



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

LUCAS ESPÍNDOLA ROSA

**DINÂMICA DA PERDA DE SOLOS NO ESTADO DE GOIÁS ENTRE 1985 –
2018.**

GOIÂNIA (GO)
2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

☐ Dissertação ☒ Tese ☐ Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Lucas Espindola Rosa

3. Título do trabalho

Dinâmica da perda de solos no estado de Goiás entre 1985 - 2018.

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Luis Felipe Soares Cherem, Usuário Externo**, em 06/02/2023, às 13:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Espindola Rosa, Discente**, em 08/02/2023, às 15:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3452380** e o código CRC **642DD09E**.

Referência: Processo nº 23070.061374/2022-97

SEI nº 3452380

LUCAS ESPÍNDOLA ROSA

**DINÂMICA DA PERDA DE SOLOS NO ESTADO DE GOIÁS ENTRE 1985 –
2018.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Natureza e Produção do Espaço

Linha de Pesquisa: Análise Ambiental e Tratamento da Informação Geográfica.

Orientador: Prof. Dr. Luís Felipe Soares Cherem
Co-orientador: Lionel Siame

GOIÂNIA (GO)
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Rosa, Lucas Espíndola

Dinâmica da perda de solos no estado de Goiás entre 1985 - 2018
[manuscrito] / Lucas Espíndola Rosa. - 2022.
LX, 110 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Luís Felipe Soares Cherem; co-orientador Dr.
Lionel Siame.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em
Geografia, Goiânia, 2022.

Bibliografia.

Inclui mapas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. modelagem. 2. denudação. 3. taxas erosivas. 4. morfogênese. I.
Cherem, Luís Felipe Soares, orient. II. Título.

CDU 911



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS
ATA DE DEFESA DE TESE

Ata Nº 121/2022 da sessão de Defesa de Tese de **Lucas Espindola Rosa** que confere o título de Doutor em **Geografia**, na área de concentração em **Natureza e Produção do Espaço**.

Aos seis dias do mês de dezembro do ano de dois mil e vinte e dois, a partir das 10h30min, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese intitulada “**Dinâmica da perda de solos no estado de Goiás entre 1985 - 2018**”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Luis Felipe Soares Cherem (IESA/UFG)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **Leonardo José Cordeiro Santos (UFPR)**, membro titular externo; Doutor **Elizon Dias Nunes (IESA/UFG)**, membro titular externo; Professor Doutor **Márcio Henrique de Campos Zancopé (IESA/UFG)**, membro titular externo; Professor Doutor **Guilherme Taitson Bueno (IESA/UFG)**, membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Tese tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Luis Felipe Soares Cherem, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata, que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora aos seis dias do mês de dezembro do ano de dois mil e vinte e dois.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Márcio Henrique De Campos Zancopé, Professor do Magistério Superior**, em 12/01/2023, às 13:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Taitson Bueno, Professor do Magistério Superior**, em 13/01/2023, às 11:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Elizon Dias Nunes, Geógrafo**, em 16/01/2023, às 06:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **LEONARDO JOSE CORDEIRO SANTOS, Usuário Externo**, em 19/01/2023, às 13:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luis Felipe Soares Cherem, Usuário Externo**, em 06/02/2023, às 13:45, conforme horário oficial de



Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3452329** e o código CRC **0935AC27**.

Referência: Processo nº 23070.061374/2022-97

SEI nº 3452329

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos iniciais aos meus queridos pais, José Eduardo dos Reis Espíndola e Miriam Regina Rosa, ambos em memória, pelos grandes exemplos de dignidade, generosidade, curiosidade e dedicação a uma vida marcada pela superação e pelo trabalho. Seus valorosos exemplos deixados são fonte de inspiração em minha conduta de vida.

Agradeço a minha família, em especial, ao meu querido tio Ricardo dos Reis Espíndola pela orientação, preocupação e carinho prestados em vários momentos da minha vida, sem ele certamente não teria chegado até aqui.

À Universidade Federal de Goiás, em especial ao IESA, Instituto de Estudos Socioambientais, por me inserir profissionalmente enquanto geógrafo, me preparar para vida e me propiciar uma sofisticada formação cidadã. Essa universidade é minha *alma mater*. Prometo, enquanto vivo for ser um dos bastiões dessa ilustre instituição.

Agradeço aos mais variados profissionais que contribuíram pelo exemplo profissional. Quero explicitar meus sinceros agradecimentos aos professores Maximiliano Bayer, Márcio Henrique de Campos Zancopé, Karla Maria Silva de Faria, Guilherme Taitson Bueno, Tadeu Alencar Pereira Arrais e Lana de Souza Cavalcanti pela orientação profissional e formação do espírito crítico nessa jornada. Agradeço também aos professores Valter Casseti, Selma Simões de Castro e Edgardo Latrubesse.

Agradeço também aos caros amigos técnico-administrativos dessa instituição, representados especialmente pelo Onésio Rodrigues Nunes Filho, amigo de tantas caminhadas, Elson Antônio de Lima (Roxão), Charles Calisto de Souza e em especial ao geógrafo Dr. Elizon Dias Nunes, também fonte de inspiração e de companheirismo profissional.

Quero realizar um agradecimento especial ao meu orientador Luís Felipe Soares Cherem, pela paciência, dedicação na orientação, condução e leitura dos trabalhos, que apesar da pandemia e do contingenciamento dos gastos e da interação social manteve grande zelo na realização desse trabalho. Também agradeço especialmente, meu co-orientador Lionel Siame pelo ânimo prestado, as oportunidades a mim destinadas e a estima em mim depositada. Ambos serão fruto de eterno carinho e exemplo de condução profissional.

Sintetizo aqui, sinceros agradecimentos a todos os amigos e amigas que passaram nessa “Estação de Trem” (Maria Rita), deixando uma marca nesse eterno apaixonado pela vida, ao qual uma página seria impossível externar.

(...) E tolos são aqueles que pensam que as certezas da ciência são uma alternativa à aposta. Porque a ciência também resulta de uma aposta e está construída sobre incertezas. Karl Popper, talvez o mais famoso filósofo da ciência de nossa época, ao final de seu livro *A lógica da investigação científica* diz o seguinte: “Lembra-se do andarilho Nietzsche, que saltava sobre as pedras no riacho?”

Rubem Alves – Variações sobre o Prazer (Santo Agostinho, Nietzsche, Marx e Babette).

(...) Há momentos que podemos fazer o que queremos – ir para a diante ou voltar para trás, que tanto faz uma coisa como outra; e a momentos em que as malhas se apertam, e, nesse caso, impõe-se a não falhar a cartada, porque a ocasião não se repetiria.

Jean-Paul Sartre - A náusea.

(...) A lembrança da vida da gente se guarda em trechos diversos, cada um com seu signo e sentimento, uns com os outros acho que nem não misturam. Contar seguido, alinhavado, só mesmo sendo as coisas de rasa importância. De cada vivimento que eu real tive, de alegria forte ou pesar, cada vez daquela, hoje vejo que eu era como se fosse diferente pessoa.

João Guimarães Rosa – Grande Sertão: Veredas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Estrutura da tese	19
1.2. Hipótese	20
1.3. Objetivos	21
2. REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1. Sistemas e modelos	22
2.2. Denudação e processos erosivos.....	26
3. PERDA DE SOLOS NO BIOMA CERRADO: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ÁREAS PROTEGIDAS E NÃO PROTEGIDAS POR UNIDADES DE CONSERVAÇÃO .	32
Introdução	33
Materiais e Métodos	34
Área de estudo.....	34
Resultados	40
Discussão	46
Considerações Finais.....	48
Agradecimentos	49
4. O PAPEL DE FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS NA VARIABILIDADE DA PERDA DE SOLOS NO ESTADO DE GOIÁS ENTRE 1985 E 2018	50
Introdução	51
Materiais e Métodos	52
Resultados e Discussões	60
Considerações Finais.....	72
Agradecimentos	74
5. PERDA DE SOLOS E USO E COBERTURA DO SOLO: A DINÂMICA DO ESTADO DE GOIÁS ENTRE 1985 E 2018.	75
Introdução	76
Materiais e Métodos	78
Resultados e Discussões	80
Considerações Finais.....	92
SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
REFERÊNCIAS	98

FIGURAS

Figura 1: Localização das áreas de estudo.....	35
Figura 2: Variação entre a perda média de solos ($\text{ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$) nas bacias associadas ao Parque Nacional de Brasília entre os anos de 1975-2018.	42
Figura 3: Perda de solos na região do Parque Nacional de Brasília nos anos de 1975 e 2018.	43
Figura 4: Variação entre a perda média de solos ($\text{ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$) nas bacias associadas ao Parque Nacional das Emas entre os anos de 1973-2018.	45
Figura 5: Perda de solos na região do Parque Nacional das Emas nos anos de 1973 e 2018.	46
Figura 8: Solos do estado de Goiás e Distrito Federal.....	58
Figura 9: Dinâmica das perdas de solo do estado de Goiás entre 1985 – 2018.....	62
Figura 10: Síntese das perdas de solo no estado de Goiás nos recortes temporais de 1985, 2000 e 2018. Base logarítmica 10.....	63
Figura 11: Síntese da distribuição da perda média de solos nas regiões hidrográficas goianas.	64
Figura 12: Síntese das perdas de solo por índice de Moran nos anos de 1985, 2000 e 2018.	67
Figura 13: Sub-bacias com as maiores perdas de solos no ano de 1985. A esquerda a bacia do rio Manso, abaixo, hachurada, uma bacia afluyente com a mais alta perda do estado de Goiás. A direita, a sub-bacia afluyente do rio São Marcos.	69
Figura 14: Sub-bacias com maiores perdas de solo em 2000. A esquerda, o segmento a jusante do córrego Galheiros. A direita, a bacia do córrego Seco, a jusante da confluência entre o rio Uru e o rio das Almas.....	70
Figura 15: Sub-bacias hidrográficas com maiores perdas de solos no ano de 2018. A esquerda, um segmento da bacia dos rios dos Pilões, após a confluência entre o rio Fartura e o Rio São Domingos. A direita, uma sub-bacia afluyente da bacia do rio dos Pilões, contígua a primeira, na região de Moiporá (GO).	71
Figura 16: Síntese da conversão de uso e cobertura do solo no estado de Goiás entre os anos de 1985 – 2018.	72
Figura 17: Síntese da erosividade e do fator topográfico da EUPS-R para o estado de Goiás.	75
Figura 18: Fluxograma dos dados e etapas metodológicas adotadas.....	80
Figura 19: Síntese das perdas de solo no estado de Goiás nos recortes temporais entre 1985, 2000, 2018.....	81
Figura 20: Generalização da classificação quanto a distinção entre área agrícola e de pastagem evidenciados pela classificação do MAPBiomias em que um ano é considerado como agricultura (vermelho) e outro ano como pastagem (marrom) pulverizando o fator CP.	82
Figura 21: Perda de solos nas formações do Cerrado no estado de Goiás entre 1985, 2000, 2018.....	83
Figura 22: Compartimento da bacia do Rio Verde na região da cuesta caiapó evidenciando a mudança de uso e cobertura do solo referentes ao ano de 2018 concomitante às rupturas de declive. Na figura a esquerda apresenta cartograma de cobertura e uso e a direita o fator LS e no centro uma demonstração das perdas de solo.	86
Figura 23: Síntese das médias de perdas de solo por regiões/fronteiras produtoras no estado de Goiás.....	87
Figura 24: Compartimento na Zona Fraca ou Tardia referente ao ano de 2018 evidenciando as pastagens posicionadas a jusante da Serra Santana, na região da	

Chapada dos Veadeiros. Na figura a esquerda evidencia o uso e cobertura do solo e a direita o fator LS com as taxas de perda ao centro.	90
--	----

TABELAS

Tabela 1: Síntese da variação de perda de solos nas áreas interna e externa do Parque Nacional de Brasília.	41
Tabela 2: Síntese da variação de perda de solos nas áreas interna e externa do Parque Nacional das Emas.	44
Tabela 3: Síntese das erodibilidades dos solos do estado de Goiás.	55
Tabela 4: Síntese do fator CP para o estado de Goiás.	60
Tabela 5: Síntese das microrregiões hidrográficas com maiores perdas de solo (t/ha/ano) no estado de Goiás entre os anos de 1985 e 2018.	65

QUADROS

Quadro 1: Valores de erodibilidade para os solos identificados na área de estudo.	37
Quadro 2: Valores de uso e cobertura para o fator CP identificados na área de estudo.	38
Quadro 3: Declividade média dos usos e coberturas do solo do bioma Cerrado para o estado de Goiás no recorte temporal de 1985-2000.	85
Quadro 4: Síntese da dinâmica das pastagens nas regiões definidas por Silva et.al., (2013).	88
Quadro 5: Perda de solos (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) em áreas de pastagem por regiões definidas por Silva et al., (2013).	89

RESUMO

A estimativa da perda de solos em escala regional tem sido feita a partir de métodos quantitativos e, com a ampliação do uso de Sistemas de Informação Geográfica, esse uso foi consolidado. O método com maior aceitação e melhores resultados para estimar as perdas de solo, é a Equação Universal de Perda de Solos Revisada – EUPS-R, modelo matemático determinístico de abordagem sistêmica, ou seja, que a partir da análise de interação entre as partes compreende uma entidade complexa, nesse caso específico a perda de solos. A EUPS-R, que é constituída pela formula $A=R.K.LS.CP$, síntese da consideração da erosividade, da erodibilidade, do fator topográfico e o uso e cobertura do solo, apresenta representativa acuidade na aferição das perdas do solo, principalmente no que diz respeito ao seu fator topográfico. Um dos mais relevantes biomas brasileiros, o Cerrado, apresenta cerca de 52% de sua vegetação remanescente, sendo destas, apenas 33% pertencentes ao estado de Goiás, estado nuclear na composição do bioma, sendo que na sua porção sul há apenas 15% de vegetação remanescente. Com base nesses dados de desmatamento, uma pergunta emana, seria o desmatamento uma condicionante do aumento das perdas/degradação dos solos, ou seus fatores intrínsecos como o topográfico as condicionam? Este trabalho se constitui de uma tese, em decorrência do ineditismo da verificação multiescalar da EUPS-R, a partir de distintas localidades em escalas de vertentes, bacias hidrográficas a regiões. Este trabalho apresenta resultados de que o fator topográfico (LS) mostra-se como um dos mais relevantes do modelo, onde no estado de Goiás, as áreas de maior perda se localizam por seus alçados topográficos, sendo-os: a Serra Dourada de Goiás, a Serra dos Pirineus e o *front* da *cuesta* Caiapó, *cuesta* esta que nos seus reversos tomados por agricultura apresentam menores perdas, seguidas de perdas cumulativas em direção as calhas fluviais, quando das rupturas de declive com substituição do uso e cobertura do solo. As pastagens se constituíram das áreas com maiores perdas do estado, mas estão obrigatoriamente associadas a altos fatores LS, o que indicam assim, um condicionamento da energia potencial, a partir do observado em uma região denominada de Zona Fraca ou Tardia.

Palavras-chave: modelagem, denudação, taxas erosivas, morfogênese.

ABSTRACT

Estimating soil loss on a regional scale has been performed using quantitative methods and has been consolidated with the expanded use of Geographic Information Systems. The method with greater acceptance and better results to estimate soil losses is the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), a deterministic mathematical model with a systemic approach which is based on analyzing the interaction between the parts; it comprises a complex entity, which in this specific case is the loss of soil. RUSLE is constituted by the formula: $A=R.K.LS.CP$; a synthesis of the consideration of erosivity, erodibility, the topographic factor and soil use and cover, and presents representative accuracy in measuring soil losses, mainly with respect to its topographical factor. The Cerrado constitutes one of the most relevant Brazilian biomes and has about 52% of its remaining vegetation, of which only 33% belong to the state of Goiás (a central state in the composition of the biome), while there is only 15% remaining vegetation in its southern portion. Therefore, the following question arises based on this deforestation data, namely: Would deforestation be a conditioning factor for the increase in soil losses/degradation, or do its intrinsic factors, such as the topography, condition them? This work is a thesis due to the novelty of the multiscale verification of RUSLE from different locations in slope scales, hydrographic basins to regions. This work presents results that the topographic factor (LS-factor) is one of the most relevant in the model, where the greatest loss areas in the state of Goiás are located by their topographic elevations, including: the Serra Dourada de Goiás, the Serra dos Pirineus and the front of the Caiapó cuesta, whose reversals are caused by agriculture and present lower losses, followed by cumulative losses towards river gutters when the slope breaks due to replacement of soil use and cover. Pastures were the areas with the highest losses in the state, but they are necessarily associated with high LS factors, which thus indicate conditioning of potential energy based on what was observed in a region called the Weak or Late Zone.

Keywords: modeling, denudation, erosion rates, morphogenesis.

1. INTRODUÇÃO

A erosão é compreendida como todo processo exógeno de esculturação do relevo em contraste com os processos endógenos e corresponde em seu amplo termo aos processos de denudação mecânica. Os processos erosivos correspondem ao desprendimento das partículas do solo e dos mantos de alteração com o seu consequente transporte (GOUDIE, 2004; MORGAN, 2005; BIGARELLA, 2007; SUMMERFIELD, 2013; POESEN, 2017).

Apesar da generalização do conceito de erosão face aos amplos processos exógenos observados na superfície terrestre, convém destacar que a denudação é a perda de materiais nos ambientes superficiais e subsuperficiais da paisagem que se constituem em duas formas, a mecânica e a geoquímica. A denudação mecânica corresponde aos processos erosivos em superfície, bem como os movimentos de massa, em que as forças gravitacionais superam a tensão de cisalhamento com ocorrência destas feições. A denudação geoquímica é originada a partir dos diferentes processos de intemperismo, com destaque para os processos como a hidrólise e a dissolução, por exemplo, que se apresentam no final como material dissolvido, remobilizando-os para os canais de drenagem. Em síntese, ambas se caracterizam pela perda de materiais (PINET; SOURIAU, 1988; LEEDER, 1991; SUMMERFIELD, 2013; von BLANCKENBURG; WILLENBRING, 2014; GRANGER; SCHALLER, 2014).

A variação global em grande escala de produção de sedimentos é caracterizada fundamentalmente pelo controle litoestrutural (estabilidade tectônica), a variabilidade climática, tanto no tempo, quanto no espaço, bem como a amplitude altimétrica. Variações nos tipos de rochas a serem denudadas tem no xisto (50%), nos carbonatos (24%) e arenitos (24%) como as principais rochas produtoras de sedimentos. Os feldspatos correspondem na crosta continental por cerca de 70% da composição mineralógica dos sedimentos (McLENNAN; MURRAY, 1998).

No âmbito da variação temporal, taxas de denudação comparadas entre os períodos sem a atuação humana e com a atuação humana (antrópica) apontam que nos períodos “pré-humanos” a perda de solos correspondia a cerca de 62% das perdas atuais (McLENNAN, 1993). Com base na Última Glaciação

Máxima (LGM) ($\cong 80.000 - 11.500$ A. P) estimativas apontam que as taxas de denudação no período pretérito, até 30.000 A. P eram maiores que as do Holoceno ($\cong 11.500$ A.P até os dias atuais) variando de cerca de 80 m/Ma para cerca de 40 m/Ma (SCHALLER et al., 2002). Ao que pese um recorte temporal maior, os últimos 5 milhões de anos (Plioceno-Quaternário), as taxas de denudação aumentaram em cerca de quatro vezes, estabelecendo uma taxa de denudação entre 40 m/Ma a 70m/Ma nos dias atuais (WILLENBRING; von BLANCKENBURG, 2010).

Em épocas ainda mais remotas, a partir do Fanerozóico (570 m.a), as taxas de denudação eram cerca de 1,6 vezes maiores que as dos dias atuais (TARDY et al., 1989), visto a contribuição das atividades tectônicas, por exemplo, o Evento Sul-Atlântico observado no Brasil Oriental, as ativações orogênicas dos Andes, entre outros eventos relacionados a variabilidade climática e de cobertura do solo, que contribuíram para uma maior produção de sedimentos (SCHOBENHAUS et al., 1984; CASSETI, 2005; SAADI et al., 2005).

Apesar dos estudos apontados, as comparações quanto a ocorrência do processo de denudação tanto em longo, quanto em curto termo, tem se apresentado como uma das lacunas a serem preenchidas a níveis globais, principalmente em ambientes tropicais (von BLANCKENBURG; WILLENBRING, 2014; SIAME et al., 2019). Tais estudos ainda não apontam um consenso da variação na perda de solos comparada aos efeitos antrópicos. Ademais, compreende-se que as variações climáticas não se apresentam sincronizadas no espaço (KIPNIS; SCHEEL-YBERT, 2005) e que certamente apresentam diferenças quanto às taxas de denudação.

No bioma Cerrado torna-se importante pesquisas nesse nível, pois assim é permitido entender seu comportamento erosivo, que atualmente apresenta uma taxa de desmatamento anual correspondente a cerca de 1% do seu tamanho original ($\cong 2$ milhões km²) e cerca de 54% de sua área convertida em usos antrópicos. O estado de Goiás, nuclear em sua composição, apresenta cerca de 70% de suas áreas já convertidas (STRASSBURG et al., 2017; LOPES et al., 2020). Ademais, o bioma Cerrado apresenta diferentes mosaicos de vegetação remanescente, em que na sua porção sul, em direção ao estado de

São Paulo, apenas 15% de sua área é considerada conservada (SANO et al., 2010), sendo que foram ocupadas por várias frentes com destaque para as observadas a partir do século XX tendo maior destaque após a chegada da ferrovia mogiana ao sul do estado (CASTRO; QUEIROZ NETO, 2010).

Neste contexto, pesquisas para o reconhecimento das perdas de solo no bioma Cerrado se fazem necessárias para compreensão das diferentes perdas principalmente em relação as “taxas naturais”, compreendendo a relação entre as diferentes variáveis de maneira integrada. Amplas foram as pesquisas utilizadas para datação de materiais geológicos (LACERDA et al., 2008) e o estabelecimento de cenários físico-ecológicos e de ocupação humana pretéritos (SALGADO-LABOURIAU, 1994; BARBOSA, 2002; AB’ SABER, 2003). Entretanto, pesquisas de ampla distribuição espaço-temporal das perdas de solo e o entendimento das variáveis que mais propiciam essas perdas ainda se fazem necessárias.

Tais estudos tornam-se ainda mais importantes, pois além de situar como pesquisa de base, serve para o estabelecimento de políticas públicas com vistas ao reconhecimento de áreas prioritárias para o manejo e conservação dos recursos naturais, tendo em vista que os processos erosivos estão entre os problemas ambientais mais antigos em Goiás, principalmente quando associados a ausência de manejo em solos ditos “frágeis” (NUNES; CASTRO, 2015). Destaca-se a possibilidade de atual monitoramento a partir da disponibilização de bases de dados como o MapBiomas (Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil) e a espacialização em caráter multiescalar por regiões hidrográficas, a partir da codificação da Otto Bacias para o estado de Goiás.

Salienta-se que estudos apontam que a maior ocorrência de denudação mecânica está associada as escalas de menor análise, em decorrência de fatores como a erodibilidade e a erosividade das chuvas, enquanto as denudações químicas estão associadas as maiores bacias. Bacias extremamente grandes (> 100.000 km²) apresentam predomínio de denudação associada, ou seja, as duas formas de denudação (SUMMERFIELD, 2013).

Na atualidade tem-se a utilização de modelos matemáticos consagrados derivados da *USLE (Universal Soil Loss Equation)* como a *RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)* no Brasil traduzido como Equação Universal de Perda de Solos – Revisada (EUPS-R). Estes modelos demonstram a possibilidade a um baixo custo de aferição de taxas de denudação mecânica ou a processos erosivos hídricos, considerando inclusive pequenas feições lineares. A EUPS-R apresenta grandes aprimoramentos em relação a USLE ou EUPS, principalmente no que diz respeito aos fatores relativos ao comprimento de fluxo e a declividade (LS), mostrando-se melhor ajustada a realidade das vertentes, sendo por vezes, utilizada de maneira inadequada (WISCHMEIER; SMITH, 1978; RENARD et al., 2011; BORRELLI et al., 2017; ALEWELL et al., 2019).

Dentro deste contexto, este trabalho se justifica pelo reconhecimento das taxas de perda de solos, a partir da utilização do modelo matemático EUPS-R que apresenta grande importância no estabelecimento e consolidação do estágio de degradação, em escala de semidetalhe, face a atuação da fronteira agrícola.

Nesse sentido, a pesquisa apresenta-se constituída pelo estabelecimento de áreas e condições *proxy*. *Proxy* são simulações relativas à seleção e a retirada de variáveis mantendo determinado nível de controle, mas que não possuem atributos diretamente observáveis e que respondam como um indicador para um determinado fenômeno observado (GALLOPIN, 2006).

Assim, em síntese, partindo da premissa que um sistema pode ser definido como o conjunto dos elementos e das relações entre si (CHRTISFOLLETI, 1999) tem-se o fenômeno erosivo, como um exemplo de feição, cuja a sua atuação se dá em um sistema aberto, capaz de ser modelado.

O fenômeno erosivo evidencia estreita relação com os aspectos da geologia (principalmente as litologias que constituem o material de origem), a geomorfologia (as formas de dissecação do relevo, as declividades e os comprimentos de rampa), os solos (ao que pese a granulometria, a matéria orgânica, a permeabilidade e os tipos de estrutura, que em grande medida é fruto de aspectos relacionados a características físico-químicas e mineralógicas que se manifestam na erodibilidade), bem como as chuvas (associadas as

erosividades) e o uso e cobertura do solo que protege o solo da energia cinética das chuvas.

Com base nesse princípio tem-se que o problema investigado nesta pesquisa decorre do reconhecimento do fenômeno erosivo/denudação mecânica em distribuição espacial e temporal, ao qual podem ter sido agravados nas últimas décadas em decorrência da ocupação agropecuária do bioma Cerrado, especificamente no estado de Goiás.

Deste modo, com base no problema aqui delimitado, buscou-se resposta para os seguintes questionamentos: Qual é a situação de ocorrências de maiores denudações possíveis, os relacionados a fatores de uso e manejo (fator CP), ou relacionados as condicionantes ambientais intrínsecos como o relevo (fator LS), por exemplo? Em que medida os fatores intrínsecos, LS afetam os fatores extrínsecos, CP? Podem ser cumulativos? Haveria um padrão ambiental de reconhecimento das perdas de solo no estado de Goiás?

1.1. Estrutura da tese

A presente tese, elaborada no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Goiás está estruturada no formato de artigos. Com vistas a facilitar a leitura e o acompanhamento da diagramação do trabalho as figuras, quadros, tabelas e gráficos se apresentam em sequência numérica.

Feitas essas observações, inicialmente, a introdução evidencia as questões e os problemas levantados. Em seguida é apresentado as hipóteses que a norteiam, os objetivos gerais e específicos, uma sessão dedicada ao referencial teórico, contendo os conceitos envolvidos no estudo e, posteriormente, o desenvolvimento, composto pelos artigos científicos. É válido salientar que, por vezes, a pesquisa consiste de uma “repetição” em decorrência de um sombreamento temático e teórico-metodológico nos artigos apresentados.

Em síntese, a pesquisa consiste na averiguação da perda de solos em três artigos. O primeiro busca fazer uma análise das perdas de solos em escala de vertente, considerando a atuação (proxy) de duas unidades de conservação, sendo-as: o Parque Nacional de Brasília e o Parque Nacional das Emas, que

apresentam condições ambientais semelhantes ou análogas, mas em contextos de uso e cobertura diferentes, sendo-os respectivamente associados a expansão urbana e agropecuária.

Em seguida, o segundo consiste de uma avaliação da perda de solos a nível de bacias hidrográficas, buscando compreender quais são as regiões e as condicionantes ambientais de distribuição espaço-temporal que mais afetam nas perdas de solo no estado de Goiás.

O terceiro e último trabalho busca compreender o papel dos usos e coberturas na perda de solos. Este trabalho busca evidenciar em nível de regiões e vertentes como a dinâmica de ocupação do estado de Goiás, materializadas pelos usos agropecuários interferiram nessas perdas. Nesse sentido, uma pergunta emana, seriam elas as mais prejudiciais a essas perdas?

Deste modo, este trabalho se constitui de uma tese em decorrência da aplicação do modelo para todo estado de Goiás em uma escala de dados a nível de vertentes e bacias hidrográficas, a partir de uma análise multiescalar que vai das bacias associadas as unidades de conservação Parque Nacional de Brasília e Parque Nacional das Emas, até todo o estado de Goiás, analisando se as frentes de ocupação no estado, notabilizadas pela conversão de vegetação remanescente em áreas agropecuárias ocasionaram aumento na perda de solos. Ademais, o trabalho busca averiguar se as perdas de solo estão mais associadas a fatores intrínsecos do modelo, como o fator LS, ou a questões de conversão de usos e coberturas do solo.

1.2. Hipótese

A presente tese foi desenvolvida com base nas seguintes hipóteses:

- ✓ As atuais perdas de solo estão associadas a fatores intrínsecos dos sistemas ambientais do que necessariamente ao uso, ocupação e manejo dos solos;
- ✓ As perdas de solo apresentam regiões críticas podendo ser regionalizadas por bacias hidrográficas em seus diversos níveis escalares;
- ✓ As perdas de solo apresentam-se relacionadas a fatores cumulativos.

1.3. Objetivos

A tese apresenta como objetivo principal compreender a variação espaço-temporal das perdas de solo no estado de Goiás, a partir da EUPS-R. Para tanto foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Reconhecer as perdas de solo nas bacias hidrográficas associadas as unidades de conservação Parque Nacional de Brasília e Parque Nacional das Emas.
- Estabelecer as taxas de erosão a partir dos dados da EUPS-R nas bacias hidrográficas do estado de Goiás, considerando a distribuição espaço-temporal das perdas de solo no estado de Goiás.
- Avaliar de que maneira os diferentes usos e coberturas do solo propiciam as perdas no estado de Goiás.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Sistemas e modelos

Os sistemas podem ser definidos como um conjunto de objetos ou características que são interligados uns aos outros e operados de maneira conjunta e formam uma entidade complexa (CHRISTOFOLLETI, 1999; SUMMERFIELD, 2013). Os modelos em Geografia apresentam várias facetas aos quais buscam compreender a localização, a distribuição, o padrão e as interações existentes que envolvam o fenômeno observado (CHORLEY; HAGGETT, 1967).

Os sistemas ambientais se destacam por sua visão integradora, na qual a realidade é percebida como composta por entidades físicas ou virtuais, os sistemas identificáveis, aos quais se organizam segundo diversos tipos de relacionamentos, entre os quais, ressaltam para as investigações ambientais: as relações de inserção (hierarquias); justaposição (proximidade/contiguidade) e a funcionalidade (causalidade). Nesta perspectiva, a realidade pode ser compreendida como um conjunto imbricado de estruturas passíveis de serem perceptivas. À medida que a pesquisa científica avança, maiores são as amplitudes desta percepção acerca da realidade, contribuindo inclusive para as evoluções paradigmáticas (MULLIGAN; WAINWRIGH, 2013).

