

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CIÊNCIAS AMBIENTAIS
IG/IB/IQ/FACE/CDS

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DA RIDE - DF A PARTIR DE
INDICADORES DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Estudante: Giovana Souza Batista – 19/0107812

Orientador: Henrique Llacer Roig

BRASÍLIA - DF

2022

GIOVANA SOUZA BATISTA

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DA RIDE - DF A PARTIR DE
INDICADORES DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Brasília, como requisito parcial de obtenção do Título de Bacharel em Ciências ambientais.

Orientador: Henrique Llacer Roig

BRASÍLIA - DF

2022

Aos meus pais, Selma Souza e Silva e Sérgio dos Santos Batista, por terem investido nos meus estudos. Ao meu namorado, Johannes Peter Schulte, por estar sempre ao meu lado e ter tornado minha vida mais agradável.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus familiares, em especial aos meus pais, Selma e Sérgio pela educação, sacrifícios, amor e por tudo que me forneceram.

Ao meu namorado Johannes, que esteve ao meu lado em momentos bons e ruins, me fazendo companhia nas madrugadas de trabalho e também com problemas de programação no ArcGIS.

Aos meus amigos, William, Nayara, Maria Fernanda, Matheus, Débora, Victória e Amanda, por me darem suporte com suas amizades, mesmo que de forma distante.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Henrique Llacer Roig, pela paciência, oportunidades, tempo, mesmo quando quase não tinha, e ensinamentos durante praticamente todo o período em que estive no curso.

A Msc. Letícia Sanches, por todo apoio e tempo prestados para o desenvolvimento do trabalho e pela oportunidade de trabalhar em outros projetos.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	12
2. Objetivo Geral.....	14
3. Referencial teórico.....	15
3.1. Serviços Ecossistêmicos.....	15
3.2. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.....	19
3.3. Indicadores de desenvolvimento sustentável.....	21
4. Etapas e métodos.....	23
4.1. Área de Estudo.....	24
4.1.1. Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal (RIDE - DF).....	24
4.1.2. Tipos de solo.....	26
4.1.3. Vegetação.....	29
4.1.4. Clima.....	31
4.1.5. Topografia.....	31
4.1.6. Uso e Ocupação do Solo.....	32
4.2. Equação Universal de Perda do Solo - Erosão.....	35
4.2.1. Erosividade da chuva – Fator R.....	35
4.2.2. Erodibilidade do solo – Fator K.....	36
4.2.3. Uso e manejo e práticas conservacionistas – Fator CP.....	37
4.2.4. Potencial topográfico de erosão hídrica - Fator LS.....	38
4.3. DRASTIC - Contaminação de Aquífero.....	38
4.4. Potencial de Recarga de Aquífero.....	45
4.5. Manutenção da Biodiversidade e Produção de Alimentos.....	49
5. Resultados e discussões.....	53

5.1. Indicador de perda de solo por erosão.....	53
5.2. Indicador de contaminação do aquífero.....	56
5.3. Indicador de potencial de recarga de aquífero.....	57
5.4. Indicador de manutenção da biodiversidade.....	59
5.5. Indicador de produção de alimentos.....	61
6. Considerações finais.....	64
7. Referências Bibliográficas.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Metodologias e dados utilizados para a elaboração de indicadores.....	24
Tabela 2. Valores de K.....	36
Tabela 3. Valores de CP.....	37
Tabela 4. Parâmetros do DRASTIC.....	39
Tabela 5. Classe de profundidade de água do aquífero - D.....	40
Tabela 6. Classe de recarga de aquífero - R.....	40
Tabela 7. Classe de litologia do aquífero - A.....	41
Tabela 8. Classe do solo – S.....	41
Tabela 9. Classe da inclinação topográfica - T.....	42
Tabela 10. Classe do impacto da zona vadosa – I.....	42
Tabela 11. Classe da condutividade hidráulica do aquífero - C.....	43
Tabela 12. Classe de uso e ocupação do solo – O.....	44
Tabela 13. Solos hidrológicos.....	45
Tabela 14. Valores de CN.....	47
Tabela 15. Taxa de infiltração.....	49
Tabela 16. Valores dos serviços ecossistêmicos para uso e ocupação do solo.....	49
Tabela 17. Valores dos serviços ecossistêmicos para uso e ocupação do solo.....	50
Tabela 18. Fatores de redução.....	51
Tabela 19. Fatores de redução.....	51
Tabela 20. Fatores de redução.....	51
Tabela 21. Fatores de redução.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura e Processo do ecossistema.....	16
Figura 2. Serviços Ecossistêmicos.....	17
Figura 3. Classificação CICES.....	18
Figura 4. Objetivos de desenvolvimento sustentável.....	19
Figura 5. Ciclo político de criação de um indicador.....	22
Figura 6. Mapa de localização da RIDE – DF.....	25
Figura 7. Solos da RIDE – DF.....	27
Figura 8. Fitofisionomias do Cerrado.....	29
Figura 9. Topografia da RIDE – DF.....	32
Figura 10. Uso e ocupação do solo da RIDE – DF em 1985.....	33
Figura 11. Uso e ocupação do solo da RIDE – DF em 2020.....	34
Figura 12. Perda de solo por erosão em 1985.....	54
Figura 13. Perda de solo por erosão em 2020.....	54
Figura 14. Contaminação de aquífero em 1985.....	56
Figura 15. Contaminação de aquífero em 2020.....	57
Figura 16. Potencial de recarga de aquífero em 1985.....	58
Figura 17. Potencial de recarga de aquífero em 2020.....	59
Figura 18. Manutenção da biodiversidade em 1985.....	60
Figura 19. Manutenção da biodiversidade em 2020.....	60
Figura 20. Produção de alimentos em 1985.....	62
Figura 21. Produção de alimentos em 2020.....	62

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

CICES – Common International Classification of Ecosystem Services

CNODS - Comissão Nacional dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

DF – Distrito Federal

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUPS - Equação Universal de Perda de Solo

ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

ONU - Organização das Nações Unidas

RIDE – DF - Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal

SE - Serviços Ecossistêmicos

USLE – Universal Soil Loss Equation

RESUMO

BATISTA, G.S. Avaliação da sustentabilidade da RIDE – DF a partir de indicadores de serviços ecossistêmicos. Monografia (Bacharelado em Ciências Ambientais). IG/IB/IQ/FACE/CDS, Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupando cerca de um quarto do país e sendo considerado um *hotspot* de diversidade no mundo. Além da sua importância para a biodiversidade, o Cerrado possui importância significativa para os recursos hídricos do Brasil. Entretanto, o bioma possui grande parte do seu uso e ocupação de solo voltados para o agronegócio, ocasionando problemas ambientais. A RIDE-DF possui grandes áreas para o agronegócio, sendo o principal causador de problemas ambientais, como intensificação de erosões, piora da qualidade da água, contaminação de aquíferos e emissões de gases efeito estufa. Para avaliar a sustentabilidade da RIDE-DF e as mudanças entre os anos de 1985 e 2020, foram utilizados indicadores de serviços ecossistêmicos, sendo estes indicadores potencial de erosão, recarga de aquífero, contaminação de aquífero, manutenção da biodiversidade e produção de alimentos, cada um com uma metodologia específica. Verificou-se que os indicadores de potencial de erosão, recarga de aquífero, contaminação de aquífero e manutenção da biodiversidade obtiveram intensificação de problemas ambientais, relacionados ao aumento da urbanização e principalmente da expansão do agronegócio. Com o aumento do agronegócio, o indicador de potencial de produção de alimentos teve aumento significativo, principalmente ao centro-sul da RIDE - DF. Foi constatado que potencialmente, a RIDE – DF possui aumento de problemas ambientais que devem ser priorizados, como a perda do potencial de manutenção da biodiversidade e os que estão relacionados à escassez de água potável, já que atualmente, o recurso está se tornando cada vez mais escasso.

Palavras-chave: Serviços Ecossistêmicos; Indicadores de sustentabilidade; Agronegócio; Cerrado

ABSTRACT

Cerrado is one of the largest biomes in Brazil, occupying about a quarter of the country. This biome is home to a great diversity of animal and plant species, and is known as a diversity hotspot in the world. In addition to its importance for biodiversity, the Cerrado has significant importance for Brazil's water resources, as it has in its area six of the eight large basins, three of which originate in the biome. However, much of the biome's land use and occupation is focused on agribusiness, causing environmental problems, since with the deforestation for the implementation of plantations and pastures, the native vegetation is suppressed and there is intense burning of the biome. As well as Cerrado, the RIDE-DF area goes through the same problem, with large areas for agribusiness, which is the main cause of environmental problems, such as intensification of erosion, worsening of water quality, contamination of aquifers, and emissions of greenhouse gases. To evaluate the sustainability of RIDE-DF and the changes between the years 1985 and 2020, ecosystem service indicators were used, being these indicators erosion, aquifer recharge, aquifer contamination, maintenance of biodiversity and food production, each with a specific methodology. It was found that the indicators of erosion potential, aquifer recharge, aquifer contamination and maintenance of biodiversity had intensified environmental problems related to the increase of urbanization and especially the expansion of agribusiness. With the increase of agribusiness, the indicator of food production potential had a significant increase, mainly to the south of the RIDE - DF. It was found that potentially, the RIDE - DF has increasing environmental problems that should be prioritized, especially those related to the scarcity of drinking water, since currently, the resource is becoming increasingly scarce.

Keywords: Ecosystem Services; Sustainability Indicator; Agribusiness; Brazilian Savanna

1. INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado o segundo maior bioma do Brasil, ocupando cerca de um quarto de todo o país, em sua porção central, abrigando cerca de um terço da fauna e flora do Brasil (Dias & Klink, 2019), sendo considerado um dos *hotspot* de diversidade do mundo (Klink & Machado, 2005). Além de sua grande biodiversidade, o Cerrado também é muito importante para os recursos hídricos do país, sendo considera um berço das águas (Dias & Klink, 2019; Souza, et al, 2019), já que os divisores de águas de três das principais bacias hidrográficas nascem no bioma. Abriga oito das doze regiões hidrográficas estabelecidas pela ANA, abastecendo seis das oito bacias nível 2 da ANA (ANA, 2021).

Atualmente, o Cerrado é amplamente utilizado para atividade agrícola, principalmente a monoculturas de soja, milho, algodão, cana-de-açúcar e pastagem de gado (Dias & Klink, 2019). O bioma é responsável por cerca de metade da produção agropecuária do Brasil (Dias & Klink, 2019), o que acaba causando muito dano ambiental e destruição da biodiversidade, já que são utilizadas grandes quantidades de terras, que são desmatadas, totalizando 40% do uso de solo na área total do bioma, sendo o segundo bioma mais devastado do Brasil, somente atrás da Mata Atlântica (Klink et al., 2020). Mesmo com altos índices de desmatamento, o Cerrado é um bioma com baixa proteção, comparado à Mata Atlântica ou a Amazônia, já que somente 3,3% do bioma são consideradas Unidades de Conservação, 4,8% de Terras indígenas e 0,3% de Territórios Quilombolas, tendo, portanto, somente 8,4% do bioma protegido (Dias e Klink., 2019).

As áreas agrícolas no Cerrado se desenvolveram juntamente com a transferência da capital do Rio de Janeiro para Brasília. A transferência da capital tinha em vista preencher locais tidos como vazios, tendo como objetivo trazer industrialização e desenvolvimento para o centro-oeste (Klink et al., 2020; Santos, 1964). Com o Cerrado sendo ocupado, as áreas de agricultura também foram crescendo, ganhando subsídios, programas de desenvolvimento e pesquisa de novas tecnologias, como a da Embrapa Cerrados, nos anos 70, que conseguiu tornar o Cerrado produtivo para o agronegócio, já que o bioma não era tão adaptado para a atividade, com solos ácidos, má distribuição de chuvas durante o ano e ocorrência de verânicos durante a fase

reprodutiva das plantações (Embrapa., s.d.). Com isto, o Cerrado se tornou o bioma mais importante para o agronegócio.

Juntamente com o desenvolvimento do DF, houve o desenvolvimento de seu entorno, criando-se assim, a Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal (RIDE - DF). Atualmente a RIDE-DF contém 32 municípios dos estados de Goiás, Minas Gerais e o Distrito Federal. Juntamente com o desenvolvimento da RIDE - DF, surgiram diversos problemas relacionados ao meio ambiente (Sobrinho et al., 2011). De acordo com Dias & Klink (2019), mesmo com avanços tecnológicos que trouxeram maior produtividade, fazendo com que o bioma não fosse tão afetado negativamente, o Cerrado ainda apresenta altas taxas de desmatamento e queimadas, impactando a biodiversidade do local e resultando em problemas ambientais, como emissões de gases de efeito estufa, contaminação ambiental, gerada pelo aumento do uso de agrotóxicos e fertilizantes, que ocasionam riscos à saúde humana e morte de polinizadores e agentes de controle biológico, também ocasiona rebaixamento do lençol freático e redução da vazão dos riachos, ocasionados pela alta do desmatamento em áreas próximas aos rios e no bioma como um todo, além do alto consumo de água para irrigação de culturas.

Os problemas com o desmatamento e perda da biodiversidade do Cerrado podem afetar a RIDE-DF, assim como eventos recentes ocorridos no DF ou em áreas da região, como crises hídricas já ocorridas no DF (Lima et al., 2018), e contaminações de agrotóxicos na água potável (Sisagua, 2019). Tendo isso em mente, este trabalho busca colaborar com o estudo da sustentabilidade da RIDE-DF, baseado em indicadores de desenvolvimento sustentável, podendo assim, dar base de estudos e políticas públicas para a melhoria da sustentabilidade e qualidade de vida da população.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo foi aplicar indicadores de sustentabilidade da paisagem baseado em Serviços Ecossistêmicos a nível da RIDE-DF, que sirvam de suporte ao planejamento, gestão e monitoramento da área, gerando mapas do indicador de potencial de erosão do solo, contaminação do aquífero, potencial de recarga de aquífero, manutenção da biodiversidade e produção de alimentos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

O bem estar humano está amplamente ligado à qualidade de vida, estando, portanto, relacionado à qualidade do ar, água e alimentos. Os serviços ecossistêmicos (SE) são serviços prestados pela natureza, exclusivamente aos seres humanos (JØRGENSEN, 2010; COSTANZA, 1997).

Jørgensen (2010) diz que a sustentabilidade do meio ambiente pode ser dita como a capacidade de trabalho, pois a manutenção do meio ambiente é o que faz com que os SE's consigam ser mantidos e utilizados por várias gerações.

Os SE estão divididos em quatro, como pode ser visto nas Figuras 1 e 2, sendo eles, serviços ecossistêmicos de regulação, serviços ecossistêmicos de provisão, serviços ecossistêmicos de suporte e serviços ecossistêmicos culturais, sendo:

- **Regulação (ou manutenção):** Processos naturais que afetam as condições ambientais, isto é, as formas de controle e modificação dos ecossistemas que por consequência afetam o bem-estar humano. Estão relacionadas à capacidade dos ecossistemas regularem processos ecológicos essenciais de suporte à vida, através de ciclos biogeoquímicos e outros processos da biosfera.
- **Provisão:** Produtos ou bens fornecidos pela natureza que possuem valor econômico e são obtidos diretamente pelo uso e manejo dos ecossistemas. Se referem a toda saída nutricional, material e energética dos ecossistemas, como alimentos, recursos energéticos, produtos bioquímicos, recursos ornamentais e água.
- **Suporte:** Serviços necessários para produção e manutenção dos demais serviços ecossistêmicos. Se diferenciam das demais categorias pois os impactos sobre o ser humano são indiretos e/ou ocorrem a longo prazo. Consistem nas funções ecossistêmicas fundamentais para manutenção dos ciclos naturais e vida das espécies.
- **Cultural:** São serviços não tangíveis dos ecossistemas, relacionados a experiências culturais, intelectuais e religiosas, afetando o estado físico e mental do ser humano. São serviços que se relacionam com valores,

manifestações culturais, esportes e recreações, atuando assim, no desenvolvimento cognitivo dos seres humanos.

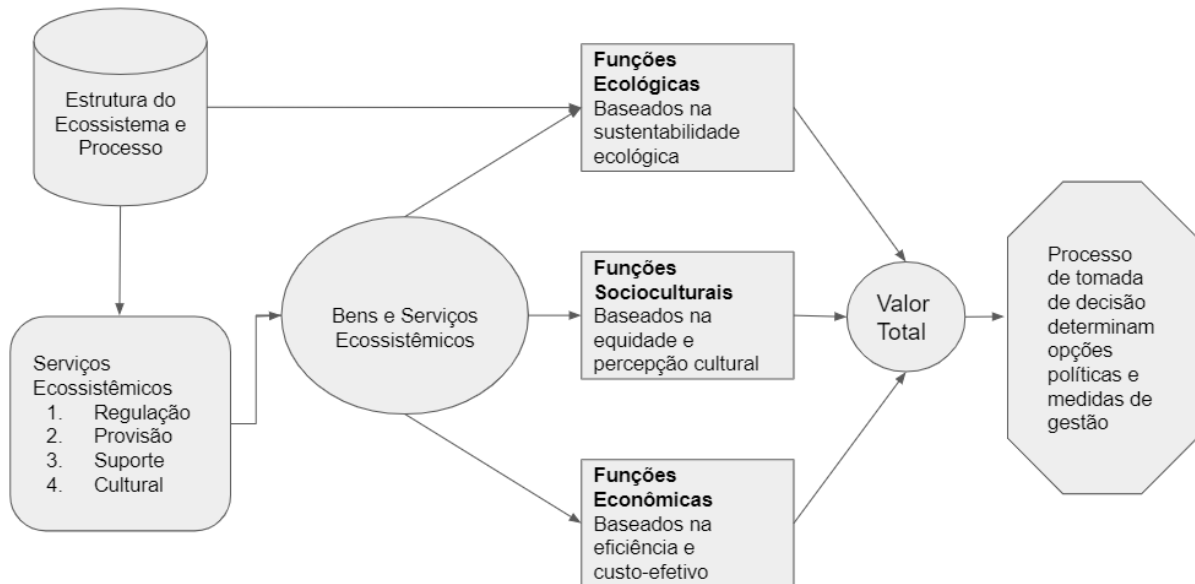


Figura 1. Estrutura e Processo do ecossistema (Fonte: Tradução Livre De Groot., 2002)



Figura 2. Serviços Ecossistêmicos. (Fonte: Elaborado pela autora).

