

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RAPHAEL CARDOSO DA SILVA

**PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO INFLUENCIAM NA
TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE?**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RAPHAEL CARDOSO DA SILVA

**PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO INFLUENCIAM NA
TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE?**

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Gava

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2024



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Raphael Cardoso da Silva

ORIENTADOR: Dr. Ricardo Gava

TÍTULO: "Plantações de eucalipto influenciam na temperatura de superfície?"

AVALIADORES:

Prof. Dr. Ricardo Gava

Prof. Dr. Gileno Brito de Azevedo

Prof. Dra. Mayara Fávero Cotrim

Chapadão do Sul, 03 de dezembro de 2024.

**NOTA
MÁXIMA
NO MEC**

**UFMS
É 10!!!**



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Gava, Professor do Magisterio Superior**, em 03/12/2024, às 10:25, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

**NOTA
MÁXIMA
NO MEC**

**UFMS
É 10!!!**



Documento assinado eletronicamente por **Gileno Brito de Azevedo, Professor do Magisterio Superior**, em 03/12/2024, às 10:26, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

**NOTA
MÁXIMA
NO MEC**

**UFMS
É 10!!!**



Documento assinado eletronicamente por **Mayara Fávero Cotrim, Usuário Externo**, em 03/12/2024, às 12:53, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5259888** e o código CRC **580DA5EB**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, e pela oportunidade que me deu em realizar um curso de pós-graduação.

Agradeço minha esposa que me deu minha família e toda a força pra ingressar neste desafio e não me deixou titubear.

Em agradecimentos ao meu paciente Orientador : Prof. Dr. Ricardo Gava

Meu muito Obrigado por tudo !!!

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Médias anuais de temperatura nas áreas de: Água, Lavoura, Nativa, Pastagem, Silvicultura, Solo Exposto, Área urbana, Vereda e outros. 11

Tabela 2- Porcentagem de ocupação das áreas de: Água, Lavoura, Nativa, Pastagem, Silvicultura, Solo Exposto, Área urbana, Vereda e outros.....17

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Layout gerado do sistema Google Earth Engine.	04
Figura 2. Layout gerado do shape de calor gerado no Qgis.....	05
Figura 3. Layout gerado do shape de uso e ocupação de solo gerado no Qgis.....	06
Figura 4. Layout gerado da planilha de excel gerada.....	06
Figura 5. Análise de componentes principais para os anos de 2002-2022 áreas de: Água, Lavoura, Nativa, Pastagem, Silvicultura, Solo Exposto, área urbana, Vereda e outros.....	13
Figura 6. Correlação de Pearson entre a temperatura e as localidades avaliadas: Água, Lavoura, Nativa, Pastagem, Silvicultura, Solo Exposto, área urbana, Vereda e outros	15

IMPACTOS DO AUMENTO DA ÁREA DE FLORESTA PLANTADA, NA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO MUNICÍPIO DE TRÊS LAGOAS/MS

RESUMO: Considerando a hipótese de que florestas plantadas estão avançando sobre áreas de vegetação nativa e prejudicando cursos hídricos ao redor. Este trabalho objetivou analisar o histórico em 20 anos de áreas de florestas plantadas e os impactos gerados na superfície do solo.. De tal maneira, foram realizadas comparações entre áreas de pastagem e silvicultura, a fim de identificar as vantagens ambientais e térmicas associadas à silvicultura.. As análises foram conduzidas com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento, como QGIS e Google Earth Engine, além de métodos estatísticos, incluindo os testes de Mann-Kendall e Pettitt, para detectar tendências e mudanças significativas nas séries temporais de temperatura e uso e ocupação do solo. Os resultados indicam redução substancial das áreas de pastagem, de 71,04% em 2002 para 49,90% em 2022, enquanto as áreas de silvicultura aumentaram de 3,54% para 21,97% no mesmo período. A conversão de áreas de pastagem para silvicultura resulta em mitigação dos extremos de calor, apresentando temperaturas mais amenas ao longo dos anos. Esses resultados demonstram que as florestas plantadas oferecem vantagens térmicas, contribuindo para a regulação do microclima local através de maior sombreamento e evapotranspiração.

Palavras-chave: Eucalipto, pastagem, sensoriamento remoto

ABSTRACT: Considering the hypothesis that planted forests are advancing over areas of native vegetation and negatively affecting surrounding watercourses, this study aimed to analyze the 20-year history of planted forest areas and the impacts generated on the soil surface. Comparisons were made between pasture and forestry areas to identify the environmental and thermal advantages associated with forestry. The analyses were conducted using geoprocessing tools such as QGIS and Google Earth Engine, along with statistical methods, including Mann-Kendall and Pettitt tests, to detect trends and significant changes in temperature and land use and occupation time series. The results indicate a substantial reduction in pasture areas, from 71.04% in 2002 to 49.90% in 2022, while forestry areas increased from 3.54% to 21.97% in the same period. The conversion of pastureland to forestry leads to the mitigation of heat extremes, presenting milder temperatures over the years. These findings demonstrate that planted forests offer thermal advantages, contributing to local microclimate regulation through increased shading and evapotranspiration.

Keywords: Silviculture, pasture, remote sensing, surface temperature, Mann-Kendall, Três Lagoas.

INTRODUÇÃO

O cultivo de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) cresceu exponencialmente no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, principalmente entre os anos de 2010 a 2020, alcançado recorde de valor adicionado ao Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil em 2022, segundo a Indústria Brasileira de Árvores (2022), receita bruta de R\$ 260 bilhões no ano de 2021, representando 1,3% do total, maior índice desde 2012.

A literatura cita diversas degradações ambientais oriundas do plantio de eucalipto, principalmente relacionando a diminuição de cursos hídricos nas regiões onde foi fortemente implantado (Ferraz *et al.*, 2019; Stape *et al.*, 2010). Vale ressaltar, que o município de Três Lagoas, estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, destaca-se, como importante polo na produção de celulose (Pinto, *et al.*, 2020; Santana, *et al.*, 2023), que desempenharam papel fundamental na economia local e refletiu diretamente na nacional (Silva Junior, *et al.*, 2018).

Pontua-se que a área deste estudo está inserida em um estado predominantemente voltado a pecuária (Oliveira e Pereira, 2020), atividade que no ano de início dessa pesquisa ocupava mais de 70% da área total do município de Três Lagoas. Sendo assim o avanço da silvicultura indica a rentabilidade e importância que este sistema de produção atingiu, não sendo composto apenas pela espécie *Eucalyptus*, havendo também consideráveis florestas de Seringueiras em todo o estado do Mato Grosso do Sul (Santos, *et al.*, 2021).

Mesmo as lavouras, que consistem uma linha produção extremamente importante em nosso país (CONAB, 2021), teve seu avanço minimizado comparado as florestas plantadas no Mato Grosso do Sul. Diferente das ocupações citadas anteriormente, a agricultura requer maiores investimentos, maquinários mais sofisticados (Pereira, *et al.*, 2020) e condições climáticas específicas para seu sucesso, o que muitas vezes inviabiliza sua consolidação em diversas cidades do estado (EMBRAPA, 2020).

Para isto, foi de suma importância a ascensão dos programas de sensoriamento remoto, o que tornou possível a obtenção de dados confiáveis e atuais. Os programas Google Earth Engine e Qgis estão em constante evolução (Berry, 2021), sendo possível a obtenção direta de dados de satélite contendo informações de temperatura de superfície, uso e ocupação de solo e NDVI (Silva e Pereira, 2020).

Sob a hipótese dos possíveis danos ambientais, principalmente relacionados a sua proximidade com recursos hídricos, a alegação recorrente da mídia de que vivemos um inevitável aquecimento global potencializado pela ação antrópica. Optou-se neste trabalho pela metodologia remota, focada nas ferramentas fotointerpretação e sensoriamento remoto para seu

desenvolvimento e levantamento de dados.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi elaborado a partir de uma série de temperaturas entre os anos de 2002 e 2022 obtida para o município de Três Lagoas/MS (Figura 1). O clima da região, segundo a classificação de Köppen e Geiger, é tropical do tipo Aw, com temperatura média de 24,2°C, com duas estações bem definidas e o período chuvoso predominante no verão (Alvares, et al., 2013).

A Figura 1 tras a localização do município de Três Lagoas, contendo informações de escala, norte verdadeiro e posição da cidade.