A observação sistêmica em Geografia tem como base de sua *episteme*, ou seja, o fazer metódico e sistemático (SAVIANI, 2007), a evolução do conceito de paisagem, que remonta ao princípio de sistematização e taxonomia, nos períodos das viagens de Humboldt, já no século XVIII, em que se buscava os corolários entre clima e vegetação, por exemplo, (GUERRA; MARÇAL, 2015). O desenvolvimento de uma percepção de “Fisiologia da Paisagem” ao qual, por intermédio de S. Passarge (1912), inicialmente busca uma compreensão territorial exibindo como premissa as relações entre os fatores abióticos e os bióticos. Em seguida, o conceito foi apropriado por Ab’Saber (1969) ao qual buscava compreender, a nível de vertente, essencialmente os efeitos antrópicos sobre as relações de fluxo de energia e matéria ocasionando muitas vezes feições erosivas (CASSETI, 2005).

Ademais, a paisagem enquanto categoria integradora apresenta um forte vínculo com a “Ecologia das Paisagens” (TROLL, 1950) que visa por meio de levantamentos de uso e cobertura da terra por fotografias aéreas ou imagens orbitais compreender a relação simbiótica entre a sociedade e a natureza. Convém destacar que aqui se entende que a história da sociedade é a continuidade da história da natureza (SALGADO-LABOURIAU, 1994; MARQUES, 2019).

Com a evolução, na perspectiva de desenvolvimento, concebe-se os geossistemas, que em linhas gerais, tanto para Bertrand (1969) como para Sotchava (1977) correspondem a conexão da natureza com a sociedade, a partir da interação entre os fenômenos socioeconômicos, físicos e bióticos, podendo inclusive determinar as organizações espaciais (CHRISTOFOLLETI, 1999), que não apresenta qualquer relação escalar *a priori*, mas sim, a busca pela compreensão dos processos de interação e sua consequente dinâmica.

Há de se considerar que os sistemas em Geomorfologia/Geografia são considerados em três formatos básicos, sendo-os: a) o morfológico que são representados pelos diferentes elementos da forma do relevo, por exemplo, a curvatura e a declividade; b) o sistema em cascata, sistematizados pela atuação do fluxo de energia e matéria na paisagem; e a união dos dois; o c) sistema processo-resposta que visa identificar e representar o sistema morfológico a partir do sistema em cascata (SUMMERFIELD, 2013). Em síntese, o trabalho de geomorfologia torna-se geográfico a partir do momento em que a mesma é utilizada para entender o modo em que se dá a apropriação das comunidades humanas sobre o relevo (CASSETI, 2005).

Em linhas gerais, a relação entre os sistemas e modelos, ambos ambientais, se dá de maneira contundente nos anos 1950, a partir do estabelecimento do conceito de “Ecossistema” por Tansley (1935) e o desenvolvimento da Teoria Geral dos Sistemas por Bertalanffy (1950) que influenciou de maneira importante a “Geografia Teorética”. Deste modo, desenvolvimentos científicos, principalmente geográficos buscam reconhecer a partir deste momento a interação e a intersecção entre os aspectos espaciais e temporais (MULLIGAN; WAINWRIGH, 2013).

O modelo consiste de uma abstração da realidade, uma simplificação na qual apenas os componentes considerados significativos para o problema em questão são representados. Modelar não consiste de uma alternativa para a observação, ou seja, torna-se imperativo manter-se as observações, inclusive indutivas, mas em certas circunstâncias, ela pode ser uma forte ferramenta de compreensão, testes e observações para o desenvolvimento de uma teoria (MULLIGAN; WAINWRIGH, 2013), aproximando-se da ideia de um “teste de hipóteses” (FERNANDES, 2016).

O teste de hipóteses apresenta como premissa o procedimento hipotético-dedutivo ao qual, em síntese, busca demonstrar que uma significância de uma determinada relação possa ser estabelecida e testada com dados de quaisquer outras áreas ou sistemas (CHRISTOFOLLETI, 1999). Assim, a modelagem constitui-se da única forma que temos para testar tais hipóteses, dado a complexidade da realidade, uma vez que mensurações em campo, ou experimentos em laboratórios, com certas condições controladas tornam-se impossíveis, ou impraticáveis, dado as limitações referentes a escala espacial/temporal (MULLIGAN; WAINWRIGH, 2013; SUMMERFIELD, 2013; FERNANDES, 2016).

Os sistemas ambientais passíveis de modelagem apresentam em sua concepção de trabalho critérios de uma ampla escala de interações, observando a abrangência regional; aspectos relativos a um longo-termo de avaliação, lidando com tempos pretéritos, de um passado geológico-geomorfológico, por exemplo; critérios multicomponentes ao qual apresenta-se como resultante de uma variedade de interações que são inclusive impraticáveis de controle pela experimentação científica tradicional, tornando-o inclusive complexo, por vezes de validação, ficando a cargo apenas de verificação de processos e passos (MULLIGAN; WAINWRIGHT, 2013).

Nesse sentido, tem-se modelado em duas formas principais nos trabalhos de Geografia Física, por vezes, havendo sobreposição com o teste de hipóteses, sendo-os: os modelos de predição e de retrodição (FERNANDES, 2016). Os modelos de predição são destinados a estudos de previsão, possibilitados pelo reconhecimento e desenvolvimento de cenários ambientais em locais que não são amostrados, seja na escala temporal ou espacial. Um exemplo claro são as

“Cartas de Risco”, que por meio de um inventário, averiguação e intersecção de informações oriundas de um banco de dados permitem a espacialização de áreas passíveis de ocupação ou que apresentam um determinado fenômeno ambiental que o impeça de ser ocupado. Esses modelos podem, por exemplo, apresentar bases empíricas e matemáticas, essas últimas divididas em determinísticas e estocásticas.

Os modelos empíricos de predição constituem de análises realizadas a partir da “observação” dos dados disponíveis, obtidos em mensurações, monitoramentos ou experimentos, seja de campo ou de laboratório, não possuindo relações com teorias ou leis físicas, podendo ser admitida relações matemáticas (FERNANDES, 2016). Quando apresentam e evidenciam os processos de como o sistema trabalha, com maior nível de profundidade em relação aos empíricos são chamados de modelos conceituais e quando apresentam bases físicas com mais ampla e detalhada compreensão dos processos são chamados de modelos físicos (MULLIGAN; WAINWRIGHT, 2013).

Os modelos determinísticos constituem de uma análise de um determinado sistema, em que os dados de entrada vão apresentar consequência direta aos dados de saída. Em outras palavras, as respostas geradas serão as mesmas, desde que os dados de entrada permaneçam os mesmos. Os modelos estocásticos se constituem por apresentar eventos aparentemente aleatórios, que possuem uma certa probabilidade de ocorrência, havendo assim, um certo grau de incerteza quanto aos resultados. Em outras palavras, as respostas geradas não podem ser as mesmas com os mesmos dados de entrada, podendo haver variações em decorrência de específicas “circunstâncias” (RENARD et al., 2013; GASSET, 2019).

Ambos modelos tem apresentado ganhos importantes a partir da utilização dos sistemas de informações geográficas (SIG's) ao qual podem espacializar e sobrepor uma diversidade de informações georreferenciadas, estabelecendo assim com precisão e acurácia o reconhecimento da localização, da distribuição, e do padrão conforme proposto por Chorley e Haggett (1967), bem como evidenciar uma certa “cinematicidade” temporal dos fenômenos observados (NUNES, 2015).

Os modelos de retrodição visam reconhecer características ambientais pretéritas ao qual não existem mais, podendo ser tanto no período humano como no geológico (FERNANDES, 2016). A reconstrução de cenários paleoambientais torna-se importante para o reconhecimento de processos eminentemente naturais, que podem sugerir melhorias nas condições análogas aos dias atuais, tendo como exemplo, a perda de solos. Os modelos de retrodição podem apresentar comparações com os cenários atuais, tornando-os interessantes, pois permitem compreender lacunas e também testar hipóteses, a respeito da variabilidade ambiental ao longo do tempo e do espaço, comparando-as a questões ambientais urgentes, afim de reconhecer e estimar cenários.

Em síntese, os sistemas ambientais se destacam pela sua organização por meio de diferentes inter-relacionamentos, aos quais se caracterizam por sua diversidade, devendo então ser analisados por modelos. Os modelos compreendem, em síntese, uma representação da realidade, que busca evidenciar os aspectos mais importantes e esmaecer aqueles menos relevantes. Para tanto, podem ser utilizadas uma diversidade de modelos, entre eles, o teste de hipóteses, o de predição e o de retrodição, podendo ambos ser consorciados.

Deste modo, esta pesquisa tem como método o teste de hipóteses ao qual busca estabelecer o reconhecimento e a compreensão dos processos erosivos do estado de Goiás, entendendo-o como um sistema dinâmico, ao qual a interação entre as partes forma uma entidade complexa (CHRISTOFOLLETI, 1999).

2.2. Denudação e processos erosivos

O desenvolvimento exógeno das paisagens está associado ao processo de denudação, que pode ser compreendida pelo volume de rocha ou manto de alteração removidos de uma determinada área, em um específico período de tempo, composto tanto por partículas sólidas como por materiais dissolvidos. A proporção de partículas sólidas ante as dissolvidas produzidas na superfície terrestre representa uma proporção entre 85 – 15% respectivamente (GOUDIE, 2004).

O desenvolvimento dos solos está associado aos processos de denudação, onde o maior desenvolvimento pedogenético é favorecido pela baixa denudação mecânica, em decorrência de um efeito “blindagem”, que promove a interação entre a água e as superfícies minerais, favorecendo assim, o desenvolvimento de materiais secundários e consequentemente a formação dos solos (BUOL et al., 2011). De maneira contrária, a alta denudação mecânica mantém a superfície continuamente exposta, que por decorrência, não confere tempo para a interação entre a água e as superfícies minerais com a consequente diminuição da espessura dos solos (SUMMERFIELD, 2013).

As partículas sólidas são originadas pela denudação física, enquanto os materiais dissolvidos são originados pela denudação química. A denudação química envolve rebaixamento da superfície a partir da atuação do intemperismo químico e a erosão geoquímica, seja de maneira colaborativa ou unitária. A denudação física ou mecânica corresponde a remoção de sólidos da superfície, portanto, dos processos erosivos (GOUDIE, 2004). Os processos erosivos se constituem de processos geomórficos responsáveis pelo destacamento de partículas do solo, fragmentos de rocha, agregados do solo e a matéria orgânica, podendo ser transportados por diferentes processos sejam eles hídricos, eólicos, fluviais ou glaciais (MORGAN, 2005; POESEN, 2017).

O fenômeno erosivo hídrico é a principal causa de degradação dos recursos naturais, principalmente quando associada a ocupação humana e sua degradação se dá em maior medida pelo arraste das partículas menores, principalmente as argilas, que apresentam alta capacidade de adsorção e de nutrientes, culminando assim, no decréscimo da fertilidade e, consequentemente, pela redução das produções ou pelas crescentes necessidades da reposição de fertilizantes e corretivos agrícolas (MORGAN, 2005; SANTOS, 2010).

A distância do transporte das partículas do solo destacado está relacionada aos tipos de processos e a energia cinética nele contidos. Os processos erosivos envolvidos pelo efeito “*splash*” ou pelo procedimento de trabalho na própria lavoura (arado, gradagem) não alcançam mais que 1m de transporte; feições lineares como sulcos, erosões laminares e as do tipo *piping* (lençol freático) apresentam distâncias percorridas menores que 100m; feições

erosivas como voçorocas apresentam transporte de sedimentos em até 1km; e por fim, sedimentos provenientes do processo de colheita e por transporte fluvial apresentam distâncias comumente maiores que 1km (POESEN, 2017).

Nesse sentido, embora o impacto da chuva desempenhe um papel importante na liberação, ou destacamento das partículas de solo, é o escoamento da água que promove o transporte das partículas liberadas para áreas em que ocorre o escoamento concentrado, e que dependendo da carga de sedimentos e da capacidade de transporte do escoamento é que ocorrerá a liberação ou a deposição dos sedimentos (PRUSKI et al., 2010).

Entre os modelos utilizados tem-se a Revisada Equação Universal de Perda de Solos – RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) (RENARD et al., 2011) ao qual apresentam importantes implementações em relação a sua irmã USLE, a Equação Universal de Perda de Solos – (*Universal Soil Loss Equation*) (WISCHMEIER; SMITH, 1978), principalmente em relação ao fator topográfico, tido como um dos principais fatores que ocasionam a perda de solos por caracterizar a velocidade do escoamento superficial (RODRIGUES et al., 2017; JOSHI, 2018). A equação é sistematizada da seguinte forma:

$$A = R.K.LS.C.P \quad \text{Equação (1)}$$

Na equação, o fator R é representado pela erosividade, que se constitui de um índice numérico que expressa a capacidade da chuva de ocasionar a erosão hídrica (NEARING, 2017). A chuva se constitui do agente responsável pela energia necessária para ocorrência da erosão hídrica, tanto pelo impacto direto das gotas sobre a superfície do solo, quanto a sua capacidade de escoamento superficial (PRUSKI, 2010). Neste caso são consideradas principalmente a intensidade e a duração das precipitações que neste modelo apresenta uma tendência de perdas anuais, diferindo de outros modelos que visam prever a produção de sedimentos em precipitações individuais como a MUSLE (LAFLEN, 2006).

A erodibilidade, fator K, corresponde as características intrínsecas do solo ao destacamento e ao transporte de partículas pela precipitação e pelo escoamento, ao que pese a análise de variáveis como textura, estrutura e matéria orgânica, estando associados evidentemente a aspectos mineralógicos

e físico-químicos que se manifestam nas características morfológicas do solo (BISSONNAIS, 2006; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

O fator LS é resultante da combinação do comprimento de rampa com a declividade, demonstrada por uma parcela de cerca de 22,13 m em uma declividade de 9%, que expressa teoricamente o escoamento superficial de um determinado ponto espacial até os canais de drenagem (RENARD et al., 2011). Um dos erros comuns na adoção do fator LS para bacias, por vezes, é a ocorrência de altos valores de perda de solos em decorrência dos canais de drenagem (ZHANG et al., 2017), que em tese, por representarem amplos comprimentos de rampa podem representar maiores energias potenciais.

O levantamento do fator CP identifica e utiliza fatores referentes ao uso e cobertura da terra, bem como a práticas conservacionistas. Em tese, áreas com vegetação remanescente do bioma Cerrado não devem apresentar os fatores de conservação tradicionalmente expostos pela literatura, diferentemente de áreas com uso agropecuário, que por exemplo, podem apresentar plantio em contorno e alternância de campinas. Apesar destas especificidades, em decorrência a abrangência dos trabalhos levantados, adotou-se na estimativa a consideração de máxima perda de solo em áreas de usos antrópicos. Na oportunidade, convém destacar a diferença entre o uso e a cobertura da terra. O levantamento de uso e cobertura da terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre com vistas a retratar as formas e a dinâmica observada (IBGE, 2013), portanto, são considerados em uma generalização cartográfica.

É importante notar que, por vezes, há uma diferenciação entre o uso e a cobertura da terra, principalmente no que diz respeito a áreas em regeneração, por exemplo. Uma determinada área de Cerrado Típico desmatada com o consequente plantio de pasto pode em questão de anos tornar-se uma fitofisionomia de Cerrado Ralo. Deste modo, entende-se que seu uso é de pasto, mas sua cobertura de Cerrado Ralo, tendo assim, no uso, preponderância à cobertura no ato da classificação. De forma semelhante, as áreas de mineração encontram-se desmatadas com solo exposto,

prevalecendo assim, o uso de mineração perante a cobertura de solo exposto no momento do mapeamento e da consequente generalização cartográfica.

Convém destacar que esse entendimento exhibe como fundamentação teórico-metodológica de que áreas em regeneração completa devem apresentar 30 (trinta) anos de pousio (CHAZDON, 2012).

Os processos de denudação também tendem a apresentar uma variação em decorrência tanto do espaço, quanto do tempo, o que dificulta medir a influência de diferentes fatores determinantes desse processo, possibilitando estimar as perdas de solo por meio de modelos de predição e retrodição (FERNANDES 2016; SIAME et al., 2019).

Assim, quanto a variação espacial, a variável de observação pluviométrica associada a outras variáveis como solos, as encostas e ao uso e cobertura da terra determinam áreas mais passíveis de deflagração dos processos erosivos. Em locais com precipitações de até 450 mm, o aumento das precipitações até esse valor, os processos erosivos aumentam conjuntamente. Em locais com precipitações entre 450 – 650 mm, a mesma tende a oportunizar o desenvolvimento de vegetação, ocorrendo assim, a diminuição dos processos erosivos até o máximo desse índice (MORGAN, 2005).

Em áreas com a precipitação acima de 1.700 mm, a precipitação tende a superar a cobertura vegetal, favorecendo assim, os processos de denudação (MORGAN, 2005). Esses critérios correspondem bem ao observado na Amazônia, por exemplo, que na sua porção ocidental apresenta mais de 3.400 mm de precipitação acumulados ao ano e tem como principal característica solos bastante intemperizados, os Espodossolos (BUENO et al., 2019).

Em relação a variação temporal, os processos erosivos apresentam intensidades e distribuições diferentes no tempo histórico. A Alemanha, entre os anos 940 e 1.340 DC exibiam taxas erosivas de cerca de $10 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$, aumentando dramaticamente com o desmatamento entre 1.340 – 1.350 DC, com perdas médias de $2.250 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$, retornando a taxas menores, cerca de $25 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$ com ações de pousio e revegetação de 20% ainda na segunda metade do século XIV. A degradação dos solos contribuiu, em certa medida,

para migrações dentro da própria Europa, bem como para o aumento da mortandade das pessoas, decorrentes ao aumento da fome e a subsequente Peste Negra, entre os anos 1.347 – 1.351. Outro período com grande perda de solo foi decorrente a Revolução Industrial, em que no ano de 1.800 exibiam perdas médias de $20 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$ (BORK et al., 1998).

Os processos erosivos constituem do principal dano ambiental em áreas continentais cuja a consequência é o aumento da sedimentação, da poluição e das inundações. Destaca-se que nos processos erosivos há perda entre 75-80% do carbono contido em seus materiais, que com a subsequente liberação contribuem para o aumento das emissões atmosféricas (MORGAN, 2005). Assim, em síntese, os processos erosivos compreendem como o fenômeno de destacamento e arraste por escoamento das partículas do solo, que apresentam uma diversidade de características, que podem ser modeladas espaço-temporalmente.

3. PERDA DE SOLOS NO BIOMA CERRADO: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ÁREAS PROTEGIDAS E NÃO PROTEGIDAS POR UNIDADES DE CONSERVAÇÃO ¹

SOIL LOSS OF CERRADO BIOME: COMPARATIVE STUDY BETWEEN AREAS PROTECTED AND NOT PROTECTED AREAS BY CONSERVATION UNITS

PERTE DE SOL DANS LE BIOME DU CERRADO : ETUDE COMPARATIVE ENTRE ZONES PROTEGEES ET NON PROTEGEES PAR DES UNITES DE CONSERVATION

Resumo: O Bioma Cerrado brasileiro, importante região ecológico-econômica com grande produção de commodities, tem, em sua porção norte, a recente fronteira agrícola fora da Amazônia. Nesse contexto, este trabalho analisa as variabilidades espaço-temporais nas taxas de perda de solos calculadas para bacias hidrográficas que drenam o Parque Nacional das Emas (PNE) e o Parque Nacional de Brasília (PNB), e seus arredores, aplicando a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) para os anos 1970, 1985 e 2018. Os resultados indicam que as maiores taxas médias foram calculadas para o entorno do PNB, 10 ton.h-1.a-1, variando de 3,8 a 20,8. Ao contrário, para o PNE as taxas de perda de solos foram 10 vezes menores que as do PNB, onde não foram observadas diferenças significativas, com taxa média de 0,3 ton.h-1.a-1, variando de 0,1 a 0,5. Os fatores de controle da perda de solos diferiram entre os dois locais, pois para o PNB as mudanças no uso da terra controlaram as variabilidades espaço-temporais e, para o PNE, apenas as diferenças morfológicas desempenharam esse papel. As taxas calculadas para o PNE e arredores diferem da tendência geral observada para outras savanas do mundo.

Palavras-Chave: RUSLE, denudação, avaliação temporal.

Abstract: The Biome of Brazilian Savannah, Cerrado, an important ecological-economic region with a large production of commodities, has in its northern portion the recent agricultural frontier outside the Amazon. Problems derived from environmental degradation, such as erosive processes and the loss of soil productivity have shown their relevance. In this context, this paper analyses the space-time variabilities in soil losses rates calculated for watersheds draining the Emas National Park (PNE), and

¹ Artigo aceito para publicação no Boletim Goiano de Geografia.

National Park of Brasília (PNB), and their surroundings by applying the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) for the years 1970, 1985 and 2018. Results indicate that the higher average rates were calculated for the surroundings of PNB, 10 ton.h⁻¹.a⁻¹, hanging from 3.8 to 20.8. Oppositely, for the PNE soil loss rates were 10 times lower from those of PNB, where no significant differences were observed, with average rate of 0.3 ton.h⁻¹.a⁻¹ (hanging from 0.1 to 0.5). Oppositely, the controlling factors of soil loss differed among the two sites, as for the PNB land-use changes controlled the time-space variabilities, and for the PNE only the morphologic differences played this role. The rates calculated for the PNE and surroundings differ from the general trend observed for other Savannas in the world.

Keywords: RUSLE, denudation, temporal evaluation.

Résumé : Le biome de la savane brésilienne, le Cerrado, une région écologique et économique importante avec une grande production de produits de base, a dans sa partie nord la récente frontière agricole en dehors de l'Amazonie. Les problèmes dérivés de la dégradation de l'environnement, tels que les processus érosifs et la perte de productivité des sols ont montré leur pertinence. Cet article analyse les variabilités spatio-temporelles des taux de perte de sol calculés pour les bassins versants drainant le Parc National d'Emas (PNE) et le Parc National de Brasília (PNB), et leurs environs en appliquant l'équation universelle révisée de perte de sol (RUSLE) pour les années 1970, 1985 et 2018. Les résultats indiquent que les taux moyens les plus élevés ont été calculés pour les environs du PNB, 10 ton.h⁻¹.a⁻¹, suspendus de 3,8 à 20,8. A l'inverse, pour l' PNE les taux de perte de sol étaient 10 fois inférieurs à ceux du PNB, où aucune différence significative n'a été observée, avec un taux moyen de 0,3 tonne.h⁻¹.a⁻¹ (pendant de 0,1 à 0,5). Les facteurs qui contrôlent la perte de sol se différaient entre les deux sites, puisque pour le PNB les changements de couverture de sols contrôlaient les variabilités spatio-temporelles, et pour l'PNE seules les différences morphologiques jouaient ce rôle. Les taux calculés pour l'PNE et ses environs diffèrent de la tendance générale observée pour les autres Savanes dans le monde.

Mots-clés: RUSLE, denudation, évaluation temporelle.

Introdução

Os estudos acerca da perda de solos mostram-se importantes para práticas de manejo, ao possibilitar que diferentes entes da sociedade civil compreendam e adotem alternativas que mitiguem o processo da perda de solos. Convém destacar, contudo, que apesar do aumento da quantidade de estudos relativos

à perda de solos, muitos trabalhos têm sido realizados de maneira descontextualizada da realidade, principalmente em decorrência da falta de zelo com a utilização de modelos como a USLE e a RUSLE, que se destinam, inicialmente, a uma avaliação, em nível de vertente (RENARD et al., 2011; ALEWELL et al., 2019).

A utilização de modelos RUSLE possibilita a utilização de áreas *proxy* para estimar a perda natural de solos. O termo *proxy* se refere a áreas que apresentam características adequadas ao que pese a seleção e a retirada de variáveis, mantendo um nível de controle, entretanto, que não possam ser diretamente observáveis (GALLOPIN, 2006). Tal situação, está diretamente relacionada a perda de solos, visto que, o detalhamento das informações a nível de Bioma Cerrado apresenta-se onerosa, tanto a custo financeiro, quanto de tempo. A escala de avaliação aqui adotada é a de semidetalhe (1:50.000), a qual supre uma lacuna de estudos considerados no bioma, dada a ausência de trabalhos desta natureza e que possam ser representativas para as demais áreas. Ademais, o estudo apresenta uma comparação entre áreas conservadas e não conservadas exibindo como um dos recortes espaciais, as unidades de conservação (UC), sendo-as: o Parque Nacional de Brasília e o Parque Nacional das Emas.

Assim, o objetivo deste trabalho é compreender a distribuição espaço-temporal da perda de solos nas bacias hidrográficas associadas às referidas UCs, bem como seus respectivos entornos. Como objetivos específicos, têm-se: analisar a distribuição da perda de solos nos recortes temporais, a partir dos anos 1970 até os dias atuais, bem como reconhecer setores/bacias críticos quanto à perda de solos nas duas UCs.

Materiais e Métodos

Área de estudo

Foram analisadas quinze bacias, a partir da observação de sistemas ambientais análogos, sendo oito bacias associadas à região do Parque Nacional de Brasília e sete ao Parque Nacional das Emas (Figura 1). As bacias foram escolhidas em decorrência de serem sistemas ambientais abertos, nas quais são permitidas observações dos fluxos de energia e matéria em uma

porção territorial definida pelos seus interflúvios (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

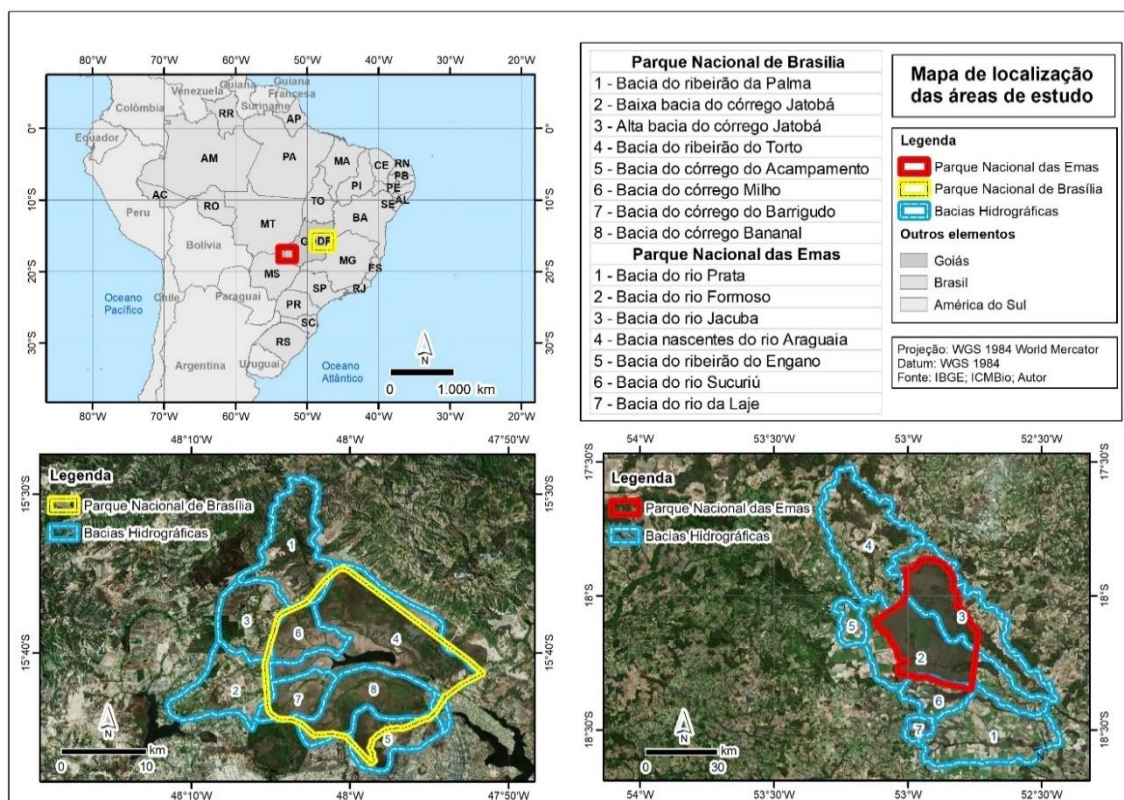


Figura 1: Localização das áreas de estudo

Os sistemas ambientais são constituídos por áreas análogas em decorrência da estabilidade crustal, observada nas duas regiões, sendo que, tanto o Parque Nacional de Brasília, quanto o Parque Nacional das Emas são compostos, predominantemente, por Latossolos, situados, respectivamente, sobre o Planalto Central do Distrito Federal e o Planalto de Rio Verde, localizados sobre a Faixa Móvel Brasília e a Bacia Sedimentar do Paraná (CASSETI, 2005).

Em relação aos aspectos climatológicos, ambas as áreas de estudo se inserem em semelhante contexto, o Clima Tropical Quente subúmido – Aw, caracterizado por duas estações bem definidas, sendo-as: o inverno seco, variando de meados de junho até setembro, e o verão chuvoso, variando entre dezembro a março, com precipitações médias de cerca de 1.500 mm/ano para a região do Parque Nacional de Brasília e 1.700 mm para a região do Parque Nacional das Emas.

Procedimentos Metodológicos

A RUSLE (Equação Universal de Perda de Solos Revisada) se constitui de um modelo matemático determinístico (FERNANDES, 2016) que apresenta como principal intuito reconhecer a perda de solos por erosões hídricas laminares, bem como por algumas feições lineares, em nível de ranhuras e sulcos (RENARD et al., 2011). A referida equação pode ser facilmente implantada, conforme a descrição a seguir:

$$A = R.K.LS.C.P \quad \text{Equação (1)}$$

Em que: A corresponde a perda de solos em $\text{ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$; R corresponde a erosividade em MJ.mm/ha/ano ; K corresponde a erodibilidade em Mg.h/MJ/mm ; LS corresponde respectivamente ao comprimento de rampa e a declividade; bem como o fator CP que corresponde ao fator uso e cobertura do solo e as práticas conservacionistas, estes últimos de valores adimensionais.

Com base no exposto, a observação da erosividade teve como procedimento metodológico a adoção da seguinte equação (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992).

$$EI = 68,730 (p^2/P)^{0,841} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde, EI corresponde a Erosividade Média; 68,730 é um coeficiente admitido na equação; p se refere à precipitação média mensal em milímetros; P representa a precipitação média anual em milímetros; 0,841 é um expoente admitido na equação.

A erodibilidade é composta pelas características intrínsecas do solo, pelo destacamento e transporte de partículas pela precipitação e pelo escoamento, ao que pese a análise de variáveis como textura, estrutura e matéria orgânica, estando associados evidentemente a aspectos mineralógicos e físico-químicos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). Deste modo, foram realizados levantamentos de dados bibliográficos da erodibilidade do horizonte “A” dos solos, conforme Quadro 1, tendo em vista, esta ser a camada mais superficial e pela ausência de horizonte “B”, em alguns solos, por exemplo, o Neossolo Litólico.

A escolha destes valores foi embasada em uma ampla revisão de literatura, exibindo como prioridade trabalhos realizados no bioma Cerrado, buscando adotar valores similares nas classes dos respectivos solos (subordem), a partir

da observação dos respectivos desvios padrões e da adoção da média como valor utilizado.

Quadro 1: Valores de erodibilidade para os solos identificados na área de estudo.

Solos (SIBCs)	Solos WRB	Erodibilidade	Referência
Latossolo Vermelho	Ferralsol	0,015	(BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010)
		0,034	(HERNANI et al., 2015)
		0,037	(DEMARCHI; ZIMBACK, 2014)
Latossolo Vermelho-Amarelo		0,039	(DEMARCHI; ZIMBACK (2014)
		0,052	
		0,022	(BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010)
Neossolo Litólico	Leptsols	0,018	(HERNANI et al., 2015)
		0,018	(DEMARCHI; ZIMBACK, 2014)
		0,048	
		0,052	(FARINASSO et al., 2006)
Gleissolo Háplico	Gleysol	0,047	(DEMARCHI; ZIMBACK, 2014)
		0,02	
Cambissolo Háplico	Cambisol	0,035	(SILVA et al., 2009)
		0,036	(CORRÊA et al., 2015)
Plintossolo Háplico	Plinthosol	0,017	(MARTINS et al., 2011)
		0,055	(FARINASSO et al., 2006)

Organização: Autores (2020).