De acordo com a classificação da CICES (Common International Classification of Ecosystem Services), para que seja feita análise de funções e serviços ecossistêmicos é necessária, primeiramente, a realização da categorização, hierarquização e classificação destes serviços antes de selecionar métricas e indicadores (medir, mapear e valorar). A utilização de uma classificação comum de serviços é necessária para dar fluidez e transparência as comunicações e mediações de conflito (Czúcs et al., 2018). Este sistema de classificação está dividido em cinco partes, sendo estas a seção, a divisão, o grupo, a classe e o tipo de classe, como pode ser visto na Figura 3.

- **Seção:** Apresenta as categorias de serviços ecossistêmicos que são: regulação (e manutenção), provisão e cultural.
- **Divisão:** Divide as categorias da seção em tipos principais de saída ou processo.
- **Grupo:** Em que tipo de atividade este SE está envolvido.

- **Classe:** Qual a função que esse grupo tem para a sociedade humana, qual o benefício para os mesmos.
- **Tipo de classe (sub-classe):** Produto final que chega aos seres humanos.

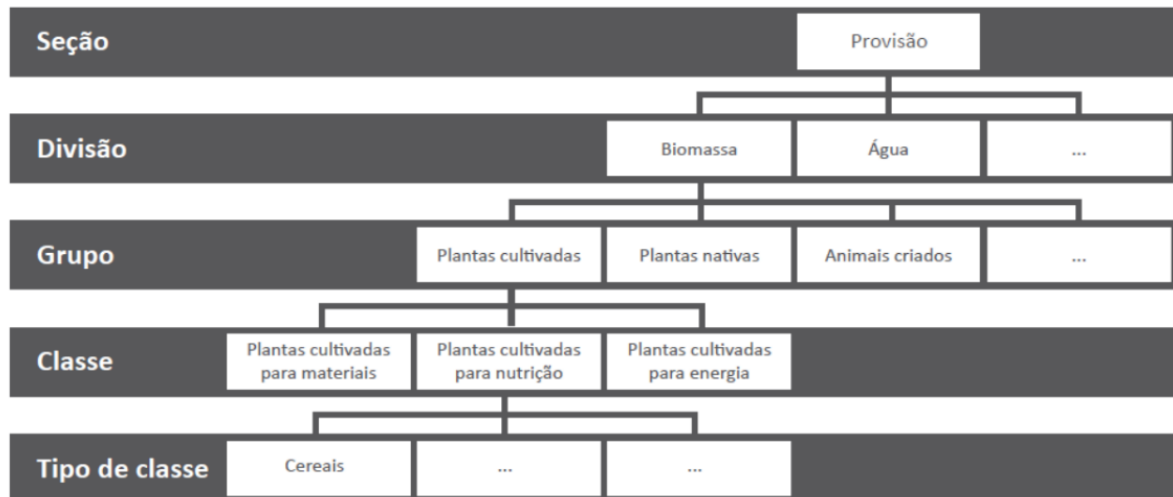


Figura 3. Classificação CICES (Fonte: Ferraz et al., 2019 adaptada de Heines-Young & Potschin, 2018).

Uma função do ecossistema corresponde a capacidade de fornecer serviços derivados das interações entre estruturas e processos biofísicos. Essa capacidade independe de seu uso, demanda, ou valoração social, traduzindo-se em serviços ecossistêmicos, para o caso da CICES, apenas quando utilizados para o bem-estar humano. Deste modo, a tradução de uma função em serviço implica necessariamente na identificação do beneficiário, o tipo de utilização efetuada, bem como a localização espaço-temporal da sua utilização (Martín-López et al. 2007). Esta definição na CICES faz com que a categoria de suporte desapareça, pois ou ela já foi considerada indiretamente em outra categoria como regulação ou não aparece com um benefício direto e desaparece do sistema.

3.2. OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

No ano de 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) elaborou os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas, que serão mantidos até o ano de 2030, feitos a partir da conferência realizada no Rio de Janeiro, em 2012, a Rio+20, sendo adotado por 193 países-membros (Roma, 2019). Os objetivos abordam diversos problemas ambientais e sociais ocasionados pela degradação do planeta e outros problemas, sendo estes: 1- Erradicação da pobreza; 2- Fome zero; 3 – Boa saúde e bem-estar; 4 - Educação de qualidade; 5 – Igualdade de gênero; 6 - Água limpa e saneamento; 7 – Energia acessível e limpa; 8 – Emprego digno e crescimento econômico; 9 - Indústria, inovação e infraestrutura; 10 - Redução das desigualdades; 11 – Cidades e comunidades sustentáveis; 12 – Consumo e produção sustentáveis; 13 – Combate às alterações climáticas; 14 – Vida debaixo d'água; 15 – Vida sobre a terra; 16 – Paz, justiça e instituições fortes; 17 – Parcerias em prol das metas, assim como pode ser visto na Figura 4.



Figura 4. Objetivos de desenvolvimento sustentável. (Fonte: GT Agenda 2030)

No Brasil, a implementação dos ODS foi feita a partir do Decreto nº 8.892, de 27 de outubro de 2016, criando a Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (CNODS) e implementando a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas. Das 169 metas estabelecidas pela

ONU, 167 foram adotadas pelo Brasil e posteriormente, adotadas mais oito metas, tendo assim, o total de 175 metas nacionais (ROMA., 2019).

Os ODS que serão trabalhados no presente estudo estão voltados para a água, meio ambiente e alimentos, sendo assim, se encaixam os ODS 2, 6, 13 e 15.

Objetivo 2 – Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar, melhoria da nutrição e promover agricultura sustentável

O objetivo 2 tem como intuito, até 2030, acabar com a fome e desnutrição, provendo acesso a alimentos seguros, nutritivos e sustentáveis a todas as pessoas. Para isto, o objetivo está voltado para uma agricultura sustentável e familiar, fazendo com que as pessoas que trabalham no campo possam se sustentar de maneira digna e com menores riscos a sua saúde e da população em geral. Assim, sendo possível prover alimentos que mantenham a diversidade genética de sementes e plantas e também a qualidade do solo, do ar e dos corpos hídricos, evitando desastres como secas, inundações e outros desastres (ONU, 2016).

Além da parte ambiental, o objetivo está voltado para a parte econômica, tendo como propósito de corrigir e prevenir restrições ao comércio e distorções nos mercados agrícolas mundiais e adotar medidas que garantam o funcionamento apropriado de mercados de commodities de alimentos, com a finalidade de evitar volatilidade nos preços do alimento, deixando, portanto, os alimentos acessíveis à toda população (ONU, 2016).

Objetivo 6 – Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos

O sexto objetivo tem como meta assegurar acesso à água potável, limpa, segura e acessível a todos. Para isto, é necessário que haja um esforço na resolução de problemas como o acesso ao saneamento básico, que evita contaminação dos corpos hídricos e também provém maior qualidade de vida para as pessoas. Também é necessário proporcionar retiradas sustentáveis e evitar o desperdício de água, aumentando a eficiência do uso da água. Todas as formas de água ou ecossistemas relacionados precisam ser protegidos e restaurados, implementando uma gestão hídrica, de forma nacional e internacional (Agenda 2030., 2016).

Objetivo 13 – Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos

O objetivo 13 visa reforçar a adaptação aos riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais. Para isso, é necessário que haja integração nas políticas públicas e planejamentos relacionados à mudança do clima, assumindo compromisso de conscientizar a população e investir em estudos sobre relacionados a mudanças climáticas. Países desenvolvidos têm como compromisso financiar as necessidades de países em desenvolvimento, criando o Fundo Verde para o Clima (Agenda 2030., 2016).

Objetivo 15 - Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade

O objetivo 15 tem o foco em assegurar a conservação, recuperação e o uso sustentável dos ecossistemas terrestres e de água doce interiores e seus serviços. O objetivo tem como meta promover a implementação da gestão sustentável de todos os tipos de florestas, deter o desmatamento, restaurar florestas degradadas, aumentar o florestamento e o reflorestamento em todo o planeta e proteger e evitar a extinção de espécies ameaçadas, também evitando a prática de caça. O objetivo visa assegurar a conservação dos ecossistemas de montanha, tomar medidas urgentes e significativas para reduzir a degradação de habitats naturais e deter a perda da biodiversidade. Além disto, há o foco em evitar a introdução e reduzir o impacto de espécies invasoras. O objetivo busca mobilizar recursos e governos para que as ações sejam feitas (Agenda 2030., 2016).

3.3. INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Serão aqui estabelecidos com um olhar para os ODS, já que representam a qualidade ambiental de um local relacionada à um ou mais objetivos com vista a melhoria da qualidade dos SE e bem estar da sociedade. No trabalho foram utilizados indicadores relacionados aos ODS 2, 6, 13 para a área da RIDE-DF. De acordo com Gallopín (1996), indicadores são variáveis, cada um possuindo características próprias, sendo

de extrema importância para criação ou aperfeiçoamento de políticas públicas, tendo, portanto, que ser representativos para os *stakeholders*.

Segundo a OCDE (2002), cada indicador tem uma relevância e isto depende de país que está sendo aplicado, sendo interpretado de acordo com as características dos locais e um dos principais intuitos é tornar estes parâmetros mais fáceis de serem averiguados e de se tornarem mais simples de serem avaliados e também aplicados (OCDE, 2002).

A Figura 5 representa o ciclo político de criação de um indicador e como são implementados por políticas públicas. Inicialmente, o ciclo político é formado a partir da identificação de questões e problemas (formulação política), estabelecendo metas para que estes problemas possam vir a ser reparados.

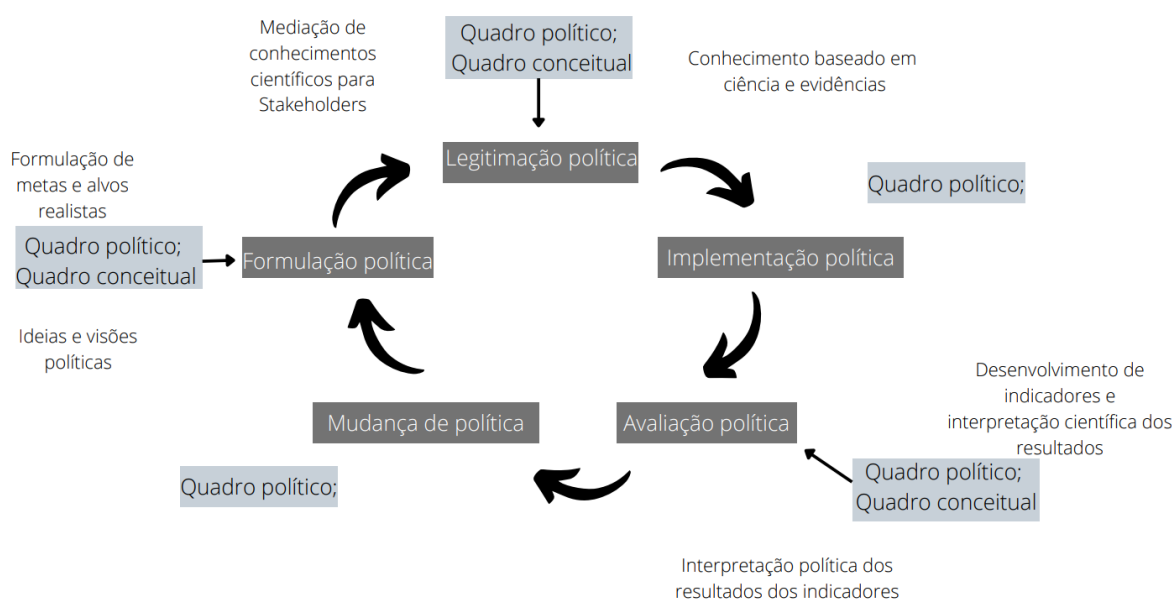


Figura 5. Ciclo político de criação de um indicador, tradução livre (Fonte: T. Hák et al., 2016)

A legitimação política e avaliação política têm como foco a opinião de especialistas, analisando se a política foi correta e se a implementação foi bem desenvolvida, podendo ou não propor uma mudança de política. Logo, para a criação de um indicador, é preciso se basear em fatos científicos, mas também, conseguir torná-los aplicáveis, juntamente com *stakeholders*, para o local, com sua especificidade. Hák (2016) não exemplifica se os indicadores passam ou não pela população, sendo este, entretanto, um passo importante, já que a população como um todo é quem irá

disfrutar das medidas adotadas pelas políticas públicas, sendo, portanto, adequado adicionar a aprovação ou desaprovação do indicador.

4. ETAPAS E MÉTODOS

O método da pesquisa consiste na avaliação quantitativa dos impactos ambientais na RIDE-DF, a partir de indicadores de serviços ecossistêmicos espacializados, gerados utilizando-se ferramentas de geoprocessamento.

O estudo foi realizado com o total de quatro métodos para gerar cinco indicadores, sendo estes indicadores de erosão, indicador de recarga de aquífero, indicador de contaminação de aquífero, indicador de manutenção da biodiversidade e indicador de provisão de alimentos.

O detalhamento dos procedimentos metodológicos será apresentado nos itens subsequentes, primeiramente com a caracterização da área de estudo e posteriormente a descrição da proposta metodológica para a geração da: USLE (Universal Soil Loss Equation, Wischmeier & Smith, 1978); DRASTIC (Aller et al., 1987); recarga de aquífero (Gonçalves et al., 2009); e manutenção da biodiversidade e provisão de alimentos (Lima et al., 2017), Tabela 1.

Tabela 1. Metodologias e dados utilizados para a elaboração de indicadores

Indicador	Metodologia	Dados	Fonte
Controle de Erosão	Wischmeier e Smith (1978)	Mapa de uso e ocupação de solo, Mapa pedológico, MDE, Chuva	MAPBIOMAS (1985; 2020), EMBRAPA (2020), TOPODATA (2009), NASA
Potencial de Recarga de Aquífero	Gonçalves et al (2009)	Mapa de uso e ocupação de solo, Mapa pedológico, MDE, Chuva	MAPBIOMAS (1985; 2020), EMBRAPA (2020), TOPODATA (2009), NASA
Contaminação de Aquífero	Aller et al (1987)	Hidrogeologia do aquífero poroso, Recarga de aquífero, Hidrogeologia do aquífero saturado, Mapa pedológico, Topografia (MDE)	CPRM; Elaborado pela autora; CPRM; EMBRAPA (2020); TOPODATA (2009)
Produção de Alimentos	Lima et al (2017)	Mapa de uso e ocupação do solo	MAPBIOMAS (1985; 2020)
Manutenção da Biodiversidade	Lima et al (2017)	Mapa de uso e ocupação do solo	MAPBIOMAS (1985; 2020)

4.1. ÁREA DE ESTUDO

4.1.1. Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal (RIDE-DF)

Brasília, de acordo com Milton Santos (1964), foi criada a partir do pressuposto do sub-desenvolvimento brasileiro, que é definido, além de outros fatores, pelo desequilíbrio regional. Nesse contexto, a capital do país foi trazida para o interior do Brasil, já que em 1960, as regiões Norte e Centro-Oeste contavam apenas com 7% da população brasileira, mesmo com 64% da superfície. Com o passar dos anos, Brasília foi se expandindo e aumentando as taxas de urbanização ao seu redor.

Com a conurbação dos territórios ao redor de Brasília, foi formado um aglomerado urbano da área metropolitana de Brasília. Logo, a RIDE-DF é formada por um espaço urbano de alta complexidade metropolitana, pois suas funções atravessam o Distrito, exercendo influência direta em municípios de Minas Gerais e Goiás (Codeplan, 2013). A RIDE-DF possui uma área de 50.611,8 km². Além das cidades que constituem o DF, abrange os municípios de Abadiânia, Água Fria de Goiás, Águas Lindas de Goiás, Alexânia, Alto Paraíso de Goiás, Alvorada do Norte, Barro Alto, Cabeceiras, Cavalcante, Cidade Ocidental, Cocalzinho de Goiás, Corumbá de Goiás, Cristalina, Flores de Goiás, Formosa, Goianésia, Luziânia, Mimoso de Goiás, Niquelândia, Novo Gama, Padre Bernardo, Pirenópolis, Planaltina, Santo Antônio do Descoberto, São João d'Aliança, Simolândia, Valparaíso de Goiás, Vila Boa e Vila Propício, no Estado de Goiás, e de Arinos, Buritis, Cabeceira Grande e Unaí, no Estado de Minas Gerais, podendo ser observados na Figura 6.

