e da crescente necessidade em se preservar e conservar o meio natural, houve a necessidade de se conhecer mais detalhadamente um processo natural de formação da terra, a denominada erosão. A erosão é considerada um agente geológico que provoca a modificação de paisagens terrestres, e como tal, é lento e medido pelo tempo geológico. No entanto, a interferência humana altera este processo natural, em geral, acelerando sua ação e aumentando sua intensidade. Com a intensificação das ações antrópicas, a erosão pode se tornar a forma mais prejudicial de degradação do solo, pois além de reduzir sua capacidade produtiva para as culturas, ela pode causar sérios danos ambientais, como assoreamento e poluição das fontes de água (COGO et al., 2003).

Dentre as formas de erosão hídrica, se destaca a erosão laminar ou superficial, a qual surge do escoamento da água da chuva que não se infiltra e que, por sua vez, está associada ao transporte de partículas que se desagregam do solo. Aparentemente esse processo de erosão não é percebido pela população, porém, o processo erosivo gera um declínio de produtividade, além de causar a perda da qualidade dos produtos e da água em função da retirada de nutrientes juntamente com os sedimentos minerais das camadas superficiais do solo. A perda de solo por erosão laminar é considerada como um dos principais problemas ambientais percebidos nas bacias hidrográficas antropizadas e de uso predominantemente agrícola (BAPTISTA, 1997).

Nesse sentido, os estudos de erosão hídrica laminar contam hoje com modelos de predição, distribuídos ou não, que permitem um melhor planejamento do uso e ocupação do solo. Esses modelos, associados às técnicas de geoprocessamento, permitem o diagnóstico espacializado das degradações ambientais ocasionadas por processos erosivos, possibilitando estender as metodologias às diversas áreas do país, além de facilitar a adoção de medidas pontuais de contenção e prevenção à perda de solo. (BAPTISTA, 1997).

No presente estudo, buscou-se quantificar a erosão laminar potencial na sub-bacia do Ribeirão Ponte Alta, localizada no Distrito Federal, para identificar áreas críticas de processos de erosão dos solos. Os resultados desta pesquisa poderão subsidiar a tomada de decisão de gestores ambientais e da política agrícola na definição e implementação de políticas de uso e ocupação dos solos melhor embasadas e visando a redução dos processos erosivos na região do estudo.

### **1.1. QUESTÕES NORTEADORAS DE ESTUDO**

A ocupação desordenada de terras no DF e seu entorno, assim como a exploração indevida dos recursos naturais, vem acontecendo desde a inauguração da capital e se intensificaram nas últimas décadas. A ação antrópica acaba gerando desmatamento da vegetação nativa, o que aumenta a susceptibilidade ao processo erosivo.

Diversos autores destacam que a cada ano em todo o território brasileiro são perdidos milhões de toneladas de solo agrícola devido à erosão laminar. As perdas anuais de solo em áreas ocupadas por lavouras e pastagens, ultrapassam 500 milhões de toneladas, acarretando custos adicionais para as propriedades rurais e também prejuízos econômicos e ambientais para o país (BERTONI; LOMBARDI, 2012; LEPSCH, 2010)

De acordo com Tricart (1977), os estudos voltados as questões ambientais corroboram para o cumprimento do papel da ciência, que é cooperar para o bem público. Nesse sentido, ao analisar qualitativamente as perdas de solos é possível identificar as áreas com maior ocorrência de erosão laminar e assim auxiliar os órgãos responsáveis pela gestão da bacia, no que diz respeito ao entendimento da dinâmica frente a interferência antrópica.

Diante disso, o presente estudo foi norteado pelas seguintes questões de pesquisa: Quais os níveis predominantes de erosão laminar na sub-bacia do Ribeirão Ponte Alta?

Onde estão localizadas as áreas mais críticas de erosão laminar? Quais os fatores que mais influenciaram o aumento da erosão laminar?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Este trabalho de pesquisa buscou avaliar espacial e quantitativamente o potencial de erosão laminar na sub-bacia Ribeirão Ponte Alta utilizando a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) com base em dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Mapeamento de uso e cobertura do solo a partir de fotografias aéreas dos anos de 2016 e 2017 cedidas pela TERRACAP;
- Analisar a suscetibilidade à erosão laminar no ribeirão Ponte Alta por meio da aplicação da EUPS;
- Avaliar espacialmente os níveis de erosão laminar e identificar situações críticas na área de estudo;

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1. Expansão agrícola e urbana no Distrito Federal**

O Distrito Federal, bem como seu entorno, são regiões que nos últimos anos receberam inúmeros contingentes populacionais em busca de moradia e com a aspiração de melhores condições de vida (DUARTE, 2012). A partir dos anos 1970 foram implantados programas governamentais de desenvolvimento do Cerrado, baseados em uso intensivo de tecnologia e capital e no preço baixo das terras, favoráveis à mecanização e que compensavam os investimentos com correção dos solos. As condições ambientais das áreas de Cerrado auxiliaram a disseminação dos propósitos políticos apoiados pela importação do modelo difundido no pacote da “Revolução Verde”. A presença de extensas chapadas, as características físico-ambientais e técnicas de correção de solo possibilitaram práticas bastante utilizadas na agricultura moderna (SILVA, 2000).

Em consequência, em pouco tempo, esse bioma adquiriu grande importância na produção agrícola brasileira (GOMES, 2011). De qualquer forma, a ocupação urbana na região, a despeito dos planos diretores e tentativas de zoneamentos, não tem respeitado as fragilidades ambientais das áreas, vide o que ocorre na instalação de assentamentos humanos em locais com menor valor econômico, como a cidade Estrutural em meados dos anos 1990, e a instalação de cidades como Samambaia e Recanto das Emas, em fins dos anos 1980 (DUARTE, 2012).

Sem dúvida, o problema mais grave das cidades no Cerrado está na água. Efluentes humanos, lixo, agrotóxicos, retirada da cobertura vegetal e fertilizantes contaminam progressivamente os recursos hídricos já escassos para o abastecimento humano. Com o desmatamento e o assoreamento, somados à irrigação sem controle, torna-se cada vez menor o volume de água disponível para as cidades (MMA, 1998b: 18).

Os problemas ambientais e sociais provocados no Cerrado com a implementação de projetos de ocupação de suas áreas podem ser resolvidos ou mesmo amenizados desde que haja o direcionamento de políticas governamentais efetivas, como por exemplo: a melhoria do sistema de extensão rural; maiores controles sobre o uso de insumos agrícolas, proteção dos mananciais e nascentes (SILVA, 2000).

A ausência de conhecimento científico e de tecnologia para uso e ocupação do Cerrado tem contribuído significativamente para a aceleração do desmatamento, constante impermeabilização dos solos e conseqüentemente, aumentando os níveis de perda de solo. Portanto, é essencial uma conscientização e uma firme atitude a ser tomada pela implementação de políticas públicas, para a conservação e o uso sustentável deste bioma.

### **3.2.Erosão**

O termo erosão provém do latim (*erodere*) e significa “corroer”. Nos estudos ligados às Ciências da Terra, o termo é aplicado aos processos de desgaste da superfície terrestre (solo ou rocha) pela ação da água, dos ventos, da fauna e da flora, além da ação antrópica. Os processos erosivos constituem-se uma forma natural de modelagem do relevo e atuam de modo conjugado aos processos pedogenéticos. De maneira geral, sob condições naturais, estes dois processos atuam equilibradamente, havendo certa equivalência entre a quantidade de solo erodida e a quantidade produzida, o que compreende a um fenômeno

chamado erosão natural ou erosão geológica (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006).

No entanto, a expansão agrícola e a urbanização desordenada vêm contribuindo agressivamente para acelerar a forma mais conhecida de erosão, a erosão hídrica. O processo de erosão hídrica se dá pela água proveniente das chuvas que exerce sua ação erosiva sobre o solo mediante o impacto da gota de chuva, a qual cai com velocidade e energia variável segundo o seu diâmetro, e mediante a ação do escoamento (BERTONI; LOMBARDI, 2012). Lombardi (2012) ainda acrescenta que as gotas de chuva que golpeiam o solo contribuem para a erosão da seguinte forma: (a) desprendem as partículas de solo no local que sofre o seu impacto; (b) transportam por salpicamento as partículas desprendidas; (c) imprimem energia, em forma de turbulência, à água de superfície.

### **3.2.1. Erosão laminar**

A erosão laminar ou superficial surge do escoamento da água que não se infiltra e que, por sua vez, está associada ao transporte de partículas que se desagregam do solo, seja das partículas ou agregados desprendidos do maciço pelo impacto das gotas de chuva, seja das partículas ou agregados arrancados pela força trativa desenvolvida entre a água e o solo. O poder erosivo da água em movimento e sua capacidade de transporte dependem da densidade e da velocidade de escoamento, bem como a espessura da lâmina d'água e da inclinação da vertente ou relevo (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006). Sendo assim, a ocorrência do escoamento por fluxo superficial está diretamente relacionada com as condições de infiltração da água no solo (ARCAYA; GUADALUPE, 2007). O controle da erosão laminar é feito por meio de práticas de conservação do solo tais como rotação de culturas, terraços e plantio direto.

### **3.2.2. Sulcos, ravinas e voçorocas**

A erosão laminar, sulcos, ravinas e voçorocas constituem a sequência natural de evolução dos processos erosivos (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006). Segundo Bertoni (2012), os sulcos resultam de pequenas irregularidades na declividade do terreno que fazem com que a enxurrada, concentrando-se em alguns pontos do terreno, atinja volume e velocidade suficientes para formar canais no solo. Camapum de Carvalho et al. (2001) acrescenta que os sulcos são pequenos canais de até 10cm de profundidade, gerados pela concentração do escoamento superficial. Na fase de surgimento dos sulcos,

eles normalmente se dão de forma distribuída, não ocorrendo grandes concentrações de água. O aumento da concentração de água em determinados sulcos faz com que eles evoluam para ravinas e posteriormente para voçorocas (BASTOS, 1999).

### **3.2.3. Fatores condicionantes dos processos erosivos**

Os principais fatores intervenientes nos processos erosivos podem ser divididos em dois grupos gerais: os fatores naturais que determinam taxas naturais de erosão, destacando-se o clima (especificamente a precipitação e os ventos), o relevo, a cobertura vegetal e os tipos de solo; e por outro lado, os fatores antrópicos, os quais ocorrem tanto no meio rural quanto no meio urbano (ARCAYA; GUADALUPE, 2007; BRITO, 2012).

No meio rural, a intervenção humana destaca-se no plantio e manejo do solo de maneira inadequada, como a não observância das curvas de nível ou o desmatamento das matas ciliares; já no meio urbano, têm-se práticas inadequadas como impermeabilização do solo e lançamentos inapropriados das drenagens de águas pluviais (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006).

#### **3.2.3.1. Precipitação**

Devido ao clima que caracteriza as regiões tropicais, a chuva é um dos fatores climáticos de maior importância na erosão dos solos. Segundo Bertoni e Lombardi (2012), a capacidade da chuva em provocar erosão é dita erosividade e esta é influenciada pela intensidade, duração e a distribuição ou frequência da precipitação.

