

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
BACHARELADO EM GEOGRAFIA

FLÁVIA MONIZE FERREIRA DOS SANTOS

A INFLUÊNCIA DE GEADAS NAS FITOFISIONOMIAS DE CERRADO NO
TRIÂNGULO MINEIRO E ALTO PARANAÍBA, BRASIL

UBERLÂNDIA
2023

FLÁVIA MONIZE FERREIRA DOS SANTOS

A INFLUÊNCIA DE GEADAS NAS FITOFISIONOMIAS DE CERRADO NO
TRIÂNGULO MINEIRO E ALTO PARANAÍBA, BRASIL

Monografia apresentada ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito para a obtenção do título de bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Resende Corrêa.

UBERLÂNDIA
2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Cleide e Martins e ao meu irmão Diego pelo carinho, apoio e por me proporcionarem condições para poder me dedicar aos estudos.

Agradeço a todos os docentes, em especial ao professor Guilherme por toda a orientação e oportunidades ao longo da graduação.

Agradeço também a todos os colegas de curso, em especial aos meus amigos para a vida Vinicius, Igor e Maria Clara.

A todos do Laboratório de Pedologia e Estudos da Paisagem que contribuíram demais para todo o trabalho e todos os aprendizados ao longo dos anos. Ana Paula, Gabriel, Prímula, Rafael e Diogo muito obrigada.

Sou grata também a todos com quem dividi um lar e construí uma grande família. Obrigada Fernanda, Rogerio, Igor, Matheus e Milena.

Agradeço a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES pela bolsa concedida

E por fim a todos os trabalhadores e alunos da Universidade por manterem este bem público com toda dedicação e carinho e proporcionarem ótimas experiências por todos esses anos.

RESUMO

O Cerrado abrange cerca de um quinto do território brasileiro e apresenta uma diversidade nas formações vegetacionais, como as formações florestais, savânicas e campestres. A distribuição das formações e suas fitofisionomias é influenciada por diversos fatores, incluindo o clima e características do solo, além de eventos como fogo e herbivoria. Outro fator importante é a ocorrência de baixas temperaturas e geadas, cujos efeitos a longo prazo são pouco conhecidos. A geada pode afetar especialmente as espécies arbóreas do Cerrado, impactando sua distribuição geográfica e favorecendo as vegetações abertas. Este estudo teve como objetivo analisar a relação entre as áreas com maior ocorrência de geada e a distribuição das fitofisionomias de Cerrado na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, em Minas Gerais. Foram utilizadas seis variáveis bioclimáticas e criado um índice de frequência de geada com base nos dias em que a temperatura atingiu valores inferiores a 3°C. O teste de Kruskal-Wallis e o teste posterior de Dunn foram aplicados para verificar as diferenças significativas entre os grupos de fitofisionomias em relação às variáveis climáticas e frequência de geadas. Os resultados indicaram que as temperaturas mais baixas estão mais associadas às áreas de savana gramíneo-lenhosa, que representam as fitofisionomias de Campo Limpo. Embora a geada seja um fenômeno pouco frequente nas regiões de Cerrado, verifica-se uma influência significativa na composição e distribuição das fitofisionomias, favorecendo a presença de vegetação menos lenhosa. No entanto, para as fitofisionomias de Campo Sujo, Campo de Murundus e Campo Rupestre, os resultados não indicaram uma forte associação com as temperaturas mais baixas, sugerindo que outras variáveis desempenham um papel mais expressivo na ocorrência dessas fitofisionomias.

Palavras-chave: Geadas; Cerrado; Fitofisionomias; Triangulo Mineiro e Alto Paranaíba

ABSTRACT

The Cerrado covers about a fifth of Brazilian territory and presents a diversity of vegetation formations, such as forest, savannah and grassland formations. The distribution of formations and their phytophysiognomies is influenced by several factors, including climate and soil characteristics, in addition to events such as fire and herbivory. Another important factor is the occurrence of low temperatures and frost, whose long-term effects are little known. Frost can especially affect tree species in the Cerrado, impacting their geographic distribution and favoring open vegetation. This study aimed to analyze the relationship between the areas with the highest occurrence of frost and the distribution of Cerrado phytophysiognomies in the region of Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba, in Minas Gerais. Six bioclimatic variables were used and a frost frequency index was created based on the days when the recorded temperature is below 3°C. The Kruskal-Wallis test and Dunn's posterior test were applied to verify the differences between groups of phytophysiognomies in relation to climatic variables and frequency of frosts. The results indicated that lower temperatures are more associated with areas of grassy-woody cerrado, which represent the Campo Limpo phytophysiognomies. Although frost is an infrequent phenomenon in the Cerrado regions, there is a significant influence on the composition and distribution of phytophysiognomies, favoring the presence of less woody vegetation. However, for the Campo Sujo, Campo de Murundus and Campo Rupestre phytophysiognomies, the results did not indicate a strong association with lower temperatures, suggesting that other variables play a more significant role in the occurrence of these phytophysiognomies.

Keywords: Frosts; Cerrado; Phytophysiognomies; Triângulo Mineiro and Alto Paranaíba

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Localização da Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.	13
Mapa 2. Biomas da Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.....	14
Mapa 3. Altitude da Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.....	15
Mapa 4. Solos da Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.....	16
Mapa 5. Mapa das fitofisionomias de Cerrado do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapas das variáveis climáticas.	20
Figura 2. Mapas da varáveis.	22
Figura 3. Gráfico de porcentagem das fitofisionomias de Cerrado no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.....	25
Figura 4. Gráficos de Boxplot temperatura média anual.....	26
Figura 5. Gráficos de Boxplot temperatura mínima mês mais frio.	27
Figura 6. Gráficos de Boxplot temperatura média do trimestre mais frio.....	27
Figura 7. Gráficos de Boxplot amplitude térmica diária.	28
Figura 8. Gráficos de Boxplot isothermalidade Fonte: da autora (2023).....	29
Figura 9. Gráficos de Boxplot amplitude térmica anual.....	29
Figura 10. Gráficos de Boxplot frequência de geada.	30
Figura 11. Análise de Componentes Principais (PCA) grupos das fitofisionomias.....	31
Figura 12. Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis climáticas.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados do teste de Kruskal-Wallis.....	25
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Listagem da simbologia das variáveis.....	17
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CDO	Climate Data Operators
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
TMAP	Triangulo Mineiro e Alto Paranaíba

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
2.1	AREA DE ESTUDO	12
	2.1.1 <i>Localização e ocupação</i>	12
	2.1.2 <i>Aspectos físicos</i>	13
2.2	COLETA DE DADOS.....	16
2.3	PROCESSAMENTO DOS DADOS	18
3	RESULTADOS.....	19
3.1	GEOPROCESSAMENTO	19
3.2	TESTES ESTATÍSTICOS	25
3.3	ANALISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	30
4	DISCUSSÃO	32
5	CONCLUSÃO	33
6	REFERÊNCIAS	34
7	ANEXOS	36

1 INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado ocupa o Planalto Central brasileiro e seus arredores, e cobre um quinto do país, por meio de formações florestais, savânicas e campestres (EITEN, 1972; GIBBS *et al.*, 1983; RIBEIRO e WALTER, 1998). O bioma apresenta duas estações bem definidas, com uma estação seca, de maio a outubro, e outra chuvosa, de novembro a abril. Esta estacionalidade do clima favorece os processos para a formação e distribuição das fitofisionomias do Cerrado juntamente com outras características, como: disponibilidade hídrica; disponibilidade de nutrientes e características do solo; fogo; e herbivoria (RIBEIRO e WALTER, 1998; SCARIOT, 2005).

Outro fator relacionado à distribuição de espécies, e conseqüentemente a distribuição das fitofisionomias, é a ocorrência de baixas temperaturas e geadas (BRANDO e DURIGAN, 2004). O fogo e a geada são distúrbios naturais que afetam a vegetação de Cerrado, entretanto, o fogo e seus efeitos sobre a vegetação de Cerrado são mais conhecidos que os efeitos da geada sobre o mesmo bioma. Uma das razões para tal é a menor frequência e restrição geográfica das geadas, juntamente com a imprevisibilidade dos eventos e a impossibilidade de sua aplicação em experimentos de campo (BRANDO; DURIGAN, 2004; CAVALCANTI; LUIZ JR; DANTAS, 2009). Embora sejam pouco ocorrentes no Cerrado brasileiro, há na porção entre São Paulo e Sul de Minas Gerais maior frequência de geadas, o que resulta na diferença da composição florística (EITEN, 1972). A geada pode afetar principalmente as espécies lenhosas do cerrado, influenciando sua distribuição geográfica, e conseqüentemente favorecer as fisionomias abertas (SILBERBAUER-GOTTSBERGER, *et al.*, 1977).

As geadas são caracterizadas como geadas brancas ou geadas negras. As geadas brancas ocorrem com o congelamento do orvalho ou pela ressublimação do vapor d'água, produzindo cristais de gelo sobre os corpos vegetais; já a geada negra ocorre quando o ponto de orvalho é mais baixo que a temperatura negativa, causando o congelamento e o escurecimento da vegetação (MELO-ABREU e RIBEIRO, 2010). As geadas também podem ser produzidas por dois tipos de processos: o advectivo e o radiativo. No processo advectivo as massas de ar frio são deslocadas de áreas de maior latitude provocando uma queda significativa da temperatura resultante geralmente de deslocamento de frentes frias e anticiclones migratórios; no processo radiativo há uma perda noturna de calor do solo em uma situação meteorológica de pouca nebulosidade e ventos calmos, provocando temperaturas negativas próximas ao solo (SELUCHI, 2009).

Os efeitos da geada sobre a vegetação de Cerrado foram alvos de estudo em trabalhos como Silberbauer-Gottsberger et. al. (1997) em Botucatu, Brando e Durigan (2004) em Assis, e Cavalcante et. al. (2009) em Itirapina, todos municípios do estado de São Paulo. Tais estudos avaliaram a influência das geadas na composição das espécies da vegetação de Cerrado e concluíram que houve impacto significativo sobre as espécies lenhosas.

Nesse contexto, o trabalho teve como objetivo identificar se há relação entre as áreas de maior ocorrência de geada com a distribuição de fitofisionomias de Cerrado na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, em Minas Gerais. Além de discutir a hipótese de que as fitofisionomias mais abertas estariam relacionadas a áreas de maior ocorrência de geada na região.