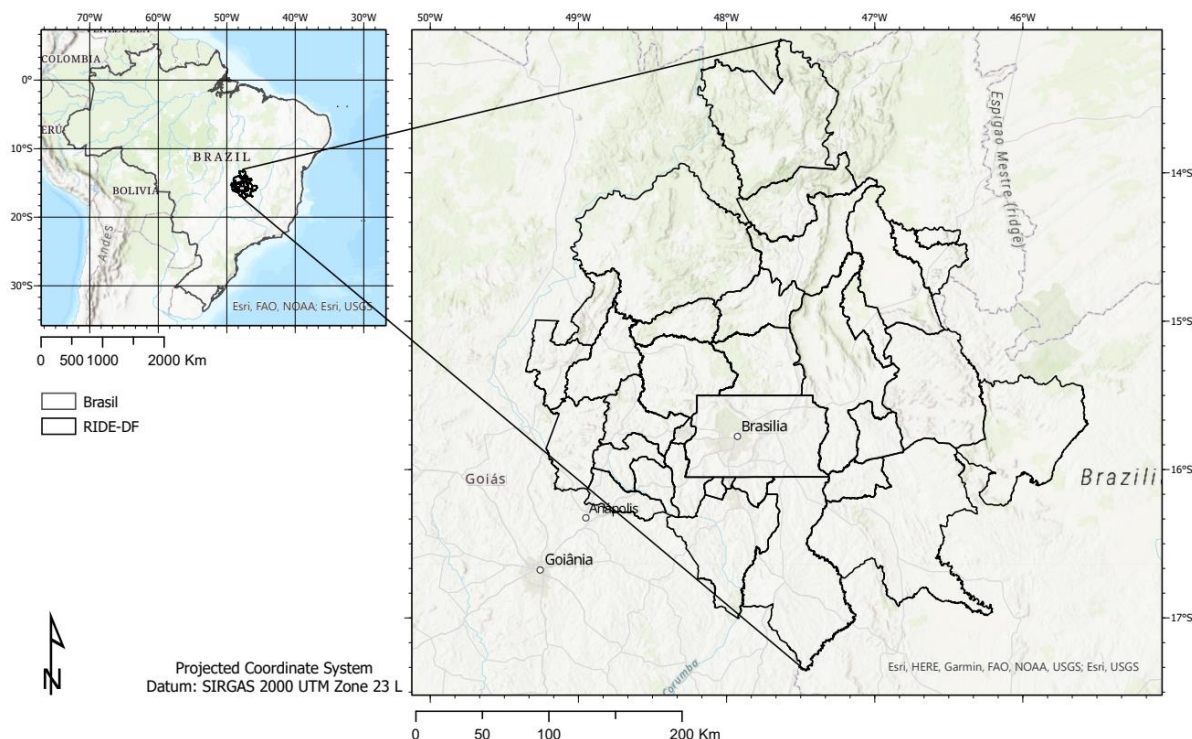


Figura 6. Mapa de localização da RIDE – DF (Fonte: Elaborado pela autora).

A RIDE-DF e entorno é uma região integrada de desenvolvimento econômico e foi criada em 19 de fevereiro de 1998, pela lei Complementar n.º 94 e posteriormente regulamentada em 04 de maio de 2011, pelo Decreto n.º 7.469 (ANDRADE, 2020). São de interesse da RIDE, os serviços públicos comuns ao Distrito Federal, Goiás e Minas Gerais, relacionados às áreas de infraestrutura, geração de emprego e capacitação profissional, saneamento básico (água, coleta, tratamento de esgoto e serviço de limpeza urbana), uso, parcelamento e ocupação do solo, transportes e sistema viário, proteção ao meio ambiente e controle da poluição ambiental, aproveitamento de recursos hídricos e minerais, saúde e assistência social, educação e cultura, produção agropecuária e abastecimento alimentar, habitação popular, serviços de telecomunicação, turismo e segurança pública (ANDRADE, 2020).

A proteção ao meio ambiente e controle da poluição ambiental sendo interesses da RIDE DF e entorno, torna o atual estudo de grande importância na avaliação da sustentabilidade ambiental a fim de dar suporte para políticas públicas da região. De acordo com estudos de projeções de mudanças do clima para a RIDE DF (2019), as mudanças climáticas para a área para os períodos futuros entre os anos de 2011 a 2040, de 2041 a 2070 e de 2071 a 2099, indicam redução de precipitação em períodos chuvosos, porém, chuvas com mais intensidade em áreas isoladas da RIDE. Além da

redução de chuvas, há previsões de redução na umidade relativa do ar e aumento na radiação solar, juntamente com um pequeno aumento de velocidade do vento em todas áreas da RIDE DF (MENEZES, 2016).

4.1.2. Tipos de solos

As principais classes de solos da RIDE - DF podem ser vistas no mapa criado para região (Figura 7), com os dados de solos da Embrapa para todo o Brasil e recortado para a RIDE - DF. Como é visível na imagem, os solos que mais predominam a área são os Cambissolos, latossolos e Plintossolos. Outros solos também estão presentes na região, sendo estes o Argissolo, Chernossolo, Gleissolo, Neossolo, Nitossolo e Planossolo, além de outros solos não citados.

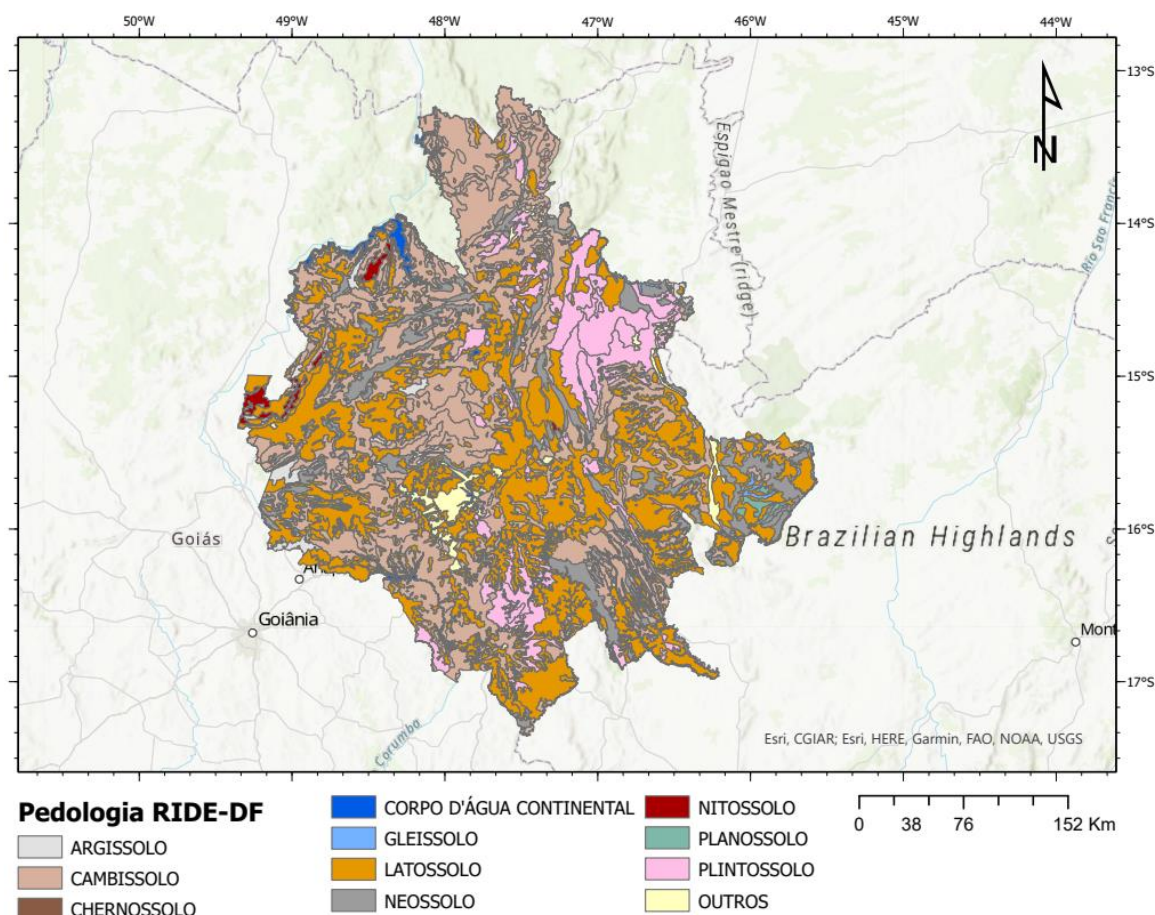


Figura 7. Solos da RIDE-DF (Fonte: Elaborado pela autora).

Cambissolos

São solos com horizonte B inicial subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial ou horizonte A chernozêmico quando o B inicial apresentar argila de alta atividade e

saturação por base alta. Plintita e/ou petroplintita, horizonte glei ou vértico, caso estejam presentes, não estão nos requisitos para serem considerados Plintossolos, Gleissolos ou Vertissolos (DOS SANTOS, 2018).

Latossolos

São solos formados por material mineral, com horizonte B latossólico antecedido de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200 cm a partir da superfície do solo ou dentro de 300 cm caso o horizonte A manifeste mais que 150 cm de espessura (DOS SANTOS, 2018).

Plintossolos

São solos formados por material mineral, contendo horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário caso inicie em 40 cm da superfície ou inicie dentro de 200 cm da superfície quando antecidos de horizonte que apresente cores pálidas, variegadas ou mosqueadas em grandes quantidades (DOS SANTOS, 2018).

Argissolos

São solos com material mineral, horizonte textural B abaixo do A ou E. Apresente argila de baixa atividade ou de alta atividade, porém quando de alta atividade, precisa ser conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico na maioria do horizonte B. Caso apresente horizonte plíntico, não satisfazer os critérios para plintossolo. Caso apresente horizonte glei, não satisfazer os critérios para Gleissolo (DOS SANTOS, 2018).

Chernossolos

São solos compostos por material mineral e têm como principal característica o horizonte A chernozêmico. Este horizonte pode ser seguido de horizonte B primário ou B textural, os dois com argila de alta atividade e eutróficos (saturação por bases menor ou igual a 50%). Pode ser seguido de horizonte cálcico, petrocálcico ou com caráter carbonático coincidindo com horizonte A chernozêmico e/ou com horizonte C, podendo estar o horizonte Bi com espessura menor que 10 cm entre os dois (DOS SANTOS, 2018).

Gleissolos

São solos de material mineral com horizonte glei incipiente entre os primeiros 50 cm a partir da superfície do solo ou com profundidade maior que 50 cm e menor que 150 cm, sendo necessário estar logo abaixo do horizonte A ou E, ou de horizonte hístico com espessura que não o defina como organossolo. Horizontes plânicos, plínticos, concrecionários e litoplíntico, caso estejam presentes, têm que estar à profundidade maior que 200 cm a partir da superfície do solo (DOS SANTOS, 2018).

Neossolos

No geral, neossolos são solos pouco desenvolvidos. São formados por material mineral ou matéria orgânica com menos de 20 cm de espessura. Não apresentam horizonte B diagnóstico. Pode ocorrer horizonte glei, plíntico, vértico e A chernozêmico (DOS SANTOS, 2018).

Nitossolos

São solos constituídos de material mineral, apresentando 350 gramas por quilo, ou mais, de argila, incluindo o horizonte A, que apresentam horizonte B nítico abaixo do horizonte A. Argila de atividade baixa ou atividade alta conjugada com caráter alumínico estão presentes nos primeiros 100 cm do horizonte B (DOS SANTOS, 2018).

Planossolos

São solos com material mineral com horizonte A ou E seguido do horizonte B plânico (DOS SANTOS, 2018).

4.1.3. Vegetação

A RIDE-DF está localizada em sua totalidade no bioma Cerrado. O Cerrado possui uma das mais ricas floras do mundo, sendo um dos hotspots para conservação da biodiversidade mundial (Klink & Machado, 2005).

As fitofisionomias do bioma Cerrado foram definidas com base na proposição de Ribeiro e Walter (2008) onde a vegetação do bioma pode ser dividida em três formações principais (florestais, savânicas e campestres, agrupadas em 14 tipos de fitofisionomias (Figura 8). Maiores detalhes sobre o processo de classificação do bioma podem ser encontrados em Santos et al. (2020).

Sua vegetação possui diversas fitofisionomias, criando formações florestais, formações savânicas e formações campestres.

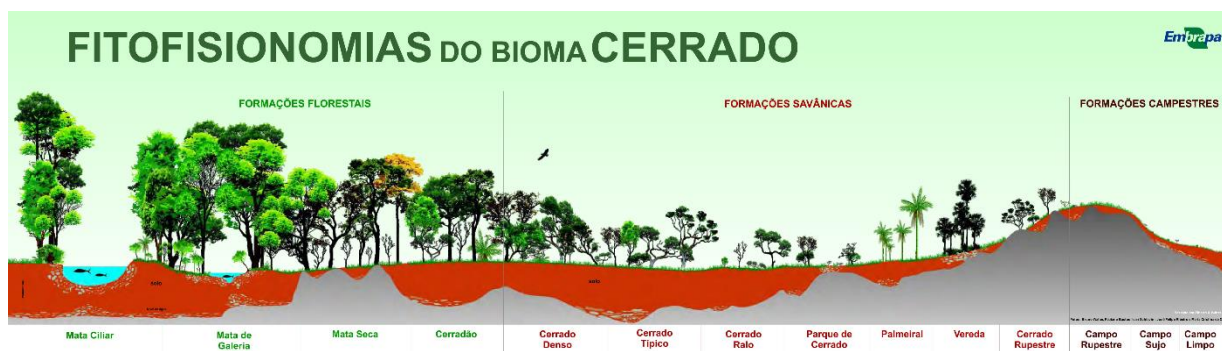


Figura 8. Fitofisionomias do Cerrado (Fonte: Ribeiro e Walter, 2008).

As formações florestais representam áreas com dominância de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo ou descontínuo. Estas formações florestais estão divididas em mata seca, mata de galeria, mata ciliar e cerradão (Ribeiro e Walter, 2008). As formações que ocorrem ao longo de córregos e rios são denominadas matas de galeria ou matas ciliares, sendo a diferença que matas de galeria acontecem em cursos d'água mais estreitos, tendo o fechamento do dossel, cobrindo o curso d'água (Ribeiro e Walter, 2008). A mata ciliar se encontra em rios mais largos, não tendo o fechamento do dossel (Ribeiro e Walter, 2008). As matas secas são florestas fechadas, não possuindo ligação com cursos d'água (Ribeiro e Walter, 2008). Elas possuem diferentes níveis de caducifólia, dependendo somente de manchas de solos mesotróficos profundos (Ribeiro e Walter, 2008). O cerradão possui vegetação de tamanho médio-alto, com copa fechada ou semi-aberta e ocorrem em solos profundos, com boa drenagem (Santos et al., 2020).

As fitofisionomias de formação savânica são divididas em cerrado sensu stricto, veredas, parque de cerrado e palmeiral (Ribeiro e Walter, 2008). Todas as fitofisionomias da formação savânica são compostas por áreas com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato de gramínea (Santos et al., 2020). A vegetação encontrada no cerrado sensu stricto possui árvores baixas, tortas, inclinadas e com ramificações irregulares e retorcidas (Santos et al., 2020). O parque de cerrado, composto de murundus (ou monchões), se caracteriza pelo agrupamento de árvores em pequenas elevações do terreno (Ribeiro e Walter, 2008). A formação savânica palmeiral possui somente uma espécie arbórea, sendo essa, uma palmeira. As

veredas são compostas da espécie de Buriti, *Mauritia flexuosa* (Ribeiro e Walter, 2008). São formadas por agrupamentos não muito densos de espécies arbustivos-herbáceas (Santos et al., 2020).

Por último, as formações campestres se dividem em campo sujo, campo rupestre e campo limpo (Ribeiro e Walter, 2008). Todas as vegetações são majoritariamente rasteiras, porém com algumas diferenças. O campo sujo possui uma quantidade considerável de arbustos e subarbustos, juntamente com estrato herbáceo (Ribeiro e Walter, 2008). Já o campo limpo, não há praticamente presença de arbustos (Santos et al., 2020). O campo rupestre possui estrutura parecida com os outros dois campos, mas com a diferença que pode ocorrer em solos rasos ou afloramento de rochas (Santos et al., 2020).

Atualmente, o Cerrado enfrenta diversos problemas em relação à preservação da sua biodiversidade, já que é um bioma utilizado amplamente em atividades agrícolas, possuindo muito desflorestamento e assim, degradando sua vegetação (Klink & Machado, 2005). Outros problemas presentes são a erosão dos solos, juntamente com a invasão biológica de gramíneas africanas (Klink & Machado, 2005).

4.1.4. CLIMA

O clima do Cerrado é caracterizado como estacional, tendo um período chuvoso e um período seco. O período chuvoso coincide com grande parte do verão, assim como climas tropicais sazonais, sendo os meses de outubro a março, os que mais chovem. Os meses onde há estiagem de chuvas, geralmente se concentram entre os meses de abril a setembro (Klink & Machado, 2005; SILVA et al., 2021).

Mesmo com um período considerável de estiagem, a precipitação anual do bioma é em torno de 1.500mm e sua temperatura varia entre 22°C e 27°C, em média (Klink & Machado, 2005). A falta de chuva em um período pode ocasionar dificuldades no desenvolvimento de plantações florestais (SILVA et al., 2021).

