UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIBEIRÃO SOBRADINHO - DF

GABRIEL DA CUNHA COTRIM

ORIENTADORA: REJANE ENNES CICERELLI

CO-ORIENTADOR: FRANCISCO JAVIER CONTRERAS PINEDA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

BRASÍLIA/DF: ABRIL/2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIBEIRÃO SOBRADINHO - DF

GABRIEL DA CUNHA COTRIM

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.

APROVADA POR:

_____

REJANE ENNES CICERELLI, Doutora (IGD – UnB)
(ORIENTADORA)

_____

TATI DE ALMEIDA, Doutora (IGD – UnB)
(EXAMINADOR EXTERNO)

_____

WAGNER SANTOS DE ALMEIDA, Doutor (ENC – UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

BRASÍLIA/DF, MAIO DE 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA

COTRIM, GABRIEL DA CUNHA
Análise da suscetibilidade à erosão laminar: estudo de caso da Bacia Do Ribeirão Sobradinho - DF

ix, 75 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2021)
Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
1. GEOPROCESSAMENTO
2. EROSÃO
3. EUPS
4. URBANIZAÇÃO
I. ENC/FT/UnB II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

COTRIM, G. C. (2021). *Análise da suscetibilidade à erosão laminar: estudo de caso da Bacia Do Ribeirão Sobradinho - DF*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 75 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gabriel Da Cunha Cotrim
TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Análise da suscetibilidade à erosão laminar: estudo de caso da Bacia Do Ribeirão Sobradinho - DF
GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2021

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Gabriel Da Cunha Cotrim
gabrielccotrim@gmail.com

AGRADECIMENTOS

À minha família, meu pai, Sérgio, minha mãe, Vania e minha irmã, Cristine, pelo apoio e suporte durante toda a minha vida, e, neste momento em especial, dando condições para a conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos do curso de Engenharia Ambiental que me motivaram e serviram de exemplo para seguir em frente e alcançar meus objetivos.

A turma do semestre 2/2015, amigos que levarei no coração e que seguiram firme em seus caminhos durante esta etapa tão importante em nossas vidas; especialmente aos amigos que acompanharam de perto a saga deste trabalho: Lucas Taraleskof, Klalbert Lima e Paulo Aires.

Aos membros da Atlética Enxurrada, que agregaram conhecimentos a minha passagem na universidade, auxiliando a evoluir competências as quais vou levar em toda minha vida profissional, e que também serviram como apoio emocional durante momentos difíceis, contribuindo para a união dos alunos do curso e para a criação de vínculos afetivos essenciais para a conclusão deste ciclo.

Aos colegas e amigos da Flua Consultoria Ambiental, que sempre se mostraram atentos às demandas do curso e acrescentaram, em minha formação, experiências profissionais que serão importantes no decorrer de minha vida.

À minha madrasta Maria Cristina, que cedeu seu tempo e conhecimento para a revisão correção do projeto.

À minha namorada Bruna, pelo apoio e compreensão nos momentos de grande aflição, sendo uma grande parceira para eu continuar firme e não desistir.

Aos meus colegas de trabalho da Infraero, em especial ao José Aravechia, que me apoiou e guiou durante este projeto.

Ao Geraldo Lucatelli, que mesmo sem me conhecer pessoalmente se mostrou solícito na troca de e-mails e deu ótimos conselhos para o desenvolvimento deste TCC.

Aos meus orientadores, Rejane Cicerelli e Francisco Pineda, que durante este momento conturbado de pandemia conseguiram me guiar e apoiar no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Os processos erosivos são um grande problema quando se fala de implantação de uma nova região urbana. A exposição do solo, uso de máquinas e longo período de intervenção fazem com que a magnitude da erosão seja acentuada, causando, assim, impactos na bacia hidrográfica na qual o processo está instalado.

O monitoramento e acompanhamento dos processos de urbanização é uma das técnicas usadas para evitar impactos causados por processos erosivos. Assim, é possível estimar regiões com maior suscetibilidade e propor metodologias preventivas e corretivas.

Foi realizada a produção de um mapa de suscetibilidade à erosão da Bacia do Ribeirão Sobradinho, localizada em Brasília, Distrito Federal, utilizando a metodologia da Equação Universal de Perda de Solo, a qual leva em consideração fatores relacionados ao clima, ao relevo, ao tipo de solo e ao uso e cobertura do solo. Houve um enfoque na região que está destinada para a instalação de um novo bairro no Distrito Federal, o Urbitá.

Os resultados obtidos mostram de maneira espacializada a suscetibilidade à perda de solo na região, indicando que 67% da região tem perda menor que 5 t/ha.ano. No entanto há também regiões relevantes para a análise as quais demonstraram pontos de grande perda de solo, fato relacionado aos processos de mineração, agricultura, e instalação de um condomínio na bacia. Na região norte da bacia foi possível notar uma área com grande suscetibilidade à erosão, sendo ela associada a alta declividade da região.

ABSTRACT

Erosive processes are a major problem when it related to the implementation of a new urban region. The exposure of the soil, the use of machines and a long period of intervention cause the magnitude of erosion to be accentuated, causing impacts on the hydrographic basin in which the process is installed.

The monitoring of urbanization processes is one of the techniques used to avoid impacts caused by erosive processes. Thus, it is possible to estimate regions with greater susceptibility and to propose preventive and corrective methodologies.

An erosion susceptibility map of the Ribeirão Sobradinho Basin, located in Brasília, Federal District, was produced using the Universal Soil Loss Equation methodology, which takes into account factors related to climate, terrain, type of soil and land use and cover. There was a focus on the region that is destined for the installation of a new neighborhood in the Federal District, the Urbitá.

The results obtained show in a spatial way the susceptibility to soil loss in the region, indicating that 67% of the region has a loss of less than 5 t / ha.year. However, there are also relevant regions for the analysis which showed points of great soil loss, a fact related to the mining, agriculture, and installation of a condominium in the basin. In the northern region of the basin, it was possible to notice an area with great susceptibility to erosion, which is associated with the high slope of the region.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1
2. OBJETIVOS 3
2.1. OBJETIVO GERAL 3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 4
3.1. URBANIZAÇÃO 4
3.1.1. Planejamento urbano e gestão de uso e ocupação do solo 5
3.1.2. Desenvolvimento urbano no Distrito Federal 8
3.2. BACIAS HIDROGRÁFICAS 9
3.2.1. Impactos da urbanização em bacias hidrográficas 11
3.3. PROCESSOS EROSIVOS 12
3.3.1. Processos de erosão acelerada 13
3.3.2. Impactos dos processos erosivos em área urbana 14
3.3.3. Técnicas de prevenção de processos erosivos 17
3.4. GEOPROCESSAMENTO 18
3.4.1. Sistema de informações geográficas (SIG) 19
3.5. TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL DE EROSÃO 21
3.5.1. Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) 24
3.5.1.1. Fator R 25
3.5.1.2. Fator K 27
3.5.1.3. Fator LS 28
3.5.1.4. Fator C e fator P 29
4. METODOLOGIA 30
4.1. ÁREA DE ESTUDO 30
4.1.1. Empreendimento urbanístico Urbitá 33
4.2. LEVANTAMENTO E UTILIZAÇÃO DOS DADOS 34
4.2.1. Erosividade − Fator R 34
4.2.1. Erodibilidade do solo – Fator K 36
4.2.2. Fatores L e S 37
4.2.3. Uso e cobertura do solo e medidas de proteção − Fator C e Fator P 39
4.3. MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO 41
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 41

5.1. FATOR – R 41
5.2. FATOR – K 42
5.3. FATOR – LS 44
5.4. FATOR – C 44
5.5. MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO 47
5.5.1. Urbitá 50
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 51
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 53

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Bacia hidrográfica (Tucci, 2006) 10
Figura 3.2. Processos hidrológicos (Tucci, 2006) 10
Figura 3.3. Processos erosivos acentuados na Bacia do Rio Jaguaribe, PB (Santos et al., 2016) 12
Figura 3.4. Processos erosivos: A – erosão laminar; B, C e D – erosões lineares (Ridente Júnior, 2000) 14
Figura 3.5. Relação entre produção de sedimentos e mudança do uso do solo (Morgan, 2005) 15
Figura 3.6. Mapa de perda de solo entre 1958 e 2015 e previsão para 2020 no Setor Noroeste (Cerdeira, 2015). 16
Figura 3.7. Média de perda de solo por ano no Setor Noroeste e previsão para 2020 (Cerdeira, 2015). 16
Figura 3.8. Terraceamento (Almeida e Ridente Júnior, 2001) 18
Figura 3.9. Estrutura de um SIG (adaptado de Câmara, 1995) 20
Figura 3.10. Estrutura da informação no SIG (Modificado de Cavalcante 2015) 21
Figura 3.11. Sobreposição de camadas aplicada ao banco de dados de um SIG (USGS 2016). 21
Figura 4.1. Fluxograma da metodologia. 30
Figura 4.2. Área de estudo. 31
Figura 4.3. Mapa de Uso e Cobertura escala 1:20.000 (adaptado do Geoportal 2020). 32
Figura 4.4. Projeto urbanístico de ocupação territorial de Urbitá (adaptado de CONPLAN, 2018) 34
Figura 4.5. Localização das estações pluviométricas. 35
Figura 4.6. Mapa Pedológico da Bacia Ribeirão Sobradinho em escala 1:100.000 (adaptado de Reatto et al, 2004). 36
Figura 4.7. Hipsometria da Bacia Ribeirão Sobradinho. 38
Figura 4.8. Mapa de declividade da Bacia Ribeirão Sobradinho. 38
Figura 4.9. Área de captação. 39
Figura 5.1. Mapa do Fator R. 42
Figura 5.2. Mapa do Fator K. 43
Figura 5.3. Fator LS. 44
Figura 5.4. Fator C da Bacia Ribeirão Sobradinho. 45
Figura 5.5. Áreas relevantes para análise do fator C. 46

Figura 5.6. Uso e cobertura nos limites de Urbitá. 47
Figura 5.7. Estimativa de suscetibilidade à erosão na Bacia Ribeirão Sobradinho. 48
Figura 5.8. Área relevante 1 para discussão. 49
Figura 5.9. Área relevante 2 para discussão 49
Figura 5.10. Área relevante 3 para discussão. 50
Figura 5.11. Estimativa de perda de solo nos limites de Urbitá. 51

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Softwares SIG (Adaptado de Neves, 2017) 20
Tabela 3.2. Modelos de avaliação de erosão (adaptado de Almorox, Bermudez e Rafaelli, 2010). 22
Tabela 3.3. Metodologia para obtenção do Fator R (adaptado de Giovanini, 2019) 26
Tabela 3.4. Estimativa do fator K (adaptado de Giovanini, 2019) 27
Tabela 3.5. Classe de erodibilidade (adaptado de Almeida, 2018). 28
Tabela 3.6. Métodos de aquisição do fator C (adaptado de Giovanini, 2019) 29
Tabela 4.1. Áreas de uso e cobertura da bacia. 32
Tabela 4.2. Resumo da estimativa da ocupação de Urbitá. (Adapatado de CONPLAN, 2018) 33
Tabela 4.3. Estações pluviométricas utilizadas. 35
Tabela 4.4. Valor de K para cada solo. 37
Tabela 4.5. Indução de processos erosivos pelo tipo de uso e cobertura do solo (adaptado de Ridente Júnior, 2000; Giovanini, 2019) 40
Tabela 4.6. Valores de C para as classes de uso e cobertura do solo (adaptado de Giovanini, 2019) 40
Tabela 5.1. Distribuição de área por Fator R na Bacia Ribeirão Sobradinho 42
Tabela 5.2. Área ocupada por classe de erodibilidade. 43
Tabela 5.3. Área das classes de fator C. 45
Tabela 5.4. Área por perda de solo. 47

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1: Equação universal de perda de solos.....24
Equação 3.2: Relação entre média mensal e anual de precipitação.....25
Equação 3.3: Cálculo do fator L 28
Equação 3.4: Cálculo do fator S 28
Equação 3.5: Cálculo do fator S.....28

LISTA DE ABREVIAÇÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

AHP *Analytical Hierarchy Process*

CODEPLAN Companhia de Planejamento do Distrito Federal

CONPLAN Conselho de Planejamento Territorial e Urbano do Distrito Federal

DF Distrito Federal

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETE Estação de Tratamento de Esgoto

EUPS Equação Universal de Perda de Solo

GDF Governo do Distrito Federal

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MMA Ministério do Meio Ambiente

MNE Modelo Numérico de Elevação

PDOT Plano Diretor de Ordenamento Territorial

PGIRH Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos

PNRH Política Nacional de Recursos Hídricos

RA Região Administrativa

SIG Sistemas de Informações Geográficas

SUPLAM Subsecretaria de Planejamento

ZEE Zoneamento Ecológico Econômico

ADASA Agência Reguladora de Águas

t Tonelada (unidade de medida)

ha Hectare (unidade de medida)

Km² Quilometro quadrado (unidade de medida)

mm Milímetro (unidade de medida)

MJ Mega joule (unidade de medida)

CONPLAN Conselho de Planejamento Territorial e Urbano do Distrito Federal

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano no Brasil teve um exponencial aumento durante a metade do século XX. O crescimento da densidade urbana, a especulação imobiliária e a necessidade de espaço incentivaram o crescimento de novos assentamentos próximos às regiões metropolitanas (Cabral e Candido, 2019; Maricato, 2003).

Com isso, os problemas ambientais causados pelas ações antrópicas também tiveram sua magnitude e quantidade ampliada (Silva et al., 2016). Como a interação entre homem e natureza se dá de maneira complexa, dependendo de diversas variáveis e parâmetros, a conjuntura de interfaces pode ser observada de diversos ângulos, sendo necessária uma análise holística dessa interação de modo a ter conhecimento do todo.

As ocupações humanas têm se tornado cada vez mais intensas e rápidas, com loteamentos e urbanizações em ritmo acelerado para atender as demandas do mercado imobiliário. Há uma concentração de renda nas regiões mais próximas ao centro, onde a especulação imobiliária e o elitismo fazem com que o valor da terra seja alto e que pessoas com menos condições tenham que buscar alternativas para sua moradia (Campos Filho, 1992). De acordo com o mesmo autor, a origem da maior parte do espaço urbano se deu de maneira clandestina ou legalmente irregular, não se atentando aos requisitos sanitários mínimos, também não houve o acompanhamento para impedir a ocupação de áreas com grandes declives. Tal fato de processos de urbanização irregular custa caro para o governo, tendo em vista que o processo de regularização necessita de infraestruturas para a adequação da região, gerando grande ônus para a sociedade.

No Distrito Federal, a pressão do setor imobiliário para a implantação de novas áreas urbanizadas, condomínios e loteamentos colocou em risco e em questionamento áreas que de proteção ambiental. Brasília possui regras de uso e ocupação do solo muito rígidas relacionadas à preservação arquitetônica e urbanística de sua história, fazendo com que novos empreendimentos sejam limitados e o setor busque regiões do entorno. Para a gestão do conflito entre a manutenção do patrimônio histórico da cidade, a preservação ambiental e a expansão imobiliária demanda o uso de ferramentas que harmonizem os interesses de cada área.

No âmbito de proteção ambiental, é necessário um monitoramento dos empreendimentos para se evitar que estes atendam apenas seus interesses, renunciando aos parâmetros necessários para minimizar danos ao meio ambiente, visando o máximo lucro. Alguns dos efeitos de implantação de novas urbanizações são os processos erosivos. O entendimento de

como eles ocorrem em uma região com áreas urbanizadas ou em processo de urbanização se faz cada vez mais necessária e a espacialização destes processos é fundamental para a relação causa e efeito.

O entendimento dos impactos ambientais não se faz completo se não há uma análise das consequências nessa relação. Os processos erosivos acelerados são um problema para a sociedade e para a natureza, retirando nutrientes do solo, causando assoreamento de corpos hídricos e riscos para as infraestruturas civis.

A implantação de uma região urbanizada é a oportunidade perfeita para se realizar uma análise da amplitude dos impactos do empreendimento, por exemplo, em relação aos processos erosivos. Urbitá, um novo bairro planejado, situado na Bacia do Ribeirão Sobradinho, Distrito Federal, está em fase de projeto, e o início das obras estava programado para 2020. Como um empreendimento de grande escala para a região, é necessário um acompanhamento da sociedade para a preservação das relações urbanas democráticas.

O objetivo é analisar a suscetibilidade a processos erosivos na Bacia do Ribeirão Sobradinho com o intuito de manter um registro da situação pré-urbanização de Urbitá. Tendo como conceito de suscetibilidade: a disposição do organismo de acusar as influências exercidas sobre ele e o quão provável um determinado fenômeno pode ocorrer (Girão, Rabelo e Zanella, 2018).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar a suscetibilidade a processos erosivos laminares na Bacia do Ribeirão Sobradinho em Brasília – DF.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a situação atual da Bacia do Ribeirão Sobradinho em relação a processos erosivos laminares;
- Identificar e discutir a relação de regiões suscetíveis à erosão na área de implantação da urbanização Urbitá;
- Propor áreas para a priorização de medidas de contenção de erosão na área de implantação da urbanização Urbitá.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A revisão bibliográfica deste trabalho tem o objetivo de abordar o que os autores têm publicado referente aos temas principais, levando em consideração um processo de afunilamento dos assuntos, que passam pela urbanização, formação e conceito de bacias hidrográficas, processos erosivos, geoprocessamento e análises de metodologias de levantamento de erosão. Este capítulo também tem o objetivo de definir, explicar o funcionamento e dar exemplos de algumas das ferramentas utilizadas por pesquisadores em seus trabalhos relacionados com processos erosivos.

3.1. URBANIZAÇÃO

O processo de industrialização intensificou o desenvolvimento das cidades tornando-as mais densas à medida que as oportunidades de emprego e renda eram ofertadas no meio urbano (Campos Filho, 1992). No Brasil, esse processo teve início por volta da década de 1950, quando ocorria também o desenvolvimento de meios de transporte e expansão da comunicação em massa (Brito e Souza, 2005).

A incapacidade do meio rural de oferecer oportunidades de emprego e renda mais atrativas do que as ofertadas nas regiões industrializadas gerou um movimento migratório campo-cidade. A migração interna tornou-se um forte agente de mudança estrutural no Brasil, o que auxiliou no processo de consolidação de regiões urbano-industriais (Brito e Souza, 2005). O alto preço da terra com infraestrutura urbana impôs à população de baixa renda uma limitação ao acesso a tais recursos (Villaça, 2001).

Os loteamentos irregulares e as favelas surgem como alternativas para a população de baixa renda estar próxima às oportunidades, sem ter o alto custo das regiões com estruturas. Tais ocupações de terra se dão em áreas negligenciadas pelo governo e ignoradas pelo mercado imobiliário, que geralmente são áreas de vulnerabilidade ambiental, nas quais a ocupação é vetada por legislação: encostas de morros, áreas de mangue, beira de córregos e áreas de proteção de mananciais (Maricato, 2003).

De acordo com Campos Filho (1992), o processo de industrialização e a consequente formação de aglomerados urbanos ocorreram de maneira acelerada no Brasil. Em 1960, a população rural era de 39 milhões e a urbana de 32 milhões. Em 2010, a população urbana total no Brasil era de cerca de 160 milhões de habitantes, enquanto a rural era de quase 30 milhões (IBGE, 2010).

O crescimento urbano desenfreado, vivenciado na segunda metade do século XX, teve como consequência o inchaço urbano e a impossibilidade de lidar de maneira adequada com os

impactos causados pelas aglomerações urbanas (Cabral e Candido, 2019). Uma alternativa aos problemas provenientes do processo de urbanização é a intervenção do poder público, evitando e mitigando tais problemas por meio de um processo de planejamento urbano para um adequado desenvolvimento sustentável da cidade (Udega, 2014; Andrade 1993).

Em relação ao desenvolvimento sustentável, a publicação de Feil e Schreiber (2017) buscou analisar as diversas características atribuídas a esse termo. Desenvolvimento sustentável pode ser conceituado como uma estratégia em longo prazo que visa melhorar a qualidade de vida da sociedade, levando em conta aspectos ambientais, sociais e econômicos, com especial olhar para questões ambientais.

3.1.1. Planejamento urbano e gestão de uso e ocupação do solo

Segundo Andrade (1993), planejamento urbano é uma atividade cujo objetivo é sanar os problemas e impactos causados pelo processo de urbanização. Ao propor regras de ocupação do solo urbano, espera-se uma harmonia entre os conflitos gerados pelas diferentes esferas da sociedade e seus interesses.

De acordo com Almeida e Nunes (2018), o planejamento urbano consiste em uma organização do espaço geográfico urbano dividido em espaços destinados a construções institucionais e residenciais, à integração, a arruamentos e rodovias, ao lazer e à proteção ambiental.

O ponto de vista contemporâneo traz que o planejamento urbano é um conjunto de processos de produção, estruturação e apropriação do espaço urbano de forma mais democrática e que torna possível um diálogo entre poder público e a sociedade (Drabik et al., 2015).

Conforme Cruz (2011), o planejamento urbano é uma ferramenta fundamental para se entender as relações de poder que ocorrem entre diferentes segmentos da sociedade, validando ou não suas ações. Ainda, segundo a mesma autora, os interesses privados e as relações de bem coletivo entram em conflito quando a busca pela manutenção de interesses, geralmente econômicos, torna o espaço urbano desigual.

Tendo em vista que o planejamento urbano é um conceito aplicado às intenções futuras do desenvolvimento da sociedade, um importante agente presente nesse processo é o ente governamental, responsável por definir as diretrizes de uso e ocupação do solo.

O poder público municipal tem um papel muito importante no que diz respeito à ordenação, ao controle do planejamento urbano e ao uso e ocupação do solo. Nele recai a reponsabilidade de garantir um desenvolvimento urbano justo, eficiente e que respeite os recursos naturais. Segundo o Art. 30, inciso VIII, da Constituição Brasileira de 1988, compete aos municípios:

> VIII - promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano

As políticas públicas, no entanto, não são feitas isoladamente em cada município. As esferas estadual e federal também atuam traçando linhas gerais para os municípios se orientarem, conforme a Lei nº 10.257, de julho de 2001 (BRASIL, 2001), que estabelece diretrizes gerais da política urbana, conhecida como Estatuto das Cidades. Essa lei veio como um marco no planejamento territorial dos municípios brasileiros, trazendo ferramentas, instruções e conceitos que servem de guia para o desenvolvimento das cidades.

Como disposto no Art. 2° da Lei nº 10.257 (Brasil, 2001), a política urbana tem como objetivo o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana. Para isso são traçadas diretrizes de ordenamento urbano e desenvolvimento das cidades brasileiras.

Dentro do contexto da mesma lei, algumas diretrizes são de suma importância no estabelecimento de regras na relação homem, cidade, meio ambiente e desenvolvimento urbano. Inclusive, o inciso I do Art. 2º está diretamente ligado ao conceito de desenvolvimento sustentável ao incentivar a garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte, aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações. Já o inciso II afirma que a gestão deve ocorrer de maneira democrática em todas as suas esferas: formulação, execução e acompanhamento de planos, programas e projetos de desenvolvimento urbano. Ainda, no mesmo artigo, é possível elencar incisos que se relacionam diretamente com o meio ambiente, demonstrando como o processo de planejamento territorial está intrinsecamente conectado com o meio ambiente e sua manutenção:

> IV – Planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente;
>
> [...]
>
> VI – ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar:
>
> a) a utilização inadequada dos imóveis urbanos;
>
> [...]
>
> c) o parcelamento do solo, a edificação ou o uso excessivos ou inadequados em relação à infraestrutura urbana;
>
> [...]