Em relação à adoção do fator LS foram utilizadas equações que buscam minimizar a variação espúria dos recortes espaciais de vertentes, em que a RUSLE é tradicionalmente destinada, para bacias hidrográficas (ZHANG et al., 2017). Um dos erros comuns na adoção do fator LS para bacias, por vezes, é a ocorrência de altos valores de perda de solos em decorrência da consideração dos canais de drenagem. Deste modo, adota-se as seguintes expressões:

Fator L

$$L = (\lambda/22,1)^m$$

$$m = 0.2 \quad \theta \leq 1.7\% \cong 0,97^\circ;$$

$$\begin{aligned}
 m=0.3 & \quad 1.7\% < \theta \leq 5.2\% \cong 0,97^\circ < \theta \leq 2,97^\circ; \\
 m=0.4 & \quad 5.2\% < \theta \leq 9\% \cong 2,97^\circ < \theta \leq 5,14^\circ; \\
 m=0.5 & \quad \theta > 9\% \cong 5,14^\circ
 \end{aligned}$$

Fator S

$$s = 10,8 \operatorname{sen} \theta + 0,03 \quad \theta < 9\% \cong 5,14^\circ$$

$$s = 16,8 \operatorname{sen} \theta - 0,5 \quad \theta \geq 9\% \cong 5,14^\circ$$

FATOR= L.S

Em que: L corresponde ao comprimento de fluxo final, λ é o comprimento de fluxo em metros; 22,1 é o coeficiente da fórmula referente a parcela padrão (WISCHMEIER; SMITH, 1978), m: corresponde ao coeficiente de variação da declividade; S corresponde ao fator S; 10,8 ao coeficiente para valores com declividade menores que 9% que corresponde a 5,14°; 16,8 para declividades maiores que 9% $\cong 5,14^\circ$; 0,03 coeficiente aplicada a fórmula de declividades inferiores a 9%; 0,5 para declividades maiores ou iguais a 9%; $\operatorname{sen} \theta$ do ângulo correspondente extraído da declividade.

O levantamento do fator CP (Quadro 2), identifica e utiliza fatores, para esta pesquisa, que já levam em consideração as práticas conservacionistas. Em tese, áreas com vegetação remanescente do bioma Cerrado não devem apresentar os fatores de conservação tradicionalmente expostos pela literatura, diferentemente de áreas com uso agropecuário, que, por exemplo, podem apresentar plantio em contorno e alternância de capinas.

Quadro 2: Valores de uso e cobertura para o fator CP identificados na área de estudo.

Uso e cobertura do solo	CP	Referência
Eucalipto	0,0026	(MARTINS, 2005)
Área Urbana	0	(PARANHAS FILHO et al., 2003)
Malha Viária - Pavimentada	0	
Massa de Água	0	
Queimada	0,01	
Campo Sujo	0,001	(TOMAZONI et al., 2005)
Campo Úmido	0,001	
Cerrado Ralo	0,001	
Cerrado Típico	0,001	

Cerrado Rupestre	0,001	
Parque de Cerrado	0,001	
Reflorestamento	0,003	
Vereda	0,001	
Área Urbana - Em Consolidação	0,03	Adaptado (PARANHAS FILHO et al., 2003; SILVA, 2008)
Mineração	0,03	
Solo Exposto	1	DA COSTA et al., (2005)
Mata de Galeria	0,0001	
Agricultura	0,05	SILVA (2008)
Cerradão	0,0005	
Mata Seca	0,0005	
Pastagem	0,008	

Organização: Autores (2020).

Dada a diversidade fitofisionômica do bioma Cerrado, os valores foram agrupados/adaptados a nível de Formação, que corresponde a estrutura da vegetação, as formas de crescimento dominantes e a eventuais mudanças estacionais que nela ocorrem (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Mapeamento de solos

A realização do levantamento de semi-detalle dos solos, em escala de 1:50.000, realizou-se a partir de levantamentos morfológicos, por intermédio de trincheiras, tradagens, visualizações de cortes de estrada, bem como o acompanhamento de padrões nas distintas regiões das unidades de conservação (SANTOS et al., 2013; IBGE, 2015).

Em ambas as unidades de conservação foram compiladas inicialmente informações inerentes aos levantamentos do Projeto RADAMBRASIL (1982, 1983) sendo utilizadas outras informações complementares de estudos referentes a região do Parque Nacional de Brasília (MOTTA et al., 2002; FARIAS et al., 2008) e região do Parque Nacional das Emas (NUNES, 2015).

Assim, apesar da divergência das escalas adotadas, ambos os estudos apresentaram correspondência espacial quanto aos tipos de solos, sendo o trabalho de escala generalizada necessário para entendimento da ocorrência e

distribuição dos solos nas regiões de estudo, que teve seu reajuste possibilitado pelas técnicas de Mapeamento Digital de Solos, consorciadas com atividades de campo (LIMA et al., 2013).

Mapeamento de uso e cobertura do solo e variáveis climatológicas

A avaliação de uso e cobertura do solo foi possibilitada pelas imagens LANDSAT 1 e 2, no ano de 1973 para o Parque Nacional das Emas e 1975 para o Parque Nacional de Brasília, visto que são as imagens mais antigas e com menor nível de ruídos (emissões atmosféricas, problemas espectrais, por exemplo) das décadas de 1970, disponibilizadas para as respectivas áreas. Para tanto, as imagens apresentam composição colorida em falsa cor RGB 564.

Para os anos de 1985 e 2018 foram utilizados respectivamente as imagens dos sensores LANDSAT 5 TM e LANDSAT 8 OLI, em composições coloridas RGB - 543 e RGB - 654, sendo também utilizadas imagens do sensor SENTINEL 2, em composição colorida de falsa cor – RGB 483 para verificação e confirmação de possíveis generalizações cartográficas, sendo mantida a utilização desta última na execução do modelo. Quanto à chave de classificação foram adotadas as características fitofisionômicas, bem como critérios de cor, textura e forma (RIBEIRO; WALTER, 2008; FLORENZANO, 2008; NUNES, 2015). As imagens compreendem o período de estiagem, tendo em vista a menor incidência de nuvens e que possibilitam o reconhecimento de áreas com diferentes produções de biomassa.

Resultados

RUSLE – Parque Nacional de Brasília

A avaliação do recorte temporal entre 1975-1985-2018, conforme Tabela 1, evidencia uma perda de solos na área interna ao Parque Nacional de Brasília, no ano de 1975, de $4,5 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$, enquanto na área externa é de $20,8 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$. Em relação ao ano de 1985 há uma inversão quanto à predominância das perdas, onde, na área interna ao Parque, há uma perda média de $8 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$, ante a $3,8 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$, em sua área externa. Já no ano de 2018, o Parque Nacional de Brasília exibe uma taxa média de perda de solos em sua área

interna de cerca de 5 ton.h⁻¹.a⁻¹, enquanto na área externa a unidade de conservação apresenta uma taxa de perda de solos de 6 ton.h⁻¹.a⁻¹, perfazendo assim, uma média de 5,5 ton.h⁻¹.a⁻¹.

Tabela 1: Síntese da variação de perda de solos nas áreas interna e externa do Parque Nacional de Brasília.

Parque Nacional de Brasília	Média (ton/ha)		
	1975	1985	2018
Área interna	4,5	8	5
Área externa	20,8	3,8	6
Média	12,6	5,9	5,5
Desvio Padrão	11,5	3	0,62

Os dados da Tabela 1, demonstram, ainda, que o alto desvio padrão entre a área interna e a área externa no recorte temporal de 1975 reflete uma grande assimetria em relação à perda de solos, principalmente em bacias hidrográficas localizadas dentro e fora da UC, ou em setores dessas bacias. A assimetria tende a diminuir nos recortes temporais subsequentes, com pequena variação entre as áreas interna e externa do Parque Nacional de Brasília, em 2018.

A observação por bacias hidrográficas, no ano de 1975, indica que a bacia com menor perda de solos é a do córrego do Milho, com perdas anuais de 1,18 ton.h⁻¹.a⁻¹, seguida pela bacia do córrego Bananal, com perdas de cerca de 4 ton.h⁻¹.a⁻¹. Ambas compõem, juntamente com o córrego Barrigudo, a área nuclear do Parque Nacional de Brasília. A bacia do córrego Barrigudo apresentou perdas de cerca de 7 ton.h⁻¹.a⁻¹, em decorrência da constatação de áreas com solo exposto.

Os dados das bacias, que se localizam na área externa ou intermediária ao Parque Nacional de Brasília indicam que a bacia do córrego Acampamento é a que apresenta maiores perdas de solos entre todas as bacias, em todos os recortes temporais, seguida pelas bacias do ribeirão Palma e a baixa bacia do córrego Jatobá. No ano de 1975, ambas apresentam, respectivamente, uma perda de solos de 45 ton.h⁻¹.a⁻¹, 19 ton.h⁻¹.a⁻¹ e 12 ton.h⁻¹.a⁻¹, conforme Figura 2.

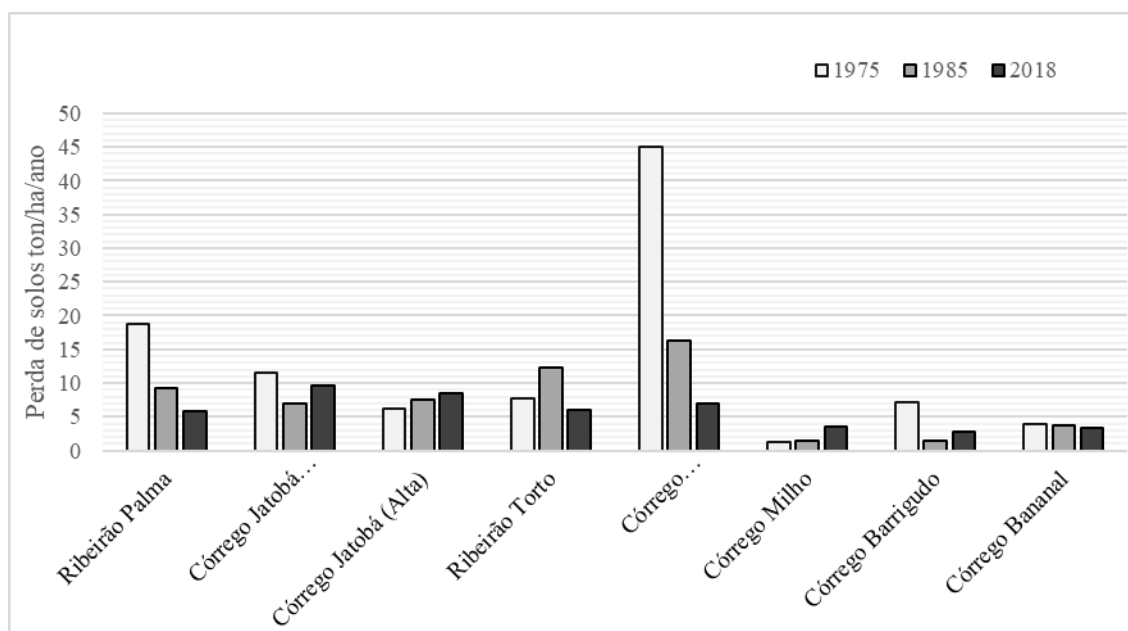
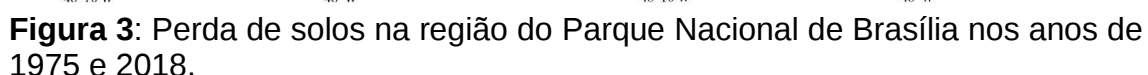


Figura 2: Variação entre a perda média de solos ($\text{ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$) nas bacias associadas ao Parque Nacional de Brasília entre os anos de 1975-2018.

O efeito de borda da bacia do córrego Acampamento pode ser notado a partir da maior perda de solos observada nessa bacia. As áreas queimadas, associadas ao solo exposto, contribuíram para uma perda média de $45 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$. A bacia do ribeirão Palma também apresenta grandes perdas de solo, associadas principalmente a solos expostos, em decorrência da abertura de estradas vicinais, bem como algumas áreas localizadas à jusante da bacia, que em virtude da concentração de fluxo e ao alto gradiente altimétrico, 547 m (1.335 m – 788 m), apresentam grande denudação mecânica. O efeito antrópico observado na bacia do córrego Jatobá, tanto na sua porção mais baixa, quanto na sua porção mais alta, pode explicar a maior perda de solos, ante as áreas conservadas, onde se nota a ocorrência de algumas áreas queimadas, algumas estradas vicinais e áreas de solo exposto, que elevam consideravelmente a denudação mecânica.

As bacias que se localizam no interior da unidade de conservação, Milho, Barrigudo e Bananal apresentaram pouca variação na perda de solos, à exceção do ribeirão do Torto no ano de 1985, o que pode ser explicada em decorrência de alguma pequena alteração fitofisionômica pela ocorrência de queimadas pontuais, ou ocorrência de solo exposto, que quando sobrepostos pela amplitude morfométrica, associadas a uma convergência de fluxos, amplificam a denudação mecânica. É válido salientar a pouca variação na

O ano de 1975 precisa ser analisado com certo detalhe, quando comparado aos demais recortes temporais, 1985 – 2018, visto que apresenta média bem maior, em decorrência de solos expostos para retirada de material de empréstimo e abertura de vias, principalmente na bacia do córrego Acampamento, às margens da BR-020, que contribuíram para a elevada perda de solos, bem como a bacia do córrego Barrigudo, em decorrência da abertura da DF-001. Essa última bacia, espacialmente, apresenta-se mais conservada, porém, áreas pontuais com solo exposto elevam seus resultados de perda de solos, deixando-a inclusive com mais perdas ante a bacia do córrego Bananal, conforme Figura 3, que espacialmente se apresenta mais degradada.



43

associadas com a ocorrência de pontuais regiões com solos expostos, e áreas de expansão urbana contribuíram para uma elevada perda de solos em relação aos demais recortes temporais.

RUSLE – Parque Nacional das Emas

A avaliação do recorte temporal 1973-1985-2018 do Parque Nacional das Emas (Tabela 2), evidencia que a perda de solos não chegou a $1 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$ de média. Especificamente, no ano de 1973, uma única bacia hidrográfica chamou atenção quanto a perda de solos, a bacia das nascentes do rio Araguaia com perda de solo de $0,94 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$, sendo que, as demais apresentaram perdas quase desprezíveis. Nesse específico caso, a média (Tabela 2), não representa com fidelidade o comportamento espacial, haja visto o resultado do desvio padrão e sua diferença para a área interna em 1973.

No ano de 1985 as perdas apresentam médias de $0,06 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$ na área interna do Parque Nacional das Emas e de $0,2 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$ na sua área externa. Já no ano de 2018, o Parque Nacional das Emas exibe uma taxa média de perda de solos na sua área interna com $0,45 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$, enquanto na área externa, a unidade de conservação apresenta uma taxa de perda de solos de $0,24 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Síntese da variação de perda de solos nas áreas interna e externa do Parque Nacional das Emas.

Parque Nacional das Emas	Média (ton/ha)		
	1973	1985	2018
Área interna	0,02	0,06	0,45
Área externa	0,3	0,2	0,24
Média	0,16	0,13	0,35
Desvio Padrão	0,2	0,10	0,15

O ano de 1985 há um crescimento na perda de solos, com aumento em todas as bacias hidrográficas, à exceção da bacia do rio Araguaia que apresenta uma redução, partindo de $0,95 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$ no ano de 1973, para $0,48 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$ no ano de 1985. As bacias que estavam em parte inseridas dentro da UC, Jacuba e Formoso, apresentaram perdas médias de $0,2 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$. As bacias localizadas na parte externa à UC como a bacia do ribeirão Engano e a do

ribeirão da Laje apresentaram maior perda neste recorte temporal com uma perda média de 1 ton.h⁻¹.a⁻¹, conforme Figura 4.

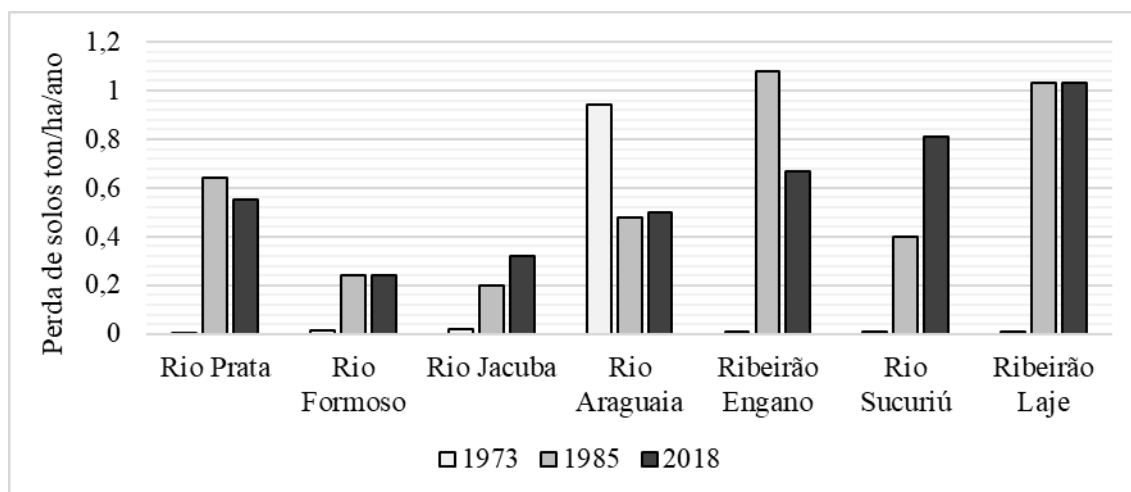


Figura 4: Variação entre a perda média de solos (ton.h⁻¹.a⁻¹) nas bacias associadas ao Parque Nacional das Emas entre os anos de 1973-2018.

No ano de 2018, conforme pode-se observar na Figura 4, demonstra-se que tanto o rio Formoso, quanto o Jacuba evidenciam a menor perda de solos, ante as bacias analisadas neste recorte temporal com respectivas perdas de 0,24 ton.h⁻¹.a⁻¹ e 0,32 ton.h⁻¹.a⁻¹, apesar do pequeno crescimento desta última bacia em relação a 1985. Destaca-se que esse resultado é reflexo da atuação do Parque Nacional das Emas sobre essas bacias, onde as bacias do entorno, em decorrência do uso agropecuário, apresentam maior perda de solos neste recorte temporal. Especificamente, as bacias do rio Formoso e do rio Jacuba apresentam 53% e 44% de suas áreas inseridas dentro da UC.

Nas áreas externas ao Parque Nacional das Emas, no ano de 2018, a bacia do ribeirão da Laje ainda demonstra ser a de maior perda com os mesmos 1,03 ton.h⁻¹.a⁻¹, constatados no ano de 1985, seguidas pela bacia do rio Sucuriú com 0,8 ton.h⁻¹.a⁻¹, resultado duas vezes maior ante a 1985.

Localizada também na parte externa, chama a atenção, a redução na perda de solos na bacia do ribeirão Engano, partindo de 1,08 ton.h⁻¹.a⁻¹ em 1985, para 0,67 ton.h⁻¹.a⁻¹ em 2018, assim como a do rio da Prata em 1985 apresenta uma perda de 0,64 ton.h⁻¹.a⁻¹ e no ano 2018 reduz para 0,55 ton.h⁻¹.a⁻¹. Essas reduções estão associadas a extinção das áreas queimadas, que foram convertidas para áreas agrícolas.

A evolução na perda de solos entre 1973 e 2018 é espacialmente nítida (Figura 5), mas a perda média na classe entre 0-1 ton/ha/ano na área externa do Parque Nacional das Emas é de cerca de 60% e até 5 ton/ha/ano perfaz 80% da área de estudo em 2018. Chama a atenção a conservação demonstrada pelos resultados do rio Jacuba e Formoso, o que demonstra a importância da UC. As áreas com maiores perdas se localizam em convergência de fluxos em áreas de solo exposto. Nota-se a pouca perda nas áreas agradacionais de campo úmido.

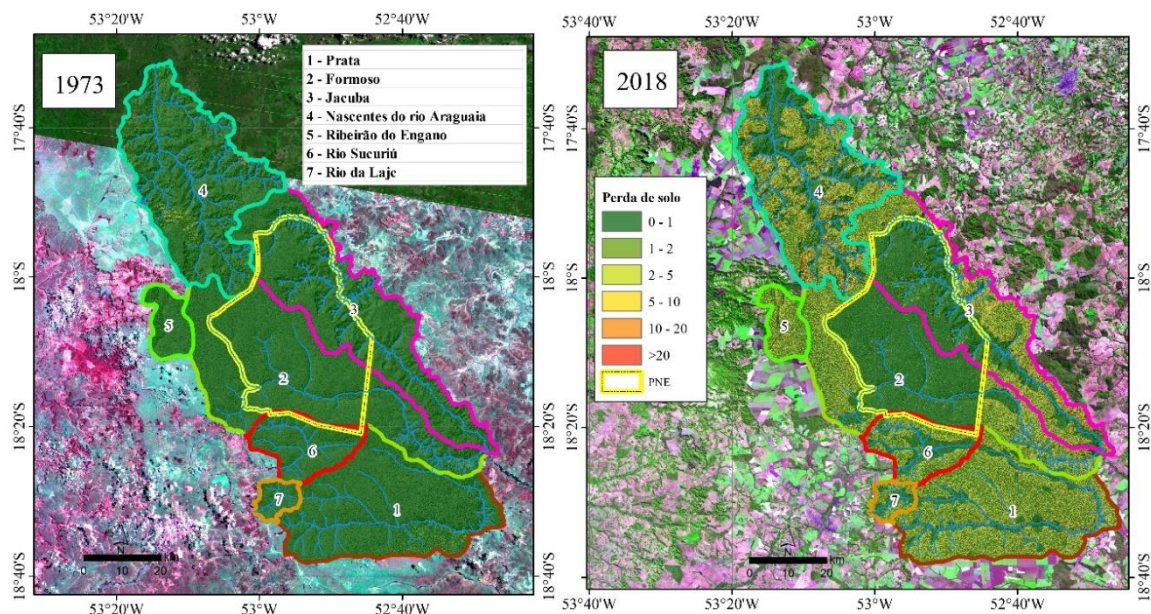


Figura 5: Perda de solos na região do Parque Nacional das Emas nos anos de 1973 e 2018.

Discussão

Estudos realizados em bases cartográficas de reconhecimento apontam que, para o bioma Cerrado, há uma perda média na faixa entre $0,7 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$ a $20 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$, sendo que, algumas áreas apresentam até $40 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$, em decorrência destes ambientes estarem fortemente associados aos movimentos gravitacionais, visto as fragilidades geológico-geomorfológicas intrínsecas (CAMPAGNOLI, 2006).

Gomes et al., (2019) apontaram com base em modelagem RUSLE que no recorte temporal entre 2000 e 2012 as perdas partiram de uma média de $10,4 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$ para $12 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$, respectivamente, ou seja, um crescimento de cerca de 16,6%, tendo como principal influência o aumento da área plantada, partindo de 6% (2000) para 10% (2012). Destaca-se que a Tolerância de Perda

de Solos estimada para um Latossolo Vermelho, o solo que apresenta maior desenvolvimento genético é de $15 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$ (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

No município de Brotas (SP), levantamentos realizados de perda de solos no bioma Cerrado, em parcelas experimentais para situações de cobertura totalmente inversas, sendo uma em Solo Exposto e outra em Cerrado Típico, ambas sobre Neossolo Quartzarênico Órtico, demonstram que a perda de solos chega a $15,25 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$, no primeiro caso, e $0,17 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$ no segundo (OLIVEIRA, 2014). O autor ainda demonstra que a produção de sedimentos é acumulada em 77,5% de ambas as parcelas, nos períodos de verão e outono. Tais resultados apresentam bastante semelhança com os resultados encontrados nessa pesquisa, principalmente quando comparados os usos e coberturas fora e dentro das unidades de conservação, sendo que os valores de Cerrado Típico se apresentam muito próximos ao observado para o Parque Nacional das Emas.

Ambas variações nas perdas das duas UC se dá, predominantemente, pela forma de uso e “pressão” que sofrem as bacias associadas às unidades de conservação, em que as bacias ao entorno do Parque Nacional de Brasília estão condicionadas à expansão antrópica de movimentação do solo, em decorrência da expansão urbana, enquanto no Parque Nacional das Emas, sua conversão se dá principalmente em decorrência da conversão da vegetação em atividades agropecuárias, mas que em decorrência do relevo predominantemente aplainado apresenta poucas perdas.

A conversão da cobertura e uso do solo corresponde em até 45% o aumento das perdas, ante ao fator K que apresenta 33%, e o fator LS com 13% (JOSHI, 2018). Há autores que ainda apontam a erosividade e a erodibilidade, respectivamente, como as principais variáveis inerentes ao aumento da perda de solos (YANG et al., 2018).

Em comparação com outros ambientes savânicos, o Cerrado brasileiro apresenta uma perda de solos pequena, em relação a alta bacia do rio Nilo, que apresenta uma perda média de $75 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$. Destaca-se que a bacia do alto rio Nilo, composta pelos canais Nilo Branco e Nilo Azul, que confluem na cidade de Cartum, no Sudão, evidenciam uma contribuição de sedimentos

respectivamente de 95% e 5% do total aportado (AHMED; ISMAIL, 2008; TAMENE. LE, 2015).

Considerações Finais

As bacias associadas ao Parque Nacional de Brasília apresentam taxas maiores de perda de solos ante as bacias associadas ao Parque Nacional das Emas, principalmente em decorrência de estarem situadas mais próximas aos núcleos urbanos, em que há maiores movimentações de terra, em decorrência da sua expansão urbana, ocasionando áreas queimadas e Solo Exposto. Outro fator que corrobora para maior perda de solos na região do Parque Nacional de Brasília são as características morfométricas da área de estudo, que apresentam áreas mais dissecadas ante ao Parque Nacional das Emas, áreas estas que produzem maior quantidade de sedimentos em decorrência do escoamento superficial.

As bacias com maior perda de solos no Parque Nacional de Brasília são a bacia do córrego Acampamento, chegando a ter quase $45 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$, no ano de 1975, e a bacia do ribeirão do Engano no Parque Nacional das Emas, mas com valor bem mais modesto, pouco mais de $1 \text{ ton.h}^{-1}.\text{a}^{-1}$, no ano de 1985. Ambas diferenciações se dão basicamente pelas características morfométricas, visto que, as bacias relativas ao Parque Nacional das Emas apresentam predominantemente situadas sobre “cimeiras” com amplos interflúvios aplainados, que permitem o maior processo de infiltração ante ao escoamento superficial.

Os modelos da RUSLE, quando ajustados às características de vertente/bacia hidrográfica, conforme proposto, apresentam resultados satisfatórios, evidenciados, sobretudo, pela diferenciação entre os resultados nos sistemas ambientais análogos, Parque Nacional de Brasília e das Emas. A distinção da perda de solos entre as duas áreas se dá principalmente pela pequena diferenciação do caráter morfométrico, bem como pela conversão do uso e cobertura do solo, que tendem a apresentar maior perda de solos que uma área em plantio sobre Latossolo em relevo plano.

Por fim, sugere-se a continuação destes estudos, também em escala adequada, abordando o fenômeno erosivo e de deposição por outros métodos e modelos de avaliação, a fim de que se possa consolidar o panorama da

denudação mecânica, apesar de que numerosos estudos não dispõem da calibração adequada.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado dentro do programa de colaboração CAPES-COFECUB (TE981/20).

4. O PAPEL DE FATORES NATURAIS E ANTRÓPICOS NA VARIABILIDADE DA PERDA DE SOLOS NO ESTADO DE GOIÁS ENTRE 1985 E 2018 ²

THE ROLE OF NATURAL AND ANTHROPIC FACTORS IN THE VARIABILITY OF SOIL LOSS IN THE STATE OF GOIÁS BETWEEN 1985 AND 2018

Resumo: A perda de solos depende de fatores naturais e antrópicos com elevada variabilidade espacial e temporal podendo ser inferidos por modelos de predição como a Equação Universal de Perda de Solos Revisada (EUPS-M). Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é analisar a distribuição e variação espaço-temporais das perdas de solo no estado de Goiás para os anos de 1985, 2000 e 2018, a partir da aplicação da EUPS-M, tendo a bacia hidrográfica (Ottobacias nível 6) como unidade de análise multiescalar. Os resultados demonstram que, em geral, há o aumento na perda média de solos no estado entre os anos observados, sendo que, em 1985 a média foi 2,4 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, crescendo para 10,8 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ no ano de 2000 e 11,56 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2018. As regiões hidrográficas do Tocantins e do Paraná são as que apresentam maiores perdas. Para além do controle geral da expansão da conversão dos Cerrados, o estado de Goiás apresenta dois padrões espaciais de perda de solos, um no qual predomina o controle dos fatores naturais, ligados aos aspectos morfogenéticos com forte influência do fator topográfico e o outro da erosividade das chuvas, especializadas em áreas como o “*front*” da *cuesta* Caiapó, a Serra Dourada e a Serra dos Pireneus. Esses dois fatores, quando associados definem áreas sensíveis, com as maiores perdas de solo do estado de Goiás.

Palavras-chave: processos erosivos, modelagem de perda solos, bioma Cerrado.

Abstract: Soil loss depends on natural and anthropic factors with high spatial and temporal variability, and can be inferred by predictive models such as the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). In this sense, the objective of this work is to analyze the spatio-temporal distribution and variation of soil

² Parte deste artigo foi aceito na revista Sociedade & Natureza.

losses in the state of Goiás for the years 1985, 2000 and 2018, based on the application of RUSLE and using the drainage basin as a multiscale unit of analysis. The results generally show that there has been an increase in the average loss of soils in the state between the observed years, with the average in 1985 being 2.4 ton.ha⁻¹.year⁻¹, growing to 10.8 ton.ha⁻¹.year⁻¹ in 2000, and 11.56 ton.ha⁻¹.year⁻¹ in 2018. The hydrographic regions of Tocantins and Paraná presented the highest losses. In addition to general control of the Cerrado conversion expansion, the state of Goiás presents two spatial soil loss patterns; one in which the control of natural factors predominates, being linked to morphogenetic aspects with a strong influence of the topographic factor; and the other being rain erosivity, spatialized in areas such as the “front” of Cuesta Caiapó, Serra Dourada and Serra dos Pirineus. When associated, these two factors define sensitive areas with the highest soil losses in the state of Goiás.

Keywords: erosion processes, soil loss modeling, Cerrado biome.

Introdução

O solo se constitui como um importante recurso natural, responsável pela estruturação da vida, tanto no que diz respeito aos projetos de construção civil, quanto à produção de alimentos, sendo que, salvo exceções, neste último caso, a água e os nutrientes minerais só podem ser fornecidos por meio do solo (LEPSCH, 2011; KAMPF; CURI, 2015). Um dos principais problemas relativos à sua degradação tem sido os processos erosivos hídricos, caracterizados fundamentalmente pelo desprendimento e arraste de partículas (CARVALHO, 2008; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Este mesmo solo, enquanto recurso natural, é um dos principais condicionantes de um fenômeno conhecido como “Revolução Verde”, observado no bioma Cerrado, que é composto por um mosaico de fitofisionomias, tais como formações florestais, savânicas e campestres e atualmente apresenta apenas cerca de 54% de sua área conservada, sendo apenas 45% no estado de Goiás. Essas formações se apresentam como relictuais de flutuações climáticas pleistocênicas e atuais, logo, temporais, bem como síntese da integração de diversos elementos, entre eles, o solo, logo, espaciais, que configuram de maneira peculiar a distribuição de cada

fitofisionomia no bioma (AB'SABER, 2003; RIBEIRO; WALTER, 2008; SANO et al., 2008; SANO et al., 2019).