4.1.5. RELEVO - FISIOGRAFIA

A topografia da RIDE-DF (Figura 9) não é tão descrita, entretanto, pode-se fazer uma comparação com a topografia do DF, já que as duas áreas se localizam no planalto central. De acordo com Lousada & Campos (2005), a topografia do DF é descrita como A, B e C, sendo estas, três macrounidades. A primeira unidade, A, está relacionada à

área da chapada, e contém cotas altimétricas superiores à 1000 metros, com relevo plano ou suavemente ondulado. A segunda unidade, B, está relacionada à uma área de dissecação intermediária, possuindo um relevo fracamente dissecado. A terceira e última unidade, C, está relacionada às regiões com vales e depressões, que se localizam próximos aos rios (Brito, 2020).

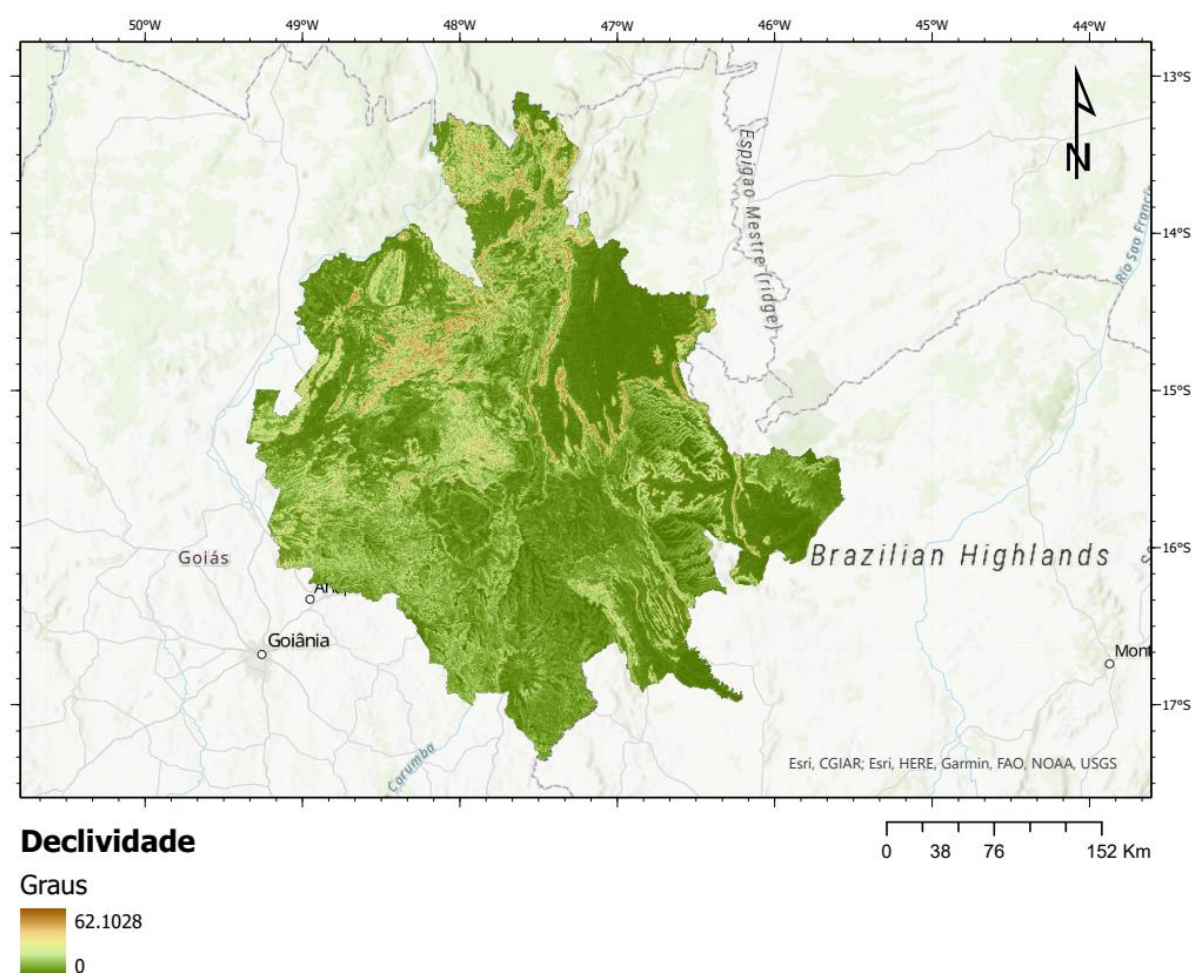


Figura 9. Topografia da RIDE-DF (Fonte: Elaborado pela autora).

Como é visível no mapa, gerado a partir do MDE, a RIDE-DF possui grande parte do centro-oeste da região com maiores declividades, sendo, portanto, classificadas como a unidade C, que possui mais áreas de vales e depressões. Outras áreas, são mais planas, como o município Flores de Goiás, que praticamente não apresentam declividade.

4.1.6. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O uso e ocupação do solo foi um dos fatores principais, presentes em todas as metodologias. Os mapas acima (Figuras 10 e 11) apresentam o uso e ocupação do solo dos anos de 1985 e 2020, respectivamente. Para elaboração do mapa, foram utilizados dados do MapBiomas (1985 e 2020). É possível observar que com o passar dos anos, houve um aumento significativo no plantio de soja. As áreas de agricultura em geral e de pastagem já estavam presentes desde o ano 1985, entretanto, a cultura de soja teve um impulso considerável, principalmente no centro-sul da RIDE-DF.

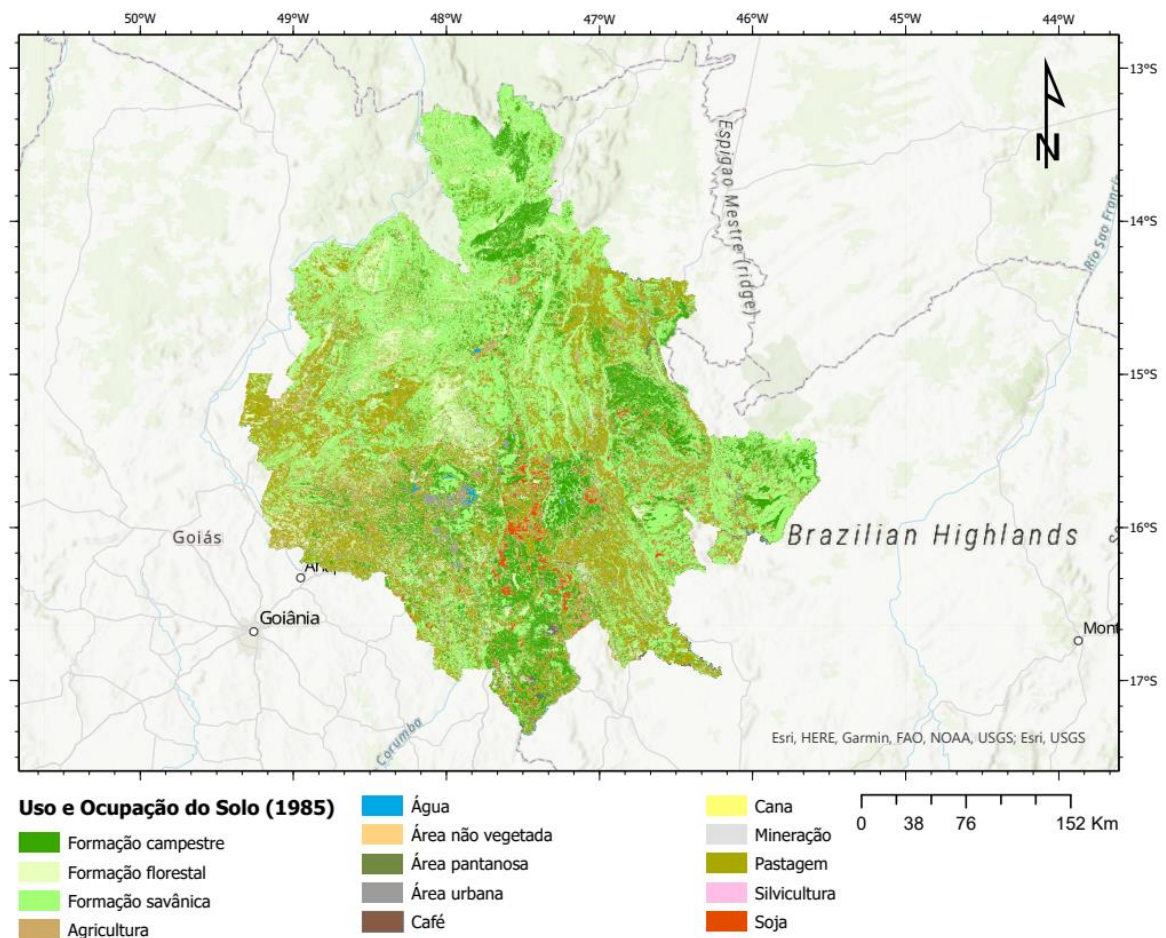


Figura 10. Uso e ocupação do solo da RIDE-DF em 1985 (Fonte: Elaborado pela autora).

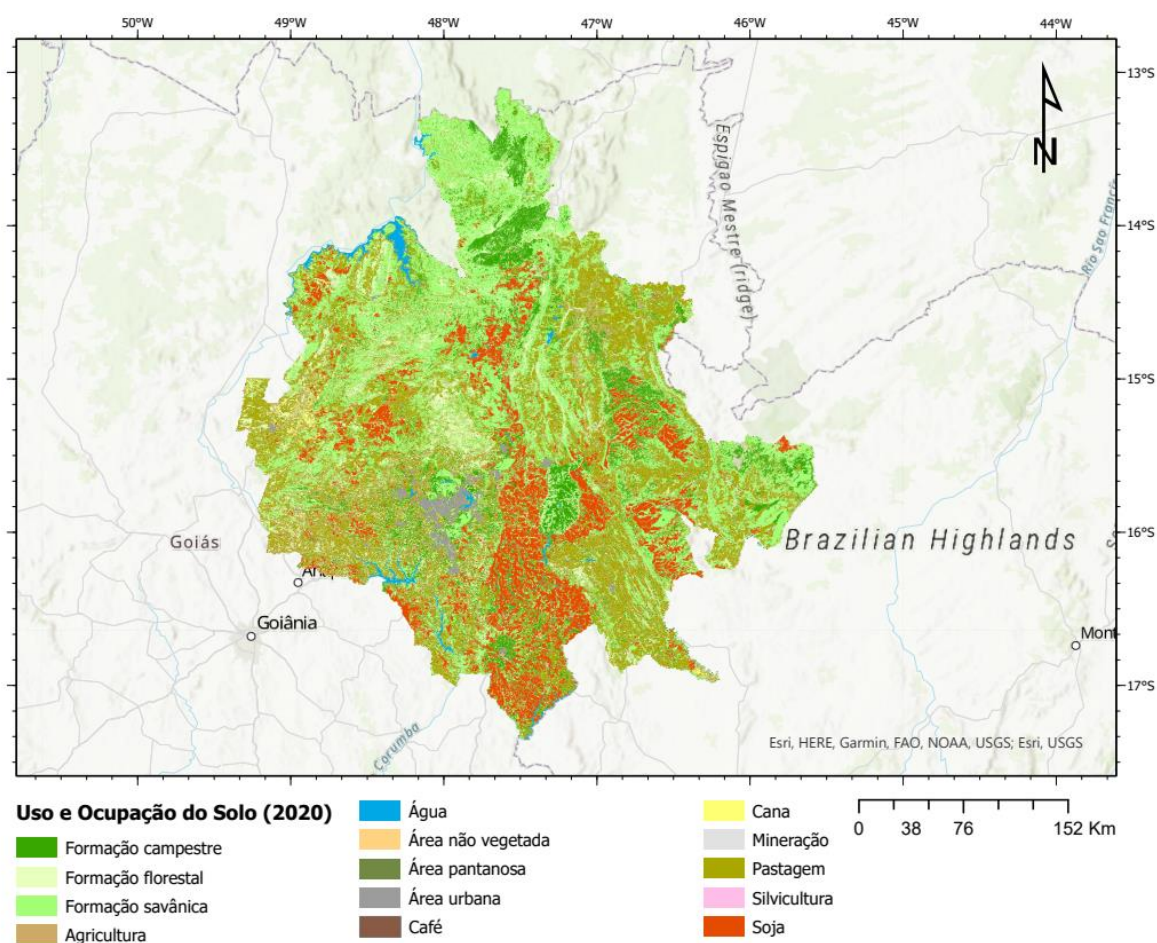


Figura 11. Uso e ocupação do solo da RIDE-DF em 2020 (Fonte: Elaborado pela autora).

Mesmo que as áreas de agricultura e pastagem tenham se mantido praticamente no mesmo local, é perceptível que houve uma intensificação no uso do solo voltado para estas práticas.

Áreas urbanas também tiveram desenvolvimento, entretanto, com grande parte voltado para o entorno do DF, mostrando que o desenvolvimento urbano da RIDE-DF gira mais entorno do DF que da área total em geral.

Áreas ao norte da RIDE-DF, entretanto, permaneceram mais preservadas durante os anos, porém, comparativamente, ainda é uma área consideravelmente menor em relação ao resto da RIDE-DF que não se manteve preservada, principalmente se comparado à área agrícola.

4.2. EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DO SOLO – EROÇÃO

A equação universal de perda de solo (EUPS) é uma metodologia já amplamente utilizada para o cálculo de erosão, criada originalmente por Wischmeier e Smith no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, em 1978. Mesmo sendo uma formulação empírica, é a mais utilizada no Brasil para estimar a perda de solo, já que estudos, como de Bertoni e Lombardi Neto (1990), tornaram a aplicação no país possível (SILVA et al., 2010).

O cálculo da EUPS é feito a partir da fórmula:

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

Onde:

A = perda de solo por unidade de área e tempo, em tonelada por ano;

R = fator de erosividade da chuva, expressa o poder erosivo da precipitação média anual;

K = fator de erodibilidade do solo, expressa a tendência de cada tipo de solo de sofrer erosão por chuva;

L = fator topográfico, expressa o comprimento do declive;

S = fator topográfico, expressa a declividade do terreno ou o grau de declive;

C = fator de uso e manejo do solo;

P = fator de práticas conservacionistas;

4.2.1. Erosividade da chuva - Fator R

O fator R é o valor numérico do potencial das gotas de chuva provocarem erosão em uma determinada área. Este fator foi obtido a partir do valor das médias anuais e mensais de pluviosidade. Há diferentes formas de se calcular o fator erosividade. No atual trabalho, foi possível quantificar o potencial de erosividade pela chuva a partir da equação de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992).

$$Rx = 68.73 \times \left(\frac{Mx^2}{P} \right)^{0.841} \quad (2)$$

Onde:

Rx = fator R para o mês X (MJ mm/ha/h/ano);

Mx = média mensal de precipitação para o mês x (mm);

P = média anual de precipitação (mm);

Os dados de precipitação foram coletados através do multi-satélite GPM-IMERG, disponibilizado pela NASA na plataforma Giovanni. Foram consideradas médias mensais de chuvas pelo período de 20 anos, de 2000 até 2020 para a RIDE-DF, sendo posteriormente interpolados no software ArcGIS PRO.

4.2.2. Erodibilidade do solo - Fator K

Por definição, a erodibilidade é um fator numérico que indica a suscetibilidade de um tipo de solo sofrer erosão, apresentando, portanto, a vulnerabilidade do solo (Lamana., 2020). Os valores de K variam entre 0 e 1, sendo que valores mais próximos de 0 apresentam menor tendência de sofrer erosão e valores mais próximos de 1 apresentam maior tendência de sofrer erosão (Bertoni & Lombardi Neto (2010).

Para fator erodibilidade do solo, foi feito um levantamento bibliográfico, feito a partir de vários artigos que utilizaram a metodologia EUPS, principalmente em locais do bioma cerrado. A partir do levantamento dos valores, foi possível fazer uma média dos valores de K (tabela 2) para cada tipo de solo. Com as médias atribuídas à cada tipo de solo, foi utilizado o mapa de solos da Embrapa para gerar o *raster* dos valores de K na RIDE-DF.

Tabela 2. Valores de K

Solo	K (m/h)
Argissolo	0.388
Cambissolo	0.0164
Chernossolo	0.0170
Gleissolo	0.0114
Latossolo Amarelo	0.0160
Latossolo Vermelho	0.0179

Latossolo Vermelho-Amarelo	0.0184
Nitossolo	0.0425
Planossolo	0.0162
Plintossolo	0.134

(Fonte: Revisão bibliográfica realizada pelo autor).

4.2.3. Uso e manejo e práticas conservacionistas – Fator CP

O fator CP está relacionado ao uso de solo e sua cobertura. Este fator é bastante variável de acordo com o tempo, pois a paisagem vai mudando, principalmente em locais com alta presença antrópica (Borges, 2009). Por este motivo, para se calcular o valor de CP, é necessário ter mapas de uso de solo atualizados ou diretamente para o ano que se deseja trabalhar (Barbosa et al, 2015).

No presente estudo, os valores de CP, assim como os valores de K, foram coletados em diversos estudos em um levantamento bibliográfico e posteriormente, feita uma média dos valores. Com os valores de CP (tabela 3), foi possível integrá-los no mapa de uso e cobertura do solo, disponível no MapBiomas (1985 e 2020).