> g) a poluição e a degradação ambiental;
>
> [...]
>
> VIII – adoção de padrões de produção e consumo de bens e serviços e de expansão urbana compatíveis com os limites da sustentabilidade ambiental, social e econômica do Município e do território sob sua área de influência;
>
> [...]
>
> XII – proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio cultural, histórico, artístico, paisagístico e arqueológico;
>
> XIII – audiência do Poder Público municipal e da população interessada nos processos de implantação de empreendimentos ou atividades com efeitos potencialmente negativos sobre o meio ambiente natural ou construído, o conforto ou a segurança da população;
>
> [...]
>
> XVII – estímulo à utilização, nos parcelamentos do solo e nas edificações urbanas, de sistemas operacionais, padrões construtivos e aportes tecnológicos que objetivem a redução de impactos ambientais e a economia de recursos naturais. (Incluído pela Lei nº 12.836, de 2013)
>
> XVIII – tratamento prioritário às obras e edificações de infraestrutura de energia, telecomunicações, abastecimento de água e saneamento. (Incluído pela Lei nº 13.116, de 2015)

Para a implementação de uma política pública eficiente, é necessária a criação de instrumentos que servirão de auxílio para o desenvolvimento, monitoramento e implementação das ações propostas. O Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT) é um instrumento básico definido pela Lei nº 10.257 (Brasil, 2001) da política urbana e serve como orientação aos agentes públicos e privados ao traçar diretrizes específicas da ocupação do solo, adaptáveis com a realidade de cada município.

> Tem como finalidade propiciar o pleno desenvolvimento das funções sociais da propriedade urbana e rural e o uso socialmente justo e ecologicamente equilibrado de seu território, de forma a assegurar o bem-estar de seus habitantes (PDOT DF).

Além do PDOT, existe o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), que tem como objetivo o diagnóstico e a proposição de ações pactuadas, contribuindo, assim, para uma correta orientação de esforços e investimentos do governo e sociedade civil, segundo as características das áreas definidas e tradadas como unidade de planejamento. Ele foi instituído pelo Decreto nº 4.297 de 2002 (Brasil, 2002). É um instrumento de planejamento urbano que se enquadra nas compreensões mais contemporâneas de política pública, visando

à redução de desigualdades sociais e ao respeito ao pluralismo. Serve, também, como ferramenta para basear o desenvolvimento com alicerces sustentáveis e respeito aos respectivos ordenamentos territoriais (MMA, 2006).

3.1.2. Desenvolvimento urbano no Distrito Federal

O Distrito Federal é uma unidade da Federação criada para abrigar a capital do País, projetada por Lúcio Costa e inaugurada em 1960. O desenvolvimento urbano no DF ocorreu de forma semelhante a outras metrópoles brasileiras. Em poucas décadas, sua população cresceu de maneira rápida, excedendo a proposta inicial de Lúcio Costa de comportar de 500 mil a 700 mil habitantes, para aí então expandir para as periferias, com cidades pequenas e pontuais (Oliveira e Maniçoba, 2014).

Segundo Anjos (2012), a cronologia do desenvolvimento urbano na capital do País se deu dentro de uma conjuntura marcada pelos polos urbanizadores e limitação como o espaço e legislações ambientais. Marcos no desenvolvimento de Brasília estão explicitados de maneira cronológica, como exposto pelo autor Anjos (2012):

1958 – Momento da instalação do canteiro de obras.

1964 – Manchas urbanas pequenas e esparsas.

1977 – Conjunto urbano expandido, tomando forma o primeiro “boom” no processo de crescimento urbano.

1990 – Fase em que há um esgotamento de expansão do Plano Piloto e das Cidades Satélites implementadas até então. Crescimento do número de invasões e assentamentos sem tratar de problemas habitacionais de maneira satisfatória. Brasília apresenta indicadores de uma metrópole jovem.

2000 – Mancha urbana com mais que o dobro do observado em 1990. Há uma consolidação de Brasília como uma metrópole, caracterizada por, entre outros pontos, degradação ambiental.

2010 – Ritmo acelerado de transformação territorial e uma ampliação significativa dos problemas ambientais, característicos nas metrópoles brasileiras, o que exalta um território de extremos e de contradições, com zonas de alta densidade e outras de baixa densidade.

Segundo Anjos (2012), a fronteira norte de expansão é uma área de preocupação pelo fato de haver muitas nascentes na região, sendo assim uma região de sensibilidade ambiental. Particularmente, os empreendimentos que merecem atenção na área são os parcelamentos privados no entorno de Sobradinho e Lago Oeste, que requerem um monitoramento sistemático com a finalidade de se evitar a ampliação de processos erosivos na área.

Brasília é uma das poucas cidades do Brasil que possuem PDOT, uma ferramenta importante para o adequado desenvolvimento sustentável do DF. Ele foi aprovado pela Lei Complementar nº 803 de 2009 (Brasil/Brasília, 2009), que revisou o texto do PDOT.

Tendo em vista que um dos objetivos do trabalho é identificar regiões suscetíveis à erosão em uma área de expansão urbana, Urbitá, é importante realizar o levantamento das macrozonas estabelecidas pelo PDOT-DF, para, assim, poder realizar um futuro enquadramento do empreendimento dentro das diretrizes do ordenamento territorial. As macrozonas urbanas estão definidas no Art. 60º do PDOT:

I — Zona Urbana do Conjunto Tombado;

II — Zona Urbana de Uso Controlado I;

III — Zona Urbana de Uso Controlado II;

IV — Zona Urbana Consolidada;

V — Zona Urbana de Expansão e Qualificação;

VI — Zona de Contenção Urbana;

e duas macrozonas rurais:

I — Zona Rural de Uso Diversificado;

II — Zona Rural de Uso Controlado.

Como forma de auxílio para o planejamento urbano o ZEE busca incluir eu suas diretrizes características ambientais da região, como por exemplo as bacias hidrográficas. Estas delimitações fornecem metodologias para diminuir os impactos causados pelas ocupações urbanos, pois agrega ao planejamento ferramentas de entendimento da região.

3.2. BACIAS HIDROGRÁFICAS

A bacia hidrográfica é uma unidade de estudos relacionada ao ciclo hidrológico e com grande importância no que diz respeito a estudos ambientais. De acordo com Silveira (1993), bacia hidrográfica é uma região de captação de água que faz convergir a drenagem da precipitação em um único ponto, o exutório. A bacia é delimitada pelos seus divisores de água e é integrada por sua rede de drenagem como demonstrado na Figura 3.1 (Sousa e Paula, 2016).

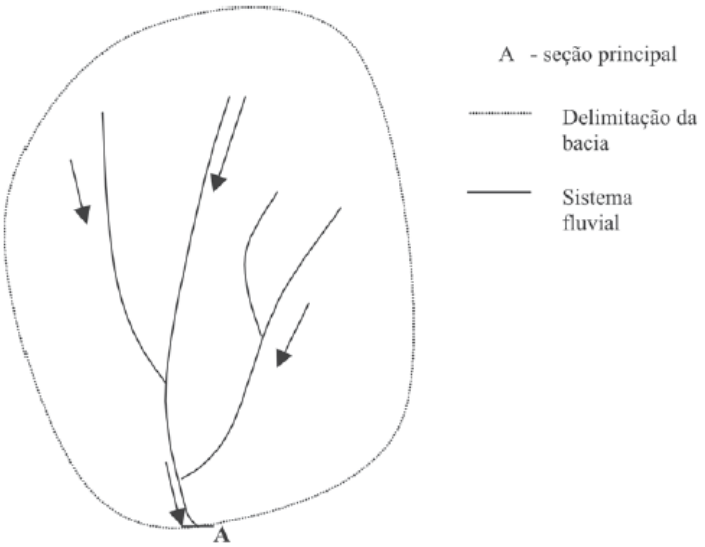

Figura 3.1. Bacia hidrográfica (Tucci, 2006)

As bacias hidrográficas podem ser consideradas sistemas abertos os quais recebem energia do clima da região e perdem energia para os deflúvios (Mineiro, 2011; Andreozzi 2005). Segundo Tucci (2006), trocas de energia acontecem em processos hidrológicos, que podem ser separados em verticais e longitudinais. Os verticais estão associados à precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo. Já os longitudinais estão associados aos fluxos em direção ao gradiente de superfície, como escoamento superficial e rios, e no subsolo o escoamento subterrâneo (Figura 3.2).

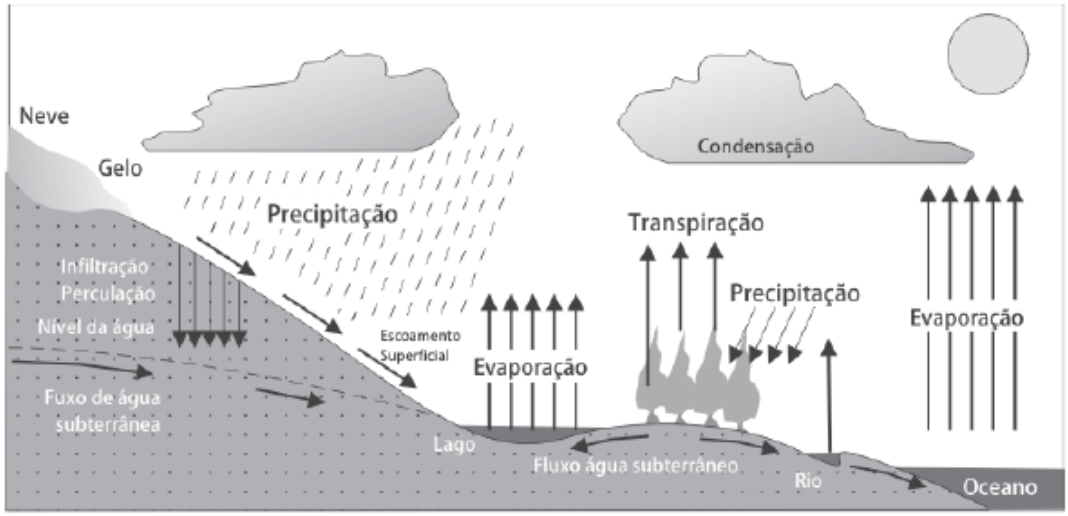

Figura 3.2. Processos hidrológicos (Tucci, 2006)

A gestão de recursos hídricos tende a ser realizada por bacias hidrográficas, já a gestão de uso e ocupação tende a ser feita por regiões metropolitanas. Entretanto, as bacias hidrográficas são palcos das principais interações ambientais e são as mais indicadas para gestão ambiental integrada (Fonseca, 2008).

A bacia hidrográfica como unidade funcional pode ser estudada tanto pelos atributos e processos físicos quanto pelas relações humanas que são advindas da conexão física que ocorre entre os entes alocados nela (Andreozzi, 2005)

3.2.1. Impactos da urbanização em bacias hidrográficas

O desenvolvimento das regiões urbanas no Brasil, como visto anteriormente, aconteceu de maneira veloz. A migração da população rural e o crescimento populacional transformou as cidades em grandes conglomerados sociais, aos quais o Estado, muitas vezes, não consegue dar assistência ou controlar de maneira adequada sua ocupação.

Os problemas associados à urbanização não estão apenas ligados a fatores sociais, mas também aos impactos ambientais causados pela ação antrópica. A ocupação desordenada de margens de rios e córregos acarreta problemas como inundações, proliferação de doenças, despejo de efluentes e deslizamentos de terra (Silva et al., 2016). Em áreas de expansão urbana, são comumente constatados, como impactos, o aumento das vazões médias de cheias, aumento da erosão do solo e produção de sedimentos e deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea (Tucci, 2006).

Segundo Ridente Júnior (2000), empreendimentos relacionados à urbanização tornam a área de expansão urbana um dos principais focos de processos erosivos, causados, em sua maioria, por falta de investimentos em infraestrutura e escassez de recursos financeiros e técnicos. Tucci (2006) destaca quatro fases distintas no processo de produção de sedimentos durante a urbanização. São elas: pré-desenvolvimento, desenvolvimento inicial, intermediário e área desenvolvida, descritas pelo mesmo autor como:

- A fase de pré-desenvolvimento tem como característica uma situação não interferida na bacia, os processos de erosão que ocorrem são naturais e relacionados ao ciclo hidrológico da região;
- A fase de desenvolvimento inicial é o momento em que começam a ocorrer as modificações da cobertura da bacia, com a retirada de sua proteção natural. Com o solo exposto, os processos erosivos se intensificam, fato ainda mais perceptível em períodos de chuva;
- Já no momento intermediário do processo de urbanização, parte da população está estabelecida, com grande movimentação de terra em decorrência das construções que ainda estão ocorrendo e se inicia a geração de resíduos sólidos, associados aos moradores já instalados na região;

- E, por fim, a área desenvolvida, onde as superfícies se encontram consolidadas, tendo como consequência uma produção residual de sedimentos, mas com o ápice da geração de resíduos sólidos.

No estudo de Santos et al. (2016) na Bacia do Rio Jaguaribe, João Pessoa, PB, os principais impactos causados pelo processo de urbanização na bacia hidrográfica são: enchentes e inundações, processos erosivos acentuados e poluição dos corpos hídricos. Ainda no mesmo estudo, foi constatado que os processos erosivos na região (Figura 3.3) acarretavam risco para a população e assoreamento dos canais fluviais.

Figura 3.3. Processos erosivos acentuados na Bacia do Rio Jaguaribe, PB (Santos et al., 2016)

3.3. PROCESSOS EROSIVOS

Para Bastos et al. (2000), erosão é um conjunto de processos pelos quais os materiais que recobrem a superfície terrestre são degradados, dissolvidos, desgastados e transportados. Os agentes causadores da erosão comumente são geleiras, rios, mares, ventos e chuvas, sendo este um processo geológico modificador da paisagem. Os processos erosivos estão separados entre duas classes, a erosão eólica e a erosão hídrica. A erosão eólica é a causada pela ação dos ventos, já a erosão hídrica é aquela causada pela ação da água.

O processo de erosão e de deposição de partículas é um fenômeno que ocorre naturalmente no meio ambiente, antes mesmo de qualquer intervenção humana. Alguns problemas surgem pelo próprio processo natural, mas frequentemente eles ganham magnitude de acordo com as intervenções humanas. A interferência antrópica é um agente intensificador do processo de erosão, caracterizado como uma erosão acelerada. A interrupção de escoamento,

impermeabilização de área e retirada de vegetação fazem com que o problema se torne cada vez mais alarmante (Guy Harold, 1970; Bastos et al., 2000).

Segundo Ridente Júnior (2000), em regiões tropicais úmidas, o processo erosivo mais preponderante é a erosão hídrica. Este é um processo de desprendimento, desagregação e carreamento das partículas do solo, causado pela ação da chuva. A erosão hídrica tem seu início com o impacto das gotas de água no terreno, o que desprende as partículas do solo, tornando-as mais suscetíveis ao transporte. Caso ocorram condições favoráveis para a formação do escoamento superficial, ele desempenha um papel importante na erosão como um agente de transporte das partículas. As características do escoamento superficial que podem influenciar no carregamento de sólidos são: velocidade, declividade, volume escoado e tipo de escoamento.

3.3.1. Processos de erosão acelerada

O processo de erosão acelerada pode se manifestar no solo de forma diversificada, com suas características mais importantes vinculadas ao tipo de escoamento superficial na região. A erosão pode ocorrer de modo esparso e difuso, como na erosão laminar ou em lençol. Também é possível ser proveniente de um escoamento mais concentrado, aquele consequente da acumulação de escoamento superficial em uma mesma região, o que gera condições favoráveis para a formação de erosão linear (Ridente Júnior, 2000; Giovanini, 2019).

As erosões lineares são consequência do escoamento superficial concentrado, caracterizam-se pela retirada do solo de modo mais intenso dando forma a caminhos lineares na superfície. Quando ocorrem em grande magnitude, podem acarretar sérios problemas na estabilidade de taludes e comprometer a infraestrutura de edificações, rodovias e estradas. Além dos sérios problemas causados às obras de engenharia, há também o desequilíbrio ambiental que normalmente tem consequências regionais. Alguns exemplos de erosões lineares são: sulcos, calhas, ravinas e voçorocas.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2010) e Neves (2017), o processo de erosão laminar, ou em lençol, está relacionado ao escoamento em lençol superficial difuso, retirando de maneira homogênea a camada superficial do solo. Tal processo é dificilmente perceptível, sendo possível notá-lo apenas por mudanças na tonalidade do solo e pela exposição de raízes. Este processo está relacionado a eventos de chuvas esparsas e prolongadas. Erosão esta que será o foco deste trabalho. Os processos erosivos são mostrados na Figura 3.4. (Bertoni e Lombardi Neto, 2010; Bastos et al., 2000; Galiano et al., 2021).

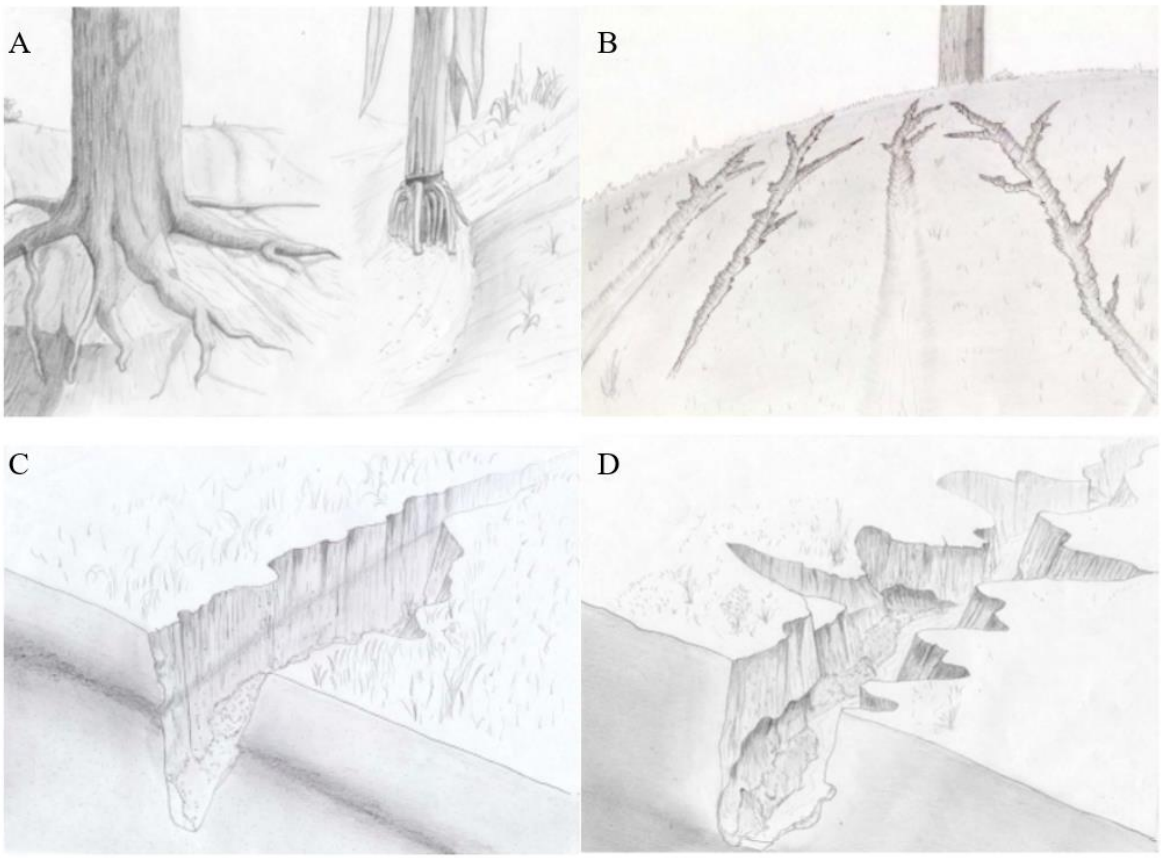

Figura 3.4. Processos erosivos: A – erosão laminar; B, C e D – erosões lineares (Ridente Júnior, 2000)

3.3.2. Impactos dos processos erosivos em área urbana

De acordo com Bordas e Semmelman (1993), são diversas as atividades que aceleram a erosão natural das bacias e aumentam as agressões às calhas dos rios e a instabilidade dos leitos. No ciclo hidrossedimentológico, que é a dinâmica da água com os sedimentos, as atividades humanas que mais afetam seu funcionamento são: a agricultura, a urbanização, a mineração, a construção de estradas, a retificação e o barramento de cursos de água.

Dentro do contexto já exposto nos capítulos anteriores de expansão urbana, as erosões e depósitos sedimentares vêm se multiplicando ao longo dos anos. A interferência humana na paisagem e todos os problemas relacionados também têm aumentado. Como visto no Item 3.1 durante o processo de urbanização a produção de sedimentos varia conforme a fase de execução. A implementação de processos construtivos acarreta um pico na produção de sedimento, o que causa danos de maneira acentuada em um curto espaço de tempo e logo após um declínio da produção de sedimentos, como visto na Figura 3.5.

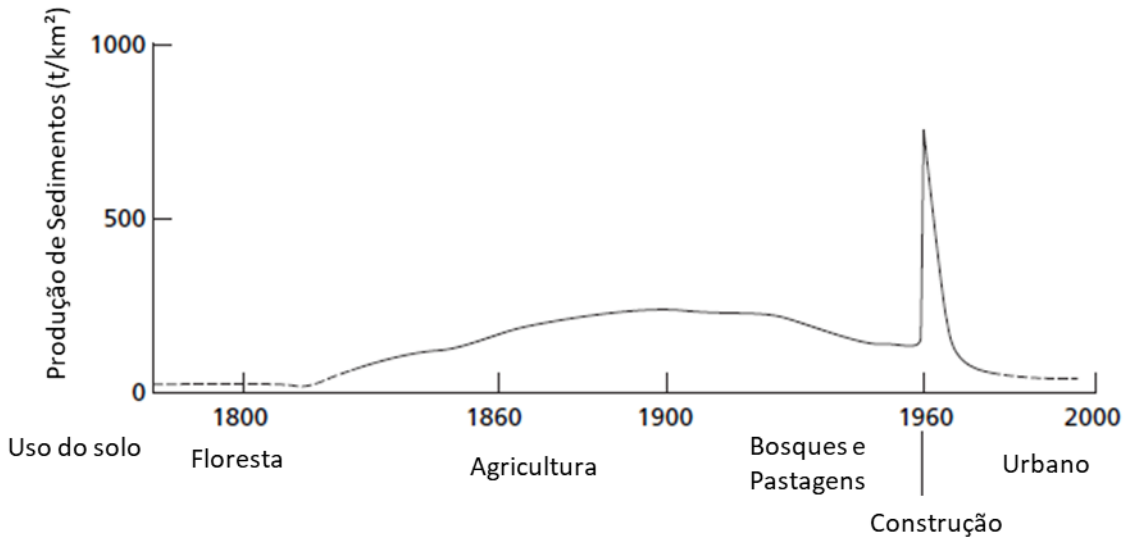

Figura 3.5. Relação entre produção de sedimentos e mudança do uso do solo (Morgan, 2005)

O Distrito Federal, em seu contexto de desenvolvimento urbano, também vem enfrentando problemas relacionados a processos erosivos laminares em decorrência da implementação de loteamentos e novas zonas urbanas.

Um dos exemplos mais recentes e de fácil visualização é o da implantação do Setor Noroeste. De acordo com a Terracap (2014) e Aravechia Junior, Roberto e Aerre (2008), a população final prevista para se instalar no Setor Noroeste é de 40 mil habitantes, divididos em 20 quadras residenciais, distribuídas por uma área de aproximadamente 825 hectares. O Noroeste é classificado como um bairro de alto padrão, com prédios de até seis andares, presença de pilotis e quadras comerciais, característicos dos bairros do Plano Piloto de Brasília (Terracap, 2014).

O estudo realizado por Cerdeira (2015) trouxe uma análise da produção de sedimentos ocorrida durante o processo de urbanização do Setor Noroeste em Brasília, DF. O estudo utilizou a metodologia da Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) para modelar a produção de sedimentos entre 1958 e 2015, além de prever a erosão em 2020. Nas figuras 3.6 e 3.7, é possível visualizar os resultados obtidos pela autora mostrando o crescimento da produção de sedimentos ao longo do processo de urbanização da região.