Em uma escala de maior detalhe, fundamentalmente a níveis de unidades de paisagem e de vertente, estudos sobre a gênese e o desenvolvimento dos processos erosivos têm sido realizados com grande destaque nas cabeceiras do rio Araguaia e no sudoeste goiano. As erosões são constituídas a partir da forte influência das rochas areníticas da Formação Botucatu, com consequente desenvolvimento de Neossolos Quartzarênicos, que se constituem de solos altamente suscetíveis à ocorrência dos processos erosivos, principalmente quando se trata da baixa coesão de seus agregados e da matriz de areia fina, que não resistem tanto a erosão em arraste, como em lençol (CASTRO; XAVIER, 2004; CASTRO, 2005; MARINHO et al., 2006; CASTRO; HERNANI, 2015).

Algumas modelagens têm sido realizadas com vistas a identificar as perdas de solos no estado de Goiás, entretanto, ainda em caráter de reconhecimento, haja vista a precisão e a acurácia da entrada das informações do modelo que não se apresentam compatíveis com as propostas voltadas ao ordenamento territorial. Destaca-se que, regionalmente, o estado de Goiás apresenta as condições para a realização deste trabalho, já que exhibe tanto estabilidade climática quanto crustal (SUMMERFIELD, 2013), em outras palavras, expõe a ausência de grandes perturbações.

Deste modo, o objetivo deste trabalho é analisar a distribuição espaço-temporal das perdas de solo no estado de Goiás. Para tanto, como objetivos específicos têm-se: i) reconhecer quais bacias hidrográficas apresentam as maiores e menores perdas de solo, a partir de uma abordagem multiescalar, partindo desde a região hidrográfica (Araguaia, Tocantins, Paraná e São Francisco) até a bacia hidrográfica em nível fundamental da codificação Otto Bacias; ii) avaliar os principais condicionantes da variação desta perda de solos no estado de Goiás.

Materiais e Métodos

Área de estudo

Do ponto de vista geológico e morfoestrutural, Goiás está associado às estruturas tectônicas da Província Tocantins, especificamente a Faixa Brasília

e a Faixa Araguaia, bem como a bacia sedimentar do Paraná e, a nordeste, pelo Craton Sanfranciscano (LACERDA et al., 2009). Tectonicamente, o estado de Goiás corresponde a Plataforma Sulamericana, em que podem ser observados quatro grandes estágios relacionados a sua constituição, a partir da formação da bacia sedimentar do Paraná: i) “colagem” do Ciclo Brasileiro (1 – 0,5 G.a; ii) a ocorrência de falhamentos; iii) a estabilização tectônica, com ocorrência de transgressões e regressões marinhas com evento de soerguimento epirogênico na Plataforma Sul-Americana, responsável pela gênese dos arenitos da Formação Botucatu; e, por fim, iv) a reativação de falhas ocasionadas pelo Evento Sul-Atlântico (ZÁLAN, 2005).

Em relação ao aspecto climático, o estado de Goiás apresenta classificação por Köppen como Clima tropical quente subúmido (Aw), evidenciando duas estações bem definidas, sendo-as: um inverno seco, variando entre maio a setembro e o verão chuvoso, entre outubro a abril. A média anual de precipitação é entorno de 1.500 mm, podendo variar regionalmente entre 1.200 mm a 1.800 mm, com médias concentradas de chuva em mais de 2.000 mm. A amplitude térmica anual parte de 12°C no inverno no município de Jataí no mês de agosto à 35°C no mês de setembro, verão, em Aruanã (GO). As temperaturas médias anuais em Goiás estão entre 22°C e 27°C (RIZZINI, 1979; SANTANA; PELEGRINI, 2006).

Destaca-se que, em linhas gerais, o estado de Goiás apresenta maiores períodos de estiagem à medida que avançam as latitudes em direção a leste do estado do Tocantins, tendo como base aproximada o marcador topográfico da região da Serra Dourada de Goiás, com até cinco meses de estiagem. Na sua posição oeste apresenta em direção a São Miguel do Araguaia menores períodos de estiagem, com até quatro meses. Na porção sudoeste do estado de Goiás, a partir da região aproximada de Jataí apresenta cerca de três meses de estiagem (NIMER, 1989). Quanto aos solos, o estado de Goiás apresenta 45% de sua área ocupada por Latossolos, 18% por Cambissolos, 15% por Argissolos e 15% de Neossolos, que juntos perfazem 93% dos solos de todo estado (BRASIL, 1982; 1983) e suas características pedológicas apresentam consolidada bibliografia (IBGE, 2015; EMBRAPA, 2018).

Em relação as suas características físico-ecológicas compreendem em sua área, 96% de bioma Cerrado, posicionando-se na região Centro-Oeste

brasileira, sendo um ecótono entre as florestas da Amazônia e da Mata-Atlântica, que imprimem às formações florestais importantes características florísticas (RIBEIRO; WALTER, 2008). O estado de Goiás é drenado por quatro regiões hidrográficas: Araguaia, Tocantins, São Francisco e Paraná, podendo ser classificadas 26 microrregiões hidrográficas, essas compostas por 485 bacias (Otto Pfafstetter), conforme classificação da Agência Nacional de Águas - ANA.

Procedimentos Metodológicos

A EUPS-R consiste de um aprimoramento da tradicional EUPS, a Equação Universal de Perda de Solos, ajustando, por exemplo, variáveis como o fator LS, que neste modelo conta com a melhor acurácia para declividades superiores a 20%, bem como apresentam melhores estimativas a erosões lineares, sulcos, quando relacionados ao comprimento de rampa e a erodibilidade (RENARD et al., 2011). A EUPS-R é utilizada pelo Sistema de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS) nos EUA para estimativa de perda de solos e orientação de projetos de conservação, que garantem pagamento por serviços ambientais por até 15 anos (MERTEN, 2013). Assim, a equação é sistematizada conforme:

$$A = R.K.LS.C. P \quad \text{Equação (1)}$$

Em que: A corresponde a perda de solos em ton.ha-1.ano-1; R corresponde a erosividade em MJ.mm/ha/ano; K corresponde a erodibilidade em Mg.h/MJ/mm; LS corresponde respectivamente ao comprimento de rampa e a declividade; bem como o fator CP, que corresponde ao fator uso e cobertura do solo e as práticas conservacionistas, estes últimos, de valores adimensionais.

Os dados de erosividade, (fator R), conceitualmente correspondem a um índice que descreve o poder da chuva de ocasionar uma erosão em decorrência de sua força direcionada em desagregar uma partícula e escoá-la (NEARING et al., 2017). Assim, foram selecionados dados de chuva a partir de informações raster do servidor TerraClimate que apresenta 4 km de resolução espacial, mas que na oportunidade foram tratados com uma opção geoestatística de *krigagem* para compatibilização dos dados do modelo com outros produtos orbitais, chegando à resolução de 30 m. A *krigagem* consiste em uma estimativa da superfície a partir da interpolação de amostras mais próximas baseadas na estrutura de correlação espacial, que se tem por hipótese mais

simples, a média do fenômeno observado seja constante na região de estudo (CAMARGO et al., 2005).

Deste modo, a observação da erosividade teve como procedimento metodológico a adoção da seguinte equação (LOMBARDI NETO, MOLDENHAUER, 1992).

$$EI = 68,73 (p^2/P)^{0,841} \quad \text{Equação (2)}$$

Nesse caso, EI corresponde a Erosividade Média; 68,730 é um coeficiente admitido na equação; p corresponde à precipitação média mensal em milímetros; P representa a precipitação média anual em milímetros; 0,841 é um coeficiente admitido na equação.

A erodibilidade (fator K) consiste fundamentalmente de uma resultante da interação entre a textura do solo, a matéria orgânica, a estrutura e a permeabilidade (WISCHMEIER; SMITH, 1978), sendo o principal fator natural relacionado à erosão (SALOMÃO, 2010). A erodibilidade representa a resistência intrínseca, ou seja, a força constituída pela junção das características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas ao destacamento e transporte de partículas, que atuam devido a um combinado de efeitos de forças exógenas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010; WANG et al., 2013). Para o estado de Goiás foram admitidos os seguintes valores:

Tabela 3: Síntese da erodibilidade dos solos do estado de Goiás.

Solos (SIBCs)	Solos WRB/FAO	Erodibilidade - $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$	Referências bibliográficas
Afloramentos Rochosos	-	0	-
Argissolo Vermelho	Acrisol	0,03	BERTONI; LOMBARDI NETO, (2010)
Argissolo Vermelho- Amarelo	Acrisol	0,04	FARINASSO et al., (2006)
Cambissolo	Cambisol	0,03	SILVA et al., (2009)
Chernossolo	Chernosol	0,03	CUNHA et al., (2019)
Gleissolos	Gleissol	0,02	DEMARCHI; ZIMBACK, (2014)
Latossolo	Ferralsol	0,03	HERNANI et al.,

Vermelho			(2015)
Latossolo Vermelho- Amarelo	Ferralsol	0,03	DEMARCHI, ZIMBACK, (2014)
Massa de Água	-	0	-
Neossolo Litólico	Leptosol	0,03	FARINASSO et al., (2006)
Neossolo Quartzarênico	Arenosol	0,04	DEMARCHI; ZIMBACK, (2014)
Nitossolo Vermelho	Nitisol	0,04	DEMARCHI; ZIMBACK, (2014)
Organossolo	Histosol	0,015	DISCONZI et al., (2014)
Plintossolo Argilúvico	Plinthosol	0,03	MARTINS et al., (2011)
Plintossolo Háplico	Plinthosol	0,01	FARINASSO et al., (2006)
Plintossolo Pétrico	Plinthosol	0,03	CUNHA et al., (2019)

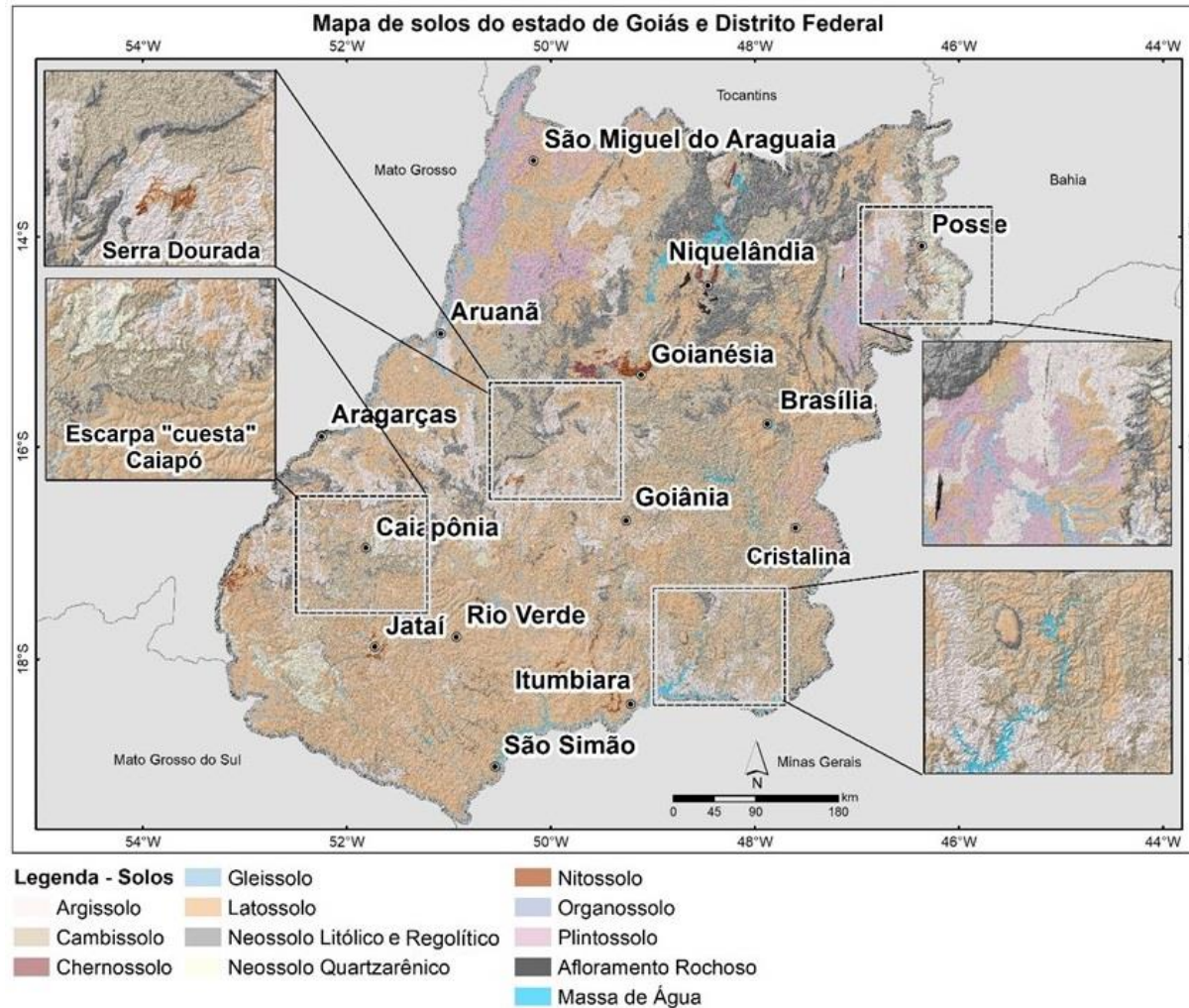
Fonte: Organizado pelos autores (2022).

O levantamento do fator K teve como procedimento inicial a realização de uma restituição dos limites das classes de solos para o estado de Goiás, com base em técnicas de mapeamento digital de solos. Estes consistem da técnica de manipulação de informações de modelos numéricos para inferir as variações espaciais e temporais das propriedades e tipos de solo, a partir da observação do próprio solo e das variáveis ambientais correlacionadas (LIMA et al., 2013). É de conhecimento a possibilidade de contribuições por meio do desenvolvimento de mapas de solo digitais, a partir da associação entre as informações pedológicas pré-existent, o relevo e o material de origem, tendo como base a relação solo - paisagem (IPPOLITI et al., 2005; VIDAL-TORRADO et al., 2005; SOUSA JR; DEMATTÊ; 2008; POPPIEL et al, 2019; CREMON, 2021). É válido ressaltar, novamente, que se trata de restituição e não refinamento, em que a partir do uso de uma série de informações indiretas, entre elas os modelos numéricos, por meio da utilização das geotecnologias é

possível fazer aprimoramentos com razoável acurácia e precisão (CATEN, 2012; NUNES; CASTRO 2015).

Em consequência desses procedimentos, houve um considerável ajuste das classes de solos (Figura 6), conforme identificadas a partir de mapeamentos pré-existentes, alguns em escala maior como admitido pela EMBRAPA (1995), mas que de maneira geral tiveram a combinação de quatro informações básicas, sendo-as: i) a utilização de modelos digitais de elevação (MDE), extraindo informações como declividade, altitude e sombra com exagero de 9x (estereoscopia); ii) a utilização de informações pedológicas pré-existentes, a partir da compilação dos dados do Projeto RADAMBRASIL, entre outras bases de dados; iii) A utilização de observação do material de origem, sendo tanto o substrato geológico, como áreas de agradação sedimentar; e por fim, iv) a utilização de fotointerpretação a partir do consórcio das informações anteriores com imagens de alta resolução.

Figura 6: Solos do estado de Goiás e Distrito Federal



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Nestes termos, nesta pesquisa é utilizada um consórcio entre os métodos de fotointerpretação tradicional e o uso e extração de variáveis automatizadas, a partir do estabelecimento de árvores de decisão. Caten *et al.* (2012), em uma revisão conceitual, afirmam que a árvore de decisão tem sido empregada por representar possibilidades da relação solo-paisagem de maneira explícita, consistindo no agrupamento e busca de padrões. A observação da fotointerpretação evidencia-se mais importante em decorrência da observação precisa dos limites entre as unidades pedológicas (OLIVEIRA *et al.*, 2016), bem como a observação do estado fotossintético da vegetação, que quando demonstram menor disponibilidade de água revelam solos menos profundos e evoluídos (SOUSA JR; DEMATTÊ, 2008).

Ademais, a fotointerpretação revela a possibilidade de arbitrar em casos de semelhantes condições morfométricas, por exemplo, veredas situadas em cimeiras, com baixa variação altimétrica, em áreas de coberturas sedimentares, áreas com ocorrência de solos hidromórficos em largas planícies de inundação com patamares agradacionais diferenciados, bem como áreas de lajeados com solos pouco desenvolvidos em declividades planas e suave onduladas.

O fator LS corresponde à combinação do comprimento da rampa (L) com a declividade (S). A determinação desse fator apresenta limitações em áreas de relevos complexos ou de grandes extensões, sendo assim, aplicados fatores de correção para diminuição destes ruídos (RENARD *et al.*, 2011; ZHANG *et al.*, 2017). Neste contexto, o fator L representa uma dimensão linear que corresponde teoricamente a uma distância que vai do início da formação do escoamento até o ponto de encontro com o canal (MINELLA, *et al.*, 2010). O fator S é decisivo para a aferição da perda de solos, visto que, as perdas tendem a aumentar com o crescimento do comprimento da declividade (RENARD *et al.*, 2011). Com vistas a aferir com acurácia, prioritariamente, as áreas com declividades maiores que 18% ou 20%, comuns nas áreas de dobramentos da Faixa Brasília e de escarpas das bacias sedimentares foi adotada a seguinte equação (ZHANG *et al.*, 2017):

$$L = (\lambda/22,1)^m$$

$$m = 0,2 \quad \theta \leq 1.7\% \cong 0,97^\circ;$$

$$m = 0,3 \quad 1.7\% < \theta \leq 5.2\% \cong 0,97^\circ < \theta \leq 2,97^\circ;$$

$$m = 0,4 \quad 5.2\% < \theta \leq 9\% \cong 2,97^\circ < \theta \leq 5,14^\circ;$$

$$m = 0,5 \quad \theta > 9\% \cong 5,14^\circ$$

$$s = 10,8 \text{ sen } \theta + 0.03 \theta < 9\% \cong 5,14^\circ$$

$$s = 16,8 \operatorname{sen} \theta - 0,5 \geq 9\% \cong 5,14^\circ$$

FATOR= L.S

Equação (3)

Em que: L corresponde ao comprimento de fluxo final; λ é o comprimento de fluxo em metros; 22,1 é o coeficiente da fórmula referente à parcela padrão (WISCHEMEIER; SMITH, 1978); m: corresponde ao coeficiente de variação da declividade; S corresponde ao fator S; 10,8 coeficiente para valores com declividade menores que 9%, que corresponde a $5,14^\circ$; 16,8 para declividades maiores que 9% $\cong 5,14^\circ$; 0,03 coeficiente aplicada a fórmula de declividades inferiores a 9%; 0,5 para declividades maiores ou iguais a 9%; $\operatorname{sen} \theta$ do ângulo correspondente extraído da declividade.

Os dados referentes ao uso e cobertura do solo, que indicam o fator CP, foram retirados a partir da utilização de imagens do MapBiomas nos recortes temporais de 1985, 2000 e 2018. O fator CP é desenvolvido a partir das parcelas experimentais, em que são comparadas diferentes coberturas do solo, com a condição de pior cenário, ou seja, de solo exposto. Os valores individuais de valor C variam entre 0 e 1, sendo valores mais próximos a 1 os mais erodíveis e valores mais próximos a 0, os menos erodíveis (RENARD et al., 2011). Para o levantamento foram admitidos que nos usos antrópicos ocorrem o pior cenário.

Tabela 4: Síntese do fator CP para o estado de Goiás.

Uso e cobertura do solo	CP	Referência
Formação Campestre	0,001	Adaptado TOMAZONI et al., 2005
Formação Florestal	0,0005	SILVA, 2008
Formação Savânica	0,001	Adaptado TOMAZONI et al., 2005
Floresta Plantada	0,026	MARTINS, 2005
Massa de Água	0	PARANHAS FILHO et al., 2003
Infraestrutura Urbana	0	-
Solo Exposto	1	DA COSTA et al., 2005
Pastagem	0,008	SILVA, 2008
Agricultura	0,05	SILVA, 2008

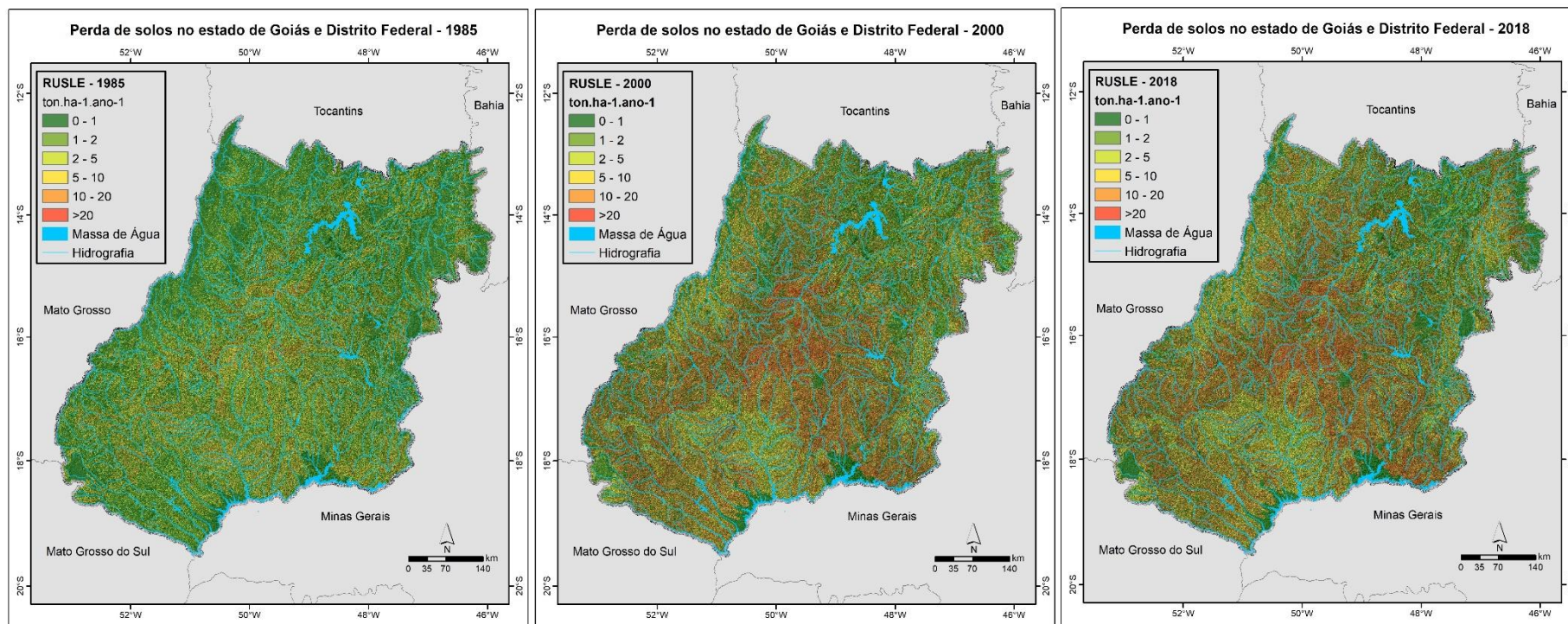
Fonte: Organizado pelos autores (2022).

Deste modo, o que confere o aspecto de dinâmica a EUPS-R são os dados representados pelos recortes temporais de 1985, 2000 e 2018, ao qual demonstram a variação do fator R, a partir da sazonalidade das precipitações, e pelo fator CP, expressos pela variação do uso e cobertura do solo.

Resultados e Discussões

O estado de Goiás apresenta uma perda média de solos no ano de 1985 de 2,4 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ crescendo para 10,8 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no ano de 2000 e 11,56 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no ano de 2018 (Figura 7).

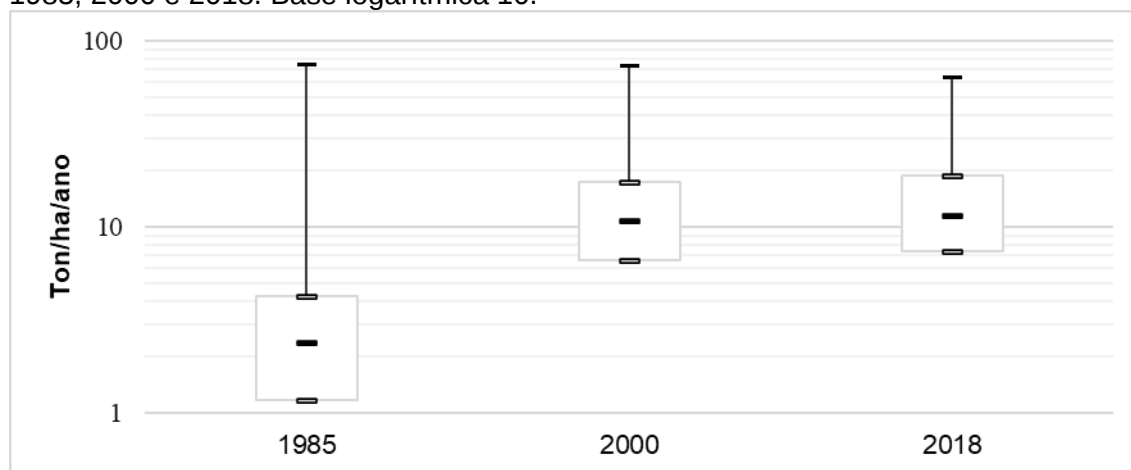
Figura 7: Dinâmica das perdas de solo do estado de Goiás entre 1985 – 2018.



Elaboração: Autores (2022).

O ano de 1985 apresenta a maior perda de solos de todo o recorte temporal analisado com uma perda de $75 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, apresentando uma redução no ano de 2000 e 2018, chegando neste último a $64 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de perda máxima (Figura 8). A perda mínima de solos em todos os recortes temporais é de $0 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Nota-se que houve um recuo nas perdas máximas de solo das bacias hidrográficas, mesmo com um aumento das médias.

Figura 8: Síntese das perdas de solo no estado de Goiás nos recortes temporais de 1985, 2000 e 2018. Base logarítmica 10.



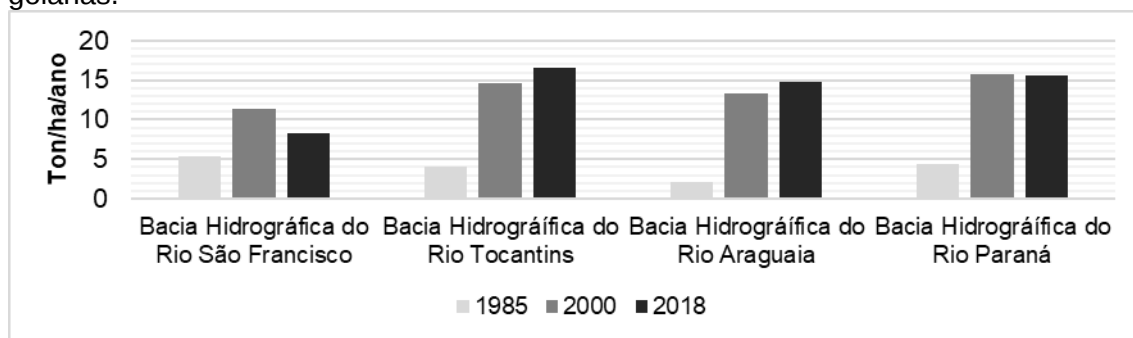
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

As perdas de solos no 1º quartil no ano de 1985 são de $1,2 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ subindo para $6,6 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em 2000 e $7,4 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em 2018. As perdas do 3º quartil apresentam grande crescimento partindo de $4 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em 1985 para $17 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em 2000 e $19 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em 2018, um crescimento de quase 4 vezes no recorte temporal analisado (Figura 8).

Quando consideradas as regiões hidrográficas, aquelas com menores perdas são as dos rios Araguaia e Tocantins, no ano de 1985, com perdas médias de $2,2$ e $4 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, respectivamente. A bacia do rio Paraná apresenta uma perda de $4,4 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e a bacia do rio São Francisco exibe uma perda de $5,4 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, sendo a maior para o recorte temporal de 1985 (Figura 9).

No ano de 2000, as bacias com maiores perdas são as do Paraná, com quase $16 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e a do rio Tocantins com $14,6 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. As regiões hidrográficas com as menores perdas em 2000 são as da bacia do rio São Francisco com perdas de $11,4 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e a do rio Tocantins com perdas de $14,6 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (Figura 9).

Figura 9: Síntese da distribuição da perda média de solos nas regiões hidrográficas goianas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

No ano 2018 as maiores perdas foram de $16,5 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e $15,6 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, respectivamente, pertencentes às bacias do rio Tocantins e a do rio Paraná. Ainda no referido ano, a pequena porção da bacia do rio São Francisco apresenta uma perda de $8,25 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, enquanto a bacia do rio Araguaia exibe uma perda de $14,8 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Deste modo, a região hidrográfica do São Francisco é a que tem a maior perda média, no ano de 1985, mas é a de menor perda no ano de 2018.

Considerando as 26 microrregiões hidrográficas goianas nos recortes temporais entre 1985 e 2018, as com maiores perdas foram respectivamente as do rio Meia-Ponte, do rio Claro, afluente do rio Vermelho, e a do rio Veríssimo (**Tabela 5**). Destaca-se que a do rio Meia-Ponte apresenta um crescimento de 182% na perda de solos entre 1985 e 2018, se colocando como uma das com maiores perdas nos três recortes temporais.

Tabela 5: Síntese das microrregiões hidrográficas com maiores perdas de solo (t/ha/ano) no estado de Goiás entre os anos de 1985 e 2018.

	1985		2000		2018	
Microrregiões com maiores perdas	Rio Meia-Ponte	7	Rio Claro - Rio Vermelho	22	Rio Claro - Rio Vermelho	22
	Rio dos Bois	4,4	Rio Meia-Ponte	19,73	Rio Veríssimo	20,3
	Rio Paracatú	4,3	Rio Veríssimo	18,61	Rio Meia-Ponte	19,8
Microrregiões com menores perdas	Rio Verde e Cristalino	0,56	Rio Verde e Cristalino	3,59	Rio Verde e Cristalino	4,3
	Rio das Almas	0,77	Rio das Almas	4,34	Rio Alegre	4,7
	Rio Peixe	0,78	Rio do Peixe	4,9	Rio das Almas	4,7

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A microrregião com a menor perda é a do rio Verde e Cristalino na região do município de São Miguel do Araguaia, mesmo partindo de 0,56 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em 1985 para 4,3 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2018, um crescimento de 668% (Tabela 5). A bacia do rio das Almas, na região da Cidade de Goiás (GO) também se manteve nos três recortes temporais como as das menores perdas, assim como a do rio do Peixe, afluente do rio Araguaia.