Tabela 3. Valores de CP

Uso e Cobertura do Solo	CP
Agricultura	0.144
Água	0
Área não vegetada	0.801
Área pantanosa	0.0001
Área urbana	0
Café	0.2
Cana-de-açúcar	0.05
Formação campestre	0.01
Formação florestal	0.000089
Formação savânica	0.0223
Pastagem	0.01

Silvicultura	0.01
Soja	0.2

(Fonte: Revisão bibliográfica realizada pelo autor).

4.2.4. Potencial topográfico de erosão hídrica – Fator LS

O fator topográfico (LS), foi feito a partir de geoprocessamento pelo software ArcGIS PRO. Inicialmente, foi utilizada a ferramenta Slope para que pudesse gerar a declividade com base no modelo digital de elevação (MDE), obtido pelos dados de sensoriamento remoto da NASA. Com o slope, gerado em graus, foi utilizada a ferramenta flow direction para saber qual a direção do fluxo na RIDE-DF. Posteriormente, foi utilizada a ferramenta flow accumulation. Com os devidos mapas gerados, foi possível calcular o fator LS, a partir da equação desenvolvida por Moore e Burch (1986):

$$LS = \left(\frac{A}{22.13} \right)^{0.4} \times \left(\frac{(\sin \theta)}{0.0896} \right)^{1.3} \quad (3)$$

Onde:

A = produto de flow accumulation

θ = Slope, em graus

Ambos derivados diretamente do MDE.

4.3. METODOLOGIA DRASTIC – CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFERO

A metodologia DRASTIC, desenvolvida por ALLER et al. (1987) foi feita para que fosse possível classificar avaliar a vulnerabilidade de um aquífero, classificando hierarquicamente os parâmetros hidrogeológicos, como profundidade de água, recarga de aquífero litologia do aquífero, tipo de solo, topografia, textura da zona vadosa e condutividade hidráulica do aquífero (Silva, 2014). No presente trabalho, foi feita uma adaptação, incluindo um parâmetro de uso e cobertura de solo, pois a metodologia apresentava somente parâmetros hidráulicos do aquífero, contendo

assim, dificuldade em apontar como o uso da cobertura do solo pode atingir os aquíferos, como contaminação por agrotóxicos, fertilizantes, derramamento de esgotos, mineração e outros problemas que ocorrem na superfície, principalmente por ações humanas, que chegam nas águas subterrâneas.

Cada um dos parâmetros (tabela 4) possui um peso, que varia entre 1 e 5, sendo os parâmetros mais importantes, os que recebem peso de maior valor, como pode-se ver na tabela abaixo:

Tabela 4. Parâmetros do DRASTIC

Letra	Significado	Peso
D	Profundidade da água no aquífero	5
R	Recarga do aquífero	4
A	Material do aquífero	3
S	Tipo de solo	2
T	Topografia	1
I	Impacto da zona vadosa	5
C	Condutividade hidráulica	3
O	Uso e ocupação do solo	5
W	Peso geral de cada parâmetro DRASTIC	-
r	Número relacionado ao índice de cada parâmetro	-

(Fonte: Silva (2014) adaptado de Aller et al. (1978))

O modelo DRASTIC, feito por Aller et al. (1978), foi produzido para o US Environmental Protection Agency (EPA), podendo avaliar a vulnerabilidade à contaminação em qualquer local dos Estados Unidos. Logo, o modelo não foi pensado de maneira efetiva para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos brasileiros. Com isto, foi utilizada uma versão adaptada por Silva (2014), onde houveram adaptações para características do Brasil, mais especificamente em uma área de transição do bioma cerrado para o bioma amazônico.

Os parâmetros são divididos em oito. O primeiro parâmetro é chamado de profundidade da água do aquífero (D) (tabela 5), que condiz à largura da zona não saturada, sendo, portanto, onde ocorre a infiltração do aquífero.

Tabela 5. Classe de profundidade de água do aquífero – D

Profundidade (Metros)	Índice
< 1,5	10
1,5 – 4,6	9
4,6 – 9,1	7
9,1 – 15,2	5
15,2 – 22,9	3
22,9 – 30,5	2
> 30,5	1

(Fonte: Silva (2014) adaptado de Aller et al. (1978)).

O segundo parâmetro se refere a recarga do aquífero (R) (tabela 6), tendo como parâmetro a quantidade de água, em milímetro, que o aquífero recebe por ano, indicando assim, quanto mais chuva, maior a chance de um aquífero ser contaminado. A tabela y exemplifica os valores utilizados como referência.

Tabela 6. Classe da recarga de aquífero – R

(mm/ano)	Índice
< 51	1
51 - 102	3
102 - 178	6
178 - 254	8
> 254	9

(Fonte: Silva (2014) adaptado de Aller et al. (1978)).

O terceiro parâmetro é denominado litologia do aquífero (A) (tabela 7). Nele, o índice está relacionado com o tipo de rocha que compõe o aquífero, sendo possível indicar como a água se move dentro do aquífero e consequentemente, o contaminante.

Tabela 7. Classe da litologia do aquífero - A

Natureza do aquífero	Índice	Valor médio adotado
Xisto argiloso, argilito	1 a 3	2
Rocha metamórfica, ígnea	2 a 5	3

Rocha metamórfica, ígnea alterada	3 a 5	4
“Till” glacial	4 a 6	5
Arenito, calcário e argilito estratificado	5 a 9	6
Arenito maciço	4 a 9	6
Calcário maciço	4 a 9	6
Areia e cascalho	4 a 9	8
Basalto	2 a 10	9
Calcário carsificado	9 a 10	10

(Fonte: Silva (2014) adaptado de Aller et al. (1978)).

O solo é o quarto parâmetro, correspondendo à parte superior da zona vadosa, sendo a parte da superfície, onde se localizam nutrientes e atividades biológicas. A classificação consiste principalmente na textura do solo. Na tabela 8, é observável que onde há pouca formação de solo, ou texturas mais arenosas, o índice é maior, já que a permeabilidade do solo se torna maior. Já em solos mais argilosos, a passagem de água se torna mais difícil, e assim a passagem de contaminantes, sendo, portanto, o valor do índice menor.

Tabela 8. Classe do solo - S

Solo	Índice
Fino ou ausente	10
Cascalho	10
Areia	9
Turfa	8
Argila agregada e/ou expansível	7
Franco arenoso	6
Franco	5
Franco siltoso	4
Franco argiloso	3
Lodo	2
Argila não agregada e não expansível	1

(Fonte: Silva (2014) adaptado de Aller et al. (1978)).

O quinto parâmetro, a topografia do aquífero (T), também é um parâmetro bastante influente para determinar a contaminação do aquífero. Na tabela 9, declividades maiores que 18% já apontam baixo nível de contaminação, pois em declividades altas, a água no terreno não consegue ter uma infiltração tão efetiva como em um terreno plano, ocorrendo bastante escoamento superficial.

Tabela 9. Classe da inclinação topográfica - T

Declive (%)	Índice
< 2	10
2 a 6	9
6 a 12	5
12 a 18	3
> 18	1

(Fonte: Silva (2014) adaptado de Aller et al. (1978)).

O tempo de trânsito de água e contaminantes é influenciado pela zona não saturada do aquífero. O sexto parâmetro (tabela 10) se refere ao impacto da zona vadosa, que é composto por todos materiais da zona não saturada, indicando assim, a velocidade em que uma contaminação pode ocorrer no aquífero. O índice também está relacionado a textura do solo, como pode ser visto na tabela d.

Tabela 10. Classe do impacto da zona vadosa - I

Zona não saturada	Valor médio adotado
Camada confinante	-
Argila/silte	3
Xisto argiloso/argilito	3
Calcário	3
Arenito	6
Arenito, calcário e argilito estratificados	6
Areia e cascalho com percentagens significativas	6

Areia e cascalho	8
Basalto	9
Calcário carsificado	10

(Fonte: Silva (2014) adaptado de Aller et al. (1978)).

Outro fator que determina quanto de água e contaminante se move dentro do aquífero é a condutividade hidráulica (C) (tabela 11), sendo o sétimo parâmetro. Os valores de K, estão representados na tabela em metros por dia, podendo observar a velocidade em que pode ocorrer a contaminação. Os valores de K foram utilizados com base nos valores coletados por meio de revisão bibliográfica.

Tabela 11. Classe da condutividade hidráulica do aquífero - C

K(m/d)	Índice
0 a 4,1	1
4,1 a 12,2	2
12,2 a 28,5	4
28,5 a 40,7	6
40,7 a 81,5	8
> 81,5	10

(Fonte: Silva (2014) adaptado de Aller et al. (1978)).

O oitavo parâmetro, de uso e ocupação do solo (O) (tabela 12), foi baseado no trabalho de Lima (2017), onde há relação da qualidade da água com o mapa de uso e ocupação do solo. Os valores do índice foram criados a partir dos valores determinados por Lima, que variam de 0 a 100, sendo valores menores, mais danosos. Como os valores no modelo DRASTIC são colocados de maneira inversa na metodologia de Lima, os maiores valores se tornam índices de menor valor na adaptação feita para o DRASTIC, sendo assim, possível levar em consideração a ação antrópica na contaminação de aquíferos.

Tabela 12. Classe de uso e ocupação do solo - O

Uso e Cobertura do Solo	Índice
-------------------------	--------

Agricultura	9
Água	0
Área não vegetada	3
Área pantanosa	2
Área urbana	3
Café	9
Cana-de-açúcar	9
Formação campestre	2
Formação florestal	2
Formação savânica	2
Pastagem	6
Silvicultura	8
Soja	9

(Fonte: Silva (2014) Adaptado de Lima (2017) pelo autor)

Para o cálculo do índice final do DRASTIC, é feita uma soma ponderada através da equação:

$$DRASTIC = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw + OrOw \quad (4)$$

Onde:

Dr = Índice da faixa de valores da profundidade da água;

Dw = Peso da profundidade da água;

Rr = Índice da faixa de valores da recarga da água;

Rw = Peso da recarga da água;

Ar = Índice da faixa de valores da litologia do aquífero;

Aw = Peso da litologia do aquífero;

Sr = Índice da faixa de valores do tipo de solo;

Sw = Peso do tipo de solo;

Tr = Índice da faixa de valores da inclinação topográfica;

Tw = Peso da inclinação topográfica;

Ir = Índice da faixa de valores da zona vadosa;

Iw = Peso da zona vadosa;

Cr = Índice da faixa de valores da condutividade hidráulica;

Cw = Peso da condutividade hidráulica;

Or = Índice da faixa de valores do uso e ocupação de solo;

Ow = Peso do uso e ocupação de solo.

Os valores do índice DRASTIC são classificados de acordo com a classe de vulnerabilidade, que vai de desprezível à extrema, como pode ser visto na tabela.

4.4. RECARGA DE AQUÍFERO

Para calcular o quanto de água infiltra nos aquíferos da área da RIDE DF, foi utilizada a metodologia desenvolvida por Gonçalves et al., (2009).

Para a confecção do mapa, foi utilizado o mapa de solos da Embrapa. Com o mapa de solos, foi possível classifica-lo de acordo com o grupo de solos hidrológicos (tabela 13), formando assim, o mapa de grupo de solos hidrológicos.

Tabela 13. Solos hidrológicos

GRUPO HIDROLÓGICO	TIPOS DE SOLO
A	LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.
	LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média,

B

mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.

C

ARGISSOLO pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÁPLICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (latossólico); ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO.

D

NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

(Fonte: ANA, 2018)

Para que fosse possível gerar o mapa de curva-número (CN), foi necessário o mapa de uso e ocupação do solo. Com os dois mapas, sendo os de solo e ocupação e uso de solo, foi feita a integração com os dois mapas. Com a integração, foi possível fazer o mapa de CN. Os valores de CN (tabela 14) foram colocados no mapa a partir da ferramenta *calculate field*, sendo possível atrelar valores de CN à classificação de solos hidrológicos e ao uso e ocupação de solo.

Tabela 14. Valores de CN

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	A	B	C	D
AGRICULTURA	63	75	83	87
SOJA	63	75	83	87
FORMAÇÃO FLORESTAL	26	52	62	69
FORMAÇÃO SAVÂNICA	30	55	70	77
FORMAÇÃO CAMPESTRE	39	61	74	80
ÁGUA	0	0	0	0
ÁREA PANTANOSA	65	77	85	90
PASTAGEM	63	75	87	87
ÁREA NÃO VEGETADA	86	86	91	94
ÁREA URBANA	89	92	94	95
CAFÉ	63	75	83	87
CANA-DE- AÇÚCAR	63	75	83	87
MINERAÇÃO	86	86	83	94
SILVICULTURA	30	55	70	77

(Fonte: Adaptado de Sartori (2004).

Com o mapa de CN, foi possível dar continuidade na metodologia, gerando o mapa de capacidade de retenção máxima de água dos solos (S).

$$S(mm) = \frac{25400}{CN} \quad (5)$$

Onde:

S = capacidade de retenção máxima de água dos solos;

CN = curva-número.

Com o mapa com valores de S, juntamente com a média pluviométrica, foi gerado o mapa de disponibilidade hídrica potencial (DH).

$$DH = \frac{S}{Chuva} (6)$$

Onde:

DH = Disponibilidade hídrica;

S = Capacidade de retenção máxima de água dos solos.

O potencial de recarga da área foi gerado a partir da integração do mapa de disponibilidade hídrica e da taxa de infiltração em função da declividade (Tdecl), a partir da seguinte equação:

$$PR = \frac{(DH \times Tdecl)}{100} (7)$$

Onde:

PR = Potencial de recarga;

DH = Disponibilidade hídrica;

Tdecl = Taxa de infiltração em função da declividade.

A taxa de infiltração em função da declividade (tabela 15) foi definida por Gonçalves (2009), de forma subjetiva, com base no funcionamento do fluxo superficial.

Tabela 15. Taxa de infiltração de acordo com a declividade

Declividade	Taxa de Infiltração
0 a 8%	95%
8 a 15%	70%
15 a 30%	45%
> 30%	5%

(Fonte: Goncalves et al. (2009)).

4.5. MANUTENÇÃO DA BIODIVERSIDADE E PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

A metodologia de manutenção da biodiversidade e produção de alimentos é a mesma, criada por Lima (2017).

A metodologia consiste na utilização do mapa de uso e ocupação de solo. Com ele, é possível gerar mapas com valores pré-estabelecidos (tabela 16 e 17) para cada tipo de uso ou ocupação.

Tabela 16. Valores dos serviços ecossistêmicos para uso e ocupação do solo

CLASSE DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	MANUTENÇÃO DA BIODIVERSIDADE
FORMAÇÃO SAVÂNICA	100
AGRICULTURA	20
PASTO	30
RESERVATÓRIO	30
AGRICULTURA IRRIGADA	10
FORMAÇÃO CAMPESTRE	100
ÁREA CONSTRUÍDA	0
SILVICULTURA	30
VEGETAÇÃO DEGRADADA	30
SOLO EXPOSTO	0
FORMAÇÃO FLORESTAL	100
CRIAÇÃO DE PEIXES	10
PEQUENAS BARRAGENS	10
PIVÔS CENTRAIS	10
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS	0
ESTRADAS PAVIMENTADAS	0
CAMPOS DE MURUNDU	1
URBANIZAÇÃO	10

(Fonte: Lima et al. (2017)).

Tabela 17. Valores dos serviços ecossistêmicos para uso e ocupação do solo

CLASSE DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	PRODUÇÃO DE ALIMENTOS
----------------------------------	-----------------------

FORMAÇÃO SAVÂNICA	20
AGRICULTURA	80
PASTO	70
RESERVATÓRIO	10
AGRICULTURA IRRIGADA	100
FORMAÇÃO CAMPESTRE	30
ÁREA CONSTRUÍDA	0
SILVICULTURA	0
VEGETAÇÃO DEGRADADA	5
SOLO EXPOSTO	0
FORMAÇÃO FLORESTAL	20
CRIAÇÃO DE PEIXES	100
PEQUENAS BARRAGENS	0
PIVÔS CENTRAIS	100
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS	0
ESTRADAS PAVIMENTADAS	0
CAMPOS DE MURUNDU	5
URBANIZAÇÃO	0

(Fonte: Lima et al. (2017)).

Os valores variam de 0 a 100, sendo os valores mais altos, os que representam condições mais favoráveis. Estes valores, que representam o uso e ocupação de solo, são os valores mais significativos, entretanto, há outros valores que possuem influência, sendo chamados de fatores de redução.

Os fatores de redução, tanto para manutenção da biodiversidade quanto para provisão de alimentos estão relacionados ao tipo de solo e a declividade do terreno. Os valores de redução podem ser vistos a partir das tabelas abaixo (tabelas 18, 19, 20 e 21):

Tabela 18. Fatores de redução

CLASSE DE SOLO	FATOR DE REDUÇÃO (MANUTENÇÃO DA BIODIVERSIDADE)
GLEISSOLOS (GX 1-2)	1

NEOSSOLOS (RQ)	1
CAMBISSOLOS (CX 1-4)	1
LATOSSOLOS (LV 2-3)	1
LATOSSOLOS (LA)	1
LATOSSOLOS (LVA 1-4)	1

(Fonte: Lima et al. (2017)).

Tabela 19. Fatores de redução

SLOPE (%)	FATOR DE REDUÇÃO (MANUTENÇÃO DA BIODIVERSIDADE)
< 1	1
1-5	1
5-10	1
10-20	1
20-45	1

(Fonte: Lima et al. (2017)).