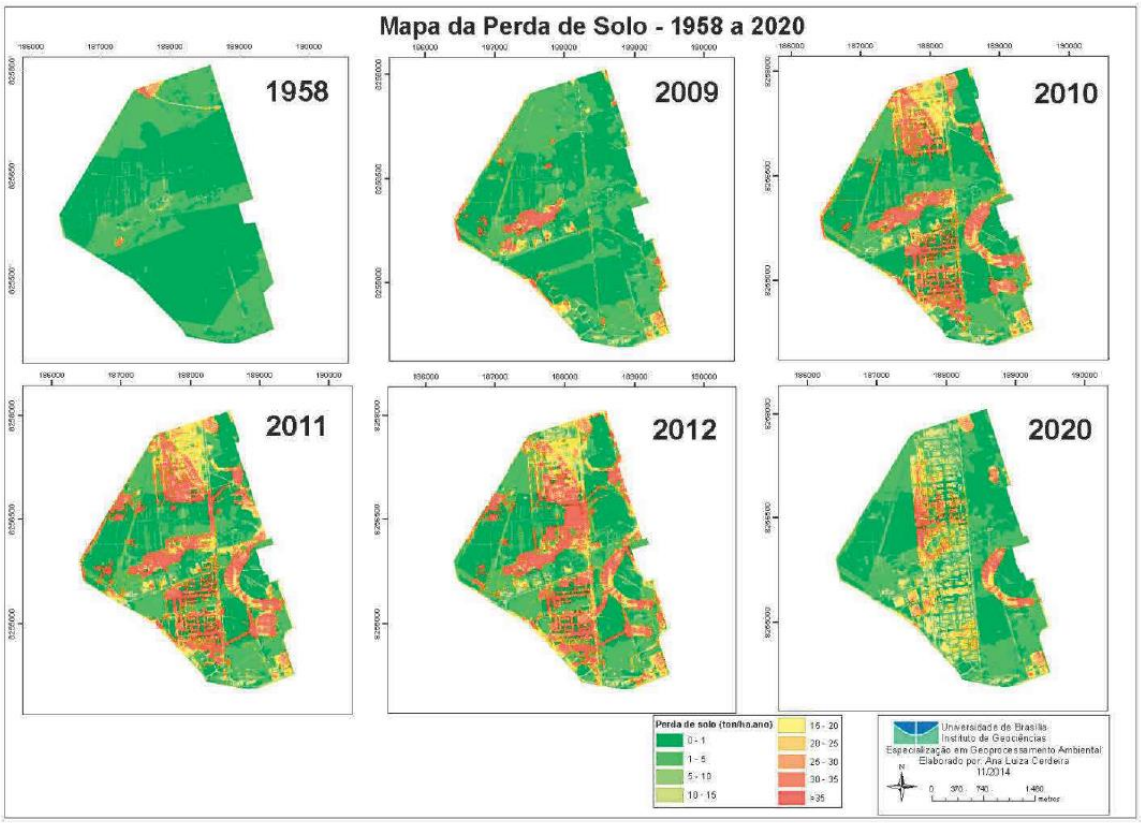

Figura 3.6. Mapa de perda de solo entre 1958 e 2015 e previsão para 2020 no Setor Noroeste (Cerdeira, 2015).

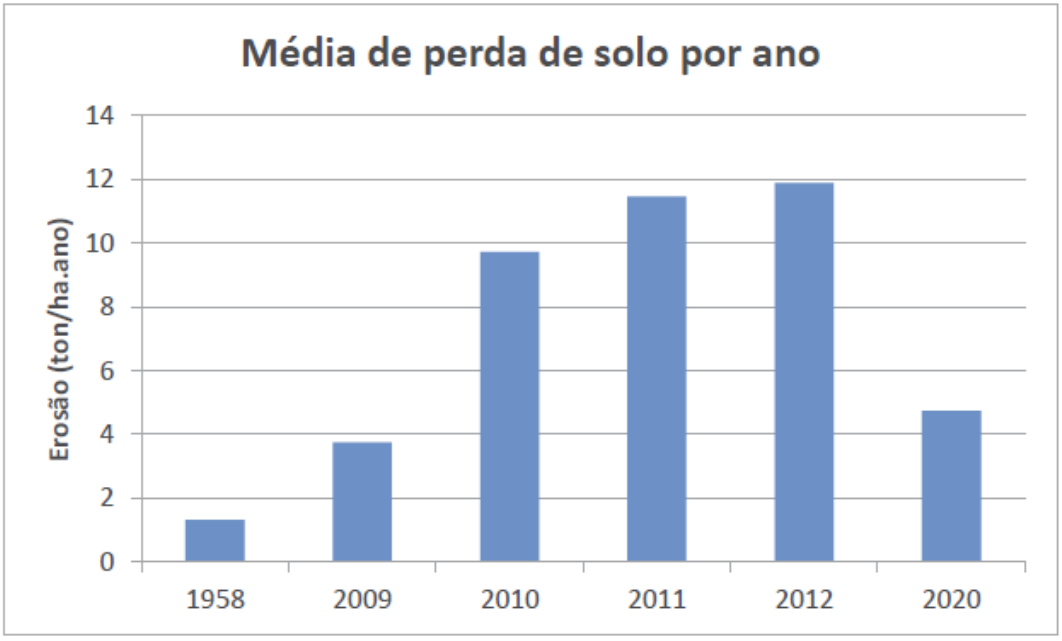

Figura 3.7. Média de perda de solo por ano no Setor Noroeste e previsão para 2020 (Cerdeira, 2015).

Os resultados obtidos por Cerdeira (2015) mostram que houve um aumento na erosão da área durante a implantação do Setor Noroeste, mesmo este sendo um empreendimento planejado com atenção a parâmetros ambientais. De acordo com a SUPLAM (2017), a Bacia do Paranoá foi afetada pelo empreendimento, e o braço do Córrego Bananal foi o mais prejudicado com o assoreamento pelo carreamento de sólidos da urbanização.

Segundo a SUPLAM (2017), a implantação do Setor Noroeste apresentou impacto direto no processo de assoreamento e sedimentação do Lago Paranoá. A mesma publicação mostra a possibilidade de se minimizar os danos causados pela erosão durante a ocupação da área, com a implementação de políticas de redução de movimentação de terra, manejo de águas pluviais ao longo das linhas de drenagem, proteção de taludes e manutenção da cobertura vegetal.

3.3.3. Técnicas de prevenção de processos erosivos

Técnicas de prevenção de erosão são basicamente medidas adotadas no planejamento prévio de qualquer interferência antrópica no meio ambiente (Giangiulio, 2009). As práticas preventivas têm o objetivo de neutralizar as condições que favorecem o processo erosivo antes que ele tenha seu início (Scarance, 2004).

Práticas de caráter vegetativo têm como premissa a utilização de vegetação para o controle de processos erosivos. São exemplos: plantio de vegetação fixa, reflorestamento, manutenção e revitalização da mata ciliar, cultura em faixas, plantio em nível e cordões de vegetação permanente (Bertoni e Lombardi Neto, 2010).

As práticas mecânicas têm como base a utilização de estruturas artificiais para a contenção de escoamento superficial e facilitar a infiltração da água no solo (Bertoni e Lombardi Neto, 2010). O terraceamento (Figura 3.8) é a prática mecânica mais eficiente no controle da erosão; ao parcelar o comprimento da rampa do talude, possibilita a redução da velocidade do escoamento reduzindo a formação de sulcos e a ação da erosão (Almeida Filho e Ridente Júnior, 2001).

De acordo com Giangiulio (2009), o disciplinamento do fluxo de água é um conjunto de técnicas que reduz a energia do escoamento, visando evitar a evolução dos processos erosivos. Obras relacionadas à microdrenagem e macrodrenagem são intervenções úteis no que diz respeito à condução de fluxos da água. Sua aplicação é bastante comum em áreas urbanas, mas deve-se atentar à necessidade de dissipadores de energia nas extremidades das obras.

a

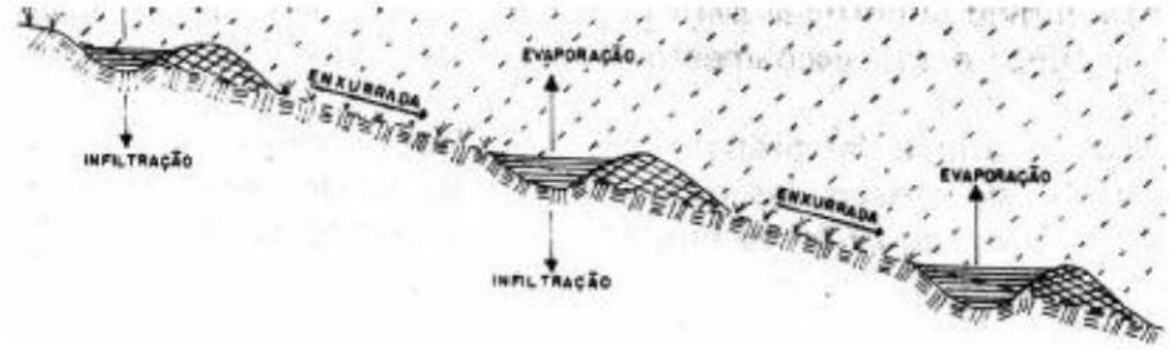

Figura 3.8. Terraceamento (Almeida e Ridente Júnior, 2001)

3.4. GEOPROCESSAMENTO

O geoprocessamento é uma disciplina que agrega metodologias utilizadas para realizar estudos, análises e consolidações de informações que podem ser expressas espacialmente, como dados do meio físico (declividade, vegetação, ocupação e características do solo), localização de um terreno, cartografia, limites políticos etc. O objetivo é trazer de forma mais clara a informação, o que facilita a tomada de decisões de entes privados e públicos (Neves, 2017; Moreira et al., 2001; Giovanini, 2019).

A análise espacial tem se mostrado cada vez mais importante, sendo aplicada tanto no meio rural quanto no meio urbano. Além disso, ela se mostra relevante na avaliação de temas-chave no estudo de uma região, meio ambiente ou empreendimento. Tais temas estão relacionados à condição, localização, tendência, roteamento e padrões, auxiliando na concepção de modelos ambientais, populacionais, de expansão urbana e econômicos (Câmara, 1995).

Goodchild (1987) afirma que o geoprocessamento compreende uma série de técnicas com a finalidade de tratar os elementos de maneira a atingir o resultado desejado. As técnicas estão relacionadas ao processo de coleta de informações espaciais, armazenamento, tratamento, análise e uso integrado das informações, que se dá por meio de softwares que trabalham com Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Ao possibilitar a união entre informações de campo, ensaios de laboratório, informações demográficas, geográficas, imagens de satélite, drone e processamento computacional, o geoprocessamento tem aumentado a velocidade dos processos de gerenciamento de informações e viabilizado análises em grandes territórios de maneira integrada. Com o desenvolvimento das tecnologias, os estudos realizados utilizando o geoprocessamento

tendem a ser cada vez mais complexos e precisos, e reproduzem de maneira mais fiel o que ocorre na natureza (Mennecke e Crossland 1996; Giovanini 2019).

3.4.1. Sistema de informações geográficas (SIG)

No geoprocessamento, todas as técnicas e ferramentas são de extrema importância e acabam por influenciar no resultado. A ferramenta que mais se destaca é o SIG, uma classe de softwares que integra as informações e permite o gerenciamento e a manipulação dos dados. As análises são realizadas por computador, o que possibilita interações complexas de informações, cálculos unitários e outros produtos que não seriam possíveis com a cartografia tradicional (Giovanini, 2019; Câmara, 1995; Neves, 2017).

De acordo com Eastman et al. (1995), além do SIG expor as informações do banco de dados de maneira singular, ele tem potenciais maiores. As ferramentas analíticas do SIG permitem a combinação de elementos presentes no banco de dados gerando, assim, novas informações. A ferramenta SIG se tornou tão versátil que seu uso abrange diversas áreas do conhecimento, como na área da saúde com diversas aplicações, como para controle e monitoramento de pandemias.

O SIG também é muito usado para análises temporais, como o estudo de Sacramento (2020), que fez a comparação da incidência de áreas queimadas na Mata Atlântica por meio de um conjunto de índices espectrais. O estudo utilizou a classificação supervisionada automatizada, o que tornou o processo de identificação e levantamento de áreas queimadas mais eficiente.

De acordo com Goodchild (1987), existem quatro funções básicas de um sistema SIG: a entrada de dados, a saída, o armazenamento e a análise, e esta última é o ponto principal do sistema que conecta as informações da ferramenta. A estruturação da plataforma comumente segue como mostrado na Figura 3.9. Deve haver uma interface com o usuário, entrada de dados, um sistema de armazenamento e uma saída de informações visuais do que está sendo processado (Hamada e Gonçalvez 2007; Câmara 1995).

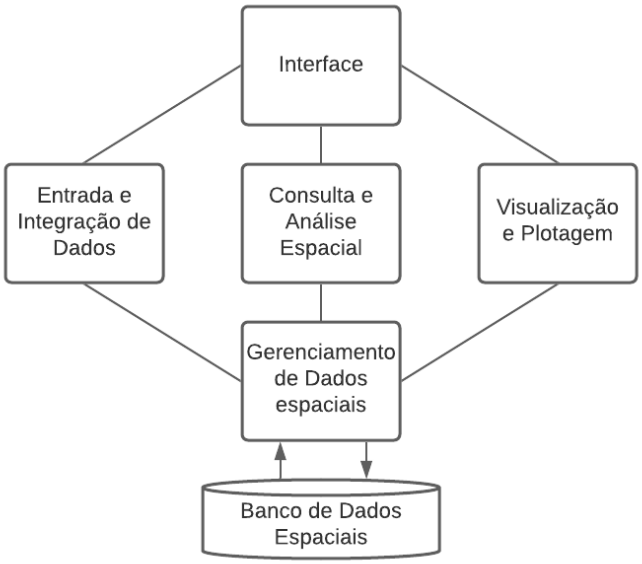

Figura 3.9. Estrutura de um SIG (adaptado de Câmara, 1995)

Diversos softwares possuem características suficientes para serem chamados de SIG, e, ao longo do tempo, suas aplicações vêm crescendo de maneira exponencial, servindo de suporte para o trabalho de geoprocessamento. A Tabela 3.1 cita alguns exemplos dos programas mais difundidos no setor.

Tabela 3.1. Softwares SIG (Adaptado de Neves, 2017)

Software	**Distribuidor**
ArcGIS	ESRI
MAPINFO	GEOGRAPH
SPRING	INPE
QGIS	OSGEO

O SIG mostrou-se uma ferramenta muito eficaz em diversas áreas, e uma delas é a área ambiental. Em razão da espacialidade dos eventos ambientais, variabilidade temporal e complexidade do sistema, o SIG agrega eficiência às análises e ao modo como o gestor ambiental atua.

Existem duas formas de dados mais comuns dentro do SIG: matricial e vetorial. A matricial (também conhecida como raster) é um conjunto de informações em formato tabular (linhas e colunas), em que cada pixel ou célula tem um valor correspondente ao atributo, e está individualmente integrada ao sistema por suas coordenadas. O dado vetorial, por sua vez, é um conjunto de um ou mais pontos que possui coordenadas geográficas, e pode representar pontos, linhas ou polígonos. Além das informações geográficas, os dados vetoriais podem conter características associadas ao elemento, como as informações contidas na tabela de

atributos. A Figura 3.11 apresenta exemplos das estruturas de dados em um SIG. (Goodchild, 1987; Rosa, 2013; Cavalcante, 2015)

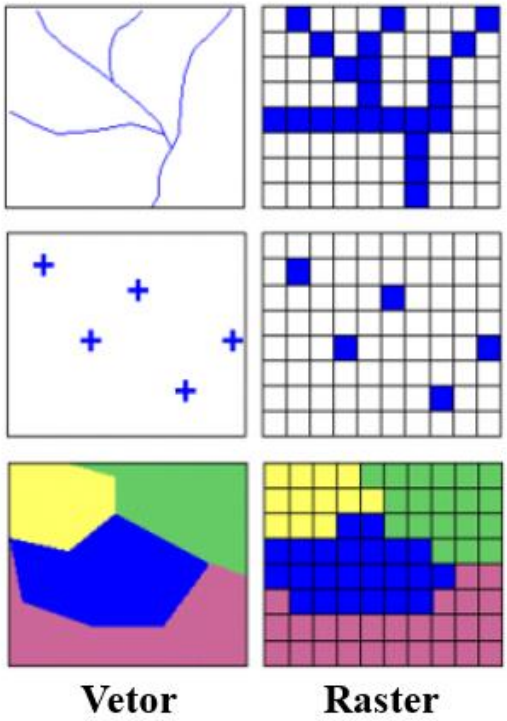

Figura 3.10. Estrutura da informação no SIG (Modificado de Cavalcante 2015)

Uma das principais formas de saída, apresentação e composição de informações do SIG é pela compilação de camadas de informações, em que cada uma apresenta uma característica do local estudado. Um exemplo de como ocorre a sobreposição de informações é trazido na Figura 3.11.

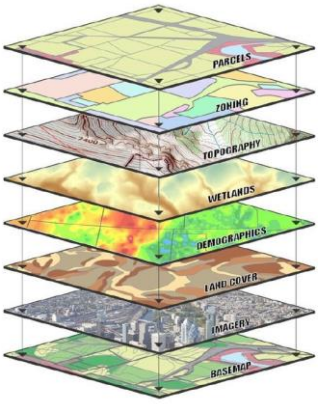

Figura 3.11. Sobreposição de camadas aplicada ao banco de dados de um SIG (USGS 2016).

3.5. TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL DE EROSÃO

Ao longo dos anos, especialistas têm traçado metodologias com o objetivo de avaliar os processos erosivos. Tais fenômenos são de extrema complexidade, pois envolvem muitos

fatores e variam de região para região. Segundo Almorox, Bermudez e Rafaelli (2010), existem dois modelos de avaliações de processos de erosão hídrica: a avaliação qualitativa, que trata das características da erosão, considerando forma e grau; e a avalição quantitativa que permite a estimativa numérica da erosão. Ainda de acordo com os autores, as metodologias de avaliação quantitativa de processos erosivos são separadas em três grandes grupos: os conceituais, os de base física e os paramétricos.

Os paramétricos estão relacionados a dados empíricos obtidos experimentalmente e que pretendem interpretar os mecanismos erosivos pela relação causa e efeito. Os modelos de base física visam à reprodução da erosão a partir dos eventos que influenciam diretamente no processo. E o modelo conceitual é um intermédio entre os paramétricos e os de base física, unindo os dois conceitos com a finalidade de diminuir a necessidade de dados tão específicos e facilitando a aplicação deles. Alguns dos modelos mais conhecidos são citados na Tabela 3.2 (Giovanini 2019; Morgan, 2005; Almorox, Bermudez e Rafaelli, 2010).

Tabela 3.2. Modelos de avaliação de erosão (adaptado de Almorox, Bermudez e Rafaelli, 2010).

Tipo	**Autor**	**Modelo**
Paramétricos	Wischmeier e Smith (1978)	EUPS (Equação Universal de Perda de Solos)
	Renard et al. (1997)	RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)
Conceituais	Young et al. (1989)	AGNPS (Agricultural Now-Point Source)
	Neitsch (2004)	SWAT (Soil and water assessment tool)
Base física	Smith et al. (1995)	KINEROS (Kinematic Erosion Simulation)
	Kirkby et al. (2004)	PESERA (Pan-Euporean Soil Erosion Risk Assessment)
	Laflen et al. (1991)	WEPP (Water Erosion Prediction Project)

Cada modelo tem suas características, e diferentes dados de entrada são necessários para cada um. O que define a aplicabilidade da metodologia é o grau de complexidade e a disposição de informação para o preenchimento dos dados de entrada. Muitas vezes esses modelos exigem uma gama de dados muito específicos da região estudada, necessitando de visitas de campo, ensaios geotécnicos, ensaios de erosão, cálculos hidrológicos complexos e aplicação de conceitos muito específicos sobre o assunto (Giovanini, 2019; Neves, 2017; Ridente Júnior, 2000).

Em uma publicação feita por Haregeweyn e Yohannes (2003), foi utilizado o modelo AGNPS para uma avaliação temporal e espacial das variações de erosão do solo na Etiópia. Foi realizada um estudo dos processos erosivos em um período de 8 e 10 anos, sendo adaptada a metodologia para a região. A adaptação para a área de estudo não foi satisfatória

no quesito de validação dos resultados; os valores simulados foram maiores que os observados, sendo necessárias futuras adequações no modelo para poder ser aplicado de maneira eficaz.

No estudo de Marinho (2018), foi feita uma análise por meio da metodologia SWAT da Sub-bacia do Riacho Fundo e da influência dos processos de urbanização no ciclo hidrossedimentológico. Foi verificado um aumento no escoamento superficial na bacia relacionado ao aumento da área impermeabilizada.

É possível encontrar aplicações da metodologia Kineros no Brasil. Na pesquisa de Silva e Santos (2008), foi aplicado o modelo em conjunto com a ferramenta SIG para uma análise temporal e espacial dos processos erosivos na Bacia do Rio Pirapama. Foram utilizados os dados dos anos de 1990 a 2001 para calibração, e foi possível chegar ao resultado de produção sedimentar de mais de 200 toneladas por hectare por ano, mostrando-se uma bacia vulnerável no quesito de processos erosivos.

A técnica PESERA foi utilizada por Cilek et al. (2015) na modelagem dos processos erosivos, em cenários de mudanças climáticas, em uma bacia hidrográfica na região do Mediterrâneo na Turquia. Foram utilizados dados de entrada relacionados com o clima, topografia, propriedades fisiográficas e de uso do solo. Para isso, foram incluídas 128 variáveis relacionadas aos tópicos, gerando resultados espaciais e temporais da distribuição da erosão.

No trabalho de Brooks et al. (2015), foi aplicada a WEPP na intenção de avaliar o uso dela na escala de bacias hidrográficas na Califórnia, EUA. O modelo foi rodado com a calibração mínima, para testar a acurácia dele comparada com 17 anos de informações de produção de sedimentos na região. A simulação se mostrou adequada em regiões mais secas da bacia, mas o escoamento anual foi superestimado. Não foi demonstrada a perda de acurácia em relação ao banco de dados.

Para a análise qualitativa dos processos erosivos também podem ser utilizadas metodologias multicritérios que relacionam fatores entre si, o que facilita a escolha dos tomadores de decisão. No contexto de erosão do solo, a metodologia Analytic Hierarchy Process (AHP) é a mais usada por autores para avaliar a suscetibilidade a processos erosivos de maneira simplificada, não necessitando de aporte de dados primários quantitativos (Caldas et al., 2019).

A modelagem pelo método AHP faz uma comparação pareada entre os fatores, nos quais são atribuídos pesos para a definição de prioridades, e critérios subjetivos podem ser parametrizados. Além disso, os resultados obtidos pelo método AHP tem grande semelhança

aos resultados encontrados com a metodologia EUPS, apresentando dados condizentes e apontando locais de fragilidade análogos, como exposto pelo estudo de Giovanini (2019). No estudo realizado por Caldas et al. (2019), foi aplicada a metodologia AHP para avaliar a suscetibilidade à erosão dos solos da Bacia Hidrográfica Lagos em São João, RJ. Os resultados apontaram que 30% da bacia já apresentava sinais de erosão severa e muito severa.

3.5.1. Equação Universal de Perda de Solos (EUPS)

A EUPS é um modelo paramétrico que utiliza dados obtidos por ensaios e leva em consideração fatores como clima, relevo, solo, uso e cobertura e implementação ou não de práticas conservacionistas (Bertoni e Lombardi Neto, 2010).

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), a EUPS possibilita que os tomadores de decisão realizem uma análise da perda de solo anual em uma área, propondo medidas de proteção adequadas com a tolerância de perda de solos daquele local. Os autores ainda afirmam que a metodologia foi desenvolvida para a modelagem de uma média de perda de solo por um longo período e é aplicável para erosão hídrica laminar, e é útil para áreas em construção, canteiro de obras e áreas não relacionadas à agricultura.