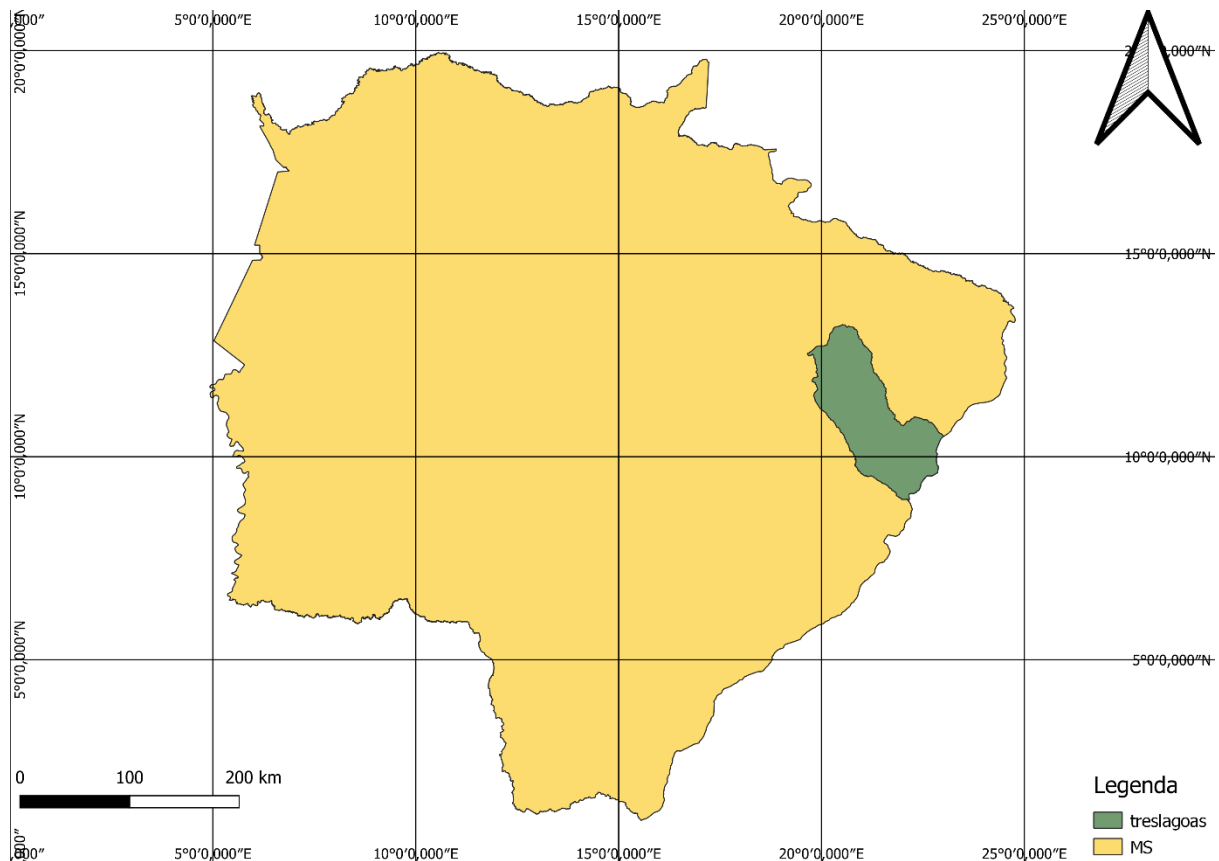


Figura 1: Mapa da localização do município de Três Lagoas/MS, dentro do mapa do Estado do Mato Grosso Sul, com informações georreferenciadas .

Coleta de dados

Para a obtenção dos dados, primeiramente foram obtidos os arquivos do tipo raster, fornecidos pelo satélite MODIS e obtidos com auxílio do sistema Google Earth Engine. Para

isto, foi inserido no sistema do programa um script previamente definido e exemplificado na Figura 1, com foco nos meses de dezembro de cada ano, por se tratar do período mais intenso do verão.

O script citado consiste em um tipo de linguagem de computação compatível ao Google Earth Engine, onde são inseridas informações detalhadas da imagem a ser gerada. Foram utilizadas as informações: mês de interesse; ano; e delimitação da área por meio de um arquivo vetorial, que, nesse caso, foi o limite do município de Três Lagoas.

```
Imports (1 entry)
var table: ComputedObject (Error)
Collection.loadTable: Collection asset 'projects/ee-raphaelmestrado1/assets/chapadao' not found.

var mod21A1 = ee.ImageCollection('MODIS/061/MOD21A1D')
var ls_2022_dez = mod21A1.filter(ee.Filter.date('2022-12-01', '2022-12-31')).select('LST_1KM').mean();
var landSurfaceTemperatureVis = {
  min: 216.0,
  max: 348.0,
  palette: [
    '040274', '040281', '0502a3', '0502b8', '0502ce', '0502e6',
    '0602ff', '235cb1', '307ef3', '269db1', '30c8e2', '32d3ef',
    '3be285', '3ff38f', '86e26f', '3ae237', 'b5e22e', 'd6e21f',
    'fff705', 'ffd611', 'ffb613', 'ff8b13', 'ff6e08', 'ff500d',
    'ff0000', 'de0101', 'c21301', 'a71001', '911003'
  ],
};
Map.setCenter(-52.6, -18.8, 8);
Map.addLayer(ls_2022_dez.clip(table), landSurfaceTemperatureVis, 'Land Surface Temperature');

Export.image.toDrive({
  image: ls_2022_dez, //image
  description: 'LS_MS202212_4326', //name
  scale: 1000, //ladodopixelm
  folder: 'image_mestrado', //pasta do google drive
  region: table, //shape
  crs: 'EPSG:4326', //sistema de coordenadas geograficas destino32722
  fileFormat: 'GeoTIFF'
})
```

Figura 2- Script utilizado no Google Earth Engine..

Com os arquivos raster obtidos no formato .tif e suas informações convertidas para Celsius, foi realizada a criação de uma malha amostral, para posterior agrupamento dos dados na tabela de atributos de um arquivo vetorial do tipo buffer, sendo esta a metodologia para amostragem da temperatura. O arquivo vetorial do tipo buffer em formato elipsoide, teve o raio definido de 500 metros, para que dentro dessa dimensão as temperaturas fossem padronizadas em uma média, facilitando as comparações estatísticas. A tabela de atributos deste arquivo vetorial totalizou 10211 feições tendo sido gerado um para temperatura e outro uso do solo, que posteriormente foram unidos em uma planilha de Excel.

Na Figura 03 é apresentado o mapa de temperatura de superfície gerado a partir do software QGIS. O layout apresentado nesta imagem foi gerado a partir das informações referente ao ano de 2022.

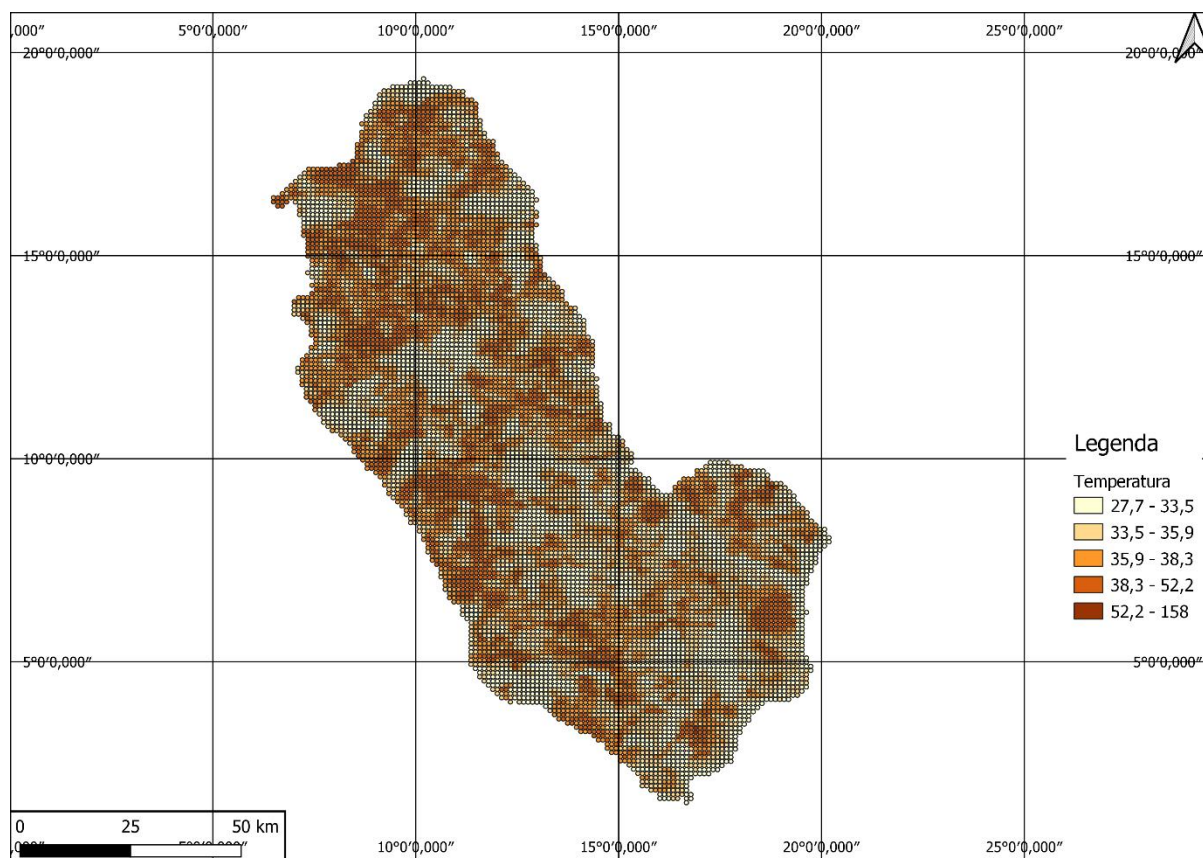


Figura 3 - Mapa de temperatura de superfície do município de Três Lagoas/MS no ano de 2022 e respectivas temperaturas divididas em 5 classes. Coloração azul para valores mais amenos, vermelho mais intensos, valores em azul geralmente são representados por cursos hídricos, enquanto os vermelhos são compostos de solo exposto e áreas impermeáveis.

Feito isso, usando o mesmo sistema para obtenção de imagem de satélites, porém adotando agora um script disponibilizado no site do MapBiomas, foi baixado um novo arquivo do raster, com as informações de ocupação de solo da região de Três Lagoas, em todos os meses de dezembro, entre os anos de 2002 e 2022.