A intensidade é o fator pluviométrico mais importante na erosão (ARCAYA; GUADALUPE, 2007). A água da chuva provoca erosão pelo impacto das gotas de água sobre a superfície do solo, caindo com velocidade e energia variáveis, e através do fluxo concentrado das águas de escoamento superficial (INFANTI JUNIOR; FORNASARI FILHO, 1998).

#### **3.2.3.2. Relevo**

Segundo o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (1989), o relevo também é um fator natural que determina a velocidade dos processos erosivos. Maiores velocidades de erosão podem ser mais esperadas em relevos acidentados do que em relevos suaves, pois a declividade aumenta a velocidade de escoamento das águas, e conseqüentemente, a sua capacidade erosiva. A

declividade tem tanto maior importância quanto maior for o trecho percorrido da encosta. Por isso, a influência da topografia na erosão é analisada pela ponderação de dois fatores: declividade e comprimento da encosta. Esses dois fatores interferem diretamente na velocidade de escoamento superficial das águas pluviais. Os terrenos com maiores declividades e maiores comprimentos de rampa apresentam maiores velocidades de escoamento superficial e, conseqüentemente, maior capacidade erosiva, porém uma encosta com baixa declividade e comprimento de rampa grande também pode ter alta intensidade erosiva, desde que sujeita à grande vazão do escoamento das águas (INFANTI JUNIOR; FORNASARI FILHO, 1998).

#### **3.2.3.3. Cobertura Vegetal**

A cobertura vegetal é considerada como uma defesa natural para os solos. A vegetação exerce funções como: proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; dispersão da água; melhora da estrutura do solo, aumentando assim a taxa de infiltração e de retenção da água; diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície (BASTOS, 1999).

#### **3.2.3.4. Tipos de Solo**

Cada tipo de solo reúne diversas propriedades que determinam a velocidade de infiltração da água da chuva e a resistência à erosão pelo impacto das gotas e pelo escoamento superficial (BASTOS, 1999). A erodibilidade do solo pode ser definida como a propriedade do solo que retrata a maior ou menor facilidade com que suas partículas são destacadas e transportadas pela ação de um agente erosivo. Constitui uma das propriedades de comportamento dos solos de maior complexidade em função do grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos intervenientes.

Dentre os fatores do solo que afetam a erodibilidade do solo podemos destacar: a textura e a estrutura (fatores físicos); a resistência ao cisalhamento (fator mecânico); a retenção de água, infiltração e permeabilidade (fatores hidrológicos); a composição de minerais do solo (fator mineralógico); morfologia do perfil e substrato rochoso (características do perfil) (BASTOS, 1999).

Apesar de existirem métodos de campo e laboratório para caracterização destes fatores (SILVA, 1997) o mais comum é que sua avaliação se dê com base nas considerações dos fatores que governam esta propriedade dos solos. Assim, a

erodibilidade costuma ser avaliada com base em informações sobre a sua granulometria, estrutura, permeabilidade, teor de matéria orgânica (MORGAN, 1995 apud MAURO, 2001). Com relação à granulometria do solo pode-se afirmar que solos mais grosseiros, dada sua menor coesão, tendem a ser mais suscetíveis à erosão que solos finos (NASCIMENTO; CASTRO, 1976).

#### **3.2.3.5. Ações Antrópicas**

O principal fator desencadeador dos processos erosivos é sem dúvida alguma a ação humana. Vale ressaltar que esse desencadeamento acontece não só em áreas urbanas, mas também em áreas rurais, pois o uso e ocupação inadequada do solo são constantes, causando desequilíbrios nos processos naturais.

Nessa perspectiva, o uso antrópico intensifica os processos erosivos, pois altera as condições naturais da cobertura vegetal e das propriedades dos solos, dificultando a infiltração, aumentando o escoamento da água e das partículas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). Nesse contexto, IPT (1989) e Bitar et al. (1990) acrescentam que as principais causas do agravamento da erosão hídrica são: a impermeabilização do solo por meio do aumento do sistema viário, a precariedade do sistema de drenagem de águas pluviais e, principalmente, a rápida e descontrolada expansão urbana, que dá origem a implantação de loteamentos e conjuntos habitacionais em locais inadequados.

### **3.3. Equação Universal de Perda de Solo – EUPS**

O uso de equações empíricas para avaliar as perdas de solo de uma área vem se tornando prática indispensável para o planejador conservacionista. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), a primeira equação de previsão de perda de solo foi desenvolvida em 1940 em Corn Belt (EUA), baseada nos fatores que influenciam a quantidade de solo removido e transportado. Desde a sua criação, a equação de perda de solo passou por inúmeras revisões onde diferentes variáveis foram incorporadas visando o aprimoramento da predição e a possibilidade de se tornar uma equação universal, a qual pode ser aplicada sem restrições climáticas ou geográficas.

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), também conhecida como *Universal Soil Loss Equation* (USLE), desenvolvida nos anos 70 por Wischmeier e Smith, é largamente utilizada em todo o mundo, inclusive nos trópicos. A EUPS permite aos planejadores prever a taxa média de erosão do solo para cada combinação alternativa

viável de sistema de cultivo e práticas de manejo em associação com um tipo específico de solo, padrão de precipitação e topografia. Quando essas perdas previstas são comparadas com as tolerâncias de perda de solo, elas fornecem diretrizes específicas para efetuar o controle da erosão dentro dos limites especificados. A equação agrupa os numerosos parâmetros físicos e de gestão inter-relacionados que influenciam a taxa de erosão sob seis fatores principais, cujos valores podem ser expressos numericamente.

Nesta equação, as perdas de solo médias anuais por área unitária são dadas pelo seguinte produto (WISCHMEIER; SMITH, 1978):

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

Em que: A = perda de solo média anual (t.ha.ano<sup>-1</sup>); R = erosividade da chuva (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>); K = erodibilidade do solo (t.ha.h.ha<sup>-1</sup>.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>); LS = fator de comprimento de rampa (adimensional) e declividade da vertente (adimensional); CP = fator de uso e manejo do solo (adimensional) e práticas conservacionistas (adimensional).

### **3.3.1. Fator Erosividade da Chuva (R)**

O fator R é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada em dada localidade, de causar erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). Pode ser considerada como a capacidade que a precipitação tem de erodir os solos de áreas desprotegidas (WISCHMEIER, 1959). No processo erosivo, este é um fator muito atenuante e considerado de grande importância.

O fator R pode ser representado por meio de índices que se baseiam nas características físicas das chuvas de cada região, sendo o EI30 o mais utilizado em condições brasileiras.

### **3.3.2. Fator Erodibilidade do Solo (K)**

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo que todos os fatores do processo permaneçam constantes. Essa diferença ocorre devido às propriedades inerentes do solo, e é referida como a erodibilidade do solo, expressa pelo fator K da EUPS. As propriedades do solo que influenciam a erodibilidade são aquelas que afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade, capacidade total de armazenamento de água e aquelas que resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

### **3.3.3. Fator Comprimento de Rampa e Declividade (LS)**

A influência do relevo na intensidade erosiva verifica-se, principalmente, pela declividade e comprimento da rampa da encosta ou da vertente, que interferem diretamente na velocidade do escoamento superficial das águas pluviais. O comprimento da encosta é definido como a distância que vai do ponto de origem do escoamento superficial até o ponto onde a inclinação diminui e começa a deposição de sedimentos ou até onde o escoamento atinge um canal bem definido, integrante de uma rede de drenagem (SMITH; WISCHIMIEIER, 1957, apud STELLFELD; FIORI, 1999).

### **3.3.4. Fator Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas (C.P)**

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), as perdas de solo que ocorrem em uma área mantida continuamente descoberta podem ser estimadas pelo produto dos termos R, K, L e S da EUPS. Entretanto, esta perda pode ser maior ou menor dependendo dos diversos tipos de cultura que estiverem sobre o solo, a sequência de culturas e as práticas conservacionistas.

O fator de uso e manejo dos solos (C) é a relação esperada entre as perdas de solo de uma área cultivada, segundo um manejo qualquer, e as perdas correspondentes de um solo na mesma área, mantendo o solo descoberto e cultivado. O fator Práticas Conservacionistas (P) é a relação entre a intensidade esperada de perda de solo e as práticas conservacionistas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). Diante das diversas interações que ocorrem entre essas variáveis, estas não podem ser consideradas separadamente.

## **3.4. Geoprocessamento**

O geoprocessamento pode ser entendido como sendo a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação sobre objetos ou fenômenos geograficamente identificados. As ferramentas utilizadas para realizar o Geoprocessamento compõem um conjunto denominado Sistema de Informação Geográfica (SIG), às vezes chamado de GIS (*Geographic Information System*) (MOREIRA, 2001). Essas técnicas têm sido empregadas em diversas áreas da Ciência e tem contribuído significativamente para estudos de planejamento urbano e rural.

Segundo Moreira (2001), qualquer SIG apresenta duas características principais: Permite inserir e integrar, numa base única de dados (banco de dados), informações espaciais provenientes de diversas fontes, tais como: cartográficas, imagens de satélites, dados censitários, dados de cadastro rural e urbano, dados de redes e de MNT (Modelo Numérico de Terreno); Oferece mecanismo para combinar várias informações através de algoritmos de manipulação e análise, bem como de consulta, recuperação, visualização e plotagem do conteúdo dessa base de dados georreferenciados.

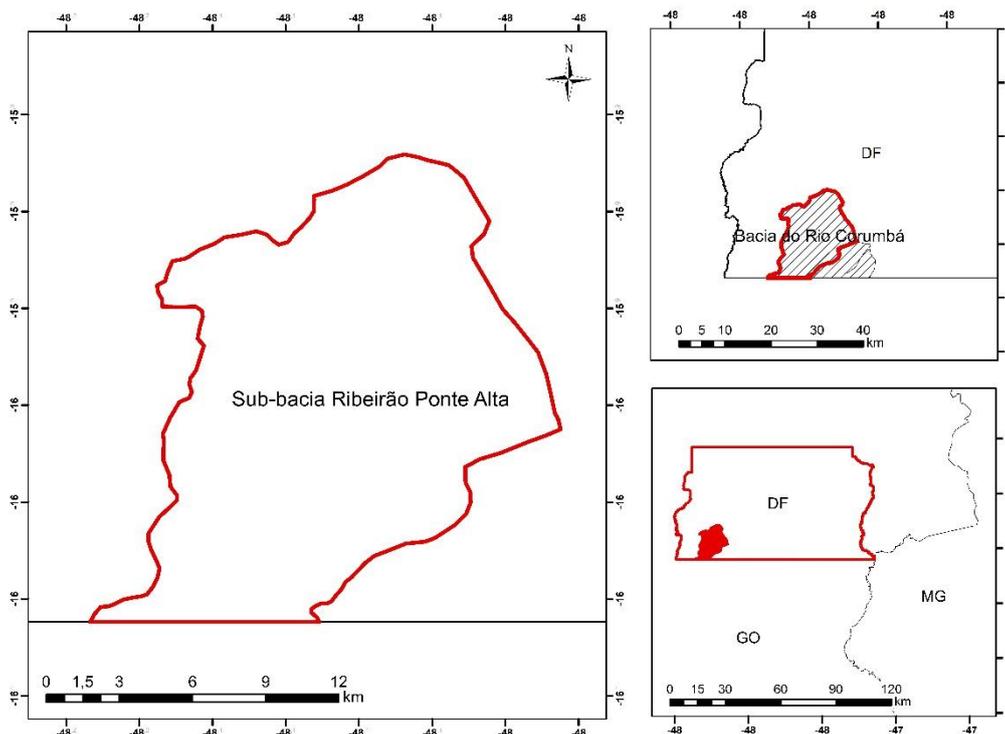
### **3.5. Uso e Cobertura da Terra**

O mapeamento da cobertura e do uso da terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre. É o conjunto de operações necessárias à elaboração de uma pesquisa temática que pode ser sintetizada por meio de mapas. Este levantamento retrata as atividades humanas que podem representar impactos ambientais, sendo uma importante ferramenta utilizada em estudos ambientais e socioeconômicos (SANTOS, 2004). O levantamento dessas informações consiste em identificar as formas de uso do solo, caracterizar e quantificar as mesmas, permitindo descrever a situação atual e o histórico de ocupação da área de estudo (ROSA, 2007).