No estudo realizado por Gurgel et al. (2011), foi feita uma análise de áreas vulneráveis à perda de solo no município de Riachão das Neves, BA, usando a EUPS e comparando os resultados com o ZEE da região. O estudo indicou também que os pontos de maior vulnerabilidade se encontram em áreas com declives acentuados e com uso agrícola.

A EUPS mostra-se muito eficiente acoplada ao SIG, facilitando sua aplicação e espacializando os resultados de maneira mais precisa. De acordo com Dias e Silva (2015), a metodologia de integração das duas ferramentas se mostrou eficiente no estudo no município de Lucena, que está localizado no litoral paraibano. O trabalho identificou as áreas mais propensas à erosão laminar e a presença, na região, de Argissolo Vermelho Amarelo com moderado a alto grau de suscetibilidade à erosão.

Na publicação de Guimarães et al. (2011), foi realizada uma análise de processos erosivos laminares na microbacia do Rio Campinas, em Joinville, SC, que possui 3.716,76 hectares. Os autores chegaram ao resultado de que 97,7% da superfície da bacia apresenta nenhuma ou ligeira perda média anual de solo e associaram tal fato à presença de grande percentual de superfície coberta por florestas nativas, mantendo, assim, as taxas de erosão entre 0 e 1 t/(ha.ano).

Segundo o estudo de Souza e Gasperetto (2012), que utilizou a EUPS em conjunto com o SIG e a aquisição de dados em campo, laboratório e gabinete para a determinação das variáveis, foi possível estimar a perda de solo por erosão laminar na bacia do Córrego Pinhalzinho Segundo, no Paraná, cuja área é de 182 km². O estudo apontou que a metodologia foi eficaz para a análise de suscetibilidade à erosão na área, indicando que em torno de 80% da região possuem perda de solo entre 0 e 3 t/(ha.ano). Também expõe de forma espacial os pontos que merecem atenção no que diz respeito a processos erosivos.

A equação funciona com a multiplicação de fatores relacionados à erosividade, erodibilidade, relevo, uso e ocupação de solo e medidas conservacionistas. A expressão usada para o cálculo se dá como demonstrado na Equação 3.1.

$$A = R * K * (LS) * C * P \qquad \text{(Equação 3.1)}$$

Em que:

- A = Perda de solo por unidade de área (t/(ha.ano));
- R = Erosividade (MJ.mm.$ha^{-1}.h^{-1}$) ;
- K = Erodibilidade (t.h.$MJ^{-1}.mm^{-1}$);
- LS = Fator relativo ao comprimento de rampa e declividade (adimensional);
- C = Fator atribuído ao uso e ocupação do solo (adimensional);
- P = Fator relacionado a medidas conservacionistas (adimensional).

A unidade de área é definida de acordo com o utilizado no fator K, e o período é selecionado pelo fator R, sendo elas comumente, no Brasil toneladas por hectare por ano. O procedimento de obtenção dos valores dos fatores é empírico, feito por estudos em campo ou em menor escala. Como o DF é uma região muito estudada, é possível obter esses valores a partir da bibliografia e valores de estudos de regiões com características semelhantes.

3.5.1.1. Fator R

Este fator é relativo à capacidade da chuva de desprender as partículas do solo e da capacidade de formação de escoamento superficial (Bertoni e Lombardi Neto, 2010). De acordo com Wischmeier e Smith (1978), a análise da perda de solo deve incluir uma estimativa acumulada do efeito da chuva, já que não só os eventos isolados e de grande magnitude influenciam no processo erosivo, mas também aqueles que ocorrem de maneira constante.

A intensidade da chuva está relacionada ao quão rápido o solo será saturado e terá a formação de escoamento superficial. Relaciona-se, também, com a energia do choque da gota da água contra o solo, desprendendo de maneira mais acentuada a partícula. O tempo de duração é relevante, tendo em vista que promove a saturação do solo e a formação de escoamento superficial. A Tabela 3.3 apresenta algumas das técnicas para a definição do Fator R.

Tabela 3.3. Metodologia para obtenção do Fator R (adaptado de Giovanini, 2019).

Métodos	**Referências**
Usar valores de índices erosivos para todas as chuvas em um ano	Wischmeier e Smith (1978)
Usar a média mensal e anual de precipitação	Renard e Fremund (1994)
Usar modelo de regressão linear baseado na precipitação anual	Milward e Mersey (1999)
Usar modelo de regressão linear baseado na precipitação anual e dados de atitude e elevação	Mikhailova et al. (1997)
Usar métodos geoestatísticos	Goovaerts (1999)

Lombardi Neto e Moldenhauer apud Baptista (1997) descrevem a análise feita em uma série histórica de 22 anos de precipitação no município de Campinas, SP. Eles propuseram a determinação do valor médio do índice de erosividade pela relação entre a média mensal e a média anual, conforme Equação 3.2. Graça et al. (2015), Tomazoni e Guimarães (2005), Sousa e Paula (2019) e Viel, Rosa e Hoff (2017) também utilizaram a Equação 3.2 para a determinação do valor de R em seus estudos aplicando a EUPS.

$$EI_{30} = 67{,}355\left(\frac{r^2}{P}\right)^{0{,}85} \qquad \text{(Equação 3.2)}$$

Em que:

- EI_{30} = Média mensal do índice de erosividade, em MJ.mm/(ha.h);
- r = Média do total mensal de precipitação, em mm;
- P = Média do total anual de precipitação, em mm.

Sendo EI_{30} uma média mensal do índice de erosão, para obter o valor anual é necessário somar o EI_{30} resultante de cada mês (Tomazoni e Guimarães, 2005). Com o resultado dessa operação, tem-se uma relação pontual da erosividade, relacionada à estação pluviométrica que fez a coleta de dados. Para a espacialização dos valores, é necessário realizar a interpolação das informações, por metodologias geoestatísticas.

De acordo com o estudo de Souza et al. (2011), os métodos normalmente utilizados para a interpolação de dados são: inverso ponderado da distância (IDW), Krigagem, curvatura mínima e triangulação com interpolação linear. No mesmo artigo, foi comparada a capacidade de cada método de representar, espacialmente, os dados obtidos pela compilação de informações das estações pluviométricas da região. Foi concluído que os melhores métodos são: Krigagem, IDW e curvatura mínima, a depender da região da espacialização e densidade de informações disponíveis.

3.5.1.2. Fator K

O solo pode conferir maior resistência ou não à ação de desprendimento gerado pelos agentes erosivos. Tal fato se deve às propriedades físicas, como a textura, estrutura, permeabilidade e densidade. Também depende de suas propriedades químicas, biológicas e mineralógicas (Giovanini, 2019; Lima et al., 2007).

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), a erodibilidade é um fator muito difícil de ser medido em campo, pois solo com baixa propensão natural à erosão pode apresentar evidências de processos erosivos quando situados em grandes declividades. Entretanto, o fator K dever ser analisado independentemente dos outros fatores.

De acordo com Carvalho (1994) *apud* Baptista (1997), o fator K busca quantificar a intensidade de erosão para um solo específico que é mantido sem cobertura. É determinado experimentalmente em condições fixas de declividade e comprimento de rampa (Baptista 1997). As metodologias de cálculo ou estimativa do fator K estão expostas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Estimativa do fator K (adaptado de Giovanini, 2019)

Métodos	**Referências**
Utilizar modelos experimentais baseados nas propriedades do solo (composição de areia, silte e argila; matéria orgânica, estrutura e permeabilidade)	Wischmeier e Smith (1978)
Usar equações de regressão baseadas nas propriedades do solo	Angima et al. (2003)
Usar valores de K de bibliografia	Soil Survey Staff (1997)
Basear-se no tamanho das partículas do solo	Romken (1983)
Usar métodos geoestatísticos	Parysow et al. (2003)
	Wang et al. (2001)

Lima et al. (2007) realizaram um estudo que visava à comparação de metodologias para obtenção de K em uma bacia do DF. Elas levavam em conta diferentes parâmetros dos solos.

O artigo demonstrou que os quatro métodos avaliados não apresentaram resultado médio estatisticamente igual ao valor K de referência, sugerindo que se deve obter mais dados dos solos da região para o refinamento das informações.

Bertoni e Lombardi Neto (2010) e Almeida (2018) desenvolveram trabalhos com o intuito de determinar o valor de K para os solos brasileiros. As classes de valores de K estão expostas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5. Classe de erodibilidade (adaptado de Almeida, 2018).

Classe de erodibilidade	Valor médio de K em t.h/(MJ.mm)
Muito alta	> 0,0658
Alta	0,046 - 0,065
Média	0,032 - 0,046
Baixa	0,013 - 0,032
Muito baixa	< 0,013

3.5.1.3. Fator LS

O fator LS está relacionado com a declividade e o comprimento de rampa da região estudada. De acordo com Baptista (1997), o comprimento de rampa (L) influencia na perda de solo, ao passo que seu valor aumenta, maior será a capacidade do escoamento de adquirir velocidades elevadas. Ainda de acordo com o mesmo autor, a declividade (S) está associada ao ângulo de inclinação do terreno e tem seu efeito no aumento da velocidade do escoamento superficial.

Para o cálculo do valor de LS é necessária uma equação a qual leve em conta as atribuições físicas presentes na área. No estudo de Desmet e Govers (1996), foi elaborado uma metodologia de calcular o L (Equação 3.3) e fator S (equações 3.4 e 3.5). Tal metodologia é muito aplicada por autores em estudos recentes que ocorreram no Brasil, ela é tão difundida que contém uma extensão do Quantum GIS para seu cálculo automático. Ela já foi aplicada por Bloise et al. (2001), Graça et al. (2015), Viel, Rosa e Hoff (2017), Sousa e Paula (2019), Gomes et al. (2017), Silva (2003) e Panagos, Borrelli e Meusburger (2015).

$$L = \frac{[(A+D^2)^{m+1} - (A)^{m+1}]}{D^{m+2} * X^m * (22{,}13)^m} \quad \text{(Equação 3.3)}$$

Em que:

- L = Valor de comprimento de rampa de cada célula (adimensional);
- A = Fluxo acumulado em cada célula;
- D = Tamanho da célula;
- X = Valor da direção do fluxo;

- m = Assume os valores: 0,5, se s ≥ 5% (s é o grau de declividade); 0,4, se 3% ≤ s < 5%; 0,3, se 1% ≤ s <3%; e 0,2, se s < 1%.

Para o cálculo de S, é necessária a aplicação de equações condicionadas à declividade da célula que está sendo calculada.

$$S = 10{,}8 * sen(\theta) + 0{,}03 \; se \; s < 9\% \quad \text{(Equação 3.4)}$$

$$S = 16{,}8 * sen(\theta) - 0{,}5 \; se \; s \geq 9\% \quad \text{(Equação 3.5)}$$

Em que:

- S = Fator declividade (adimensional);
- s = Declividade média da célula (%);
- θ = Gradiente da declividade em graus.

3.5.1.4. Fator C e fator P

Os fatores C e P estão associados às ações antrópicas na área de estudo, são atribuídos a eles como ocorrem ou ocorrerão o uso e a ocupação do solo ou até mesmo a implementação de medidas protecionistas. O valor C é associado ao uso e à cobertura: plantação, solo exposto, vegetação rasteira, mata nativa ou urbano. O valor P está relacionado à implementação de medidas de contenção de erosão, como o plantio em curvas de nível, cordões de vegetação permanente ou terraceamento (Bertoni e Lombardi Neto, 2010; Miqueloni, Bueno e Ferraudo, 2012).

Os valores de C e de P variam de 0 a 1 de acordo com propensão à erosão daquele uso ou cobertura de solo. O valor de C para solo exposto, que é a classe que mais favorece os processos erosivos, é 1, já o valor da classe de mata e vegetação ciliar é de 0,012. A Tabela 3.6 apresenta alguns métodos para obtenção desses parâmetros (Wischmeier e Smith, 1978; Gomes et al., 2017).

Tabela 3.6. Métodos de aquisição do fator C (adaptado de Giovanini, 2019)

Métodos	**Referências**
Utilizar dados individuais da taxa de perda do solo e da ação da chuva no transporte de sedimentos	Renard et al. (1997)
Combinação de valores encontrados por meio de modelos empíricos e imagens de satélites	Milward e Mersey (1999)
A partir de classificação supervisionada de imagens de satélite	Reusing et al. (2000)
Técnicas geoestatísticas	Wang et al. (2002)
Índice Greenness	Renard et al (1997)

4. METODOLOGIA

A metodologia foi baseada na utilizada por Guimarães et al. (2011), Souza e Gasparetto (2012), Sousa e Paula (2019), Gomes et al. (2017), Wischmeier e Smith (1978), Bloise et al. (2001) e Viel, Rosa e Hoff (2017), em que há a seleção de variáveis da modelagem de perda de solos como as propostas pela metodologia EUPS, com o intuito de avaliar a suscetibilidade a processos erosivos. Foram levantados os dados de entrada por meio da bibliografia e banco de dados públicos, utilizando o SIG para realizar a sobreposição de camadas e o cálculo da EUPS, o que gerou mapa de suscetibilidade à erosão para a caracterização atual dos processos erosivos que ocorrem na Bacia do Ribeirão Sobradinho. Inicialmente, foram levantados os dados necessários para a criação dos mapas temáticos. Em seguida, foi realizado o processamento dos dados obtidos para uma melhor visualização e consolidação; e, em sequência, foram considerados os critérios e informações necessárias para o cálculo da EUPS. Com os valores obtidos pela EUPS, é possível gerar um mapa de suscetibilidade à erosão, como mostrado na Figura 4.1.

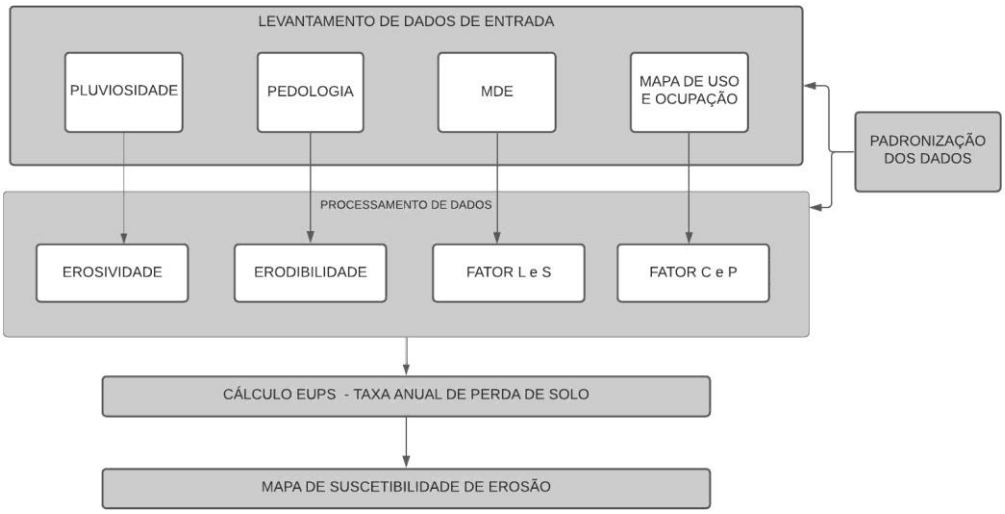

Figura 4.1. Fluxograma da metodologia.

Os mapas temáticos criados serão relativos ao fator C, uso e cobertura do solo; fator K, erodibilidade do solo; fator R, erosividade da chuva e o fator LS referente ao relevo da região. Como descrito na Figura 4.1 cada fator será trabalhado individualmente, atribuindo valores e realizando a obtenção mapas temáticos em formato raster para o cálculo da suscetibilidade à erosão.

4.1. ÁREA DE ESTUDO

O DF se encontra na porção central do Brasil, em uma alto Planalto Central, consequente de ciclos de erosão que ocorreram entre o Terciário Inferior, Médio e o Superior. O relevo se caracteriza por ser plano e suave ondulado. Segundo a classificação climática de Köppen,

seu clima é tropical com concentrações de precipitação no verão; as temperaturas médias variam entre 19 °C e 23 °C e encontra-se no bioma do Cerrado, caracterizado pelo grande período de seca no inverno. (CODEPLAN, 2020).

A área de estudo é a Bacia do Ribeirão de Sobradinho, como ilustrado pela Figura 4.2, com enfoque nas proximidades da área em que será implantado o Setor Urbitá. A Bacia do Ribeirão Sobradinho é uma unidade hidrográfica que pertence à Bacia do São Bartolomeu. O Ribeirão Sobradinho banha um bairro de mesmo nome e é um dos principais afluentes do Rio São Bartolomeu (ADASA, 2012).

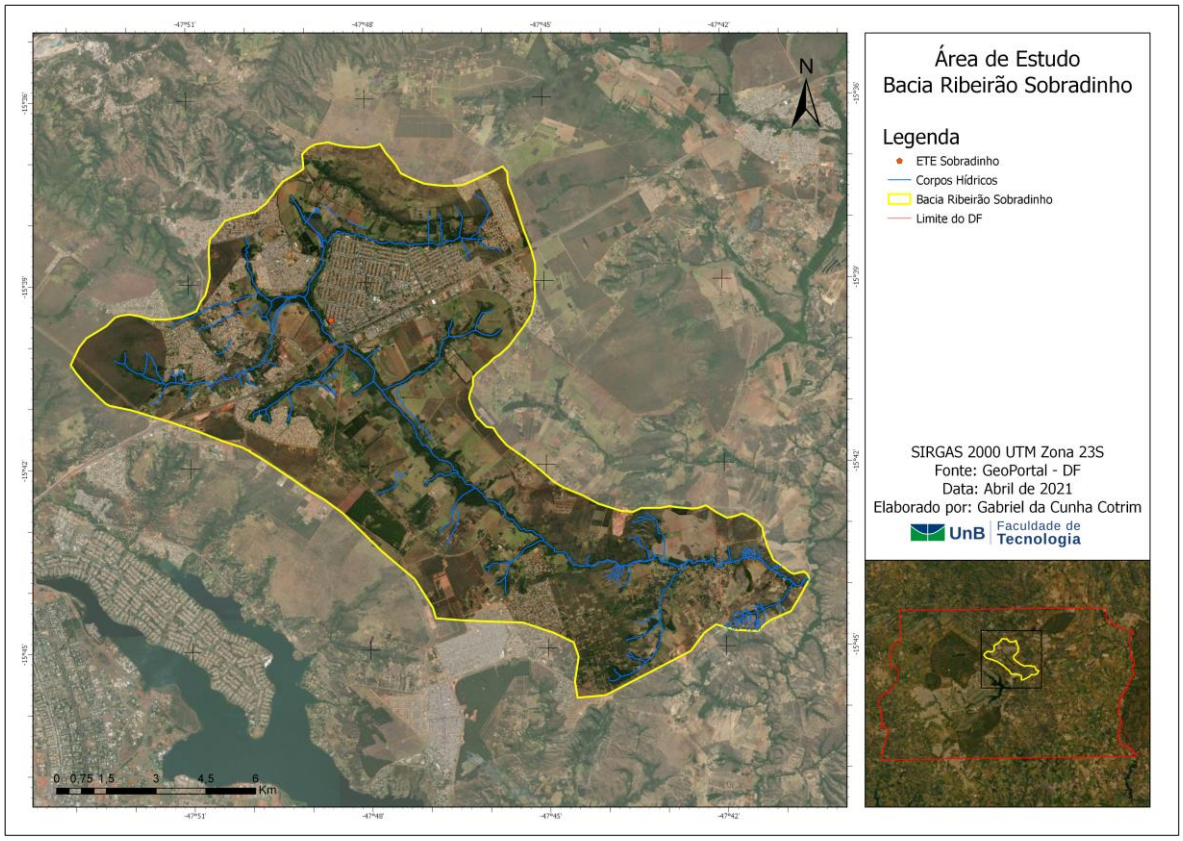

Figura 4.2. Área de estudo.

A Bacia do Ribeirão Sobradinho possui uma área de 145,6 km² e encontra-se dentro dos limites do DF. Os limites da bacia representados na Figura 4.2 foram obtidos no banco de dados disponível no Geoportal do DF (Geoportal, 2020). De acordo com a ADASA (2012), a população estimada na bacia é de aproximadamente 150 mil habitantes.

O Ribeirão Sobradinho possui uma vazão média de 2,4 m³/s, e contém cinco pontos de captação de água para abastecimento, sendo quatro poços e um superficial. O ribeirão também recebe afluentes da ETE Sobradinho que atende 86% da RA de Sobradinho, que,

por ser numa porção do rio com menor vazão, há uma menor capacidade de diluição dos afluentes da ETE (ADASA, 2012).

Atualmente, o uso e a cobertura dessa bacia estão distribuídos em: áreas construídas, formação savânica e campestre, agricultura e formação florestal. A Tabela 4.1 traz um resumo das áreas calculadas da bacia com informações do *Geoportal* (2019), e a Figura 4.3 traz o mapa de uso e cobertura da bacia.

Tabela 4.1. Áreas de uso e cobertura da bacia.

Classe	**Área (Km²)**
Formação campestre	54,85
Formação savânica	29,53
Áreas construídas	22,71
Formação florestal	16,96
Agricultura	9,22
Solo exposto	6,94
Sistema viário	3,17
Reflorestamento	2,07
Mineração	0,31
Água	0,01

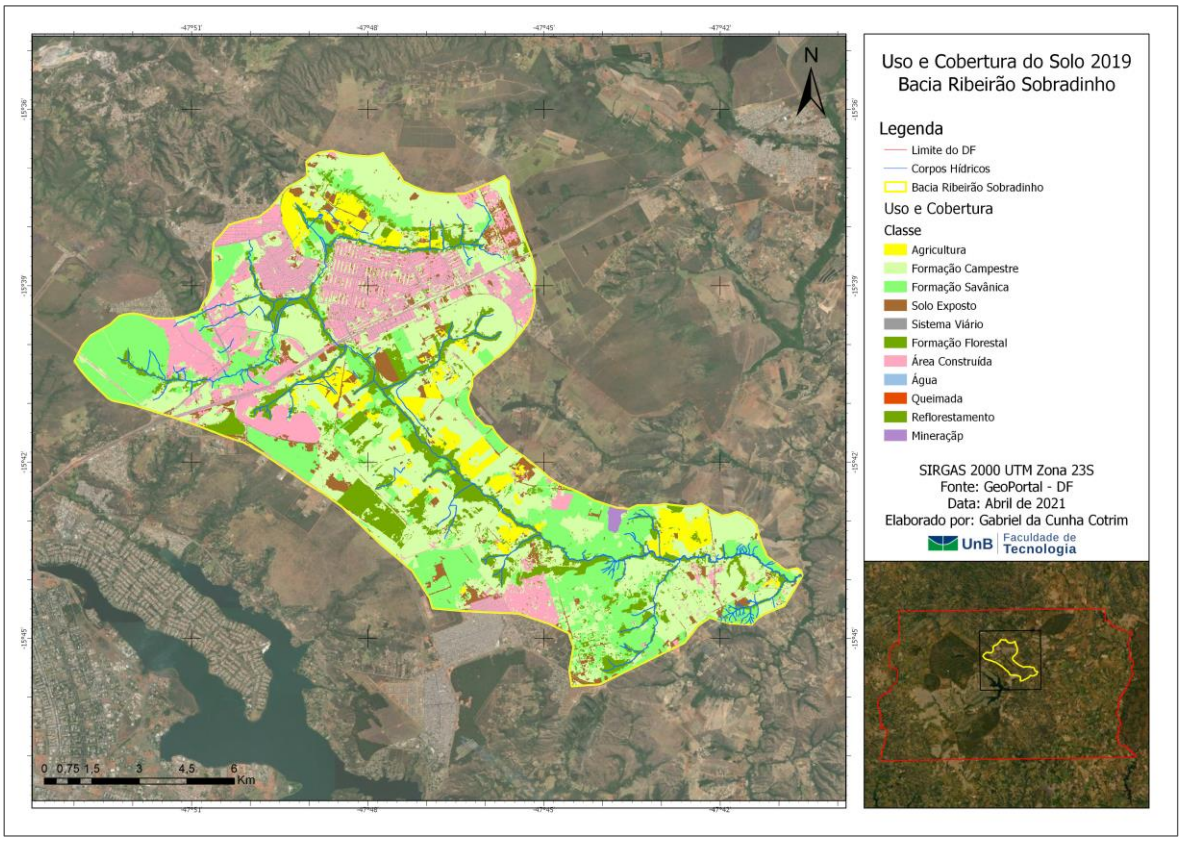

Figura 4.3. Mapa de Uso e Cobertura escala 1:20.000 (adaptado do Geoportal 2020).