Os arquivos raster gerados são compostos por códigos que correspondem a respectiva ocupação. Após uma nova malha amostral, com um novo arquivo vetorial do tipo buffer gerado para união e padronização dos dados em um elipsoide com 500 metros de raio, através da tabela de atributos, foi criada uma nova coluna indicando a ocupação correspondente ao código citado. Isto foi possível por conta da legenda fornecida pelo próprio MapBiomas, onde contem também as cores sugeridas para cada código de ocupação na etapa de confecção dos mapas, tendo como resultado a Figura 3.

A ultima coluna inserida na tabel de atributos foi a de “ID” de cada elipsoide existente

no arquivo do tipo vetorial buffer, para que os pontos amostrados pudessem ter comparação de temperatura e uso de solo para um ID que estivesse alocado na mesma posição nos dois arquivos gerados, facilitando assim a etapa da análise estatística. A Figura 4 representa a ocupação de solo no município de Três Lagoas no ano de 2002. Este mapa foi gerado no programa QGIS a partir de dados obtidos no MapBIOMAS.

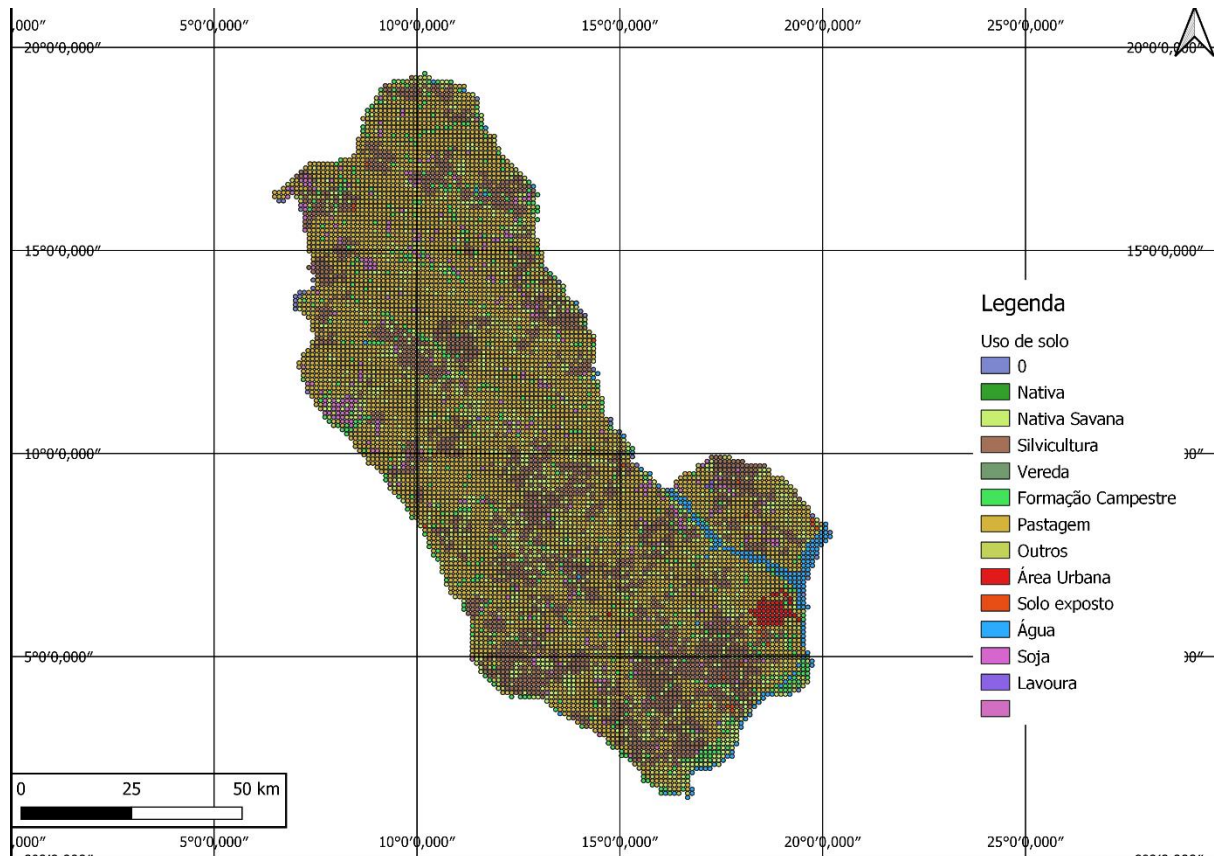


Figura 4 - Mapa de uso de solo do município de Três Lagoas/MS no ano de 2002, contendo os tipos de ocupação existentes neste limite, com as cores variando de acordo com a classe de uso, sendo elas tipos de clases definidos pelo MapBIOMAS.

Com os shapes gerados, a próxima etapa foi a exportação das tabelas de atributo para um arquivo compatível com o excel, feito isso, as tabelas foram unidas em um único arquivo estatístico, para que fosse possível comparar anualmente o tipo de uso e respectiva temperatura.

Análises estatísticas

Para verificar a tendencia na série temporal em estudo (2002-2022) para cada variável foi utilizado o teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) e em seguida o de Pettitt, identificando pontos de mudança na série temporal. Para ambos os testes adotou-se o nível de significância de 5%.

O teste de Mann-Kendall é calculado da seguinte forma:

$$Z_{MK} = \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; \text{ para } S > 0$$

$$Z_{MK} = 0 \text{ para } S = 0$$

$$Z_{MK} = \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; \text{ para } S < 0$$

Em que: Z_{mk} é o índice Z do teste de Mann-Kendall; S é a estatística “score” e $\text{Var}(S)$ é a variância do valor estatístico S .

O teste de Pettit (equação (2)) é obtido da seguinte forma:

$$p \cong 2 \exp \left\{ \frac{-6k(t^2)}{(T^3 + T^2)} \right\}$$

O ponto de mudança é o t em que ocorre o máximo de $k(t)$. Os valores críticos de K (equação (3)) são obtidos pela seguinte forma

$$K_{crit} = \pm \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{\beta}{2}\right)(T^3 + T^2)}{6}}$$

Os dados foram submetidos à análise de componentes principais (ACP) para avaliar a relação entre as variáveis e os anos estudados. A ACP é uma análise estatística multivariada que transforma um conjunto de dados original ($X_1X_1, X_2X_2, \dots, X_pX_p$) em outro conjunto de dados das mesmas dimensões ($Y_1E_1, Y_2E_2, \dots, Y_pE_p$ componentes principais), reduzindo a massa de dados com perda mínima de informação.

Os componentes principais são derivados da combinação linear das variáveis originais, que são independentes entre si e retêm a quantidade máxima de informação. Os coeficientes de correlação de Pearson foram estimados para verificar a interdependência entre as localidades estudadas.

A correlação de Pearson é uma medida estatística que avalia a força e a direção de uma relação linear entre duas variáveis, variando de -1 (correlação negativa) a 1 (correlação positiva). O software livre Rbio foi utilizado para processar os testes de Mann-Kendall e Pettitt. As análises de PCA e correlação foram realizadas utilizando o software R.

RESULTADOS

A Figura 5 exemplificou as temperaturas de superfície anualmente, no intervalo histórico de 2002 a 2022. Foi possível observar que, além dos anos e temperatura, existe o tipo de ocupação de solo para efeito comparativo.

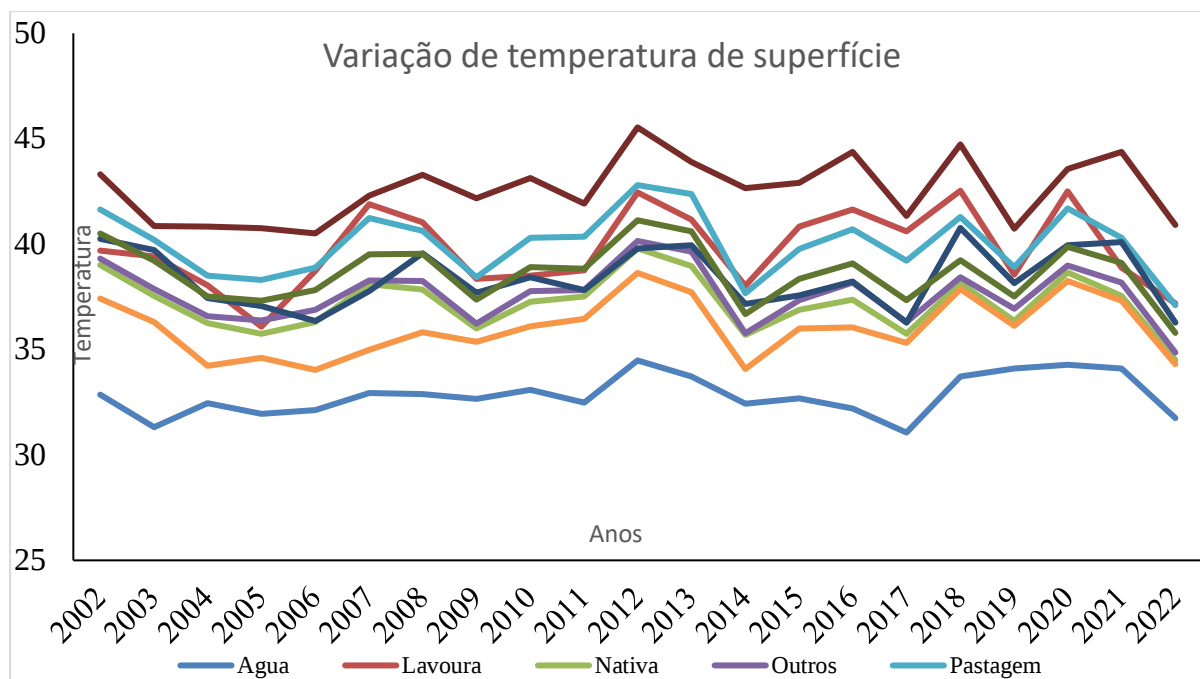


Figura 5: Variação de temperatura de superfície no intervalo histórico de 2002 a 2022..