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1. Localização e caracterização da área de estudo**

A área de estudo está localizada na porção sudoeste do Distrito Federal (DF) e compreende unidade hidrográfica do ribeirão Ponte Alta (Figura 1). A sub-bacia ribeirão Ponte Alta está inserida na bacia do rio Corumbá e envolve uma área de aproximadamente 229 km<sup>2</sup>, sendo que 208 km<sup>2</sup> desta área estão inseridos no DF e o restante no estado de Goiás. Além disso, dentre os principais afluentes que formam este ribeirão estão os córregos Vargem da Benção e Monjolo (ADASA, 2012).



**Figura 1.** Localização da sub-bacia Ribeirão Ponte Alta, inserida da bacia do rio Corumbá na região Sudoeste do Distrito Federal.

O ribeirão Ponte Alta está inserido na bacia hidrográfica do rio Corumbá que é composto por três unidades hidrográficas: ribeirão Ponte Alta, rio Alagado e rio Santa Maria. O ribeirão possui diversos afluentes e todos estes exercem influência sobre a qualidade da água do mesmo, entre eles estão o córrego Estiva, córrego Tamanduá, córrego Vermelho, córrego Capoeira Grande, córrego Morro Vermelho, córrego Barreirinho, córrego Barreiro, córrego Capão Comprido, córrego Retiro, córrego Aroeira, córrego Capivara, córrego Monjolo, córrego Pintos, córrego Terra Quebrada, córrego Palmital, córrego Taquara, córrego Olho d'água, córrego Ponte de Serra, córrego Serra, córrego da Mina, córrego da Chácara, córrego Roca, córrego Lamarão e córrego Palmital (CODEPLAN, 1994).

A sub-bacia ribeirão Ponte Alta é uma região dotada de áreas cobertas por vegetação nativa além de comportar uma grande quantidade de recursos hídricos. No entanto, segundo a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal esta região está sob grande pressão antrópica devido a intensa urbanização e áreas destinadas a produção agrícola. Diante deste panorama, há a necessidade de entender como ocorrem

os processos de degradação ambiental ocasionados pela erosão e identificar as áreas críticas para que sejam implantadas medidas de conservação do solo.

#### **4.1.2. Solo**

De acordo com o Mapa Pedológico do DF (EMBRAPA, 2004), dentre as principais classes de solos encontradas na região podemos destacar as classes denominadas, latossolo vermelho (LE), latossolo vermelho-amarelo (LV) e cambissolo (CB), os quais em conjunto correspondem a aproximadamente 85% do território do DF.

A classe latossolo vermelho ocupa cerca de 41% da área de estudo, latossolo vermelho-amarelo, ocupa aproximadamente 18% e o cambissolo cerca de 33%. Os latossolos são solos altamente intemperizados, os quais concentram minerais secundários do grupo caulinita, óxidos, hidróxidos e óxi-hidróxidos de Fe e Al, como hematita, goethita, gibbsita e outros. Já os cambissolos podem ser descritos como solos que apresentam horizonte subsuperficial submetido a pouca alteração física, química. Em geral, apresentam minerais primários facilmente intemperizáveis, teores mais elevados de silte, indicando baixo grau de intemperização. São solos de coloração bruno-amarelada no horizonte superficial e vermelho-amarelada no subsuperficial (EMBRAPA, 2004).

#### **4.1.3. Clima**

Segundo a classificação Köppen, o clima atual na região do DF enquadra-se no clima tropical de savana (Aw), temperado chuvoso com inverno seco, caracterizado pela existência bem nítida de suas estações: uma chuvosa e quente, entre os períodos de outubro e abril, e outra fria e seca, de maio a setembro (HIDROGEO, 1990).

Segundo Embrapa (1978), as precipitações variam entre 1500 e 2000mm anuais, sendo a média em torno de 1600mm, alcançando em janeiro o seu maior índice pluviométrico (320 mm/mês) e durante os meses de junho, julho e agosto, chegando à média mensal total da ordem de 50 mm (EMBRAPA, 2004).

#### **4.1.4. Relevo**

O Distrito Federal situa-se em uma das porções mais elevadas do Planalto Central do Brasil, que segundo King (1956), corresponde a renascentes dos aplainamentos resultantes dos ciclos de erosão Sulamericano e Velhas, que se desenvolveram entre o Terciário Inferior e Médio e entre o Terciário Médio e Superior, respectivamente.

A área do DF é constituída por extensos níveis planos a suave ondulados, conhecidos como chapadas, por níveis inclinados que se estendem da base das chapadas e dos morros residuais em direção aos vales – os pediplanos e pedimentos; e por áreas entalhadas e dissecadas pelos rios Paranoá, São Bartolomeu, Preto, Descoberto, por tributário do rio Maranhão e por formadores do rio Alagado (NOVAES PINTO, 1987 apud BARROS, 2003).

#### **4.1.5. Vegetação**

A vegetação predominante no DF é o Cerrado, cobrindo cerca de 80% da área. Na região encontram-se todos os tipos de vegetação comumente englobados sob o termo Cerrado, desde árvores de porte elevado até ervas esparsas, formando um mosaico com a vegetação de Matas de Galeria e Ciliares em torno das drenagens e rios (EITEN, 1994).

A vegetação do bioma Cerrado apresenta fisionomias que englobam formações florestais, savânicas e campestres. Em sentido fisionômico, floresta representa áreas com predominância de espécies arbóreas, onde há formação de dossel, contínuo ou descontínuo. O termo savana refere-se a áreas com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato graminoso, sem a formação de dossel contínuo. Já o termo campo designa áreas com predomínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas, faltando árvores na paisagem (RIBEIRO; WALTER, 1998).

#### **4.1.6. Uso e Cobertura da Terra**

A problemática dessa bacia é devido à urbanização, por conta das cidades que veem se expandindo progressivamente, entre elas estão à região administrativa do Gama (RA II), Recanto das Emas (RA XV), Samambaia (RA XII) e os núcleos rurais Casa Grande e Ponte Alta. Devido a esse processo de crescimento, conflitos já são percebidos na bacia, como por exemplo, o avanço e pressão urbana (ADASA, 2012). Ainda de acordo com o Plano de Gerenciamento dos Recursos Hídricos da ADASA (2012), as maiores áreas alteradas por atividades antrópicas correspondem aquelas destinadas ao uso agrícola, urbanização e condomínios/chacreamentos.

Nesse contexto, é importante ressaltar que dos 228 km<sup>2</sup> de extensão do Ribeirão Ponte Alta, aproximadamente 172 km<sup>2</sup> deles estão localizados dentro da APA Planalto Central, criada a partir do Decreto s/n de 10 de janeiro de 2002.

Com base no Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal - PDOT (GDF, 2009), na porção da bacia do Corumbá localizada no DF, podemos encontrar seis zonas, tais como, Macrozona de Proteção Integral, Zona de Contenção Urbana, Zona de Uso Rural Controlado, Zona Urbana Consolidada, Zona Urbana de Expansão e Qualificação e, Zona Urbana de Uso Controlado II. De acordo com o PDOT, cada uma dessas zonas possui certas permissões e restrições quanto ao uso do solo, visando assegurar os serviços ecossistêmicos, a proteção dos mananciais e a conservação do ambiente.

#### **4.2. Base de dados**

- **Limite Ribeirão Ponte Alta**

O limite da área de estudo foi obtido a partir de um arquivo em formato vetorial (*shapefile*) das sub bacias hidrográficas do DF contido no Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos (PGIRH). Sistema de Projeção e datum: SICAD UTM.

- **Uso e Cobertura da Terra**

Para o mapeamento do uso e cobertura do solo foi utilizada a classificação do uso do solo elaborado por GDF (2009) com imagens de alta resolução espacial de 2009. A classificação do uso da terra foi atualizada no presente estudo utilizando interpretação visual, utilizando um mosaico de imagens do satélite Pleiades adquiridas em 2017, cedidas pela Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal - TERRACAP. As imagens Pleiades, com resolução espacial de 25 cm, compostas por 4 bandas: 3 do intervalo espectral do visível (RGB) e 1 do infravermelho próximo, projeção cartográfica UTM, Sistema de Referência das imagens: WGS84-1984.

- **Dados Climáticos**

Os dados de precipitação foram cedidos pela Companhia de Água e Esgotos de Brasília - CAESB, a qual opera as estações pluviométricas utilizadas para o presente trabalho dentro do DF. Além disso, foram utilizados dados pluviométricos cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de duas cidades (Pirenópolis e Goiânia) localizadas no estado de Goiás.

- **Solo**

Foi utilizado o Mapa de Reconhecimento dos Solos do DF elaborado pela EMBRAPA em 1978 na escala 1:100.000. A equipe de Pedologia da Embrapa Cerrados disponibilizou

em Banco de Dados as informações cartográficas do Bioma Cerrado com o intuito de contribuir nas atividades de pesquisa e no suporte às políticas públicas em relação ao ordenamento territorial. Sistema de coordenadas e datum: SICAD UTM.

- **Relevo**

O relevo foi apresentado a partir de um Modelo Digital de Elevação (*Digital Elevation Model – DEM*). Foram utilizados dados TOPODATA, elaborado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O TOPODATA foi desenvolvido a partir de dados do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, uma missão espacial que gerou um modelo digital de elevação (MDE) de 80% do planeta Terra, com detalhamento de 90 metros por pixel (célula). Os dados do TOPODATA incluíram o preenchimento de falhas e o refinamento desses dados interpolando a resolução para 30 metros, utilizando métodos geostatísticos (VALERIANO, 2004). Sistema de coordenadas geográficas: WGS 1984.

No presente estudo, todos os dados geográficos foram convertidos para o sistema de projeção UTM, Datum SIRGAS-2000 para evitar deslocamentos das feições de cada mapa ou imagem utilizada na pesquisa.

### **4.3. EUPS**

Para quantificar a perda anual de solo por erosão laminar é preciso ter conhecimento das variáveis que interferem nesse processo. Neste sentido, a EUPS (Equação Universal de Perda de Solos) inclui os fatores que, calculados individualmente, permitem com a aplicação do modelo preditivo a estimativa do mapa de perda potencial de solos para áreas de interesse.

