

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA ÁREA III
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA**

**DAIANE DAVID CALIXTO
GLACIELLE FERNANDES MEDEIROS**

**USO DE SIG NA AVALIAÇÃO DA EROSIVIDADE ENTRE ANOS-
PADRÃO HABITUAL E EXCEPCIONAL E SUA RELAÇÃO COM O USO
E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ESTADO DE GOIÁS**

GOIÂNIA, GO

2023

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Daiane David Calixto
Matrícula: 20191011190360

Título do Trabalho: Uso de SIG na avaliação da erosividade entre anos-padrão habitual e excepcional e sua relação com o uso e ocupação do solo no estado de goiás

Autorização - Marque uma das opções

- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data 01/05/2024 (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☒ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia,
Local

06/12/2023.
Data

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS**



Documento assinado digitalmente

DAIANE DAVID CALIXTO

Data: 06/12/2023 10:50:25-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor:

Matrícula:

Título do Trabalho:

Autorização - Marque uma das opções

1. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. (x) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data 01/05/2024 (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
(x) O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 05/12/2023.
Local Data

DAIANE DAVID CALIXTO
GLACIELLE FERNANDES MEDEIROS

**USO DE SIG NA AVALIAÇÃO DA EROSIVIDADE ENTRE ANOS-
PADRÃO HABITUAL E EXCEPCIONAL E SUA RELAÇÃO COM O USO
E OCUPAÇÃO DO SOLO NO ESTADO DE GOIÁS**

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Cartográfica e de Agrimensura do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Hostilio Maia de Paula Neto

GOIÂNIA, GO
2023



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

ATA ECA Nº 11/2023

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao vigésimo nono dia do mês de Novembro do ano de dois mil e vinte e três, às 10 horas e 15 minutos, no Instituto Federal de Goiás, Campus Goiânia, situado à Rua 75, nº 46, Setor Central da cidade de Goiânia, Estado de Goiás, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso do(s) discente(s) Daiane David Calixto (matrícula 20191011190360) e Glacielle Fernandes Medeiros (matrícula 20202011190017) do curso de Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, que tem como título **“Uso de SIG na avaliação da erosividade entre anos-padrão habitual e excepcional no Estado de Goiás, Brasil”**, e foi realizado sob a orientação do(a) Prof(a). Hostílio Maia de Paula Neto. A banca foi composta pelos seguintes examinadores, sob a presidência do(a) primeiro(a):

Hostílio Maia de Paula Neto

Ricardo Fernandes de Sousa

Talita Teles Assunção

Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição do(s) discente(s) e o(s) atribuiu a(s) seguinte(s) nota(s): Daiane David Calixto - 9,4 / Glacielle Fernandes Medeiros - 9,4.

Encerra-se a presente sessão às 11 horas e 30 minutos. Eu, Elaine Reis Costa, dato e assino a presente ata, juntamente com os examinadores que constituíram a banca.

Documento assinado eletronicamente por:

- Elaine Reis Costa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 29/11/2023 11:37:31.
- TALITA TELES ASSUNÇÃO, TALITA TELES ASSUNÇÃO - Estudante - Ufg (01567601000143), em 29/11/2023 11:37:14.
- Ricardo Fernandes de Sousa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 29/11/2023 11:35:53.
- Hostílio Maia de Paula Neto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 29/11/2023 11:35:00.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 29/11/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 483317
Código de Autenticação: 0b2c08fa89



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110
Sem Telefones cadastrados

RESUMO

USO DE SIG NA AVALIAÇÃO DA EROSIVIDADE ENTRE ANOS-PADRÃO HABITUAL E EXCEPCIONAL NO ESTADO DE GOIÁS, BRASIL

Este estudo trata da importância dos dados climáticos na previsão de processos erosivos. O estudo apresenta a importância da chuva na erosão do solo, explorando o modelo o fator Erosividade (R) da Equação Universal de Perda de Solos (USLE), que avaliam o potencial erosivo da água da chuva. Além disso, destaca o papel dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) na análise e interpolação desses dados para entender padrões espaciais de chuva e erosão. O estudo teve por objetivo estimar a erosividade das chuvas e sua relação com o uso do solo em Goiás em diferentes anos. A relação entre erosividade e cobertura do solo para o estado de Goiás mostrou aumento na área agrícola, redução na cobertura florestal e impacto na suscetibilidade à erosão, especialmente em áreas sem cobertura vegetal.

Palavra-chave: Pluviosidade, Fator R, Uso e Cobertura.

ABSTRACT

USE OF SIG TO EVALUATE EROSIVITY BETWEEN USUAL AND EXCEPTIONAL STANDARD YEARS IN THE STATE OF GOIÁS, BRAZIL

This study deals with the importance of climate data in predicting erosion processes. The study presents the importance of rainfall in soil erosion, exploring the Erosivity (R) factor of the Universal Soil Loss Equation (USLE) model, which assesses the erosive potential of rainwater. It also highlights the role of Geographic Information Systems (GIS) in analyzing and interpolating this data to understand spatial patterns of rainfall and erosion. The study aimed to estimate rainfall erosivity and its relationship with land use in Goiás in different years. The relationship between erosivity and land cover for the state of Goiás showed an increase in agricultural area, a reduction in forest cover and an impact on susceptibility to erosion, especially in areas without vegetation cover.

Key words: Rainfall, R Factor, Use and Cover.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
2	METODOLOGIA	6
2.1.	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	6
2.2.	BASE METODOLÓGICA NA DISTRIBUIÇÃO PLUVIOMÉTRICA NO ESTADO DE GOIÁS	7
2.2.1.	<i>Anos Padrão</i>	9
2.2.2.	<i>Cálculo dos EI_{30} para o Estado de Goiás.</i>	10
2.3.	GEOPROCESSAMENTO E SIG NA ESPACIALIZAÇÃO DE DADOS	11
2.3.1.	<i>Álgebra de Mapas</i>	13
2.4.	VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE INTERPOLADOS.....	15
2.5.	RELAÇÃO ENTRE EROSIVIDADE DAS CHUVAS E A COBERTURA DO SOLO MAPBIOMAS.....	16
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
3.1.	SELEÇÃO DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICAS.....	19
3.1.1.	<i>Ano padrão habitual e excepcional</i>	19
3.2.	ESPACIALIZAÇÃO E ANÁLISE DA PLUVIOSIDADE E DO FATOR DE EROSIVIDADE	20
3.2.1.	<i>Validação da Interpolação</i>	21
3.3.	RELAÇÃO ENTRE EROSIVIDADE DAS CHUVAS E A COBERTURA DO SOLO MAPBIOMAS.....	29
3.3.1.	<i>Mapas de Ponderação de Classes</i>	32
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
5	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho é escrito na forma de artigo científico que será submetido a um periódico na área de geotecnologias. Diante da crescente preocupação com as mudanças climáticas, os dados relacionados ao clima tornam-se essenciais tanto para a comunidade científica quanto para a sociedade em geral. Atualmente, há uma ampla variedade de conjuntos de dados públicos sobre precipitação em grande escala, embora os formatos e a integridade desses registros possam variar significativamente. Chuvas intensas e eventos climáticos extremos assumem um papel crucial na compreensão das mudanças climáticas, afetando diretamente a economia e a sociedade.

A erosividade das chuvas assume uma relevância primordial como um dos principais parâmetros de entrada na descrição dos processos erosivos e na formulação de estratégias de conservação, por meio do uso de modelos de previsão de erosão do solo e com o uso de interpoladores de dados disponibilizados em *softwares* de Sistemas de Informações Geográficas – SIG.

A capacidade do clima e das chuvas em provocar erosões do solo definem a erosividade, no qual, é influenciada por diversos fatores, como a intensidade e duração da chuva, a quantidade volumétrica de água infiltrada no solo, a declividade do terreno, a cobertura vegetal e a textura do solo. O modelo *Universal Soil Loss Equation* (USLE) ou Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), foi criado com o propósito de prever as perdas de solo de uma área. O modelo considera na estimativa de perda de solo ações conservacionistas e fatores naturais, tais como: chuva, solo, relevo e cobertura do solo.

A chuva pode ser considerada um dos fatores climáticos de maior impacto ao solo, sendo um dos fatores predominantes na geração de processos erosivos hídricos. Um dos parâmetros presentes no modelo USLE é o fator R, no qual pode ser definido como um índice numérico que representa o potencial da água da chuva em provocar erosão em áreas sem cobertura vegetal. O fator R diz respeito à intensidade, duração e frequência das chuvas, sendo a intensidade um fator importante na formação das feições erosivas, em especial, em regiões de clima tropical, uma vez, que está associado diretamente à ocorrência ou não do desprendimento de partículas de solos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999; ARCAYA, 2007).

O SIG fornece uma plataforma para a implementação de técnicas de interpolação de dados. A plataforma permite importar, analisar e manipular dados de chuva e/ou erosividade existentes,

bem como aplicar métodos de interpolação para estimar valores em locais não amostrados. Além disso, SIG permitem a visualização dos resultados por meio de mapas temáticos, facilitando a compreensão dos padrões espaciais de chuva.

Este estudo teve por objetivo utilizar técnicas da geotecnologia para estimar a erosividade das chuvas, e analisar sua relação com o uso e ocupação do solo no Estado de Goiás no Ano-Padrão habitual (2018) e Ano-Padrão excepcional (2009).

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada nesta pesquisa consistiu basicamente em seis etapas. Na primeira etapa realizou-se um levantamento e análise bibliográfica, com foco nos fundamentos teóricos e os procedimentos metodológicos para compreensão, cálculo e avaliação da erosividade. A segunda etapa consistiu na aquisição das amostras de chuva e na organização das mesmas em planilhas de Excel. Na terceira etapa foi definido o ano padrão excepcional e habitual, a partir das técnicas dos quantis. Na quarta etapa, realizaram-se os cálculos e análise dos índices de erosividade. A quinta etapa envolveu a espacialização e validação dos dados de erosividade por meio de interpolação espacial em sistema SIG. Por fim, a última etapa resume-se na definição de áreas com maior potencial a erosividade a partir de técnicas de álgebra de mapas em ambiente SIG.

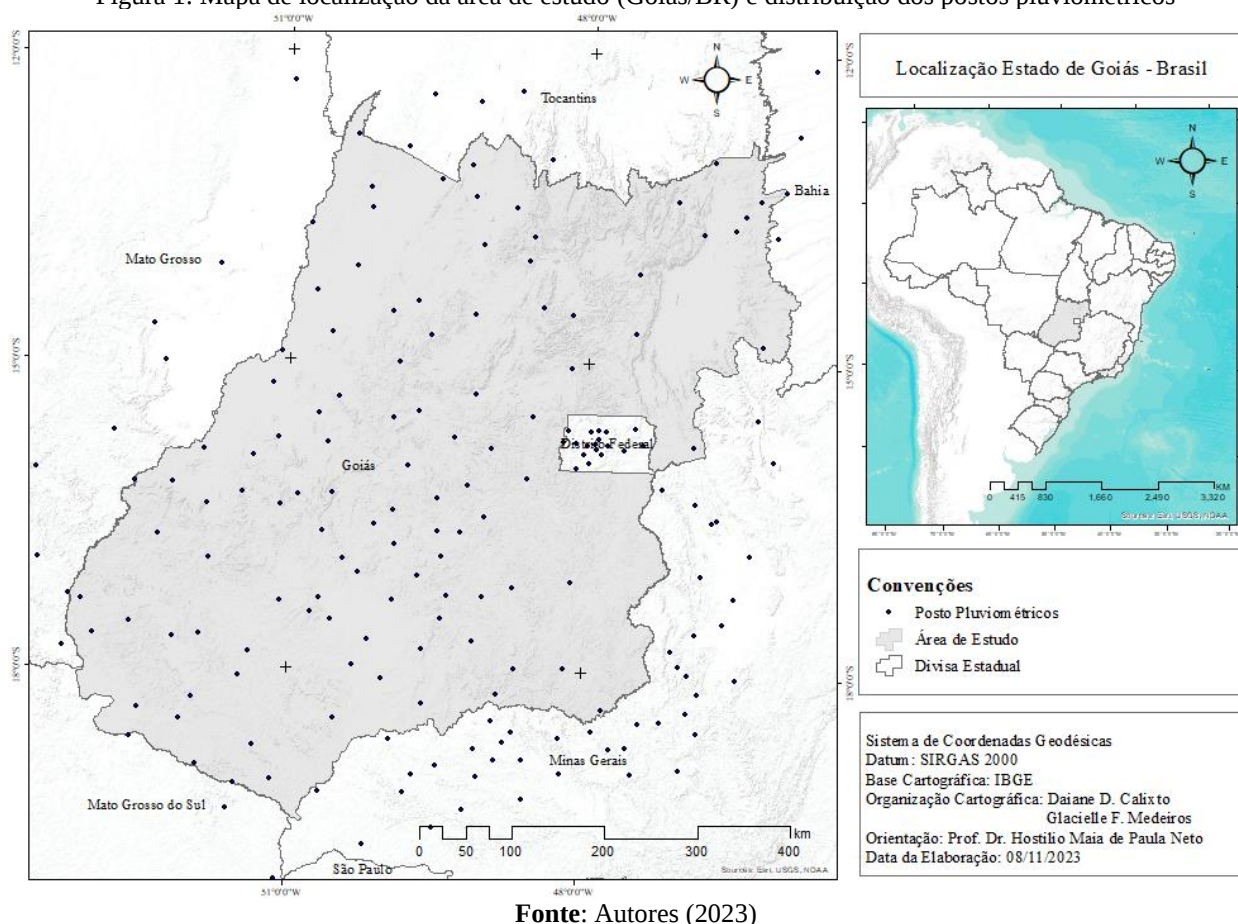
Os Sistemas de Informações Geográficas englobam componentes físicos (hardware), programas e aplicações (software), informações (dados), indivíduos (pessoas) e procedimentos para adquirir, administrar, analisar e apresentar informações geográficas.

Para a interpolação e manipulação dos dados foi utilizado o *software* ArcGIS10.3/ESRI, que permitem gerenciar bancos de dados georreferenciados, realizar análises espaciais e bases cartográficas digitais no formato matricial *raster* e vetorial *shapefile*.