As médias gerais em área urbana apresentaram, consistentemente, as maiores temperaturas de superfície na maioria dos anos, com valores máximos ultrapassando 45°C em 2012. As áreas compostas por água demonstraram temperaturas médias de superfície mais baixas, com valores variando entre 31°C a 34°C ao longo dos anos, exceto por picos ocasionais.

Pastagem e solo exposto também apresentaram valores elevados de temperatura, com alguns anos chegando em cerca de 42°C. O tipo de uso do solo refletiu diretamente nas temperaturas de superfície apresentadas. Áreas urbanas, que são impermeáveis e com maior tendência de retenção de energia, apresentaram temperaturas chegando a 45°C, enquanto áreas cobertas por água e vegetação nativa obtiveram variando entre 32 e 38°C, com destaque para silvicultura que foi o tipo de ocupação que mais se aproximou da água.

Tabela 1: Teste de Mann-Kendall e Pettitt realizado para o intervalo histórico de 2002 a 2022 a efeito de comparação entre médias de temperatura apresentadas, tipo de uso de solo em função do ano avaliado.

Ano	Água	Lav.	Nativa	Past.	Silv.	Solo Exp.	Urb.	Vereda	Outros
M.K	0.17	0.41	0.74	1	0.19	0.72	0.19	0.62	0.79
Pettitt	0.48	0.67	1	1	0.43	1	0.30	0.86	1

O teste de Mann-Kendall foi usado para verificar a tendência (aumento ou diminuição) dos dados temporais, onde valores de p-valor maior de 0.05 indicam variação não significativa. Foi possível observar que pastagem, outros (que são classificados como mosaico de usos), floresta nativa, solo exposto e vereda apresentaram valores próximos de 1.

Outras áreas, como cursos hídricos, lavoura, floresta plantada (representada por silvicultura), e área urbana obtiveram valores inferiores a 0.5. Deste modo, evidenciou-se que não houve significância na variação de temperatura dentro do período de estudo em nenhum dos tipos de uso de solo, não apresentando tendências de aumento ou mesmo resfriamento da temperatura de superfície.

O teste de Pettitt foi utilizado para detectar mudanças significativas em séries temporais e foi identificado resultados semelhantes aos apresentados no teste de Mann-Kendall, na faixa de 0.43 a 1. Vale ressaltar que os achados deste estudo relataram que não houveram alterações de mudanças climáticas. Esta afirmação ficou evidente quando analisou-se os valores de temperaturas apresentados anualmente.

Analisando os dados ao longo dos anos, a temperatura nas áreas de pastagem apresentou tendência de aumento até o ano de 2012, quando atingiu picos de 42,80°C, antes da diminuição gradualmente. Já as áreas de silvicultura mantiveram trajetória de aumento mais moderado, com a temperatura oscilando entre 34°C e 38°C, refletindo menor amplitude térmica e maior estabilidade.

De acordo com dados climáticos, o fenômeno conhecido por El Niño se intensificou no ano de 2012, levando a um aumento das temperaturas globais e a mudanças nos padrões de precipitação em várias regiões. De acordo com o Brasil Escola, este fenômeno consiste no aquecimento das águas do Oceano Pacífico Equatorial, o que influencia no clima global.

A Figura 6 apresenta a Análise de Componentes Principais (PCA) que examinou a variação nas médias anuais de temperatura entre diferentes áreas (Água, Lavoura, Nativa, Pastagem, Silvicultura, Solo Exposto, Área Urbana, Vereda e Outros) no período de 2002 a 2022. A PCA é caracterizada uma ferramenta estatística utilizada para reduzir a dimensionalidade dos dados, destacando as principais fontes de variação nas diferentes áreas analisadas. As setas indicaram a contribuição de cada área para as componentes principais. Quanto mais longa a seta, maior é a variabilidade explicada pela área correspondente.

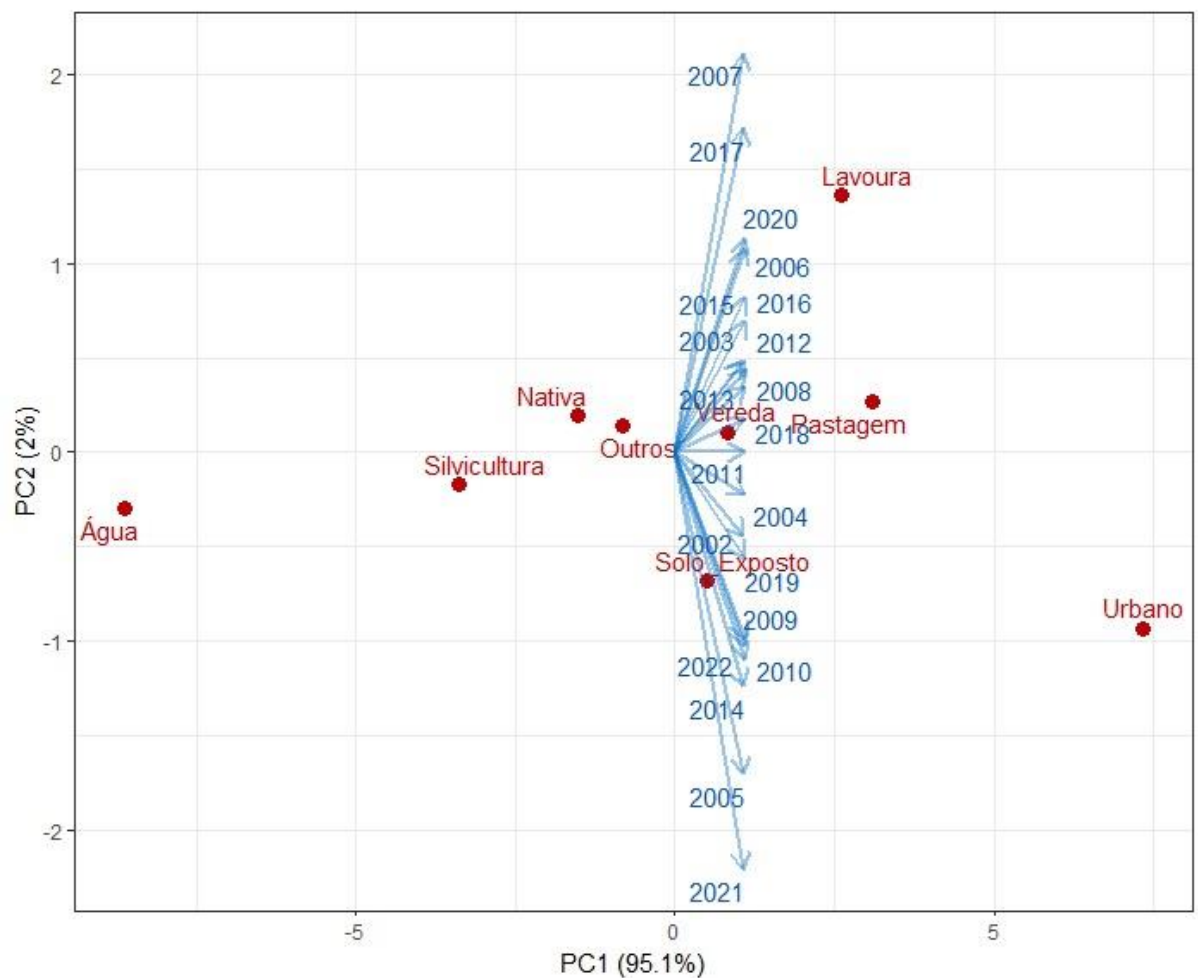


Figura 6. Análise de componentes principais para os anos de 2002 a 2022 para as áreas de: Água, Lavoura, Nativa, Pastagem, Silvicultura, Solo Exposto, área urbana, Vereda e outros.

Áreas definidas como água, área urbana e solo exposto obtiveram vetores longos, indicando variação dos dados. As mudanças de temperaturas nessas áreas foram mais significativas ao longo dos anos. Por outro lado, áreas como lavoura, pastagem, vereda e floresta nativa apresentaram setas mais curtas, indicando que contribuíram menos para a variação total, ou seja, as temperaturas foram mais estáveis em comparação com outras áreas. De tal maneira, a ocupação do solo, ainda que para uso como fins comerciais, são significativamente mais positivas do ponto de vista térmico, comparados ao solo desprotegido e a impermeabilidade urbana.

Os pontos no gráfico corresponderam aos anos de 2002 a 2022. A distância entre os

pontos reflete a similaridade entre as médias anuais de temperatura em cada ano para todas as áreas. Anos mais próximos no gráfico, como 2004, 2005 e 2014, indicaram médias de temperatura próximas. Por outro lado, anos como 2012, 2015 e 2021 apareceram mais distantes, o que sugere que foram anos de maior variação, com comportamentos diferentes em termos de temperatura, especialmente em áreas urbanas e hídricas.

O gráfico mostra dois eixos principais, representando os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2), que são responsáveis pela maior parte da variabilidade dos dados. A direção das setas em relação aos eixos principais ajuda a identificar as áreas com maior influência na variação explicada por cada componente. Por exemplo, áreas de água e solo exposto parecem ter maior influência na primeira componente (PC1), enquanto pastagem e lavoura estão mais alinhadas com o segundo componente (PC2).