#### **4.3.1. Determinação do Fator R**

O cálculo do fator R foi baseado no índice  $EI_{30}$  proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992). Segundo Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), estudos realizados em Campinas (SP) demonstraram alto coeficiente de correlação para a regressão linear entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente chuva. Diante disso, propuseram a equação:

$$EI_{30} = 67,355 (r^2/P)^{0,85} \quad (1)$$

Onde:

$EI_{30}$  = média mensal do índice de erosividade ( $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ );

$r$  = precipitação média mensal (mm);

$P$  = precipitação média anual (mm).

O fator erosividade da chuva ( $R$ ) é obtido pela soma dos valores mensais dos índices de erosão. De acordo com Equação 2:

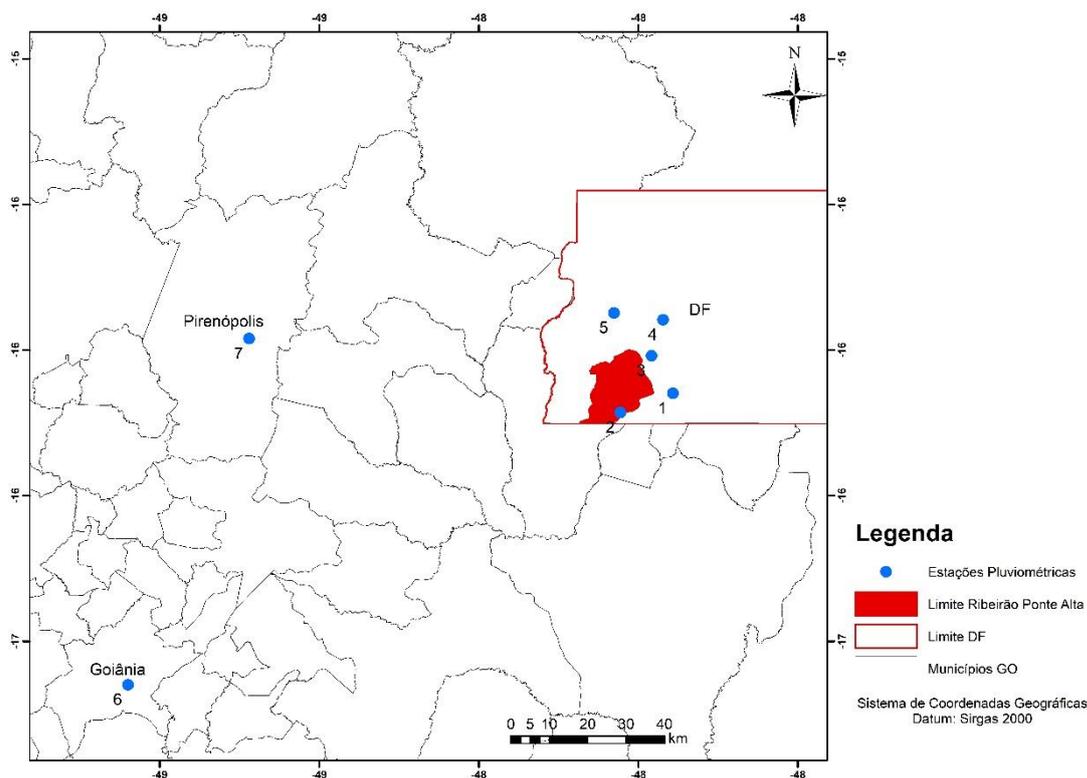
$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30} \quad (2)$$

Para determinação do fator  $R$  foram identificadas cinco estações pluviométricas no DF operadas pela CAESB – Companhia de água e Esgoto de Brasília, as quais possuíam registros consistentes, localizadas dentro da unidade hidrográfica do Ribeirão Ponte Alta e em seu entorno (Tabela 1). Além disso, também foram utilizados dados de séries históricas do INMET das cidades de Pirenópolis e Goiânia, localizadas no Goiás. Segundo Wischmeier e Smith (1978), para se obter um fator  $R$  confiável, estima-se que sejam necessários, no mínimo, 20 anos de coleta de dados. Diante disso, foram utilizadas somente estações que continham séries históricas de 25 a 40 anos.

**Tabela 1** - Dados de localização das estações pluviométricas.

Nº	Código	Nome	RA/Estado	Latitude	Longitude	Altitude	Período
1	1547014	Área Alfa	Santa Maria	15°58'45"	47°58'30"	1206	1973 – 2014
2	1548005	ETE Alagado	Gama	16°01'28"	48°05'52"	980	1971 – 2006
3	1548010	ETE Riacho Fundo	Riacho Fundo	15°53'26"	48°01'30"	1185	1979 – 2009
4	1547018	Jockey Club	Guará	15°48'20"	47°59'53"	1103	1979 – 2015
5	1548006	Taguatinga ETA - RD	Taguatinga	15°47'22"	48°06'46"	1269	1971 – 2006
6	83423	Goiânia	Goiás	16°40'12"	49°15'36"	741	1961 – 1990
7	83376	Pirenópolis	Goiás	15°50'60"	48°58'12"	730	1961 – 1990

Cada estação climatológica foi localizada na região de estudo (Figura 2) utilizando as coordenadas geográficas de cada estação (Tabela 1).



**Figura 2** - Mapa de localização das estações pluviométricas utilizadas para o cálculo do fator R.

A partir dos dados de erosividade obtidos através do método  $EI_{30}$  para cada estação, foi possível espacializar as informações utilizando o procedimento de interpolação, método geoestatístico Krigagem Ordinária (*Ordinary Kriging*), utilizando o *software ArcGis 10.3*. Ao final, foi gerado o mapa de erosividade da chuva para toda a região da sub-bacia do ribeirão Ponte Alta.

#### 4.3.2. Determinação do Fator K

A erodibilidade do solo (Fator K) pode ser determinada por métodos diretos ou indiretos. Os métodos diretos envolvem determinações em campo, com chuva natural e/ou simulada, além de grande dispêndio de tempo e recursos financeiros. Diante de tal situação tornou necessária a estimativa do fator K por meios mais simplificados, denominados métodos indiretos (ARAÚJO et al., 2011; LIMA et al., 2007; MANNIGEL et al., 2008).

Nesta pesquisa, foi utilizado o mapa de reconhecimento dos solos do Distrito Federal elaborado em 1978 na escala de 1:100.000 pela EMBRAPA e atualizado pelo GDF (2009), para a identificação dos tipos de solo presentes na área de estudo. Para tipo

de solo foi atribuído um escore segundo parâmetros físico-químicos apresentados por (BLOISE et al., 2001) (Tabela 2).

**Tabela 2** – Atribuição de escores de valores do fator K para cada tipo de solo presentes na área de estudo proposto por Bloise et al. (2001), segundo o monograma de Wischmeier et al. (1971).

<b>Classes de Solos</b>		<b>Valor de K</b>
Latossolo Vermelho (LV)	LVd1	0,0263
	LVd2	0,0092
	LVd3	0,0144
	LVd4	0,0105
	<b>Outros</b>	<b>0,0151</b>
Latossolo Vermelho-amarelo (LVA)	LVAAd1	0,0171
	LVAAd2	0,0237
	LVAAd3	0,0144
	<b>Outros</b>	<b>0,0184</b>
Nitossolo Háplico (NX)	NXd1	<b>0,0197</b>
Cambissolo Háplico (CX)	CXd1	0,0237
	CXd2	0,0158
	CXa1	0,0263
	CXa2	0,0210
	<b>Outros</b>	<b>0,0217</b>
Gleissolos (GX)	GXa1	<b>0,0355</b>
Neossolo Flúvico (RU)	RUbd1	<b>0,0250</b>

#### 4.3.3. Determinação do Fator LS

A EUPS utiliza o fator comprimento de rampa (L), que é adimensional, adotando o comprimento de rampa medido em metros, sem a unidade. Já o fator declividade (S), é caracterizado como o ângulo ou o índice de inclinação do terreno. Dentre as variáveis utilizadas no modelo da EUPS, a que possui maior dificuldade para ser estimada em ambiente computacional é o comprimento de rampa (MINELLA et al., 2010). Visando automatizar o processo, várias metodologias vêm sendo propostas. Dentre elas, a utilização de Modelos Digitais de Terreno (MDT) em ambiente SIG, tem ganhado destaque.

A estimativa do fator LS foi feita a partir de um Modelo Digital de Terreno disponibilizado pelo INPE. Primeiramente, foi utilizada a ferramenta “Fill” do software ArcMap 10.3 para o preenchimento de possíveis “buracos” no MDT. Na sequência, para

a obtenção do fator L, foram geradas as matrizes de direção de fluxo (*Flow Direction*) e Acumulação de Fluxo (*Flow Accumulation*). E para estimar o fator S foi utilizada a matriz de Declividade (*Slope*).

A partir das matrizes finais “*Slope*” e “*Flow Accumulation*”, foi gerado uma nova matriz dos fatores LS, calculado a partir da seguinte equação (MINELLA et al., 2010):

$$LS = \frac{("Flow\ accumulation" * tamanho\ da\ célula\ do\ pixel)^{0,4}}{22,13} * \left( \frac{\text{seno} ("slope")}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (3)$$

Para o cálculo das matrizes geradas anteriormente, foi utilizada a ferramenta “*Raster Calculator*”, onde foi inserida a equação acima da seguinte forma:

$$LS = ((Power(("FA"*30),0.4/22.13)*(Power(((Sin("Slope"*3.1416/180))/0.0896),1.3$$

#### 4.3.4. Determinação do Fator C.P

Para a definição dos fatores C e P, relacionados às classes de uso e ocupação de solo, utilizou-se o procedimento descrito por Stein (1987). Para integrar os fatores C e P, o fator P foi adotado constante 1 (práticas conservacionistas). A atribuição desse peso para o fator P ocorre por ser considerada a situação de maior perda de solo, ou seja, não há a presença de técnicas ou práticas conservacionistas nos diferentes usos do solo. Foi adotado este valor por ser um estudo de uma área de grande extensão e pela dificuldade em conseguir valores confiáveis de P quando se utilizam as técnicas de geoprocessamento.

Primeiramente, para determinação do fator C foi realizada a atualização do mapa de uso e cobertura da terra elaborado pelo GDF (2009) utilizando imagens de alta resolução de 2017 cedidas pela TERRACAP para a área de estudo. A partir desse mapeamento, foram atribuídos pesos para cada tipo de uso do solo, os valores utilizados foram adaptados da metodologia proposta por Stein et al. (1987) (Tabela 3).

**Tabela 3** - Coeficientes do fator CP para cada tipo de uso do solo com base no trabalho de Stein et al. (1987).

Classes de Uso do Solo		Valores de CP
Agricultura	(Cultura grãos, olericultura)	0,2000
Área Úmida	(Murundus, veredas)	0,0000
Área Urbana	(Com e sem infraestrutura)	0,0001
Cerrado	(Sentido amplo)	0,0007
Chácaras	(Chácaras de Uso Misto)	0,0200
Corpos d'água	(Represas, rios, lagos)	0,0000
Mata de Galeria	(Mata Ciliar e de Galeria)	0,0001
Pastagem	(Área destinada ao gado)	0,0200
Pivô Central	(Agricultura irrigada)	0,1200
Reflorestamento	(Nativas e Eucalipto)	0,0001
Solo Exposto	(Áreas degradadas, mineração)	0,2500

Para as áreas urbanas, foi utilizado o fator de 0,0001. Este valor difere do valor adotado por Stein et al. (1987) devido a região de estudo conter locais de área urbana sem infraestrutura, estradas não pavimentadas e áreas sem cobertura vegetal, os quais favorecem a erosão laminar.