2.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Estado de Goiás localiza-se na porção central do Brasil. O território limita-se ao norte com o estado do Tocantins, ao sul com Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, a Leste com Bahia e Minas Gerais e a oeste com o estado do Mato Grosso, como pode ser observado na Figura 1. Goiás possui áreas de 340103,47 km² que corresponde a 4% do território brasileiro e abriga dois biomas distintos, Mata Atlântica (10430,31 km²) no sudeste do estado e o bioma Cerrado (329672,99 km²) abrangendo as demais áreas.

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo (Goiás/BR) e distribuição dos postos pluviométricos



2.2. BASE METODOLÓGICA NA DISTRIBUIÇÃO PLUVIOMÉTRICA NO ESTADO DE GOIÁS

Para alcançar uma melhor caracterização pluviométrica do Estado de Goiás, foram utilizados valores mensais de precipitação de uma série histórica de 31 anos, disponibilizados pelo portal HIDROWEB versão 3.2.6 da Agência Nacional de Águas-ANA, sendo o download dos dados feitos a partir do Plugin “ANA Data Acquisition” disponibilizado para o *Software* Qgis. A primeira etapa de levantamento de dados, consistiu em selecionar as estações pluviométricas situadas dentro dos limites territoriais do estado de Goiás, posteriormente, para garantir melhor cobertura espacial optou-se por selecionar estações além das fronteiras territoriais da área de estudo.

Foram selecionados 191 postos pluviométrico com série história de 31 anos (1992 a 2022) de forma a recobrir um buffer de 100km além dos limites territoriais do estado de Goiás. Os 191

postos pluviométricos foram utilizados na definição do Anos Padrão e cálculo da erosividade, dentre estes, foram selecionados 151 postos pluviométricos para interpolação e 35 postos para validação dos dados interpolados.

As redes de monitoramento de precipitação no Brasil são operadas pela Agência Nacional de Águas – ANA. Vilazón e Willems (2010) destacam que em séries mais longas de dados oriundos de posto pluviométricos podem apresentar lacunas nas séries de dados, em virtude de falhas nos equipamentos e erros humanos. Desta forma, para trabalhar com séries históricas contínuas de dados, fazem-se necessários que tais falhas sejam preenchidas.

O método da Regressão Linear Simples (RLS) foi adotado no preenchimento das falhas nas estações pluviométricas e o Software RStudio foi utilizado para o processamento. A estimativa de falhas e a validação dos dados respeitou os seguintes parâmetros: somente as séries de dados que se correlacionam com um coeficiente de correlação $r \geq 0,84$, ou com um coeficiente de determinação $r^2 \geq 0,7$, em que o algoritmo executa a correlação linha a linha.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) refere-se ao grau de relação entre duas variáveis quantitativas e expressa o grau de correlação a partir de valores situados entre -1 e 1. Coeficiente de correlação próximo de 1, indica aumento no valor de uma variável quando a outra também aumenta, desta forma, pode-se dizer que há uma relação linear.

O coeficiente de determinação R^2 mede a proporção da variabilidade total dos dados explicada pelo modelo. Um valor de R^2 mais próximo de 1 indica que o modelo explica bem a variabilidade dos dados, enquanto um valor mais próximo de 0 indica que o modelo não está explicando muito.

Brubacher, Oliveira e Guasselli (2020) retratam que o método (RLS) e (RLM) são modelos de simples utilização e interpretação, que não necessitam de grande esforço computacional ou extensas bibliotecas de funções disponíveis em *softwares* para uso, sendo de fácil ajuste e validação.

No modelo matemático RLS, as informações pluviométricas de um posto (Y) são correlacionadas com as observações correspondentes a um posto vizinho (X) que apresenta máxima correlação (ZEILHOFER et al, 2003). A correlação entre dois postos pluviométricos gera duas equações (1 e 2), em que, seus parâmetros podem ser estimados pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 \quad (1)$$

$$f(x) = a + bx \quad (2)$$

Em que:

β_0 , a = coeficiente linear

β_1 , b = coeficiente angular

2.2.1. Anos Padrão

Para definir o ano padrão habitual e excepcional, o primeiro passo foi aplicar a método dos quantis, que consiste por uma técnica estatística simples que descreve um fenômeno aleatório, como a chuva (XAVIER *et al.*, 2007).

Quantis permite que seja definido limites (ou faixas) dentro de um conjunto de que indica qual posição um determinado valor está em relação aos demais dados históricos, em outras palavras, permite dizer se o dado está mais próximo do menor, do maior ou da média (APAC, 2011).

De forma simplificada, o Quantis é um método que divide os dados proporcionalmente em intervalos percentuais previamente definidos, possibilitando que seja feito a classificação de interesse. Na APAC, os dados são classificados como muito seco, seco, normal, chuvoso ou muito chuvoso.

A técnica dos quantis proposto por Pinkayan (1966) e posteriormente por Xavier e Xavier (1984) divide-se em cinco classes: classe com quantis iguais ou menores a 15% foi atribuído a classe quantifica ‘Muito Seco’ (MS); anos com quantis entre 15% e 35% são classificados como anos ‘Seco’ (S); anos com quantis entre 35% e 65% foram considerados como anos ‘Normal’ (N); anos com quantis entre 65% e 85%, foram classificados como ‘Chuvoso’ (C); e anos com quantil maior do que 85%, são classificados como ‘Muito Chuvoso’ (MC).

A seleção da Classe Excepcional (muito chuvoso) e habitual (normal) se deu a partir da seleção da classe de maior representatividade dentre as 191 estações selecionadas para esta etapa.

2.2.2. Cálculo dos EI_{30} para o Estado de Goiás.

Entre os recursos naturais disponíveis, o solo é aquele que sofre maior impacto de ações antrópicas, uma vez que a remoção da vegetação para fins agrícolas ou pecuários acaba por romper o equilíbrio existente entre o solo e o meio ambiente, o que leva a mudanças temporárias ou permanentes. Sempre que a cobertura vegetal nativa é retirada, o solo fica exposto às condições climáticas adversas, tornando-o vulnerável à erosão hídrica.

A chuva consiste em um dos fatores climáticos de maior significância no que diz respeito às erosões dos solos. A erosividade é um índice numérico que mostra o potencial da água da chuva em ocasionar erosão em áreas sem cobertura vegetal, no qual se baseia em características físicas de uma determinada região. Erosividade decorre em função da força, tempo e regularidade das chuvas, em que a força é o fator de maior relevância na formação de erosões, uma vez que o mesmo é responsável pelo desprendimento de partículas de solos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999) e (ARCAYA, 2007).

Para quantificar o índice numérico de erosividade faz-se necessário conhecer as características de intensidade, duração e frequência das chuvas. O Índice de Erosividade (EI_{30}) proposto por Wischmeier e Smith (1978) é o mais adotado para estimativa da erosividade. O cálculo do EI_{30} é realizado a partir da relação entre a energia cinética (E_c), gerada pelo impacto das gotas da chuva no solo e pela intensidade máxima da chuva em um período de 30 minutos consecutivos (EI_{30}). O EI_{30} apresentado por Wischmeier e Smith (1978) foi desenvolvido para condições climáticas e fisiográficas existentes nos Estados Unidos, não apresentando boa correlação com as perdas de solos das regiões tropicais (MARQUES; ALVARENGA; CURI, 1998).

Considerando a não correlação entre os estudos de Wischmeier e Smith (1978) para as condições fisiográficas das regiões de clima tropical, Bertoni e Lombardi Neto (1999) desenvolveram um índice de erosividade (EI), que apresentaram bom coeficiente de correlação com as condições existentes nas regiões tropicais para séries históricas. Algum tempo depois, Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) adotaram o coeficiente desenvolvido por Bertoni e Lombardi Neto (1999) para o cálculo da razão entre o quadrado da precipitação média mensal e a média anual (equação 3). Segundo esses autores, o índice de erosão média anual (fator R),

corresponde à soma dos valores mensais de EI_{30} , de um período de vinte ou mais anos de chuva, e é expresso na unidade $MJ.ha^{-1}.mm.h^{-1}.ano^{-1}$.

$$EI30 = 68,730 \left(\frac{p^2}{P} \right)^{0,841} \quad (3)$$

em que:

EI = média mensal do índice de erosão em $MJ ha^{-1} mm h^{-1} mês^{-1}$;

p = precipitação média mensal em milímetros;

P = precipitação média anual em milímetros.

Para estudo da erosividade da série Histórica adotou-se valores médios mensais propostos por Bertoni e Lombardi Neto (1999) e para cálculo da erosividade no Ano padrão excepcional e habitual, adotou-se o total mensal para cada Ano Padrão em estudo.

Esta pesquisa classificou a Erosividade a partir da metodologia de Carvalho (2008) no qual o autor classifica os valores de erosividade quanto à intensidade, como apresentado na Tabela 1. A partir desta classificação, foram gerados modelos digitais de distribuição espacial da pluviosidade e da Erosividade anual por meio do interpolador krigagem ordinária disponibilizados no *software* ArcGis.

Tabela 1: Classe da erosividade da chuva mensal e anual

Classificação	Erosividade da Chuva ($MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}$)	
	Mensal	Anual (R)
Muito baixa	$R < 250$	$R < 2452$
Baixa	$250 < R < 500$	$2452 < R < 4905$
Média	$500 < R < 750$	$4905 < R < 7357$
Alta	$750 < R < 1000$	$7357 < R < 9810$
Muito alta	$R > 1000$	$R > 9810$

Fonte: Carvalho (2008), adaptado

2.3. GEOPROCESSAMENTO E SIG NA ESPACIALIZAÇÃO DE DADOS

A utilização de Geoprocessamento e SIG em atividades que envolvem a espacialização de dados pluviométricos estão consolidadas. Produtos de Sensoriamento Remoto e *softwares* de Geoprocessamento gratuitos possibilita que qualquer pessoa ou instituição produza dados de qualidade a baixo custo (CREPANI e MEDEIROS, 2004).

Uma das principais características de um SIG é a possibilidade de análise espacial de dados. Os processos de análise espacial tratam dados geográficos que possuem uma localização geográfica (expressa como coordenadas em um mapa) e atributos descritivos (que podem ser representados num banco de dados convencional). Dados geográficos não existem sozinhos no espaço, desta forma é importante localizá-los e representar as relações entre os diversos dados (INPE, 2006).

O processo de manipulação de informações espaciais com objetivo de extrair novas informações e significados a partir dos dados originais, denomina-se análise espacial, que, em geral, pode ser executada com um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que oferece diversas ferramentas para análise espacial, incluindo a geoestatística, utilizada para calcular estatísticas de recursos e realizar atividades de geoprocessamento, como a interpolação de dados geográficos.

Segundo Journel e Huijbregts (1978) o estudo estatístico de fenômenos naturais que variam no espaço é possível a partir da geoestatística. Tais fenômenos naturais caracterizam-se pela distribuição no espaço de uma ou mais variáveis regionalizadas.

Pode-se definir variáveis regionalizadas como funções numéricas que apresentam distribuição espacial, que variam de um ponto a outro continuamente, suas variações não sendo representadas por meio de funções matemáticas simples (MATHERON, 1970). A estatística clássica ocupa-se da verificação da distribuição de frequência de dados, por sua vez, a geoestatística agrega em sua análise a correlação espacial das amostras.

Os SIG mais difundidos na atualidade, possuem ferramentas capazes de interpolar dados, de forma que as técnicas contribuem tanto para o preenchimento de dados, quanto para a interpolação espacial.

Dentre os interpoladores disponibilizados pelo *software* ArcGIS, destacam-se: IDW; Krigagem; Spline; Spline com Barreiras; Vizinho Natural; Topo para Raster; RNA. O *software* livre QGIS, disponibiliza os interpoladores: IDW; TIN; Spline; Vizinho Natural; Regressão Polinomial; Krigagem; Superfície de Tendência.

As técnicas de interpolação espacial convertem dados de observações pontuais em campos contínuos. Esses campos contínuos exibem padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais contínuas.

Souza *et al.* (2011) estudaram os principais modelos de interpoladores utilizados na análise de dados espaciais, como: Inverso Ponderado da Distância (IDW); Krigagem; Curvatura Mínima

ou *Spline* e Triangulação com Interpolação Linear, com objetivo de identificar qual apresentou melhor resultado no estudo de dados pluviométricos.

Perin *et al.* (2015) ao fazer uma revisão sistemática sobre diversos interpoladores estudados ao longo do globo Terrestre concluíram que os métodos de interpolação mais usados para espacializar a variável climática precipitação foram Kriging, *Inverse Distance Weighting* e *Spline*, respectivamente. Por sua vez, o método de interpolação mais eficiente para dados pluviométricos varia conforme o período. Inverso Ponderado da Distância (IDW) apresentou o maior percentual de eficiência para precipitação diária; Krigagem para mensal e Cokrigagem para anual.

Os interpoladores de dados podem ser divididos em global e local. Os interpoladores globais utilizam-se de uma única função para toda a área em estudo, por sua vez, os interpoladores locais adotam a repetição de algoritmos a subconjuntos de pontos amostrados.

No processo de elaboração do mapa de precipitação e dos mapas de erosividade da região do Estado de Goiás, foi adotado técnica de Interpolação Local Krigagem, que permite avaliar os erros associados aos atributos mapeados, conforme proposto por Souza *et al.* (2011) e Perin *et al.* (2015). Os Autores ao estudar diversos interpoladores aplicado a dados pluviométricos, concluíram que os melhores resultados foram obtidos pela técnica da krigagem. Utilizando essa técnica, foi possível criar um mapa contínuo dos atributos, como a precipitação e a erosividade anual para o ano Padrão Habitual (2018) e excepcional (2009).

O processo de interpolação pode ser realizado de várias formas, onde cada método possui suas próprias particularidades e características, e a escolha do método mais adequado depende das características dos dados e dos objetivos do estudo.

2.3.1. Álgebra de Mapas

A definição de álgebra de mapas ou álgebra de campos pode ser compreendida como uma ampliação da álgebra tradicional (adição, subtração, exponenciação), que incorpora um conjunto de operadores para lidar com variáveis que representam campos geográficos (BERRY, 1993).

O conceito de álgebra de mapas ganhou destaque com a publicação do livro "*Geographic Information System and Cartographic Modeling*" (TOMLIN, 1990). Nessa obra, o autor introduziu a ideia de que os mapas podem ser considerados como representações que atribuem valores quantitativos (sejam escalares, ordinais, cardinais ou intervalares) ou qualitativos (nominais) a cada

local dentro de uma área de estudo. Ele também defendeu a realização de operações matemáticas entre esses elementos, baseadas no bom-senso e critério do analista.