4.1.1. Empreendimento urbanístico Urbitá

O Setor Urbitá é um projeto urbanístico organizado pela Urbanizadora Paranoazinho, localizado na Bacia do Ribeirão Sobradinho – DF. O planejamento está sendo realizado para uma população estimada de 120 mil pessoas, instaladas até o final da implantação. De acordo com a urbanizadora, o potencial construtivo do projeto é de mais de 4 milhões de metros quadrados instalados em um terreno de 900 hectares, com a previsão para o começo das obras em 2020 e término em 25 anos (UPSA, 2021).

O projeto de urbanização vai se concentrar nas regiões denominadas Central e Mangueiras (Tabela 4.2 e Figura 4.4), onde mais de 95% da estimativa populacional estarão instaladas, com uma densidade de 400 habitantes por hectare na Região Central e 266,5 na Região Mangueiras. A maior parte do empreendimento está localizada na Macrozona Urbana de Expansão e Qualificação, e a Região Capão Grande e parte da Região Remanescente estão situadas na Macrozona Urbana de Uso Controlado II.

Tabela 4.2. Resumo da estimativa da ocupação de Urbitá. (Adapatado de CONPLAN, 2018)

Região		**Área (ha)**	**População (hab)**		**Densidade média (hab/ha)**
			Atual	Futura	
Mangueiras		161,37	0	43.000	266,5
Central		178,47	0	71.500	400,6
Capão Grande		38,05	0	2.200	57,8
Remanescente	Áreas ocupadas	263,65	19.657	0	74,6
	Áreas livres	280,8	0	1.907	7,1
Total		**922,34**	**19.744**	**118.607**	**150**

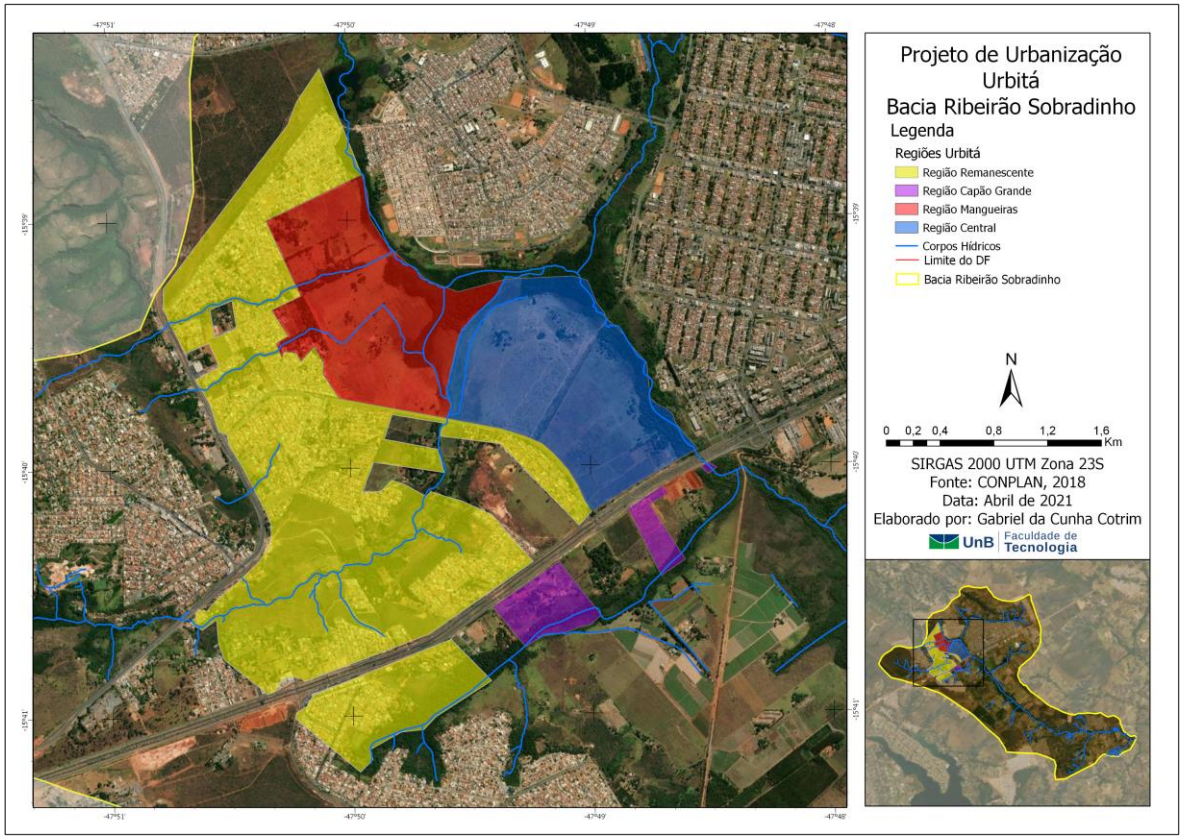

Figura 4.4. Projeto urbanístico de ocupação territorial de Urbitá (adaptado de CONPLAN, 2018)

4.2. LEVANTAMENTO E UTILIZAÇÃO DOS DADOS

Com base no levantamento bibliográfico e obtenção de informações em banco de dados, foram obtidos os materiais necessários para a realização do estudo. A seguir será descrita a origem dos dados e como eles foram utilizados para a execução da EUPS.

4.2.1. Erosividade − Fator R

Para a obtenção dos valores de R, foram levantadas as estações pluviométricas (HidroWeb 2021) que estão localizadas na bacia ou próximas dela, obtendo-se informações de 9 estações. Após isso, foi feito um tratamento dos dados para a obtenção dos valores da média de precipitação mensal e da média de precipitação anual, necessários para a aplicação da Equação 3.2 e obtenção do valor anual de EI30. O intervalo da série histórica utilizado foi o mais consistente encontrado para cada estação. As estações estão detalhadas na Tabela 4.3 e a localização delas ilustrada na Figura 4.5.

Tabela 4.3. Estações pluviométricas utilizadas.

Número da estação	Nome	Operador	Longitude	Latitude	Intervalo da série histórica
1547015	ETE Sobradinho	CAESB	-47,81	-15,66	1979−2009
1547010	Contagem	CAESB	-47,88	-15,65	1981−2011
1547009	ETE Norte	CAESB	-47,88	-15,74	1981−2011
1547002	Planaltina	FURNAS	-47,65	-15,64	1981−2011
1547016	CPAC - Principal	Embrapa	-47,70	-15,58	1981−2011
1547025	CPAC - Chapada	Embrapa	-47,70	-15,59	1981−2011
1547021	Barreiro_DF130	CAESB	-47,63	-15,84	1981 - 2011
1547020	ETE_Paranoa	CAESB	-47,78	-15,8	1979 - 2009
1547017	SantaMaria	CAESB	-47,95	-15,67	1981 - 2011

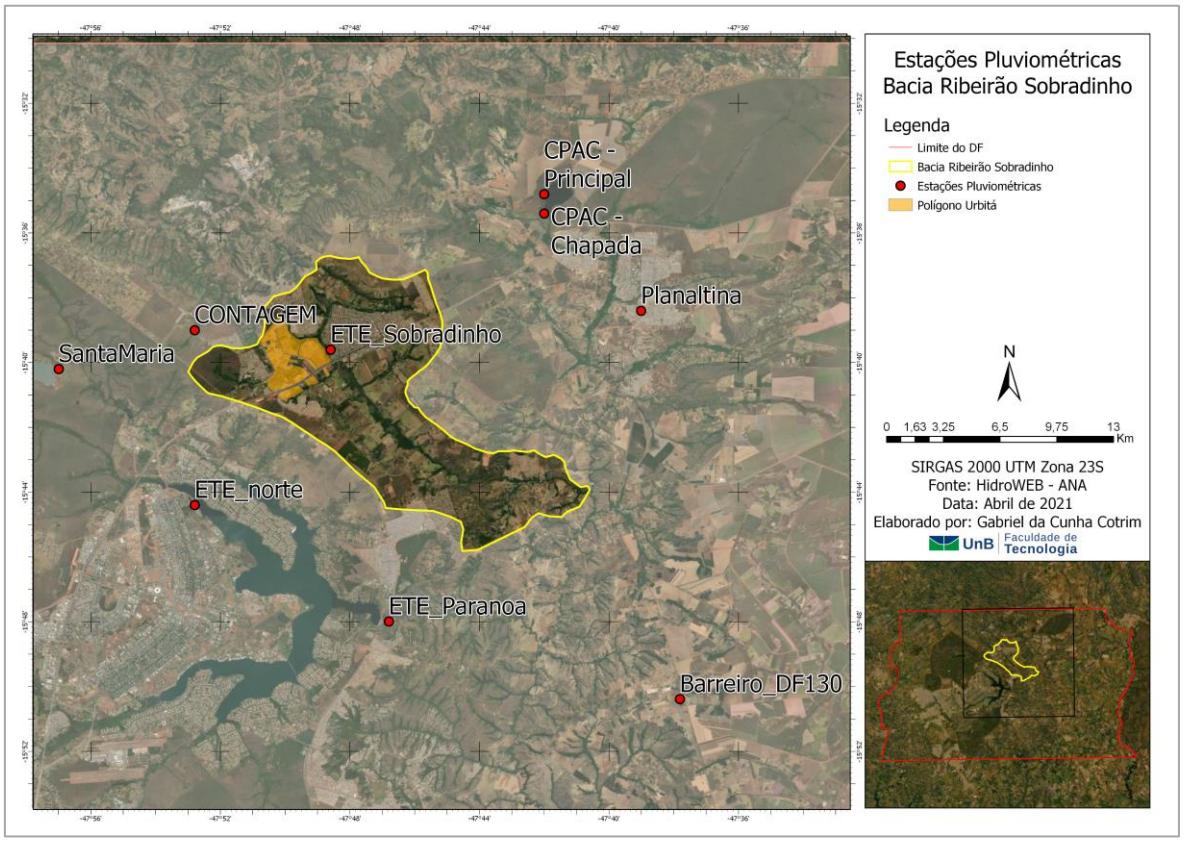

Figura 4.5. Localização das estações pluviométricas.

A espacialização da erosividade foi realizada pela ferramenta Geostatistical Wizard do ArcGIS Pro. Para a validação de qual modelo de interpolação melhor se adequava ao universo de dados disponíveis, de acordo com Souza et al. (2011), foram executados os métodos IDW e Krigagem. O que apresentou melhor adesão aos dados disponíveis foi o IDW.

4.2.1. Erodibilidade do solo – Fator K

A metodologia de levantamento de informações para o fator K se deu por meio do mapa pedológico do DF (Reatto et al., 2004), gerando, assim, um mapa com a pedologia da Bacia Ribeirão Sobradinho (Figura 4.6). Com isso foi possível realizar uma pesquisa na bibliografia (Bertoni e Lombardi Neto, 2010; Almeida, 2018) dos valores correspondentes a cada tipo de solo encontrado na região (Tabela 4.4).

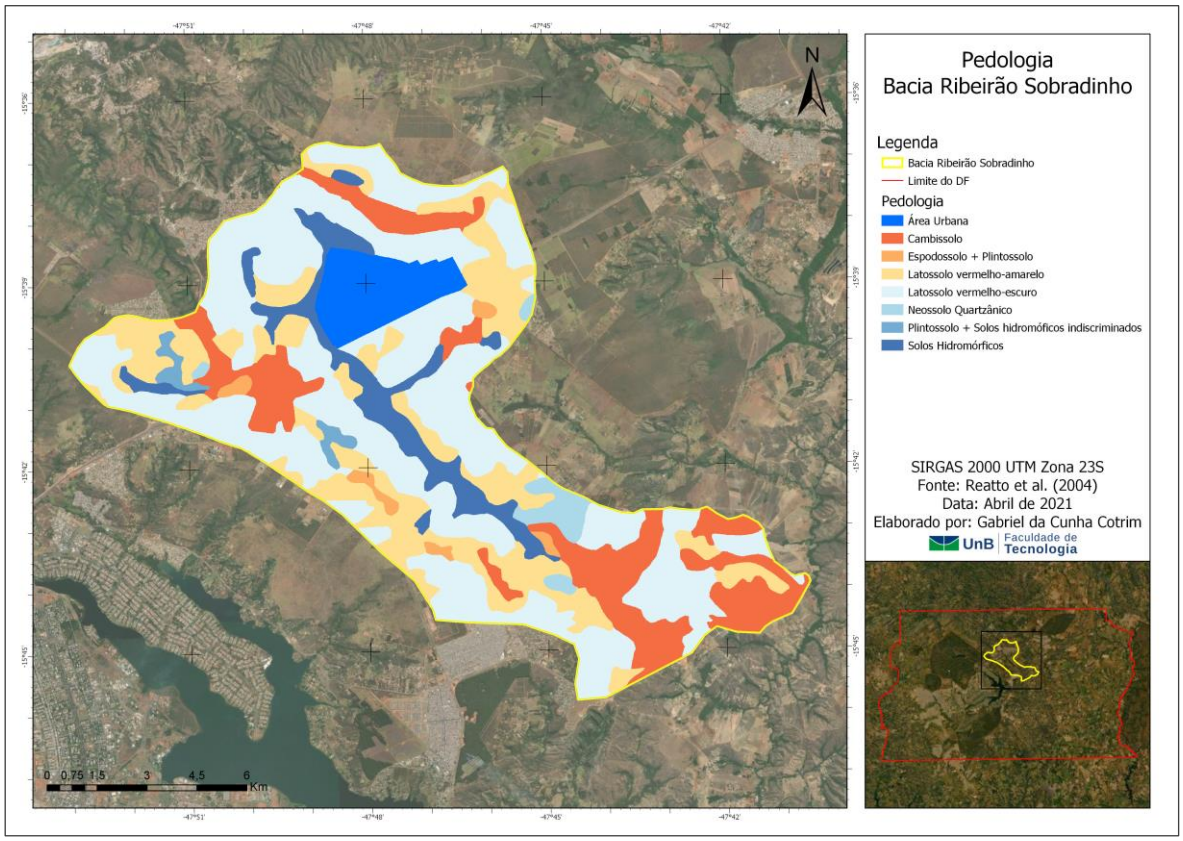

Figura 4.6. Mapa Pedológico da Bacia Ribeirão Sobradinho em escala 1:100.000 (adaptado de Reatto et al, 2004).

Tabela 4.4. Valor de K para cada solo.

Solo	Valor de K médio (t.ha/MJ.mm)	Referência
Cambissolo	0,069	Almeida, 2018
Latossolo Vermelho-Amarelo	0,022	Bertoni e Lombardi Neto, 2010
Latossolo Vermelho-Escuro	0,017	Bertoni e Lombardi Neto, 2010
Solos hidromórficos na categoria Gleissolos	0,065	Almeida, 2018
Neossolo Quartzânico	0,055	Almeida, 2018
Espodossolo + Plintossolo	0,013	Almeida, 2018
Plintossolo + Solos hidromóficos indiscriminados	0,055	Almeida, 2018

4.2.2. Fatores L e S

O fator LS foi obtido com o Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 4.7), capturado pelo Satélite Alos-Palsar com uma resolução de pixel de 12,5 metros. Com isso, foi possível gerar os mapas de declividade (em graus e em porcentagem), a obtenção das para a aquisição dos fatores L e S.

O Fator LS foi obtido utilizando uma extensão presente no Quantum GIS, a qual permite a utilização de diversas metodologias entre elas a de Desmet e Goovers (1996), utilizada neste estudo e descrita nas equações 3.3, 3.4 e 3.5. A extensão disponibilizada pelo provedor de algoritmos, SAGA, necessita para o seu funcionamento: estabelecer a metodologia aplicada, inserir a declividade em porcentagem (Figura 4.8) e a área de captação (Figura 4.9), que também é calculada pelos algoritmos do SAGA.

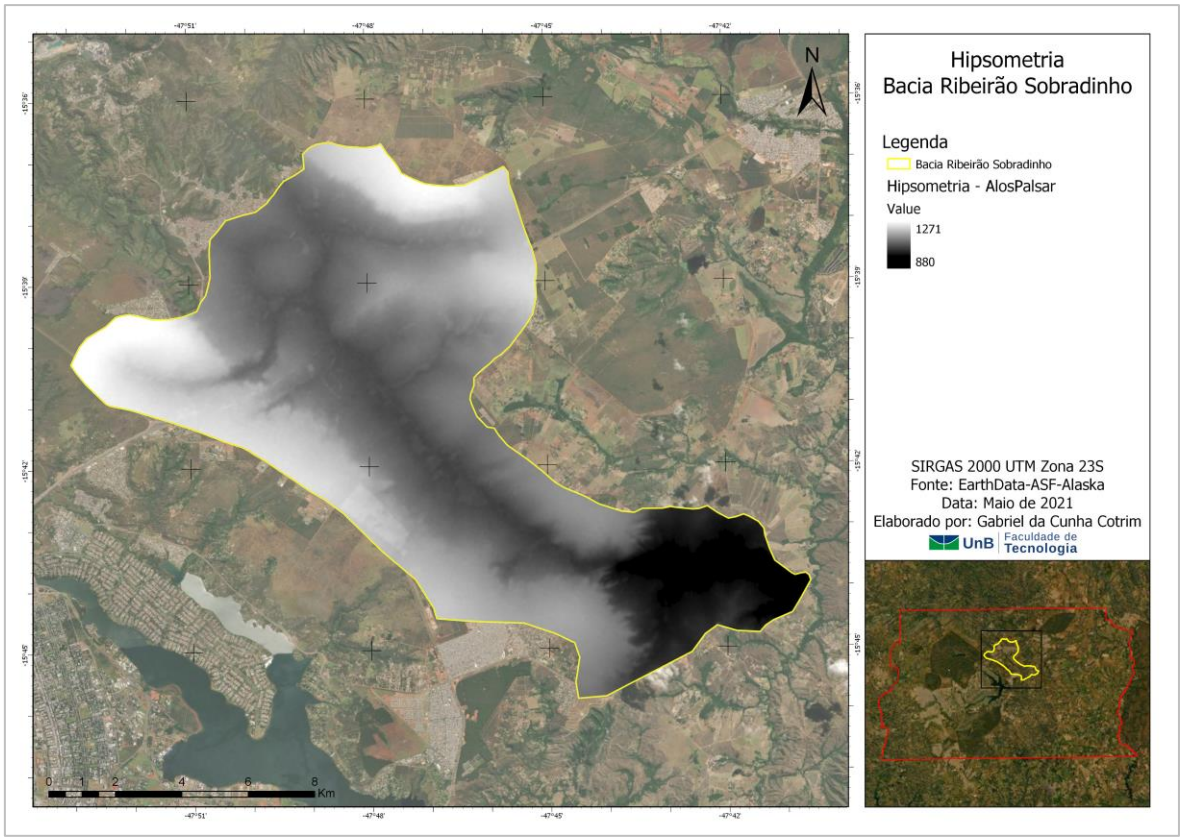

Figura 4.7. Hipsometria da Bacia Ribeirão Sobradinho.

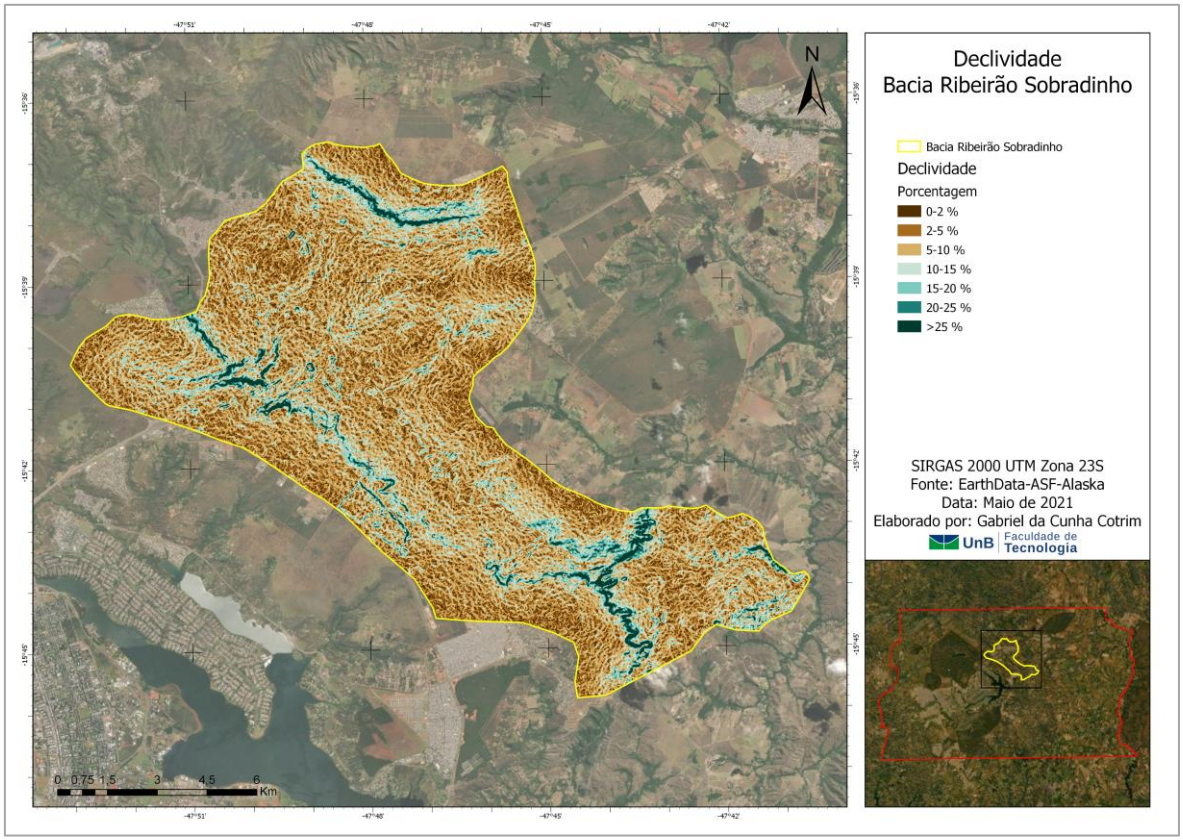

Figura 4.8. Mapa de declividade da Bacia Ribeirão Sobradinho.

