

EFEITOS ECONÔMICOS E ECOLÓGICOS DA SUBSTITUIÇÃO DE USO DO SOLO POR PLANTIOS DE EUCALIPTO

Eduardo Henrique Batista **Marcelino**¹, Klaus de Oliveira **Abdala**²

(1 - Universidade Federal de Goiás – UFG, ehrique96@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-4447-8970>; 2 - Universidade Federal de Goiás – UFG, agroklaus@ufg.br, <https://orcid.org/0000-0002-6466-9905>)

Resumo: Este estudo aborda os impactos econômicos e ecológicos da expansão da silvicultura de eucalipto em Goiás, considerando a fragilidade ambiental e o valor bruto da produção (VBP) como um indicadores-chave. Incorporando metodologias de uso corrente para análise de fragilidades, avalia a vulnerabilidade dos ambientes naturais a partir de dados pedológicos, geológicos, de relevo e pluviométricos, provenientes da mudança dos diferentes usos do solo, para plantio comercial de eucalipto, entre os anos de 2015 e 2023. Os resultados evidenciaram que Goiás possui aproximadamente 138,9 mil hectares de plantações de eucalipto, com distribuição diversificada em termos de fragilidade ambiental. A maioria das áreas está na categoria de fragilidade média (28,5%), seguida por áreas de alto grau de fragilidade (22,6%). Essas áreas de eucalipto abrangem diferentes níveis de risco ambiental, desde baixo até alto risco, com destaque para classes de muito baixo (18,8%) e muito alto (16,5%). A análise econômica baseada no (VBP) revelou que as culturas anuais apresentaram resultado líquido negativo quando substituídas por eucalipto. Esses resultados fornecem insights importantes para o planejamento e gestão sustentável das áreas de silvicultura de eucalipto em Goiás.

Palavras-chave: Expansão da silvicultura de eucalipto, Fragilidade ambiental, Impactos econômicos.

ECONOMIC AND ECOLOGICAL EFFECTS OF REPLACING LAND USE WITH EUCALYPTUS PLANTS

Abstract: This study addresses the economic and ecological impacts of the expansion of eucalyptus forestry in Goiás, considering environmental fragility and the gross value of production (VBP) as key indicators. Incorporating commonly used methodologies for analyzing weaknesses, it assesses the vulnerability of natural environments based on pedological, geological, relief and rainfall data, resulting from the change in different soil uses, for commercial planting of eucalyptus, between the years 2015 and 2023. The results showed that Goiás has approximately 138.9 thousand hectares of eucalyptus plantations, with a diverse distribution in terms of environmental fragility. The majority of areas are in the medium fragility category (28.5%), followed by areas with a high degree of fragility (22.6%). These eucalyptus areas cover different levels of environmental risk, from low to high risk, with emphasis on very low (18.8%) and very high (16.5%) classes. The economic analysis based on (VBP) revealed that annual crops showed a net negative result when replaced by eucalyptus. These results provide important insights for the sustainable planning and management of eucalyptus forestry areas in Goiás.

Keywords: Expansion of eucalyptus forestry, Environmental fragility, Economic impacts.

EFFECTOS ECONÓMICOS Y ECOLÓGICOS DEL REEMPLAZO DEL USO DEL SUELO POR PLANTAS DE EUCALIPTO

Resumen: Este estudio aborda los impactos económicos y ecológicos de la expansión de la silvicultura de eucalipto en Goiás, considerando la fragilidad ambiental y el valor bruto de producción (VBP) como indicadores clave. Incorporando metodologías comúnmente utilizadas para el análisis de debilidades, evalúa la vulnerabilidad de ambientes naturales con base en datos pedológicos, geológicos, de relieve y de precipitaciones, resultantes del cambio en los diferentes usos del suelo, para la siembra comercial de eucalipto, entre los años 2015 y 2023. Los resultados mostraron que Goiás tiene aproximadamente 138,9 mil hectáreas de plantaciones de eucalipto, con una distribución diversa en términos de fragilidad ambiental. La mayoría de las zonas se encuentran en la categoría de fragilidad media (28,5%), seguidas de zonas con un alto grado de fragilidad (22,6%). Estas áreas de eucalipto cubren diferentes niveles de riesgo ambiental, desde riesgo bajo hasta alto, con énfasis en las clases muy bajo (18,8%) y muy alto (16,5%). El análisis económico basado en (VBP) reveló que los cultivos anuales mostraron un resultado neto negativo al ser

reemplazados por eucalipto. Estos resultados proporcionan conocimientos importantes para la planificación y gestión sostenible de áreas forestales de eucalipto en Goiás.