São definidos como elementos que relacionam a cada local, um valor quantitativo ou qualitativo, como geo-campos. Podem ser classificadas como: vizinhança, zonais e pontuais as operações julgadas geo-campos (TOMLIN,1990).

- Operações de vizinhança: Em vários processos naturais, o valor do fenômeno observado em uma estabelecida posição é motivado pelas condições de sua vizinhança. Geralmente, conceitua-se vizinhança como aquela área circular próxima a uma posição estabelecida. Mas para o intuito de análise ambiental, vizinhança deve ser definida como uma área adjacente a uma determinada localização geográfica, cujas condições, atingem o processo em estudo naquela posição (BARBOSA, 1999).
- Operações zonais: Uma região é um agrupamento de posições geográficas com características semelhantes ou delimitadas pelo homem. Tendo como exemplo, um mapa de solos, onde cada tipo de solo delimita uma região. No processamento por região, o valor de cada posição geográfica do geo-campo destino necessita do valor do atributo em todas as posições geográficas que compõem a região no geo-campo origem. As operações de transformações zonais ou por região operam sobre um geo-campo origem e um conjunto de regiões demarcado por polígonos na forma matricial ou vetorial (SANTOS, 2011).
- Operações pontuais: Nas variações pontuais, o valor resultante em cada posição geográfica do geo-campo destino resulta apenas dos valores na mesma posição geográfica dos geo-campos origem.

No meio dos tipos de operações prováveis estão a soma, subtração, divisão, multiplicação, média e a combinação booleana, fatiamento, reclassificação, ponderação. A operação de ponderação corresponde na obtenção de um campo numérico a partir de um campo temático, de maneira que cada local de uma área de estudo fique agregada a um valor, indicando o peso de cada classe temática perante de uma operação quantitativa que se deseje modelar (SANTOS, 2011).

Com objetivo de ter uma compreensão inicial do impacto da chuva em função da cobertura do solo, a álgebra de mapas foi adotada no estudo da primeira aproximação da relação entre a erosividade das chuvas e o fator C (cobertura do solo).

Nesse trabalho realizou-se a ponderação entre os dados dos mapas de erosividade com os mapas de cobertura do solo para o ano padrão Habitual (2018) e excepcional (2009), e posteriormente, a soma entre os pesos adotados para cada uma das características de cada mapa.

2.4. VALIDAÇÃO DO PROCESSO DE INTERPOLADOS

O processo de validação foi adotado como forma de quantificar os erros da previsão oriunda dos processos de interpolação nos locais que foram amostrados. Tais erros quantificam a incerteza sobre hipóteses assumidas para a realização da krigagem e sobre o ajuste dos parâmetros de cada modelo adotado.

O processo de validação envolve a exclusão de n observações para validação, utilizando as observações restantes para ajustar o modelo. Os valores das observações selecionadas para validação são comparados estatisticamente com os valores preditos dentro do modelo. Para validação selecionou-se 35 pontos aleatoriamente.

Buscando validar e verificar a metodologia de interpolação krigagem adotada neste estudo, utilizou-se: o erro relativo médio (ERM), raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE), índice de eficiência (NSE), Coeficiente de Concordância aprimorado (dr) e Desvio percentual (Pbias), todos definidos nas Equações 4 a 8.

$$ERM = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n \left| \frac{O - E}{O} \right| \right] \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O - E)^2} \quad (5)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum (O - E)^2}{\sum (O - \bar{O})^2} \quad (6)$$

$$dr = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |O - E|}{2 \sum_{i=1}^n |O - \bar{O}|} \quad (7)$$

$$PBIAS = \sum_{i=1}^n \frac{(O - E)}{\sum_{i=1}^N O} \times 100 \quad (8)$$

em que:

O = valor observado no posto pluviométrico (mm.ano⁻¹);

E = valor estimado com base nos métodos de interpolação (mm.ano⁻¹)

$\bar{O}$ = média dos valores observados (mm.ano⁻¹).

2.5. RELAÇÃO ENTRE EROSIVIDADE DAS CHUVAS E A COBERTURA DO SOLO MAPBIOMAS

O mapa de uso e cobertura da terra da área de estudo, para os anos habitual e excepcional, foi desenvolvido a partir dos dados secundários disponibilizados pelo projeto MapBiomias. Foi considerado neste estudo de forma a relação entre o mapa de cobertura e uso da terra e Fator de Erosividade, de forma a auxiliar na adoção em estudos futuros relacionados a práticas conservacionistas que visem proteger o meio ambiente.

Uma vez que o índice “R” se refere ao potencial da água da chuva em provocar erosão em áreas sem cobertura vegetal, foi acrescentado neste estudo a relação entre a erosividade encontrada e a cobertura do solo, segundo metodologia proposta e adaptada de Saito *et. al* (2009). Para análise da cobertura do solo optou-se por trabalhar com o produto de uso e cobertura disponibilizado pelo projeto MAPBIOMAS.

Para a elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra foi utilizada como base de imagens da coleção 8 do MapBiomias, onde inclui dados anuais para o período de 1985 a 2022. Os dados do MapBiomias são públicos, abertos e gratuitos.

A expressão “uso e cobertura da Terra” são termos que apresentam relação entre si, uma vez que estão diretamente ligados, podendo ser diferenciado e compreendido de forma separada, onde o uso da terra diz respeito a sua função socioeconômica, ou seja, às diferentes atividades realizadas pelo homem (agricultura, pecuária, habitação, ...) e cobertura da terra ao tipo de revestimento da terra como vegetação nativa ou plantada, água, gelo, residências, indústrias que recobrem a superfície (IBGE, 2013)

Para elaborar os mapas que relacionam a erosividade das chuvas com o uso e cobertura da terra da área de estudo, empregou-se o método de sobreposição dos mapas que descrevem a erosividade total anual, para o ano padrão Habitual (2018) e excepcional (2009) e as categorias de uso e cobertura da terra. Para tal, os dados de erosividade passou por um processo de reclassificação, sendo elas: Erosividade Média (EM), para valores menores que $7357 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; Erosividade Alta (EA) para valores de 7357 a $9810 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$; e Erosividade Muito Alta (EMA), para valores de FR superior a $9810 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Através da combinação dos mapas de erosividade e uso e cobertura da terra, realizou-se a análises de sobreposição e classificação, resultando na criação de um modelo que integra esses fatores para identificar e mapear áreas com potencial erosivo.

Para execução da álgebra de mapas, as feições foram reclassificadas e atribuído pesos a cada uma das classes pré-estabelecidas neste estudo (Tabela 2). Para o uso e cobertura, os pesos foram distribuídos conforme maior ou menor presença de vegetação, deste modo, a categoria de uso e cobertura da terra que mais favorece a ocorrência de processo erosivo recebeu o maior peso, àquela que oferece maior proteção, e consequentemente maior concentração de cobertura vegetal, recebeu o menor peso.

Tabela 2: Relação entre Erosividade e Uso e Cobertura do solo

Erosividade		Classes de Uso e cobertura	
Classes	Pesos	Classes	Pesos
		Formação Florestal	1
		Formação Savânica	1
		Silvicultura	1
Erosividade Média	1	Pastagem	2
Erosividade Alta	2	Mosaico de Usos	2
Erosividade Muito Alta	3	Café	2
		Citrus	2
		Outras Lavouras Perenes	2
		Campo Alagado e Área Pantanosa	3
		Formação Campestre	3
		Cana	3
		Área Urbanizada	3
		Outras Áreas Não Vegetadas	3
		Afloramento Rochoso	3
		Mineração	3
		Soja	3
		Outras Lavouras Temporárias	3
		Algodão (beta)	3

Organizado por: Autores (2023)

As regiões cobertas por Formação Florestal, Formação Savânica e Silvicultura são menos susceptíveis a erosividade devido à proteção proporcionada pela cobertura do solo, sendo assim atribuído um peso menor (peso 1) a essas áreas. Por outro lado, as regiões dedicadas à Pastagens, Mosaico de Usos, Café, Citrus e Outras Lavouras Perenes são classificadas como zonas de médio potencial a erosividade, devido à concentração de fluxos decorrentes das práticas de manejo, e, portanto, recebem um peso intermediário (peso 2). As áreas de Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Cana, Área Urbanizada, Outras Áreas não Vegetadas, Afloramento Rochoso, Mineração, Soja, outras lavouras Temporárias e Algodão (beta) recebem o maior peso em decorrência da exposição do solo as intemperes, sendo assim consideradas zonas de alto potencial (peso 3) a ocorrência de erosividade, conforme Tabela 2.

3 RESULTADOS

Nesta seção, serão apresentados os resultados provenientes da aplicação da metodologia descrita na seção 2 deste trabalho.

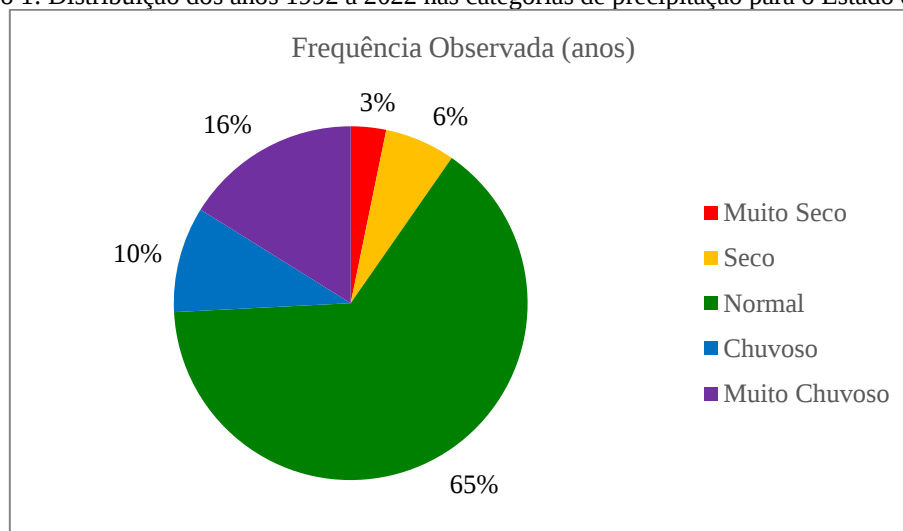
3.1. Seleção dos Postos Pluviométricas

Concluída a etapa de coleta, análise e refinamento dos dados sobre a ocorrência de falhas, foram selecionados 191 postos que atendem aos critérios pré-estabelecidos, abrangendo toda a área de estudo (Figura 1).

3.1.1. Ano padrão habitual e excepcional

A definição do Ano Padrão Excepcional e Habitual levou em consideração a classificação quantílica de maior representatividade nos 191 postos pluviométricos considerados neste estudo (Gráfico 1), no qual 65% dos anos em estudo foi classificado como um ano ‘Normal ou Habitual’, 10% ano ‘Chuvoso’, 16% ‘Muito Chuvoso’, 6 % ‘Seco’ e 3% ‘Muito Seco’. O ano de 2009 foi selecionado como ano representativo Excepcional, sendo identificado em 46% dos postos pluviométricos (Gráfico 2) e o ano de 2018 foi selecionado como ano representativo do Ano Padrão Habitual, com 46% dos postos pluviométricos (Gráfico 3).

Gráfico 1: Distribuição dos anos 1992 a 2022 nas categorias de precipitação para o Estado de Goiás

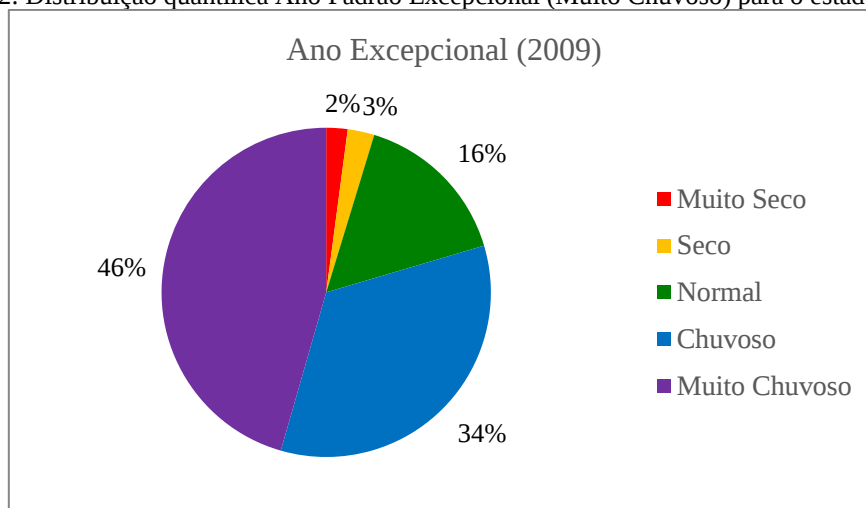


Fonte: ANNA (2023)
Elaborado por: Autores (2023)

No ano Padrão Excepcional 2009 foram classificados 4 postos pluviométricos definidos como ‘Muito Seco’, 5 postos ‘Seco’, 31 postos ‘Normal’, 65 postos ‘Chuvoso’ e 87 postos

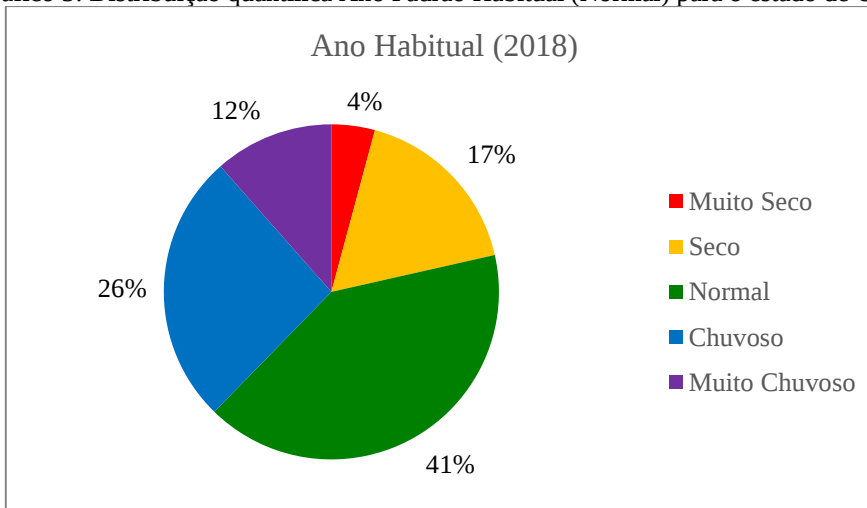
classificados como ‘Muito Chuvoso’, conforme o total anual pluviométrico. Já no Ano Padrão Habitual de 2018 foram identificados 8 postos pluviométricos ‘Muito Seco’, 33 postos ‘Seco’, 79 postos pluviométricos habituais, 50 postos ‘Chuvoso’ e 22 postos classificados como ‘Muito Chuvoso’.