O ano de 2012 foi considerado outliers, pois demonstrou picos de temperatura, principalmente em áreas urbanas (com até 45.53°C). O ano de 2021 também se destacou com temperaturas elevadas em várias áreas, contribuindo para localização distante dos anos mais próximos à média.

A Análise de Componentes Principais (PCA) evidenciou como diferentes áreas contribuíram para a variabilidade nas médias anuais de temperatura entre 2002 e 2022. Áreas como área urbana, água, e solo exposto demonstraram maiores variações ao longo do tempo, com temperaturas oscilando entre 4 e 5° C. Enquanto floresta nativa, vereda, e pastagem mantiveram temperaturas estáveis. Anos como 2012 e 2021 se comportaram como anos atípicos, com mudanças significativas nas temperaturas, especialmente nas áreas urbanas. Essa análise complementou a tabela fornecida, reforçando que o uso do solo e o tipo de cobertura influenciaram na variação das temperaturas ao longo dos anos.

Os resultados sugeriram que áreas com vegetação, mesmo quando destinadas à atividade comercial, exercem papel regulador na temperatura em comparação com as superfícies impermeáveis como as áreas urbanas, ou desprotegidas como solo exposto.

A Figura 7 referiu-se à Correlação de Pearson entre as temperaturas médias anuais das diferentes áreas avaliadas (Água, Lavoura, Nativa, Pastagem, Silvicultura, Solo Exposto, Área Urbana, Vereda e Outros

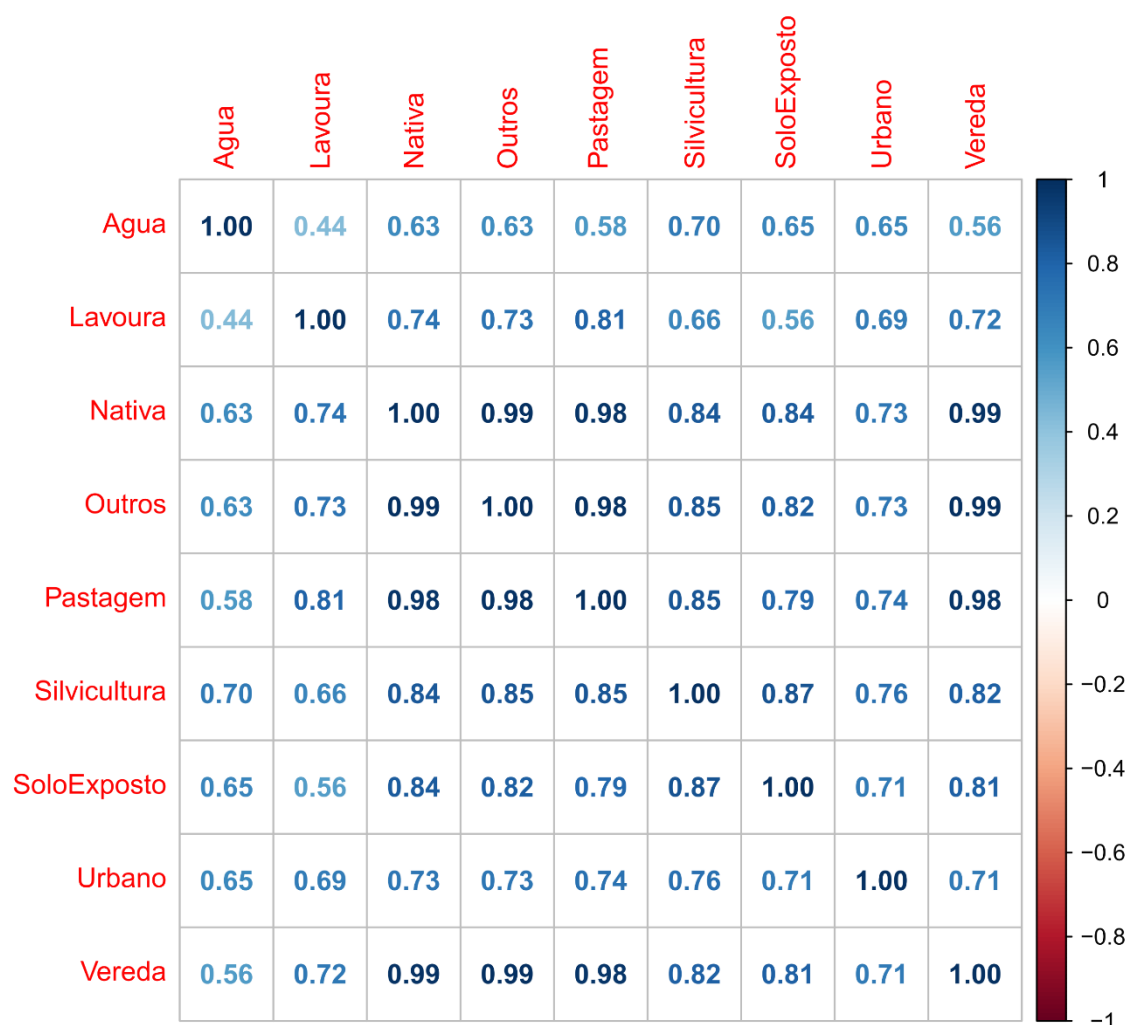


Figura 7. Correlação de Pearson entre a temperatura e as áreas avaliadas: Água, Lavoura, Nativa, Pastagem, Silvicultura, Solo Exposto, área urbana, Vereda e outros indicando similaridade ou não de comportamentos térmicos entre os tipos de uso e ocupação .

Áreas como pastagem e solo exposto apresentaram uma correlação alta, já que ambas têm uso intensivo do solo e tendem a reter calor de maneira semelhante. A área urbana, que obtiveram as maiores temperaturas exemplificadas anteriormente, demonstrou alta correlação com áreas adjacentes, como solo exposto e lavoura, que também refletiram em impactos diretos de atividades humanas. Áreas como água e floresta nativa, que possuem coberturas mais naturais e menos influenciadas pela urbanização e manejo humano, apresentaram correlações mais baixas com áreas altamente urbanizadas ou de solo exposto. Essas áreas possuem flutuações de temperatura que não acompanham o aquecimento típico das áreas de pastagem ou área urbana.

A área de água indicou correlação mais baixa com áreas urbanas e de pastagem, já que a água tende a manter temperaturas mais estáveis e com menor amplitude térmica. Floresta nativa

e vereda demonstraram correlações mais próximas entre si, pois ambas são áreas consideradas naturais. Da mesma forma, a correlação com áreas altamente modificadas pelo homem, como as áreas urbanas e de lavoura, foi menor, pois são mais impactadas por atividades humanas, como desmatamento e urbanização, o que resultou em variações de temperatura mais acentuadas.

Foi observado no teste uma correlação positiva entre área urbana, solo exposto e pastagem, devido ao uso intensivo do solo e aumento das temperaturas em resposta ao calor retido em superfícies expostas. Em contrapartida, o mesmo teste indicou uma correlação menor entre a água e as áreas citadas no item anterior, já que os corpos d'água tendem a ter uma temperatura mais estável em comparação com as áreas urbanas, que retêm mais calor.

A Correlação de Pearson ajuda a identificar como as variações de temperatura em uma área influenciam outras áreas. Isso pode ser útil para entender o impacto de práticas de uso do solo e urbanização nas temperaturas médias. A correlação alta entre áreas urbanas e solo exposto sugere que essas contribuem para o aquecimento, enquanto áreas como floresta nativa e floresta plantada mantêm correlações mais baixas, refletindo sua capacidade de mitigar variações térmicas extremas.

A Figura 8 representa quais tipos de ocupação aumentaram durante o período estudado e sobre quais áreas foram esses aumentos, é possível observar uma tendência clara de conversão de áreas de pastagem para silvicultura ao longo dos anos. Entre 2002 e 2022, a tabela revela uma mudança significativa na distribuição de áreas ocupadas por pastagem e silvicultura, com uma clara redução de pastagem e um expressivo aumento das áreas destinadas à silvicultura, enquanto as demais ocupações se mantiveram praticamente constantes.