Tabela 20. Fatores de redução

CLASSE DE SOLO	FATOR DE REDUÇÃO (PRODUÇÃO DE ALIMENTOS)
GLEISSOLOS (GX 1-2)	0.4
NEOSSOLOS (RQ)	0.8
CAMBISSOLOS (CX 1-4)	0.6
LATOSSOLOS (LV 2-3)	1
LATOSSOLOS (LA)	1
LATOSSOLOS (LVA 1-4)	1

(Fonte: Lima et al. (2017)).

Tabela 21. Fatores de redução

SLOPE (%)	FATOR DE REDUÇÃO (PRODUÇÃO DE ALIMENTOS)
< 1	1
1-5	1
5-10	0.8

10-20		0.6
20-45		0.4

(Fonte: Lima et al. (2017)).

Logo, para gerar o mapa de manutenção da biodiversidade e o mapa de provisão de alimentos, é preciso multiplicar mapa que contém os valores do uso e ocupação de solo com o mapa de solo, que possuem os valores de redução do fator de solo e o mapa de declividade, que possui os valores de redução do fator declividade, assim, formando um novo valor, específico para cada área.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados para cada indicador, sua integração, e suas respectivas discussões. Os resultados serão apresentados em forma de mapas, para os anos de 1985 e 2020, podendo assim, fazer uma comparação relacionada ao desenvolvimento da RIDE-DF.

5.1. INDICADOR DE POTENCIAL DE PERDA DE SOLO POR EROSÃO

Para o mapeamento da perda de solo por erosão, foi utilizada a metodologia EUPS (Wischmeier & Smith, 1978), adaptada para as condições do cerrado. Apesar dos baixos valores do potencial de perda do solo, observa-se que houve um incremento entre os anos de 1985 e 2020, como pode ser visto na Figura 12 e Figura 13, respectivamente, havendo um aumento no potencial de erosão. Este aumento pode ser justificado pelo aumento do desenvolvimento urbano na região, já que em 1985 não havia tanto desenvolvimento ao redor do Distrito Federal como atualmente. Entretanto, consideramos que a principal razão esteja associada ao aumento da atividade agrícola, sendo outro fator importante para uma maior perda de solo no decorrer dos anos, porém, em geral, o processo agrícola não interfere tanto quanto a urbanização.

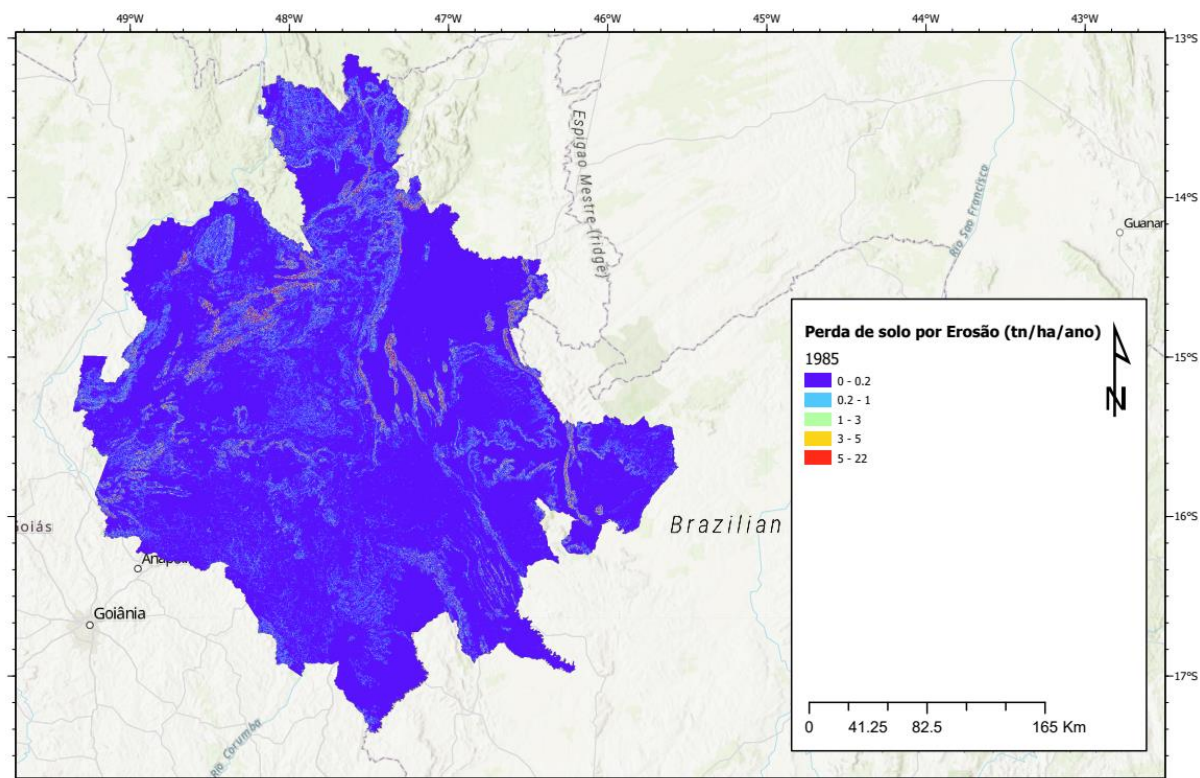


Figura 12. Perda de solo por erosão em 1985 (Fonte: Elaborado pela autora).

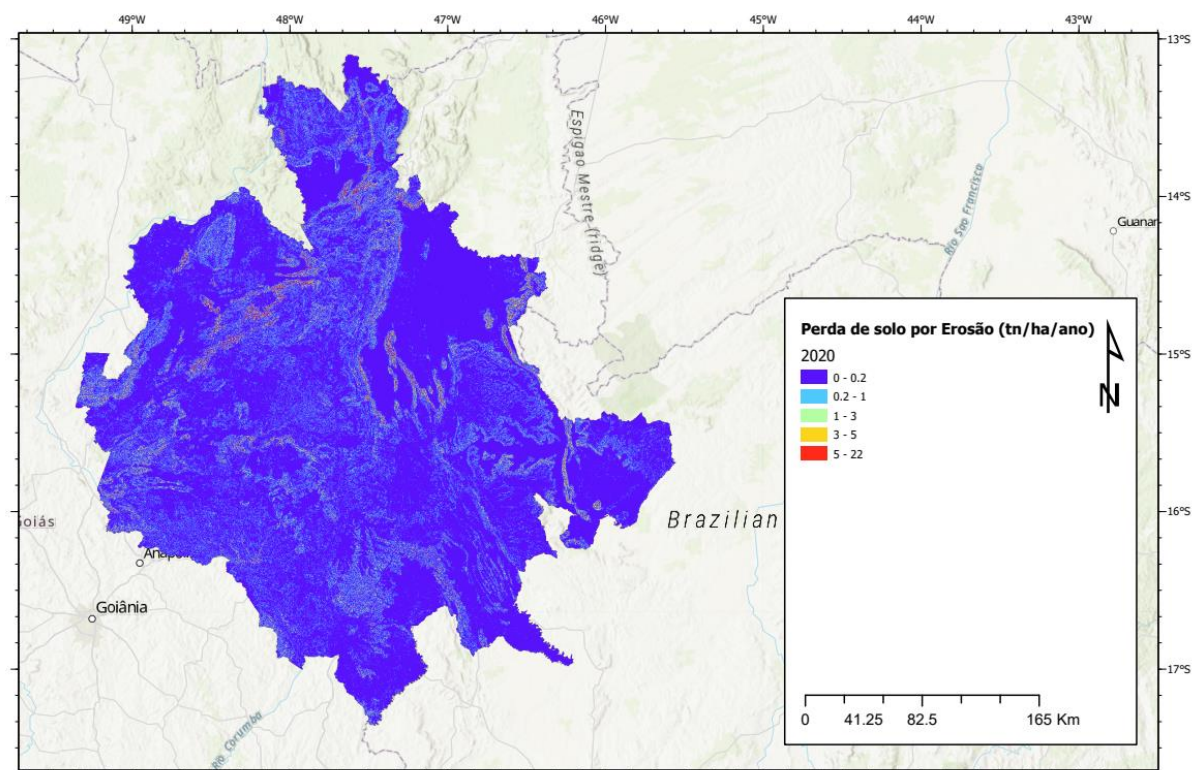


Figura 13. Perda de solo por Erosão em 2020 (Fonte: Elaborado pela autora).

Na metodologia, o fator que utiliza o uso e ocupação de solo é o fator CP, nele, valores maiores são relacionados a áreas mais degradadas, como de solo exposto, bastante presente em áreas urbanas, e áreas agrícolas, já que não mantêm uma cobertura arbórea intensa, salvo silviculturas. Entretanto, no fator CP, áreas construídas possuem valor 0, o que faz sentido, já que em áreas construídas não haverá erosão do solo, que estará coberto por construções ou asfalto, entretanto, pode ocasionar um aumento na percepção de que áreas urbanas não possuem erosão, dependendo de como o mapa de uso e ocupação de solo foi produzido, sendo importante, portanto, se atentar a isto para a produção de um mapa mais parelho possível com a realidade.

Outra condição para o potencial de erosão pode ser explicada pela topografia (LS) do local, pois a parte norte possui condições geomorfológicas mais acidentadas, consequentemente, ocorrem processos erosivos naturais mais expressivos que a parte sul, de relevo mais suave e ondulado. Evidenciado no ano de 1985, onde as atividades agrícolas ainda estão no início do processo de expansão. Como o fator também não é facilmente mutável, como a mudança no uso e cobertura de solo, a diferença entre os anos de 1985 e 2020 no fator não é significativa. O fator K é bastante significativo no processo de erosão, já que indica a velocidade em que o solo consegue absorver a água, evitando o escoamento, ou intensificando. Entretanto, em questão de comparação de anos, também não é um fator mutável, não possuindo influência na diferença entre os anos de 1985 e 2020.

O fator relacionado à chuva, R, possui uma variabilidade, já que a intensidade de chuvas no decorrer dos anos não é igual. De acordo com Lima (2018), houve uma diminuição na quantidade de chuvas significativa entre anos 2013 a 2017, o que ocasionou uma crise hídrica no DF. Logo, como há diferença entre a quantidade de chuvas entre os anos de 1985 e 2020, é um fator que influenciou a diferença nos mapas. De acordo com o IPCC (2021), mudanças climáticas já estão presentes e se tornam cada dia mais intensas, logo, variações climáticas como aumento ou diminuição de chuvas se tornarão cada vez mais comum, sendo necessárias políticas públicas para sua mitigação.

5.2. INDICADOR DE POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DE AQUIFERO

Os resultados obtidos para o indicador (Figuras 14 e 15) mostram que houve um aumento do potencial de contaminação do aquífero entre os anos de 1985 e 2020. A metodologia de Aller et al., (1978), entrega um índice bastante técnico e relacionado à hidrogeologia do aquífero. Houve uma adaptação na metodologia, incluindo mais um fator, relacionado ao uso e ocupação do solo, já que o mesmo interfere altamente na contaminação de um aquífero. Utilizando somente a metodologia de Aller, foi possível observar um decaimento no potencial da contaminação do solo, ocasionado pela diminuição na taxa de infiltração do aquífero, que levaria então a uma diminuição na contaminação, já que os contaminantes não conseguiriam chegar até o aquífero, pois com aumento da impermeabilidade do solo e da compactação do mesmo, ocorre uma diminuição da recarga.

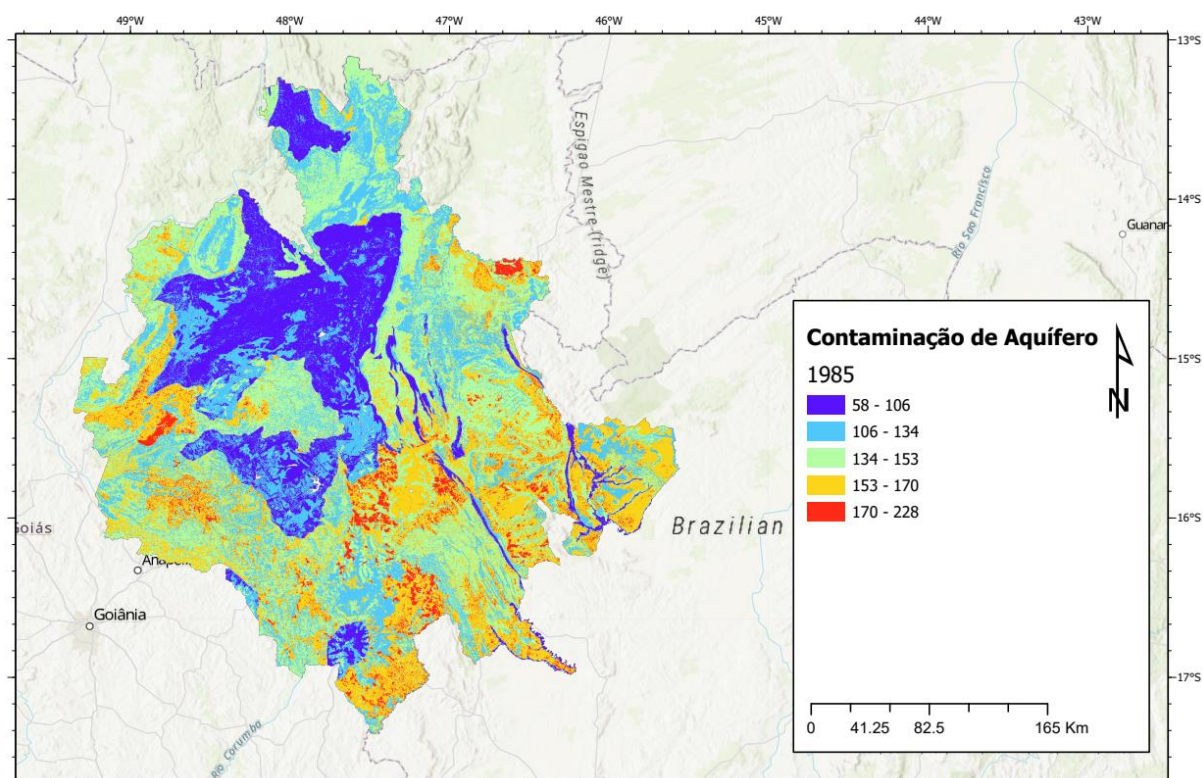


Figura 14. Contaminação de aquífero em 1985 (Fonte: Elaborado pela autora).

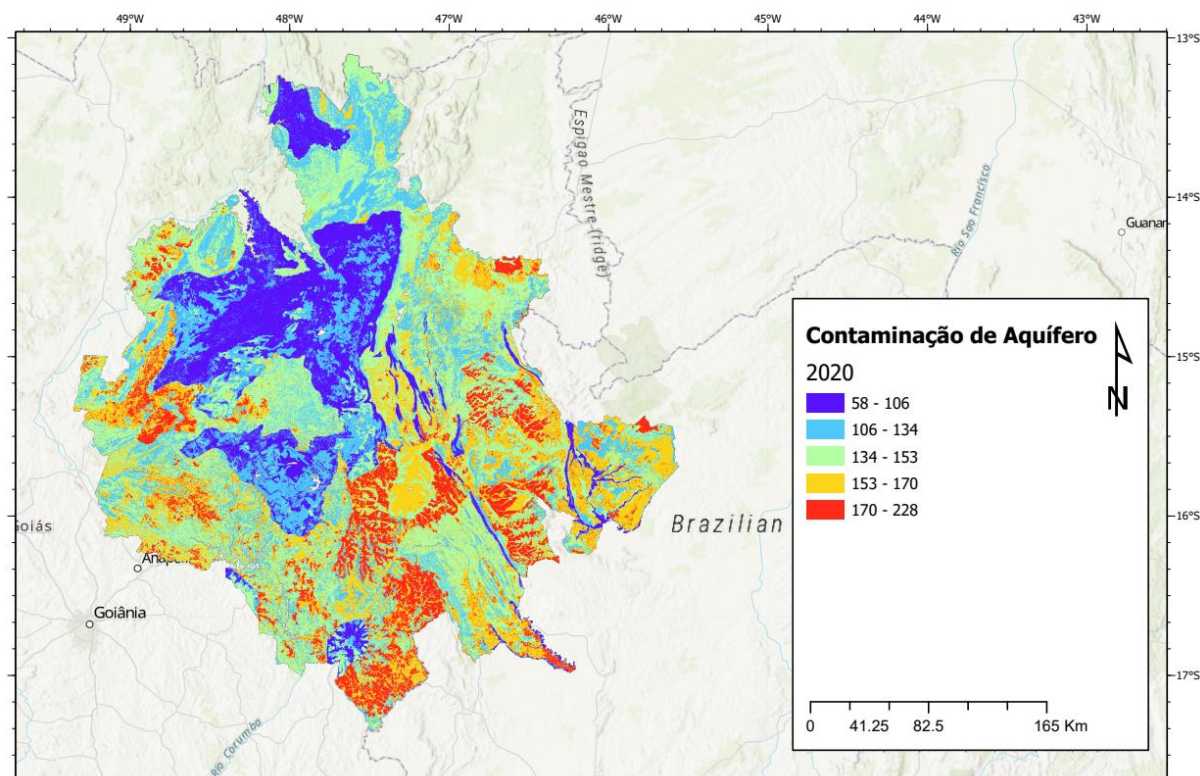


Figura 15. Contaminação de aquífero em 2020 (Fonte: Elaborado pela autora).