Gráfico 2: Distribuição quantílica Ano Padrão Excepcional (Muito Chuvoso) para o estado de Goiás



Fonte: ANNA (2023)
Elaborado por: Autores (2023)

Gráfico 3: Distribuição quantílica Ano Padrão Habitual (Normal) para o estado de Goiás



Fonte: ANNA (2023)
Elaborado por: Autores (2023)

3.2. ESPACIALIZAÇÃO E ANÁLISE DA PLUVIOSIDADE E DO FATOR DE EROSIVIDADE

Concluída a definição do Ano Padrão Habitual (2018) e Excepcional (2009) foram selecionados 151 postos pluviométricos para interpolação e 35 postos selecionados de forma aleatória e automática para validação dos dados interpolados. Com base em 156 postos pluviométricos distribuídas ao longo da área de estudo, foram criados 6 mapas, sendo 3 de precipitação e 3 de Erosividade (Figura 2 a Figura 7). O valor médio anual da precipitação para o ano de 2009 foi de aproximadamente 1308 mm/ano e o valor médio anual da Erosividade ficou em torno de 7284 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Em 2018 o valor médio anual da precipitação ficou em torno de 1138,00 mm/ano e o valor médio anual da Erosividade ficou em torno de 6705 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

Observa-se que a precipitação média anual em 2009 é maior do que em 2018, consequentemente a erosividade média em 2009 é maior do que em 2018. O valor médio anual de precipitação média ao longo de toda série histórica ficou em torno de 1417 mm/ano e o valor médio anual da Erosividade é de 7790 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

No mapa de erosividade anual para o Ano Padrão Excepcional (2009) apresentado na Figura 2, verifica-se tendência de aumento da erosividade na região norte e sudoeste da área de estudo.

Pela classificação de Carvalho (1994) observa-se predomínio de erosividade alta seguida por erosividade muito alta, variando de 7375 a 12468 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Destaca-se que os maiores valores estão concentrados no sudoeste e norte da área de estudo, o que coincide com as áreas com maior volume pluviométrico.

O Ano Padrão considerado normal ou Habitual (2018) observada na Figura 4, apresentou tendência de aumento da erosividade na região oeste e sudeste, com predomínio de erosividade alta seguida por erosividade muito alta, variando de 7375 a 10868 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Os dados de Erosividade média entre os anos de 1992 e 2022, de forma análoga aos anos Padrão (2009 e 2018) apresentou predomínio de erosividade alta e muito alta, indo de 7375 a 9849 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

3.2.1. Validação da Interpolação

Os resultados estatísticos da validação do interpolador krigagem são apresentados na Tabela 3. O Erro Relativo Médio (ERM) fornece a precisão das medidas. O processo de validação mostra boa precisão do modelo para todos os conjuntos amostrais, dando maior destaque para o conjunto amostral PR_2009, PRE_2018, FR_2018 e FR_MSH com valor de 0,01.

A Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) é uma medida cuja finalidade é calcular a raiz quadrática média dos erros entre valores observados (reais) e previsões (hipóteses/valor resultante da interpolação). O conjunto amostral PRE_MSH apresentou o menor valor e consequentemente o menor erro.

O Índice de Eficiência (NSE) varia de menos infinito a 1, adotado para verificar a eficiência do modelo em simular uma determinada variável. O conjunto amostral PRE_2009 e FR_MSH apresentaram os melhores ajustes.

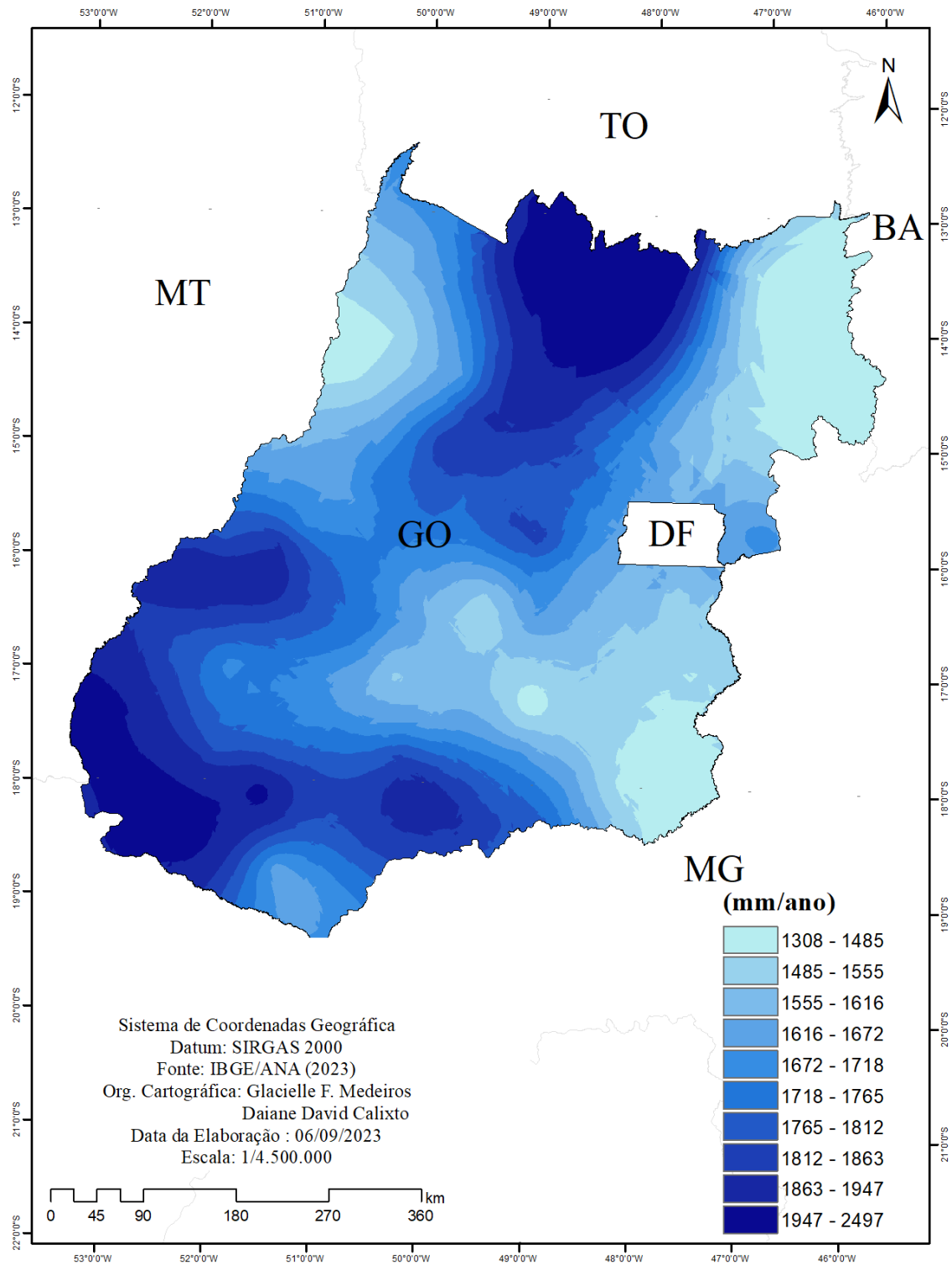
Tabela 3: Resultados estatístico da validação da krigagem

Parâmetro	PRE_2009	FR_2009	PRE_2018	FR_2018	PRE_MSH	FR_MSH
ERM	0,03	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01
RMSE	185,13	916,24	292,30	1105,90	149,46	469,18
NSE	0,20	0,09	-0,26	0,01	-0,72	0,42
dr	0,56	0,53	0,46	0,52	0,39	0,57
PBIAS	0,55	0,56	0,01	0,08	0,19	0,21
PRE_2009	Precipitação_Ano Padrão Excepcional					
FR_2009	Erosividade_Ano Padrão Excepcional					
PRE_2018	Precipitação_Ano Padrão Habitual					
FR_2018	Erosividade_Ano Padrão Habitual					
PRE_MSH	Precipitação_Série Histórica					
FR_MSH	Erosividade_Série Histórica					

Elaborado por: Autores (2023)

Figura 2: Precipitação ano Padrão Excepcional (total 2009) interpolada pelo método de Krigagem

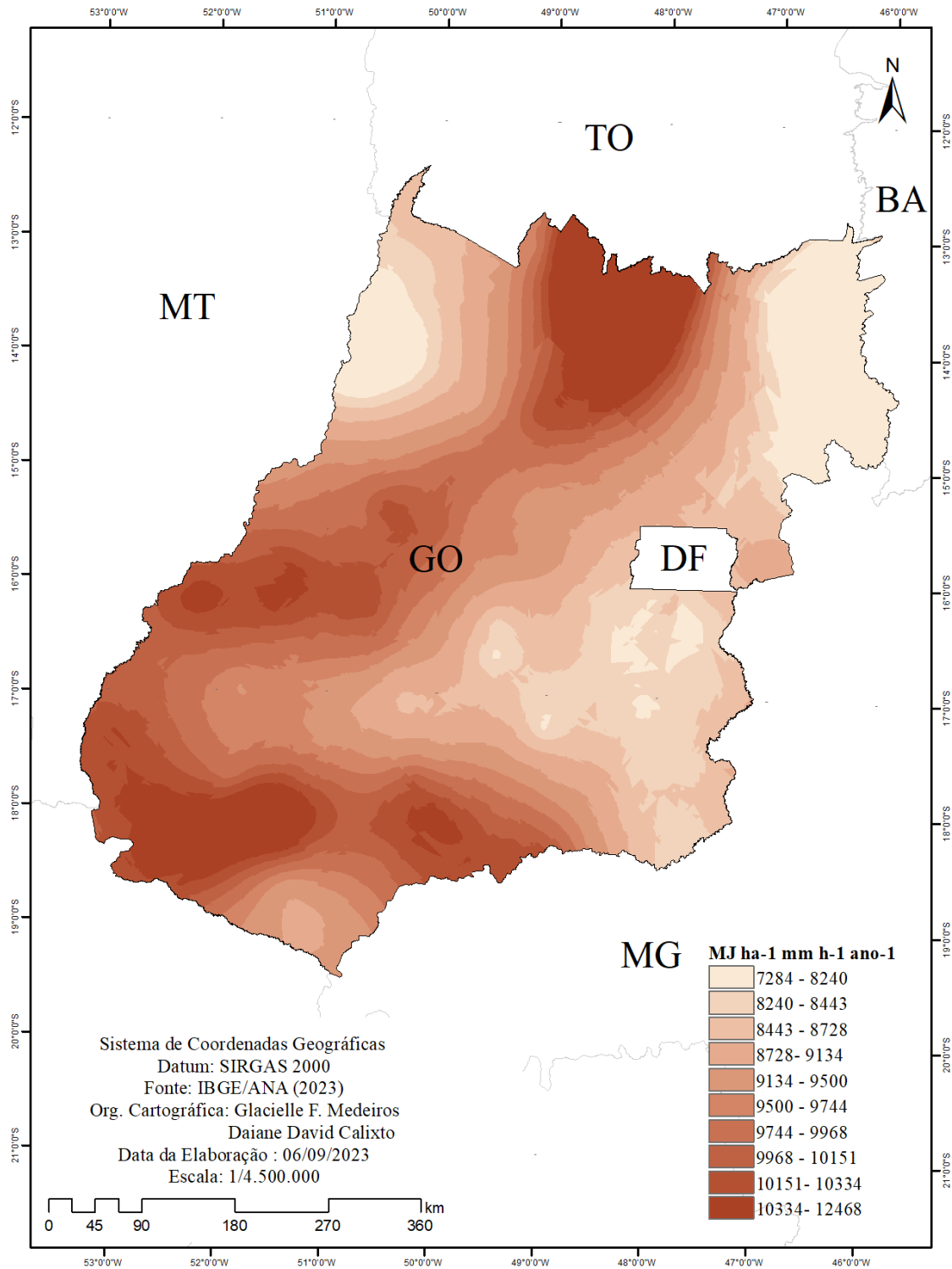
PRECIPITAÇÃO ANO PADRÃO EXCEPCIONAL (2009) - GOIÁS/BR



Fonte: ANNA (2023)
Elaborado por: Autores (2023)

Figura 3: Erosividade ano Padrão Excepcional (total 2009) interpolada pelo método de Krigagem