A bacia do rio do Peixe que engloba dentre outros municípios Aruanã, Araguapaz e Mozarlândia também está entre as menores perdas em 1985 e 2018, mas em 2018 apresenta uma perda de 9,5 ton.ha⁻¹.ano⁻¹. Em síntese, há uma repetição das microrregiões conservadas sendo a do rio Verde e Cristalino e a do rio das Almas as menores perdas entre 1985 e 2018. Ambas as microrregiões, com destaque para a bacia do rio das Almas, em decorrência da conservação dos recursos naturais mediante a instalação do Parque Estadual dos Pireneus evidenciando alto grau de conservação de fontes de degradação/poluição difusa.

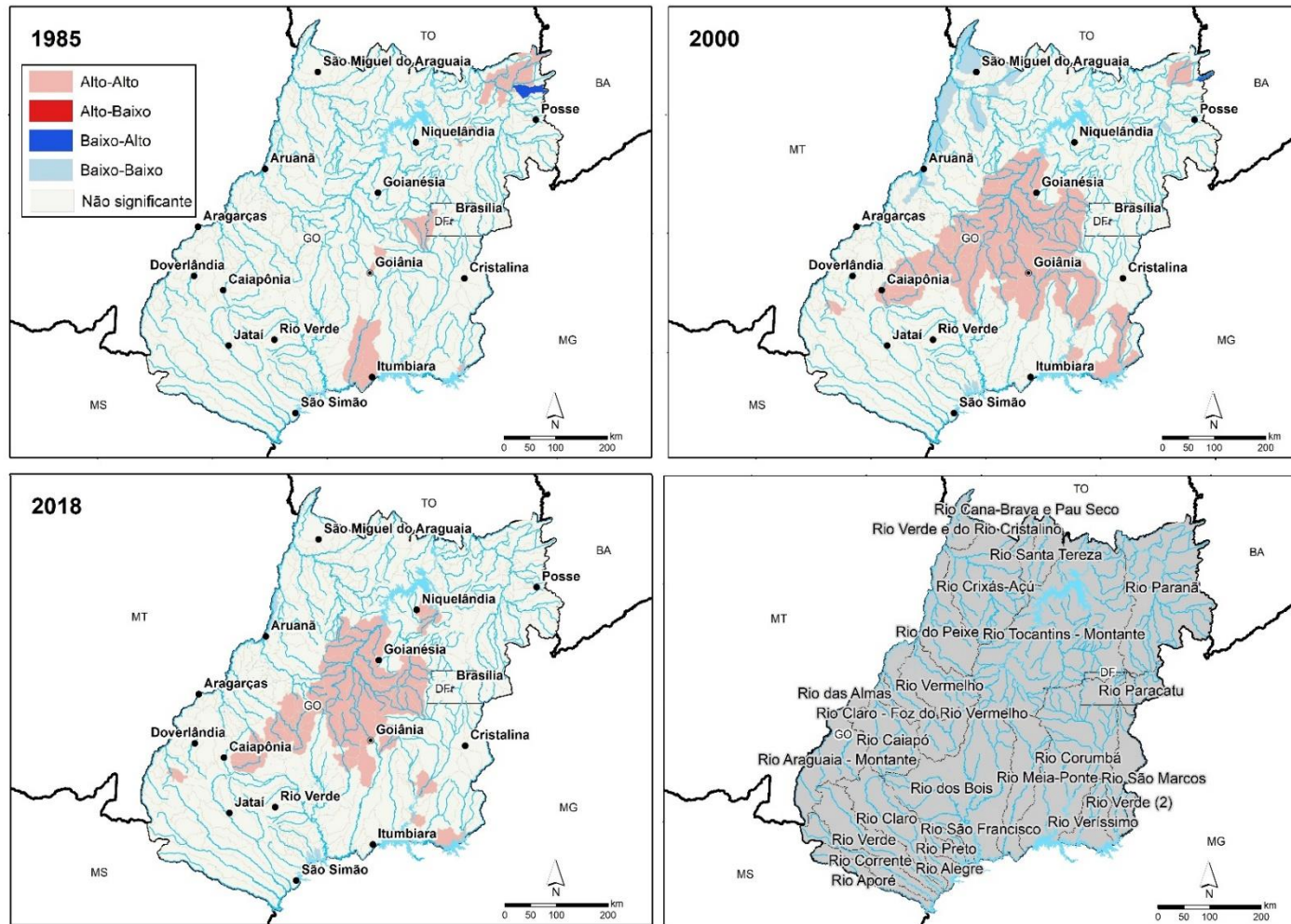
Os dados evidenciados pelo índice Moran no ano de 1985 demonstram que as sub-bacias com índice “alto-alto” de perda de solos se situa no extremo nordeste goiano, na altura do município de São Domingos (GO), notabilizado

pelas sub-bacias do rio dos Macacos e Manso, onde a sub-bacia do rio São Domingos que as circunda apresenta pouca perda de solos comparada às demais, conforme Figura 10.

A microrregião do rio Meia-Ponte e Corumbá também apresentam uma concentração de sub-bacias “alta-alta” de perda de solos no ano de 1985. Nas respectivas altas bacias, tanto na microrregião do Meia-Ponte, na sub-bacia do ribeirão João Leite, como na bacia do rio Corumbá, nas sub-bacias do rio das Areias e Descoberto ocorrem altas perdas de solo.

O ano de 2000 apresenta uma diminuição na concentração de bacias “alta-alta” no extremo nordeste do estado de Goiás, bem como na região das microrregiões hidrográficas do Corumbá e Meia-Ponte. Já as bacias que apresentam indicação “alta-alta” migraram para algumas sub-bacias situadas no rio São Marcos. Na porção central do estado de Goiás, também há índice “alto-alto” situado na microrregião do rio Tocantins-Montante, especificamente na sub-bacia do rio das Almas, administrativamente conhecida como região do Vale do São Patrício, bem como nas sub-bacias associadas à microrregião do rio Meia-Ponte. Perdas expressivas são observadas também na bacia do Rio Piracanjuba.

Figura 10: Síntese das perdas de solo por índice de Moran nos anos de 1985, 2000 e 2018.



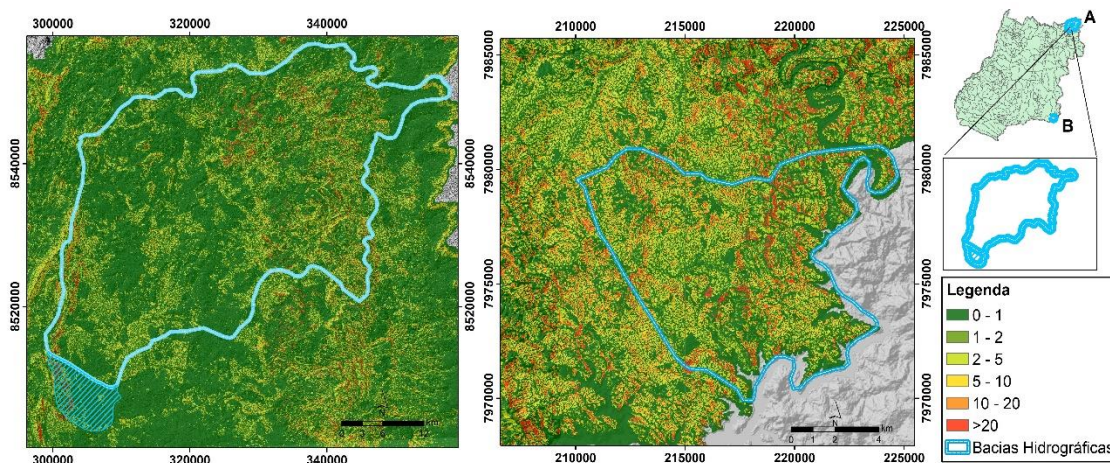
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Na microrregião hidrográfica do Vale do rio dos Bois, há significativa perda de solos, com destaque para a sub-bacia do rio Turvo e a alta sub-bacia do rio dos Bois. Na região da Serra Dourada, há evidência do forte controle litoestrutural da Faixa Brasília, onde apresenta índices “alto-alto” na sub-bacia do rio Fartura e São Domingos, afluentes do rio dos Pilões, demonstrados oportunamente para o ano de 2018, que a jusante desagua no rio Claro. Há também bacias com índice “alto-alto” no rio Vermelho, bem como na sub-bacia do rio do Bugre. A contiguidade de bacias mantém-se até as cabeceiras do rio Caiapó, na região da Serra das Divisões ou Santa Marta, todas vertendo em direção ao rio Araguaia.

O ano de 2018 mantém-se a tendência observada no ano de 2000, mas com algumas sub-bacias que deixaram de ser significantes quanto à perda de solos e sua respectiva contiguidade. Entre elas estão a sub-bacia do rio Turvo e a sub-bacia do rio Piracanjuba, ambas de extenso percurso superficial, bem como uma região situada na média porção do rio Meia-Ponte. Destacam-se como sub-bacias importantes, as que vertem diretamente para o reservatório da Serra da Mesa, especificamente o Rio Bagagem.

Em uma análise detalhada, no ano de 1985, uma sub-bacia hidrográfica afluente do rio Manso, na microrregião do Vão do Paranã, hachurada na **Figura 11 - A**, apresenta uma perda de $75 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. A própria bacia do rio Manso apresenta a terceira maior perda para o recorte temporal de 1985 com uma perda média de $17,85 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (**Figura 11 - A**). Contribui para esse resultado, a sub-bacia afluente do rio Manso, as altas declividades observadas, na Serra da Praia, uma continuidade da Serra Geral do Paranã, que neste setor é sustentada pelos ortoquartzitos do Grupo Araí, onde associados aos solos expostos produzem uma grande quantidade de sedimentos.

Figura 11: Sub-bacias com as maiores perdas de solos no ano de 1985. A esquerda a bacia do rio Manso, abaixo, hachurada, uma bacia afluenta com a mais alta perda do estado de Goiás. A direita, a sub-bacia afluenta do rio São Marcos.

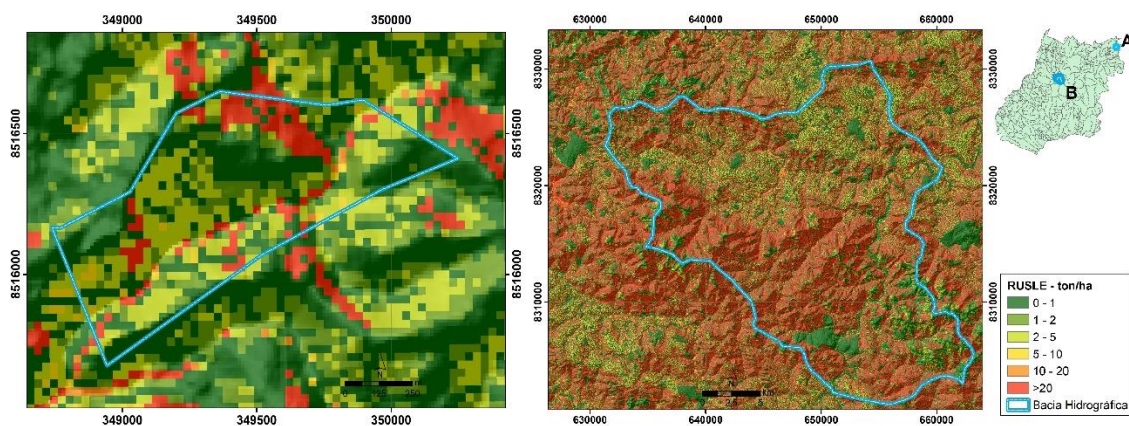


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A região da bacia do rio Manso tem suas perdas de solos associadas às áreas mais declivosas, que na oportunidade específica se correlacionam a algumas áreas de *canyons*, bem como a solos expostos situados sobre as rochas carbonáticas do Grupo Bambuí - Formação Sete Lagoas. Uma bacia afluenta do rio São Marcos (**Figura 11** - B), que para este recorte temporal demonstra uma perda de $25,76 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, tem como causa as pastagens situadas sobre as áreas mais declivosas onde ocorrem essas grandes perdas médias. Os solos expostos na bacia afluenta do rio São Marcos também se localizam sobre alçados topográficos de rochas quartzíticas do Grupo Araxá.

No ano de 2000, um segmento a jusante da bacia do ribeirão Galheiros apresenta uma perda de solos de $75 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (**Figura 11** – A). A mesma sub-bacia, afluenta do rio Manso, que no ano de 1985 apresenta uma perda de $75 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, no ano de 2000 exibe uma perda de $44,17 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. O segmento a jusante da confluência entre o rio Uru e o rio das Almas, na bacia do córrego Seco, evidencia a terceira maior perda de solos com 39 ton/ha (**Figura 12** – B).

Figura 12: Sub-bacias com maiores perdas de solo em 2000. A esquerda, o segmento a jusante do córrego Galheiros. A direita, a bacia do córrego Seco, a jusante da confluência entre o rio Uru e o rio das Almas.

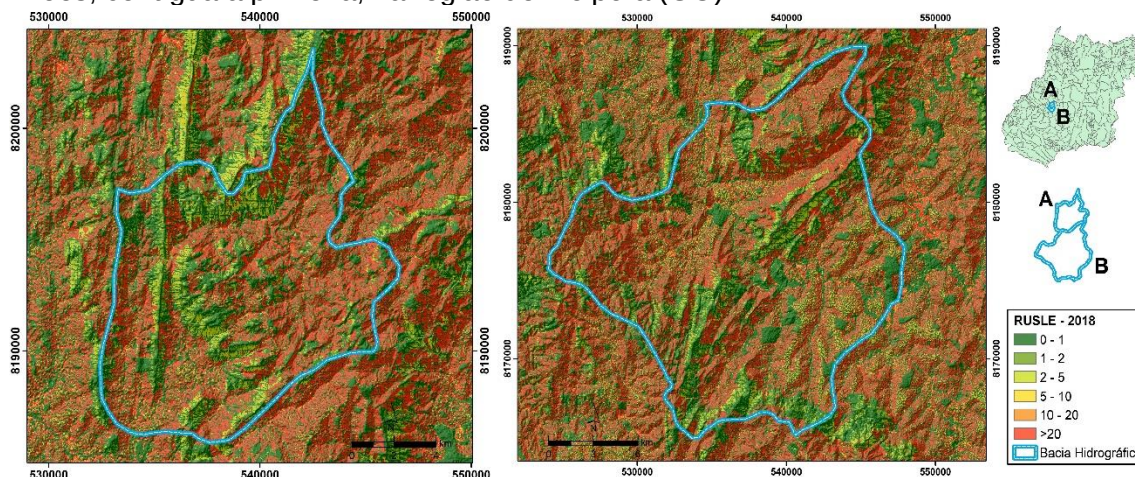


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Os maiores resultados estão relacionados às altas declividades da área de estudo, que se situa em um *canyon* com altas concentrações de solo exposto por área. Essa região também é composta pelas rochas pelito-carbonatadas do Grupo Bambuí, especificamente, da Formação Sete Lagoas. Na bacia do córrego Seco (**Figura 12 – B**), as perdas estão associadas as pastagens posicionadas sobre altas declividades ou nos terços inferiores que recebem grande energia cinética de montante proveniente do arraste das chuvas. As declividades são produzidas pelas discontinuidades litológicas do Complexo Máfico-Ultramáfico Canabrava.

No ano de 2018, a sub-bacia hidrográfica afluente do rio Manso, novamente apresenta a maior perda entre todas as bacias avaliadas, com perdas médias de $64 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Deste modo, destaca-se o maior potencial erosivo desta sub-bacia, como sendo a maior do estado de Goiás em produção de sedimentos. Em seguida, as maiores perdas se dão em duas sub-bacias hidrográficas, uma a do córrego Palmito (**Figura 13 - A**) e a outra sem toponímia (**Figura 13 - B**), ambas contíguas localizadas dentro da bacia do rio Claro, com perdas respectivas de cerca de $40 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e $44,4 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Figura 13: Sub-bacias hidrográficas com maiores perdas de solos no ano de 2018. A esquerda, um segmento da bacia dos rios dos Pilões, após a confluência entre o rio Fartura e o Rio São Domingos. A direita, uma sub-bacia afluente da bacia do rio dos Pilões, contígua a primeira, na região de Moiporá (GO).

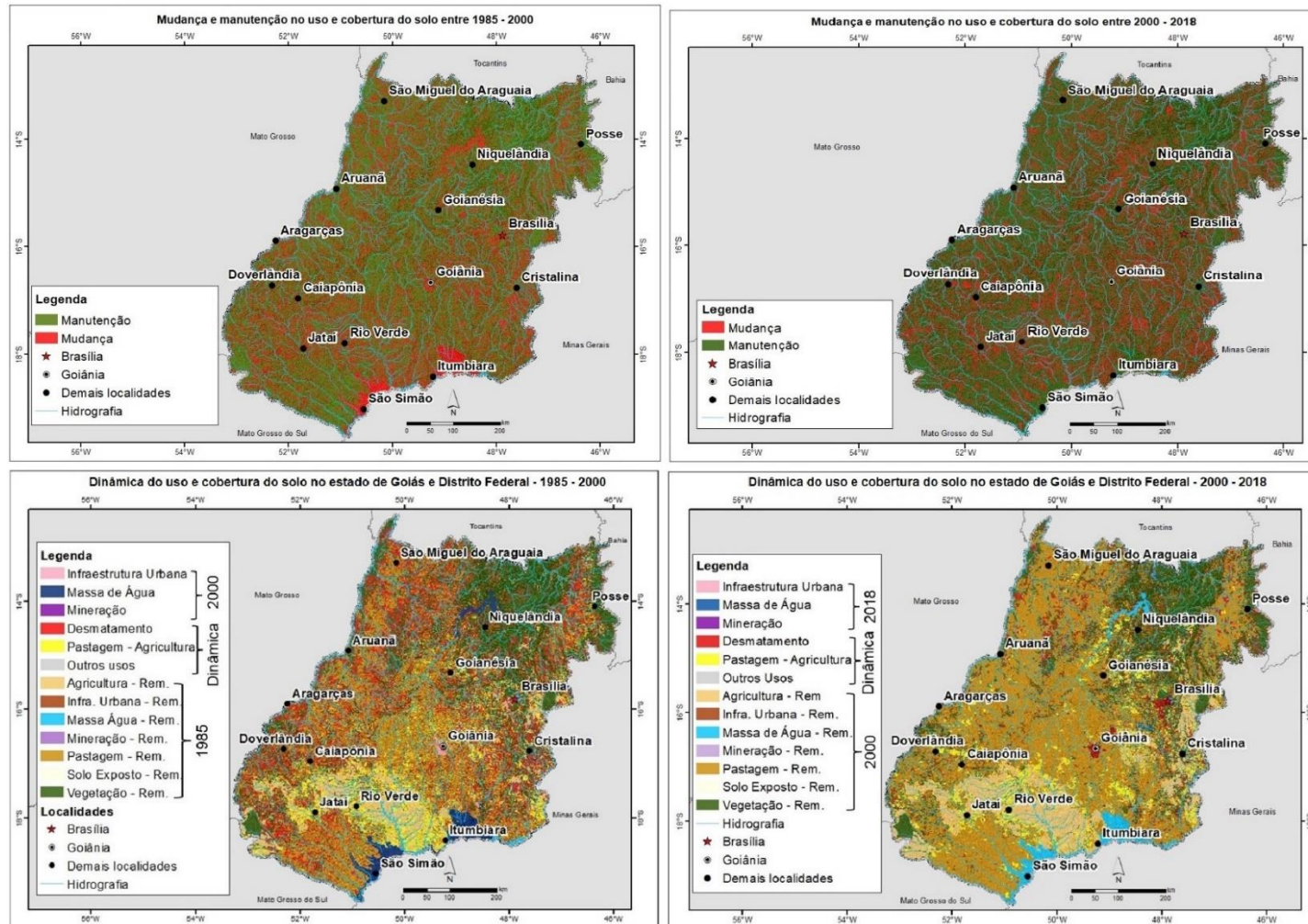


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Essas sub-bacias se localizam em áreas dissecadas da Faixa Brasília, em áreas próximas a dobra da Serra Dourada de Goiás. Destaca-se que as maiores perdas de solo estão associadas às pastagens e às altas declividades ocasionadas pelas mudanças na região da Serra do Fundão. Como exemplo, ambas correspondem respectivamente a 69% e 63% de suas áreas sob o uso de pastagem.

Uma das causas do aumento dos processos erosivos se dá pela variação de uso e cobertura do solo, sendo esta constitutiva dos principais aspectos na alteração nas perdas de solo (FARHAN; NAWAISEH, 2015). Esta alteração pode ser notada no estado de Goiás pelo aumento das áreas agropecuárias, principalmente entre os anos de 1985 – 2000, em que a conversão direta de vegetação remanescente em áreas agropecuárias representa neste recorte temporal 17% das áreas do estado, enquanto no recorte temporal de 2000 - 2018 correspondem a cerca de 13,4%. Há um maior destaque no primeiro recorte temporal, entre 1985-2000, onde as maiores perdas na região da bacia do rio Araguaia se localizam aproximadamente entre Jataí e Aragarças, na região do município de Caiapônia (**Figura 14**).

Figura 14: Síntese da conversão de uso e cobertura do solo no estado de Goiás entre os anos de 1985 – 2018.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

As pastagens apresentam uma estabilidade nos três recortes temporais, mantendo-se próximas a 44% da área do estado de Goiás, evidenciando assim, a abrangência do desmatamento ocorrida antes de 1985. As áreas agrícolas também apresentam crescimento neste recorte temporal, partindo de 5,4% no ano de 1985 para 14% no ano de 2000 e 16% no ano de 2018. As áreas agrícolas que se mantiveram remanescentes, ou seja, que permaneceram estáveis nos mesmos recortes espaciais partiram de 4,3% entre o recorte temporal de 1985 – 2000 para 8% entre 2000-2018. Esses resultados apontam que cerca da metade das áreas agrícolas cresceram e se mantiveram estáveis, ou seja, sem alteração para outros usos no recorte temporal entre 2000 – 2018.

As áreas agropecuárias tendem a apresentar compartimentos ambientais distintos, enquanto as áreas agrícolas se situam predominantemente sobre as áreas planálticas, nos topos das chapadas e com predomínio dos relevos planos e suave ondulados, as de pastagem tendem a se estabelecer nas regiões mais acidentadas, ou com solos menos desenvolvidos, do ponto de vista genético (OLIVEIRA, 2014). As áreas de pastagem tendem a concentrar-se principalmente na região do Vale do Araguaia, notáveis por seus Plintossolos (MARTINS et al., 2017) com a criação voltada à pecuária de corte, enquanto nas áreas centrais, em direção ao sul e a leste, por exemplo, em municípios como Piracanjuba, Bela Vista e Morrinhos, se destacam por sua bacia leiteira (FERREIRA et al., 2019).

As pastagens chamadas de remanescentes, ou seja, que permanecem entre os recortes temporais observados entre 1985 – 2000 e 2000 - 2018 tendem a apresentar percentualmente uma estabilidade com 33% de cobertura na área do estado de Goiás, com avanço das áreas agrícolas, desenvolvendo contiguamente sobre outras áreas agrícolas e convertendo-se sobre as áreas de pastagens já consolidadas. As áreas convertidas de pastagem para agricultura crescem entre 1985 – 2018, passando de 7,68% da área do estado para 11,24%.

Em termos de uso e cobertura do solo, esses resultados mostram-se relativamente semelhantes ao observado para o bioma Cerrado, em que 28% da área é composta por pastagens, 13% por áreas agrícolas e 59% de vegetação remanescente para o ano de 2018, distribuídas aproximadamente

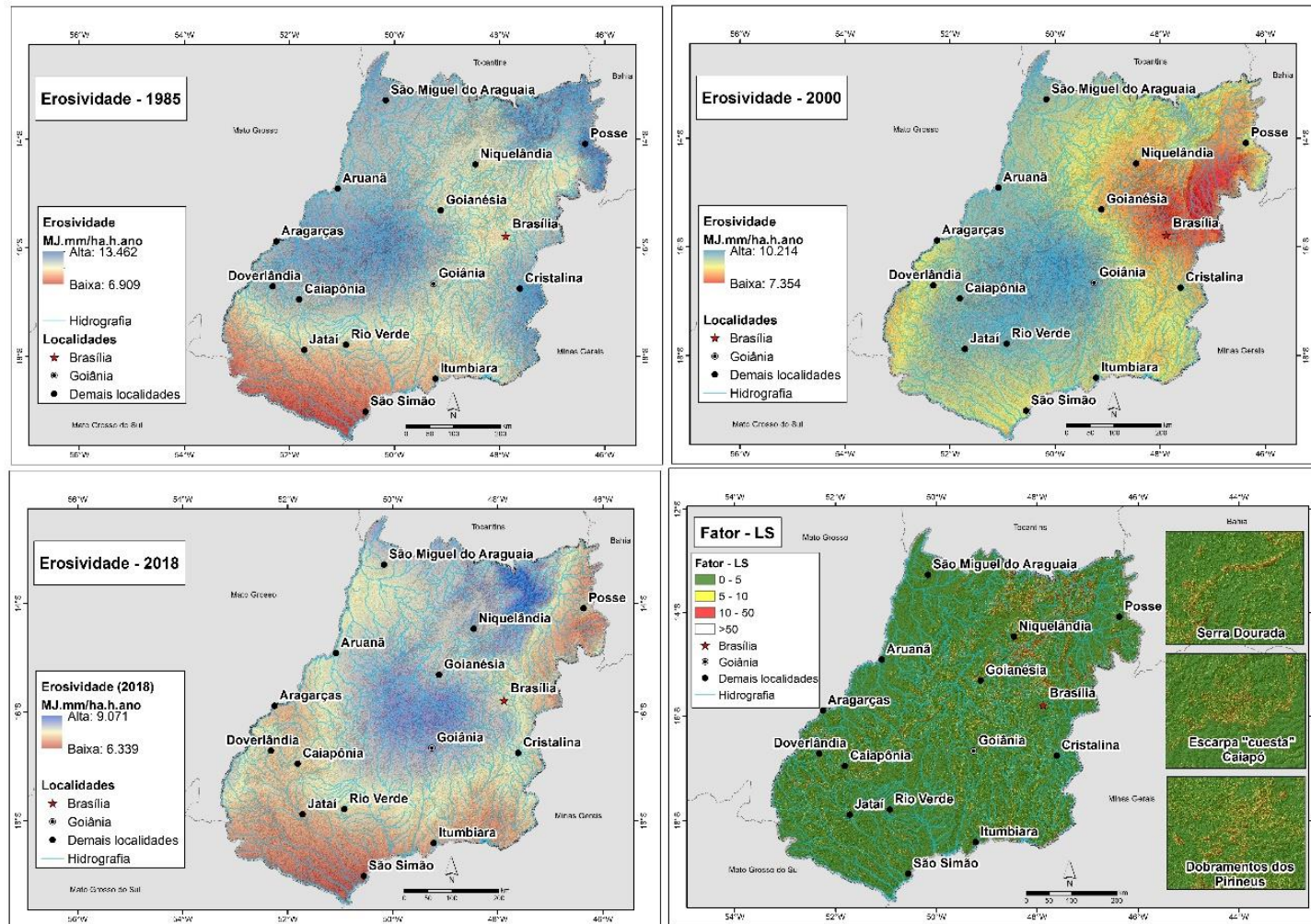
em 21,5% de Formações Savânicas, 21% de Formações Florestais e 16% de Formações Campestres (MAPBIOMAS, 2020; citado por ROCHA; NASCIMENTO, 2021).

As conversões de uso e cobertura do solo no estado de Goiás corresponderam entre os anos de 1985 – 2000 a 27% da cobertura, enquanto no ano de 2000 – 2018 a 25%, sendo esse desmatamento detectado como potencializador das perdas de solo, com destaque para as bacias do ribeirão Boa Vista e do rio Bonito, ambos afluentes do rio Caiapó, e que apresentam extensas áreas de Neossolos Quartzarênicos e Latossolos de textura média.

Destaca-se que as maiores perdas de solo no estado de Goiás se concentram principalmente na mudança dos grandes compartimentos geomorfológicos, por exemplo, nos *fronts* da cuesta Caiapó, nas áreas dissecadas de Pirenópolis (GO), representadas pela ocorrência da “Sintaxe dos Pireneus” – Grupo Araxá, bem como na região da Serra Dourada. Desta maneira, além do fator da conversão da cobertura dessas áreas terem passado por processo de desmatamento, ou seja, a conversão predominante de vegetação remanescente em pastagem, o fator topográfico representado nessas áreas associado à alta erosividade também contribuem para o aumento da perda de solos (Figura 15).

A erosividade tende a ser mais concentrada na região centro-sul de Goiás, partindo de Goiânia em direção à Jataí e em direção a Doverlândia formando um amplo polígono com erosividades que gravitam ao entorno de 9.000 – 10.000 MJ.mm/ha.h.ano, por vezes, maiores, conforme constatado no recorte temporal de 1985 – 2000 – 2018. A região sul, apesar de apresentar uma quantidade menor de meses de estiagem (NIMER, 1989) como observado na porção sul de Jataí (GO) apresenta menor erosividade. No Brasil, a maior erosividade está relacionada com a intensidade da chuva em certas épocas do ano (frequência) e não com a precipitação acumulada (OLIVEIRA, 2012).

Figura 15: Síntese da erosividade e do fator topográfico da EUPS-R para o estado de Goiás.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Em relação à perda de solos, os resultados de maiores perdas na região central do estado de Goiás demonstra uma mudança em relação à percepção de áreas “frágeis”, ou seja, de alta erodibilidade, por constituírem solos mais arenosos, de baixa fertilidade e coesão, demonstradas nos estudos desenvolvidos predominantemente na região sudoeste do estado de Goiás, com destaque para o município de Mineiros, que apresenta forte influência dos Neossolos Quartzarênicos originados sobre as rochas da Formação Botucatu (TRINDADE, 2015, NUNES; CASTRO, 2021).

A respeito da conversão de áreas de pastagem em agricultura, especialmente no sudoeste goiano, o que se observa é que apresentam neste recorte espacial especificamente desde 2005, áreas de solos mais frágeis, enquanto anteriormente ocupavam áreas com melhor aptidão agrícola, principalmente as destinadas a grãos (TRINDADE, CASTRO, 2015).

O aumento nas perdas de solo é corroborado com o aumento da produção agrícola de cana-de-açúcar na região da bacia do rio Meia-Ponte, que consequentemente traz a degradação ambiental como a sensível diminuição de áreas remanescentes. Destaca-se que levantamentos como as de Castro *et al.* (2010) indicam que a classe de cana-de-açúcar aumentou mais de nove vezes entre o recorte temporal de 2000 – 2009, com redução da pastagem nessas áreas que foram substituídas por grãos. Deste modo, os resultados comprovam espacialmente o ciclo apontado de substituição da pastagem por agricultura (TRINDADE, 2015).

Especificamente, na região do Vale do Rio dos Bois, em que o estudo detectou alta perda de solo na sua porção mais alta da bacia, próxima a capital Goiânia, conta desde 1985 com áreas de pastagens em solos com alta erodibilidade, e, por conseguinte, também apontavam áreas sensíveis à degradação e à perda de solos (CARVALHO; CASTRO, 2015). Em direção à jusante, onde aumenta o uso intensivo do solo, devido às áreas agrícolas como o cultivo de cana-de-açúcar pode apresentar menor relação conflitiva, visto que, os processos erosivos daí decorrentes podem estar mais associados ao manejo do que ao uso do solo, haja vista a predominante ocorrência de Latossolos.