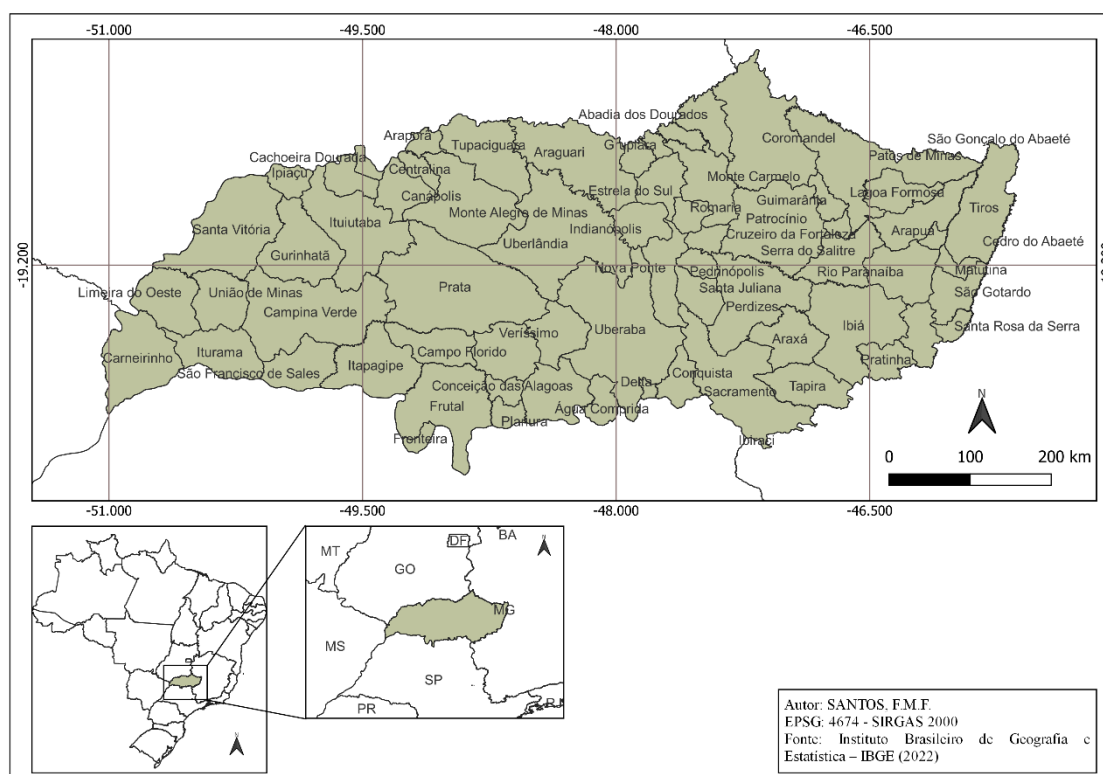
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Area de estudo

2.1.1 Localização e ocupação

O Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba- TMAP é uma das 12 mesorregiões do estado de Minas Gerais e conta com 66 municípios (Mapa 1). A ocupação mais expressiva do Cerrado na região se deu pela agricultura, que passou a ser mais intensa a partir da década de 1970, inicialmente pela silvicultura e posteriormente com a agricultura intensiva de grãos como soja, milho, café e feijão (SILVA, 2001). O Estado passou a fornecer subsídios para a ocupação do Cerrado, mais intensivamente na década de 1970 com a criação de programas como o Programa de Crédito Integrado e Incorporação dos Cerrados (PCI); o Programa de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba (PADAP); o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO) e o Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER). Com o incentivo do Estado junto com as condições do relevo e as tecnologias da agricultura moderna o bioma Cerrado e conseqüentemente a região do TMAP, passaram a ser rapidamente ocupados pela agricultura intensiva resultando na retirada da cobertura da vegetação natural (BITTENCOURT; LIMA, 2014; SILVA, 2001).

Mapa 1. Localização da Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.



Fonte: IBGE (2022).

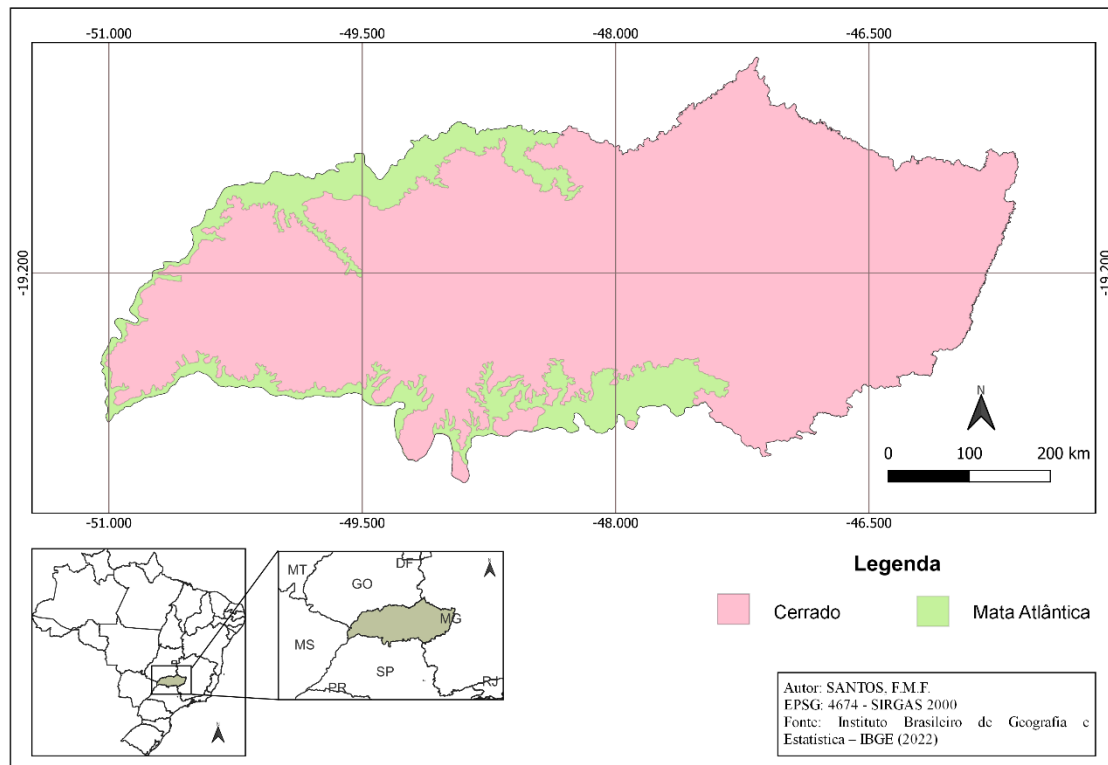
Elaboração da autora (2023).

2.1.2 Aspectos físicos

Segundo a aplicação de Sá Júnior (2009) da classificação de Köppen para o estado de Minas Gerais, mais de 77 % da região do TMAP é classificada em AW – Clima tropical de savana com estação seca de inverno, e aproximadamente 14% em Cwa – Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, e pouco mais de 8% em Cwb – Clima temperado úmido com inverno seco e verão moderadamente quente.

A região do TMAP está inserida predominantemente no bioma Cerrado, mas com ocorrência de Floresta Estacional Decidual e Semidecídua, típicas do bioma Mata Atlântica (IBGE, 2019). Essas florestas estão originalmente localizadas nas calhas das redes de drenagem de maior porte, como a do Rio Paranaíba e do Rio Grande (IBGE, 2019, Mapa 2).

Mapa 2. Biomas da Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.



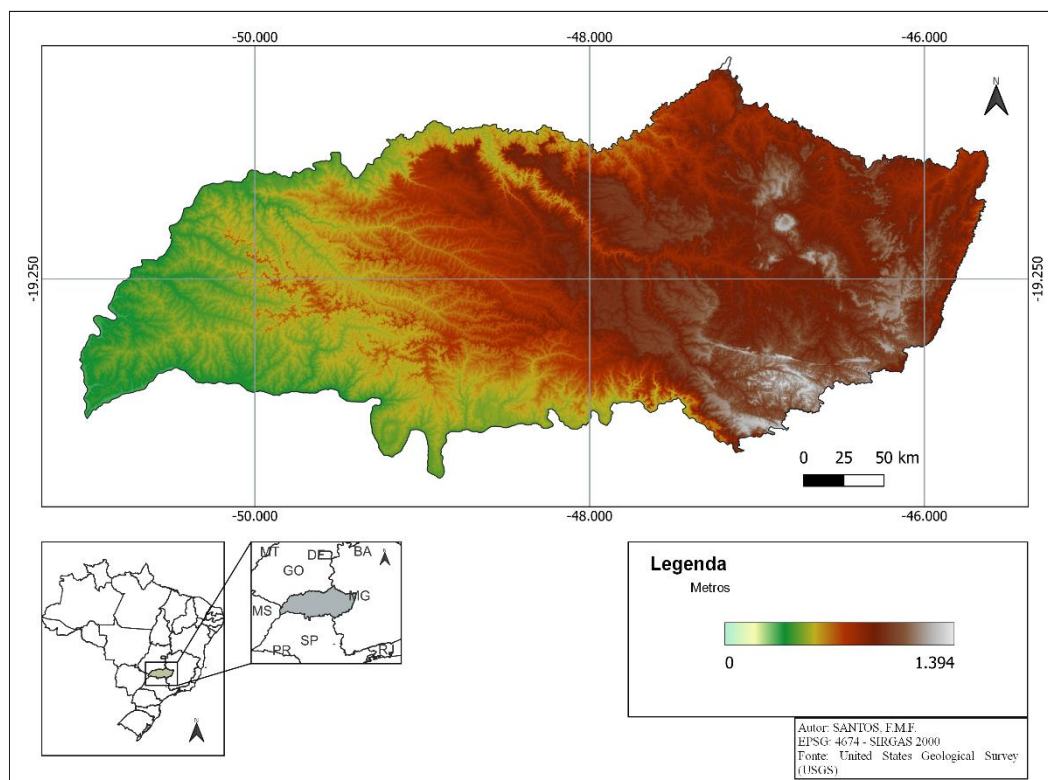
Fonte: IBGE (2022).

Elaboração da autora (2023).

Em relação à geologia, a maior parte do Triângulo Mineiro é coberta por arenitos da Bacia Sedimentar do Paraná, intercalados por rochas magmáticas da Formação Serra Geral nos fundos dos vales. Os arenitos são representados pelo Grupo Bauru, com as Formações Adamantina, Uberaba e Marília, pelo Grupo São Bento; e Formações Serra Geral e Botucatu; e pelo Grupo Caiuá. Os topos dos chapadões são cobertos por coberturas detritico-lateríticas. No centro do Alto Paranaíba, desenvolve-se o Planalto Cristalino ou Faixa de Dobramento Brasília, caracterizado pelas rochas dos Grupos Araxá e Canastra, nas falhas dos dobramentos. Nessa região também são encontrados complexos plutônico-alcálicos, como os domos de Serra Negra, Araxá e Tapira (NOVAIS, 2011).