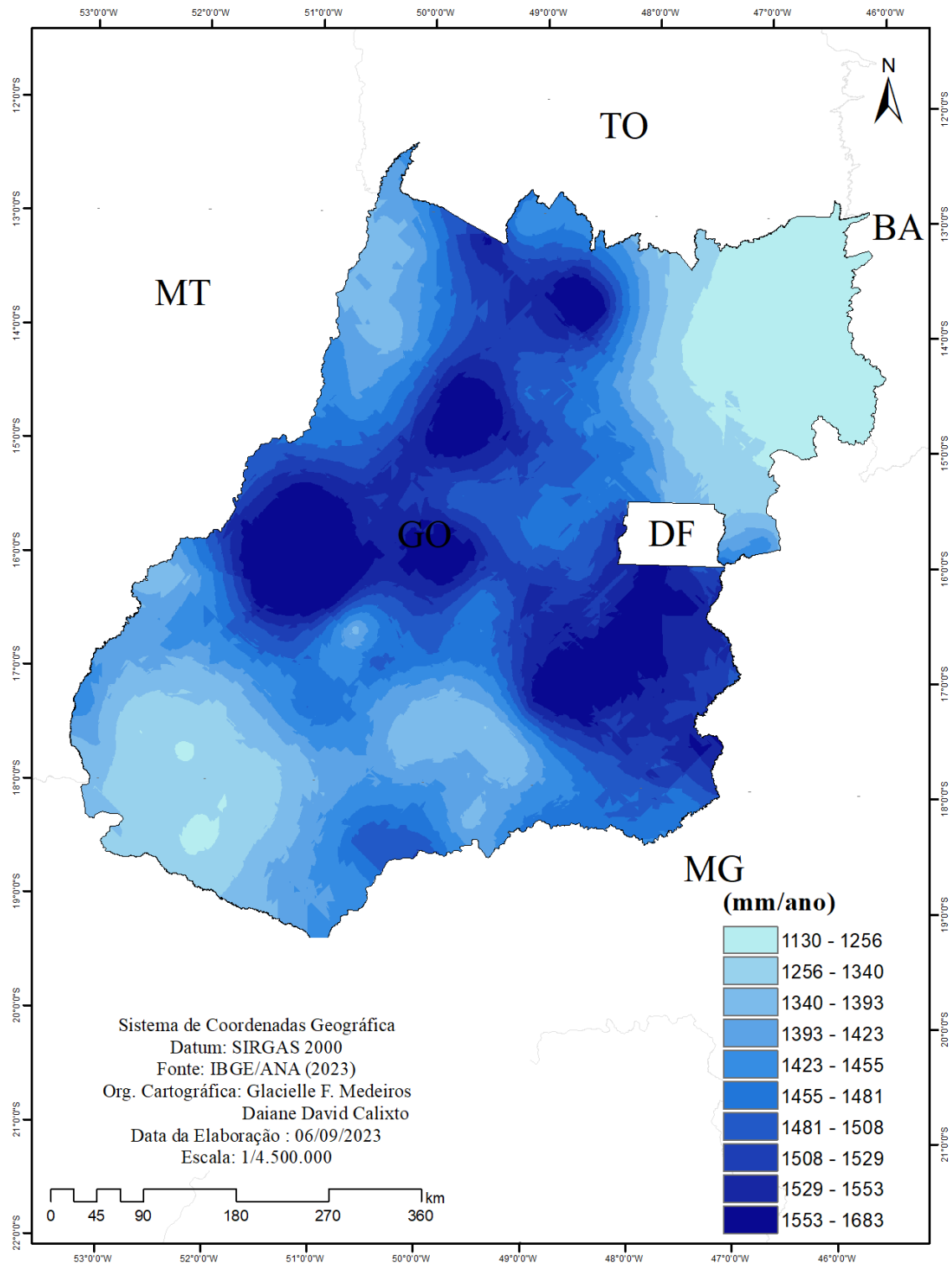
EROSIVIDADE ANO PADRÃO EXCEPCIONAL (2009) - GOIÁS/BR



Fonte: ANNA (2023)
Elaborado por: Autores (2023)

Figura 4: Precipitação ano Padrão Habitual (total 2018) interpolada pelo método de Krigagem

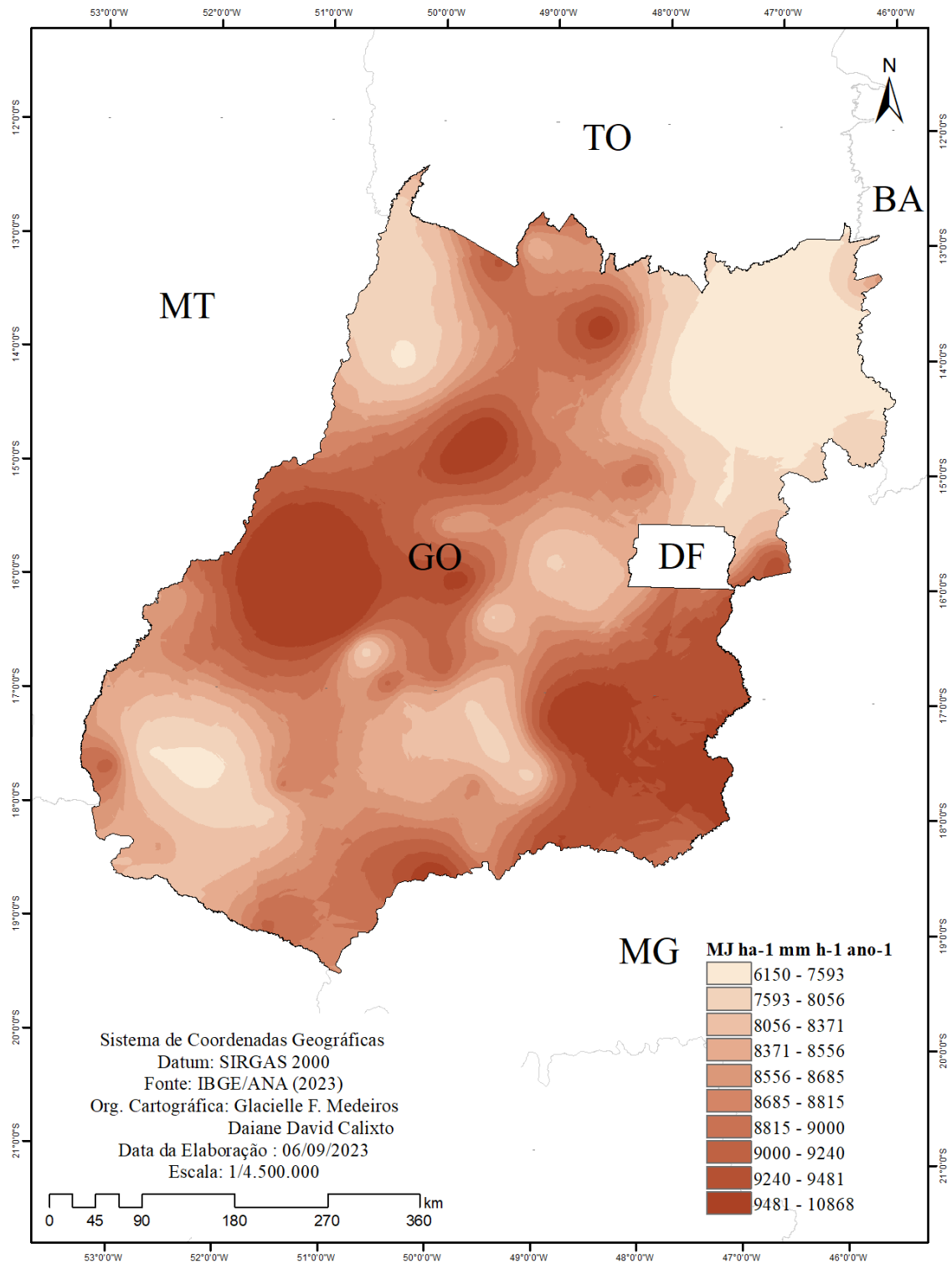
PRECIPITAÇÃO ANO PADRÃO HABITUAL (2018) - GOIÁS/BR



Fonte: ANNA (2023)
Elaborado por: Autores (2023)

Figura 5: Erosividade ano Padrão Habitual (total 2018) interpolada pelo método de Krigagem

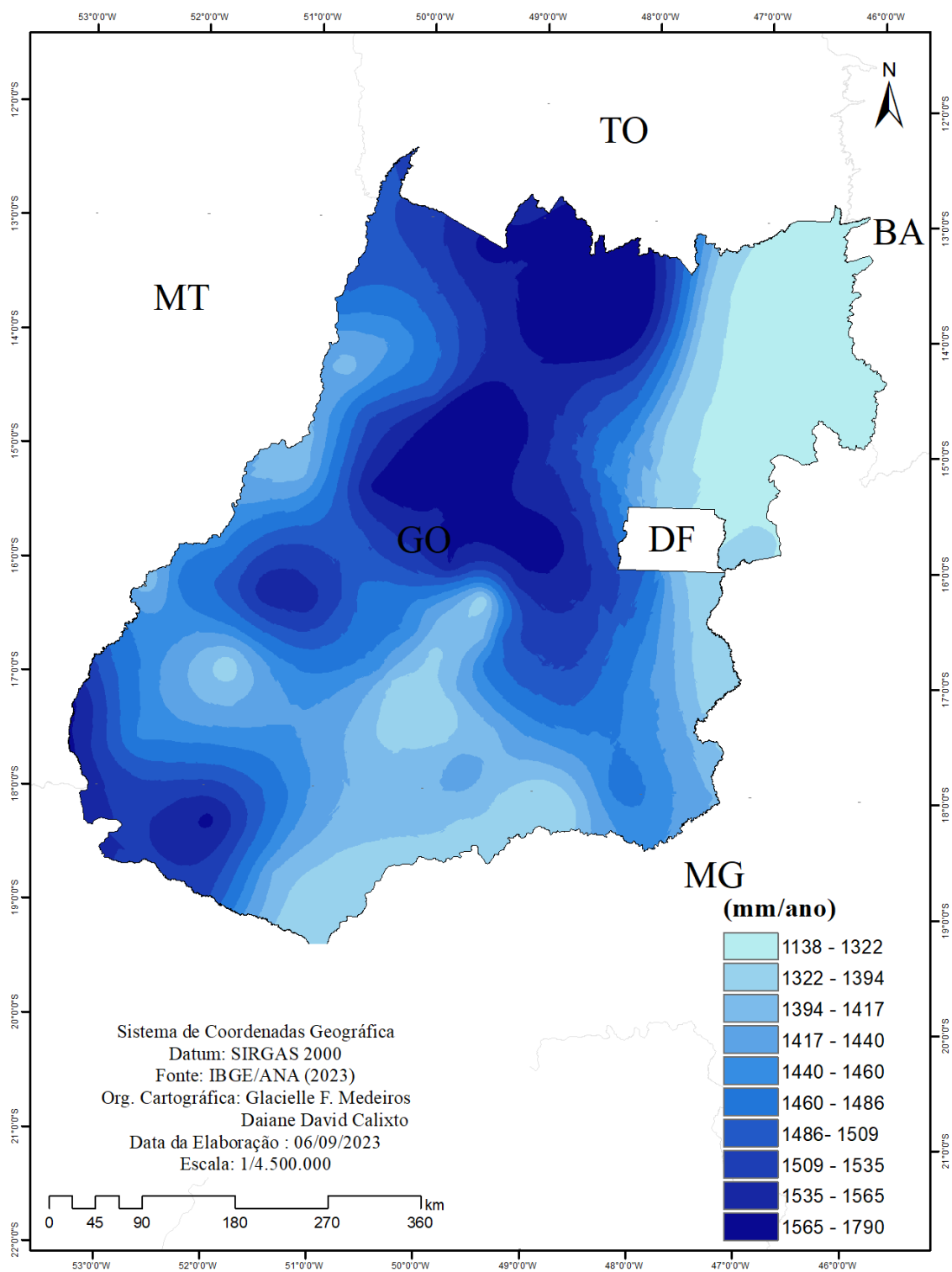
EROSIVIDADE ANO PADRÃO HABITUAL (2018) - GOIÁS/BR



Elaborado por: Autores (2023)

Figura 6: Precipitação série histórica (média 1992 a 2022) interpolada pelo método de Krigagem

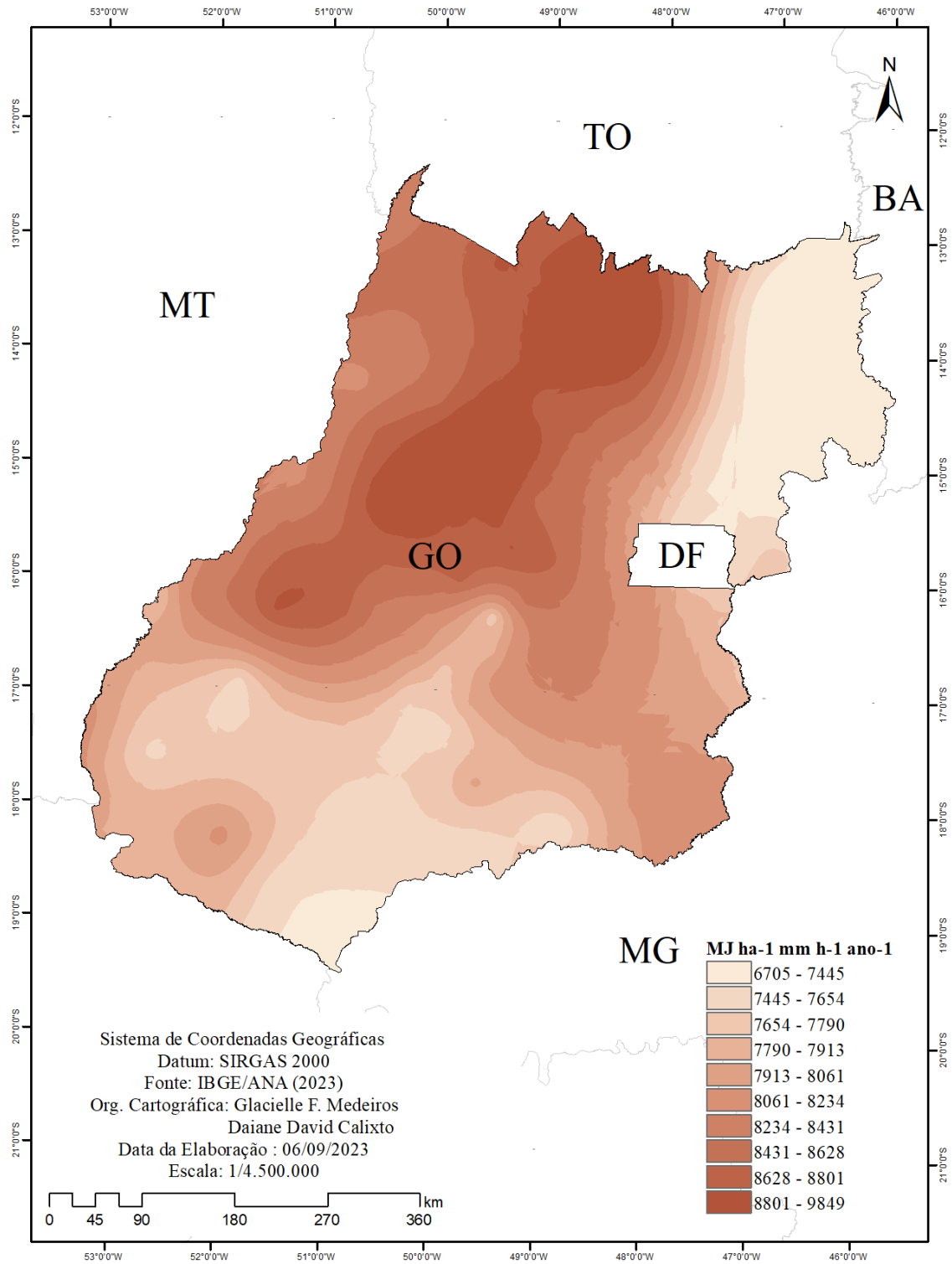
PRECIPITAÇÃO SÉRIE HISTÓRICA (1992 - 2022) - GOIÁS/BR



Fonte: ANNA (2023)
 Elaborado por: Autores (2023)

Figura 7: Erosividade série histórica (média 1992 a 2022) interpolada pelo método de Krigagem

EROSIVIDADE SÉRIE HISTÓRICA (1992 - 2022) - GOIÁS/BR



Elaborado por: Autores (2023)

O Coeficiente de Concordância Aprimorado (dr) tem por finalidade refletir a precisão dos valores preditos em relação aos observados (WILLMOTT *et al.*, 2012). Os conjuntos amostrais PRE_2009, FR_2018 e FR_MSH apresentaram as melhores concordâncias entre os valores observados e preditos.