Com a adaptação na metodologia, foi possível atrelar o uso e cobertura de solo com a qualidade da água, um índice criado por Lima et al., 2017, como citado na metodologia deste trabalho. Com esta associação, foi possível criar um novo parâmetro que relaciona áreas que possuem alto potencial de contaminação de água, como mineração, agricultura e também áreas urbanas, que acabam gerando uma poluição mais acentuada. Com isto, foi possível observar que na área da RIDE-DF, houve um aumento no potencial de contaminação, principalmente em áreas que já estavam consideravelmente mais altas, mostrando assim, que o desenvolvimento da RIDE-DF aumentou também a contaminação nos aquíferos. Entretanto, como os aquíferos da área são bastante profundos, essa mudança não foi tão significativa como seria se os aquíferos fossem mais rasos.

5.3. INDICADOR DE POTENCIAL DE RECARGA DE AQUIFERO

No mapa de potencial de recarga de aquífero do ano de 1985 (Figura 16), é possível observar que áreas em azul mais escuro estão mais presentes que no mapa de recarga de aquífero do ano de 2020 (Figura 17). Logo, é perceptível que com o passar dos anos, houve uma diminuição na quantidade de água que infiltra no aquífero,

podendo aumentar problemas com crise hídrica, já presentes no DF e entorno (Lima et al., 2017).

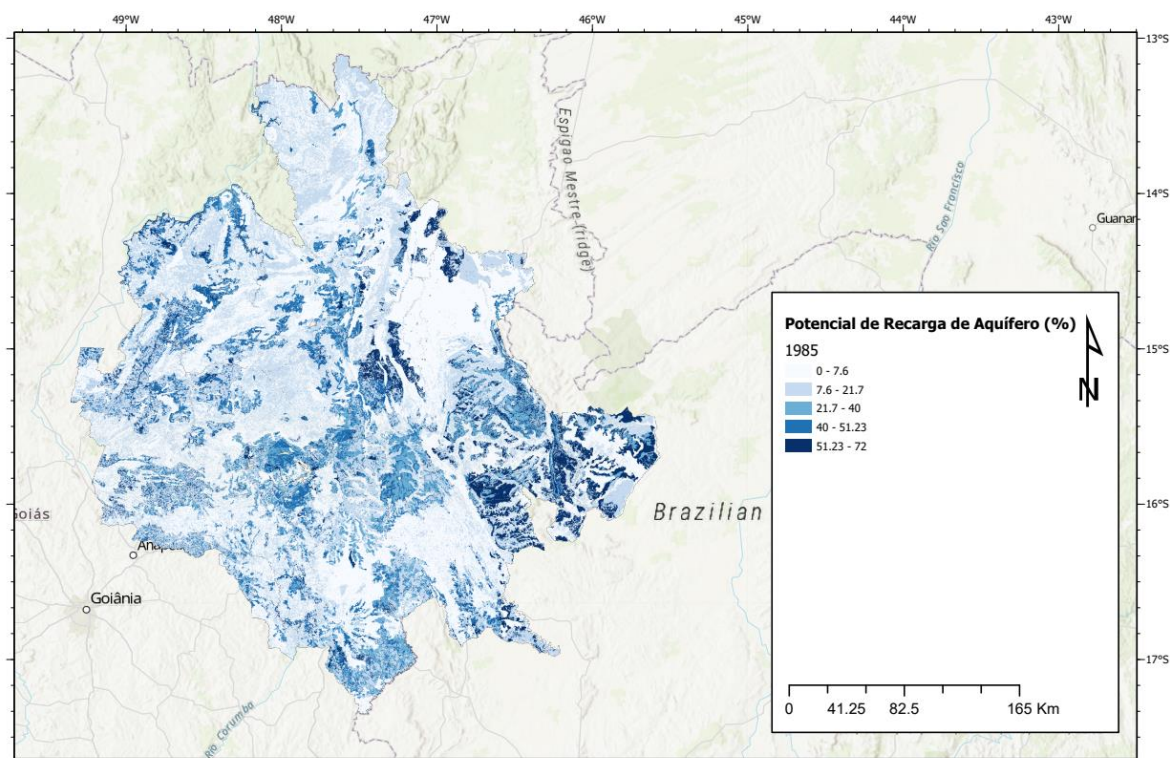


Figura 16. Potencial de recarga de aquífero em 1985 (Fonte: Elaborado pela autora).

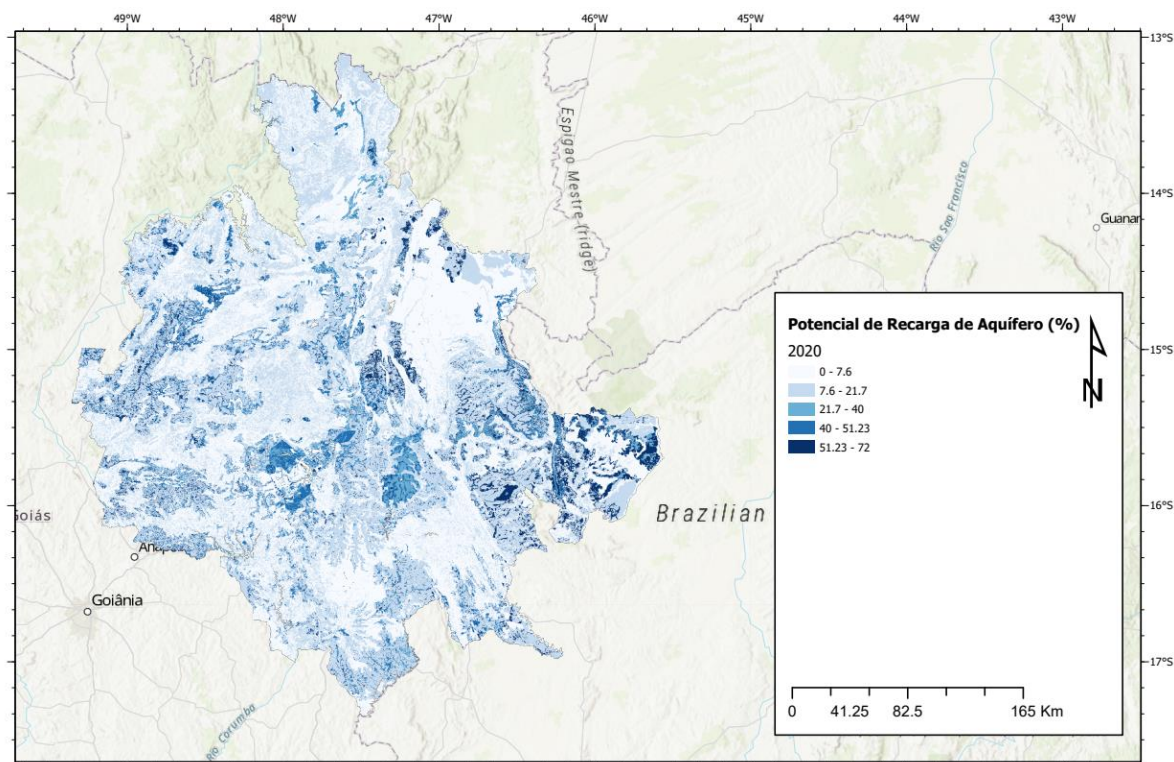


Figura 17. Potencial de recarga de aquífero em 2020 (Fonte: Elaborado pela autora).

Esta diferença está relacionada principalmente ao uso e ocupação do solo, utilizado para associar valores de CN, e também na diminuição da quantidade de chuvas com o decorrer dos anos. Os valores de CN em locais urbanos e agrícolas, são mais baixos que em locais com vegetação densa, logo, o uso e ocupação do solo, que apresentou mudanças relacionadas a intensificação do desenvolvimento das áreas urbanas e agrícolas nos 35 anos de diferença, são representadas no mapa, de forma com que o ano de 2020 apresente menor potencial de recarga de aquífero que no ano de 1985.

5.4. INDICADOR DE POTENCIAL DA MANUTENÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Os mapas feitos para o indicador de manutenção da biodiversidade (Figuras 18 e 19) demonstram que houve uma diminuição da manutenção da biodiversidade, ocasionada no aumento da urbanização e no desenvolvimento da área, o que já era esperado, por se basear no uso e ocupação dos solos da RIDE-DF. Pela RIDE-DF ser uma área em desenvolvimento, áreas que possuem valores 100, sendo áreas onde a biodiversidade está em preservada, com sua vegetação e fauna nativa presentes, se tornam mais escassas.

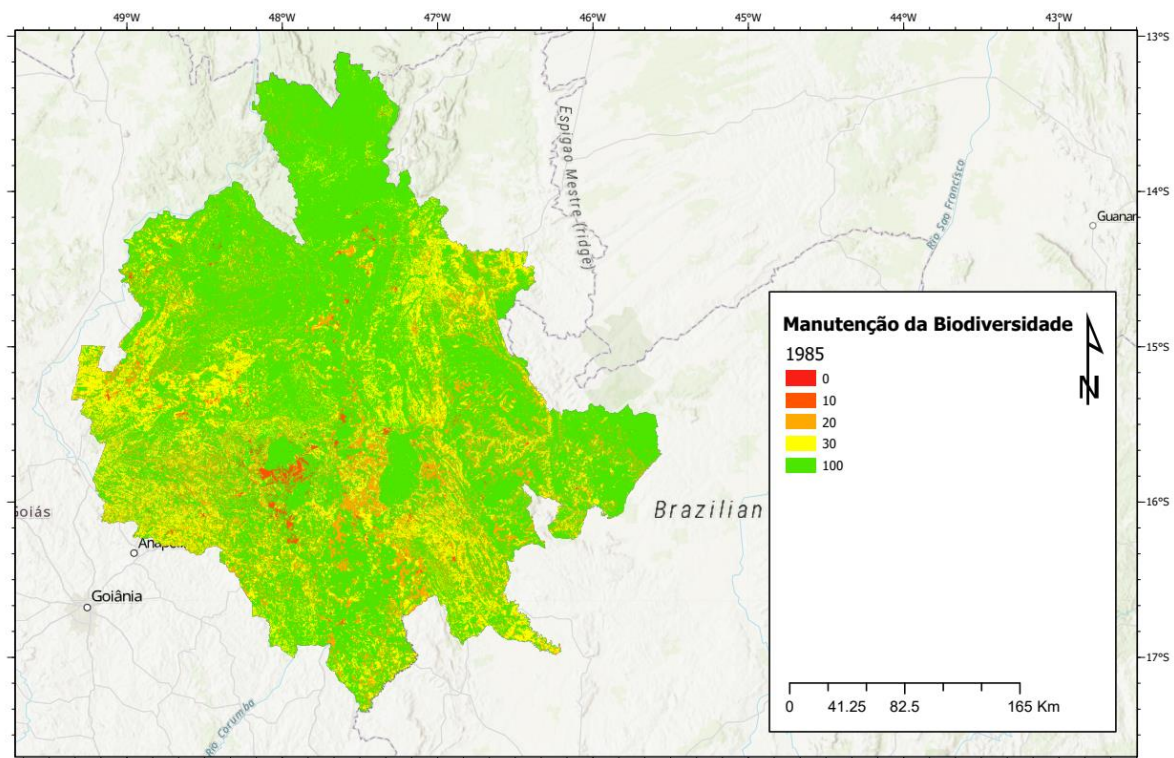


Figura 18. Manutenção da biodiversidade em 1985 (Fonte: Elaborado pela autora).

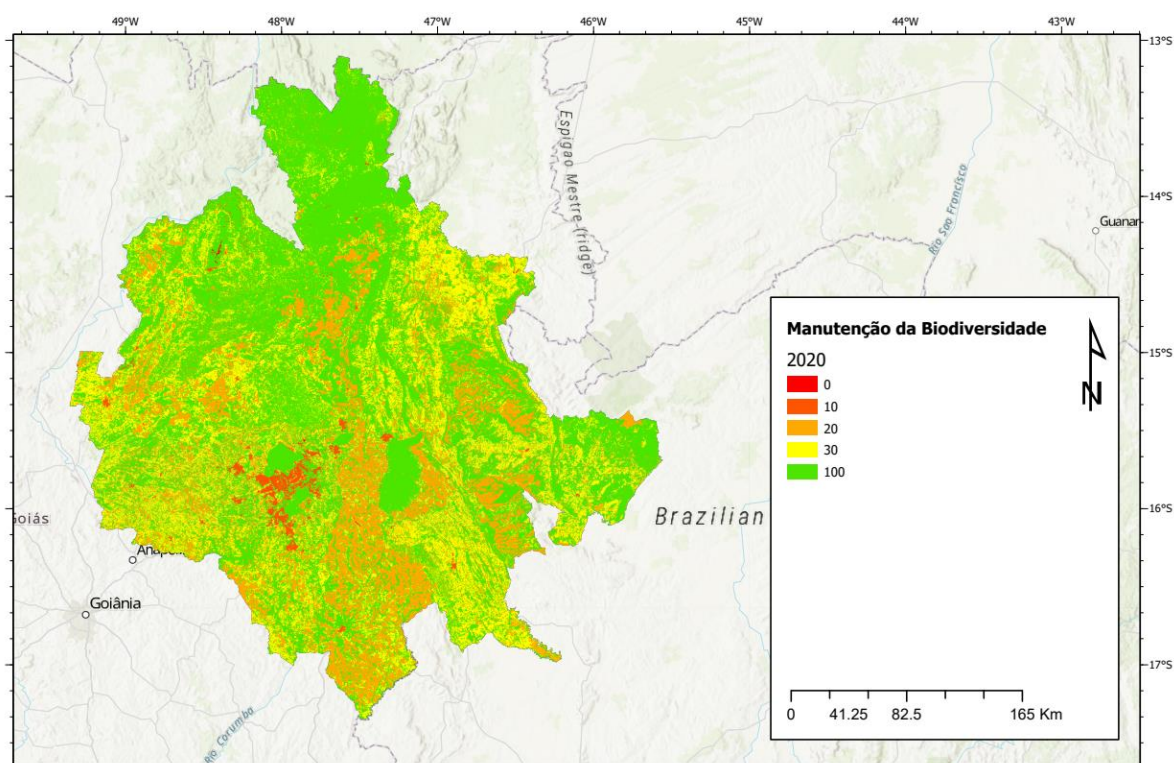


Figura 19. Manutenção da biodiversidade em 2020 (Fonte: Elaborado pela autora).

Nos mapas, pode-se observar que áreas em laranja-claro e amarelo se tornaram mais recorrente, indicando um aumento de atividades agrícolas no uso e ocupação de solos. O Distrito Federal e entorno são as áreas que apresentam os menores valores, indicando uma maior quantidade de área urbanizada e também de solo exposto. Outras cidades fora do DF também apresentam aumento na urbanização, de acordo com o mapa, entretanto, é visível que o DF e municípios mais próximos, principalmente ao sul do DF, se destacam em comparação à outras cidades que compõem a RIDE-DF.

5.5. INDICADOR DE PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

Os mapas de produção de alimentos indicam um aumento de áreas agrícolas entre os anos de 1985 e 2020. O sul da RIDE-DF apresenta uma maior intensidade na produção agrícola, com destaque para o município de Cristalina, subindo até a Bacia do Rio Preto, no DF. As áreas em laranja e magenta também representam áreas de agronegócio, principalmente pastos, porém com menor potencial de produção de alimentos, comparadas a agricultura irrigada e agricultura de pivôs, de acordo com a metodologia.

É observado no mapa de 1985 (Figura 20), que a área da RIDE-DF já era predominantemente agropecuária, entretanto, com foco maior em pastagens do que em agricultura. No mapa de 2020 (Figura 21) é possível observar que áreas de pastagem permaneceram em sua maioria área de pastagem ou migraram para áreas agrícolas.

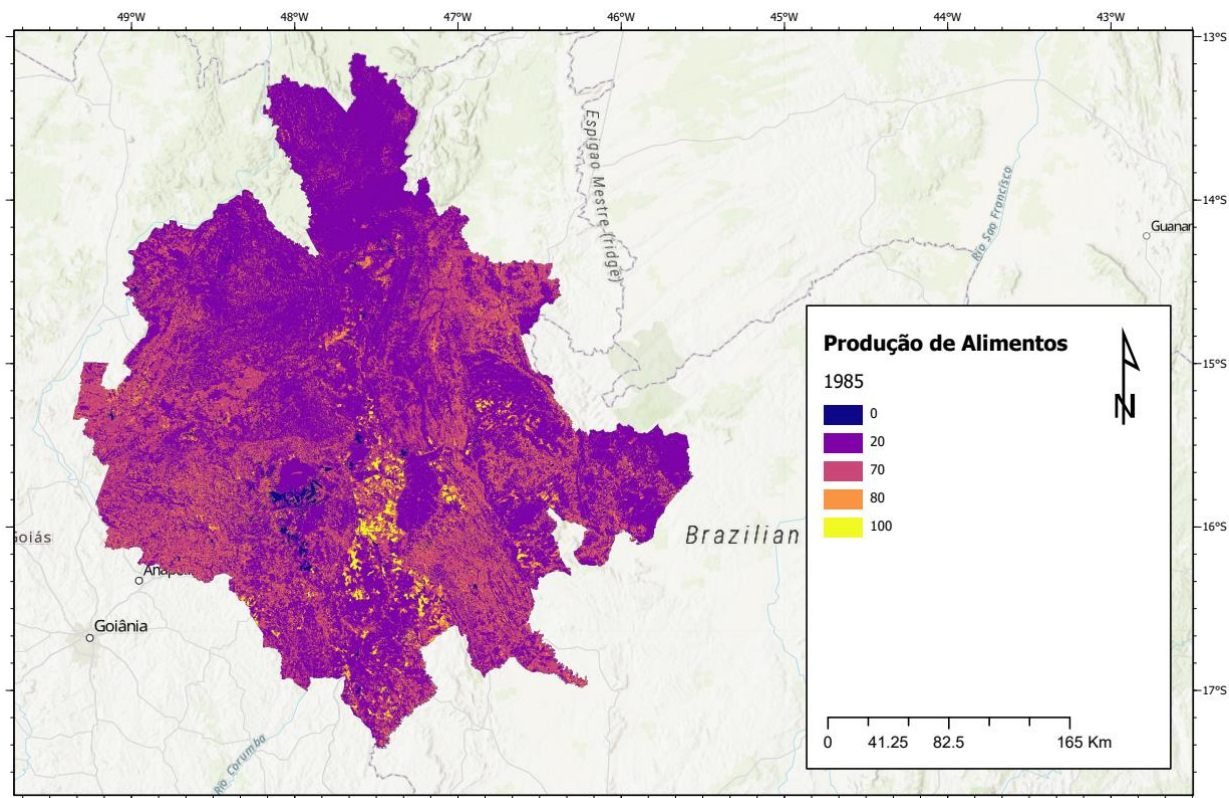


Figura 20. Produção de alimentos em 1985 (Fonte: Elaborado pela autora).