O Triângulo Mineiro é classificado no conjunto do Domínio dos Chapadões Tropicais do Brasil Central por AB'SABER, (1971). Estes chapadões têm em torno de 900 a 1000 metros de altitude e são entalhados por vales embutidos nas bordas das chapadas (BACCARO, 1991). O relevo do TMAP é predominado por superfícies planas e aplainadas de altitude crescente de oeste a leste (Mapa 3).

Mapa 3. Altitude da Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

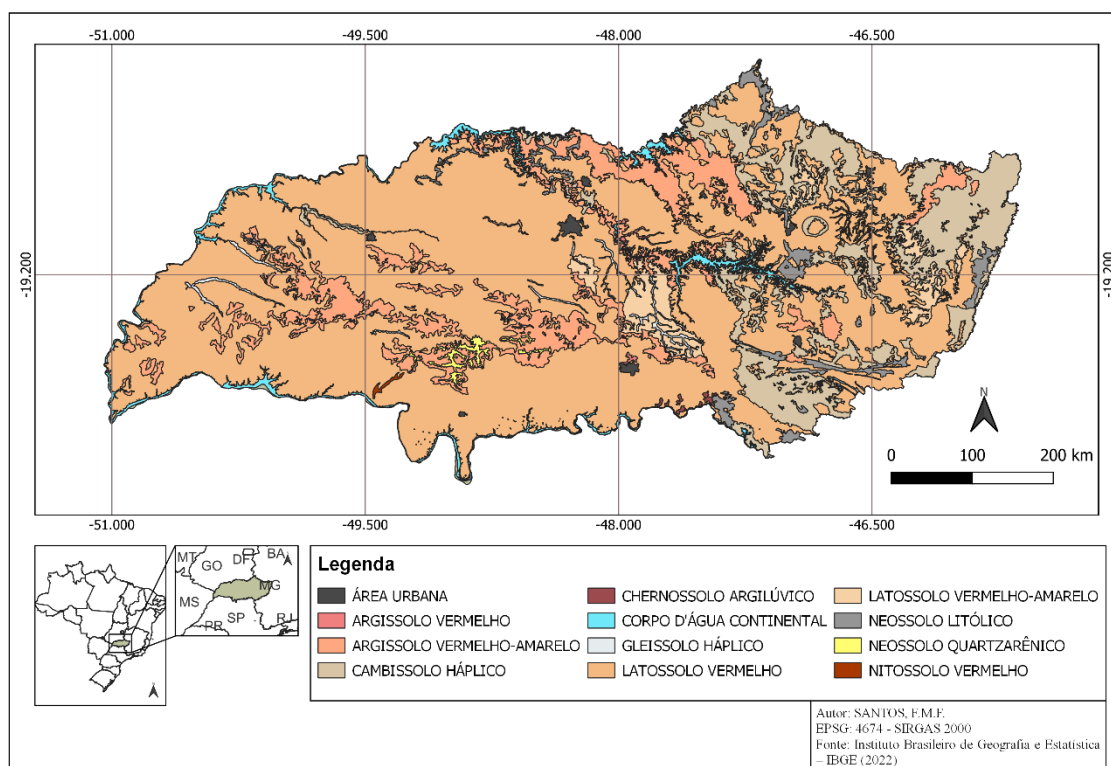


Fonte: United States Geological Survey (USGS) (2023).

Elaboração da autora (2023).

Os solos predominantes da região são os Latossolos que são solos profundos com elevado grau de intemperismo, destituídos de minerais primários na fração argila e acúmulo de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, forte a moderadamente drenados e cores que variam de vermelha a amarela (MACEDO, 1996). Outro solo comum na porção leste da região são os Cambissolos, solos mais jovens que os Latossolos e no Cerrado tendem a apresentar alto teor de Al trocável, podem apresentar também alto teor de ferro e por vezes caráter plântico e petroplântico (RESENDE et. al., 2014). Outros solos relevantes para a região são os Argissolos, que se caracterizam principalmente pelo horizonte B textural e argila de atividade baixa e podem apresentar cores vermelhas, amarelas, vermelhas-amarelas e bruno-acinzentadas (RESENDE et. al., 2014; SANTOS et. al., 2018). A distribuição dos solos está representada no mapa a seguir.

Mapa 4. Solos da Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.



Fonte: IBGE (2022).

Elaboração da autora (2023).

2.2 Coleta de dados

Os dados de vegetação foram obtidos pelo banco de dados de informações ambientais do IBGE (2020) em escala 1:250.000 a nível de subformação da vegetação natural, segundo o sistema de classificação da vegetação brasileira IBGE (2012). Para analisar as fitofisionomias de Cerrado, segundo Ribeiro e Walter (1998), foram selecionadas cinco classes de vegetação, sendo elas: a Savana que representa o cerrado típico; a savana florestada que representa o cerradão; a savana arborizada que representa o campo cerrado, cerrado ralo, cerrado típico e cerrado denso; savana parque que representa campo sujo, campo de murundus, campo rupestre; e savana gramíneo lenhosa que representa o campo limpo de cerrado.

Para os dados de clima foram utilizadas seis variáveis bioclimáticas do WorldClim (2020) que são derivadas de valores mensais de temperatura e precipitação gerando

variáveis biologicamente mais significativas de 1970 a 2000 e apresentam resolução espacial de 1 km². As bioclimáticas selecionadas para a realização dos testes estatísticos foram: Temperatura média anual (Bio 1), Amplitude térmica diária (Bio2), Isotermalidade (Bio3), Temperatura mínima do mês mais frio (Bio 6), Amplitude térmica anual (Bio 7) e Temperatura média do trimestre mais frio (Bio 11) (FICK, HIJMANS,2017). A temperatura média anual e as Temperaturas mínimas do mês e do trimestre mais frio foram selecionadas para verificar quais áreas apresentam as menores temperaturas e contribuem para a formação de geadas. A amplitude térmica diária e anual e a isotermalidade foram selecionadas, pois são variáveis que demonstram a variação das temperaturas, que quando muito intensas podem contribuir para a ocorrência de geadas.

Para os dados de dias com maior probabilidade de ocorrência de geadas, foram selecionados dias que atingiram temperaturas menores que 3 °C nos dados fornecidos pelo Climate Prediction Center (CPC) global daily temperature, com informações de 1979 a 2021. A resolução original dos dados gerados de frequência de geada foram de 0,25°, para a construção do mapa foi necessário realizar a reinterpolação para alinhar a resolução para a área do TMAP com uma nova resolução de 0,01°.

Os símbolos que representam as variáveis climáticas estão apresentados no quadro a seguir:

Quadro 1 Listagem da simbologia das variáveis.

Simbologia	Variável
Bio 1	Temperatura média anual
Bio 2	Amplitude térmica diária
Bio 3	Isotermalidade
Bio 6	Temperatura mínima do mês mais frio
Bio 7	Amplitude térmica anual
Bio 11	Temperatura média do trimestre mais frio
Fd_ann	Frequência de Geadas

2.3 Processamento dos dados

Para o processamento dos dados e a construção dos mapas foi utilizado o software QGIS(2023) com a ferramentas de geoprocessamento para vetor e raster. Para o processamento do índice de frequência de geada foi utilizado o software Climate Data Operators -CDO (SANTOS, 2014). A função utilizada foi a *cdo_fd* que calculou a frequência diária dos eventos climáticos que atingiram temperaturas menores que 3°C. Os rasters das variáveis climáticas foram sobrepostos a referência de formações vegetacionais, extraíndo 1000 amostras de cada classe de vegetação para a análise das variáveis.

Para verificação de diferenças significativas entre os grupos das fitofisionomias de Cerrado sobre as variáveis bioclimáticas e da frequência de geadas, utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal Wallis, processado no software R (2020) pelo pacote *stats*. O teste de Kruskal-Wallis, ou análise de variância por postos, é um teste não paramétrico, ou seja, não tem como pressuposto normalidade dos dados e homogeneidade de variância, como exigido na ANOVA (Analysis of Variance). A hipótese nula (H0) do teste de Kruskal-Wallis é de que os grupos não apresentam diferenças significativas entre si. Desse modo, quando rejeitada a hipótese nula teremos a hipótese alternativa (H1) de que os grupos apresentam diferenças significativas (BIANCONI *et. al.*, 2008; SIEGEL e CASTELLAN JR., 1988; ZAR, 1999). Na análise de post-hoc para definir quais grupos diferem entre si, utilizou-se o teste Dunn do pacote *rstatix* do software R (ZAR, 1999).

Para verificação da distribuição gráfica das variáveis foi empregado a análise de componentes principais - PCA do pacote *factomineR* do software R. A análise dos componentes principais é um método multivariado que consiste em combinar as variáveis e produzir componentes para descrever a variação dos dados, a correlação entre as variáveis e demonstra graficamente o grau de diferença entre os grupos em um espaço bidimensional (ARAUJO e COELHO, 2009).

3 RESULTADOS

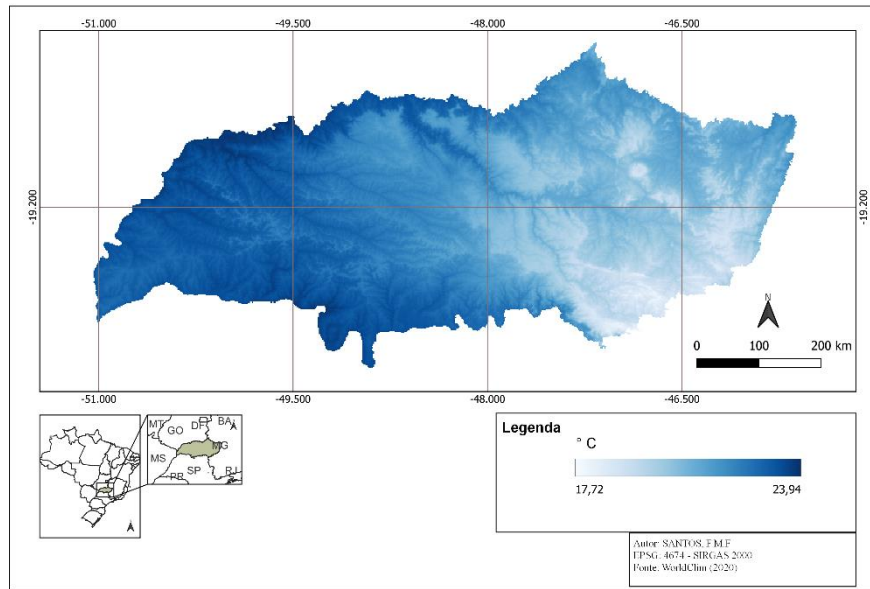
3.1 Geoprocessamento

Dentre as variáveis bioclimáticas para o TMAP (Figura 1 e 2), a temperatura média anual (Bio 1), diminui de oeste para leste, acompanhando o aumento da altitude. Deste modo, as maiores altitudes apresentam as menores temperaturas médias anuais. Na temperatura mínima do mês mais frio (Bio 6), as baixas temperaturas são mais homogêneas em toda a região, sendo as maiores temperaturas encontradas em áreas de cursos d'água. Para a temperatura média do trimestre mais frio (Bio 11), os padrões de temperatura na região seguem a mesma tendência da temperatura média anual.