O Desvio Percentual (PBIS) é usado para avaliar a tendência de subestimação ou sobrestimação dos modelos, no qual valores reduzidos de Pbias ($< \pm 10\%$) são classificados como muito bom por Morasi *et al.* (2007). Todos os conjuntos apresentaram valores menores que 10%, sendo o valor ótimo igual a 0,0.

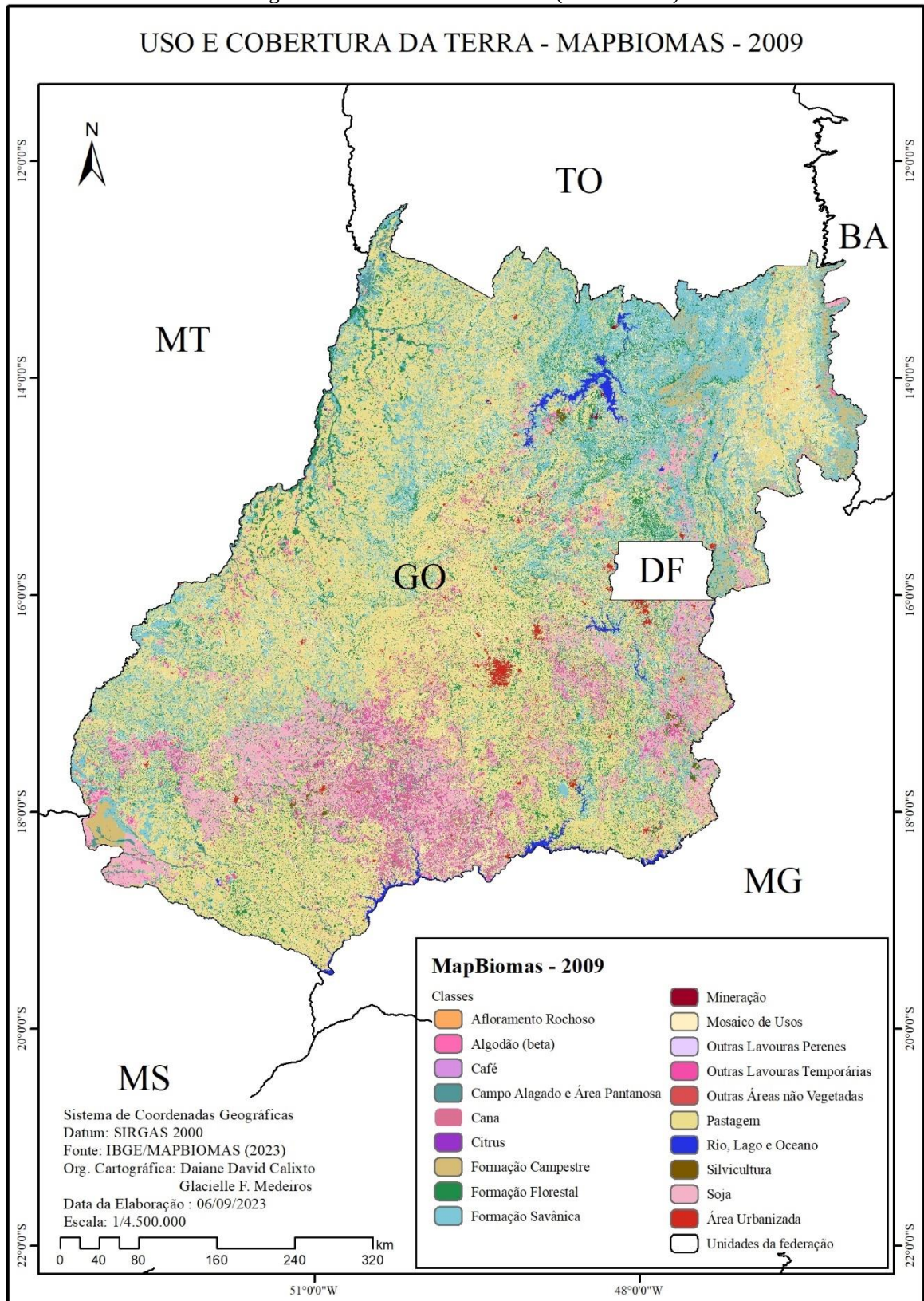
3.3. RELAÇÃO ENTRE EROSIVIDADE DAS CHUVAS E A COBERTURA DO SOLO MAPBIOMAS

A maior cobertura do solo identificada em 2009 (Figura 8) foi de pastagem, com cerca de 153,5 mil km², o que correspondia a 38,8% do total. Outras coberturas significativas em 2009 foi a formação florestal, com cerca de 33,6 mil km² (8,5%), e o Formação Savânica, com cerca de 63 mil km² (15,9%). As lavouras temporárias (como milho, feijão e arroz) ocupavam cerca de 13,7 mil km² (3,5%), enquanto as lavouras perenes (como café e citrus) ocupavam cerca de 0,8 mil km² (0,2%). Outras coberturas incluíam silvicultura (0,6%), campo alagado e área pantanosa (1,2%), formação campestre (2,2%), cana (0,7%) e outras áreas não vegetadas (0,3% do total).

No ano de 2018 (Figura 9) a maior cobertura do solo também era de pastagem, com cerca de 144,5 mil km², o que correspondia a 40,6% do total. Formação Savânica, ocupavam cerca de 59,3 mil km² (16,7%), e a formação florestal, cerca de 33,3 mil km² (9,4%). As lavouras temporárias (como milho, feijão e arroz) ocupavam cerca de 5,2 mil km² (1,5%), enquanto as lavouras perenes (como café e citrus) ocupavam cerca de 3,1 mil km² (0,9%). Outras coberturas incluíam mosaico de uso (10,3%), campo alagado e área pantanosa (1,2%), formação campestre (2,3% do total), cana (2,2%), silvicultura (0,2%) e outras áreas não vegetadas (0,5%).

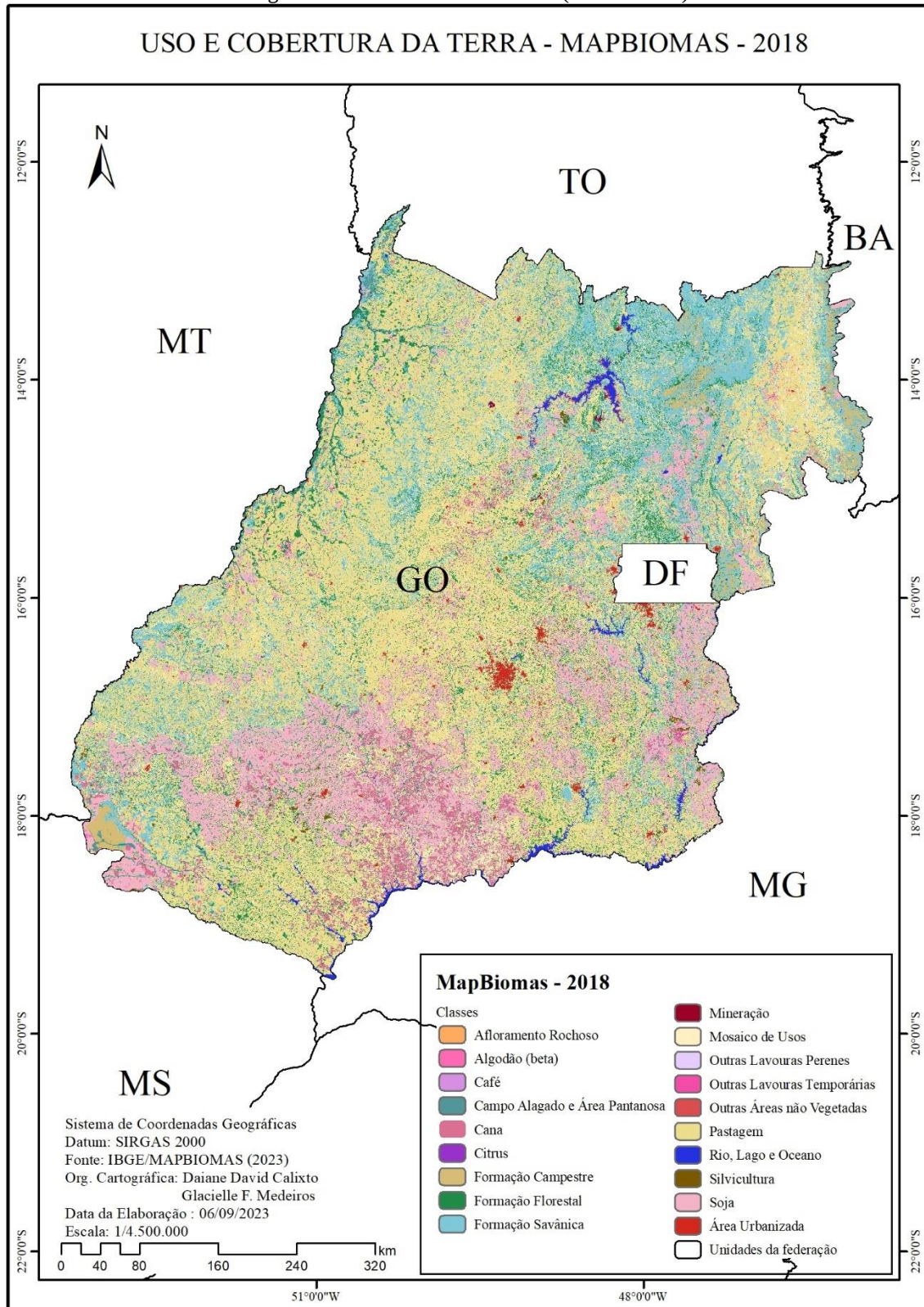
As mudanças de maior importância para este estudo foi o crescimento de áreas agrícolas como a soja, com aumento de 14 mil km² entre os anos de 2009 e 2018. Esta expansão agrícola teve como consequência a redução na formação florestal em cerca de 270 km² entre os anos de 2009 e 2018.

Figura 8: Uso e Cobertura da Terra (Ano de 2009)



Fonte: MAPBIOMAS (2023)
Elaborado por: Autores (2023)

Figura 9: Uso e Cobertura da Terra (Ano de 2018)



Fonte: MAPBIOMAS (2023)
Elaborado por: Autores (2023)

3.3.1. Mapas de Ponderação de Classes

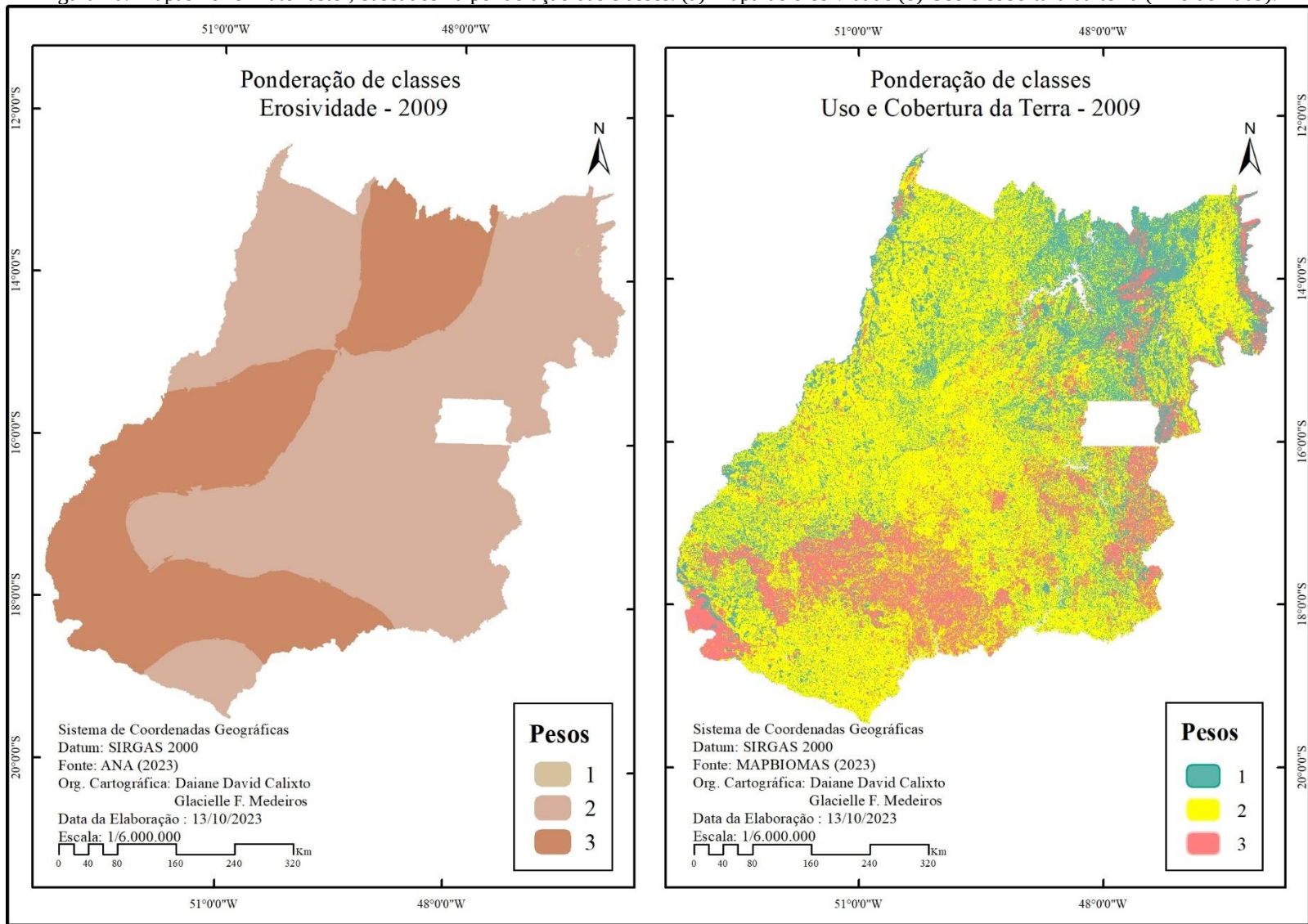
Para a elaboração do mapa da relação entre a erosividade das chuvas e o uso e cobertura no estado de Goiás, realizou-se a reclassificação dos mapas de erosividade e uso e cobertura da terra para o ano excepcional (2009) e ano habitual (2018), atribuindo pesos de 1 a 3. Os critérios da ponderação da erosividade foi reclassificado de média há muito alta, e os do uso e cobertura da terra foi fundamentada na maior ou menor presença de vegetação conforme explicado anteriormente no item 2.5 (Figura 10 e Figura 11).