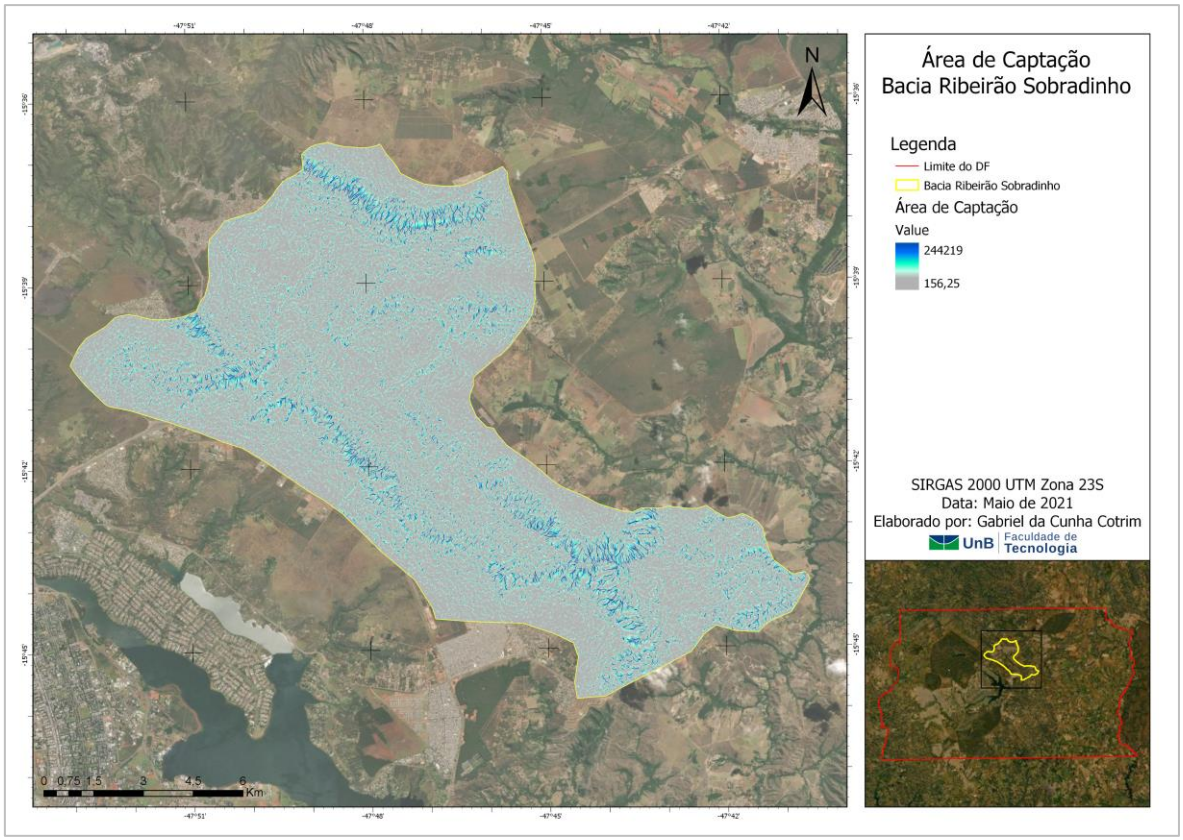

Figura 4.9. Área de captação.

4.2.3. Uso e cobertura do solo e medidas de proteção − Fator C e Fator P

Para o levantamento do fator C, foi utilizado um *Layer* de uso e cobertura do solo do ano de janeiro de 2019, já disponível em um banco de dados de acesso público: o Geoportal – DF, com informações já consolidadas no meio acadêmico. A informação presente no *Layer* foi gerada com uma imagem do satélite SENTINEL-2B, em uma composição colorida RGB432, com isso foi executado uma classificação supervisionada, com a correção de classes interpretadas em uma escala de 1:20.000. Assim foi possível adaptar o mapa de uso e cobertura do solo na Bacia Ribeirão Sobradinho (Figura 4.3). A Tabela 4.5 resume como se dá a relação de indução de processos erosivos e os tipos de cobertura de solo.

Tabela 4.5. Indução de processos erosivos pelo tipo de uso e cobertura do solo (adaptado de Ridente Júnior, 2000; Giovanini, 2019)

Indução aos processos erosivos	**Tipos de cobertura do solo**
Muito baixo	Mata e vegetação ciliar
Baixo	Pastagens, vegetação rasteira, urbano consolidado, reflorestamento
Médio	Culturas temporárias
Alto	Solo exposto
Muito alto	Área urbana em consolidação, movimento de terra, processo de loteamento projetado

O fator C é um parâmetro adimensional que tenta expressar a indução de processos erosivos relacionados a cada uso e cobertura do solo. O valor de C varia entre 0 e 1. Na Tabela 4.6, encontram-se os valores usados neste projeto para a execução da EUPS, as classes com valor de C igual à 0 significa que é uma área com solo coberto com material impermeável, impedindo assim a contribuição dessa área para a produção de perda de solo, já que não possui exposição de solo em nenhum âmbito, como áreas urbanizadas e com urbanização consolidada. Esses valores foram levantados por meio de bibliografia, levando em consideração a limitação de informações disponíveis e buscando a simplificação de sua aplicação. Tendo em vista a complexidade do tema, os valores de P foram desconsiderados do cálculo, pois é um fator que agrega grande imprecisão na execução da EUPS. As classes de uso do solo foram reorganizadas de acordo com a Tabela 4.6, para serem atribuídos valores presentes na bibliografia (Giovanini, 2019).

Tabela 4.6. Valores de C para as classes de uso e cobertura do solo (adaptado de Giovanini, 2019)

Uso e cobertura da Bacia Ribeirão Sobradinho	**Classe**	**Fator C**
Água	Corpos da água	0
Formação campestre e formação savânica	Vegetação rasteira	0,042
Solo exposto, queimada e mineração	Solos expostos	1
Formação florestal e reflorestamento	Mata e vegetação ciliar	0,012
Agricultura	Culturas	0,05
Sistema viário e área construída	Urbano	0

4.3. MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR

Após a definição das classes e o levantamento das informações, foram criados mapas temáticos dos critérios elencados anteriormente. De maneira consecutiva, foi utilizada a metodologia EUPS (Equação 3.1), aplicando os fatores característicos de cada critério, e obtendo-se, assim, o mapa de suscetibilidade à erosão laminar. Para a execução da metodologia, foi utilizado o software ArcGIS Pro versão 2.3.

Os resultados da EUPS serão expressos em valores de perda de solo, na unidade t/ha.ano. É uma estimativa quantitativa, mas que também exprime uma relação de suscetibilidade à erosão de maneira qualitativa, da região analisada. Com isso, foi possível analisar e discutir os resultados de maneira a se levar em conta a magnitude da perda de solo e a sua espacialização. Comparando os resultados com a bibliografia e observando quais regiões estão mais suscetíveis a um processo erosivo, é possível entender, de maneira geral, como se dá o comportamento da bacia no quesito erosão. Isso contribui para que os tomadores de decisão públicos ou privados proponham maneiras de diminuir esses impactos na Bacia Ribeirão Sobradinho.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1.FATOR – R

O resultado para a metodologia aplicada no item 4.2.1, cujo objetivo era espacializar o fator R, encontra-se na Figura 5.1. A Tabela 5.1 apresenta um compilado da distribuição de áreas. É possível constatar que 40,50% da área da bacia apresenta uma erosividade entre 7.600 MJ.mm/ha.h e 7.850 MJ.mm/ha.h, em comparação aos resultados obtidos por Trindade et al. (2016), nos quais a região hidrográfica Paraná, onde está localizada a Bacia Ribeirão Sobradinho, apresentou um fator R de 7.924 MJ.mm/ha.h, que é um resultado coerente para o clima preponderante no DF. Esse valor de erosividade, de acordo com os autores, é alto.

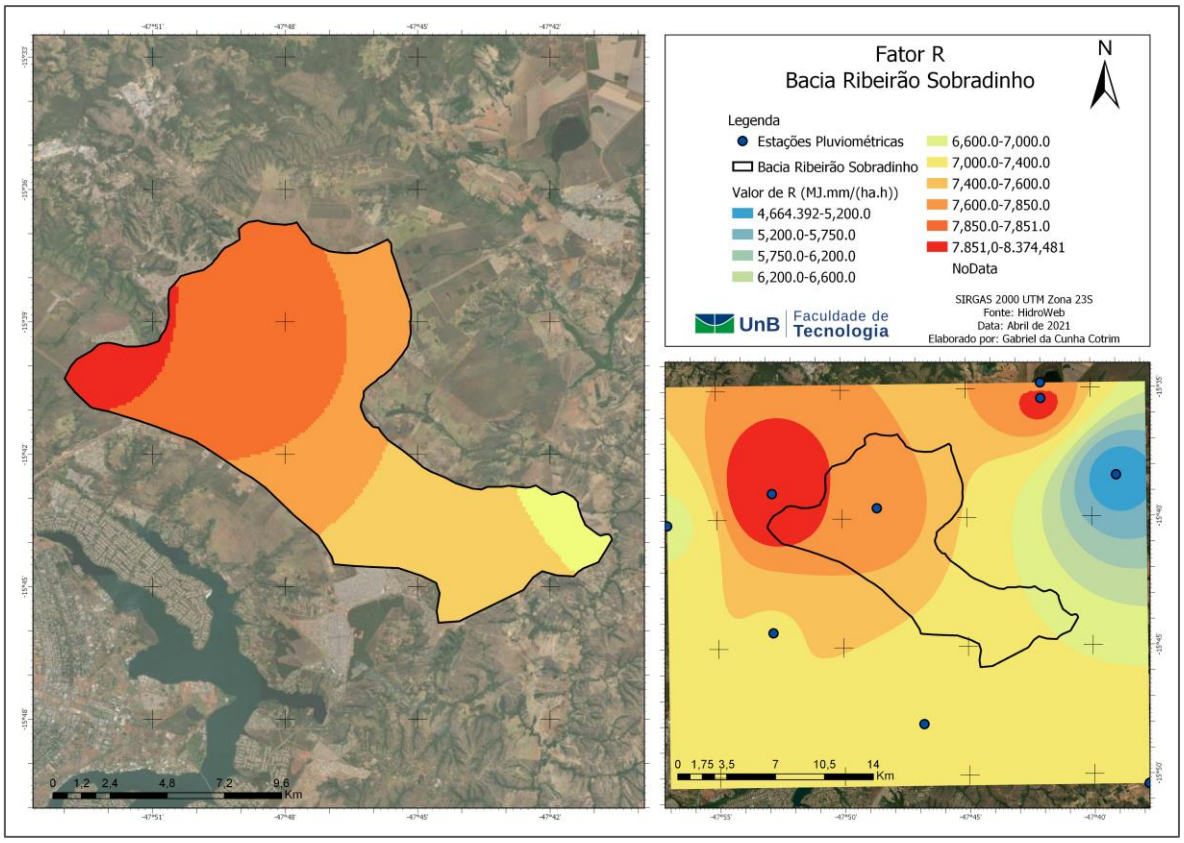

Figura 5.1. Mapa do Fator R.

Tabela 5.1. Distribuição de área por Fator R na Bacia Ribeirão Sobradinho

Valor do Fator R (MJ.mm/ha.h)	Área (Km²)
< 7.000	6,87
7.000−7.400	38,06
7.400−7.600	32,70
7.600−7.850	59,04
> 7.850	9,12

5.2. FATOR – K

Com a atribuição dos valores de K para cada tipo de solo, foi possível separá-los em classes de acordo com o proposto por Almeida, (2018) (Tabela 3.5), gerando, assim, o mapa utilizado para o cálculo final da EUPS (Figura 5.2).

A maior parte da bacia, aproximadamente 72% (Tabela 5.2), possui características de baixa erodibilidade. Tal fato está relacionado à presença massiva de Latossolo Vermelho-Escuro e Vermelho-Amarelo na bacia. Os Latossolos possuem características drenantes, que dificultam o processo de erosão.

É possível constatar que os solos com maior erodibilidade encontram-se nas proximidades do exutório e dos canais de drenagem. Altos valores de erodibilidade estão associados aos

solos hidromórficos. Tais solos geralmente ocupam depressões da paisagem sujeitas a inundações (Reatto, 2004).

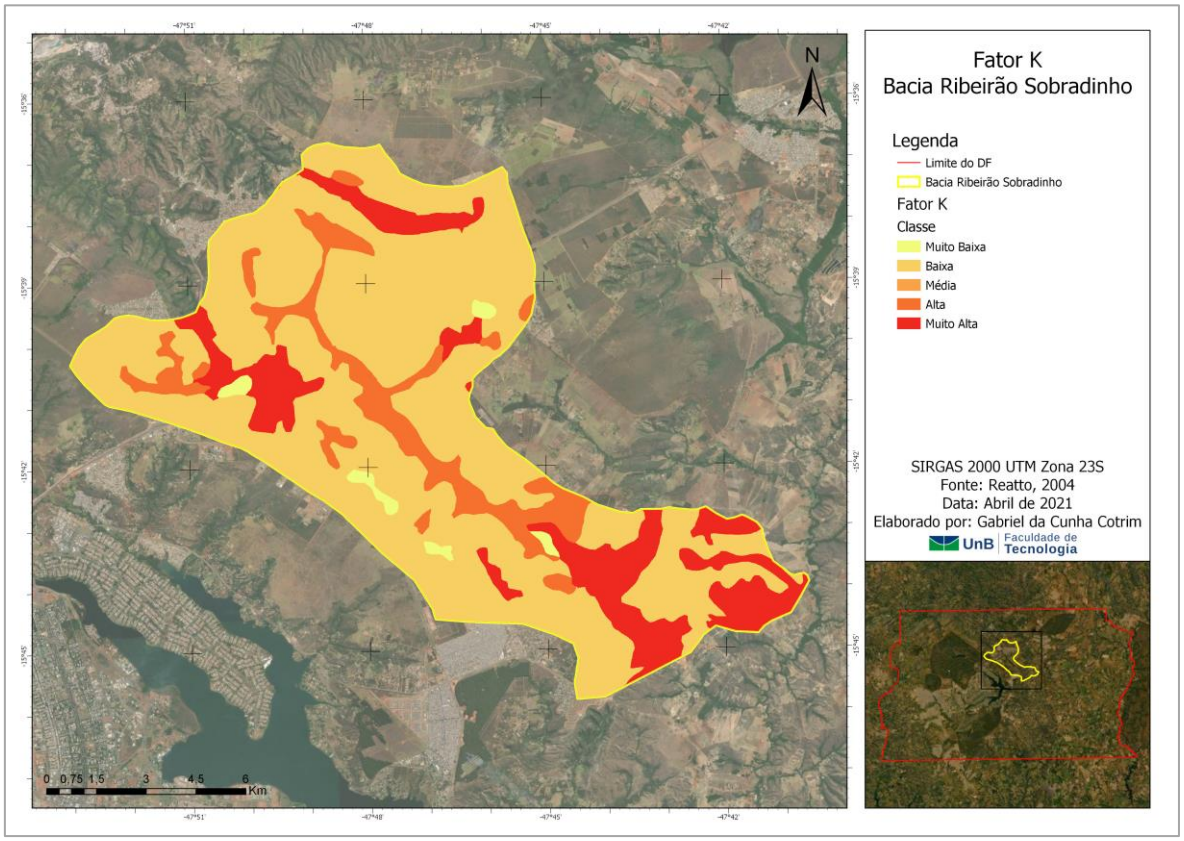

Figura 5.2. Mapa do Fator K.

Tabela 5.2. Área ocupada por classe de erodibilidade.

Classe de erodibilidade	Área (Km²)
Muito alta	23,26
Alta	15,91
Média	0,00
Baixa	104,70
Muito baixa	1,91

5.3. FATOR – LS

O resultado para o fator LS, relativo ao relevo da bacia, está visível na Figura 5.3. É possível notar que as regiões com um maior valor de LS estão localizadas, de acordo com a Figura 4.8, onde predomina a presença de grandes declividades, parâmetro que influencia no de forma mais intensa o valor de LS.

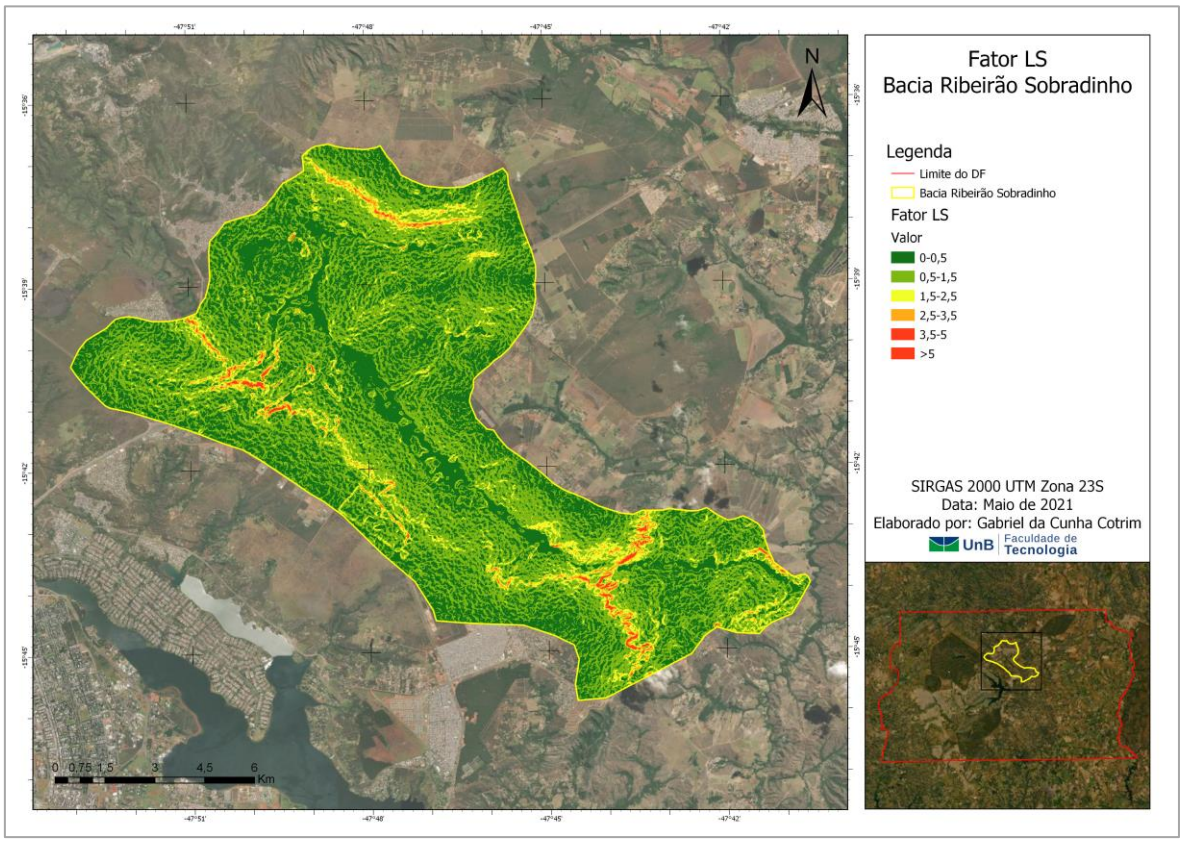

Figura 5.3. Fator LS.

5.4.FATOR – C

O fator que agrega à EUPS a relação de uso e cobertura do solo comumente varia com grande sensibilidade às interferências antrópicas. Os resultados para os valores referentes a C estão visualmente dispostos na Figura 5.5 e resumidos na Tabela 5.3.

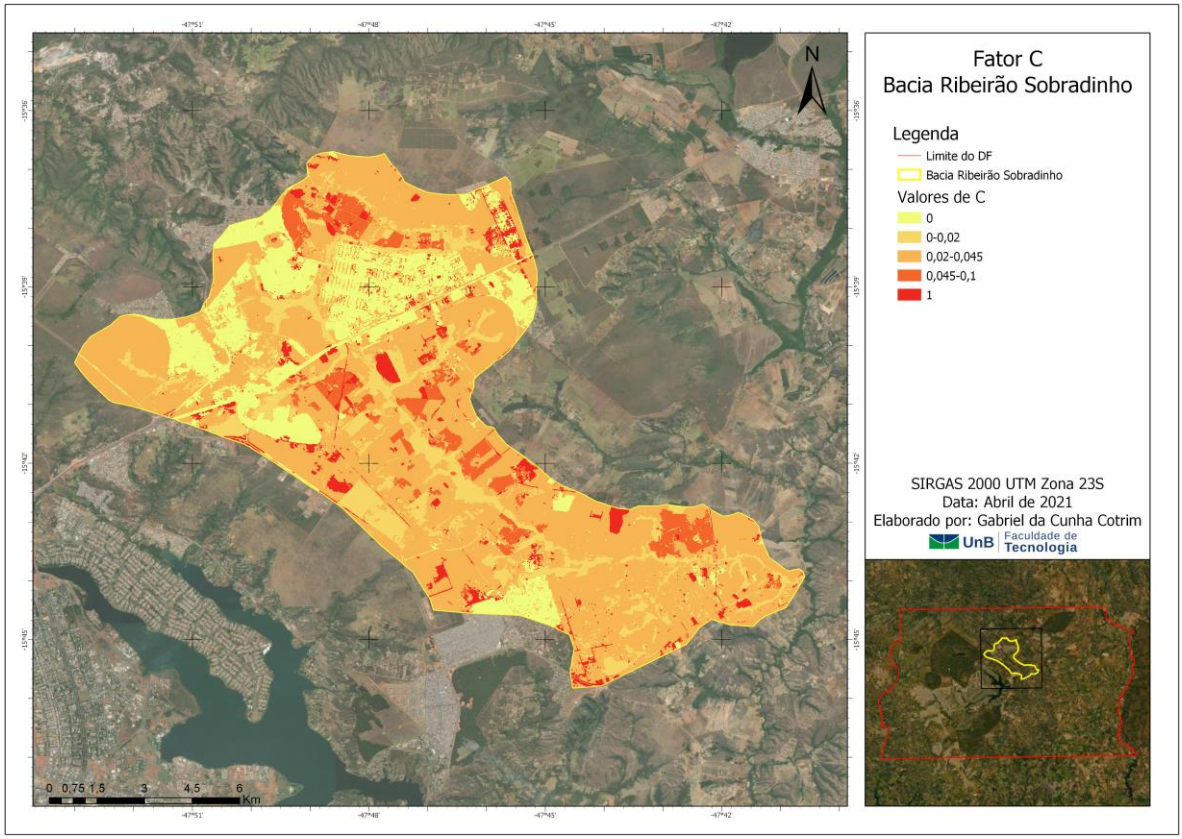

Figura 5.4. Fator C da Bacia Ribeirão Sobradinho.

Tabela 5.3. Área das classes de fator C.

Classe	Fator C	Área (Km²)
Vegetação rasteira	0,042	84,39
Urbano	0	25,88
Mata e vegetação ciliar	0,012	19,03
Culturas	0,05	9,22
Solos expostos	1	7,25
Corpos da água	0	0,01

De acordo com a Tabela 5.3 a maior parte da bacia 57% têm seu uso e cobertura caracterizado pela presença de vegetação rasteira, sendo 17% urbano e 13% mata e vegetação ciliar para o ano de 2019.

É possível notar pontos que apresentam concentrações de valores elevados de C, como na

Figura 5.5. A primeira área de relevância em relação a C diz respeito a um processo de urbanização de um condomínio, o Alto da Boa Vista, que, em 2019, estava com obras em muitos lotes, o que aumentou significativamente a área de solo exposto dentro dos limites do condomínio. Na segunda imagem da

Figura 5.5, é possível notar uma grande área com valor igual a 1 na bacia, ela está relacionada a um processo de mineração de calcário e areia que ocorre na região.