Na Amplitude térmica diária (Bio 2), as maiores amplitudes estão relacionadas às áreas de maiores temperaturas no leste da área de estudo (Figura 1). A amplitude significa a variação entre a temperatura máxima e a temperatura mínima diurna, representando maiores quedas bruscas de temperatura que podem favorecer eventos de geada. Na amplitude anual (Bio 7), as menores amplitudes são encontradas ao leste da região (Figura 2). Essa amplitude representa a variação entre a temperatura máxima do mês mais quente e a temperatura mínima do mês mais frio. Para a isothermalidade (Bio 3), quanto maior o seu índice, menor é a variação entre a amplitude diurna e a amplitude anual, indicando que as variações diárias e sazonais são menores.

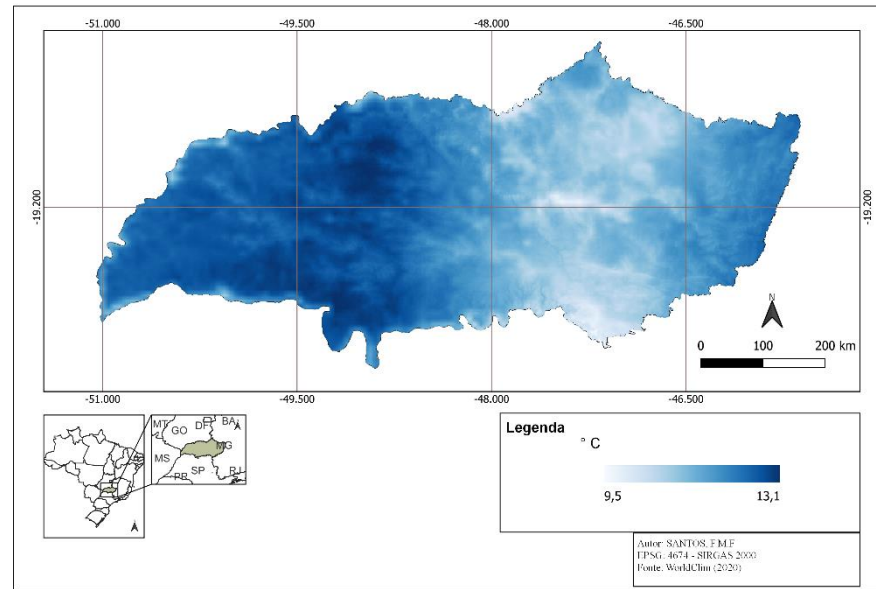
Figura 1. Mapas das variáveis climáticas.

Bio 1

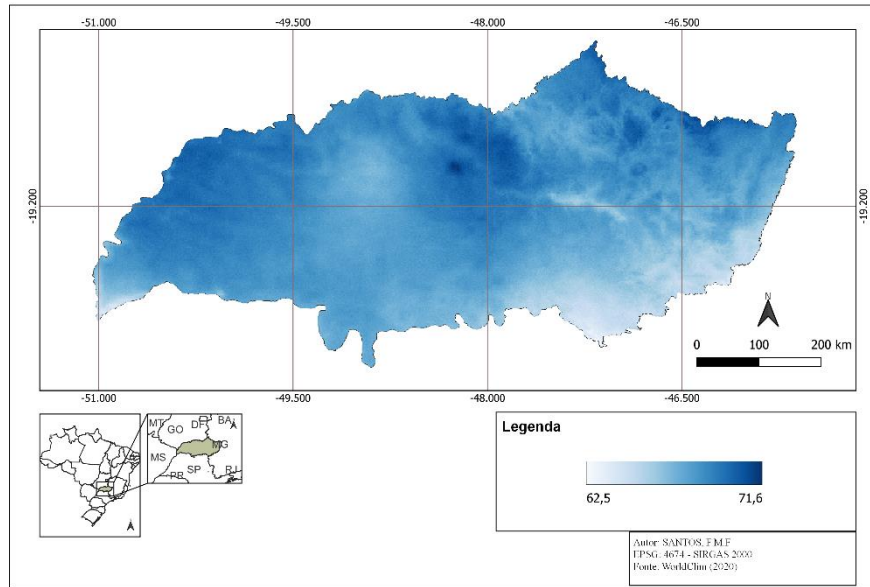


Bio 3

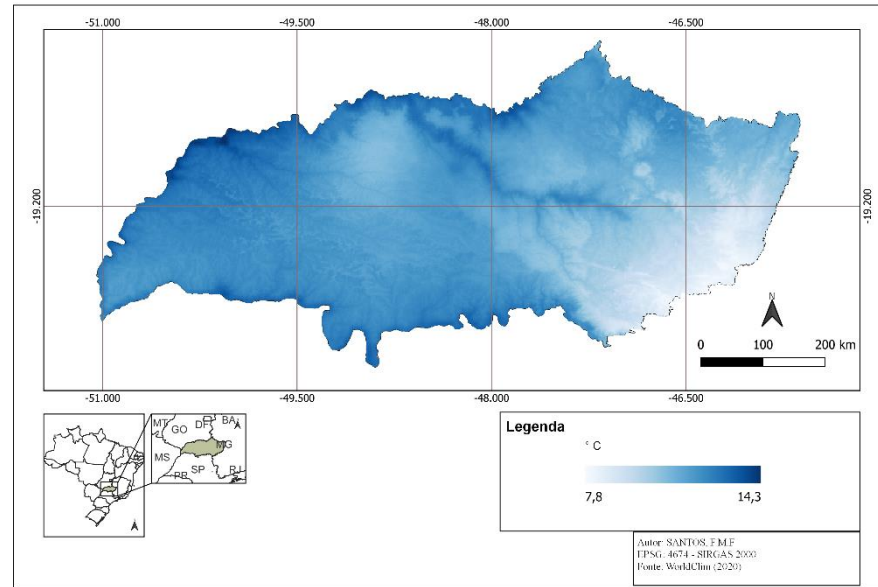
Bio 2



Bio 6

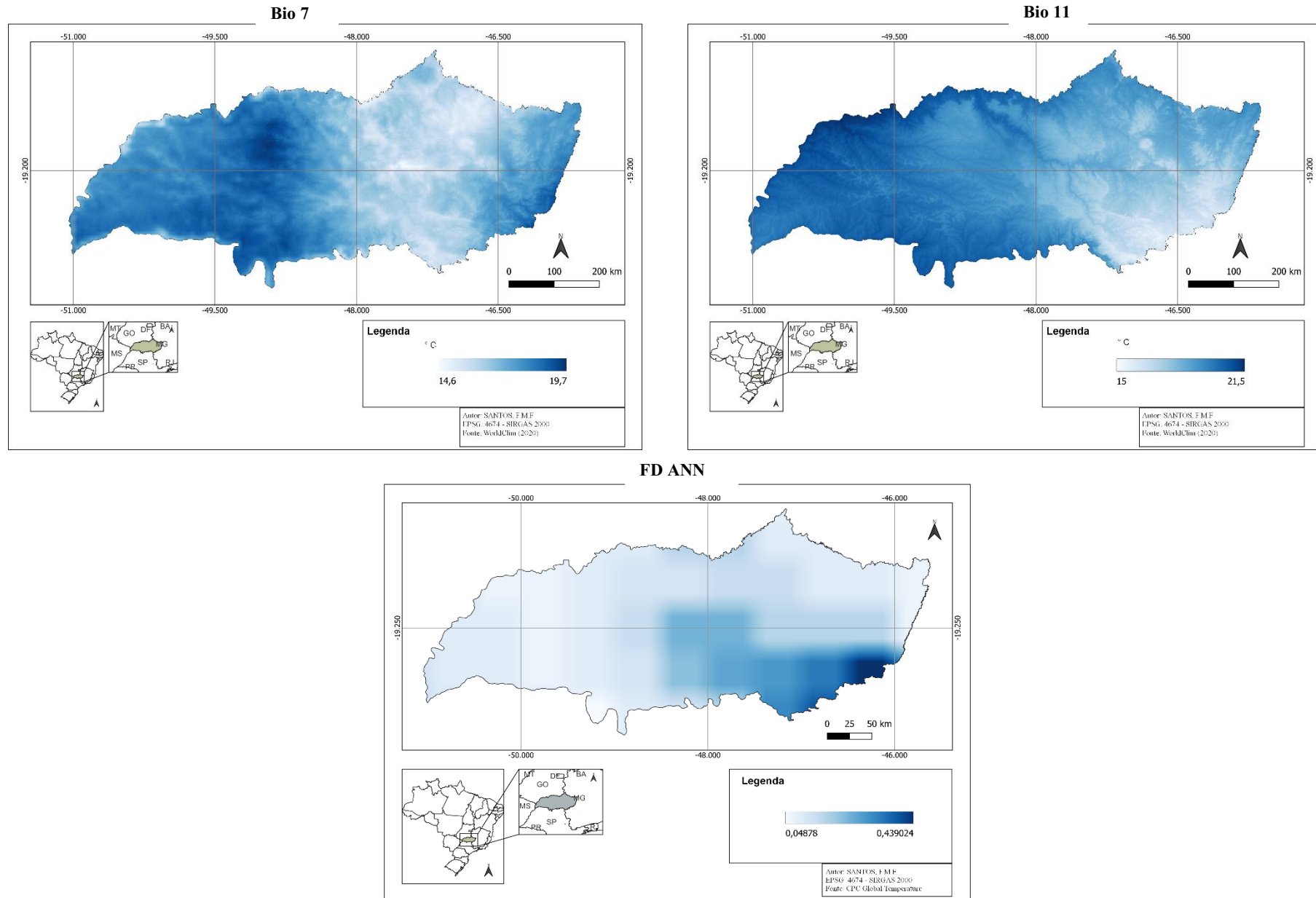


Fonte: Fonte: World Clim (2020).
Elaboração da autora (2023).



Bio 1 - Temperatura média anual; Bio 2 - Amplitude térmica diária; Bio 3 – Isotermalidade; Bio 6 - Temperatura mínima do mês mais frio.

Figura 2. Mapas da varáveis.