A reclassificação dos dados disponibilizado pelo MapBiomias, o ano de 2009 podem ser observados na Figura 10, no qual, as classes de cobertura e uso da terra receberam peso '1', totalizando 97180,41 km², que corresponde a cerca de 24,6% da área total. As classes de coberturas mais significativas, categorizadas com peso '2', totalizaram uma área de aproximadamente 207974,92 km² (52,6 % da área total) e as classes que juntas deram origem ao grupo com peso '3', totalizaram uma área de aproximadamente 66898,10 km² (21,8 % da área total).

No ano de 2018 (Figura 11Figura 9) após reclassificação nota-se presença mais expressiva da classe com peso '2', totalizando aproximadamente 191594,03 km² (53,8% da área total), em segundo plano as classes que receberam o peso '1', com 94149,58 km² (26,4% da área total) e por fim as classe que junta receberam peso '3', com 66898,10 km² (18,8% da área total).

As classes que receberam peso '2' são mais representativas dentro da área em estudo, por sua vez, as classes categorizadas com peso '3' apresentam maior suscetibilidade a Erosividade, uma vez que estas áreas ficam sem cobertura vegetal e expostas ao intemperismo ao longo de todo ano ou em parte deste.

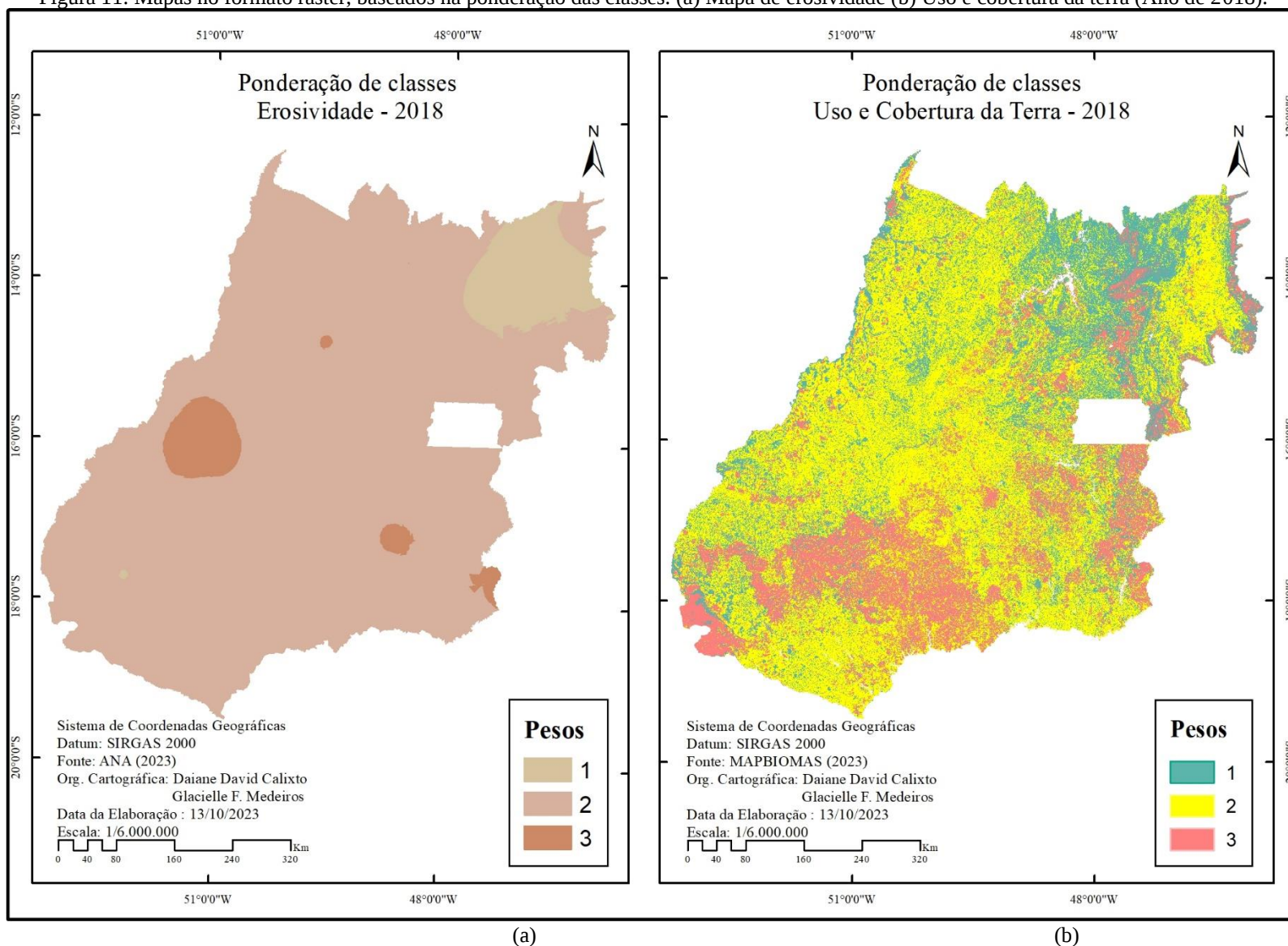
Figura 10: Mapas no formato raster, baseados na ponderação das classes. (a) Mapa de erosividade (b) Uso e cobertura da terra (Ano de 2009).



(a) Fonte: ANNA (2023) / MAPBIOMAS (2023)
Elaborado por: Autores (2023)

(b)

Figura 11: Mapas no formato raster, baseados na ponderação das classes. (a) Mapa de erosividade (b) Uso e cobertura da terra (Ano de 2018).



Fonte: ANNA (2023) / MAPBIOMAS (2023)
Elaborado por: Autores (2023)

3.3.2 Relação entre a erosividade das chuvas e o uso e cobertura da terra no estado de Goiás - Brasil

A álgebra de mapas teve como objetivo integrar os dados referente aos mapas de erosividade da chuva com os mapas de cobertura da terra para o ano padrão habitual (2018) e excepcional (2009), sendo possível elaborar o mapa parcial de potencial a erodibilidade. Contudo observa-se nas Tabela 4 Tabela 5 e nos Gráfico 4 e Gráfico 5 os percentuais das áreas variando de muito baixa a muito alta para os respectivos anos de 2009 e 2018.

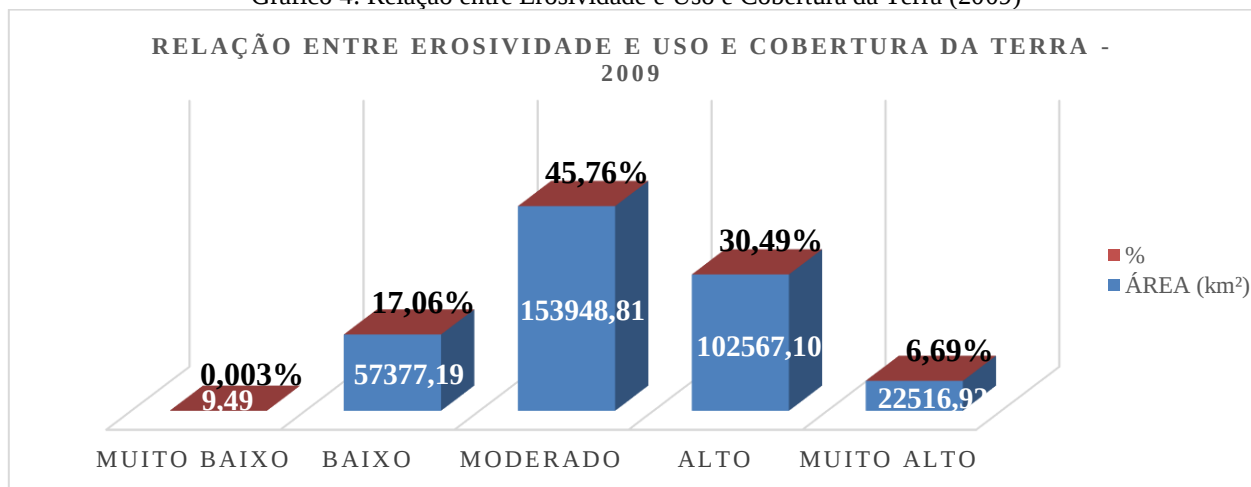
Para o ano excepcional (2009) identificou-se que 0,003% das áreas foram classificadas como ‘Muito Baixo’, 17,055% ‘Baixo’, 45,761% ‘Moderado’, 30,488% ‘Alto’ e 6,693% ‘Muito Alto’, como pode ser visualizado no mapa (Figura 12). Os elevados níveis de precipitação registrados na Figura 2 e a erosão mais intensa associados a cobertura do solo (Figura 10), no estudo inicial da suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos mostraram que o ano de 2009, apresentou maior suscetibilidade a esses eventos.

Tabela 4: Percentual da relação entre a erosividade e o uso e cobertura da terra – 2009.

CLASSES	ÁREA (km ²)	%
Muito baixo	9,49	0,003 %
Baixo	57377,19	17,055 %
Moderado	153948,81	45,761 %
Alto	102567,10	30,488 %
Muito Alto	22516,92	6,693 %

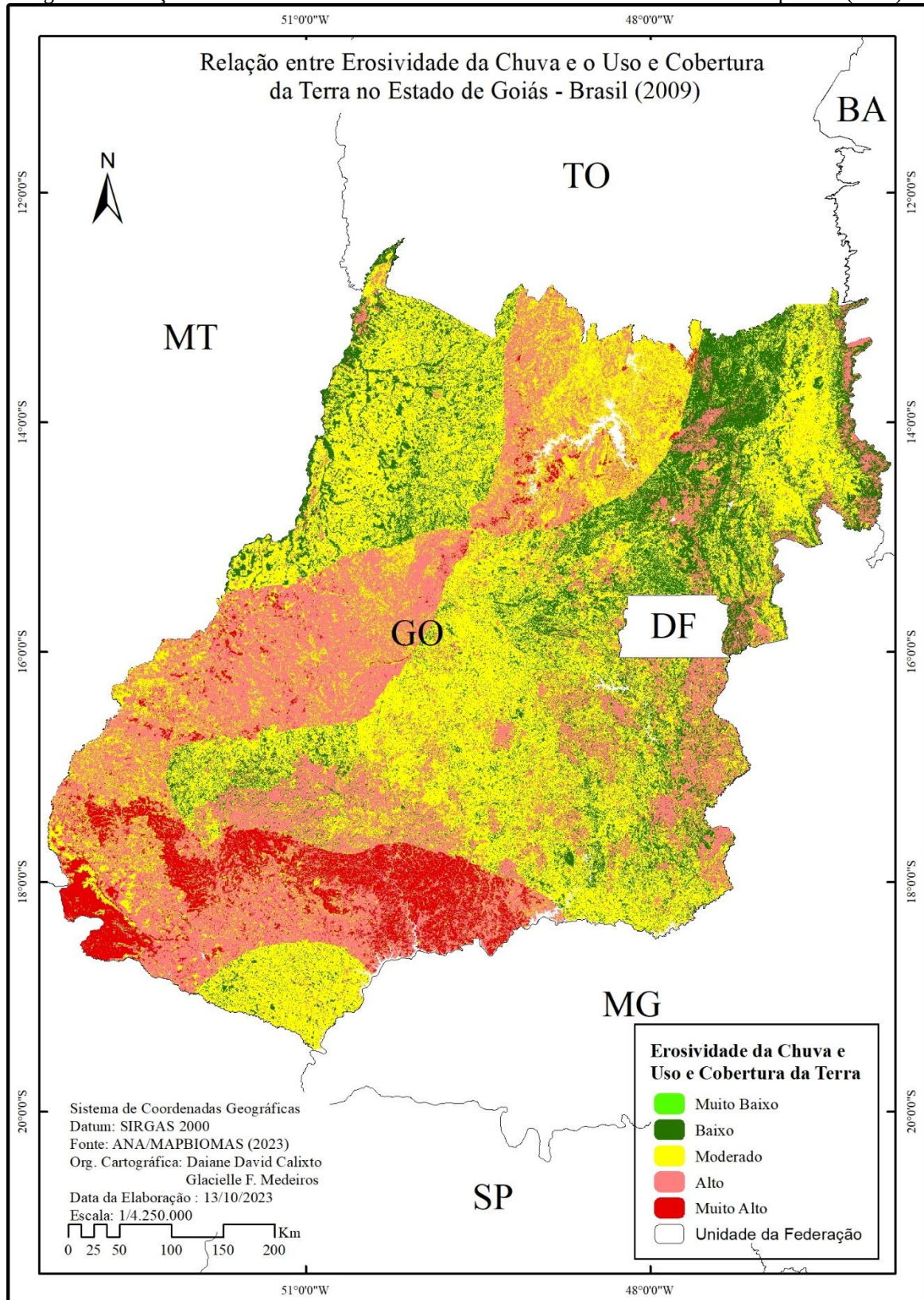
Organizado por: Autores (2023)

Gráfico 4: Relação entre Erosividade e Uso e Cobertura da Terra (2009)



Organizado por: Autores (2023)

Figura 12: Relação entre a erosividade das chuvas e o uso e cobertura da terra - ano excepcional (2009).