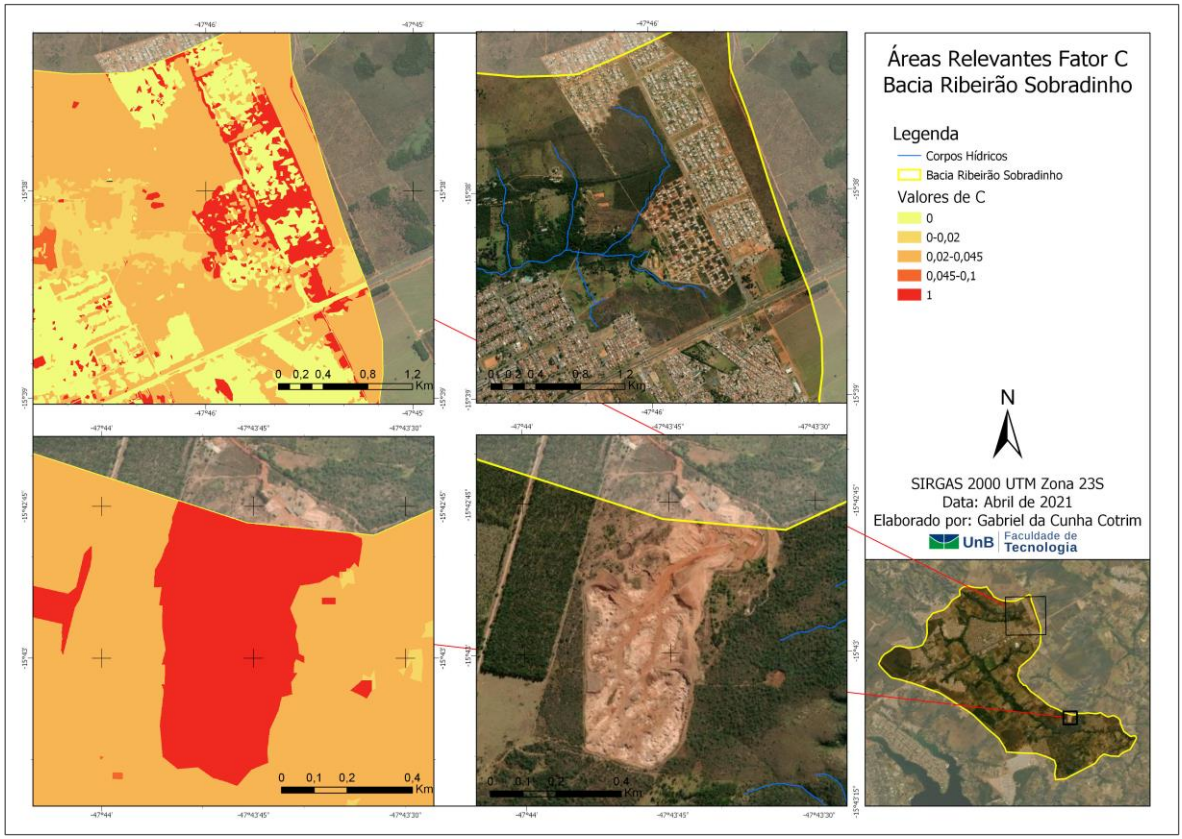

Figura 5.5. Áreas relevantes para análise do fator C.

Em relação ao uso e cobertura dentro dos limites de Urbitá (Figura 5.6), nas regiões Central e Mangueiras, há a predominância de valores entre 0 e 0,045, pois ainda não é uma região com um processo de interferência antrópica e apresenta uso e cobertura na classe vegetação rasteira. Também é possível notar que, na Região Remanescente, há uma ocupação urbana já consolidada, trazendo os valores de C perto de 0, em grande parte da região.

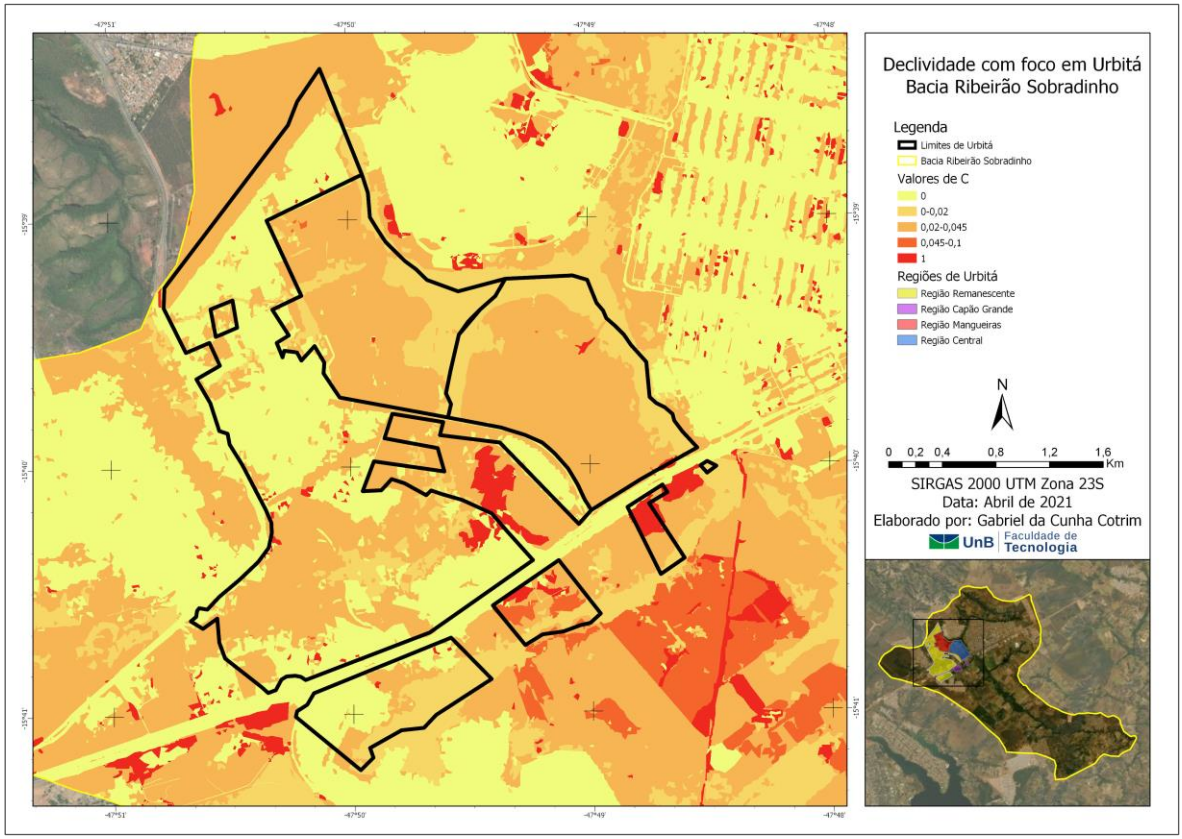

Figura 5.6. Uso e cobertura nos limites de Urbitá.

5.5. MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO

Com a metodologia descrita no item 4.3, foi possível elaborar o mapa de suscetibilidade a processos erosivos na Bacia Ribeirão Sobradinho, resultado visível na Tabela 5.4 e na Figura 5.7. Os resultados mostraram que a bacia apresenta a maior parte de sua área, 67,3%, com perda de solo menor que 5 t/ha.ano o que caracteriza uma perda de solo de fraca a fraca modera (Giovanini, 2019).

Tabela 5.4. Área por perda de solo.

Perda de solo (t/ha.ano)	Área (Km²)	Porcentagem
0-2	53,11	36,5%
2-5	44,79	30,8%
5-15	26,86	18,5%
15-25	7,07	4,9%
25-50	6,28	4,3%
50-100	5,20	3,6%
100-150	0,67	0,5%
>150	1,35	0,9%

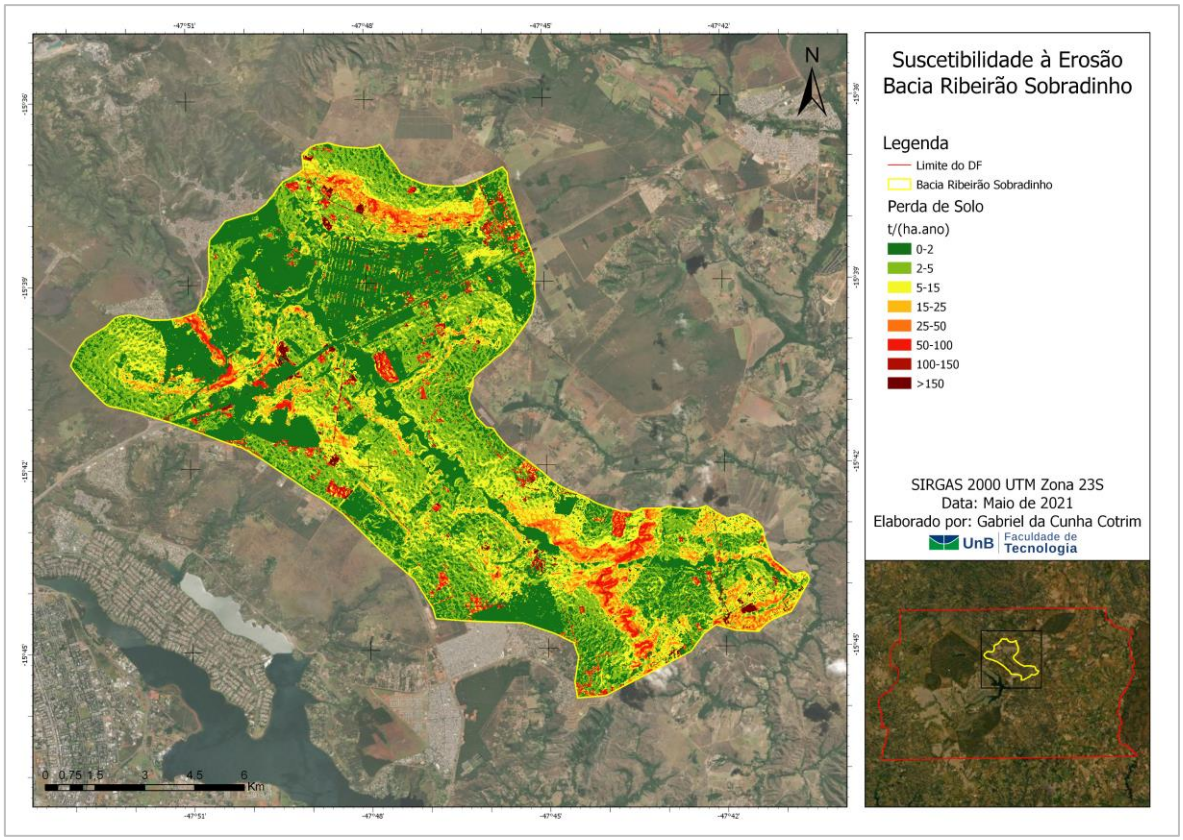

Figura 5.7. Estimativa de suscetibilidade à erosão na Bacia Ribeirão Sobradinho.

Na parte mais ao norte da bacia é possível notar um aglomerado de regiões mais suscetíveis à processos erosivos, sendo influenciada pelo fato que a mesma região possui zonas com alta declividade e uso agrícola. Ao sul da bacia, é possível destacar uma região com perda de solo entre 15 e 50 t/(ha.ano), sendo relacionado ao alto percentual de declividade encontrada na região.

Com uma análise visual das Figura 5.7 e 5.6, foram selecionadas três áreas relevantes para a discussão, as quais apresentaram um destaque no valor de perda de solo tem atividades relevantes na região e com impacto (figuras 5.9, 5.10 e 5.11).

A Figura 5.8 mostra a região nas proximidades do condomínio Alto da Boa Vista, com a estimativa de perda de solo mais acentuada nas proximidades dos corpos d'água que passam a jusante do loteamento. A grande quantidade de solo exposto causado por obras pode ter aumentado a indução de processos erosivos, impulsionados também pela ocorrência de declividade entre 2% e 10%. Em comparação ao resultado obtido por Cerdeira (2015), é perceptível que no Noroeste o processo de urbanização proporcionou zonas com grande perda de solo, enquanto na Bacia do Ribeirão Sobradinho este processo se encontra mais espaçado, guardando as devidas proporções de cada estudo.

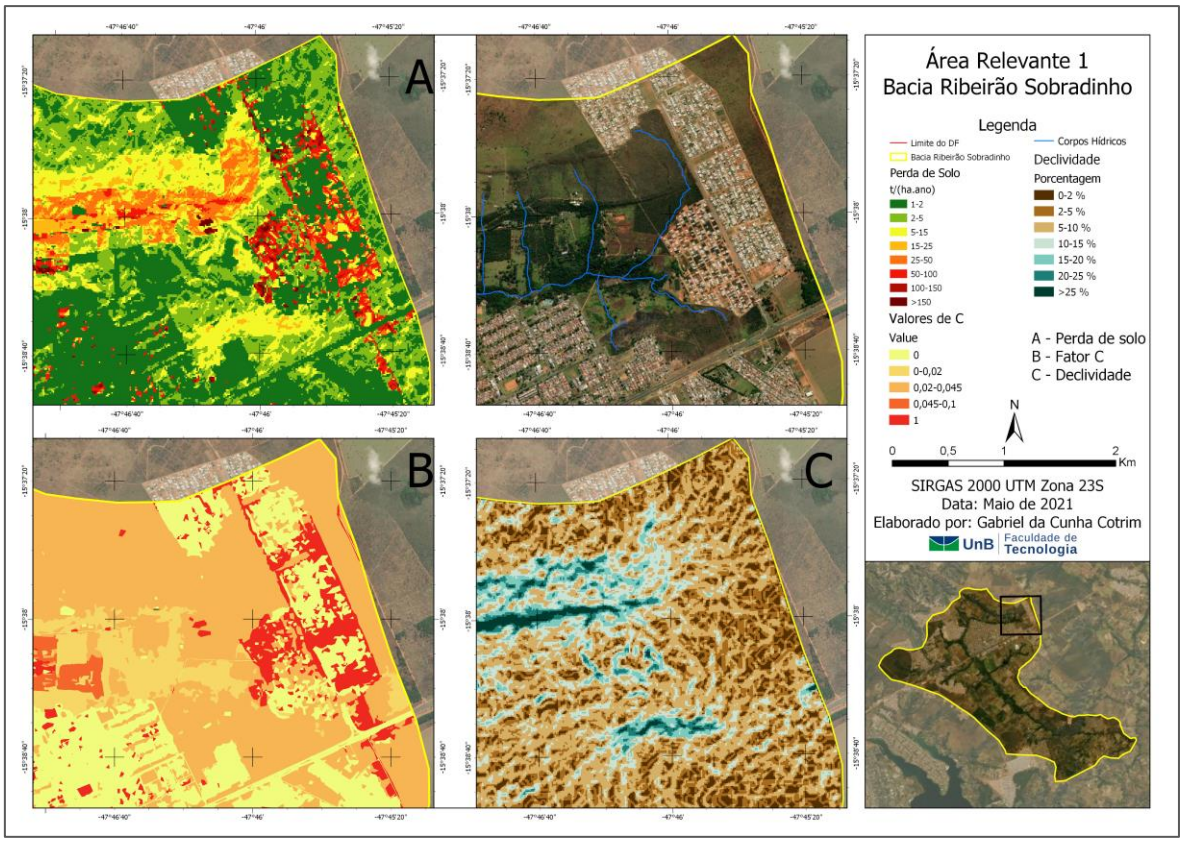

Figura 5.8. Área relevante 1 para discussão.

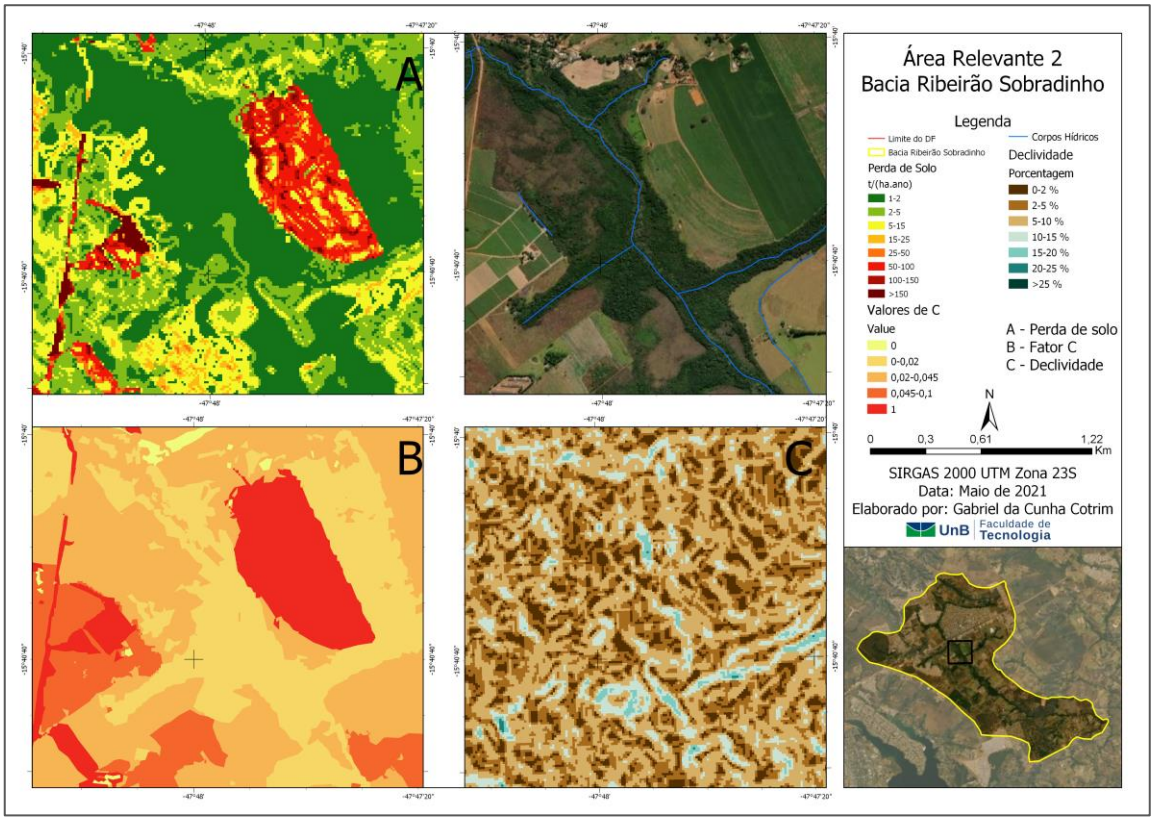

Figura 5.9. Área relevante 2 para discussão

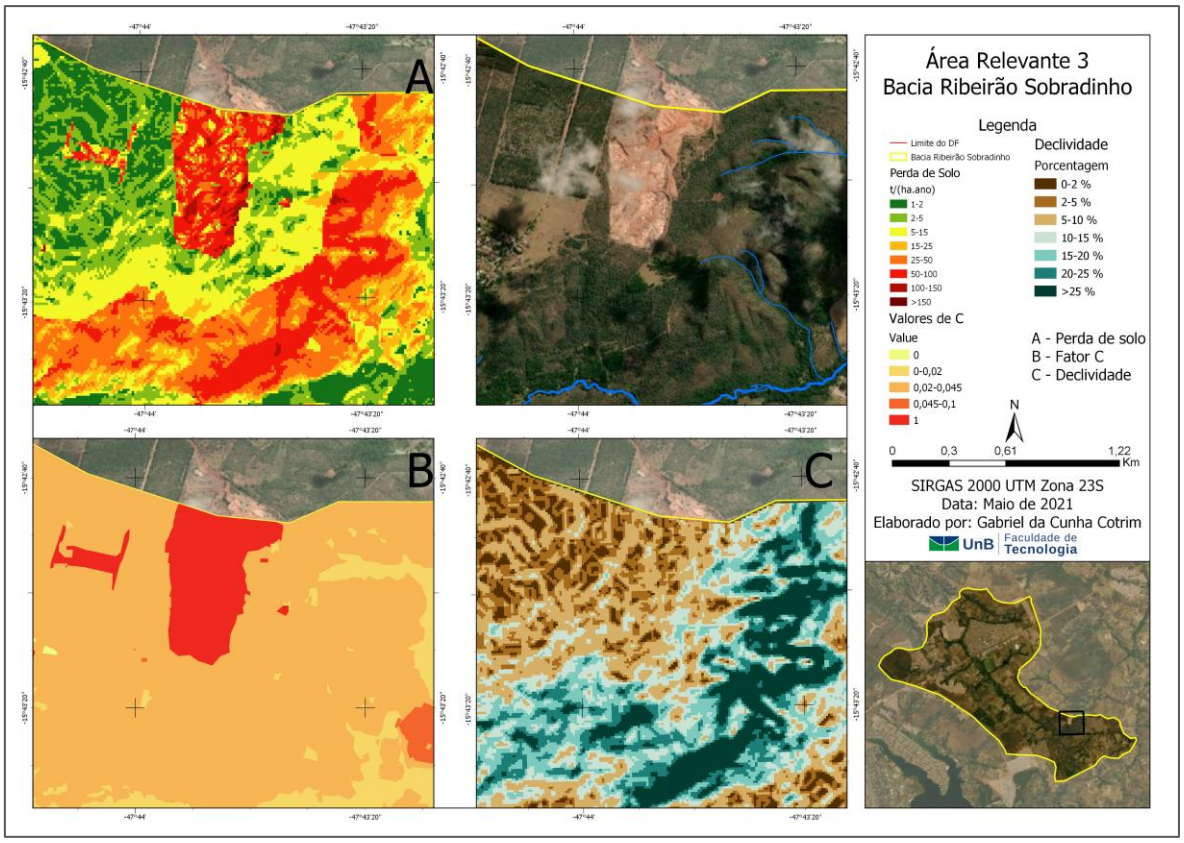

Figura 5.10. Área relevante 3 para discussão.

Como visto anteriormente, o processo agrícola de uso de solo também é um dos fatores que promovem o processo erosivo. Caso não haja medidas de conservação e controle do solo, isso tende a aumentar. Desse modo, na Figura 5.9, é clara a necessidade de se correlacionar as manchas vermelhas que exprimem uma elevada magnitude de processos erosivos e predominância de áreas cultivadas. Vale também expor aqui que, analisando de maneira visual as características do cultivo na área que apresenta cores vermelhas na Figura 5.9, é possível perceber que ele se dá de modo paralelo as curvas de nível, ou seja, uma técnica que diminui a indução de erosão durante o cultivo. Tendo em vista que o parâmetro P foi suprimido da execução deste trabalho, por falta de informações, esse valor pode ter sido superestimado para essa região.

Como já exposto na Figura 5.5, a área que apresenta uma mina de calcário e areia possui valores elevados para C; e, quando esse fator se junta com os outros, converge para uma elevada estimativa de perda de solo (Figura 5.9 e Figura 5.10). Esse fato condiz com a realidade de um processo minerador, induzindo de maneira extensiva a perda de solo.

5.5.1. Urbitá

Para uma análise da área destinada à futura implementação do projeto de Urbitá, foi elaborado um mapa com os detalhes da perda de solo da região (Figura 5.11). Como grande

parte da região remanescente apresenta uma urbanização consolidada, ela não indica uma estimativa alta de perda de solo, pois já se encontra impermeabilizada.

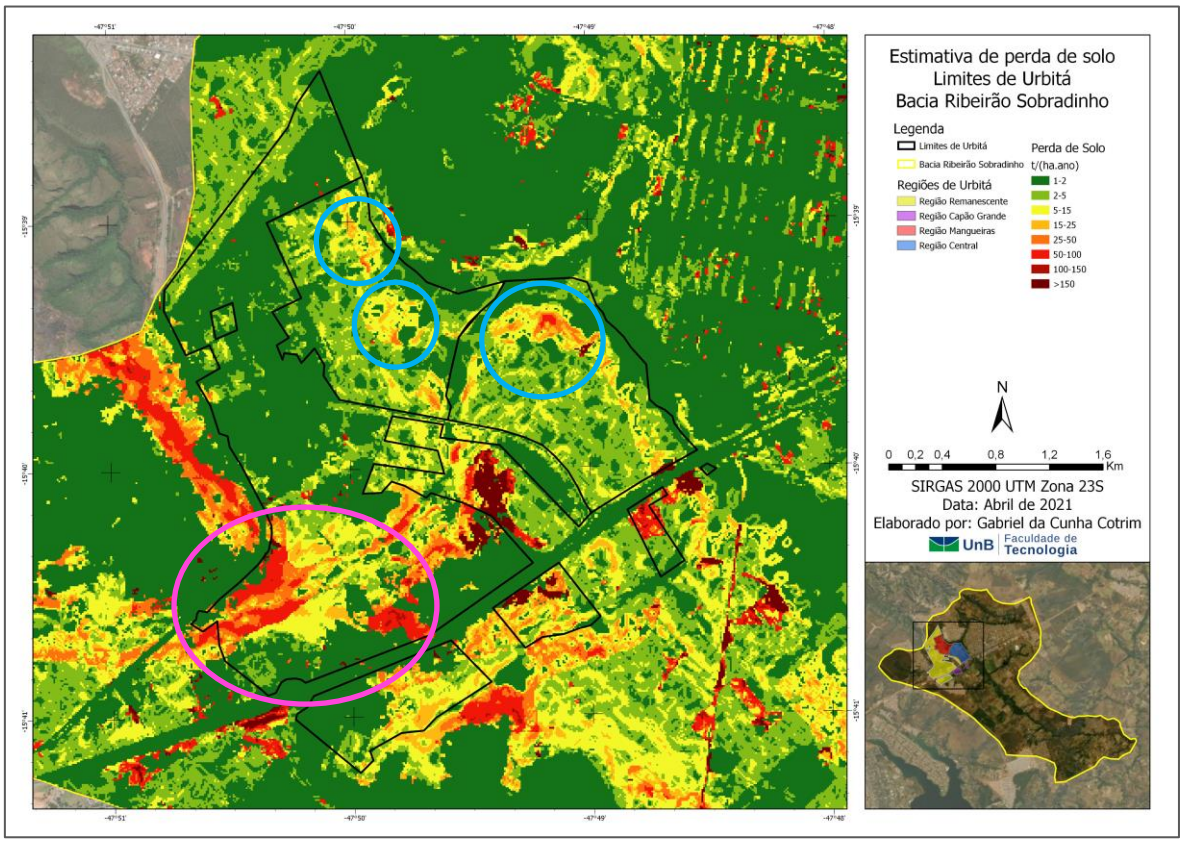

Figura 5.11. Estimativa de perda de solo nos limites de Urbitá.