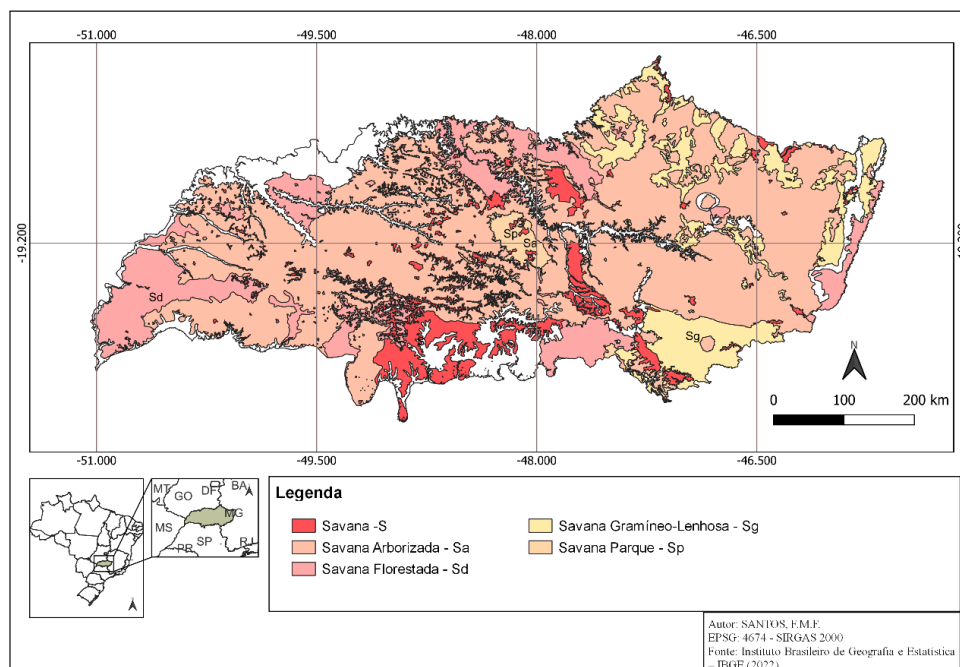


Fonte: Fonte: World Clim (2020); CPC Global Temperature (2022).
Elaboração da autora (2023).

Bio 7 - Amplitude térmica anual; Bio 11 - Temperatura média do trimestre mais frio; Fd_ann - Frequência de Geadas.

Foram selecionadas as classes de vegetação das fitofisionomias de Cerrado que se distribuem pelo TMAP (Mapa 5). Pelos dados do IBGE há o predomínio da savana arborizada pela região representando 55%. As classes de vegetação que representam fitofisionomias mais abertas mais abertas são a savana gramíneo lenhosa e a savana parque. A savana gramíneo lenhosa representa 9% da região e se concentra na porção leste do TMAP, com expressiva ocorrência na porção sudeste. A savana parque representa 2% da região e está associada a ambientes como a chapada Uberaba-Uberlândia onde há registros de ocorrência de Campos de Murundus.

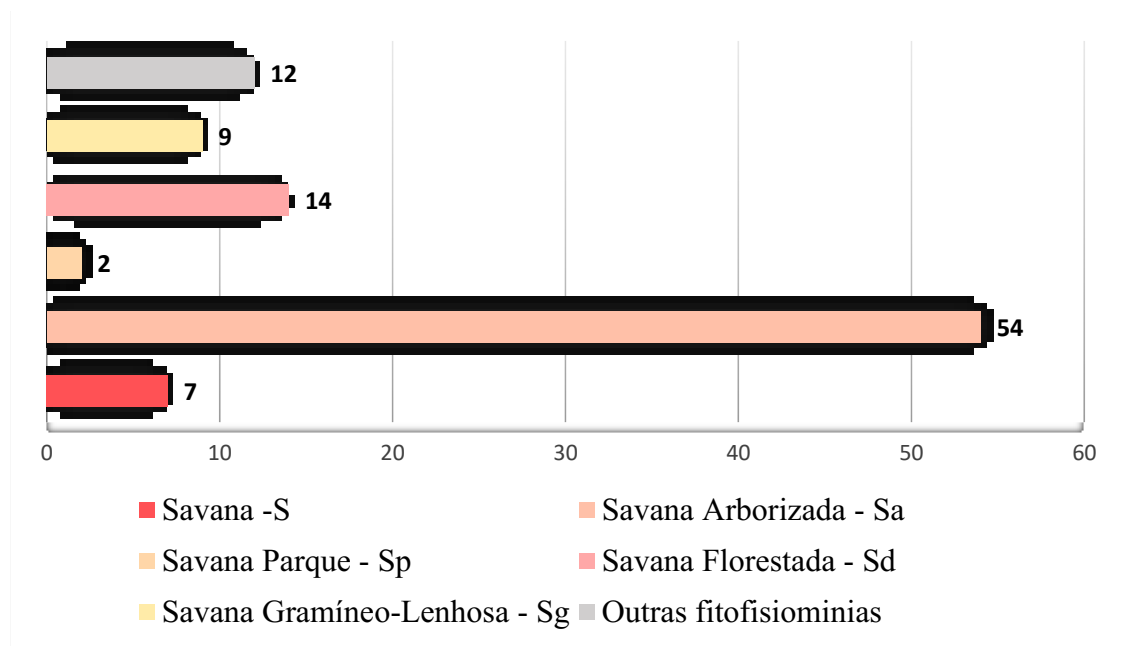
Mapa 5. Mapa das fitofisionomias de Cerrado do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba



Fonte: IBGE(2020)

Elaboração da autora (2023).

Figura 3. Gráfico de porcentagem das fitofisionomias de Cerrado no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.



Fonte: IBGE(2020)
Elaboração da autora (2023).

3.2 Testes estatísticos

O teste de Kruskal-Wallis foi realizado para comparar as variáveis climáticas entre os grupos definidos de vegetação de Cerrado. Entre todas as variáveis os valores de p são extremamente baixos indicando diferenças estatisticamente significativas entre as variáveis climáticas e os grupos de vegetação de Cerrado, rejeitando a hipótese nula (H₀).

Tabela 1. Resultados do teste de Kruskal-Wallis.

	Estadística do teste qui-quadrado	Grau de liberdade	Valor de p
BIO 1	1410,6	4	2.2e-16
BIO 2	989,8	4	2.2e-16
BIO 3	911,68	4	2.2e-16
BIO 6	1146,8	4	2.2e-16
BIO 7	777,76	4	2.2e-16
BIO 11	1411,8	4	2.2e-16
FD	733,72	4	2.2e-16
ANN			

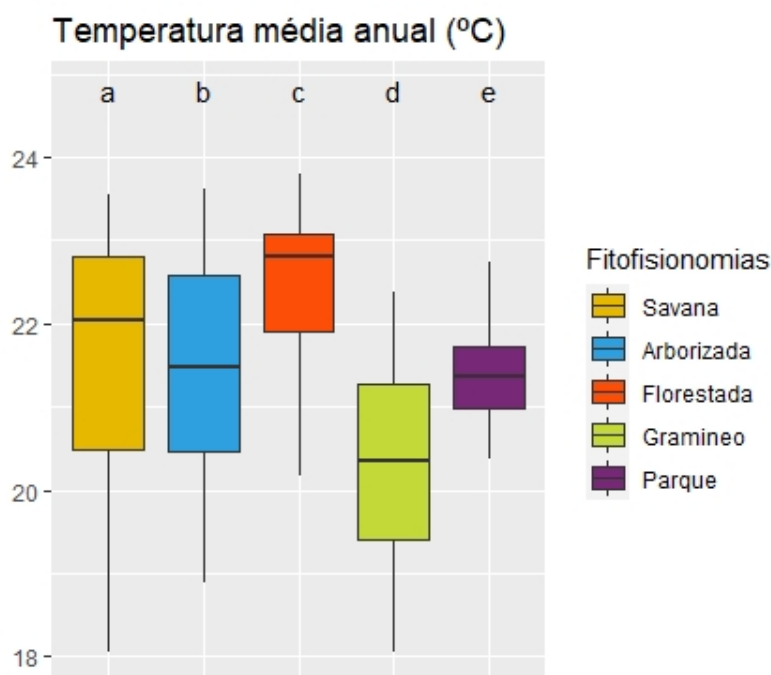
Fonte: da autora (2023).

Com H_0 rejeitada nos resultados dos testes de Kruskal-Wallis, o teste Dunn foi aplicado para identificar quais grupos apresentam diferenças significativas. Os resultados do teste Dunn foram plotados também junto a gráficos de boxplot para cada variável climática e representados pelas letras diferentes entre si para demonstrar as diferenças significativas.

Com base na avaliação dos boxplots (Figuras 4, 5 e 6) observa-se que o grupo de fitofisionomias Gramíneo-lenhosa apresentam os menores valores de medianas observadas nos gráficos de Temperatura média anual, Temperatura mínima do mês mais frio e Temperatura média do trimestre mais frio. O grupo de Gramíneo apresentou diferença significativa em relação aos demais grupos de fitofisionomias para essas variáveis.

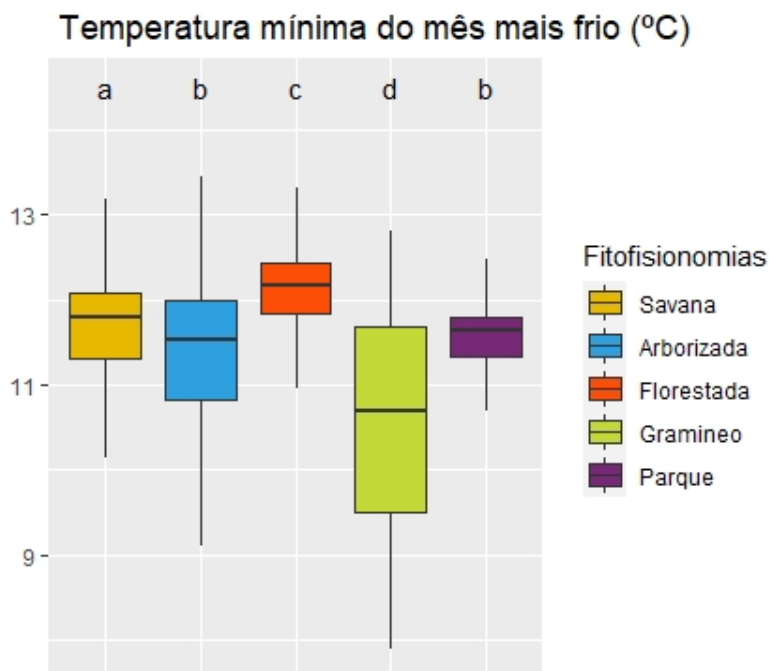
O grupo Parque apresenta a segunda menor temperatura em relação a temperatura média anual, com diferenças significativas. Entretanto, para temperatura mínima do mês mais frio e temperatura média do trimestre mais frio não apresenta diferenças significativa do grupo Arborizada.