Ao correlacionar os dados reclassificados da erosividade e ocupação apresentada na Figura 10 e o produto final do potencial a erodibilidade (Figura 12) para o ano de 2009, observa-se predomínio de alta susceptibilidade a erosividade em áreas de maior fator R e maior exposição do solo as ações intempéricas, em virtude da ausência de cobertura do solo.

Para o ano habitual (2018) observar-se que cerca de 2,958% das áreas foram classificadas como ‘Muito Baixo’, 24,915% ‘Baixo’, 50,106% ‘Moderado’, 21,599% ‘Alto’ e 0,423% ‘Muito Alto’ Tabela 5 e Gráfico 5), como pode ser visualizado no mapa (Figura 13).

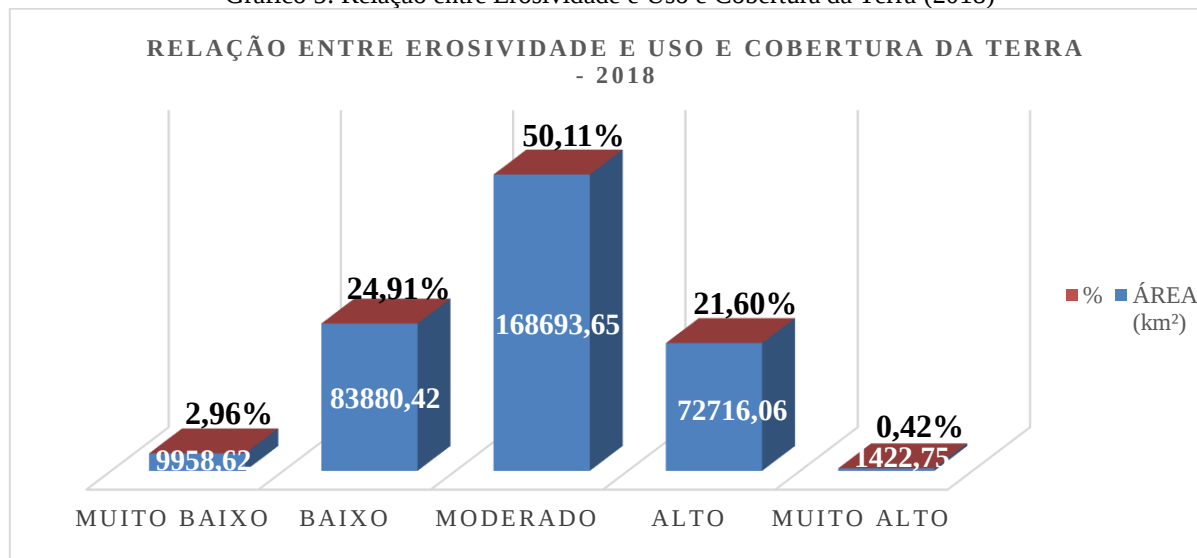
De forma análoga ao ano de 2009, observa-se predomínio de áreas com maior potencial a erosividade associadas a áreas com menor presença de cobertura vegetal (Figura 13).

Tabela 5: Percentual da relação entre a erosividade e o uso e cobertura da terra – 2018.

CLASSES	ÁREA (km ²)	%
Muito baixo	9958,62	2,958 %
Baixo	83880,42	24,915 %
Moderado	168693,65	50,106 %
Alto	72716,06	21,599 %
Muito Alto	1422,75	0,423 %

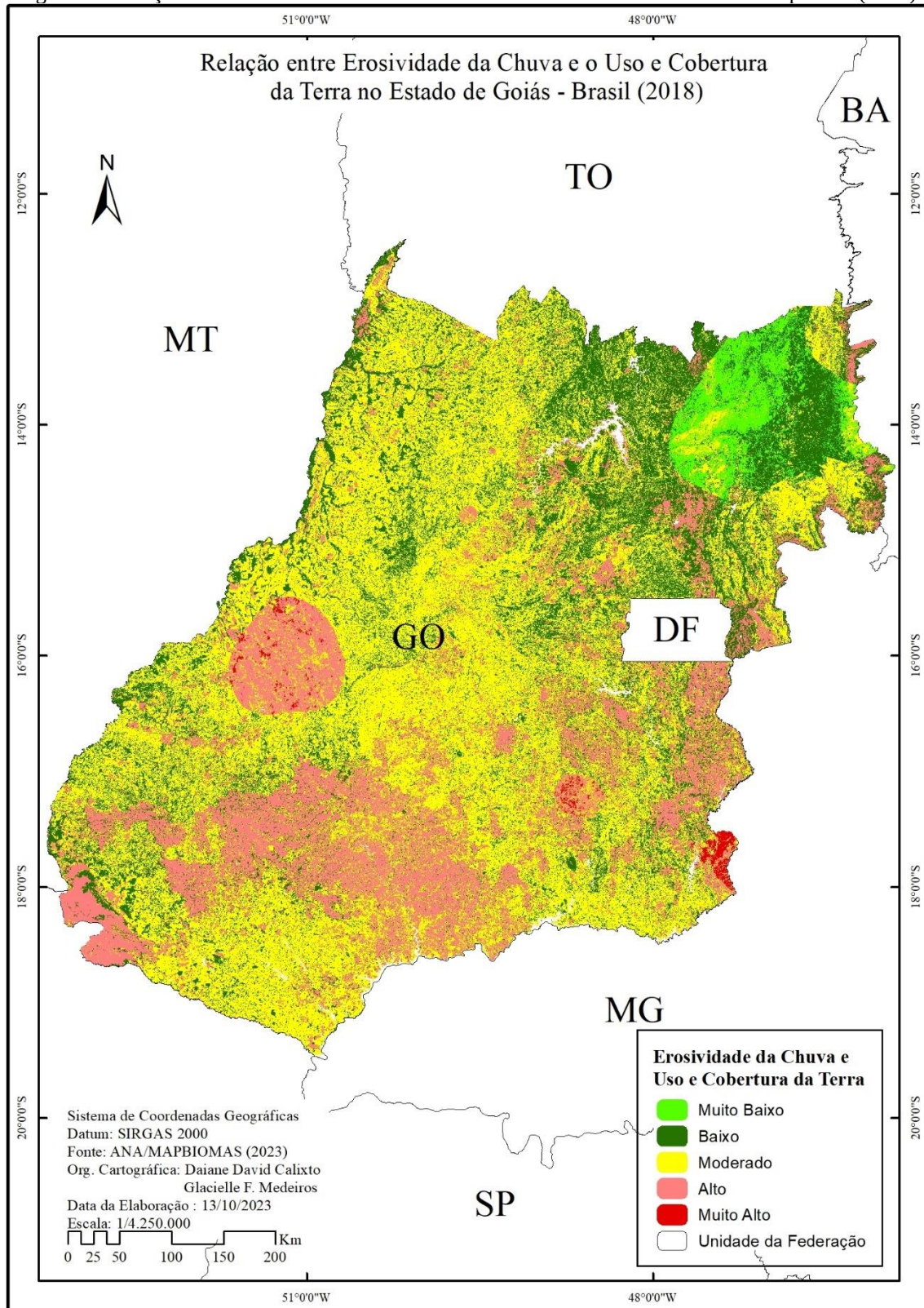
Organizado por: Autores (2023)

Gráfico 5: Relação entre Erosividade e Uso e Cobertura da Terra (2018)



Organizado por: Autores (2023)

Figura 13: Relação entre a erosividade das chuvas e o uso e cobertura da terra - ano excepcional (2018).



Fonte: ANNA (2023)
Elaborado por: Autores (2023)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pode ser observado, ao se levar em consideração apenas a ocorrência pluviométrica no estado de Goiás, tem-se erosividade variando entre média a muito alta, por sua vez ao correlacionar o uso e cobertura do solo é possível reduzir as áreas de maior potencial a ocorrência a erosividade em função da ausência ou presença de cobertura vegetal. Deste modo, sugere-se como estudos futuros a relação entre todos os fatores apresentados pela USLE, de forma a identificar pontualmente as áreas de maior potencial a erosividade.

Como era esperado, o ano de 2009 apresentou maiores índices de erosividade em comparação com o ano de 2018, devido aos maiores índices pluviométricos. Por sua vez, é necessário dar a devida atenção ao ano de 2018, que, apesar de ter registrado índices pluviométricos e erosividade menores, revelou, quando correlacionado com a cobertura e uso da terra, áreas consideráveis classificadas como moderadamente e altamente suscetíveis à erosividade, devido ao contínuo avanço da fronteira agrícola.

5 REFERÊNCIAS

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. Método dos Quantis. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/sobre-meteorologia/113-sobre-meteorologia/503-metodo-dos-quantis>. Acesso em: 02 dez 2023.

ARCAYA, S.G.C. Avaliação dos Fatores Condicionantes dos Processos Erosivos no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007. 189p.

BARBOSA, C. C. F. Álgebra de Mapas e Suas Aplicações em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. São José dos Campos, 1999.

BERRY, J.K. Catographic Modeling: The Analytical Capabilities of GIS. In: GOODCHILD, M.; PARKS, B.O.; STEYAERT, L.T. Environmental Modeling with GIS. Oxford: Oxford University Press, 1993. pp. 58-74.

BERTONI, J.; LOMBARDI, F. N. Conservação do Solo. 4ª ed. São Paulo, SP: Ícone, 1999. 335p.
BRUBACHER, João Paulo; OLIVEIRA, Guilherme Garcia; GUASSELLI, Laurindo Antonio. Imagens Fotográficas Derivadas de MNT do Projeto SRTM para Fotointerpretação na Geologia, Geomorfologia e Pedologia. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, n. 4, p. 615-629, 2020.

CARVALHO, Newton de Oliveira. Hidrossedimentologia Prática. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 602 p.

CREPANI, E.; MEDEIROS J.S. Imagens Fotográficas Derivadas de MNT do Projeto SRTM para Fotointerpretação na Geologia, Geomorfologia e Pedologia. São José dos Campos: INPE, 2004. 40 p.

ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10.5. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Uso e Cobertura da Terra. 3ª edição. Rio de Janeiro, 2013.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Introdução à Geoprocessamento com Software Livre - INPE. Disponível em: https://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html. Acesso em: 23/08/2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. SPRING: Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas. Disponível em: https://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html. Acesso em: 02 jun 2023.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, J.C.H. (1978) - Mining geostatistics. Academic Press, 600p.

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

MARQUES, João J.G.S.M.; ALVARENGA, Ramon C.; CURI, Nilton. Erosividade das chuvas da região de Sete Lagoas, MG. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, p. 761-768, 1998.

MATHERON, Georges. Lá théorie des variables regionalisés, et ses applications. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau. École Nationale Supérieure des Minas de Paris, Fascicule 5, 1970. 212p.

MORIASI, D.N., ARNOLD, J.G., VAN LIEW, M.W., BINGNER, R.L., HARMEL, R.D., VEITH, T.L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers*. v.50, n.3, p.885-900, 2007

Nash, J. E.; Sutcliffe, J.V. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, v.10, n.3, p.282–290, 1970

PERIN, E. B.; VIANNA, L. F. N.; RICCE, W. S.; PANDOLFO, C. Interpolação das variáveis climáticas temperatura do ar e precipitação: revisão dos métodos mais eficientes. GEOGRAFIA, Rio Claro, v. 40, n. 2, p. 269-289, 2015.

PINKAYAN, S. Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area. Colorado: State University, Boulder-Co, 1966. (Hidrology papers, n. 12).

Projeto MapBiomass –Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil, acessado em [06/06/2023] através do link: [<https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>].

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Versão 3.28. Disponível em: <https://qgis.org/>. Acesso em: 10 out. 2022.

RStudio: Integrated Development Environment for R. Versão 1.0.136. RStudio, PBC. Boston, Massachusetts, EUA. Disponível em: <https://www.rstudio.com/>. Acesso em: 2 de dezembro de 2021.

SAITO, N. S. et al. Uso da Geotecnologia na estimativa da erosividade das chuvas e sua relação com o uso e ocupação do solo para o Espírito Santo. Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável, Mossoró, v. 4, n. 2, p. 51-63, 2009.

SANTOS, Luiza Fernandes Martins. SIG e Álgebra de Mapas na Elaboração de um Mapa de Potencial de Erosão em Áreas de Silvicultura. Guaratinguetá, 2011.

SOUZA, J. L. L. L.; GOMES, T. S.; DIAS, R. S.; OLIVEIRA, G. M. A.; SANTOS, R. L. Avaliação de Métodos de Interpolação Aplicados à Espacialização das Chuvas no Território Identidade Portal do Sertão / Bahia. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 2011, INPE, p. 4295.

TOMLIN, D. Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. Prentice Hall, New York, 1990.

VILLAZÓN, M. F. and WILLEMS, P. Evaluation of Hourly Disaccumulation of Precipitation Data for Rainfall-Runoff Modelling. In: Proceedings of the 10th International Symposium on Stochastic Hydraulics and 5th International Conference on Water Resources and Environment Research. CD-ROM, pp. 1-8. Publisher: WATER 2010. 5-7 July. Quebec, Canada.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Washington, United States Department of Agriculture, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, 537).

XAVIER, T. de M. B. S; XAVIER, A. F. S; ALVES, J. M. B. Quantis e Eventos Extremos: Aplicações em Ciências da Terra e Ambientais. Fortaleza: RDS, 2007. 278 p.

XAVIER, T.de Ma.B.S. & XAVIER, A.F.S. (1984-b), **Classificação de Anos Secos e Chuvosos na Região Nordeste do Brasil e sua Distribuição Espacial**, Anais do III-CBMET-Congresso Bras. de Meteorologia, Belo Horizonte, Dez. 1984, Vol. 3, pp. 257-275.

ZEILHOFER, P.; LIMA, E. B. R.; SANTOS, F. M.; RIGO JÚNIOR, L. O. Um Ambiente SIG para Modelagem Integrada da Qualidade da Água Utilizando Qual2e. Caminhos de Geografia, v. 8, n. 10, p. 107-125, 2003.