Em termos gerais de perdas de solo, os resultados evidenciados para o estado de Goiás se assemelham aos apontados para o bioma Cerrado, em que no ano de 2000 partiram de 10,4 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ para 12 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ no ano de 2012

(GOMES et al., 2019), enquanto que para o estado de Goiás partiram de 10,8 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ no ano de 2000 para 11,5 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2018.

Estudos para o estado de Goiás mostraram uma perda média histórica de 18 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ no recorte temporal entre 1985 a 2017, sendo que, no ano de 1985 apresenta uma perda de quase 20 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, mantendo valores semelhantes para os recortes temporais entre 2000 e 2017 (PENA, 2020). Chama a atenção na pesquisa do autor a grande variação observada na perda de solos, mesmo sendo notório o avanço do processo de conversão de uso e cobertura da terra, de áreas remanescentes para áreas agropecuárias (CASTRO et al., 2010; PARENTE, 2019).

Credita-se a esses altos valores a opção de entrada na base de dados do modelo, sendo utilizado um mapa de solos em escala desajustada ao nível de vertentes e bacias hidrográficas, bem como informações satelitárias com recorte espacial de 5 quilômetros (CHIRPS) que apresentam ampla homogeneidade nas áreas erosivas.

A título de comparação, os resultados apontados se diferem das pesquisas observadas na savana africana, onde apresentam condições edáfico-climáticas semelhantes, por exemplo, uma erosividade média de 8.500 MJ.mm.⁻¹.ha⁻¹ e declividades de até 53%. Ademais, exibem perdas aproximadas de 134 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ para relevos menos acidentados, em que é utilizada uma rotação de cultura de milho e feijão, café e banana, padrões culturais que exigem um alto preparo do solo (ANGIMA et al., 2003). Outros resultados para a savana queniana, especificamente na alta bacia do rio Ewaso Ngiro apontam perdas entre 9 – 40 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ (MATI, 2000) mais coerentes com os observados para o Cerrado.

Considerações Finais

O modelo da EUPS-R mostra-se adequado para observação das perdas de solo, principalmente com base na restituição do mapa de solos, ajustada às escalas de vertentes e bacias hidrográficas. Nesse sentido, as perdas de solos no estado de Goiás estão mais associadas aos processos morfogênicos do que ao manejo e ao uso, ainda assim, sua conversão de vegetação remanescente para áreas agropecuárias contribui para o aumento das perdas, verificadas em 2,4 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ no ano de 1985, em 10,8 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ no ano de 2000 e 11,5 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ no ano de 2018. Tais resultados se mostram próximos aos apontados para o

bioma Cerrado, em que no ano de 2000 partiram de 10,4 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ para 12 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ no ano de 2012 (GOMES et al., 2019). As regiões hidrográficas também apresentam variação quanto as maiores perdas, sendo a região do São Francisco com a maior perda no ano de 1985, entorno de 5,4 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, a região do rio Paraná com uma perda de algo entorno a 15,7 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ e a região do rio Tocantins com algo entorno a 16,5 ton.ha⁻¹.ano⁻¹.

As regiões com maiores perdas decorrentes aos processos morfogenéticos estão associadas predominantemente ao fator LS, que, em tese, corresponde à distância que vai do início da formação do escoamento até o ponto de encontro com o canal. O fator LS corresponde à energia potencial desenvolvida pelo escoamento superficial, que a partir da convergência de fluxos, ganha maior energia cinética de montante à jusante (MINELLA et al., 2010). Contribuem também, as erosividades, que correspondem ao destacamento das partículas do solo e que associado ao fator LS produzem em tese, a condição potencial para deflagração dos processos erosivos. As maiores erosividades do estado nos recortes temporais de 1985, 2000 e 2018 tendem a ficar continuamente na região central do estado de Goiás, variando anualmente em outras regiões.

Deste modo, as áreas com maiores perdas ou processos denudacionais correspondem ao reverso da escarpa da “cuesta” Caiapó, a região da Serra Dourada de Goiás e a região da “sintaxe” da Serra dos Pirineus. A região da Serra Geral do Paranaíba também apresenta uma alta perda de solos. Em todos os casos, mesmo com a presença da vegetação remanescente, apresenta-se uma perda de solo importante, sendo potencializada quando da ocorrência de pastagens.

Diante deste cenário, compreende-se que a conversão de áreas remanescentes em agropecuárias, principalmente de vegetação remanescente em pastagens e pastagens em áreas agrícolas, potencializa a perda de solos, principalmente em sistemas pedológicos “frágeis”, aqueles com a presença de Neossolo Quartzarênico, que pela baixa estabilidade de agregados, a constituição granulométrica de areia fina e silte apresentam-se potenciais à perda de solos, tanto pelo destacamento das partículas, como principalmente pelo escoamento superficial e em lençol da encosta.

Por fim, em certa medida, áreas que são sistematicamente estudadas no sudoeste goiano, com a ocorrência de feições lineares expressivas, entre elas as

voçorocas, apresentam em termo de abrangência, menores perdas de solo do que as áreas mais alçadas do estado de Goiás, como a região da Serra Dourada, da escarpa do “cuesta” Caiapó e da Serra dos Pirineus. Algumas tiveram suas áreas convertidas em pastagens, mostrando assim, que essas áreas apresentam um desenvolvido processo de morfogênese pela atuação dos condicionantes hídricos.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado dentro do programa de colaboração CAPES-COFECUB (TE981/20).

5. PERDA DE SOLOS E USO E COBERTURA DO SOLO: A DINÂMICA DO ESTADO DE GOIÁS ENTRE 1985 E 2018.

SOIL LOSS AND LAND USE AND COVER: THE DYNAMICS OF THE STATE OF GOIÁS BETWEEN 1985 AND 2018.

Resumo: O estado de Goiás se apresenta como uma área *core* no bioma Cerrado. Diversos programas de incorporação técnica desse bioma, principalmente oriundos do II Plano Nacional de Desenvolvimento no ano de 1974 contribuíram para a conversão da vegetação remanescente em áreas agropecuárias, em especial as pastagens. Nesse sentido, uma pergunta emana na pesquisa, teria a conversão de vegetação remanescente em pastagem ocasionado o aumento das perdas de solo no estado de Goiás? A pesquisa tem como objetivo avaliar de que maneira os diferentes usos e coberturas do solo propiciam as perdas no estado de Goiás com especial destaque ao entendimento da influência das pastagens nessas perdas. Para tanto, teve-se a adoção da EUPS-R com destaque ao recorte espacial de distintos usos e coberturas do solo. Os resultados demonstram que as pastagens contribuíram para as perdas de solo partindo de 4,5 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em 1985 para 17 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2000 e 22 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2018. A vegetação remanescente que apresenta maior perda é a de formação florestal com perdas de 13 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ no ano de 2000 e 10 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ no ano de 2018. Formação Savânica apresenta perdas médias de 10 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ para 2000 e 2018, enquanto a Formação Campestre apresenta perdas ao entorno de 3 ton.ha⁻¹.ano⁻¹. O aumento dessas perdas pode ser explicado pela restrição dessas formações vegetais em áreas de maior declividade ao longo do recorte temporal de estudo, propiciando assim maior energia potencial a perda. Tais resultados apresentam-se compatíveis com bacias hidrográficas localizadas no sul do estado de Minas Gerais, que em certos locais dissecados sob a atuação da Faixa Brasília e cerca de 47% de vegetação remanescente exibe 50% de sua área com perdas acima de 25 ton.ha⁻¹.ano⁻¹.

Palavras-chave: processos erosivos, modelagem de perda solos, bioma Cerrado.

Abstract: The state of Goiás presents itself as a central area in the Cerrado biome. Several programs for the technical incorporation of this biome, mainly from the II National Development Plan in 1974, contributed to the conversion of the remaining vegetation into agricultural areas, in particular pastures. In this sense, a

question arises in the research, would the conversion of remaining vegetation into pasture cause an increase in soil losses in the state of Goiás? The research aims to evaluate how the different uses and land cover promote losses in the state of Goiás, with special emphasis on understanding the influence of pastures on these losses. To this end, the EUPS-R was adopted, highlighting the spatial cutout of different uses and land cover. The results demonstrate that pastures contributed to soil losses from 4.5 ton.ha⁻¹.year⁻¹ in 1985 to 17 ton.ha⁻¹.year⁻¹ in 2000 and 22 ton.ha⁻¹.year⁻¹ in 2018. The remaining vegetation that shows the greatest loss is the forest formation with losses of 13 ton.ha⁻¹.year⁻¹ in the year 2000 and 10 ton.ha⁻¹.year⁻¹ in the year 2018. Savânica Formation presents average losses of 10 ton.ha⁻¹.year⁻¹ for 2000 and 2018, while the Campestre Formation presents losses around 3 ton.ha⁻¹.year⁻¹. The increase in these losses can be explained by the restriction of these plant formations in areas of greater declivity throughout the time frame of study, thus providing greater potential energy loss. Such results are compatible with hydrographic basins located in the south of the state of Minas Gerais, which in certain places dissected under the Brasília Belt and around 47% of the remaining vegetation exhibits 50% of its area with losses above 25 ton. ha⁻¹. year⁻¹.

Keywords: erosion processes, soil loss modeling, Cerrado biome.

Introdução

O Cerrado apresenta ampla variabilidade espacial cobrindo uma área de mais de 2 milhões de km² no território brasileiro, representando quase ¼ do território, incluindo os estados de Goiás, Distrito Federal, Tocantins, Mato Grosso do Sul, o centro e o sul do Mato Grosso e do Maranhão, bem como a Bahia, Minas Gerais, Noroeste de São Paulo, sul do Piauí e uma faixa de Rondônia, com vários enclaves existentes, sendo o mais famoso, o do estado de Roraima (AB'SABER, 2003; RIBEIRO; WALTER, 2008).

O II Plano Nacional de Desenvolvimento criado em 1974 sob a égide do governo Militar buscou incorporá-lo a economia nacional, atendendo as exigências internacionais de produção, em que foram criados programas como o POLOCENTRO (Programa de Desenvolvimento dos Cerrados), PRODECER (Programa de Cooperação Nipo-brasileira), Programa Geoeconômico de Brasília

que visavam dar dinamicidade a região, contribuindo inclusive para a criação da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) cujo o maior objetivo era estabelecer pesquisas que visavam a adequação do solo com técnicas de calagem e fertilização (MENDONÇA, 2004; INOCÊNCIO, 2010).

Tal plano ainda se apresenta no bojo da integração oriunda da “Marcha para o Oeste” na década de 1930 com a construção de Goiânia (CHAUL, 2001), a consequente construção de Brasília em 1961 e o plano de abertura de eixos rodoviários para sua integração junto a Amazônia, que propiciaram ao Cerrado intensa ocupação (TEIXEIRA NETO, 2020). Esta ocupação possibilita a intensificação da pecuária tradicional em atividade alternativa ligada ao abastecimento da época aurífera (PALACÍN, 1974), que se manteve e intensificou a partir da inserção de gramíneas exóticas das espécies *Panicum Pennisetum*, *Andropogon* e principalmente *Brachiaria*, substituindo as pastagens naturais e a agricultura já existente com forte expansão até os anos 1980 (MARTHA JÚNIOR; VILELA, 2002).

Com vistas a monitorar os recursos naturais existentes e associados a esse amplo plano nacional destaca-se o Projeto RADAMBRASIL, constituído por levantamentos temáticos que visavam o inventário sistematizado de atributos como geologia, geomorfologia, solos, potenciais recursos minerais e o uso e cobertura da terra. Este projeto tinha como estrutura metodológica aerolevantamentos com trabalhos na escala de 1:250.000 (FLOREZANO, 2009; LOPES et al., 2020).

É importante ressaltar que após o Projeto RADAMBRASIL tiveram importantes projetos de avaliação das fronteiras de expansão brasileira, em especial nos biomas da Amazônia e do Cerrado, a exemplo do PROBIO, que a partir de imagens LANDSAT 7 buscavam compreender a diversidade de uso e cobertura da terra, a partir de classificação de usos antrópicos e não antrópicos em 2002. Tão importante quanto o PROBIO é o TerraClass, que especificamente entre os anos de 2004 e 2014 buscavam monitorar as conversões de uso e cobertura no Cerrado e na Amazônia dando materialidade a análise de modernização que passa o Cerrado (SCARAMUZA et al., 2017; SANO et al., 2019).

Essa modernização, que mesmo hegemônica, não se impôs por inteiro, apresentando uma valorização seletiva dos territórios (BECKER, 2005;

CHAVEIRO, BARREIRA, 2010) tendo como princípio norteador as características edafoclimáticas aos quais redirecionaram as pastagens e demais usos para diferentes regiões, em especial a uma denominada de Zona Intensa 2 (SILVA et al., 2013). Os autores classificaram o bioma Cerrado em decorrência da variabilidade espacial das pastagens cultivadas em zonas, sendo-as: Intensa 1 e 2, Média e Fraca ou Tardia.

Fruto de amplos processos de desmatamento que tiveram até a década de 1980 um crescimento acelerado, mas com uma diminuição na década de 2000 tiveram nessa mesma Zona Intensa 2 um aumento do desmatamento, em especial na primeira metade da década de 2000. Municípios como São Miguel do Araguaia, Nova Crixás, Crixás e Jussara diminuíram ainda mais a área remanescente do bioma Cerrado que no ano de 2002 para o estado de Goiás já apresentava apenas 33% de sua área como vegetação remanescente (SANO et al., 2008; SILVA et al., 2008).

Deste modo, afim de investigar os efeitos da degradação das pastagens em comparação com a agricultura e a vegetação remanescente a nível de formação, algumas perguntas apresentam-se norteadoras desse trabalho, sendo-as: quais são as zonas com maiores perdas de solo? estas perdas estão associadas ao aumento das pastagens, ou podem estar associadas a outros usos?

Com vistas a responder essas perguntas, o objetivo deste trabalho é avaliar de que maneira os diferentes usos e coberturas do solo propiciam as perdas no estado de Goiás com especial destaque ao entendimento da influência das pastagens nessas perdas.

Materiais e Métodos

A utilização de dados de uso e cobertura da terra se deu a partir da aquisição de dados do Projeto MapBiomas (Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil) que disponibiliza a classificação de uso e cobertura do solo sistematizado desde 1985 até os dias atuais, ao qual trata-se de um agrupamento de técnicas envolvidas em sistemas de informações geográficas cujo o propósito é de melhor entender a dinâmica de uso e cobertura da terra no Brasil (PENA, 2020).

Para tanto, foram selecionados os usos e cobertura nos recortes temporais de 1985, 2000 e 2018, sendo reconhecidas os seguintes usos e coberturas do solo:

a) agricultura; b) pastagem; c) vegetação remanescente, essa última dividida em níveis de formações, sendo-as: campestre, savânica e florestal. Convém destacar que a formação representa uma relativa unidade fisionômica da vegetação ao qual apresenta abordagens para a classificação de comunidades vegetais (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Foram utilizadas informações produzidas pela Equação Universal de Perda de Solos Revisada - EUPS-R para o estado de Goiás (ROSA et al., 2022). A utilização desses dados processados aos moldes do MapBiomas possibilita de maneira assertiva o reconhecimento da perda de solos a nível de bacias hidrográficas e de vertentes podendo estabelecer as mais diversas análises estatísticas.

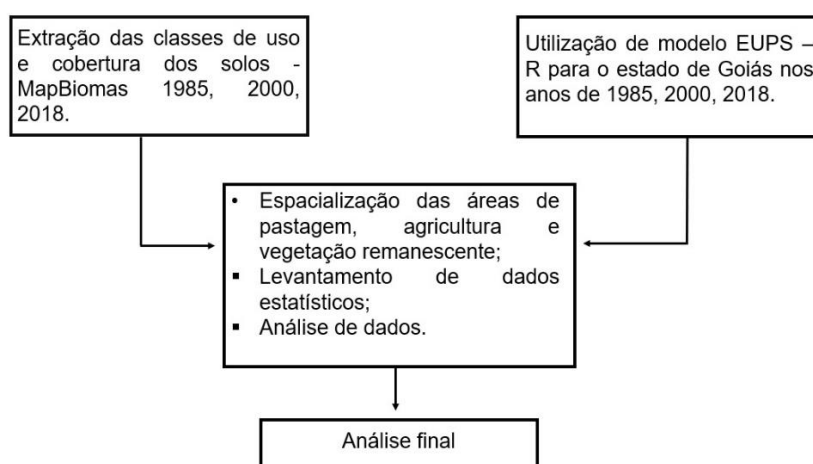
A Equação Universal de Perda de Solos Revisada - EUPS-R ($A=R.K.LS.CP$) é um modelo matemático determinístico (FERNANDES, 2016) que por meio da interação de variáveis como a erodibilidade, a erosividade, o comprimento de rampa associado a declividade (fator topográfico), bem como ao uso e cobertura relacionados as práticas conservacionistas constituem-se das variáveis que compõem as perdas de solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). A primeira variável corresponde a erosividade (fator R), que no estado de Goiás ocorrem com maior contundência em certos períodos do ano dado a irregularidade das chuvas que ocorrem predominantemente entre os meses de outubro a abril. É importante destacar que as precipitações acumuladas não produzem necessariamente altos valores de erosividade (OLIVEIRA, 2012).

A erodibilidade (fator K) é resultante da interação entre as propriedades físicas, químicas e mineralógicas que interagindo entre si resultam nas características morfológicas (KAMPF; CURI, 2013), dentre as quais podem ser consideradas fundamentalmente a textura do solo, a matéria orgânica, a estrutura e a permeabilidade (WISCHMEIER; SMITH, 1978; RENARD et al., 2011).

O fator topográfico - LS (*length and slope*) corresponde a dimensão linear que teoricamente é a distância que vai do início da formação do escoamento até o ponto de encontro com o canal, sendo responsável pela energia potencial e seus efeitos erosivos (MINELLA et al., 2010). Convém destacar que a declividade em relação ao comprimento de rampa, duas variáveis que compõem o fator LS, se apresenta 4x mais determinante nas perdas de solo (RENARD et al., 2011).

Dentre as variáveis da EUPS-R, o fator CP que se refere ao uso e cobertura do solo representa dinamicamente tanto no espaço quanto no tempo a materialidade das intervenções antrópicas na superfície terrestre havendo uma proximidade com os estudos da paisagem. Em outras palavras, ela revela as “alterações” da sociedade sobre a natureza. A cobertura do solo tem como principal característica protegê-lo do efeito de salpicamento da chuva, bem como retardar o arraste das enxurradas em direção a jusante (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). Estimativas apontam que 30% de cobertura sobre o solo reduz as perdas em até 72% (RENARD et al., 2011). Com base nesses pressupostos, a pesquisa pode ser sintetizada na seguinte estrutura (Figura 16)

Figura 16: Fluxograma dos dados e etapas metodológicas adotadas.

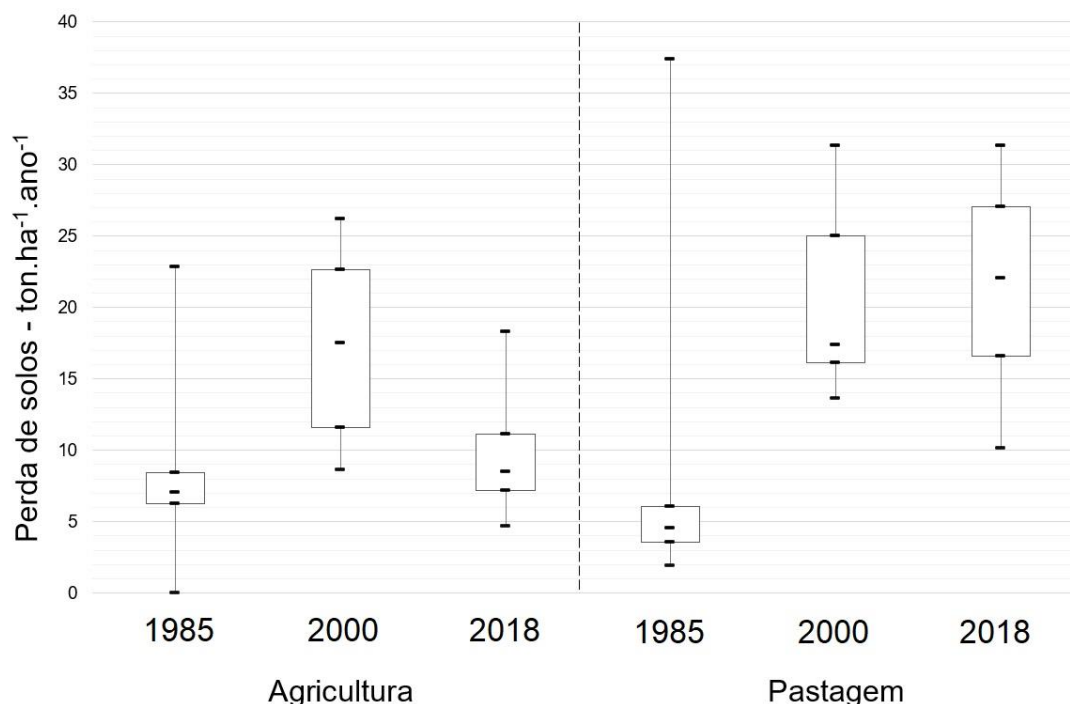


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Resultados e Discussões

As perdas de solo exibem uma média no recorte temporal entre 1985 – 2018 de 11 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ para agricultura e de 15 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ para a pastagem. As maiores perdas médias para a agricultura evidenciam perdas de 17 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2000, enquanto para a pastagem apresenta uma perda média de 22 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ para 2018 (Figura 17).

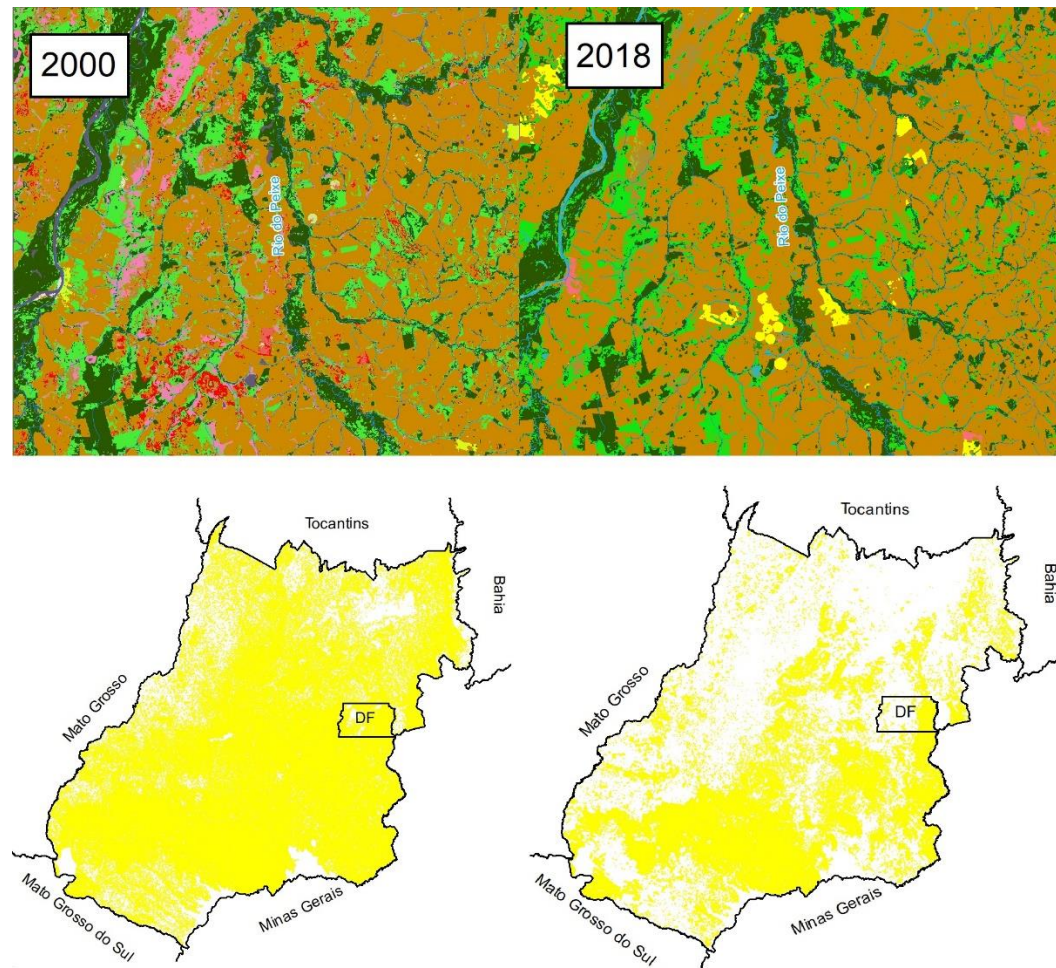
Figura 17: Síntese das perdas de solo no estado de Goiás nos recortes temporais entre 1985, 2000, 2018.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Chama a atenção nos resultados máximos o valor apresentado pela pastagem no ano de 1985 com cerca de 37 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, que a partir de então apresenta recuo com perdas máximas de 31 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o ano de 2000 e 2018. Há um aumento das perdas médias tanto na agricultura, quanto nas pastagens no avanço do recorte temporal, à exceção de 2000-2018 para a agricultura. Essa variação na perda de solos em relação à agricultura pode se dar pela generalização do projeto MAPBiomas quanto a classe de número 21, *Mosaico de Agricultura e Pastagem*, que por essa indefinição pode apresentar classificação distinta em outros recortes temporais, ora somente como pastagem, ora somente como agricultura como acontece no recorte temporal de 2000 – 2018 com agricultura e pastagem, a jusante da bacia do rio Preto quase na afluição com o rio do Peixe (Figura 18). Tal diferenciação pulveriza a agricultura em diferentes locais do estado de Goiás, podendo contribuir para uma variação nas perdas de solo em relação a esse uso.

Figura 18: Generalização da classificação quanto a distinção entre área agrícola e de pastagem evidenciados pela classificação do MAPBiomas em que um ano é considerado como agricultura (vermelho) e outro ano como pastagem (marrom) pulverizando o fator CP.

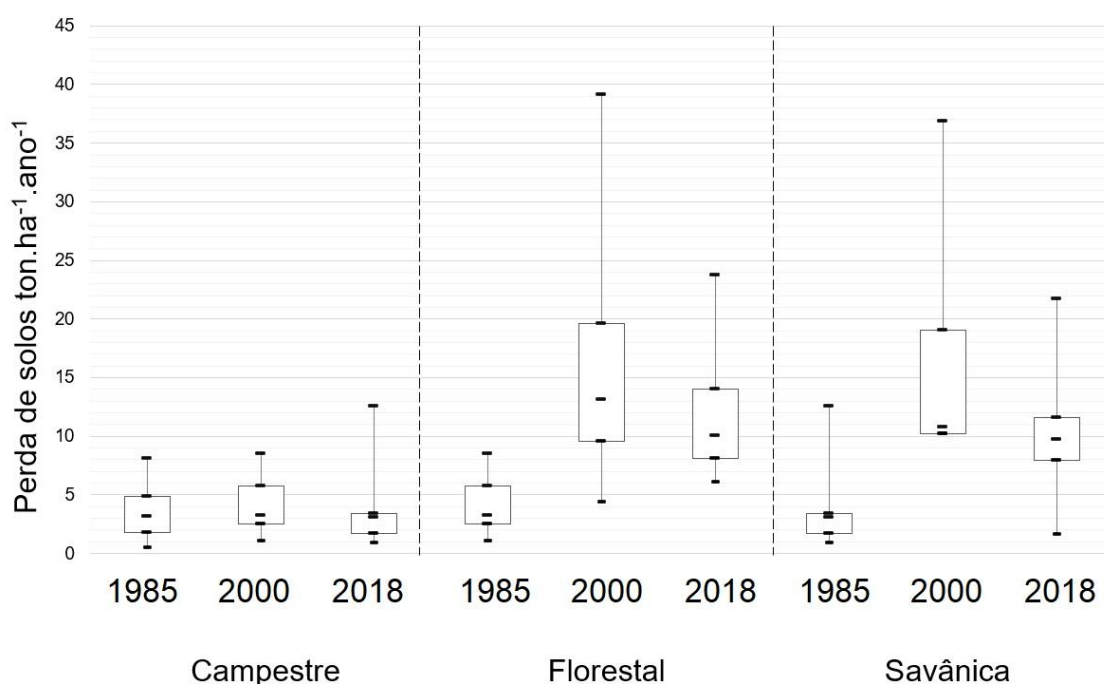


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Constata-se também que, em síntese, os valores das perdas apresentam-se próximos as perdas médias, à exceção do ano de 2000 para as pastagens, em que os valores médios ficam próximos ao 1º quartil, indicando assim, uma maior variação na amplitude das perdas para este uso com um maior desvio padrão.

Em relação a vegetação remanescente, a nível de formação, as maiores perdas médias se encontram na Formação Florestal, sendo o maior resultado médio constatado no ano de 2000, com perdas de 13 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ e cerca de 10 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2018. Em seguida, as maiores perdas são observadas na Formação Savânica com perdas médias de 10 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente nos anos de 2000 e 2018 (Figura 19).

Figura 19: Perda de solos nas formações do Cerrado no estado de Goiás entre 1985, 2000, 2018.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Na Formação Campestre nota-se uma estabilidade das perdas de solo, mantendo perdas médias ao entorno de 3 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, enquanto as demais áreas apresenta crescimento na perda de solos em relação ao primeiro ano de 1985. Constata-se que o aumento das perdas de solo na vegetação é decorrente ao aumento da supressão nas áreas mais planas, havendo assim, concentração ou restrição de vegetação nas áreas mais declivosas, principalmente nas ombreiras das encostas, que são áreas tradicionalmente de maior fator LS e declividade.

A afirmação pode ser comprovada a partir do aumento da declividade média observada para as formações, indicando assim, maior restrição a vegetação remanescente nas áreas mais acidentadas. No ano de 1985, a Formação Campestre apresenta uma declividade média de 8,3%, seguindo para 9,3% nos anos de 2000 e 2018. As formações campestres são típicas de relevos tabulares e aplainados, a exemplo do observado no Parque Nacional das Emas.

A Formação Florestal apresenta uma declividade média de 12% no ano de 1985 aumentando para 13% em 2000 e cerca de 13,3% no ano de 2018. As formações florestais apresentam-se constituídas em compartimentos geomorfológicos bem distintos, podendo ser posicionada em áreas de solos desenvolvidos geneticamente, a exemplo do tradicional “Mato Grosso goiano”, também conhecido como região do Vale do São Patrício. Essa região é dotada de solos bem estruturados por ocorrência dos materiais de origem do Arco Magmático de Goiás que tem em sua constituição rochas básicas e ultrabásicas (LACERDA et al., 2008).

Outra área que também apresenta marcante ocorrência de Formação Florestal é a região dos carbonatos do Grupo Bambuí, com destaque para a Formação Sete Lagoas, com potentes lentes de carbonato de cálcio. Essas áreas são compostas por vegetação caducifólia, ou seja, que em uma determinada época do ano, especificamente no inverno para o bioma Cerrado, perdem pelo menos 50% das folhas. Além do mais, as formações florestais são comuns em ambientes ripários (RIBEIRO; WALTER, 2008).