Figura 4. Gráficos de Boxplot temperatura média anual.



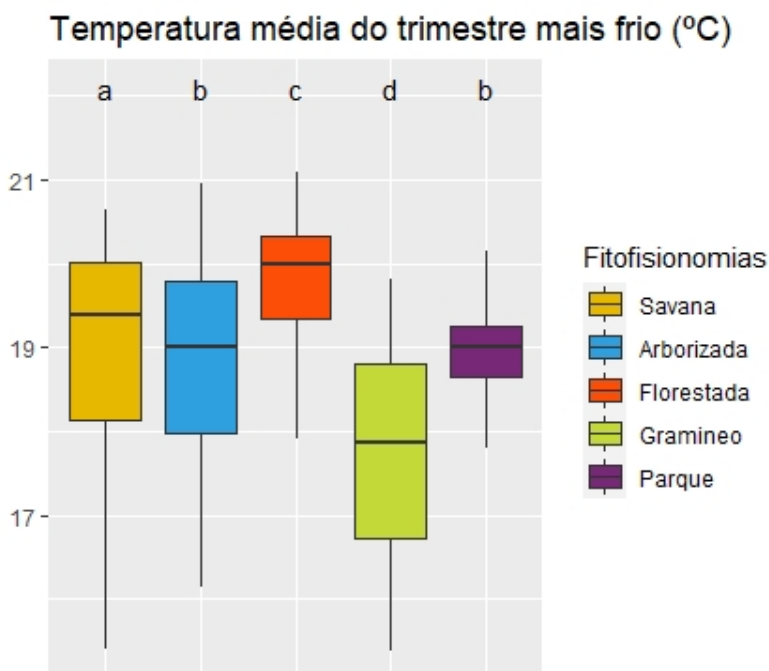
Fonte: da autora (2023)

Figura 5. Gráficos de Boxplot temperatura mínima mês mais frio.



Fonte: da autora (2023)

Figura 6. Gráficos de Boxplot temperatura média do trimestre mais frio.



Fonte: da autora (2023)

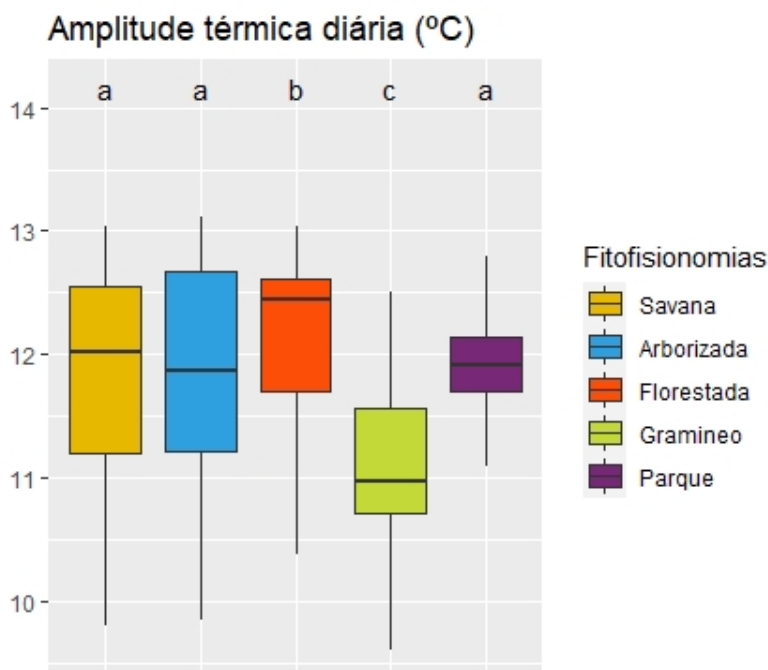
Na isothermalidade o grupo gramíneo representa os menores valores indicando que há variações de temperaturas mais intensas (Figura 8), tanto diurnas como sazonais,

apresentando também diferenças significativas no teste Dunn dos demais grupos de vegetação. Na amplitude diurna e anual também são apresentando os menores valores para a gramíneo em relação as amplitudes dos demais grupos de vegetação, que se resulta das menores temperaturas em relação aos demais grupos.

No boxplot da frequência de geadas (Figura 10), não são observadas diferenças significativas nas medianas entre os grupos Gramíneo e Savana, de acordo com o teste Dunn. No entanto, é possível notar que o intervalo interquartil do grupo Gramíneo é maior do que o do grupo Savana, indicando uma maior dispersão e variabilidade em valores maiores de frequência de geada do grupo Gramíneo.

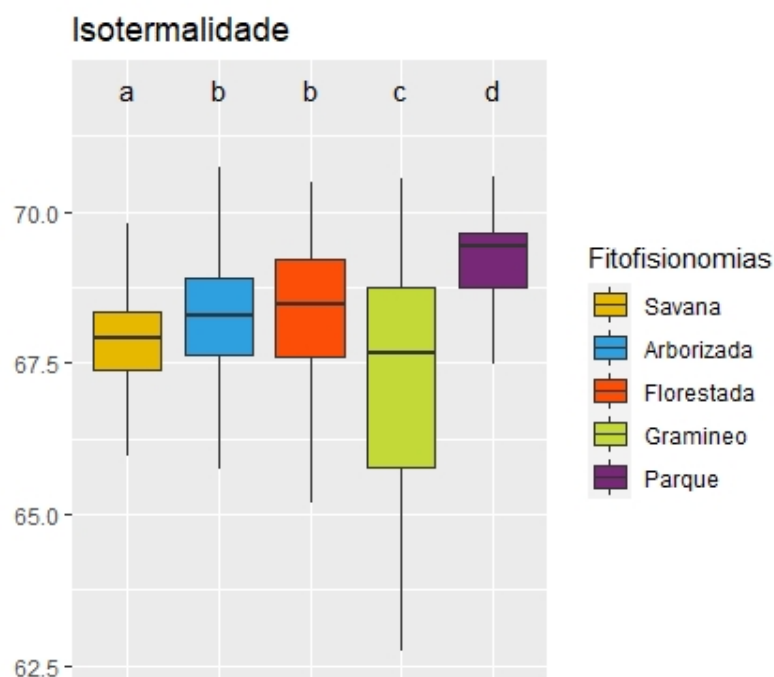
O grupo parque apresentou para isothermalidade valores altos, indicando que as variações diurnas e sazonais são menos intensas. Na amplitude diurna não apresentou diferenças significativas entre o grupo savana e arborizada. Na amplitude anual apresentou diferença significativa entre todos os demais grupos de fitofisionomias. Para as geadas o grupo parque apresentou diferenças entre os demais grupos e um dos maiores índices.

Figura 7. Gráficos de Boxplot amplitude térmica diária.



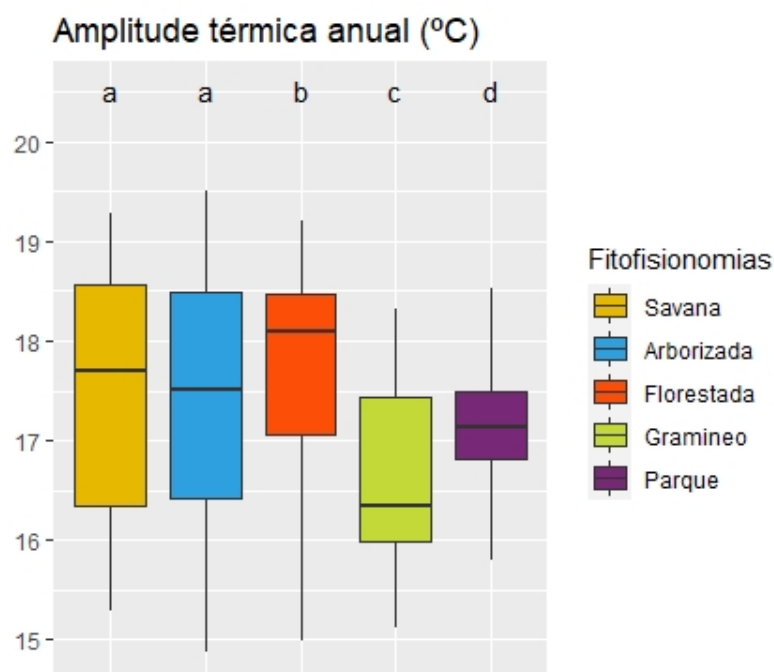
Fonte: da autora (2023)

Figura 8. Gráficos de Boxplot isotermaidade



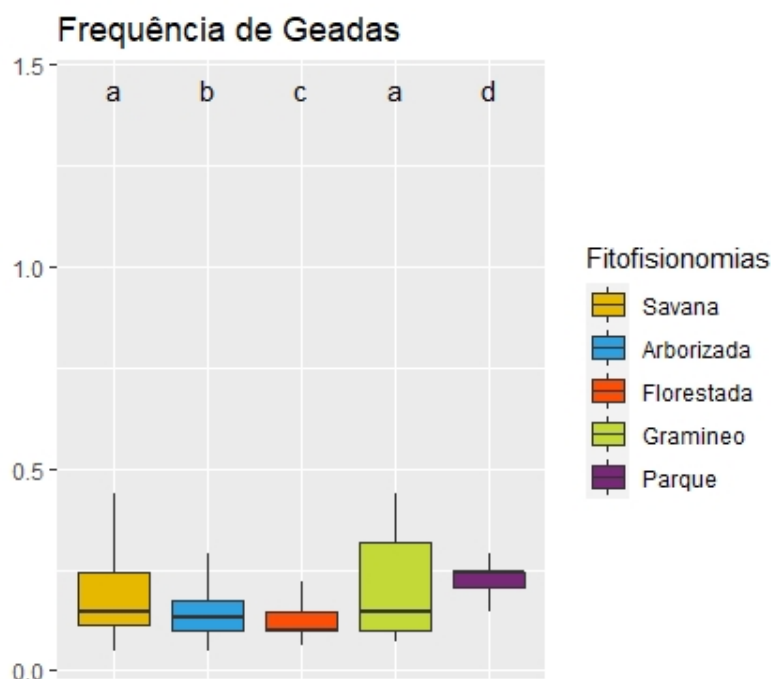
Fonte: da autora (2023)

Figura 9. Gráficos de Boxplot amplitude térmica anual.



Fonte: da autora (2023)

Figura 10. Gráficos de Boxplot frequência de geada.



Fonte: da autora (2023)

3.3 Análise de componentes principais

Na PCA os dois componentes principais explicam 85,1% da variação total dos dados, com o componente principal 1 – PC 1 explicando 65,4%, e o componente principal 2 explicando 19,7% (Figura 10 e 11).