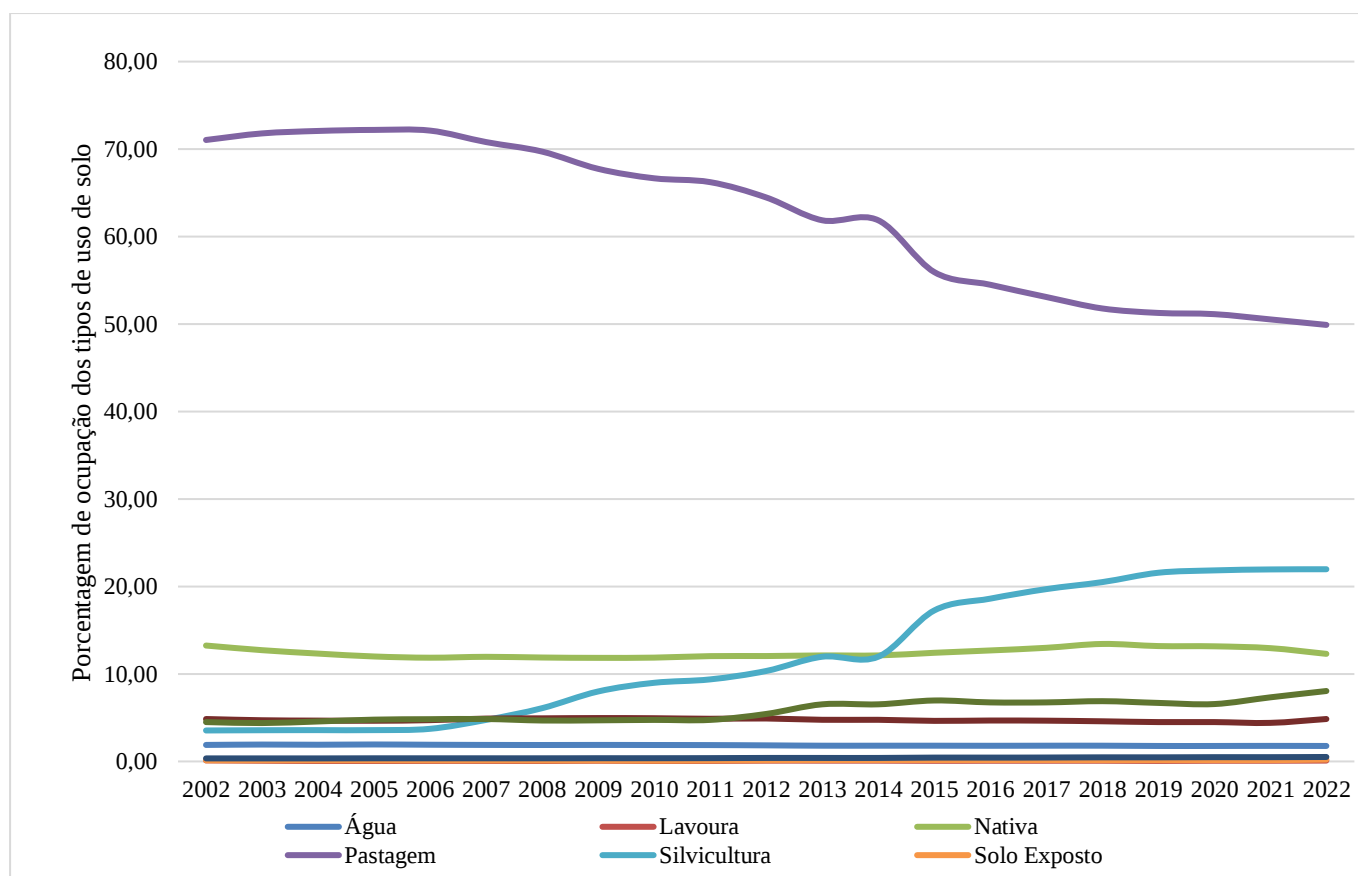


Figura 8: Variação da porcentagem dos tipos de ocupação de solo ao longo dos 21 anos estudados, demonstrando o avanço de áreas de floresta plantada sobre as de pastagem enquanto observa-se a manutenção das áreas de floresta nativa no mesmo período.

Em 2002, a área de pastagem representava 71,04% do território, enquanto em 2022 esse valor caiu para 49,90%. Essa redução de 21,14% ao longo de duas décadas destaca um processo contínuo de transição. A diminuição é mais acentuada a partir de 2012, indicando que as mudanças no uso do solo ocorreram de forma mais intensa nesse período, período em que se consolidou a instalação de multinacionais na região, o que impulsionou a expansão da silvicultura.

Paralelamente, as áreas de silvicultura, que ocupavam 3,54% do território em 2002, cresceram para 21,97% em 2022, um aumento de mais de seis vezes. O crescimento mais expressivo ocorreu a partir de 2007, quando a silvicultura começou a aumentar rapidamente, atingindo picos de mais de 20% nos anos mais recentes.

Fazendo uma análise comparativa entre as temperaturas médias anuais e os tipos de ocupação do solo, evidencia-se importantes vantagens térmicas associadas à silvicultura quando comparadas às áreas de pastagem. Durante o período de estudo, as áreas de pastagem

sofreram maiores médias de temperatura de superfície, enquanto as áreas de silvicultura apresentaram uma regulação térmica mais eficiente. Em 2002, a temperatura média nas áreas de pastagem era de 41,65°C, enquanto nas áreas de silvicultura era 37,42°C. Já no ano de 2022, a temperatura média das áreas de pastagem foi de 37,10°C, em comparação com 34,30°C nas áreas de silvicultura.

DISCUSSÃO

A variação das temperaturas de superfície com base no tipo de uso de solo evidencia o efeito das ilhas de calor, fenômeno observado em cidades de médio e grande porte. As áreas urbanizadas apresentam maior cobertura de superfícies impermeáveis e tendem a absorver e reter mais calor, resultando nas temperaturas mais elevadas quando comparadas as demais áreas vegetadas ou cobertas por corpos d'água (Santamouris *et al.*, 2021).

Como observado em estudos, a temperatura em áreas compostas por água, raramente ultrapassa 34°C. Isso reforça a importância da preservação de zonas verdes e corpos d'água nas proximidades de áreas urbanas para mitigar as ilhas de calor (Yang *et al.*, 2022; Alikhani *et al.*, 2021 e Sharma, 2021).

O teste de Mann-Kendall é amplamente utilizado em séries temporais ambientais e permite identificar tendências de aumento ou diminuição nas temperaturas de superfície ao longo do tempo. Os aumentos são impulsionados pela degradação da cobertura vegetal natural e pelo aumento da exposição do solo, intensificando a absorção de radiação solar e a consequente elevação das temperaturas locais (Rahman *et al.*, 2021).

Neste estudo, embora nenhuma das classes de uso tenham apresentado variações significativas estatisticamente, áreas com cobertura hídrica, lavouras e floresta plantada, mostraram tendências mais baixas quando comparadas aos outros tipos de uso (valores entre 0,17 e 0,41), sugerindo menor variação nas temperaturas. Isso se deve à capacidade de mitigação térmica proporcionada pela vegetação e pelos corpos d'água. Um estudo recente apontou que áreas com vegetação manejada, como florestas de eucalipto, desempenham um papel relevante no controle do aquecimento local, desde que manejadas de forma sustentável (Li *et al.*, 2022).

Com relação ao teste de Pettit, embora fatores como degradação da cobertura vegetal e aumento da exposição ao calor solar, sejam processos comumente relacionados às mudanças climáticas ou desmatamento (Chen *et al.*, 2021). Este estudo também não apresentou tendências significativas em nenhuma classe de uso, indicando que não houve aquecimento,

nem resfriamento das áreas neste período.

A estabilidade observada, principalmente, em cursos hídricos e áreas de silvicultura, onde não apresentou-se valores mais constantes, reforçam o papel das florestas plantadas como reguladores térmicos. A presença de árvores de crescimento controlado, por manter uma evapotranspiração constante, pode contribuir para a estabilização da temperatura de superfície, indicando que práticas de manejo sustentável nas florestas plantadas podem atuar na mitigação das variações de temperatura em médio e longo prazo (Wang & Zhang, 2022).

A confirmação dessa estabilidade é facilmente comprovada com a média aritmética simples das temperaturas, indicando que as condições climáticas podem se manter relativamente estáveis, mesmo com a presença de fatores de urbanização ou uso do solo. Um outro estudo recente aponta que a variação nas temperaturas de superfície podem ser limitadas pela resiliência climática em algumas regiões ou pelo tipo de ocupação do solo, com áreas com cobertura de água e vegetação manejo, como as florestas plantadas, que ajudam a regular o microclima e a mitigar mudanças bruscas de temperatura (Smith & Lee, 2022; Johnson *et al.*, 2021).

Segundo Makarieva *et al.*, (2023), a vegetação desempenha um papel essencial na regulação climática local, reduzindo as variações térmicas diárias e sazonais devido à maior retenção de umidade e ao sombreamento natural. As superfícies expostas ou impermeáveis, como solo exposto e áreas urbanas, tem menor capacidade de refletir a radiação solar, contribuindo para o aumento da temperatura local e regional.

A análise dos anos destacados no gráfico da PCA reforça a ideia de que variações anuais de temperatura podem ser influenciadas por fatores como urbanização e disponibilidade de recursos hídricos, em especial nos anos de maior dispersão como 2012, 2015 e 2021. Esses anos possivelmente refletem efeitos climáticos pontuais, como mudanças na umidade urbana e intensificação das ilhas de calor, que tendem a elevar as temperaturas em áreas urbanas e aquáticas.

Um estudo recente de Kellet *et al.*. (2023), indicou que áreas urbanizadas exibem uma variabilidade térmica elevada, acentuada pela ausência de vegetação que regula o calor, além da presença de superfícies impermeáveis que acumulam o mesmo. Essas mudanças reforçam a importância de práticas sustentáveis e da restauração de áreas verdes para mitigar o aumento de temperatura em ambientes urbanos.

A análise dos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2) mostra que a PCA não apenas reduz a dimensionalidade, mas também revela como diferentes áreas contribuem para a variabilidade térmica ao longo dos anos. A influência das áreas de água e solo exposto na

PC1 reflete como a variabilidade de temperatura nessas áreas dominou o comportamento geral dos dados, enquanto a pastagem e a lavoura contribuíram mais para a PC2, sugerindo uma influência diferente, provavelmente relacionada a capacidade de retenção térmica de cada tipo de solo e cobertura.

O ano de 2012, com picos de temperatura nas áreas urbanas, e o ano de 2021, também atípico, ressaltam os impactos do efeito de ilha de calor urbano e mudanças climáticas extremas. Kellett *et al* (2023) apresentou também que anos de alta variação térmica podem estar associados a eventos climáticos extremos, como ondas de calor, que afetam principalmente áreas urbanizadas e superfícies expostas devido a menor evapotranspiração e alta capacidade de absorção de temperatura.