#### 4.3.5. Cálculo da Estimativa de Erosão

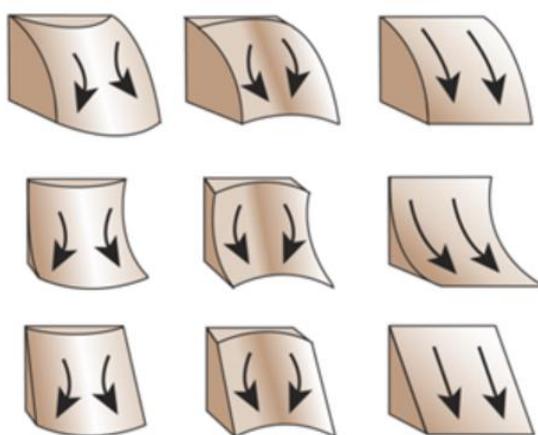
Após determinação de todos os fatores da EUPS, foi estimada a perda de solos de acordo com a metodologia proposta por Wischmeier e Smith (1978). Essa operação foi realizada utilizando a ferramenta “*Raster Calculator*” do *software* ArcGis 10.3, onde foram inseridos os quatro mapas gerados (matrizes numéricas – Raster) correspondentes aos fatores R, K, LS e CP da equação.

As matrizes numéricas em questão foram georreferenciadas, sobrepostas espacialmente e multiplicadas entre si através de operações de análise espacial.

Em seguida, foi utilizada a ferramenta “*Curvature*” para gerar a forma e curvatura da declividade da área. A partir dessa ferramenta, são gerados três mapas, “*Curvature*”, “*Profile curvature*” e “*Planform curvature*”. O “*Profile curvature*” é traçado em direção a máxima declividade. No mapa de “*Planform Curvature*”, a curvatura mostrada ocorre perpendicularmente à direção da máxima declividade. O mapa “*Curvature*” é a curvatura da superfície calculada célula por célula e ajustada através dos oito vizinhos circundantes. A curvatura é a segunda derivada da superfície ou a inclinação da declividade (ESRI,

2018). Além disso, o perfil de curvatura é a combinação dos dois perfis citados anteriormente.

O perfil de curvatura afeta a aceleração e desaceleração da enxurrada, influenciando a erosão e a deposição das partículas. Os valores positivos nesse perfil indicam uma superfície convexa, a qual é mais propícia aos processos erosivos. Os valores negativos indicam superfície côncava, onde a água tende a acumular e há uma menor tendência aos processos erosivos e o valor “0” indica uma superfície plana (“flat”).



**Figura 3** - Perfil de Curvatura para identificar superfícies potenciais de deposição e de erosão superficial.

**Fonte:** ESRI 2018.

Após a obtenção desses mapas, as informações do mapa “*Curvature*” foram cruzadas com as informações geradas pela aplicação da EUPS. Na sobreposição, as áreas identificadas como superfície de deposição foram atribuídas valores “0” de erosão laminar. As demais áreas consideradas de potencial erosão, foram atribuídos os valores estimados pela equação da EUPS para toda a superfície da sub-bacia do ribeirão Ponte Alta.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Erosividade da chuva (Fator R)**

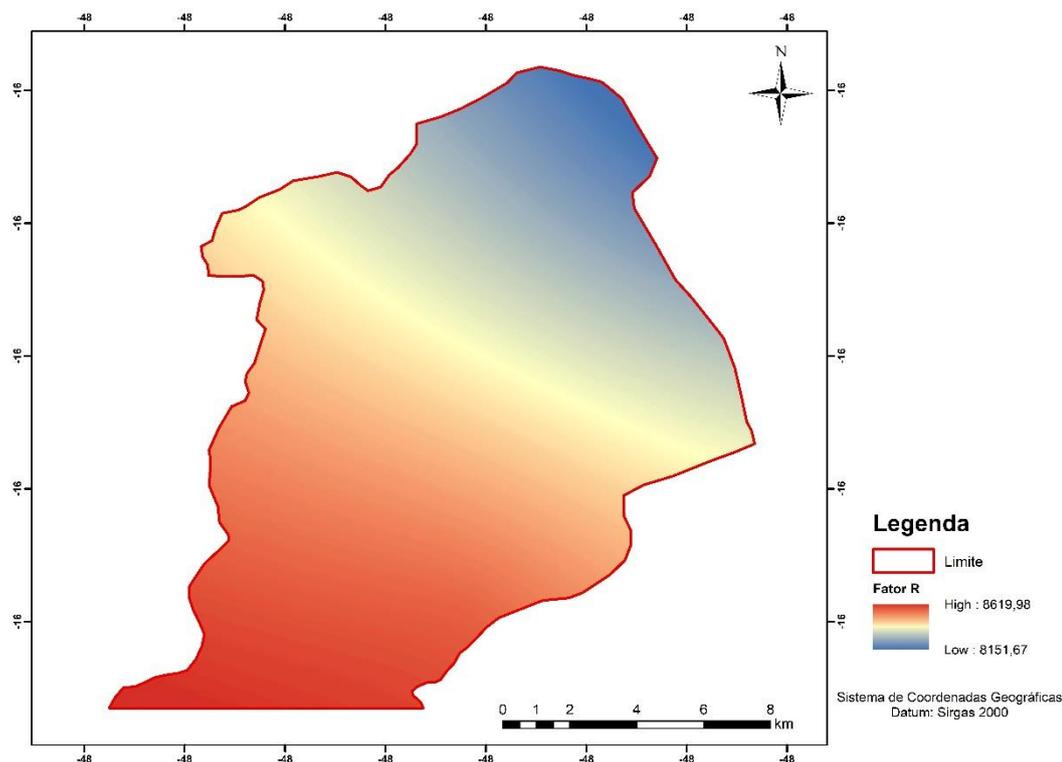
A partir das médias mensais e anuais de normais climatológicas das estações pluviométricas da CAESB e do INMET, foram calculados os seguintes valores para o fator R (Tabela 4) para cada estação climatológica.

**Tabela 4** - Fator R para cada estação pluviométrica.

Nº	Código	Nome	Fator R
1	1547014	Área Alfa	8345,15
2	1548005	ETE Alagado	8557,61
3	1548010	ETE Riacho Fundo	8103,77
4	1547018	Jockey Club	7958,52
5	1548006	Taguatinga ETA - RD	8177,19
6	83423	Goiânia	8367,69
7	83376	Pirenópolis	9362,53

Os resultados do fator erosividade da chuva (R) para a região do Ribeirão Ponte Alta, variaram entre 8.151,67 e 8.619,98 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>. O valor médio estimado para o fator R foi 8.420,85 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> e o desvio padrão 114,39 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.

Para a espacialização foi utilizado o modelo “*Stable*” do método de Krigagem Ordinária, nessa predição foi encontrado um Erro Médio Quadrático (Root-Mean-Square Standardized) de 0,77. Considerando que as estações pluviométricas estão em diferentes localizações e que a Krigagem estima valores ainda não amostrados, esse método foi capaz de produzir resultados satisfatórios. O resultado da interpolação dos valores do Fator R de cada estação climatológica para a área de estudo está apresentado na Figura 4.



**Figura 4** - Fator Erosividade das chuvas (R) para o Ribeirão Ponte Alta em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.

A distribuição dos valores médios de erosividade está intimamente relacionada a precipitação, já que seu cálculo se baseia nas médias anuais e mensais dos totais pluviométricos. Diante disso, a erosividade é bastante elevada no período mais chuvoso, para a área em questão seria entre os meses de outubro e março (PEREIRA, 2014).

Para a avaliação da erosividade, foram adotadas 5 classes, conforme Carvalho (2008) e apresentado na Tabela 5, porém os resultados de erosividade obtidos a partir da metodologia utilizada são em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> sistema métrico internacional, sendo assim, foi necessário convertê-los para o sistema métrico decimal (ton.mm/ha.h.ano), dividindo-os por 9,81 (QUEIROZ, 2014).

**Tabela 5** - Classes de erosividade da chuva média anual propostas por Carvalho (2008) e adaptada por Queiroz (2014).

<b>Classes de Erosividade</b>	<b>Erosividade (ton.mm/ha.h.ano)</b>
<b>Muito baixa</b>	R < 250
<b>Baixa</b>	250 < R < 500
<b>Média</b>	500 < R < 750
<b>Alta</b>	750 < R < 1000
<b>Muito Alta</b>	R > 1000

De acordo com o exposto, a erosividade média para todas as estações separadamente se encontram na classe de alta erosividade. No Distrito Federal, a época chuvosa é bem demarcada (outubro a março) e pode ser caracterizada por intensificar o potencial de erosão na época chuvosa de cada ano.

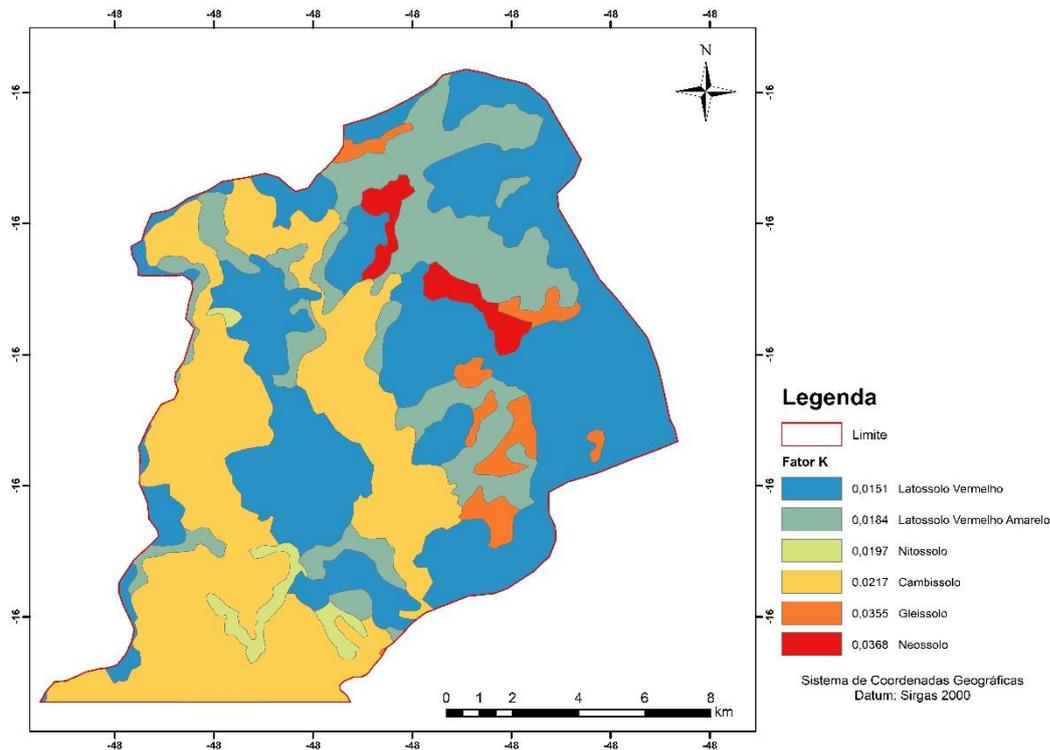
## 5.2. Erodibilidade dos solos (Fator K)

O fator erodibilidade do solo reflete suscetibilidade à erosão ou a falta de capacidade de resistir aos processos erosivos para um determinado tipo de solo. De acordo com a classificação de Bloise (2001), tipo de solo na área de estudo que apresenta maior valor estimado para o fator K é o Gleissolo Háplico e, com o menor valor estimado, apresenta-se o Latossolo Vermelho. Pode-se observar na Tabela 6 que o Latossolo Vermelho é o tipo de solo predominante na região de estudo.