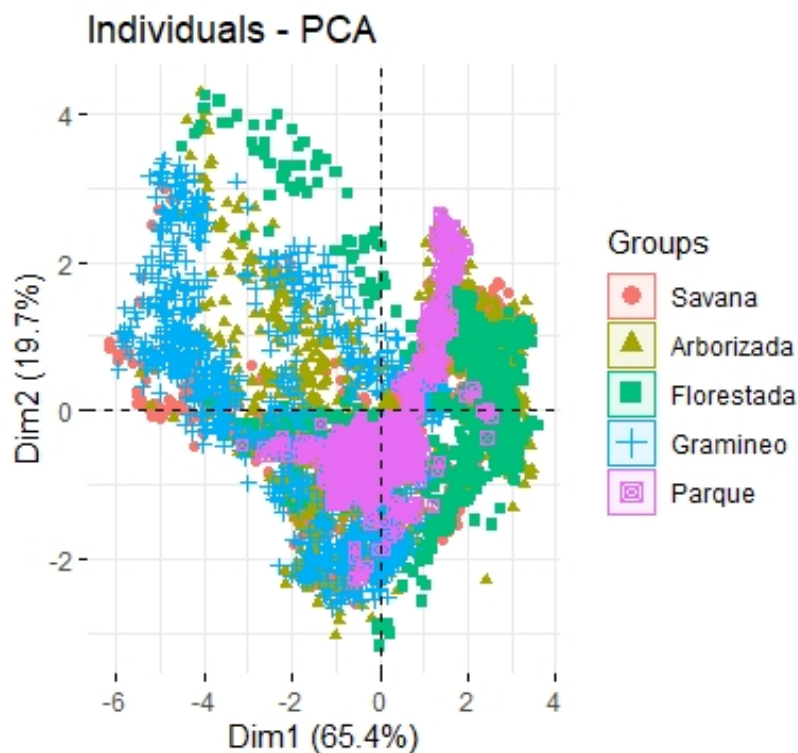
O resultado da PCA na distribuição individual dos grupos de fitofisionomias demonstra que os indivíduos do grupo Parque estão relacionados tanto a cargas positivas quanto a cargas negativas na PC1, enquanto grande parte do grupo Gramíneo estão relacionados a cargas negativas, demonstrando que esses dois grupos nem sempre estão associados.

Nos resultados da PCA com as variáveis climáticas as variáveis com maior contribuição para a variação dos dados foram a Bio 7 e Bio 11. A variável de frequência de geada e Bio 3 apresentaram menor contribuição na variação dos dados. No PC1 todas as variáveis bioclimáticas são positivas, sendo somente a variável de geada negativa,

sugerindo que as variáveis bioclimáticas estão associadas. Na PC 1 o grupo Gramíneo se distribui associada a variável de geada.

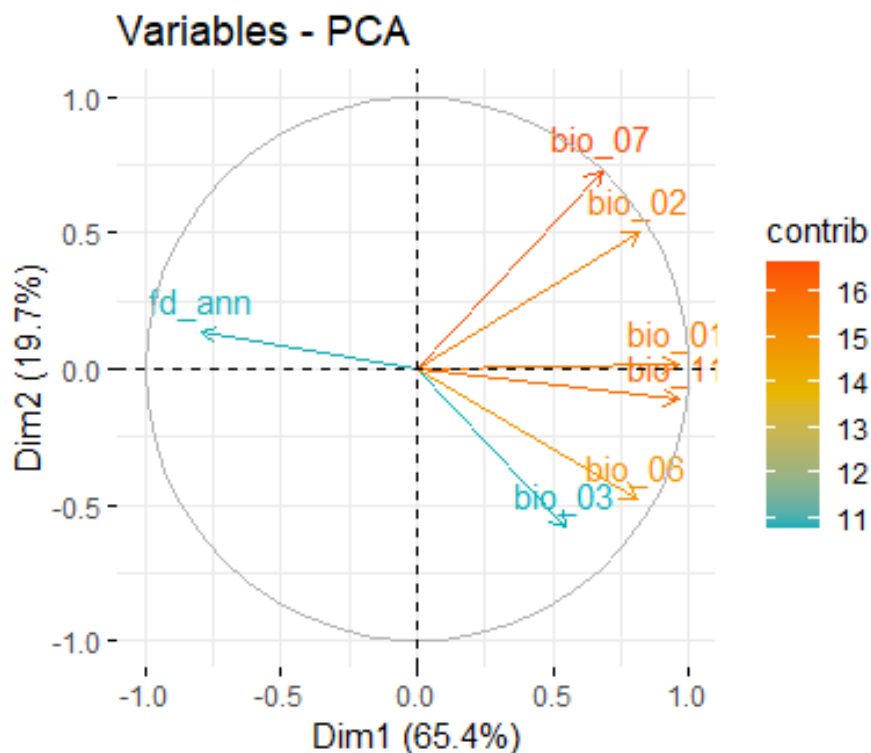
O componente principal 2 exibiu cargas positivas para as variáveis Bio 7, Bio 2, Bio 1 e geada. As variáveis de Bio 7 e Bio 2 se mostraram associadas na estrutura da variação dos dados nesse componente.

Figura 11. Análise de Componentes Principais (PCA) grupos das fitofisionomias.



Fonte: da autora (2023)

Figura 12. Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis climáticas.



Fonte: da autora (2023)

4 DISCUSSÃO

Os dados indicam que as menores temperaturas estão mais associadas às áreas do grupo Savana Gramíneo Lenhosa que representa as fitofisionomias Campo Limpo de Cerrado. Na análise dos resultados a frequência de geada teve menor contribuição da variação dos dados, mas esteve associado ao grupo Gramíneo. A menor contribuição dos dados de geada pode estar relacionada à menor resolução do dado em relação as demais variáveis climáticas. Há também uma falta de dados mais precisa sobre a ocorrência de geadas na região do TMAP.

O grupo Parque apresentou um dos maiores índices na variável de frequência de geada, mas não apresentou temperaturas tão baixas quanto o grupo gramíneo e nem diferenças significativas para variáveis de menores temperaturas com grupo de vegetação de Cerrado mais denso do grupo Savana Arborizada. Essas características podem indicar que o grupo Savana Parque que representa as fitofisionomias de Campo Sujo, Campo de Murundus e Campo Rupestre possa ter mais influência de outros aspectos físicos do ambiente.

Nas unidades climáticas propostas por (NOVAIS; BRITO; SANCHES, 2018) que utilizou do fator geomorfológico para classificar unidades menores a nível de subtipos

foram classificadas 11 unidades climáticas, dentre essas unidades foram classificadas as que apresentam geadas raras a cada 5 anos: Tropical semiseco meridional do cânion do rio Araguari; Tropical semiseco meridional do chapadão Indianópolis-Patrocínio; Tropical semiseco meridional do planalto dissecado do Paranaíba; Tropical semiseco meridional dos patamares do chapadão Uberlândia-Uberaba e do planalto de Araxá; Tropical semiúmido meridional dos chapadões do Triângulo Mineiro e patamares das serras do Alto Paranaíba; Tropical Ameno semiseco meridional do Alto Paranaíba; Tropical Ameno semiúmido meridional das serras do Alto Paranaíba e planalto de Araxá. Já na unidade Subtropical semiúmido setentrional da serra da Canastra, são observadas formações anuais de geada. Tais unidades se localizam na porção leste da região, sendo a unidade com formações anuais de geada localizada na porção sudeste, onde se concentram as fitofisionomias mais abertas de Cerrado.

Em concordância com os trabalhos das referências bibliográficas, os eventos de geadas e as menores temperaturas se mostraram associados as fitofisionomias mais abertas de Cerrado. Apesar de raros os distúrbios causados pelos eventos de geada podem ser associados as fitofisionomias de Cerrado mais aberto do grupo Savana Gramíneo Lenhosa, mesmo que as condições de água e nutrientes possam suportar Cerrados mais densos (BRANDO; DURIGAN, 2004; CAVALCANTI; LUIZ JR; DANTAS, 2009).

5 CONCLUSÃO

Para a vegetação de Cerrado do TMAP a fitofisionomia de Campo Limpo está associada às áreas de menores temperaturas e maiores probabilidade de ocorrência de geada. As geadas, apesar de pouca frequência para as regiões de Cerrado, parecem ter influência significativa na composição e distribuição das fitofisionomias, favorecendo a ocorrência de fitofisionomias de vegetação mais abertas.

Para as fitofisionomias de Campo Sujo, Campo de Murundus e Campo Rupestre os resultados não foram tão significativos na associação com menores temperaturas, indicando haver outras variáveis expressivas para a ocorrência de tais fitofisionomias.

Houve no trabalho uma dificuldade em reunir dados mais precisos sobre a ocorrência de geadas na região do TMAP. Desse modo, faz-se necessários mais estudos sobre esse evento climático na região.

6 REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. Contribuição à geomorfologia da área dos Cerrados. In: Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo. EDUSP, 1971 p.97-103.
- ARAUJO, Wagner Oliveira; COELHO, Clarimar Jose. Análise de componentes principais (PCA). University Center of Anápolis, Annapolis, 2009
- BACCARO, Claudete Aparecida Dallevedove. Unidades Geomorfológicas do Triângulo Mineiro. **Revista Sociedade & Natureza. Uberlândia**, v. 3, n. 5, p. 37-42, 1991.
- BIANCONI, André et al. Transformação de dados e implicações da utilização do teste de Kruskal-Wallis em pesquisas agroecológicas. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 18, 2008.
- BITTENCOURT, G. M.; LIMA, J. E. Perfil do Desenvolvimento Rural dos Municípios da Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. **Gestão & Regionalidade**, v. 30, n. 89, 26 set. 2014.
- BRANDO, P. M.; DURIGAN, G. Changes in cerrado vegetation after disturbance by frost (São Paulo State, Brazil). 2004.
- CAVALCANTI, A. D. D. C.; LUIZ JR, O. J.; DANTAS, V. D. L. Influência de geadas na estrutura de uma comunidade de Cerrado (lato sensu) do município de Itirapina, SP. 2009.
- EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. New York: Botanical review, 1972. v 38. n. 2, p. 201-341
- FICK, S.E. and R.J. HIJMANS, 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. [International Journal of Climatology 37 \(12\): 4302-4315](#).
- GIBBS, P.; LEITÃO FILHO, H.F.; SHEPHERD, G. Floristic composition and community structure in an area of cerrado in SE Brazil. *Flora*, 1983, p. 433-449
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico da vegetação brasileira, Sistema fitogeográfico. Rio de Janeiro, 2012.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de Informações Ambientais, 2020.
- IBGE (ED.). **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.
- MACEDO, J. Os solos da região dos Cerrados. Em: **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. [s.l.] ALVAREZ, V. H; FONTES L.E. F.; FONTES, M, P. F., 1996. p. 135–155.
- MELO-ABREU, J.P. de; RIBEIRO, A.C. Os danos de geada: conceitos, mecanismos e modelos de simulação. In: Figueiredo, T. *et al.* Clima e Recursos Naturais: Conferências de Homenagem ao Prof. Doutor Dionísio Gonçalves. Bragança, Instituto Politécnico, 2010. p. 141-166.