As regiões Central e Mangueiras serão as que vão sofrer mais processos de intervenção de obras civis durante a implantação de Urbitá, por isso devem ser tomados maiores cuidados em relação à indução de erosão. As áreas marcadas com um círculo azul, na Figura 5.11, são as que apresentam maior indício de suscetibilidade à perda de solo, por serem regiões posicionadas em cotas mais baixas, tendem a acumular mais fluxo de escoamento e com maior velocidade. É proposto, então, que esses perímetros tenham prioridade na implantação de medidas de contenção à erosão e de diminuição de velocidade de escoamento. Tais medidas visam que, durante as obras, não ocorra uma sobrecarga de sólidos carreados para o Ribeirão Sobradinho, curso este que já recebe lançamento de efluentes de tratamento de esgoto, e pode, assim, ter sua qualidade afetada pelas obras de Urbitá. A área indicada com um círculo rosa na Figura 5.11 apresenta forte grau de suscetibilidade à erosão, pois se encontra e uma região com alta declividade, fator indutor de processos erosivos.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A aplicação da EUPS mostrou-se condizente com o que está instalado na região da Bacia do Ribeirão Sobradinho, indicando áreas de suscetibilidade à erosão com valores de perda de

solo. A bacia apresenta resultados, em sua maioria, com perda de solo na magnitude menor que 5 t/ha.ano, caracterizada como uma perda de solo fraca moderada, mas também apresenta regiões de atenção comumente relacionadas ao uso do solo e interferências antrópicas, como as mostradas nas figuras 5.9, 5.10 e 5.11. Foi possível estabelecer uma situação atual da suscetibilidade à erosão da bacia, trazendo elementos para futuras comparações em estudos.

A aplicação da metodologia permitiu realizar um retrato da conjuntura de suscetibilidade à erosão dentro da poligonal do empreendimento Urbitá, servindo de documentação estratégica da sociedade para a cobrança de resultados que minimizem os danos durante o processo de construção do bairro.

A EUPS também permitiu indicar zonas de priorização de medidas de prevenção de erosão dentro dos limites do empreendimento Urbitá. Fato esse que deve ser levado em conta pelo empreendedor durante o processo de intervenção, para a concentração de esforços nas áreas elencadas, evitando, assim, maiores danos ao Ribeirão Sobradinho. A informação de áreas de priorização se torna estratégica para o empreendimento tendo em vista que será útil para o planejamento de medidas de prevenção de erosão trazendo mais eficiência para empreendedor e evitando o dano ao manancial

Foi validado, por meio da visualização dos processos erosivos na região do condomínio Alto da Boa Vista, que o processo de implantação de áreas urbanizadas é um grande foco indutor de erosão.

Concluiu-se que a retirada do Fator P trouxe uma superestimativa para áreas agrícolas que possuíam medidas protecionistas. Visto que as informações disponíveis sobre uso e cobertura de solo não permitiam esse discernimento, a exclusão do fator P tornou-se necessária para o andamento do estudo. Entretanto é recomendado para as próximas aplicações da EUPS a utilização de classificação supervisionada de imagens de satélitecom boa precisão e de visitas aos locais, para, assim, se discretizar as culturas com ou sem medidas de contenção.

Recomenda-se que seja realizado um estudo mais aprofundado da implantação do condomínio Alto da Boa Vista, analisando a espacialização e temporariedade dos processos erosivos causados pelo empreendimento ao longo dos anos. Recomenda-se também uma continuidade no monitoramento do andamento das obras do empreendimento Urbitá, avaliando o desenvolvimento de processos erosivos e a validação das regiões estimadas neste estudo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADASA, (2012). *Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal – PGIRH/DF.* Brasília – DF

Almeida Filho, G. S. e Ridente Júnior, J. L. (2001) J. L. *Erosão: Diagnóstico, prognóstico e formas de Controle*. Anais do Simpósio nacional de Controle de Erosão, VII, Goiânia GO.

Almeida, C. X. P. (2018). *Determinação do fator de erodibilidade K de substratos de*

Almeida, J. R. e Nunes, A. C. S. (2018). *Planejamento urbano: uma abordagem sistêmica da interferência das áreas verdes na definição da qualidade de vida.* Paisagem e Ambiente: ensaios – 0(41), 187 – 210, São Paulo – SP.

Almorox Alonso, J., Bermudez F. L., Rafaelli, S. (2010). *La degradacion de los suelos por erosion hídrica: métodos de estimación.* Universidad de Murcia – Espanha.

Andrade, F. M. N. M. (1993). *Direito urbanístico e o parcelamento do solo urbano.* Revista Pensar, 2(2), 187 – 193, Fortaleza – CE.

Andreozzi, S. L. (2005). *Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas: uma abordagem pelos caminhos da sustentabilidade sistêmica.* Tese de Doutorada, Universidade Estadual Paulista, PPG em Geografia, Rio Claro – SP, 161p.

Anjos, R. S. A. (2012). *Brasília – 50 Anos De Dinâmica Territorial Urbana.* Revista Eletrônica: Tempo - Técnica - Território, 3(1), 1- 26 ISSN: 2177-4366. DOI: https://doi.org/10.26512/ciga.v6i2.21778

Aravechia Junior, Roberto, D. M. e Aerre, A. D. (2008). *Estudos da influência dos condicionantes da paisagem vinculados ao escoamento superficial. Uma aplicação para o Setor Noroeste – Brasília/DF*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Católica de Brasília, Graduação em Engenharia Ambiental, 24p.

Baptista, G. M. M. (1997). *Diagnóstico ambiental da perda laminar de solos, no Distrito Federal, por meio do geoprocessamento*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, 112p. Brasília – DF.

Bastos, C. A. B., Milititsky, J. e Gehling, W. (2000). *A avaliação da erodibilidade dos solos sob o enfoque geotécnico – pesquisas e tendências.* Teoria e Prática na Engenharia Civil, (1), 17-25, Rio Grande – RS.

Bertoni, J. e Lombardi Neto, F. (2010). *Conservação do solo.* Ícone, São Paulo – SP, 355p.

Bloise, G. L. F., Carvalho Júnior, O. A., Reatto, A., Guimarães, R. F., Martins, E. S. e Carvalho, A. P. F. (2001). *Avaliação da suscetibilidade natural à erosão solos da Bacia do Olaria – DF.* Embrapa Cerrados, Planaltina – DF, 32p.

Bordas, M. P. e Semmelman, F. R. (1993) *"Elementos de engenharia de sedimentos"* in: Tucci. C. E. M. *et al. Hidrologia Ciência e Aplicação*. Ed. Da Universidade; ABRH; EDUSP. v-4, Porto Alegre – RS.

BRASIL (1988). Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico*, Brasília – DF.

BRASIL (2001). Lei Nº10.257 de julho de 2001. *Estatuto da Cidade.* Brasília – DF.

BRASIL (2002). Decreto Nº 4.297 de julho de 2002. Brasília – DF.

Brito, F. e Souza, J. (2005). *Expansão urbana nas grandes metrópoles o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza.* São Paulo em Perspectiva, v-19, n-14, 48-63, São Paulo – SP.

Brooks, E. S., Dobre, M., Elliot, W. J., Wu, J. Q. e Boll, J. (2016). *Watershed-scale evaluation of the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model in the Lake Tahoe basin.* Journal of Hidrology, 389-402.

Cabral, L. N., & Cândido, G. A. (2019). *Urbanização, vulnerabilidade, resiliência: relações conceituais e compreensões de causa e efeito*. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 11, e20180063. https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.002.AO08

Caldas, V. I. S. P., Silva, A. S. e Santos, J. P. C. (2019). *Suscetibilidade a Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica Lagos – São João, no Estado do Rio de Janeiro – Brasil, a partir do Método AHP e Análise Multicritério.* Revista Brasileira de Geografia Física 12(04), 1415-1430.

Câmara, G. (1995). *Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos.* Tese de Doutorado, INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos – SP, 237p

Campos Filho, C. M. (1992). *"O processo de urbanização visto do interior das cidades brasileiras: a produção, apropriação e consumo do seu espaço"* in: Campos Filho, C.

M., *Cidades brasileiras: seu controle ou o caos: o que os seus cidadãos devem fazer para a humanização das cidades no Brasil*. 2 ed. São Paulo : Studio Nobel, 45-70 São Paulo – SP.

Castro, K. B. (2017). *Segurança hídrica urbana: morfologia urbana e indicadores de serviços ecossistêmicos, estudo de caso do Distrito Federal, Brasil.* Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília – DF. 204p

Cavalcante, R. (2015). *Apostila de Introdução ao SIG.* Universidade Federal de Minas Gerais, Pró-Reitoria de Planejamento e Desenvolvimento, Departamento de Planejamento Físico.

Cerdeira, A. L. N (2015). *Análise multi-temporal das taxas de erosão durante o processo de implantação do Setor Habitacional Noroeste – DF.* Artigo de Conclusão de Curso de Especialização em Geoprocessamento Ambiental, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília – DF, 21p.

Cilek, A., Berberoglu, S., Kirkby, M., Irvine, B., Donmez, C. e Erdogan, M. A. (2015). *Erosion modelling in a mediterranean subcatchment under climate change scenarios using pan-european soil erosion risk assessment (PESERA).* The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 11–15 May 2015, Berlim, Alemanha, 359-365.

CODEPLAN (2020). *Atlas do Distrito Federal 2020 – Capítulo 2.* Brasília – DF.

CONPLAN (2018). *Memorial Descritivo do Plano de Urbanização do projeto Urbitá, para trechos da antiga Fazenda Paranoazinho, localizada na Região Administrativa de Sobradinho-RA V, no Distrito Federal.* Brasília – DF.

Cruz, D. A. M. O. (2011). *As faces do planejamento urbano.* Revista Pegada, 12(2), 81-94, Brasil.

Desmet, P. J. J. E Govers, G. A. (1996) *GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units*. Journal of Soil and Water Conservation, 51(5), 427-433.

Dias, E. R. e Silva, R. M. (2015). *Estimativa do risco à erosão do solo no Município De Lucena – Paraíba*. Revista Online Caminhos de Geografia Uberlândia, 16(54), 192 – 204.

Drabik, M. M., Dias, S. I. S. e Dias, C. S. (2015). *Urbanismo e contemporaneidade: recortes teóricos.* Anais do 13º Encontro Científico Cultural Interinstitucional, Brasil.

Eastman, J. R., Jin, W., Kyen, P. A. K. e Toledano, James. (1995). *Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions.* Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 61(5), 539-547.

Feil, A. A., Schreiber, D., (2017). *Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados.* Cad. EBAPE.BR 14(3) Rio de Janeiro – RJ, 667-681.

Fonseca, M. R. S, (2008). *Avaliação hodrológica preliminar para subsidiar a construção de cenários sobre o futuro da ocupação humana na Bacia Hidrografica do Ribeirão do Gama e do Córrego Cabeça de Veado – Distrito Federal.* Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Geografia, Brasília, DF. 106p.

Foster, G. R., McCool, D. K., Renard, K. G., e Moldenhauer, W. C. (1981) *Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units.* Journal of Soil and Water Conservation 36(6):355-359.

Galiano, B. A., Lorandi, R., Santos, F. M. e Lollo, J. A. (2021). *Carta de potencial de erosão acelerada como ferramenta para o ordenamento territorial.* Revista Brasileira de Cartografia, 150-166.

Geoportal (2020). *Geoportal.* Infraestrutura de Dados Espaciais - IDE/DF. Acessado 01/03/2021. Disponível em: < https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/geoportal/ >

Giangiulio, A.R. (2009). *Gestão ambiental aplicada a prevenção, controle e recuperação de erosão linear acelerada no município de Ipeúna – SP.* Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro. Rio Claro – SP, 71p.

Giovanini Junior, N. (2019). *Análise e aplicação de metodologias de predição de processos erosivos utilizando SIG na bacia hidrográfica do Córrego do Engano, Nova Canaã Paulista – SP*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, SP, 177p.

Girão, I. R. F, Rabelo, D. R. e Zanella, M. E. (2018). *Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade.* REGNE, 4(especial), 71-83.

Gomes, L., Simões, S. J. C., Forti, M. C., Ometto, J. P. H. B. e Nora, E. L. D. (2017). *Using geotechnology to estimate annual soil loss rate in the brazilian cerrado.* Journal of Geographic Information System, 420-439.

Goodchild, M. F. (1987). *A spatial analytical perspective on geographical information systems.* Int. J. Geographical Information Systems, 1(4), 327 – 334. Ontario, Canada.

Graça, C. H., Passig, F. H., Kelniar, A. R., Piza, M. A., Carvalho, K. Q. e Arantes, E. J. *Multitemporal analysis of estimated soil loss for the river Mourão watershed, Paraná – Brazil*. Braz. J. Biol., 75(4), São Carlos – SP, 120-130 .

Guimarães, R. Z., Lingnau, C., Rizzi, N. E., Scheichi, R. G., Bianchi, R. C. (2011). *Espacialização da perda de solo por erosão laminar na microbacia do Rio Campinas, Joinville SC.* RA´E GA 23, Curitiba – PR, 534-554.

Gurgel, R. S., Carvalho Júnior, O. A.,Gomes, R. A. T., Guimarães, R. F., Câmara, J. F. A., Araújo Sobrinho, D., Martins, E. S., Braga, A. R. S. (2011). *Identificação das áreas vulneráveis à erosão a partir do emprego da EUPS – equação universal de perdas de solos no município de Riachão das Neves – BA.* Revista Geografia Ensino & Pesquisa, 15(3), 93 – 112.

Guy, H. P. (1970). *Sediment Problems in Urban Areas.* Geological Survey Circular 601 – E, United States Department of the Interior, Washington, EUA.

Hamada, E. e Gonçalves, R. R. V. (2007) *Introdução ao Geoprocessamento: princípios básicos e aplicação.* Embrapa Meio Ambiente. Documentos, ed. 1, 52 p.

Haregeweyn, N. e Yohannes, F. (2003). *Testing and evaluation of the agricultural non-point source pollution model (AGNPS) on Augucho catchment, western Hararghe, Ethiopia,* Agriculture, Ecosystems and Environment 99, 201-212.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATISTICA (2010). *Censo demográfico 2010.* Rio de Janeiro – RJ.

ASF DAAC (2014). *ALOS PALSAR_Radiometric_Terrain_Corrected_low_res; Includes Material* © JAXA/METI 2007. Acessado por ASF DAAC 04 abril 2021. DOI:10.5067/Z97HFCNKR6VA

Lima, J. E. F. W., Silva, E. M., Eid, N. J., Martins, E. S., Koide, S. e Reatto, A. (2007). *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, 8(2), 23-36.

Maricato, E. (2003). *Conhecer para resolver a cidade ilegal.* Urbanização Brasileira Redescoberta, C/Arte, 78-96.

Marinho, P. M. (2018) *Análise da variação do estudo de uso do solo com swat – Soil And Water Assesment Tool.* Monografia de especialização em Geoprocessamento Ambiental, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília – DF

Mennecke, B. E. e Crossland, M. D. (1996). *Geographic Information Systems: Applications and Research Opportunities for Information Systems Researchers,* Proceedings of the 29th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 537 – 546.

Mineiro, A. L. B. (2011). *Estimativa da produção de sedimentos da bacia hidrográfica di Rio Beberibe que aporta a zona costeira norte da RMR.* Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, PPG em Engenharia Mecânica, 194p.

mineração revegetados no Distrito Federal. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Mestrado em Ciências Ambientais, Brasília – DF, 63p.

Miqueloni, D. P., Bueno, C. R. P. e Ferraudo, A. S. (2012). *Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes*. Pesq. Agropec. Bras., Brasília – DF, 47(9), 1358-1367.

MMA. (2006). *Parte I – Programa de Zoneamento Ecológico-Econômico* – PZEE. Brasília – DF.

Moreira, F. R., Barbosa, C., Câmara, G. e Almeida Filho, R. (2001*) Inferência geográfica e suporte à decisão*. In: Câmara, C., Davis, C. e Monteiro, A. M. V. (eds.) Introdução à Ciência da Geoinformação. Sagres, Curitiba, Brasil, 9-1 – 9-49. 200

Morgan, R. P. C. (2005) *Soil Erosion & Conservation.* 3ed. Blackwell Publishing, 304p.

Neves, M. P. (2017). *Análise dos processos erosivos na Bacia do Córrego do Meio – Municipio de São Pedro (SP): Estudo do desencadeamento de erosões.* Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Geotecnia, São Carlos-SP, 179p.

Oliveira, D. V. e Maniçoba, R. S. (201*). Processo de formação e expansão urbana do Distrito Federal.* Universitas Humanas, 11(2), 27-38, Brasília – DF.

Panagos, P., Borrelli, P. e Meusburger, K. (2015). *A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water.* Geosciences, 5, 117-126.

Ridente Júnior, J. L. (2000). *Prevenção e controle da erosão urbana: bacia do córrego do limoeiro e bacia do córrego do cedro, municípios de Presidente Prudente e Álvares Machado, SP*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro – SP. 129p.

Rosa, R. (2013). *Introdução ao geoprocessamento.* Universidade Federal De Uberlândia, Instituto De Geografia, Laboratório De Geoprocessamento, Uberlândia – MG.

Ross, J. L. S. (1993). *Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.* Laboratório de Geomorfologia, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo (USP).

Sacramento, I. F., Michel, R. F. M., Siqueira, R. G. (2020). *Análise bitemporal de áreas queimadas na Mata Atlântica.* Sociedade & Natureza, 32, 565 – 577, Uberlândia – MG.

Santos, C. L., Souza, A. S, Vital, S. R. O., Girão, O. e Wanderley. L. S. A. (2016). *Impactos da urbanização em bacias hidrográficas: o caso da bacia do rio Jaguaribe, Cidade De João Pessoa/PB.* REGNE, 2(especial), 1024-1033.

Scarance, M. R. A. P. (2004). *Diretrizes para execução de investigações geológicas e geotécnicas voltadas para análise de estabilidade de encostas e taludes*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual Paulista, Graduação em Geologia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro – SP.

Silva, R. M. e Santos, C. A. G. (2008) *Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIG.* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, 12(5), 520 – 526.

Silva, V. C. (2003). *Cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS, na Bacia Do Rio Paracatu.* Pesquisa Agropecuária Tropical, 33(1), 29-34.

Silva, W. G., Machado, V. M., Chagas, M.V. e Flores, W. M. F. (2016). *Susceptibilidade a erosão utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação*

geográfica. Revista do Centro Universitário de Patos de Minas, (7), 66-78, Pato de Minas – MG.

Silveira, A. L. L. (1993). "Ciclo hidrológico e Bacia Hidrográfica" in: Tucci. C. E. M. *et al. Hidrologia Ciência e Aplicação*. Ed. Da Universidade; ABRH; EDUSP. v-4, Porto Alegre – RS.

Sousa, F. R. C. e Paula, D. P. (2019). *Análise de perda do solo por erosão na bacia hidrográfica do Rio Coreaú (Ceará-Brasil).* Revista Brasileira de Geomorfologia, 20(3), 491-507.

Sousa, F. R. C., Paula, D. P. (2016). *Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tapuio (Ceará – Brasil).* REGNE, 2(especial), 555-564.

Sousa, I., Sodré, R., Mendes, J., Oliveira, C., Costa, G., Santana, R., Ronyerisson, T., Sampaio, J., Wasti, H., Borges, F. (2020). *Covid-19 e suas Redes de Conectividades no Território Maranhense: compreendendo sua espacialização.* Metodologias e Aprendizado, 3(1), 138 – 149.

Souza, J. L. L. L., Borges, I. G. M. e Santos, R. L. (2015). *Avaliação da eficiência do modelo AHP na análise de vulnerabilidade a erosão do município de Morro do Chapéu - BA.* Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE João Pessoa-PB

Souza, J. L. L. L., Gomes, T. S., Dias, R. S., Oliveira, G. M. A. e Santos, R. L. (2011). *Avaliação de métodos de interpolação aplicados à espacialização das chuvas no território identidade Portal do Sertão / Bahia.* Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba – PR, 4295-4302.

Souza, N. C., Lollo, J. A. e Almeida Filho, G. S. (2019). *Modelo de suscetibilidade à erosão aplicado ao gerenciamento de linhas férreas. Estudo de caso: Malha Paulista – Sp (Bacia Do Tietê – Sorocaba).* Revista Geociências, 38(2), 549 – 566, São Paulo.

Souza, V. e Gasparetto, N. V. L. (2012). *Aplicação da equação universal de perdas de solo (EUPS) na Bacia Do Córrego Pinhalzinho Segundo, Noroeste Do Paraná*. Revista Brasileira de Geomorfologia, 13(3), 267-278.

SUPLAM - SUBSECRETARIA DE PLANEJAMENTO E MONITORAMENTO AMBIENTAL (2017). *Análise da proposta de parcelamento do Setor Habitacional Taquari,* Governo do Distrito Federal, Parecer Técnico nº 06/2017, Brasília – DF.

TERRACAP (2014). *Relatório De Impactos Nos Sistemas De Transporte E Trânsito – Ristt – Setor Habitacional Noroeste.* Brasília – DF.

Tomazoni, J. C. e Guimarães, E. (2005). *A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do Rio Jirau.* Revista Brasileira de Cartografia, 57(3), 235-244.

Trindade, A. L. D., Oliveira, P. T. S., Anache, J. A. A. e Wendland, E. (2016). *Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil.* Pesq. Agropec. Bras., Brasília – DF, 51(12), 1918-1928.

Tucci, C. E. M. e Mendes, C. A. (2006). *Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica.* MMA-Ministério do Meio Ambiente, Brasília – DF, 302p.

Udega Júnior, J. C. (2014). *Planejamento da paisagem e planejamento urbano: reflexões sobre a urbanização brasileira.* Revista Mato-Grossense de Geografia – 17(1) - p. 101 – 116, Cuiabá – MT.

UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY: GIS DATA LAYERS VISUALIZATION - USGS. GIS data layers visualization (2016). Disponível em: <https://www.usgs.gov/media/images/gis-data-layers-visualization>. Acesso em: 15 de novembro de 2020.

UPSA (2021). *Infográfico Urbitá.* Acessado: 20/03/2021. Disponível em: <https://www.urbita.com.br/infografico>.

Viel, J. A., Rosa, K. K. e Hoff, R. (2017). *Estudo da erosão superficial do solo por meio de SIG na região da denominação de Origem Vale Dos Vinhedos (Brasil).* Revista Brasileira de Geomorfologia, 18(3), 521-533.

Villaça, F. (2001). *Espaço intra-urbano no Brasil.* Studio Nobel, FAPESP, Lincoln Institute São Paulo – SP, 363p.

Wischmeier, W. H. e Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning.* U.S Department of Agriculture, Agriculture Handbook, Nº 537.