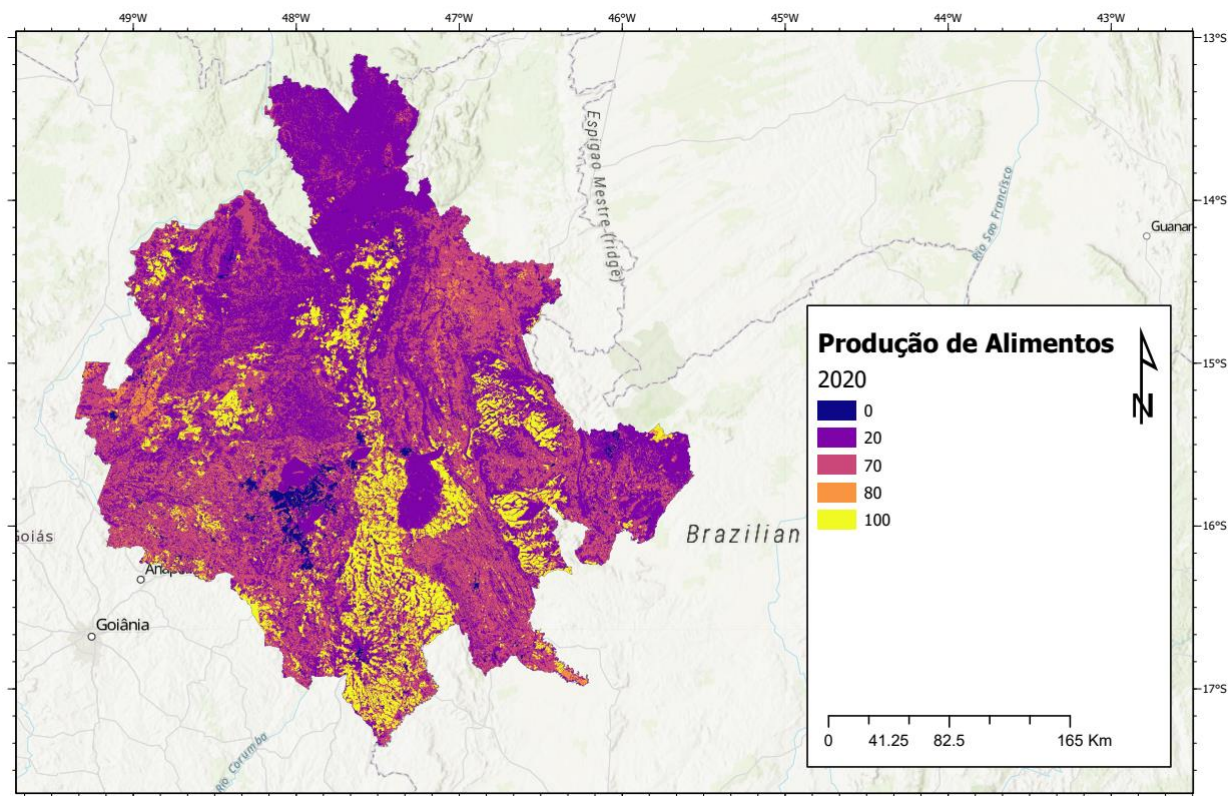


Figura 21. Produção de alimentos em 2020 (Fonte: Elaborado pela autora).

Os locais que apresentam valores 0 no mapa, estão representados por cidades, principalmente no DF e entorno, que são as áreas mais urbanisticamente desenvolvidas na RIDE-DF.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os indicadores criados para a RIDE-DF apontam que a área apresentou desenvolvimento urbano e agropecuário ao longo dos anos de 1985 e 2020. Entretanto, com o desenvolvimento, houve uma diminuição na sustentabilidade da região, podendo ser observada nos mapas gerados.

Os mapas, no geral, apresentam desenvolvimento urbano maior onde se localiza o DF e seu entorno. Nestas áreas, houve diminuição do potencial de recarga de aquífero, juntamente com sua contaminação, já que as áreas tendem a ser impermeabilizadas, impossibilitando a água de infiltrar no aquífero. Os mapas de perda de solo por erosão apresentam um aumento, representado principalmente por solo exposto. Os mapas de manutenção da biodiversidade apresentam valores baixos, já que áreas urbanas não conseguem manter a biodiversidade da mesma maneira que áreas naturais. Os mapas de produção de alimentos também possuem valores baixos, pois as áreas urbanas não possuem produção agropecuária. Outras partes da RIDE-DF, principalmente ao sul, demonstram um aumento na produção agrícola, principalmente no município de Cristalina.

No município de Cristalina, foi observado uma piora em praticamente todos os indicadores, menos o de produção de alimentos, já que a área se tornou amplamente agrícola, conseguindo prover mais alimentos para a região. Entretanto, o indicador de contaminação de aquífero, apresentou uma piora, já que a área passou a ter um possível aumento nas contaminações, ocasionadas pelo aumento do uso de fertilizantes e agrotóxicos. A recarga de aquífero no local também teve uma piora significativa, ocasionada pela alteração da vegetação nativa, representada no mapa de manutenção da biodiversidade. A erosão também demonstrou piora no local, porém de maneira mais tímida, já que o mapa de erosão no geral não teve diferença significativa.

Ao contrário do sul da RIDE-DF, a região ao norte, como os municípios de Cavalcante e Alto Paraíso, se manteve mais preservadas entre os 35 anos estudados. Nela, é possível observar não houve aumento significativo para praticamente nenhum dos indicadores, salvo uma leve piora no indicador de perda de solo por erosão. Os mapas de manutenção da biodiversidade demonstram como a área se manteve mais preservada que o restante da região. O indicador de potencial de recarga de aquífero

revela que a região possui uma tendência de baixa recarga, porém, os pontos mais propícios à recarga não pioraram. Os mapas contaminação de aquífero também não indicaram piora, já que a área possui baixa tendência de recarga e também não possui alta produção agropecuária, como pode ser observado nos mapas de produção de alimentos.

Com as três áreas exemplificadas, pôde-se ter uma percepção da RIDE-DF como um todo, possuindo áreas agrícolas, urbanas e também preservadas. Entretanto, é visível que as áreas agropecuárias predominam a região, assim como grande parte do bioma Cerrado (Dias & Klink, 2019). Áreas agropecuárias têm grande importância na segurança alimentar da população, entretanto, com o desequilíbrio ambiental, ocasionado pelo desmatamento para criação de pastos e lavouras, não será mais possível manter uma produção satisfatória, sendo, portanto, importante aumentar a sustentabilidade ambiental da RIDE-DF.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLER, L. BENNETT, T.; LEHR, J.; PETTY, R.; HACKETT, G. Drastic: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. us environmental protection agency. Washington, DC 455, 1987

ANA. PNRH: do Conjuntura ao Plano de Ações. 2021. Disponível em < <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/plano-nacional-de-recursos-hidricos>>. Acesso em 16/04/2022.

ANA. Nota técnica nº 46/2018/SPR. 2018. Disponível em <[https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d1c36d85-a9d5-4f6a-85f7-71c2dc801a67/attachments/NOTA TECNICA 46 2018 SPR.pdf](https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d1c36d85-a9d5-4f6a-85f7-71c2dc801a67/attachments/NOTA%20TECNICA%2046%202018%20SPR.pdf)>. Acesso em 05/03/2022.

ANDRADE, Wendy Silva de. RIDE-DF e entorno: que mudança institucional ocorreu no período de 1998-2017?. 2020.

BARBOSA, A. F. et al. The Application of the Universal Soil Loss Equation by Using Free and Available Softwares. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 170-179, 2015.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo: Editora Ícone, 355 p, 2010

BORGES, Kelly Maria Resende (2009). Avaliação da susceptibilidade erosiva da bacia do rio Carinhonha (MG/BA) por meio da EUPS: equação universal de perda de solos. Tese de Mestrado em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília - DF.

BRITO, Letícia Karine Sanches Brito (2020). Avaliação do impacto das características geomorfológicas e padrões de uso e ocupação do solo urbano no Distrito Federal no manejo de águas pluviais. Tese de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, PTARH, Universidade de Brasília, Brasília - DF

CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal. Caracterização e Quadros de Análise Comparativa da Governança Metropolitana no Brasil: Arranjos Institucionais de Gestão Metropolitana. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, Brasília, Brasil, 76p, 2013.

COSTANZA, et al., The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 252–260, 1997.

CPRM. GeoSGB Dados, informações e produtos do serviço geológico do Brasil. Disponível em: < <https://geosgb.cprm.gov.br/> >. Acesso em 04/12/2021.

CZÚCZ, B., Arany, I., POTSCHIN-YOUNG, M., BERECHKI, K., KERTÉSZ, M., KISS, M., HAINES-YOUNG, R. Where concepts meet the real world: A systematic review of

ecosystem service indicators and their classification using CICES. **Ecosystem Services**, 29, 145-157, 2018.

DE GROOT, R S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological economics**, v. 41, n. 3, p. 393-408, 2002

DIAS, B.F.S de & KLINK, C. Agricultura nos Cerrados: A Sustentabilidade que a gente não vê, pp. 227-229 In: Fernando Barros & Yoko Teles (editores) O Terceiro Salto - A História dos Brasileiros que fizeram o futuro chegar: Trajetória Cultural, Econômica, Ambiental e Social do Alimento no Brasil – A Revolução da Agricultura Tropical Sustentável. Brasília: Instituto Fórum do Futuro, 264p, 2019.

DOS SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.

EMBRAPA. GeoInfo - Mapa de solos do Brasil. Disponível em: <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_solos_5m_20201104>. Acesso em: 04/12/2021.

EMBRAPA. História do cerrado. Embrapa, s.d. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/cerrados/historia>>. Acesso em: 21/02/2022.

EMBRAPA. Bioma Cerrado. Embrapa, 2008. <<https://www.embrapa.br/en/cerrados/colecao-entomologica/bioma-cerrado>>. Acesso em: 21/02/2022

FERRAZ, R. P. D., PRADO, R. B., PARRON, L. M., & CAMPANHA, M. M. **Marco Referencial em Serviços Ecossistêmicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

GALLOPÍN, Gilberto C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. **Environmental modeling & assessment**, v. 1, n. 3, p. 101-117, 1996.

GONÇALVES, T. D.; ROIG, H. L.; CAMPOS, J. E. G. Sistema de informação geográfica como ferramenta de apoio à outorga dos recursos hídricos subterrâneos no Distrito Federal. **Brazilian Journal of Geology**, v. 39, n. 1, p. 169-180, 2009.

HÁK, T.; JANOUŠKOVÁ, S.; MOLDAN, B.. Sustainable Development Goals: A need for relevant indicators. **Ecological indicators**, v. 60, p. 565-573, 2016.

IBRAM. Bioma Cerrado. IBRAM, 2018. Disponível em: <<https://www.ibram.df.gov.br/bioma-cerrado/#:~:text=Dentro%20da%20categoria%20de%20Cerrado,quais%20aproximadamente%2040%25%20s%C3%A3o%20end%C3%AAmicas>>. Acesso em: 24/02/2022.

INPE. Topodata. Índice de dados Geomorfométricos do Brasil, 2021. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>>. Acesso em 24/02/2022.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

JØRGENSEN, S. E. Ecosystem services, sustainability and thermodynamic indicators. **Ecological Complexity**, v. 7, n. 3, p. 311-313, 2010.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. Conservation of the Brazilian cerrado. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

KLINK, Carlos A. et al. The role of vegetation on the dynamics of water and fire in the cerrado ecosystems: implications for management and conservation. **Plants**, v. 9, n. 12, p. 1803, 2020.

ROMA, J. C. Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. **Ciência e cultura**, v. 71, n. 1, p. 33-39, 2019.

LAMANA, Michel dos Santos. APLICAÇÃO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO (USLE) EM UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA URBANA.

LIMA, J. E. F. W. et al. Gestão da crise hídrica 2016–2018 - Experiências do Distrito Federal. **ADASA: Brasília, Brazil**, 2018.

LIMA, J.E.F.W.; de Gois Aquino, F.; Chaves, T.A.; Lorz, C.; Development of a spatially explicit approach for mapping ecosystem services in the brazilian savanna–mapes. **Ecological indicators** 82,513–525, 2017.

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

LOUSADA, E. O.; CAMPOS, J. E. G. Proposta de Modelos Hidrogeológicos Conceituais Aplicados aos Aquíferos da Região do Distrito Federal. In: *Revista Brasileira de Geociências*, 35(3), 407-414, 2005.

MAPBIOMAS. 2021. Coleção de uso e ocupação do solo do Brasil (<http://mapbiomas.org/>). Acessado em: 20/12/2021.

MARTÍN-LÓPEZ, B.; MONTES, C.; BENAYAS, J.. The non-economic motives behind the willingness to pay for biodiversity conservation. **Biological conservation**, v. 139, n. 1-2, p. 67-82, 2007.

MENEZES, L. S. et al. Mudanças climáticas no DF e RIDE: detecção e projeções das mudanças climáticas para o Distrito Federal e região integrada de desenvolvimento do DF e entorno. **Embrapa Cerrados-Livro científico (ALICE)**, 2016.

NASA. Giovanni – Dados de chuva. Disponível em: < <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/> >. Acesso em: 04/12/2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando Nosso Mundo. a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. **Recuperado em**, v. 15, p. 24, 2016.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). Rumo a um desenvolvimento sustentável: indicadores ambientais / tradução Ana Maria S. F. Teles. – Salvador: Centro de Recursos Ambientais, 2002. 244 p. ; 15 x 21 cm. – (Série cadernos de referência ambiental; v. 9)

RIBEIRO, J. F & WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora** v. 2. Brasília: EMBRAPA-CERRADOS, 2008. 876 p.

ROMA, Júlio César. Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. **Ciência e cultura**, v. 71, n. 1, p. 33-39, 2019.

SANTOS, M. MILTON. Brasília, a nova capital brasileira. Caravelle (1963-1965), p. 369-385, 1964.

SANTOS, L.A.C. et al. Fitofisionomias do Cerrado: definições e tendências. Élisée, Revista Geo. UEG - Goiás, v. 9, n.2, e 922022, jul./dez. 2020.

SARTORI A. 2004. Avaliação da classificação hidrológica do solo para determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos. Campinas, Dissertação de Mestrado, Universidade de Campinas, 159p

SILVA, Luciana Duque et al. O clima no Bioma Cerrado. **Embrapa Agricultura Digital-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2021.

SILVA, Fernando das Graças Braga da et al. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim-SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, p. 141-148, 2010.

SILVA, Crysthian Roberto Macedo da (2014). Aplicação dos métodos DRASTIC e POSH para a determinação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do Aquífero Utiariti na cidade de Sinop/MT. Tese de Mestrado em Recursos Hídricos, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá - MT.

SISAGUA. Coquetel com 27 agrotóxicos foi achado na água de 1 em cada 4 municípios. <<https://apublica.org/2019/04/coquetel-com-27-agrotoxicos-foi-achado-na-agua-de-1-em-cada-4-municipios-consulte-o-seu/>>. Accessed: 2022-02-05.

SOBRINHO, Fernando Luiz Araújo et al. SANEAMENTO AMBIENTAL NA RIDE DF EA CONFIGURAÇÃO DOS TERRITÓRIOS DE TENSÃO. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 47E, 2011.

SOUZA, C. L. F. .; OLIVEIRA, . R. B. de; MUSTAFÉ , . D. N.; NUNES , . K. A. C.; MORAIS, . E. M. B. de. O cerrado como o “berço das águas”: potencialidades para a educação geográfica. Revista Cerrados, [S. l.], v. 17, n. 01, p. 86–113, 2019. DOI: 10.22238/rc244826922019170186113. Disponível em: <<https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/1021>>. Acesso em: 16 abr. 2022.

WISCHMEIER, W.H.; Smith, D.D.; 1978. Predicting rainfall erosionlosses: a guide to conservation planning. 537, Department of Agri-culture, Science and Education Administration.