A Análise de Componentes Principais (PCA) demonstra a importância do solo na variação das temperaturas ao longo dos anos, com áreas urbanas, aquáticas e de solo exposto exibindo maiores flutuações térmicas. Já áreas com vegetação nativa, pastagem, veredas e florestas plantadas apresentaram maior estabilidade térmica. Anos como 2012 e 2021 destacam-se por variação térmicas atípicas, especialmente nas áreas urbanas que são fortemente influenciadas por fatores como impermeabilidade do solo e o aumento da urbanização. Um estudo recente reforçou a ideia de que o uso do solo e a cobertura têm impacto direto nas mudanças de temperatura. (Jandaghian & Colombo, 2024).

A análise da correlação de Pearson entre as médias anuais de temperatura das diferentes áreas mostra como o uso do solo influencia as interações térmicas. A correlação positiva alta entre pastagem e solo exposto, por exemplo, reflete comportamento térmico semelhante de áreas intensamente usadas, que tendem a reter calor.

A alta correlação entre áreas urbanas e próximas, como solo exposto e lavoura, indica que atividades antrópicas afetam não apenas as áreas diretamente urbanizadas mas também as adjacentes. Destacando o efeito de aquecimento, especialmente em superfícies desprotegidas.

O mesmo estudo de Jandaghian, indicou que esse aquecimento em áreas urbanas e expostas influenciam diretamente nas ilhas de calor urbano e intensificam a necessidade de estratégias de resfriamento, como incorporação de vegetação para reduzir transferências de calor (Jandaghian & Colombo, 2024).

Para abordar o papel de áreas naturais, como corpos d'água e vegetação nativa, em relação a estabilidade térmica, é interessante observar que existem estudos enfatizando como essas áreas contribuem para a redução dos extremos de temperatura, contrastando, obviamente, com áreas urbanas. O efeito citado se deve a alta capacidade térmica da água e evapotranspiração vegetal, que atuam reduzindo o calor em dias alta radiação solar (Wang &

Zhang, 2022).

Para entender a influência da correlação entre áreas de uso intensivo do solo, como áreas urbanas e solo exposto, e seu impacto nas temperaturas, um outro estudo aponta a contribuição significativa das superfícies impermeáveis no aumento das temperaturas locais. Superfícies como concreto e asfalto absorvem e liberam calor de forma mais intensa, criando "ilhas de calor" que afetam as áreas adjacentes (Oke, 2023; Santamouris *et al.*, 2022). Esse efeito leva a uma alta correlação positiva entre essas áreas, especialmente em relação às variações térmicas.

Por outro lado, áreas aquáticas e florestas nativas tendem a mostrar uma correlação mais baixa com essas superfícies urbanas devido à estabilidade térmica proporcionada pela evapotranspiração e pela retenção de umidade em ambientes naturais. Isso reduz o aquecimento extremo, criando uma zona de amortecimento térmico que ajuda a moderar as temperaturas, mesmo em regiões urbanizadas próximas (Peters *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2023).

Existe a informação de que plantações de eucalipto podem sequestrar entre 10 e 20 toneladas de carbono por hectare anualmente. Comparativamente, a pecuária é uma fonte importante de gases relacionados ao efeito estufa. Outro estudo (Souza *et al.*, 2022) indicaram que práticas como a interligação com outras espécies nativas e o uso de técnicas de manejo adaptativo, potencializam ainda os benefícios ambientais associados ao eucalipto, mantendo o equilíbrio dos ecossistemas e promovendo uma abordagem mais sustentável de captura de carbono.

Para fortalecer a afirmação apresentada nos ultimos dois parágrafos, podemos citar a pesquisa de Fagan *et al.*, (2022), publicada na Nature Sustainability, onde é destacado que plantações de árvores, incluindo eucaliptos, podem ser benéficas no combate a mudanças climáticas. Vale enfatizar que um plantio estratégico maximiza o potencial de sequestro de carbono e danos ecológicos são minimizados.

Para fundamentar a afirmação sobre os efeitos do uso da terra em temperaturas de superfície, o National Climate Assessment (2023) aponta que áreas florestas apresentam temperaturas de superfície mais baixas em comparação com pastagens, por favores como evapotranspiração e sombreamento. Esse efeito de resfriamento ajuda a reduzir o impactos de ilhas de calor em áreas rurais, oferecendo benefícios ambientais em termos de resiliencia e adaptação climática.

Os estudos de Hasnat *et al.*. (2021) e Xu e Gao (2019) mostraram que mudanças de cobertura vegetal influenciam diretamente na temperatura, com florestas exercendo um papel de resfriamento ao longo do tempo. As mesmas pesquisas apontaram que florestas plantadas em locais antes ocupados por pastagem podem diminuir a temperatura local, devido ao aumento

da umidade e sombreamento, reforçando a importância da silvicultura como prática benéfica para o clima e para a redução do aquecimento de superfície, principalmente quando comparados a pastagem.

Outro exemplo recente é o relatório da EPA (Environmental Protection Agency) dos Estados Unidos, onde ficou destacada a cobertura arbórea nas cidades, por meio de arborização e reflorestamento, tem reduzido temperaturas em até 10°C se comparadas a superfícies expostas. Esses efeitos são replicados em zonas rurais, mostrando a relevância da silvicultura como ferramenta de mitigação climática em áreas antes ocupadas por pecuária ou pastagem (EPA, 2024).

A redução nas temperaturas em áreas de silvicultura pode ser atribuída a vários fatores, dentre eles, a cobertura arbórea e sombreamento. As áreas de silvicultura, neste caso compostas por Eucalyptus, fornecem uma maior cobertura vegetal, o que contribui para o sombreamento do solo e a redução da absorção direta de radiação solar. Em contraste, as áreas de pastagem, predominantemente cobertas por gramíneas, expõem o solo a maior radiação, o que eleva a temperatura.

Outro fator determinante é a evapotranspiração. As árvores em áreas de silvicultura têm um papel importante no processo de evapotranspiração, onde a água absorvida pelas raízes é liberada para a atmosfera pelas folhas, contribuindo para o resfriamento do ar em torno dessas áreas. Esse fenômeno é menos pronunciado em áreas de pastagem, que têm uma menor biomassa por unidade de área.

Essas informações vão de encontro ao estudo de Biondi *et al.*, (2023), que destaca como a cobertura arbórea e o sombreamento proporcionados pelas florestas plantadas são fundamentais para a diminuição da radiação solar direta no solo, além do fato de que a evapotranspiração citada contribui significativamente para o resfriamento do ar circundante, efeitos menos pronunciados se comparados a pastagens devido à sua menor biomassa.

Neste ano foram notados, além do aumento das temperaturas de superfície, secas prolongadas e outros impactos climáticos adversos, especialmente na região sul do Brasil, onde houve relatos das secas mais severas. A NOAA (Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos EUA) foram responsáveis pela documentação desses fenômenos citados.

Com base nos dados fornecidos Figura 8, é possível observar uma tendência clara de conversão de áreas de pastagem para silvicultura ao longo dos anos. Entre 2002 e 2022, a tabela revela uma mudança significativa na distribuição de áreas ocupadas por pastagem e silvicultura, com uma clara redução de pastagem e um expressivo aumento das áreas destinadas à silvicultura, enquanto as demais ocupações se mantiveram praticamente constantes.

A transição indicada no gráfico representado pela Figura 8, esta associada ao aumento da demanda por celulose na região, que é um produto derivado das florestas de Eucalyptus, matéria prima essencial para as empresas Fibria e ElDorado Brasil. O crescimento da silvicultura contribui, significativamente, para o sequestro de carbono e a mitigação dos intempéries climáticos.

Em contrapartida, as áreas de pastagem diminuíram de 71,04% em 2002 para 49,90% em 2022. Essa conversão gradual sugere que o manejo florestal tem substituído a pecuária extensiva, o que contribui diretamente para uma regulação térmica mais eficiente, conforme evidenciado pelas menores médias de temperatura nas áreas de silvicultura.

Essa conversão pode ser considerada nacional, já que, segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), a área coberta por plantações de eucalipto no BRASIL cresceu significativamente, passando de 4,2 milhões de hectares em 2015 para 7,6 milhões de hectares em 2019. Expansão impulsionada por empresas do setor de papel e celulose.

Apesar deste aumento, o estudo de Inkotte *et al.*, (2024), afirma que a expansão das plantações de eucalipto no Brasil, especialmente no Mato Grosso do Sul, não necessariamente resultou na diminuição das áreas de floresta nativa. O gráfico indicou que este aumento ocorre, em grande parte, nas áreas anteriormente utilizadas por pastagem. Este estudo destaca que as monoculturas estão sendo implantadas em terrenos já alterados, preservando a vegetação nativa.

A Environmental Paper Network, lançou em 2024, um artigo que aponta a substituição de pastagens por plantações de eucalipto não implicaram em uma redução correspondente de floresta nativa, mas sim uma transformação do uso da terra. Essa dinamica ressalta a complexidade das mudanças de uso do solo e suas implicações na biodiversidade e manejo sustentável do solo.

CONCLUSÕES

O uso do solo tem um impacto direto e significativo nas temperaturas de superfície ao longo dos anos. Áreas urbanas, caracterizadas pela impermeabilidade e retenção de calor, destacam-se com as temperaturas mais elevadas, especialmente em anos como 2012, quando as temperaturas ultrapassam 45°C. Em contraste, áreas naturais, como cursos d'água, vegetação nativa e florestas plantadas apresentam temperaturas mais amenas e estáveis, refletindo sua capacidade de mitigar o aquecimento.