**Tabela 6** - Área (em ha e %) e Fator K para cada tipo de solo.

Tipos de solo	Área (ha)	Área (%)	Fator K
Cambissolo Háplico	6806,4802	32,93	0,0217
Gleissolo Háplico	717,5537	3,47	0,0355
Latossolo Vermelho	8532,4893	41,28	0,0151
Latossolo Vermelho-amarelo	3769,1884	18,23	0,0184
Neossolo Fluvico	466,359	2,26	0,0250
Nitossolo Háplico	378,4068	1,83	0,0197

A erodibilidade possui variabilidade conforme a natureza do solo e seu posicionamento na paisagem. A classe Latossolos Vermelhos geralmente apresenta pouca erodibilidade e sua localização em áreas pouco declivosas confere pouca susceptibilidade frente aos processos de desagregação de sua estrutura (PEREIRA, 2014).



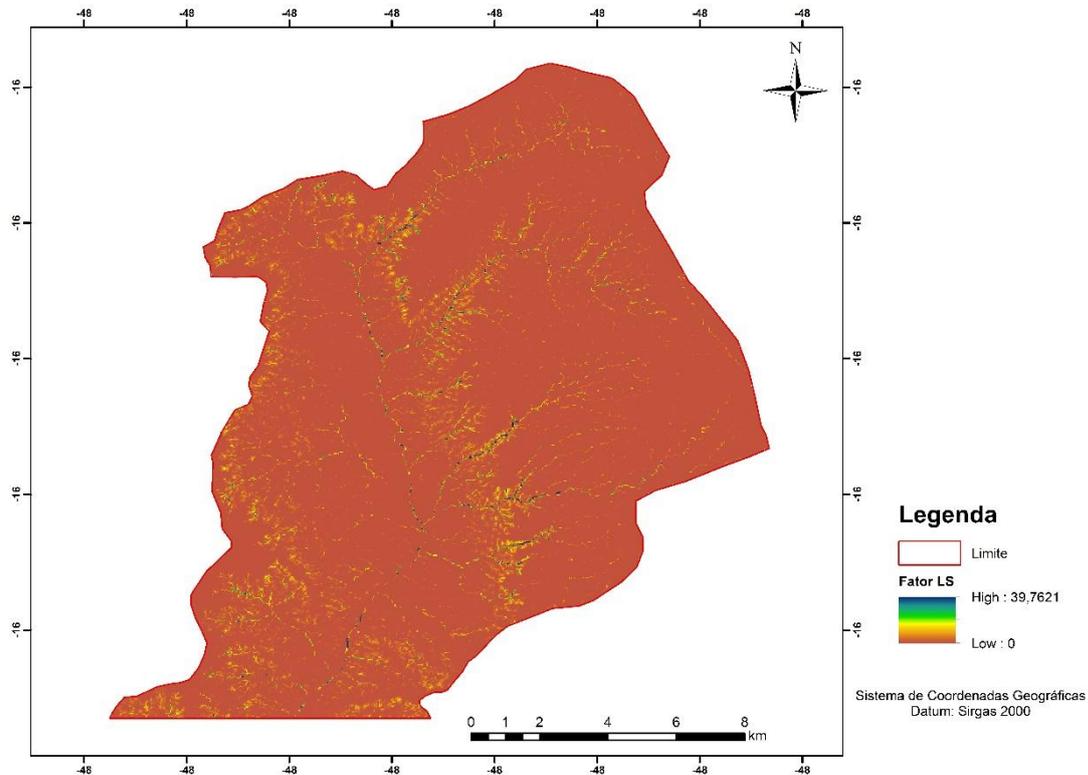
**Figura 5** - Fator Erodibilidade dos Solos (K) para a sub-bacia Ribeirão Ponte Alta.

### 5.3. Comprimento de Rampa e Declividade (LS)

A declividade e o comprimento de rampa determinam a velocidade de escoamento superficial e a erosão. Esses fatores topográficos caracterizam o potencial de transporte pela erosão em termos de tamanho e quantidade de material (BERA, 2017). Quanto maior a inclinação das vertentes da área, mais facilmente os processos erosivos intensificam as perdas de solo e aumentam as ocorrências de deslizamentos terrenos.

De acordo com o Modelo de Elevação Digital (DEM) utilizado para a área de estudo, a altitude variou entre 888m e 1293m, com uma média de 1081,01m. Para a obtenção do fator LS em ambiente SIG, foram gerados mapas com cada fator separadamente para posteriormente gerar o produto final. O fator L foi gerado a partir de duas ferramentas do ArcGis 10.3, “*flow direction*” e “*flow accumulation*”, respectivamente. Para o fator comprimento de rampa (L) os valores variam entre 0 e 24,2401, com o desvio padrão de 1,2. Já para o fator declividade (S) utilizou-se a ferramenta “*Slope*”, os valores variam entre 0 e 14,65° e o desvio padrão estimado foi de 1,4°.

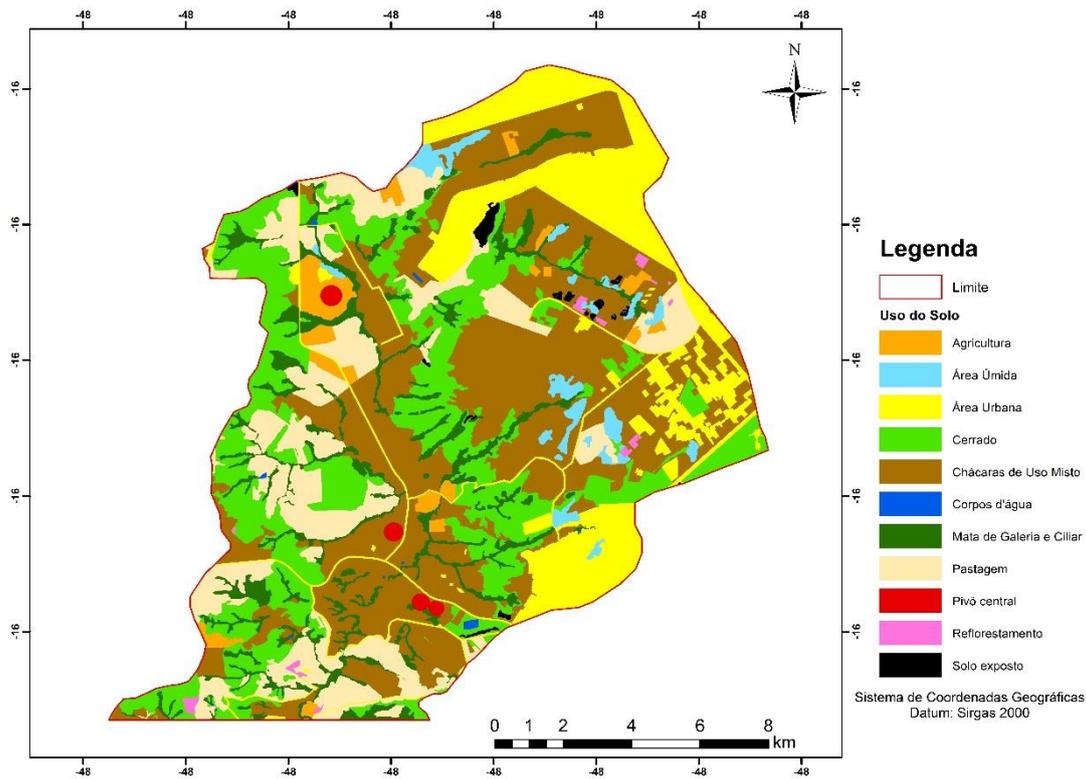
A obtenção do produto final se deu por meio da multiplicação das matrizes dos fatores L e S com a utilização da ferramenta “*Raster Calculator*”. Os valores do fator LS variam entre 0 e 39,76. Observa-se na Figura 6 que os maiores valores para este fator se deram próximos a rede hidrográfica.



**Figura 6** - Fator Comprimento de Rampa (L) e Declividade (S) para o Ribeirão Ponte Alta.

#### **5.4. Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas (CP)**

O manejo dos solos e as práticas conservacionistas possuem grande importância para o equilíbrio ambiental. Em áreas que possuem as mesmas condições fisiográficas, quando mantida constante as variáveis influentes na erosão, o manejo pode ser o fator determinante para o desencadeamento dos processos erosivos (PEREIRA, 2014).



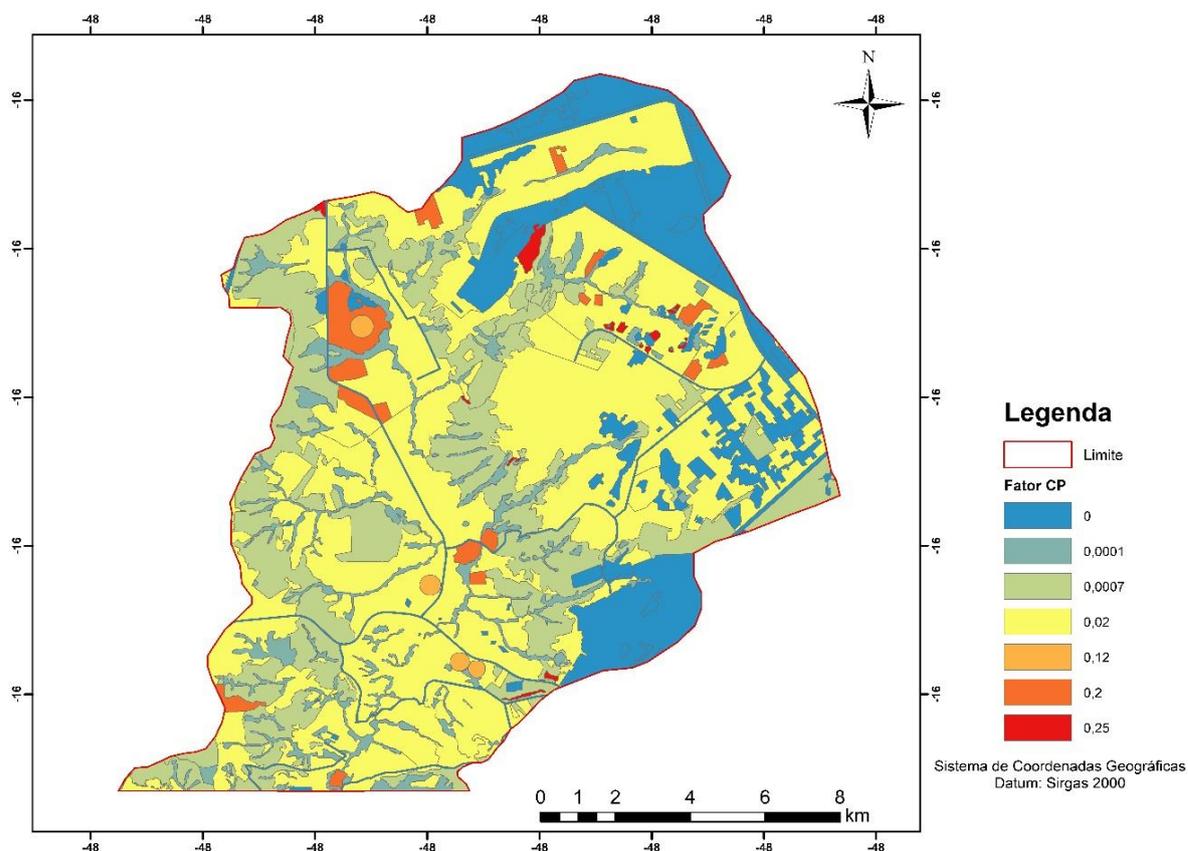
**Figura 7** - Mapa de Uso e Cobertura da Terra do Ribeirão Ponte Alta.