A Formação Savânica, famosa pelo Cerrado Típico, com seus troncos cortiçosos e retorcidos, bem como suas raízes profundas, também apresentam restrição nas declividades, partindo de 10% no ano de 1985 para 11% no ano de 2000 e 12% no ano de 2018. Os resultados podem demonstrar que quando associados, ou restritos as maiores declividades, a ocorrência do fenômeno erosivo se desenvolve principalmente pelo ganho de energia potencial oferecido pela declividade em direção à jusante, que mesmo em coberturas arbóreas do Cerrado Típico, que gravitam ao entorno de 20-50%, há a manutenção do destacamento da partícula pela gota da chuva, ocasionando o arraste das partículas preferencialmente em locais de maior fator LS (MORGAN, 2005). Tal situação ocorre mesmo no Cerrado Denso cuja a cobertura arbórea é de pelo menos 50%.

As pastagens apresentam-se em média na declividade de 8% enquanto as áreas agrícolas apresentam-se posicionadas em declividades médias de 4-5%, o que favorecem principalmente a mecanização agrícola nas regiões planálticas com baixa variação altimétrica. Deste modo, é comum uma sequência de agricultura em encostas mais planas, por volta de 4%, principalmente na bacia sedimentar do Paraná, pastagens nos terços médios em declividades por volta de 8% e formações florestais, ou demais vegetações em áreas mais dissecadas, em passagens de rupturas de declive em declividades de 13% ou maiores, típicas de *fronts*, ou tálus, o que deflagram maior energia potencial (fator LS) e consequentemente cinética das chuvas.

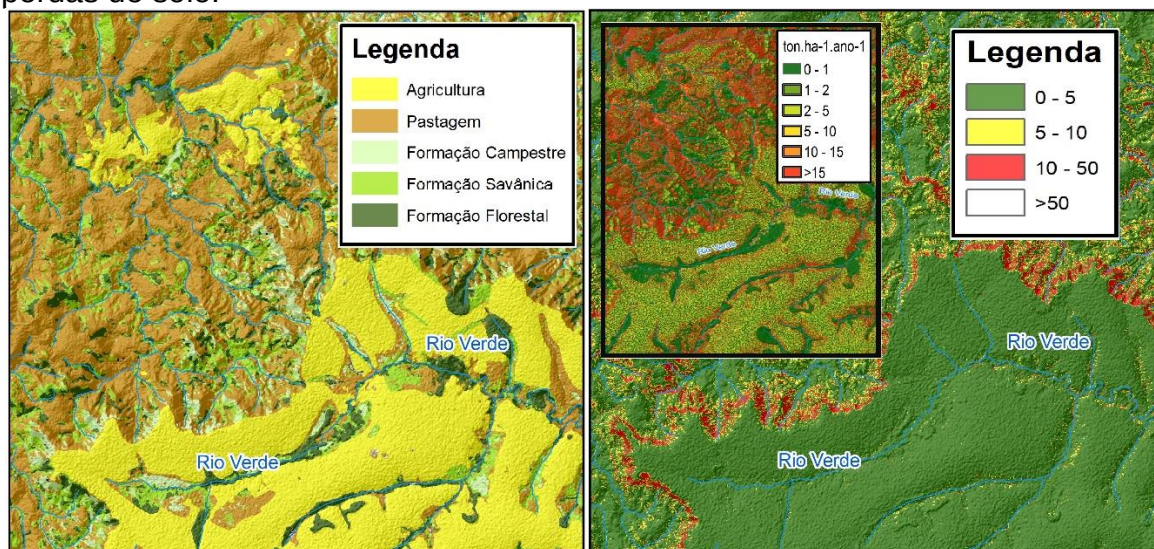
Quadro 3: Declividade média dos usos e coberturas do solo do bioma Cerrado para o estado de Goiás no recorte temporal de 1985-2000.

Legenda	1985		2000		2018	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Formação Campestre	8,27	8,82	9,35	9,52	9,28	9,81
Formação Florestal	11,96	12,47	13,13	13,05	13,44	13,32
Formação Savânica	9,96	10,61	11,52	11,76	12,19	12,13
Pastagem	8,34	8,64	7,00	7,06	8,07	8,20
Agricultura	4,3	3,14	6,84	9,21	4,84	3,69

Fonte: Calculado em ambiente SIG – Elaborado pelos autores (2022).

O fator LS que se constitui, em síntese, da disponibilidade de energia potencial para ocorrência do fenômeno erosivo, conecta o topo do interflúvio até o canal de drenagem (MINELLA et al., 2010), demonstrando maiores perdas mesmo em áreas que apresentam usos e coberturas de solo mais conservacionistas, ou com o menor fator CP, como o caso das pastagens ante as áreas agrícolas, essas últimas de uso menos conservacionista (Figura 20). A figura demonstra a passagem de um uso agrícola – pastagem – vegetação remanescente.

Figura 20: Compartimento da bacia do Rio Verde na região da *cuesta* caiapó evidenciando a mudança de uso e cobertura do solo referentes ao ano de 2018 concomitante às rupturas de declive. Na figura a esquerda apresenta cartograma de cobertura e uso e a direita o fator LS e no centro uma demonstração das perdas de solo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

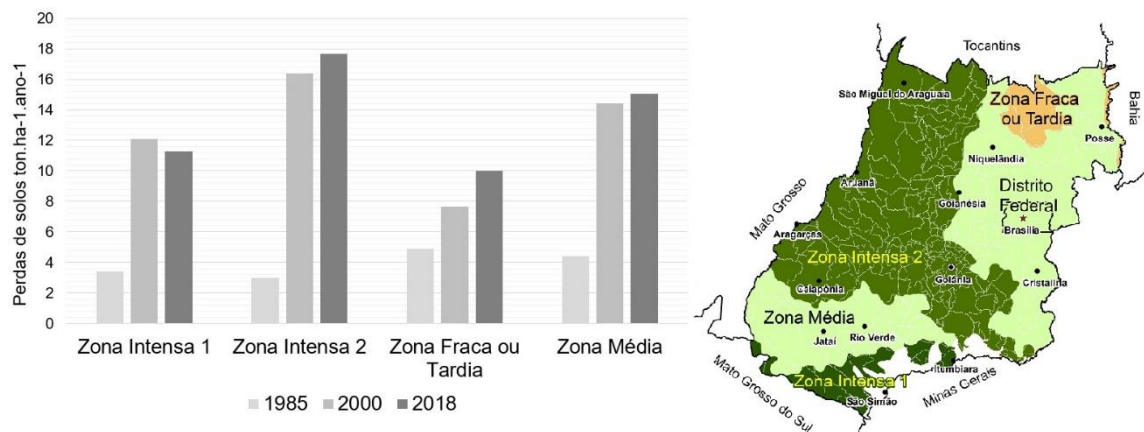
No estado de Goiás, 93% das áreas agrícolas se encontram em áreas com declividades de até 8%, enquanto 6% são associadas a declividades de até 18%, ou seja, se situando no máximo em áreas de relevo ondulado. É notório o reconhecimento de áreas planálticas com destaque para as amplas superfícies regionais de aplainamento originadas em períodos terciários nos ciclos Sul-Americano e das Velhas, com cerca de 79% de suas áreas em relevos com menos de 8% de declividade e cerca de 93% com menos de 20% (MELO et al., 2005; FERREIRA et al., 2014).

Destaca-se ainda que as áreas mais alçadas e dissecadas do estado são reflexos do comportamento estrutural da faixa móvel Brasília evidenciados pela Serra Dourada de Goiás, a Serra dos Pirineus e a Serra Geral do Paraná, bem como em decorrência do controle estrutural da faixa móvel Araguaia-Tocantins, responsável pela formação dos “*cânions*” do Araguaia. As áreas mais planas do estado estão associadas predominantemente a regiões de bacias sedimentares como a do Paraná, no sudoeste Goiano, ou a processos de ciclos erosivos sobre rochas pré-cambrianas mais friáveis como observado na região de Brasília se estendendo até a Cristalina, em direção a bacia do rio São Marcos, em que são notáveis a estruturação por crostas ferruginosas (ALMEIDA et al., 1977; AB'SABER, 2003; LATRUBESSE et al., 2006).

As pastagens apresentam um comportamento semelhante à agricultura de se situarem em áreas com declividade de até 8%, perfazendo um total de 86% sobre essas áreas, enquanto que até as declividades de 20% perfazem um total de 98% do uso de pastagem (FERREIRA et al., 2014). Há assim, como na vegetação remanescente, o efeito dessas áreas servirem como uma retenção da energia cinética das chuvas provenientes de contribuição de áreas a montante, o que explica a alta ocorrência de processos erosivos nessas áreas, somadas inclusive ao destacamento e ao carreamento de sedimentos.

A partir da consideração das regiões definidas como Zona Intensa 1, Zona Intensa 2, Zona Fraca ou Tardia e a Zona Média (SILVA, et al., 2013), a perda de solo se mostra mais desenvolvida na Zona Intensa 2 com vertiginoso aumento entre 1985 e 2000 e o crescimento tímido entre 2000 – 2018. Essa zona apresenta perdas de 3 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em 1985, caminhando para 16,4 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2000 e quase 18 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2018 (Figura 21). Em seguida, as maiores perdas se encontram na Zona Média, que também apresenta um crescimento vertiginoso nas perdas de solo, partindo de 4 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ no ano de 1985 para 15 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ de 2018. (Figura 21).

Figura 21: Síntese das médias de perdas de solo por regiões/fronteiras produtoras no estado de Goiás.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A Zona Fraca ou Tardia que apresenta no estado as menores perdas de solos são constituídas por unidades protegidas como o Território-Comunidade Kalunga no município de Cavalcante e o Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros no município de Alto Paraíso de Goiás, evidenciando as mais altas taxas de vegetação remanescente do estado, mas que ainda apresentam perdas médias de 10 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em 2018, em decorrência do acompanhamento concomitante

do aumento das pastagens, acompanhando as demais regiões do estado. As pastagens apresentam uma relativa estabilidade na área absoluta a nível de estado, mas com reordenamento e crescimento nas suas regiões internas (Quadro 4).

Quadro 4: Síntese da dinâmica das pastagens nas regiões definidas por Silva et.al., (2013).

Região	Área km² - 1985	(%)	Legenda (2000)	Região	(%)	Legenda (2018)	Região	(%)
Zona Fraca ou Tardia	907,99	0,5	Zona Fraca ou Tardia	751,10	1	Zona Fraca ou Tardia	1.472,05	0,5
Zona Intensa 1	12.456,56	7,5	Zona Intensa 1	11.962,96	6	Zona Intensa 1	10.622,30	7,5
Zona Intensa 2	91.421,70	59	Zona Intensa 2	93.213,44	60	Zona Intensa 2	99.938,38	56
Zona Média	59.545,28	33	Zona Média	52.759,04	33	Zona Média	54.902,98	36
TOTAL	164.331,5	100	TOTAL	158.686,5	100	TOTAL	166.935,7	100

Organização: Autores (2022).

A Zona Média que para o bioma Cerrado apresenta maiores distâncias dos mercados consumidores e terras mais baratas em relação as zonas intensas (FERREIRA, 2009), evidenciam um comportamento distinto no estado de Goiás, onde se situa na área produtiva “core” do estado, com a inclusão de municípios como Jataí, Rio Verde e Cristalina, municípios esses com alta tecnologia de incorporação produtiva, sendo tipicamente consolidada a fronteira de expansão do agrohidronegócio e que substituíram seus usos de pastagem por agricultura estabelecendo uma interação entre os setores financeiro-agroquímico-alimentar (INOCÊNCIO, 2010; TRINDADE; CASTRO, 2015; THOMAZ JR, 2017).

A Zona Intensa 2 é a que apresenta a maior área absoluta de pastagem e com crescimento contínuo entre 1985 e 2018 partindo de cerca de 91 mil km² em 1985

para quase 100 mil km² em 2018. A Zona Intensa 2 tem como gene a capital do estado de Goiás que induziu a instalação da infraestrutura e se constituiu no principal mercado consumidor. Esta zona tem como premissa o centro-noroeste goiano por meio do prolongamento da GO-164 que passou a ser conhecida como “Estrada do Boi” (BARREIRA, 2002), sendo que, na região às margens do Araguaia, apresenta-se constituída por solos pouco férteis e por vezes, com baixa aptidão agrícola a exemplo dos Plintossolos (MARTINS et al., 2017).

Considerando somente o uso das pastagens, a Zona Intensa 2 é responsável por uma taxa de perda de 22 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, mas com menores perdas ante a Zona Fraca ou Tardia, que apresenta uma média de perda de 25 ton.ha⁻¹.ano⁻¹. A zona média que houve uma progressiva substituição das pastagens em detrimento das áreas agrícolas (TRINDADE; CASTRO, 2015) apresenta especificamente para as áreas de pastagem perdas médias de 23 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, mas com desvio padrão de 70 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, o que demonstra grandes concentrações de perdas de solo por unidades de área.

Quadro 5: Perda de solos (ton.ha⁻¹.ano⁻¹) em áreas de pastagem por regiões definidas por Silva et al., (2013).

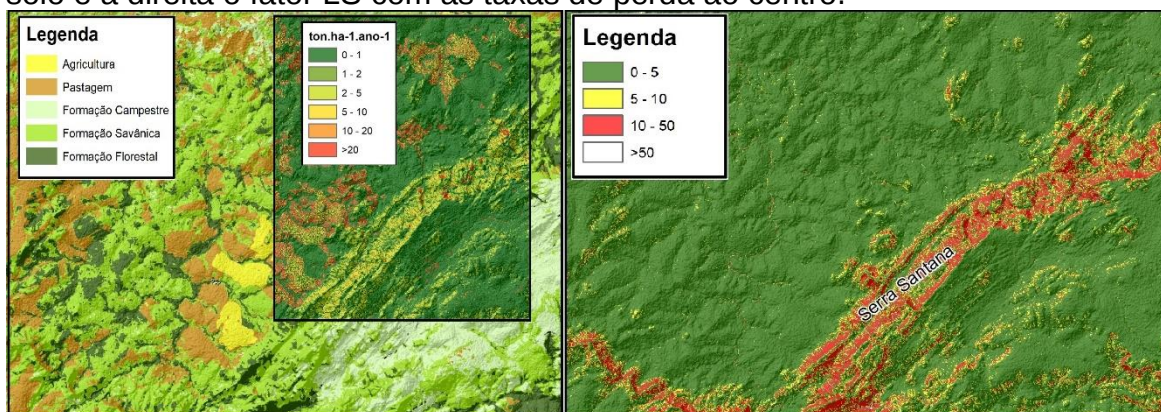
Legenda	1985	2000	2018
Zona Fraca ou Tardia	6,52	17,35	25,05
Zona Intensa 1	2,74	13,67	14,23
Zona Intensa 2	3,57	19,69	21,62
Zona Média	4,47	19,57	22,95

Organização: Autores (2022).

Apesar de apresentar maiores níveis de conservação da vegetação, a Zona Fraca ou Tardia apresenta suas pastagens estruturadas sobre as rochas do Grupo Araí, compostas em linhas gerais por quartizitos e rochas pelíticas, bem como rochas do Grupo Paranoá que apresentam materiais psamo-pelíticos em sua constituição e são responsáveis pela gênese de alçados topográficos como a Serra do Tombador e a Serra do Santana com a presença inclusive de pastagens naturais compondo a Formação Campestre. Ademais, observa-se como comum nesses ambientes áreas queimadas evidenciando erosões laminares, fortalecidas pelo baixo nível fotossintético.

Há também influência dessas áreas mais alçadas nas pastagens situadas a jusante, que em direção às áreas mais rebaixadas se constituem de um amplo contribuidor de fluxo com consequente aumento na perda de solos (Figura 22).

Figura 22: Compartimento na Zona Fraca ou Tardia referente ao ano de 2018 evidenciando as pastagens posicionadas a jusante da Serra Santana, na região da Chapada dos Veadeiros. Na figura a esquerda evidencia o uso e cobertura do solo e a direita o fator LS com as taxas de perda ao centro.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Os resultados evidenciados pelos distintos usos e coberturas do solo apresentam diferentes perdas para os distintos recortes temporais e espaciais. Destaca-se que a importância da localidade da ação do fenômeno erosivo torna-se tão importante quanto o uso e a cobertura do solo. Na região do município de Itaiópolis (SC) estimativas de perdas de solo realizadas com a EUPS-R e com calhas coletoras *parson* em áreas adjacentes a estradas vicinais em declividades que variam entre 12 e 16% apontam uma perda praticamente nula em estradas localizadas próximas a povoados em trechos de aceiros ou divisores. Além do mais, considerando as diferentes estradas uma sem conservação e outra com conservação, sendo essa última constituída de barreiras de contenção com equidistância a cada 50 m aproximadamente determinam resultados muito semelhantes (CORRÊA; CRUZ, 2010). Ainda segundo os autores, a estrada com barreiras de contenção apresenta diferença de apenas 1,2 toneladas a menos do que a sem conservação, ou seja, com o solo totalmente exposto. Ambas têm fator LS muito semelhante sendo a com conservação com fator LS de 3,69 e a sem conservação com fator LS 3,36. (CORRÊA; CRUZ, 2010). Os autores ainda encontraram como resultados que a perda estimada em áreas sem conservação apresenta quase 22% sobrestimada do que a realidade aferida pelas calhas coletoras.

Outra pesquisa realizada no sul do estado de Minas Gerais, na bacia do Rio Cervo aponta que cerca de 41% da bacia apresenta perdas de solo superiores a $10 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em que os usos antrópicos evidenciam grande importância com cerca de 30% acima de $25 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (RODRIGUES et al., 2017). Os autores identificaram que o uso e cobertura do solo relacionado as atividades antrópicas correspondem a cerca de 73% associados a altos intervalos de fator LS, sendo que, os acima de 10 são recorrentes a maior predisposição do fenômeno erosivo, independentemente do uso. O fenômeno erosivo é desencadeado com maior contundência a partir do fator LS de número 6.

Em outra bacia também localizada no sul de Minas Gerais, de ampla geodiversidade, evidenciados pelos *nappes* da faixa móvel Brasília meridional que compõem o Complexo Pouso Alegre, constituído de rochas ricas em ortognaisses de composição tonalítica (CIOFFI, 2016) apresenta relevo bastante dissecado distribuídos em distintos valores de LS, sendo que 7% correspondem a fator de número 10 ou maiores e respectivamente 45% e 47% de suas áreas são compostas por pastagem e floresta. Os resultados da pesquisa mineira demonstram que a bacia apresenta perdas acima de $25 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em 50% de suas áreas e $15 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em 62% de sua área (OLIVEIRA et al., 2014).

Convém destacar que a Tolerância a Perda de Solo do Latossolo Vermelho, melhor solo de desenvolvimento genético é $15 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). Assim, constata-se que mesmo em áreas bastante preservadas ou com a utilização de pastagens, que em tese, quando bem manejada melhoram a capacidade física do solo como a densidade e a resistência à penetração oferecendo maior teor de matéria orgânica e melhor crescimento do sistema radicular de outras plantas (SILVA et al., 2021) tem no fator LS o agente de deterioração dessas áreas.

Por fim, a questão da encosta é tão importante no fenômeno erosivo que comparando um material arenoso situado sobre relevo plano classificado como Neossolo Quartzarênico e outro em declividade acentuada com alto teor de matéria orgânica e argila classificado como Nitossolo Vermelho situado sobre relevo forte ondulado, teria nesse segundo uma reação mais frágil à ação da erosão hídrica devido a sua declividade (ALBUQUERQUE et al., 2011).

Considerações Finais

As pastagens se constituem de um uso potencializador das perdas de solo principalmente quando localizadas em áreas com alto valor LS, que tendem a potencializar a perda de solos tanto em áreas associadas ao uso antrópico quanto em áreas de vegetação remanescente. No estado de Goiás, a região com maior perda de solos tendo a pastagem como uso é a Zona Fraca ou Tardia. As perdas de solo nessa zona no ano de 2018 chegaram a cerca de $25 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Essas zonas apresentam-se constituídas por alçados topográficos com importante ocorrência de erosão laminar. A Zona Média que para os estados pertencentes ao bioma Cerrado pertencem as áreas periféricas distantes dos centros consumidores, em Goiás apresenta centralidade com a produção agropecuária com destaque a produção de *commodities* também tiveram aumento na perda de solos, principalmente com a restrição das pastagens em áreas de maior declividade.

As áreas de pastagem apresentam-se mais restritas as maiores declividades ante a agricultura, sendo a declividade a mais importante variável no fator LS. O fator LS que trabalha com a convergência de fluxos das áreas de contribuição de montante em direção a jusante contribui com grande influência as perdas de solo, principalmente quando posicionadas em valores iguais ou maiores a 10.

Nesse sentido, em compartimentos geomorfológicos como a *cuesta* Caiapó com uso e cobertura agrícola em áreas planas, quando do ganho de energia potencial em decorrência do aumento da declividade, mesmo em uso de vegetação remanescente de formação florestal apresenta o aumento das perdas desse último em relação à agricultura. A agricultura que apresenta perda de cerca de $7 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o estado de Goiás no ano de 2018 vê a formação florestal apresentar quase $10 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no mesmo ano, haja visto o acúmulo de fluxo recebido pela vegetação remanescente.

A título de continuidade nessas pesquisas, pode-se averiguar a perda de solos nas áreas de preservação permanente (APP's) associadas tanto as encostas acima de 45° (Lei 12.651/2012), como nas zonas ripárias, estas últimas destinadas entre a outras finalidades como amortecedores de sedimentos buscando compreender a relação entre os distintos usos.

SÍNTESE E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As perdas de solo no estado de Goiás apresentaram amplas diferenciações espaço-temporais entre 1985 – 2018, evidenciando que o estado apresenta perdas ocasionadas predominantemente pelos fatores topográfico (LS) e de erosividade (R), que associados aos usos e cobertura do solo (CP) propiciaram as maiores perdas ou denudação mecânica. Convém destacar que não é negligenciado a importância do fator K, erodibilidade, na análise, mas a entende-se de maneira sinérgica, principalmente com o relevo.

O primeiro artigo demonstra inicialmente que o fator topográfico é uma importante variável na observação comparativa entre as taxas de perdas de solo. As unidades de conservação Parque Nacional de Brasília e Parque Nacional das Emas apresentam condições ambientais análogas, sendo uma localizada no Planalto Central do Distrito Federal e a outra no Planalto de Rio Verde, com amplos interflúvios sustentados por Latossolos Vermelhos e conservação da vegetação remanescente. As perdas na primeira unidade se mostram potencialmente maiores em decorrência da atuação do fator LS, em especial, na bacia do córrego do Milho, que se mostra como uma pequena zona de erosão recuante. O córrego do milho que no ano de 2018 juntamente com as demais bacias associadas as áreas internas das unidades de conservação são observadas em estágio de *clímax* é a que apresenta as maiores taxas de perda.

O fator CP mostra que o uso e cobertura do solo é um importante atenuador das perdas quando comparadas as áreas conservadas e não conservadas, nas bacias das áreas internas e externas às unidades de conservação, mas nas duas situações de conservação, elas se mostram menos decisivas ante ao fator LS. A afirmativa pode ser provada inicialmente quando comparadas as formações predominantes nas respectivas unidades, sendo a Formação Savânica no Parque Nacional de Brasília e a Formação Campestre no Parque Nacional das Emas. É sabido que a Formação Savânica apresenta maior porte e densidade, mesmo assim, não é capaz de atenuar os processos erosivos que apresentam um efeito cumulativo quando considerados a atuação do fator LS.

A utilização do recorte temporal dos anos 1970 se mostrou importante para as duas unidades de conservação e suas bacias associadas, pois conseguiram demonstrar áreas com perturbações mínimas, especialmente no Parque Nacional

das Emas, que se mostrou compatível com as estações experimentais utilizadas por Oliveira (2014). O autor encontrou uma taxa de perda de $0,17 \text{ ton.h}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ em uma parcela experimental de Neossolo Quartzarênico Órtico, valor bastante semelhante ao observado para as médias do Parque Nacional das Emas.

No Parque Nacional de Brasília em decorrência da expansão urbana e a baixa fiscalização ambiental no período da década de 1970, os resultados mostraram-se altos, pois suas áreas lindeiras eram principalmente utilizadas como áreas de empréstimo. Assim, em síntese, nesse primeiro trabalho, o Parque Nacional de Brasília evidencia em suas bacias associadas maiores perdas de solo, que são condicionadas pelo fator LS, mas potencializadas pelo fator CP, podendo por vezes, essa última ser mais decisiva.

O segundo artigo demonstra que regionalmente o fator R, erosividade, é uma variável decisiva nas perdas de solo, que evidenciados pelo índice Moran exibem no ano de 1985 o município de São Domingos, na região do Nordeste Goiano, como a área de maior perda de solos do estado. Nos recortes temporais subsequentes de 2000 e 2018, as maiores perdas de solo em conjunto migraram para a região central do estado, acompanhando a erosividade, que na região da Serra Dourada, da “*sintaxe*” da Serra dos Pirineus e mais ao sul no *front* da *cuesta* Caiapó apresentaram-se como regiões do estado de maiores perdas. A região do sudoeste goiano que tradicionalmente apresenta áreas de “solos frágeis” não se apresenta entre as suas bacias hidrográficas áreas críticas em comparação ao estado.

Localmente no estado de Goiás, duas bacias apresentam-se críticas, sendo-as uma bacia afluente do rio Manso, e a própria bacia do rio Manso, localizadas na região do município de São Domingos. A bacia afluente do rio Manso chega a apresentar cerca de $75 \text{ ton.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ de perdas no ano de 1985, reflexo de solos expostos encontrados em parte da Serra da Praia, uma continuação da Serra Geral do Paranã. A bacia do rio Manso que apresenta em sua porção intermediária “*canyons*” situados sobre as rochas da Formação Sete Lagoas, evidenciam resultados expressivos de perdas, visto a ocorrência de solos expostos em altas declividades, o que reforça comportamento morfogenético das perdas de solo.

Deste modo, esse segundo artigo consegue demonstrar que as perdas de solo no estado de Goiás estão mais associadas aos aspectos morfogenéticos do que ao uso e cobertura da terra, ao qual evidenciam as maiores perdas nas regiões já aludidas Serra Dourada de Goiás, Serra dos Pirineus e *front da cuesta* Caiapó e que em parte são condicionadas também pela erosividade que no ano de 1985 propicia as maiores perdas contíguas (Índice de Moran) em São Domingos, no nordeste goiano e caminham em direção ao centro goiano nos anos de 2000 e 2018. Nota-se também a importância da pastagem, que localizada nos terços inferiores de algumas vertentes contribuem potencializando as perdas de solo.

O terceiro artigo busca compreender o efeito das pastagens nas perdas de solo, visto que, elas são elementos estruturantes na configuração do ordenamento territorial goiano com destaque para a região da “Estrada do Boi” GO-164 localizada na zona denominada de Zona Intensa 2. Essa zona que passou por amplos processos de conversão de vegetação remanescente em pastagem apresenta aumento das perdas de solo, concomitante com o aumento das pastagens acompanhando a tendência do estado de Goiás, que para essa região partiu de cerca de $3,5 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no ano de 1985 para quase $22 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em 2018. Destaca-se que o ano de 2000 onde retoma a intensidade dos desmatamentos tem na Zona Intensa 2 como a região de maiores perdas.

Destaca-se também que, reflexo desses desmatamentos, as vegetações remanescentes se restringiram as maiores declividades, ao qual a Formação Florestal parte de uma declividade média para o estado de 12% no ano de 1985 para 13% no ano de 2018. As formações Savânica e Campestre partem de uma declividade aproximada respectivamente de 10% no ano de 1985 para 12% no ano de 2018 e de 8% para 9% para a Formação Campestre nos respectivos recortes temporais. A agricultura tende a manter-se nas declividades médias de 4% para o estado de Goiás, enquanto as pastagens em 8% fato, também observado por Ferreira et al., (2014).

O terceiro artigo ainda demonstra que os efeitos topográficos (fator LS) quando associados as pastagens também produzem altas perdas, o que também evidencia a importância do caráter conservacionista de algumas áreas, a exemplo do observado na Zona Fraca ou Tardia, notabilizada por apresentar uma grande quantidade de áreas de unidades de proteção, a exemplo do Parque Nacional da

Chapada dos Veadeiros e do Território Comunidade Kalunga. Tais resultados se mostraram semelhantes ao observado numa bacia hidrográfica constatada na região sul de Minas Gerais, que apresenta *nappes* da Faixa Brasília Meridional e cerca de 47% de vegetação remanescente, mas com perdas acima de 25 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ em 50% da área da bacia.

Deste modo, o conjunto dos três artigos atende a solução do problema científico, provando que os fatores relacionados ao fator CP potencializam as perdas de solo, mas não são estruturantes na ocorrência das maiores perdas, ficando esse fator subordinado aos fatores intrínsecos, principalmente o LS. O fator LS de alta magnitude, principalmente quando posicionados em valores maiores que 10 em um uso não conservacionista propicia um vigoroso aumento das perdas de solo, como observado na Zona Fraca ou Tardia. Ademais, regionalmente, as maiores perdas de solo podem ser reordenadas pela erosividade das chuvas, como demonstrado pelas bacias contíguas do Índice Moran que variaram as maiores perdas entre 1985-2018.

Os valores de perda de solos mostram-se cumulativos à medida que quando as pastagens se posicionam nos terços inferiores, justamente nas áreas de 8% de declividade, e recebem o fluxo de montante apresentam maiores perdas ante a agricultura, por exemplo, que para o estado de Goiás se localizam nos topos de interflúvio em compartimentos geomórficos homólogos às cimeiras. Deste modo, as pastagens contribuem para uma maior perda ante as áreas agrícolas, mesmo essa primeira exibindo menor fator CP.

A proposta metodológica trouxe resultados satisfatórios para análise de perda de solos no estado de Goiás. A análise multiescalar tanto no tempo quanto no espaço, com base na averiguação de duas unidades de conservação, para fins de controle do modelo, que em seguida foram estendidas para o estado de Goiás permitiram explicar que as perdas de solo ou denudação mecânica estão de fato muito mais associadas a aspectos morfodinâmicos do que de uso e manejo, o que traz a luz a importância do entendimento das variáveis intrínsecas dos sistemas ambientais, com especial destaque para o fator topográfico. As erosividades podem reorientar e contribuir para um aumento/diminuição das perdas de solo em escala estadual, como observado entre 1985 – 2018. Entretanto, não se pode negligenciar com isso a importância do uso e cobertura

da terra, bem como o fator manejo que evidentemente potencializam as perdas de solo algo demonstrado exemplarmente na Zona Fraca ou Tardia.

Destaca-se, novamente, a importância do olhar sistêmico na análise, algo que deve ser valorizado na ciência geográfica, visto que, por meio dela e da observação da interação entre as partes da EUPS-R, pode-se compreender o fenômeno erosivo no estado de Goiás, tanto na escala espacial como temporal como algo que é essencialmente morfogenético.