NOVAIS, G. T. **CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA MESORREGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO/ALTO PARANAÍBA E DO ENTORNO DA SERRA DA CANASTRA (MG)**. Dissertação de mestrado—Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

NOVAIS, G. T.; BRITO, J. L. S.; SANCHES, F. D. O. UNIDADES CLIMÁTICAS DO TRIÂNGULO MINEIRO/ALTO PARANAÍBA. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 23 out. 2018.

QGIS Development Team, 2023. QGIS Geographic Information System Developers Manual. Open Source Geospatial Foundation Project. Electronic document: https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/developers_guide/index.html. R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RESENDE, Mauro et al. Pedologia: base para distinção de ambientes. 6 ed. **Lavras: Editora UFLA**, 2014.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. Cerrado: ambiente e flora. Brasília: Embrapa Cerrados, 1998. p.87-166.

SÁ JÚNIOR, Arionaldo de. Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do Estado de Minas Gerais .Dissertação (Mestrado). Lavras : UFLA, 2009.

SANTOS, Humberto Gonçalves, et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., rev. e ampl. - Brasília, DF : Embrapa, 2018.

SANTOS, José Guilherme Martins. INTRODUÇÃO AO CLIMATE DATA OPERATORS (CDO). São José dos Campos: INPE, 2014.

SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

SELUCHI, M. Geadas e friagens. *In*: CAVALCANTI, Iracema Fonseca, *et al.* (Org). Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de textos, p. 149-167, 2009.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JR., N. J. Nonparametric statistics for the behavioral sciences. 2ed. New York: McGraw-Hill, 1988. 399 p ZAR, J.H. Biostatistical analysis. 4 ed. New Jersey: Prentice Hall Inc., 1999. 938 p

SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I.; MORAWETZ, W.; GOTTSBERGER, G. Frost damage of cerrado plants in Botucatu, Brazil, as related to the geographical distribution of the species. *Biotropica*, 1977, v. 9, n. 4, p. 253-261.

SILVA, L. L. O PAPEL DO ESTADO NO PROCESSO DE OCUPAÇÃO DAS ÁREAS DE CERRADO ENTRE AS DÉCADAS DE 60 E 80. **Caminhos de Geografia**, v. 2, n. 2, p. 25–36, 15 fev. 2001.

7 ANEXOS

ANEXO 1 – Tabela dos resultados do Teste Dunn para a variáveis Bio 1.

BIO 1							
Grupo 1	Grupo 2	n1	n2	Estatística	p	p ajustado	Significância p ajustado
Savana	Arborizada	1000	1000	-4,19514	2,73E-05	2,73E-04	***
Savana	Florestada	1000	1000	13,23209	5,73E-40	5,73E-39	****
Savana	Gramineo	1000	1000	-23,5872	5,22E-123	5,22E-122	****
Savana	Parque	1000	1000	-7,02222	2,18E-12	2,18E-11	****
Arborizada	Florestada	1000	1000	17,42722	5,13E-68	5,13E-67	****
Arborizada	Gramineo	1000	1000	-19,392	9,01E-84	9,01E-83	****
Arborizada	Parque	1000	1000	-2,82709	4,70E-03	4,70E-02	*
Florestada	Gramineo	1000	1000	-36,8193	9,08E-297	9,08E-296	****
Florestada	Parque	1000	1000	-20,2543	3,25E-91	3,25E-90	****
Gramineo	Parque	1000	1000	16,56495	1,25E-61	1,25E-60	****

ANEXO 2 – Tabela dos resultados do Teste Dunn para a variáveis Bio 2.

BIO 2							
Grupo 1	Grupo 2	n1	n2	Estatística	p	p ajustado	Significância p ajustado
Savana	Arborizada	1000	1000	0,302427	7,62E-01	1	ns
Savana	Florestada	1000	1000	7,436477	1,03E-13	1,03E-12	****
Savana	Gramineo	1000	1000	-21,8997	2,62E-106	2,62E-105	****
Savana	Parque	1000	1000	0,003408	9,97E-01	1	ns
Arborizada	Florestada	1000	1000	7,13405	9,75E-13	9,75E-12	****
Arborizada	Gramineo	1000	1000	-22,2021	3,28E-109	3,28E-108	****
Arborizada	Parque	1000	1000	-0,29902	7,65E-01	1	ns
Florestada	Gramineo	1000	1000	-29,3361	3,59E-189	3,59E-188	****
Florestada	Parque	1000	1000	-7,43307	1,06E-13	1,06E-12	****
Gramineo	Parque	1000	1000	21,90308	2,43E-106	2,43E-105	****

ANEXO 3 – Tabela dos resultados do Teste Dunn para a variáveis Bio 3.

BIO 3							
Grupo 1	Grupo 2	n1	n2	Estatística	p	p ajustado	Significância p ajustado
Savana	Arborizada	1000	1000	4,88021	1,06E-06	1,06E-05	****
Savana	Florestada	1000	1000	6,90252	5,11E-12	5,11E-11	****
Savana	Gramineo	1000	1000	-4,99494	5,89E-07	5,88551E-06	****
Savana	Parque	1000	1000	23,23033	2,25E-119	2,25E-118	****
Arborizada	Florestada	1000	1000	2,0223	4,31E-02	4,31E-01	ns
Arborizada	Gramineo	1000	1000	-9,87515	5,34E-23	5,34E-22	****
Arborizada	Parque	1000	1000	18,35011	3,29E-75	3,29E-74	****
Florestada	Gramineo	1000	1000	-11,8975	1,22E-32	1,22E-31	****
Florestada	Parque	1000	1000	16,32781	6,26E-60	6,26E-59	****
Gramineo	Parque	1000	1000	28,22526	2,86E-175	2,86E-174	****

ANEXO 4 – Tabela dos resultados do Teste Dunn para a variáveis Bio 6.

Bio 6							
Grupo 1	Grupo 2	n1	n2	Estatística	p	p ajustado	Significância p ajustado
Savana	Arborizada	1000	1000	-6,25334	4,02E-10	4,02E-09	****
Savana	Florestada	1000	1000	14,49676	1,27E-47	1,27E-46	****
Savana	Gramineo	1000	1000	-18,6103	2,65E-77	2,65E-76	****
Savana	Parque	1000	1000	-5,01044	5,43E-07	5,43E-06	****
Arborizada	Florestada	1000	1000	20,7501	1,22E-95	1,22E-94	****
Arborizada	Gramineo	1000	1000	-12,357	4,46E-35	4,46E-34	****
Arborizada	Parque	1000	1000	1,24289	2,14E-01	1	ns
Florestada	Gramineo	1000	1000	-33,1071	2,35E-240	2,35E-239	****
Florestada	Parque	1000	1000	-19,5072	9,54E-85	9,54E-84	****
Gramineo	Parque	1000	1000	13,5999	4,01E-42	4,01E-41	****

ANEXO 5 – Tabela dos resultados do Teste Dunn para a variáveis Bio 7.

Bio 7							
Grupo 1	Grupo 2	n1	n2	Estatística	p	p ajustado	Significância p ajustado
Savana	Arborizada	1000	1000	-0,69753	4,85E+00	1	ns
Savana	Florestada	1000	1000	7,067956	1,57E-12	1,57E-11	****
Savana	Gramineo	1000	1000	-19,53	6,10E-85	6,10E-84	****
Savana	Parque	1000	1000	-3,91307	9,11E+00	9,11E-04	***
Arborizada	Florestada	1000	1000	7,765488	8,13E-15	8,13E-14	****
Arborizada	Gramineo	1000	1000	-18,8325	4,09E-79	4,09E-78	****
Arborizada	Parque	1000	1000	-3,21554	1,30E-03	1,30E-02	*
Florestada	Gramineo	1000	1000	-26,598	7,17E-156	7,17E-155	****
Florestada	Parque	1000	1000	-10,981	4,72E-28	4,72E-21	****
Gramineo	Parque	1000	1000	15,61693	5,58E-55	5,58E-54	****

ANEXO 6 – Tabela dos resultados do Teste Dunn para a variáveis Bio 11.

Bio 11							
Grupo 1	Grupo 2	n1	n2	Estatística	p	p ajustado	Significância p ajustado
Savana	Arborizada	1000	1000	-4,84742	1,25E-06	1,25E-05	****
Savana	Florestada	1000	1000	13,19229	9,72E-40	9,72E-39	****
Savana	Gramineo	1000	1000	-23,7653	7,64E-125	7,64E-124	****
Savana	Parque	1000	1000	-5,80422	6,47E-09	6,47E-08	****
Arborizada	Florestada	1000	1000	18,03971	9,50E-73	9,50E-72	****
Arborizada	Gramineo	1000	1000	-18,9178	8,13E-80	8,13E-79	****
Arborizada	Parque	1000	1000	-0,95679	3,39E-01	1	ns
Florestada	Gramineo	1000	1000	-36,9576	5,51E-299	5,51E-298	****
Florestada	Parque	1000	1000	-18,9965	1,82E-80	1,82E-79	****
Gramineo	Parque	1000	1000	17,96105	3,93E-72	3,93E-71	****

ANEXO 7 – Tabela dos resultados do Teste Dunn para a variáveis Fd ann.

Grupo 1	Grupo 2	n1	n2	Fd ann		p ajustado	Significância p ajustado
				Estatística	p		
Savana	Arborizada	1000	1000	-6,40259	1,53E-10	1,53E-09	****
Savana	Florestada	1000	1000	-12,6212	1,61E-36	1,61E-35	****
Savana	Gramineo	1000	1000	2,351287	1,87E-02	1,87E+00	ns
Savana	Parque	1000	1000	12,80543	1,53E-37	1,53E-36	****
Arborizada	Florestada	1000	1000	-6,2186	5,02E-04	5,02E-09	****
Arborizada	Gramineo	1000	1000	8,75388	2,06E-18	2,06E-17	****
Arborizada	Parque	1000	1000	19,20803	3,17E-82	3,17E-81	****
Florestada	Gramineo	1000	1000	14,97248	1,11E-50	1,11E-49	****
Florestada	Parque	1000	1000	25,42663	1,28E-142	1,28E-141	****
Gramineo	Parque	1000	1000	10,45415	1,40E-25	1,40E-24	****