Os usos do solo predominantes (Tabela 6) na área de estudo são: chácaras de uso misto, cerrado (formações campestres, savânicas e florestais) e área urbana. Como pode ser observado na Tabela 6, as áreas de vegetação nativa (campos naturais, formações savânicas e formações florestais) ocupam cerca de 30% da área, no entanto, usos como área urbana e chacreamento se estendem por mais de 50% da área total da sub-bacia. Nesse sentido, medidas de manejo de baixo impacto devem ser incentivadas nesses locais para que reduza os impactos negativos gerados a partir da urbanização e do desmatamento.

**Tabela 7** - Fator CP e área (em ha e %) para cada classe de uso da terra.

Classes de Uso do Solo		Fator CP	Área (ha)	Área (%)
Agricultura	(Cultura grãos, olericultura)	0,2000	518,38	2,51
Área Úmida	(Murundus, veredas)	0,0000	404,99	1,96
Área Urbana	(Com e sem infraestrutura)	0,0001	3338,03	15,73
Cerrado	(Sentido amplo)	0,0007	4604,62	22,28
Chácaras	(Chácaras de Uso Misto)	0,0200	7382,51	35,71
Corpos d'água	(Represas, rios, lagos)	0,0000	10,50	0,10
Mata de Galeria	(Mata Ciliar e de Galeria)	0,0001	1451,42	7,02
Pastagem	(Área destinada ao gado)	0,0200	697,91	13,50
Pivô Central	(Agricultura irrigada)	0,1200	86,76	0,42
Reflorestamento	(Nativas e Eucalipto)	0,0001	67,32	0,33
Solo Exposto	(Área degradada, mineração)	0,2500	92,01	0,45

Os valores do fator CP definidos na Tabela 7 foram então espacializados para toda a área da sub-bacia do ribeirão Ponte Alta (Figura 8).



**Figura 8** - Fator CP para o Ribeirão Ponte Alta.

Na Figura 7 pode ser observado que o maior fator estimado para o CP foi atribuído para as áreas destinadas à agricultura, pivô central e em áreas degradadas (solo exposto e

mineração). Na maior parte do Ribeirão Ponte Alta o fator CP foi de 0,01 pois foram consideradas áreas ocupadas por chácaras de uso misto.

### 5.5. Potencial de Erosão Laminar

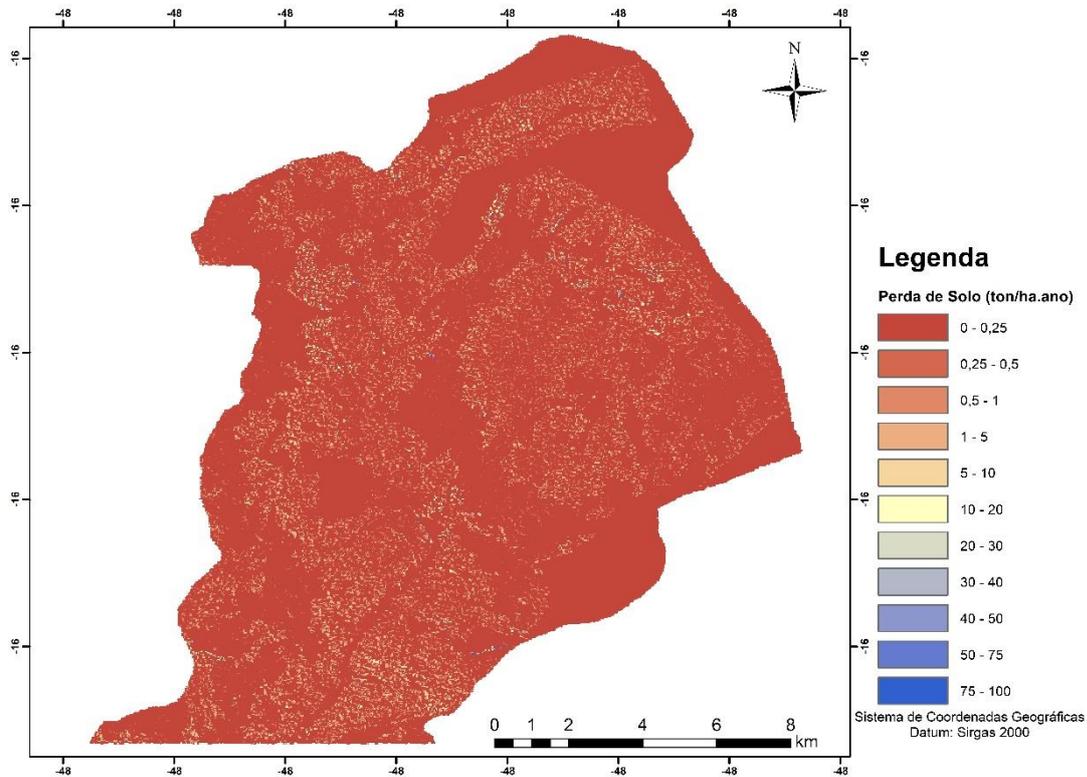
O cálculo da EUPS estima a perda de solo por erosão laminar. A perda de solo acima de 100 t/ha caracteriza estágios mais avançados dos processos erosivos, tais como a formação de ravinas, sulcos e voçorocas, nesses casos a EUPS não é eficiente. Devido a este fator, para evitar superestimativas da erosão laminar com a aplicação da EUPS, o potencial de erosão foi limitado a 100 ton/ha.ano (CHAVES, 2010). O valor médio anual para a área estudada foi de 0,2 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> com um desvio padrão de 1,91 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Os resultados estão apresentados em detalhes na Tabela 8 e a distribuição espacial para toda a bacia do ribeirão Ponte Alta com a estimativa de erosão estão apresentados na Figura 9.

**Tabela 8** - Resultado da EUPS em classes de perda de solo (ton/ha.ano). Grau de erosão segundo a proposta da FAO, UNEP e UNESCO apud Valente et al. (2001)

<b>Perda de Solo (ton/ha.ano)</b>	<b>Grau de erosão</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
0 – 0,25	Muito baixa	1.8326,52	88,81
0,25 – 0,5	Muito baixa	466,47	2,26
0,5 – 1	Muito baixa	619,65	3,00
1 – 5	Baixa	1.005,30	4,87
5 – 10	Baixa	133,11	0,65
10 – 20	Moderada	57,42	0,28
20 – 30	Moderada	13,32	0,06
30 – 40	Moderada	4,77	0,02
40 – 50	Moderada	3,60	0,02
50 – 75	Alta	2,61	0,01
75 – 100	Alta	2,79	0,01

Conforme apresentado na Tabela 8 e na Figura 9, aproximadamente 93% da região estudada apresentou níveis de erosão laminar variando de 0 a 1 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Este nível de erosão é considerado uma erosão muito baixa segundo a classificação sugerida por Valente et al. (2001). Este resultado é consistente com o encontrado por Alves (2000) em outras áreas do Distrito Federal. A classe de erosão variando de 1 a 5 ton/ha.ano ocupa a segunda maior área (5% da área total), que embora ainda seja considerada baixa, merece atenção especial quanto ao manejo do solo, pois a perda por erosão laminar pode não ser percebida, mas exerce grande influência sobre a produtividade da área e acarreta perdas significativas para os produtores da região. Dentro da classe de perda de solo moderada,

observou-se que aproximadamente 0,38% (79,1 hectares) da região de estudo é utilizado para cultivos agrícolas, especialmente agricultura irrigada. Por fim, entre as classes de alta erosão podemos destacar usos da terra como áreas de mineração e solo exposto, compreendendo 0,02% da área (5,4 ha).



**Figura 9** - Resultado do mapeamento de perda de solo para o Ribeirão Ponte Alta.

Com a espacialização dos valores de erosividade da chuva (Fator R) foi encontrada uma média de  $8.420,85 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$  (858,39 ton.mm/ha.h.ano) para a região estudada. De acordo com Carvalho (2008), esse valor pode ser considerado em uma classe de alta erosividade, intensificando-se no período chuvoso.

No fator LS, a declividade é a variável que apresenta uma maior influência na perda de solo. De um modo geral, as situações com maiores valores de declividade a velocidade de escoamento superficial tem maior influência na perda de solo (MOORE; WILSON, 1992; OLIVEIRA, 2012). Nesse contexto, esse pode ser um fator de suma importância no potencial erosivo da área estudada pois as áreas que apresentam maior potencial de perda de solo estão, em sua maioria, nos locais de maior declividade.

Em termos de erodibilidade dos solos, os maiores valores para o potencial de erosão foram encontrados em áreas de Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-amarelo

e Cambissolos. De acordo com Magalhães Filho (2014), os solos menos erodíveis são os Latossolos, pois são mais intemperizados e profundos. No entanto, devido a este tipo de solo estar predominantemente em áreas de relevo plano a suave, estas áreas, em sua maioria, estão sendo ocupadas por chácaras de uso misto, o que dependendo do manejo de solo que está sendo aplicado implica numa maior erodibilidade do solo.

O manejo do solo e as práticas conservacionistas são fatores que influenciam e intensificam diretamente a perda de solo. No Ribeirão Ponte Alta os usos do solo que mais contribuem para a erosão dos solos são agricultura, chacreamento, áreas degradadas (retirada da vegetação) e mineração.