Por fim, os resultados e as conclusões deste trabalho levantam novas questões e orientam direções para estudos futuros acerca da perda de solos e das taxas de denudação. Análises de retrodição por geocronologia trariam luz aos aspectos morfodinâmicos do passado, auxiliando na compreensão da atuação climática na formação/esculturação dos mantos de alteração no período Quaternário, pois ajudariam a entender o comportamento de denudação sem qualquer interferência antrópica e por conseguinte a entender na compreensão do desenvolvimento do modelado/solos/paisagem. Ademais, dariam importante contribuição para o entendimento, principalmente na região de Brasília, da idade dos Latossolos e das Lateritas, ao qual ainda incidem dúvidas acerca do processo de formação destes materiais, que principalmente nas cimeiras, se constituem diretamente dos materiais de origem, ou oriundo diretamente do enriquecimento geoquímico do ferro e alumínio no processo de laterização.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- AHMED, A.A.; ISMAIL, UHA. Sediment in the Nile River System. **UNESCO International Hydrological Programme International Sediment Initiative**, UNESCO Chair in Water Resources: Khartoum, 2008.
- ALBUQUERQUE, J.A., ALMEIDA, J.A., GATIBONI, L.C., ELTZ, F.L.F. Atividades agrícolas de produção em solos frágeis no sul do Brasil. In: KLAUBERG FILHO, O., MAFRAM A.L., GATIBONI, L.C. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa (MG): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. v.7, p.367-403. 2011.
- ALEWELL, C., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., PANAGOS, P. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. **International Soil and Water Conservation Research**. v.7, p.203-225. 2019.
- ALMEIDA, F.F., HASUI, Y., NEVES, B.B.B., FUCK, R.A. Províncias estruturais brasileiras. In: Campina Grande (PB). Atas do VIII Simpósio de Geologia do Nordeste, 1977.
- ANGIMA, S.D., STOTT, D.E., O'NEILL M.K., ONG, C.K., WEESIES, G.A. **Agriculture Ecosystems & Environment**. v.97, p.295-308. 2003.
- BARBOSA, A.S. **Andarilhos da Claridade: os primeiros habitantes do Cerrado**. Goiânia: Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2002. 416 p.
- BARREIRA, C.C.M.A. **Vão do Paranã: a estruturação de uma região**. Brasília: Ministério da Integração Nacional – UFG - 2002, 320 p.
- BARROS, L.F. de. P., SALGADO, A.A.R. Geocronologia aplicada à análise dos sistemas fluviais. In: MAGALHÃES JR., A.P, PAULA, L.F. (Org) **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1 ed. 2020.
- BECKER, B. A geopolítica na virada do milênio: logística e desenvolvimento sustentável. In: CASTRO, I.E., GOMES, P.C. da C. CORREA, R.L. (Org). **Geografia: Conceitos e Temas**. 17 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2017. 354 p.
- BERTONI, J, LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Editora Ícone, ed, 7ª 2010.
- BISSONNAIS, Y.L. Aggregate Breakdown Mechanisms and Erodibility. **Encyclopedia of soil science**. n.11. CRC Press, 41 – 44, 2006.
- BORK, H.R., BORK, H., DALCHOW, C., FAUST, B., PRIORR, H.P. and SCHATZ, T. **Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa**. Wirkungen des Menschen auf die Landschaften. Klett-Perthes, Gotha. 1998.

BORRELLI, P., et al. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. **Nature Communications**. v.8 2013.

BRASIL, Projeto RADAMBRASIL - **Folha SD. 22 Goiás**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra / Projeto RADAMBRASIL, v. 25. 1981.

BRASIL, Projeto RADAMBRASIL **Folha SD. 23 Brasília**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra / Projeto RADAMBRASIL, v. 29. 1982.

BRASIL, Projeto RADAMBRASIL **Folha SE. 22 Goiânia**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra / Projeto RADAMBRASIL, v. 31. 1983.

BRASIL, Projeto RADAMBRASIL. **Folha SD. 23 Brasília**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra / Projeto RADAMBRASIL, v. 29. 1982.

BRAUCHER, R. **Utilisation du ¹⁰Be cosmogénique produit in-situ pour l'étude de la dynamique des laterites en zone intertropicale**. Marselha: Tese Université d' Aix-Marseille III. 1998.

BUENO, G.T., CHEREM, L.F.S., TONI, F., GUIMARÃES, F.S., BAYER, M. Amazonia. In: SALGADO, A.A.R., SANTOS, L.J.C., PAISANI, J.C. (Orgs.) **The Physical Geography of Brazil Environment, Vegetation and Landscape**. Springer. p.169-199, 2019.

BUOL, S. W., SOUTHARD, R. J., GRAHAM, R. C., & McDANIEL, P. A. **Soil genesis and classification**. 6 ed. John Wiley & Sons 2011.

CAMARGO, E.C.G; FUCKS, S.D.F CÂMARA, G. **Análise espacial de superfícies. Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p.79-122.

CAMPAGNOLI, F. The production of the sediment of the South America continent: Propose of mapping of the erosion rates based on geological and geomorphological aspects. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 7, n.1, 2006.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. Editora Interciência, 2008.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. Goiânia: FUNAPE, 2005.

CASTRO, S.S. Erosão Hídrica na Alta Bacia do Rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. **Revista do Departamento de Geografia**, n.17, p.38-60. 2005.

CASTRO, S.S., ABDALA, K., SILVA, A.A., BÔRGES, V.M.S. A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v.30, n.1, p.171-191, jan/jun. 2010.

CASTRO, S.S., QUEIROZ NETO, J.P.De. Soil Erosion in Brazil from Coffee to the Present-Day Soy Bean Production. In: LATRUBESSE, E. (Orgs). **Natural Hazards and Human-Exacerbated disasters in Latin-America, Special Volumes of Geomorphology**. v.13. Elsevier Book of South America. 2010.

CASTRO, S.S., XAVIER, L.S. **Plano de controle da erosão linear da área de abrangência das nascentes dos rios Araguaia e Araguinha – GO e MT**. Goiânia: SEMARH/IESA, 2004.

DALMOLIN, R.S.D., MENDONÇA-SANTOS, M. De. L, GIASSEN, E. Mapeamento digital de classes de solos: características da abordagem brasileira. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.42, n.11, p.1989-1997, nov. 2012.

CHAUL, N.F. **Caminhos de Goiás: da construção da decadência aos limites da modernidade**. 2 ed. Goiânia: Editora UFG, 2001.

CHAVEIRO, E.F., BARREIRA, C.C.M.A. Cartografia de um pensamento de Cerrado. In: PELÁ, M., CASTILHO, D. (Org). **Cerrados: perspectivas e olhares**. Goiânia: Editora Vieira, 2010.

CHAZDON, R. Renegação de florestas tropicais. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**. v.7(n.3). p. 195-218 (2012).

CHORLEY, R.J, HAGGETT, P. **Models in geography**. London: Methuen, 1967.

CHRISTOFOLLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CORREA, C.M.C., CRUZ, J. Erosão real e estimada através da RUSLE em estradas florestais, em relevo ondulado a fortemente ondulado. **Revista Árvore. Viçosa (MG)**. v.34, n.4., p. 587-595, 2010.

CORREA, E.A., MORAES, I.C., PINTO, S.dos A.F. Estimativa da Erodibilidade e Tolerância de Perdas de Solo na Região do Centro Leste Paulista. São Paulo: UNESP, **Geociências**. v.34, n.4, p.848-860, 2015.

CREMON, E.H., PEREIRA, A.C., PAULA. L.D.L. De., NUNES, E.D. Geological and terrain attributes for predicting soil classes using pixel-and geographic object-based image analysis in the Brazilian Cerrado. **Geoderma**, v.401. 2021.

CUNHA, B.G., BASTOS JÚNIOR, E.M., PEDROTTI, A. Erodibilidade dos solos do entorno do reservatório da barragem Sindicalista Jaime Umbelino de Souza. In: **XII Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe – 18 a 22 de março de 2019, Aracaju/SE. Água para todos: não deixar ninguém para trás**. 2019.

DA COSTA, T.C.C., LUMBRERAS, J.F., ZARONI, M.J., NAIME, U.J., UZEDA, M.C. **Estimativas de perdas de solo para microbacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: EMBRAPA – Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 78. 2005.

DEMARCHI, J.C.; ZIMBACK, C.R.L. Mapeamento, Erodibilidade e Tolerância de Perda de Solo na sub-bacia do ribeirão das Perobas. **Energ. Agric.**, Botucatu, vol. 29, n.2, p. 102-114, abril-junho. 2014.

DISCONZI, P.B., TEIXEIRA-GRANDA, C.F.A., DAMÉ, R.De C., F.D., HARTWIG, M.P. Erodibilidade do solo da bacia da barragem Santa Bárbara, Pelotas (RS). In: **X Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, Fatos e Mitos em Ciência do Solo**. Pelotas (RS) SBCS. 2014.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Procedimentos Normativos de Levantamentos Pedológicos**. Brasília: 1995.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5.ed. Brasília: 2018.

ESTEVAM, L. **O tempo da transformação: estrutura e dinâmica da formação econômica de Goiás**. 2ª ed. Goiânia: Ed. da UCG, 2004.

FARHAN, Y., NAWAISEH, S. Spatial assessment of soil erosion risk using RUSLE and GIS techniques. **Environ Earth Sci**, v.74 p.4649-4669. 2015.

FARIAS, M. F. R.; CARVALHO, A. P. F. D.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. D., MARTINS, É. D. S.; REATTO, A.; GOMES, R. A. T. **Levantamento de Solos do Parque Nacional de Brasília, Escala 1:50.000** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 220 DF, 2008.

FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; RAMOS, V.M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos – Utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI – MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 7, n.2, p.73-85. 2006.

FERNANDES, N. F. Modelagem em Geografia Física: Teoria, Potencialidades e Desafios. **Espaço Aberto, PPGG - UFRJ**, v. 6, nº.1, p. 209-247, 2016.

FERREIRA, G.C.V., MIZIARA, F., COUTO, V.R.M. Pecuária em Goiás: Análise da distribuição espacial e produtiva. **Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v.13, n.2, p.21-39. 2019.

FERREIRA, M.E., FERREIRA JUNIOR, L.G., LATRUBESSE, E.M., MIZIARA, F. Considerations about the land use and conversion trends in the savanna environments of Central Brazil under a geomorphological perspective. **Journal of Land Use Science**. v.11 n.1, p.33-47 DOI: 10.1080/1747423X.2013.845613.

FLORENZANO, T.G. Sensoriamento Remoto para Geomorfologia. In: FLORENZANO, T.G. (Org). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T.G. Cartografia. In: FLORENZANO, T.G. (Org.) **Geomorfologia conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GALLOPIN, G.C, **Los indicadores de desarrollo sostenible: aspectos conceptuales y metodológicos.** Santiago: FAO, 2006.

GASSET, J.O.Y. **Meditações do Quixote.** Vide Editorial, 2019.

GOMES, L., SIMÕES, S.J., NORA, E.L.D., SOUSA-NETO, E.R.De., FORTI, M.C., OMETTO, J.P.H.B. Agricultural Expansion in the Brazilian Cerrado: Increased Soil and Nutrient Losses and Decreased Agricultural Productivity. **Land**, v.8, n.12. 2019.

GOSSE, J. C., PHILLIPS, F. M. Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: theory and application. **Quaternary Science Reviews**. 20(14). p. 1475-1560.RRCI

GOUDIE, A.S. **Encyclopedia of Geomorphology.** v.1 London: 2004. Routledge.

GUERRA, A.J.T., MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia Ambiental.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2015.

HERNANI, L.C., CHAGAS, C.Da.S., GONÇALVES, A.O., MELO, A. Da. S. Potencial natural de erosão e geotecnologias para a classificação de capacidade de uso dos solos. Cap. 6. In: CASTRO, S.S., HERNANI, L.C. (Org). **Solos Frágeis, caracterização, manejo e sustentabilidade.** EMBRAPA. Brasília: 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Anuário Estatístico Brasileiro.** Rio de Janeiro: 2020.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Pedologia.** 3 ed. Rio de Janeiro: 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de uso da Terra.** Rio de Janeiro: 3 ed. 2013.

INOCÊNCIO, M.E. **O PRODECER e as tramas do poder na territorialização do capital no Cerrado.** Goiânia: Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 14 jul. 2010.

IPPOLITI, G.A.R., COSTA, L.M.da., SCHAEFER, C.E.G.R., FERNANDES FILHO, E.I.F., GAGGERO, M.R. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de “Mar de Morros” (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29. p.269-276. 2005.

JAGERCIKOVA, M.M., CORNU, S., BOURLÈS, D., ANTOINE, P., MAYOR, M., GUILLOU, V. Understanding long-term soil process using meteoric ¹⁰Be: A first attempt on loessic deposits. **Quaternary Geochronology**. v.27 p.11-21, 2015.

JOSHI, V.U. Soil Loss estimation based on RUSLE along the Central Hunter Valley Region, NSW, Australia. **Journal Geological Society of India**. v.91, p.554-562, 2018.

KAMPF, N., CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J.C., CURI, N., SCHAEFER, C.E.G., VIDAL-TORRADO, P. (Org). **Pedologia Fundamentos** Viçosa: SBCS, 2015.

KIPNIS,R., SCHEEL-YBERT, R. Arqueologia e Paleoambientes. Cap.16. In: SOUZA, C.R.De G., SUGUIO, K., OLIVEIRA, A.M.D.S., OLIVEIRA, P.E.De. **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos Editora.

LACERDA FILHO, J. **Geologia do estado de Goiás e Distrito Federal. Escala: 1:500.000**. Goiânia: CPRM/SIC – FUNMINERAL, 2008.

LAFLEN, J.M. Erosion by Water: Empirical Models. In: LAL, R.N. (Org.) **Encyclopedia of soil science**. n. 11. CRC Press.

LATRUBESSE, E.M., CARVALHO, T.M., STEVAUX, J.C. **Geomorfologia do estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia: Secretaria de Industria de Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração. 2006.

LEEDER, M. R. Denudation, Vertical Crustal Movements and Sedimentary Basin Infill. **Geologische Rundschau**. Stuttgart: v.80 (n.2) p.441-458, 1991.

LEPSCH, I.F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIMA, L.A.de.S., NEUMANN, M.R.B., REATTO, A., ROIG, H.L. **Mapeamento de Solos do Tradicional ao Digital**. Planaltina (DF): EMBRAPA Cerrados - Documentos 316. 2013.

LIMA, L.A.S., NEUMANN, M.R.B., REATTO, A., ROIG, H.L. **Mapeamento de Solos do Tradicional ao Digital**. Planaltina (DF): Documentos 316, 2013.

LOMBARDI NETO, F., MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**. v.51, n.2, p.189-196, 1992.

LOPES, V.C., PARENTE, L.L., BAUMANN, L.R.F., MIZIARA, F., FERREIRA, L.G. Land-use dynamics in a Brazilian agricultural frontier region, 1985 – 2017. **Land Use Policy**. v.97. 2020.

MARINHO, G.V., CASTRO, S.S., CAMPOS, A.B. Hydrology and gully process in the upper Araguaia River basin, Central Brazil. **Z. Geomorph. N.F. Berlin-Stuttgart**, p.119-145. 2006.

MARQUES, M.I.M. Natureza e sociedade. In: CARLOS, A.F.A, CRUZ, R. C. A. (Org.). **A necessidade da Geografia**. São Paulo: Contexto, 2019.

MARTHA JUNIOR, G.B, VILELA, L. **Pastagens no Cerrado: Baixa Produtividade pelo uso limitado de Fertilizantes**. Documentos 50. Planaltina (DF) 2002.

MARTINS, A.P.B., SANTOS, G.G., OLIVEIRA, V.A.de., MARANHÃO, D.D.C., COLLIER, L.S. Hardening and Stability of Plinthic Material of the Araguaia River

Floodplain under Different Drying Treatments. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2017.

MARTINS, S.G. **Erosão Hídrica em povoamento de Eucalipto sobre solos coesos nos Tabuleiros Costeiros (ES)**. Lavras: Tese (Doutorado em Agronomia) Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Lavras. Lavras, 22 mar. 2005.

MARTINS, S.G., AVANZI, J.C., SILVA, M.L.N., CURI, N., FONSECA, S. Erodibilidade do solo nos tabuleiros costeiros. **Pesq. Agropec. Trop.** Goiânia, v.41, n.3, p.322-327, jul/set. 2011.

MATI, B.M. Assessment of erosion hazard with USLE and GIS – a case study of the upper Ewaso Ngiro basin of Kenya. **Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinform.**, v.2, p.78-86. 2000.

McLENNAN S.M., MURRAY R.W. Geochemistry of sediments. In: **Geochemistry. Encyclopedia of Earth Science**. Springer, Dordrecht, 1998.

McLENNAN, S. M. Weathering and global denudation. **The Journal of Geology**. v.101, n.2, p. 295-303, 1993

MELO, M.S., CLAUDINO-SALES, V., PEULVAST, J.P., SAADI, A., MELLO, C.L. In: SOUZA, C.R.De. G. SUGUIO, K., OLIVEIRA, A.M.Dos S., OLIVEIRA, P.E. Cap. 12 – Processos e produtos morfogenéticos continentais (Org). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, Editora, 2005.

MENDONÇA, M.R. **A urdidura espacial do capital e do trabalho no Cerrado do sudeste goiano**. Presidente Prudente: Tese (Doutorado em Geografia). 2004.

MERTEN, G.H. A visão norte-americana da conservação do solo e da água. **Agroecologia e Desenv. Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.6. n.1/2, p.56-66, jan/nov, 2013.

MINELLA, J.P.G., MERTEN, G.H., RUHOFF, A.L. Utilização de métodos de representação espacial para cálculo do fator topográfico na equação universal de perda de solo revisada em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34. p.1455-1462. 2010.

MORGAN, R.P.C. **Soil Erosion & Conservation**. 3 ed. Blackwell Publishing. 2005.

MOTTA, P.E.F Da; CARVALHO FILHO A; KER, J.C; PEREIRA, N.R; CARVALHO JÚNIOR, W.C; BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesq. agropec. bras.** Brasília: v.37, n.6, p.869-878, jun. 2002.

MULLIGAN, M., WAINWRIGHT, J. Modelling and Model Building. In: Wainwright J., Mulligan, M. (Eds) **Environmental Modelling Finding Simplicity in Complexity**. London: John Wiley & Sons. 2013.

NEARING, M.A., YIN, S., BORELLI, P., POLYAKOV, V.O. Rainfall erosivity: An historical review. **Catena**, n.157, p. 357-362. 2017.

NETO, A.T. O território do Cerrado em Goiás – Brasil. **Élisée. Revista de Geografia – UEG – Goiás**. v.9, n.2. jul/dez. 2020.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2 ed. 1989.

NUNES, E.D. **Modelagem de processos erosivos hídricos lineares no município de Mineiros – GO**. Tese. UFG. 2015.

NUNES, E.D., CASTRO, S.S. Compartimentação morfopedológica aplicada à distribuição de padrões espaciais de processos erosivos em solos frágeis – Município de Mineiros, GO. In: CASTRO, S.S., HERNANI, L.C (Orgs.). **Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília: EMBRAPA (DF), 2015.

NUNES, E.D., CASTRO, S.S. Degradação de fitofisionomias do Cerrado e impactos erosivos hídricos lineares no sudoeste de Goiás – Brasil. **Sociedade & Natureza**. Uberlândia (MG). v.33. ISSN 1982-4513. 2021. <https://doi.org/10.14393/SN-v33-2021-60606>.

OLIVEIRA, I. J. De. Chapadões *descerrados*: relações entre vegetação, relevo e uso das terras em Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v.34, n.2, p.311-336, mai/ago. 2014.

OLIVEIRA, P.T.S. **Balanço Hídrico e erosão do solo no Cerrado Brasileiro**. Tese. USP. 2014.

OLIVEIRA, P.T.S., WENDLAND, E., NEARING M.A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**. p.139-147, 2012.

OLIVEIRA, V.A. De., MELLO, C.R. De., DURÃES, M.F., SILVA, A.M.Da. Soil Erosion Vulnerability in the Verde River Basin, Southern Minas Gerais. *Ciênc. Agrotec. Lavras*: v. 38, n.3, p.262-269, maio/jun, 2014.

OLIVEIRA, V.A., SANTOS, G.G., COLLIER, L.S., SANTOS, H.G.dos., COELHO, M.R., LUMBRERAS, J.F., SILVEIRA, P.M., Da. **Classificação e mapeamento de solos: curso prático intensivo com ênfase nos solos do Planalto Central do Brasil**. Goiânia: EMBRAPA – UFG – SBCS, 2016.

PALACÍN, L. **Fundação de Goiânia e desenvolvimento de Goiás**. Goiânia: Oriente, 1976. 112 p.

PARANHAS FILHO, A.C, FIORI, A.P., DISPERATI, L., LUCCHESI. C., CIALI, A., LASTORIA, G. Avaliação multitemporal das perdas de solos na bacia do rio Taquarizinho (MS). **Boletim Paranaense de Geociências**, n.52, p.49-59. 2003.

PARENTE, L., MESQUITA, V., MIZIARA, F., BAUMANN, L., FERREIRA, L.G. Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: A novel approach based on high spatial resolution imagery and Google Earth Engine cloud computing. **Remote Sensing of Environment**, v.232. 2019.

PENA, D.S. **Influência da expansão agrícola sobre a perda de solo no estado de Goiás**. Goiânia: Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 11 dez. 2020.

PENA, D.S. **Influência da expansão agrícola sobre a perda de solo no estado de Goiás**. Goiânia: Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais). 2020.

PINET P., SORIAU M. Continental Erosion and Large-Scale Relief. **Tectonics**. v.7 (n.3): p. 563-582. 1988.

POESEN, J. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. **Earth Surface Process and Landforms**. v.43, p.64-84 (2018), 2017.

POPPIEL, R.R., LACERDA, M.P.C., DEMATTÊ, J.A.M., OLIVEIRA JÚNIOR, M.P., GALLO, B.C., SAFANELLI, J.L. Soil class map of the Rio Jardim watershed in Central Brazil at 30 meter spatial resolution based on proximal and remote sensed data and MESMA method. **Data in brief**, v.25. 2019.

PRUSKI, F.F. Processo físico de ocorrência da erosão hídrica. In: PRUSKI, F.F. (Org.) **Conservação de solo e água. Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: UFV 2 ed. 2010.

RENARD, K.G., YODER, D.C., LIGHTLE, D.T., DABNEY, S.M. Universal soil loss equation and Revised Universal Soil Loss Equation. **Handbook of Erosion Modelling**. 1ª edição. Blackwell Publishing, 2011.

RENARD, P., ALCOLEA, A., GINSBOURGER, D. Stochastic versus Deterministic Approaches. In: WAINWRIGHT, J. MULLIGAN, M. (Ed.). **Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2a, 33-149, 2013.

RIBEIRO, J.F., WALTER, B.T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M., ALMEIDA, S.P., RIBEIRO, J.F. (Org). **Cerrado Ecologia e Flora**. Brasília: EMBRAPA, 2008.

RIZZINI, C.T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**. 2. ed. São Paulo: Hucitec, v.1. 1979.

ROCHA, M.I.S., NASCIMENTO, D.T.F. Padrões e tendências espaço-temporais da ocorrência de queimadas no Cerrado entre 1999 e 2018. **Boletim Goiano de Geografia**, v.42. 2022.

RODRIGUES, H.S.M.C., CASTRO, S.S. Avaliação da expansão recente da cana-de-açúcar em solos frágeis na microrregião vale do Rio dos Bois (GO). In: CASTRO, S.S., HERNANI, L.C. **Solos Frágeis, Caracterização, Manejo e Sustentabilidade**. Brasília: EMBRAPA, 2015.

RODRIGUES, J.A.M., MELLO, C.R. de., VIOLA, M.R., RODRIGUES, M.C. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia do rio Cervo (MG). **Geociências**. São Paulo: UNESP, v.36, n.3, p.531 – 542, 2017.

RODRIGUES, J.A.M., MELLO, C.R.De., VIOLA, M.R., RODRIGUES, M.C. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Cervo – MG. São Paulo: **Geociências**. São Paulo: v.36, n.3., p.531-542, 2017.

ROSA, L.E., CHEREM, L.F.S., SIAME, L. O papel de fatores naturais e antrópicos na variabilidade da perda de solos no estado de Goiás entre 1985 e 2018. **Revista Sociedade & Natureza**. Aceito para publicação (2022).

SAADI, A., BEZERRA, F.H.R., COSTA, R.D.Da., IGREJA, H.L.S., FRANZINELLI, E. Neotectônica da Plataforma Brasileira. In: SOUZA, C. R. De G., SUGUIO, K., OLIVEIRA, A. M. Dos., OLIVEIRA, P.E.De (Orgs.). **Quaternário do Brasil**. Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. São Paulo:

SALGADO, A.A.R. **Estudo da evolução do relevo no Quadrilátero Ferrífero (MG) – Brasil, através da quantificação dos processos erosivos e denudacionais**. Ouro Preto: Tese UFOP. 2006.

SALGADO-LABOURIAU, M.L. **A história ecológica da Terra**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 1994.

SALOMÃO, F.X.T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A.J.T., SILVA, A.S. da., BOTELHO, R.G.M. **Erosão e Conservação dos Solos, Conceitos, Temas e Aplicações**. 6 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

SANO, E, S., ROSA, R., BRITO, J.L.S., FERREIRA JÚNIOR, L.G., BEZZERA, H. Da. S. Mapeamento da cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Cerrado por meio de imagens LANDSAT ETM+. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal: Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p.1199-1206.

SANO, E.E. et.al. Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília: v.54, 2019.

SANTOS, G.G., GRIEBELER, N.P., OLIVEIRA, L.F.C. de. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande (PB). v.14, n.2, p.115-123, 2010.

SANTOS, R. D., LEMOS, R. D., SANTOS, H. D., KER, J. C., ANJOS, L. D., & SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6ª edição. 2013.

SAVIANI, D. **Epistemologia e teorias da educação no Brasil**. Pró-Posições. v.18, n.1 (v.52). – jan/abr. 2007.

SCARAMUZZA, C.A.de M. et al. Land-use and Land Cover Mapping of the Brazilian Cerrado Based Mainly on LANDSAT-8 Satellite Images. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.69/6. 2017.

SCARAMUZZA, C.A.M., SANO, E., ADAMI, M., BOLFE, E., COUTINHO, A.C., SILVA, E.B., VALERIANO, D., ESQUERDO, J.C.D.M., MAURANO, L.E. Land-Use and Land-Cover Mapping of the Brazilian Cerrado Based Mainly on LANDSAT-8 Sattelite Images IMAGES. **Revista Brasileira de Cartografia**. n.69, p.1041-1051.

SCHOBENHAUS, C., CAMPOS D.A., DERZE G.R., ASMUS H.E. **Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais**. Brasília, DNPM-MME, 501 p.1984.

SIAME, L. Dossier scientifique – **Nouveau projet Appel d’offres**. Coordination CNRS INSU, 2019.

SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v.57, p.251-259. 2004.

SILVA, A.M.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; AVANZI, J.C.; FERREIRA, M.M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1811-1820. 2009.

SILVA, E.B. Da. FERREIRA JÚNIOR, L.G., ROCHA, G.F., COUTO, M.S.D.da S. Taxas de desmatamento em áreas do bioma Cerrado para os períodos de 2003 a 2004 & 2004 a 2005. In: IX Simpósio Nacional Cerrado. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais, **Anais**. Brasília, 2008.

SILVA, E.B.da., FERREIRA JÚNIOR, L.G., ANJOS, A.F.dos., MIZIARA, F. Análise da distribuição espaço-temporal das pastagens cultivadas no bioma Cerrado entre 1970 e 2006. **Revista IDeAS**. Interfaces em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade. v.7, n.1., p.174-209, 2013.

SILVA, L.da L., RIBON, A.A., BACKES, C., LOPES, L.C.A., MAGALHÃES, A.F. Atributos físicos do solo e produtividade da pastagem em sistema de manejo de integração Lavoura-Peucária-Floresta. **Scientific Eletronic Archives**. v.14, n.11, 2021.

SILVA, S.C., SANTANA, N.M.P., PELEGRIINI, J.C. **Caracterização climática do estado de Goiás**. Goiânia: Série Geologia e Mineração. 2006

SILVA, V.D. **Análise de perda de solo, utilizando o modelo (RUSLE) Revised Universal Soil Loss Equation, aplicado com auxílio das técnicas de geoprocessamento na bacia do Ribeirão Reis, Maringá (PR)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

SOUSA JR., DEMATTÊ, J.A.M. Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 449-456. 2008.

STEVANUX, J. C., LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia fluvial**. Oficina de Textos, 2017.

STRASSBURG, B.B., et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology & Evolution**. 2017.

SUMMERFIELD, M. **Global geomorphology**. New York: Routledge, 2013.

TAMENE, L.; LE, Q.B. **Estimating soil erosion in sub-saharan África based on landscape similarity mapping and using the revised universal soil loss equation (RUSLE)**. Nutr Cyel Agroecosyst. - doi: 10.1007/s10705-015-9674-9. 2015.

TARDY, Y., N'KOUNKOU, R., PROBST, J.C. The global water cycle and continental erosion during Phanerozoic time (570 my). **American Journal of Science** v.289, April. p.455-483. 1989.

TAYLOR, S.R., McLENNAN, S.M. The Geochemical evolution of the continental crust. **Reviews of Geophysics**. v.33, n.2., p. 241-265. 1995.

THOMAZ JÚNIOR, A. Degradação sistêmica do trabalho no agrohidronegócio. **Revista Mercator**. v.16. 2017.

TOMAZONI, J.C.; MANTOVANI, L.E.; BITTENCOURT, A.V.L.; ROSA FILHO, E.F.da. **A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Anta Gorda (PR)**. Estudos geográficos, Rio Claro, n.3(1): 01-21, jan-jun 2005.

TRINDADE, S.P. **Aptidão agrícola, mudanças de usos dos solos, conflitos e impactos diretos e indiretos da expansão da cana-de-açúcar na região sudoeste goiana**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 30 mar. 2015.

TRINDADE, S.P., CASTRO, S.S. Mudanças no uso e impactos da expansão canavieira sobre solos frágeis no Sudoeste Goiano. In: CASTRO, S.S., HERNANI, L.C. (Org.) **Solos Frágeis, caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília (DF) – EMBRAPA, 2015.

TROLL, C. **A paisagem geográfica e sua investigação**. Publicado originalmente em alemão como “Die geographische Landschaft und ihre Erforschung”. Traduzido do espanhol por Gabrielle Corrêa Braga. 1950.

VALENTE, C.R. **Controles físicos na evolução das unidades geoambientais da bacia do Rio Araguaia, Brasil Central**. Goiânia: Tese. (Doutorado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

VALERIANO, C.M., DARDENNE, M.A, FONSECA, M.A., SIMÕES, L.S.A., SEER, H.J. A Evolução Tectônica da Faixa Brasília. In: MONTESSO-NETO, V., BARTORELLI, A., CARNEIRO, C.D.R., BRITO-NEVES, B.B. de. **Geologia do Continente Sul-Americano. Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Beca, 2005.

VIDAL-TORRADO, P., LEPSCH, I.F., CASTRO, S.S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.4, p.145-192. 2005.

WANG, B., ZHENG, F., ROMKENS, M.J.M., DARBOUX, F. Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences. **Geomorphology**, v.187, n.187, p.1-10. 2013.

WISCHMEIER, W.H, SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning**. United States Department of Agriculture, 1978.

YANG, X.; GRAY, J.; CHAPMAN, G.; ZHU, Q; TULAU, M.; CLARKE, S.M. Digital mapping of soil erodibility for water erosion in New South Wales, Australia. **Soil Research**. CSIRO Publishing. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SR17058>. v.56, p.158 -170. 2018.

ZALAN, P.V. Evolução Fanerozóica das Bacias Sedimentares Brasileiras. In: MONTESSO-NETO, V., BARTORELLI, A., CARNEIRO, C.D.R., BRITO-NEVES, B.B. de. **Geologia do Continente Sul-Americano. Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. Beca, 2005.

ZHANG, H., WEI, J., YANG, Q., BAARTMAN, J.E.M, GAI, L., YANG, X., LI, S., YU, J., RITSEMA, C.J., GEISSEN, V. An improved method for calculating slope length (λ) and the LS parameters of the Revised Universal Soil Loss Equation for large watersheds. **Geoderma**. v.308 p.36-45, 2017.