Com base na análise comparativa das temperaturas e da ocupação do solo, é possível concluir que a conversão de áreas de pastagem para silvicultura ao longo dos últimos 20 anos

trás claras vantagens térmicas para a região. As áreas de silvicultura, além da considerável vantagem com relação ao sequestro de CO₂, apresentam temperaturas consistentemente mais amenas em comparação com as áreas de pastagem, destacando sua capacidade de mitigar extremos de calor e regular o microclima local.

O crescimento das áreas de silvicultura, de 3,54% em 2002 para 21,97% em 2022, contrastando com a redução das áreas de pastagem, que caíram de 71,04% para 49,90% no mesmo período, reflete uma mudança significativa no uso da terra. Essa transição não só oferece benefícios econômicos, como também resultou nas vantagens ambientais e climáticas observadas e ponderadas na discussão deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. "Análise do crescimento da silvicultura no Brasil." **Relatório 2020**. Disponível aqui.

ALIKHANI, SOMAYEH; NUMMI, PETRI; OJALA, ANNE. Urban wetlands: A review on ecological and cultural values. *Water*, [S.l.], v. 13, n. 22, p. 3301, 2021. DOI: 10.3390/w13223301.

BERRY, R. The evolution of Google Earth in spatial analysis. **Environmental Modelling Journal**, 2021.

BIONDI, F., MEKO, D. M., & PIOVESAN, G. (2023). Maximum tree lifespans derived from public-domain dendrochronological data. *iScience*, 26(3), 106138. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106138>

BRASIL ESCOLA. El Niño: o que é, como ocorre, diferença com o La Niña. Disponível em: <https://brasile scola.uol.com.br/geografia/el-nino.htm>. Acesso em: 19 dez. 2024

CHEN, J., ZHANG, Y., & LI, J. (2021). Assessing Abrupt Temperature Changes and the Role of Land Use Types Using Pettitt Test Analysis. **Environmental Science & Technology**, 55(12), 7890-7897.

CLIMATE ASSESSMENT. 2023. Disponível em: <https://nca2023.globalchange.gov>. Acesso em 5 de novembro de 2024.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>.

COSTA, F.; PEREIRA, J. ISO 14001 e a conformidade ambiental: um estudo de caso. Brasília: **Editora Técnica**, 2021.

EMBRAPA. A evolução da agricultura brasileira e o uso da tecnologia. Disponível em: <https://www.embrapa.br>.

EMBRAPA. Zoneamento Agrícola: **Condições Climáticas e Culturas no Brasil**. 2020.

ENVIRONMENTAL PAPER NETWORK. (2024). Brazil: brand new pulp mill, the same old story.

FAGAN, M. E., KIM, D.-H., SETTLE, W., FERRY, L., DREW, J., CARLSON, H., SCHAFERBIEN, J., TYUKAVINA, A., HARRIS, N. L., GOLDMAN, E., & ORDWAY, E. M. (2022). The expansion of tree plantations across tropical biomes. **Nature Sustainability**. doi: 10.1038/s41893-022-00904-w.

GOMES, J. Expansão da pecuária no Pantanal e os impactos socioeconômicos. **Pesquisa Agropecuária**, 2019.

HASNAT, M., CHOWDHURY, M. S., HOQUE, M. A., & UDDIN, M. S. "Effects of forestation on local temperature reduction: a case study of rural areas with pasture conversion." **Journal of Environmental Management**, vol. 289, 2021, pp. 112-118. doi:10.1016/j.jenvman.2021.112118.

MDPI. "Increased Sensitivity and Accelerated Response of Vegetation to Water Variability in China from 1982 to 2022." 2022. Disponível em: www.mdpi.com.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório anual 2022: principais dados do setor de árvores cultivadas. Brasília, 2022.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório anual 2022. São Paulo: IBÁ, 2022. Disponível em: <https://iba.org/>. Acesso em: 19 dez. 2024.

INKOTTE, J., BOMFIM, B., GONÇALVES DA ROSA, M., VALADÃO, M. B. X., GATTO, A., SANTOS, J. A., & PEREIRA, R. S. (2024). Changes in Land Use through Eucalyptus Plantations Impact Soil Fauna Communities in Brazilian Savannas. **Sustainability**, 16(7), 2943.

JANDAGHIAN, Z.; COLOMBO, A. The Role of Water Bodies in Climate Regulation: Insights from Recent Studies on Urban Heat Island Mitigation. **MDPI**, 2024.

JOHNSON, T., CLARK, M., & EVANS, R. (2021). Trends in Surface Temperature Change: Analyzing Stability across Land-Use Types. **Global Environmental Change**, 67, 102348.

KELLETT, R.; ELLISON, D.; et al. Urban climate resilience through green infrastructure: mitigating heat and managing water. **Frontiers in Environmental Science**, 2023.

LI, X., WANG, L., & CHEN, X. (2022). Forest Plantations and Temperature Regulation: Potential Climate Mitigation in Land Use Management. **Agricultural and Forest Meteorology**, 314, 108817.

MAKARIEVA, A. M.; GORSHKOV, V. G.; SHEIL, D.; et al.. Re-appraisal of the global climatic role of natural forests for improved climate projections and policies. **Frontiers in Forests and Global Change**, 2023.

NATIONAL CLIMATE ASSESSMENT (2023). U.S. Global Change Research Program. **Climate Change Impacts**, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National

NOAA. "What is El Niño?" National Oceanic and Atmospheric Administration, 2023. Disponível em: <https://www.noaa.gov/what-is-el-nino>. Acesso em 5 de novembro de 2024.

OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*. 3ª edição. **Routledge**, 2023.

OLIVEIRA, R. et al. Manejo sustentável da seringueira e suas implicações na economia regional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2020.

OLIVEIRA, M.; PEREIRA, L. A pecuária de corte em Mato Grosso do Sul e o uso de tecnologias sustentáveis. **Revista de Economia e Sustentabilidade**, 2020.

PEREIRA, A. et al. Tecnologia e os novos desafios da agricultura de precisão no Brasil. **Agronegócio em Foco**, 2020.

PEREIRA, L.; SANTOS, J. Eucalyptus e o controle de erosão em áreas degradadas. **Estudos de Reflorestamento**, 2020.

PETERS, K.; KIEFER, H.; LEE, X. Impact of Urban Canopy and Water Bodies on Local Temperature Variability. **Climate**, v. 10, n. 4, 2022.

RAHMAN, M. A., ARMSON, D., & ENNOS, A. R. (2021). Surface Temperature Variability in Response to Urban Land Use Types in a Changing Climate. **Environmental Monitoring and Assessment**, 193(4), 236.

RIBEIRO, A.; CASTRO, V. Práticas de gestão ambiental: uma abordagem sustentável. Belo Horizonte: **Editora Verde**, 2018.

SANTAMOURIS, M., HADDAD, S., FIORITO, F., OSMOND, P., & PAOLINI, R. (2021). The Role of Urban Surfaces in Mitigating Urban Heat Island Effects in Cities. **Journal of Environmental Management**, 290, 112578.

SANTOS, L.; OLIVEIRA, M. Sustentabilidade e competitividade no setor produtivo. Rio de Janeiro: **Editora Sustentável**, 2020.

SANTOS, L. P.; SOUZA, F. A. A expansão do cultivo da seringueira no Brasil Central: uma análise de caso em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Agrofloresta**, 2021.

SHARMA, S. Urban heat island – causes, consequences, and mitigation. **ClimateSmart Cities Assessment Framework**, [S.l.], 2021.

SILVA, J.; ALMEIDA, R. Certificações florestais e mercado global. São Paulo: **Editora Ambiental**, 2019.

SILVA, R.; MENEZES, T. Reflorestamento com Eucalyptus em áreas degradadas: um estudo de caso no Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, 2021.

SILVA, J.; PEREIRA, L. Advancements in QGIS and open-source GIS technologies. **Geospatial Analysis Review**, 2020.

SMITH, R. J., & LEE, H. (2022). Assessing Temperature Stability and Climate Resilience in Land-Use Categories through Temporal Analysis. **Journal of Environmental Studies**, 42(2), 157-165.

SOUZA, D., PEREIRA, M., & SILVA, R. (2022). Carbon Accumulation and Partitioning Above and Belowground under Eucalyptus Plantations. **Forest Science**, 68(2), 162-176.

U.S. Environmental Protection Agency. Using Trees and Vegetation to Reduce Heat Islands. 2024. Disponível em: <https://www.epa.gov/heatislands/using-trees-and-vegetation-reduce-heat-islands>. Acesso em 5 de novembro de 2024.

WANG, F., & ZHANG, X. (2022). The Stabilizing Effect of Managed Forests on Surface Temperature: Insights from Longitudinal Data Analysis. **Journal of Climate and Environmental Science**, 31(7), 2198-2207.

WANG, H.; ZHANG, L. Impact of Urbanization and Climate Change on Urban Temperatures and Environmental Stability in China. **Environmental Research Letters**, 2023.

XU, T. E GAO, J. "The cooling benefits of urban forests in different climates and regions: A meta-analysis." **Urban Forestry & Urban Greening**, vol. 44, 2019, pp. 126-138. doi:10.1016/j.ufug.2019.126138.

YANG, J., ZHAO, L., MCCAUGHEY, J. H., & ZHANG, Q. (2022). Urban Heat Island Reduction through Urban Green Spaces and Water Bodies: **A Meta-Analysis Approach**. *Landscape and Urban Planning*, 223, 104405.