### **5.6. Medidas de mitigação**

Visando a conservação dos solos, algumas medidas de mitigação poderiam ser adotadas para evitar o avanço da erosão laminar na área estudada e conseqüentemente, preservar a fertilidade do solo assim como favorecer a regeneração de espécies nativas. Dentre as práticas de manejo de baixo impacto ambiental podemos citar:

- Estimular práticas de fertilização do solo: correção de acidez, correção de fertilidade por adubação orgânica e eliminação de queimada, visando a melhoria da qualidade dos solos;
- Adoção de manejo do solo com relação às práticas de preparo: gradagem profunda, subsolagem e / ou escarificação, aração e gradagem. Estas técnicas devem ser aplicadas de acordo com a cultura que está sendo plantada, visando melhorar a qualidade física do solo e a capacidade de absorção de água, condições propícias à conservação e que auxiliam na proteção contra a erosão do solo;
- Incentivar a rotação de culturas, adubação verde, pousio, entre outras práticas de manejos, visando à melhoria da produtividade, à conservação e à proteção contra a erosão do solo;
- Incentivar a adoção de outras práticas de conservação do solo: enleiramento, cultivo mínimo, plantio direto, plantio em faixas, faixas de retenção, patamares vegetados e terraceamento, visando à proteção do solo contra a erosão e melhoria da qualidade do solo;

- Incentivar a utilização de áreas de lavoura no inverno com culturas pertinentes e adubação verde, visando à conservação do solo no inverno seco e melhores condições quando no início das chuvas;
- Adoção de controle das culturas periódicas na área da bacia hidrográfica, dos períodos de plantio e replantio, dos períodos e quantificação de áreas com solos expostos, visando ao monitoramento e à elaboração de medidas preventivas e corretivas para a conservação e preservação do solo (SAUNITTI et al., 2004).

## 6. CONCLUSÃO

A sub-bacia Ribeirão Ponte Alta apresenta grande extensão de áreas com baixo potencial de erosão laminar. Na presente pesquisa, estimou-se uma taxa média de perda de solo de  $0,2 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , considerada baixa de acordo com as classes propostas por Valente et al. (2001). As áreas críticas e com maiores valores de erosão laminar foram observadas em áreas com solo exposto, mineração e agricultura irrigada.

A extensa região com cobertura vegetal nativa e baixo grau de erodibilidade dos solos dificultam os processos erosivos na área de estudo. No entanto, o uso da terra é o fator de maior influência para alterar e acelerar os processos erosivos na região, pois as mudanças no uso e ocupação podem variar rapidamente de acordo com as ações antrópicas.

A partir do mapeamento de uso e cobertura atualizado na presente pesquisa, observou-se que a região estudada comporta uma quantidade significativa de cobertura vegetal nativa composta por diferentes fisionomias de Cerrado (campos naturais, formação savânica, além de formações florestais como Cerrado sentido restrito e Mata Ciliares). Contudo, a expansão urbana e o aumento da produção agrícola vêm impactando consideravelmente a impermeabilização do solo, desmatamentos e contaminação dos recursos hídricos, resultando em aumento substancial da erosão laminar em alguns tipos específicos de uso da terra (solo exposto, mineração e áreas irrigadas). Tais áreas precisam de cuidados especiais e técnicas adequadas de manejo dos solos para que a erosão laminar não se intensifique e se torne um estágio mais avançado de erosão, como sulcos, ravinas ou voçorocas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal – PGIRH/DF. Relatório Final – Volume I – Diagnóstico – Jul/ 2012.

ALVES, M. Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do rio São Bartolomeu-DF, usando técnicas de geoprocessamento. São José dos Campos: INPE, p. 33, 2000.

ARAÚJO, F. S.; SALVIANO, A. A. C.; NETO, M. R. H. Estimativa da Erodibilidade de Latossolos do Piauí. Scientia Plena, v. 7, n. 10, 24 nov. 2011.

ARCAYA, C.; GUADALUPE, S. Avaliação dos fatores condicionantes dos processos erosivos do Distrito Federal. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Universidade de Brasília, DF., 21 dez. 2007.

BAPTISTA, G. M. DE M. Diagnóstico ambiental da perda laminar de solos, no Distrito Federal, por meio do geoprocessamento. Publicação: MTARH.DM - 001A/97. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Brasília, DF, p. 132, 1997.

BARROS, J. R. A chuva no Distrito Federal: O regime e as excepcionalidades do ritmo. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, p. 216, 2003.

BASTOS, C. A. B. Estudo Geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. Tese de Doutorado em Engenharia, Engenharia Civil - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul., p. 303, 1999.

BERA, A. Estimation of soil loss by USLE model using GIS and remote sensing techniques: a case study of Muhuri River Basin, Tripura, India. Eurasian Journal of Soil Science, v. 6, n. 3, p. 206, 2017.

BERTONI, J.; LOMBARDI, F. Conservação do solo. In: Conservação do solo. 8. ed. São Paulo, SP: Ícone, 2012. p. 355.

BITAR, O. Y.; FORNASARI, N.; BRAGA, T. DE O. Meio físico em estudos de impacto ambiental. In: ITP boletim. São Paulo, SP: IPT, 1990. v. 56.

BLOISE, G. DE L. F. et al. Avaliação da suscetibilidade natural à erosão dos solos da Bacia do Olaria-DF. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento—Embrapa Cerrados, 2001.

CAMAPUM DE CARVALHO, J. et al. Processos erosivos. Livro: Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro. Ed: FINATEC, Brasília, Cap, v. 2, p. 39–91, 2006.

CHAVES, H. M. L. Incertezas na predição da erosão com a USLE: Impactos e Mitigação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 6, 2010.

CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Mapa de bacias hidrográficas do Distrito Federal. Brasília, DF, 2004.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 4, p. 743–753, ago. 2003.

DAEE/IPT (1989). Departamento de Águas e Energia Elétrica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Controle de erosão. Bases conceituais e técnicas. Diretrizes para o planejamento urbano e regional. Orientações para o controle de voçorocas urbanas. IPT, São Paulo, SP, 92p.

DUARTE, L.M.G., THEODORO, S.H. (org.). Dilemas do cerrado: entre o ecologicamente (in)correto e o socialmente (in)justo. Rio de Janeiro: Garamond, 2002. 239 p.

EITEN, G. Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. In: Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. (Org.) Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. 2º Ed. Ver Ampli. ed. Brasília, DF: UNB/SEMATEC, 1994. p. 17–74.

EMBRAPA. Evolução Geomorfológica do Distrito Federal. ISSN 1517-5111. Julho, 2004).

EMBRAPA. Mapa pedológico Digital – SIG atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma síntese de texto explicativo. ISSN 1517-5111. Junho, 2004. Planaltina DF.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro, 1978. 455 p. (Embrapa – SNLCS. Boletim Técnico, 53).

ESRI. ArcGis 10.3 for Desktop. 2018.

FELIZOLA, E. R.; LAGO, FP.; GALVÃO, W. S. Avaliação da dinâmica da paisagem no Distrito Federal. Projeto da Reserva da Biosfera do Cerrado-Fase I. Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, p. 21–26, 2001.

FILHO, F. J. C. M.; AYRES, F. M.; SOBRINHO, T. A. Integrando SIG e USLE para mapeamento da perda de solo em área de proteção ambiental. Agrarian, v. 7, n. 26, p. 552–559, 2 abr. 2014.

GOMES, R. A.; MIRANDA, R. Dinâmicas agrícolas e econômicas no nordeste do Brasil: estratégias para mitigação da pobreza rural. In: XV Congresso Brasileiro de Sociologia. Anais... Curitiba: SBS, 2011.

HIDROGEO. Estudo de impacto ambiental do setor habitacional Taquari – SHIQ. Brasília: Terracap, 1990. 430 p.

INFANTI JUNIOR, N.; FORNASARI FILHO N. (1998). Processos de Dinâmica Superficial – Geologia de Engenharia, Oliveira & Brito S. A. (eds), Associação Brasileira de Geologia e Engenharia, ABGE, São Paulo, Brasil, pp. 131-152.

IPT. Consolidação do projeto orientação para o controle à erosão no Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1989.

KING, L. C. A geomorfologia do Brasil. Revista Brasileira de Geografia, v. 18, n. 02, p. 147-265, 1957.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. São Paulo, SP: Oficina de textos, 2010.

LIMA, J. E. F. W. et al. Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da Erodibilidade dos Solos da Bacia Experimental do Alto Rio Jardim – DF. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 8, n. 2, 18 dez. 2007.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). *Bragantia*, v. 51, p. 189–196, 1992.

MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 24, n. 0, p. 1335–1340, 30 abr. 2008.

MAURO, J. R. Carta de susceptibilidade à erosão para a área da bacia do Prosa, Campo Grande, MS, escala 1:15000. Dissertação de mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais. UNESP, Ilha Solteira, SP, 2001, 73 p.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; RUHOFF, A. L. Use of spatial representation to calculate the topographic factor in the revised universal soil loss equation in watersheds. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 4, p. 1455–1462, ago. 2010.

MOORE, I. D.; WILSON, J. P. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 47, n. 5, p. 423–428, 9 jan. 1992.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 1 ed. – Viçosa: UFV, 2001, 307 p.

NASCIMENTO, Ú.; CASTRO, E. DE. Defesa de taludes contra a erosão. Critérios de seleção de solos. *Geotecnia*, Lisboa, n. n.20, p. 17–33, 1976.

OLIVEIRA, B. E. N. DE. Mapeamento, identificação e análise dos fatores relacionados aos processos erosivos no Distrito Federal (DF): ênfase nas voçorocas. 12 abr. 2012.

PEREIRA, J. S. Avaliação das Perdas de Solos por Erosão Laminar na Área de Influência da UHE Amador Aguiar I. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, MG, p. 167, 2014.

QUEIROZ, J. V. S. Uso de Geotecnologias na Caracterização da Fragilidade Ambiental da Bacia da UHE Foz do Rio Claro (GO) Monografia apresentada ao curso de Graduação em Geografia da Universidade Federal de Goiás – Campus Jataí/ CAJ-UFG. 2014.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. v. In: S.M. Sano & S.P. Almeida (eds.). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, Embrapa-CPAC., p. 89–166, 12 mar. 1998.

ROSA, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto. 6. ed. Universidade Federal de Uberlândia, MG: UFU, 2007.

SANTOS, R. F. dos. Planejamento Ambiental – Teoria e Prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

SAUNITTI, R. M.; FERNANDES, L. A.; BITTENCOURT, A. V. L. Estudo do assoreamento do reservatório da barragem do rio Passaúna - Curitiba, PR. Boletim Paranaense de Geociências, v. 54, 30 jun. 2004.

SILVA, L. L. O papel do estado no processo de ocupação das áreas de cerrado entre as décadas de 60 e 80. Revista Caminhos de Geografia - Instituto de Geografia (UFU), v. 1, n. 2, p. 24–36, 2000.

STELLFELD, M. C.; FIORI, A. P. SIG e a Análise Multitemporal da Folha Ribeirão Taquaraçu, Pantanal – MS. Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba: UFPR, 1999.

TRICART, J. Ecodinâmica. In: Série recursos naturais e meio ambiente. Rio de Janeiro, RJ: SUPREN/IBGE, 1977. v. Vol 11p. 97.

VALENTE, A. L. S. et al. Estimativa da suscetibilidade potencial à erosão laminar devido a fatores naturais: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Porto Alegre (RS). Teoria e Prática na Engenharia Civil, No. 2, p. 85–92, 2001.

VALERIANO, M.M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3595-3602

WISCHMEIER, W. H. A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil-Loss Equation<sup>1</sup>.  
Soil Science Society of America Journal, v. 23, n. 3, p. 246, 1959.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses - A guide to  
conservation planning. Washington, USDA: [s.n.], v. USDA AH-537