Palabras Clave: Expansión de la silvicultura de eucalipto, Fragilidad ambiental, Impactos económicos.

Introdução

De acordo com dados da Food and Agriculture Organization (FAO, 2020), as florestas globais ocupam uma área total de 4,0 bilhões de hectares. Dentre essa extensão, 3,74 bilhões de hectares são representados por florestas nativas, o que equivale a 93% do total. Por sua vez, a cobertura florestal plantada corresponde a 291 milhões de hectares, representando os restantes 7%. As nações com as maiores extensões de florestas plantadas são a China, com 85 milhões de hectares, seguida pelos Estados Unidos, com 28 milhões de hectares, e a Rússia, com 19 milhões de hectares. O Brasil ocupa a oitava posição nesse ranking, com uma extensão de 9,93 milhões de hectares.

O setor de florestas plantadas no Brasil não apenas constitui uma extensa parcela territorial, abrangendo cerca de 9,93 milhões de hectares, mas também representa significativa contribuição econômica. Dentro desse panorama, os plantios de eucalipto emergem como protagonistas, ocupando expressivos 75,8% desse território, seguidos pelos plantios comerciais de Pinus, que correspondem a 19,4%. Outras variedades de plantios complementam esse cenário, totalizando 4,8% da área ocupada (Ibá, 2022).

O sucesso dos cultivos florestais no Brasil se deve a diversas vantagens competitivas. Condições ambientais favoráveis, adaptabilidade das espécies, rápido crescimento e alta produtividade da madeira, juntamente com ciclos de corte curtos, são elementos-chave (Reis et al., 2018; Silva et al., 2023).

O Estado de Goiás assume a décima primeira posição no Brasil em termos de área plantada de eucalipto, abrangendo 163.129 hectares, o que equivale a 85,3% da área total de florestas plantadas no estado. A concentração significativa de plantios florestais ocorre principalmente na mesorregião do sul Goiano, englobando municípios como Catalão, Rio Verde, Chapadão do Céu, Mineiros, Quirinópolis e Jataí. Essas áreas se destacam pelo cultivo de eucalipto e também

desempenham um papel economicamente relevante para o agronegócio goiano (Cabral et al., 2019; De Oliveira et al., 2024).

Na perspectiva da ecodinâmica, conforme analisada por Ross (2012), o meio ambiente é examinado à luz da teoria geral dos sistemas, que parte da premissa de que na natureza as trocas de energia e matéria ocorrem por meio de relações em equilíbrio dinâmico. No entanto, esse equilíbrio é frequentemente perturbado pelas intervenções humanas, resultando em estados de desequilíbrio temporários ou mesmo permanentes. Ao considerar esse cenário, o planejamento e a gestão ambiental são providos de informações que facultam a tomada de decisões, especialmente em políticas que visam conciliar o desenvolvimento socio econômico com a preservação e conservação da natureza (Periçato et al., 2024; Soares et al., 2024; Cavalcante et al., 2020).

Nesse contexto, é imperativo possuir um conhecimento aprofundado das fragilidades potenciais e emergentes do meio ambiente, bem como dos potenciais do mesmo. Compreender como as atividades humanas podem afetar os sistemas naturais e identificar as vulnerabilidades inerentes torna-se essencial para desenvolver estratégias de planejamento e gestão eficazes. A abordagem da ecodinâmica destaca a necessidade de considerar não apenas as interações diretas, mas também os efeitos cumulativos e de longo prazo das ações humanas sobre os ecossistemas (Fushimi et al., 2022; Teixeira et al., 2024).

No contexto específico do setor florestal, o sensoriamento remoto possibilita a detecção qualitativa e quantitativa de vegetação verde, bem como de características geomorfológicas do ambiente, permitindo, também, a distinção eficaz de diferentes tipos de cobertura e uso da terra. Assim, ao proporcionar uma visão abrangente e detalhada da paisagem, o sensoriamento remoto contribui significativamente para a análise e gestão eficaz dos recursos naturais, facilitando a tomada de decisões no âmbito do manejo florestal e ambiental (Cano; Marcato Júnior, 2021; Lima et al., 2021).

Utilizando de técnicas de sensoriamento remoto, este trabalho investiga os impactos da expansão da silvicultura de eucalipto em Goiás, considerando a relevância econômica dessa expansão e os impactos ecológicos resultantes.

Materiais e Métodos

Levantamento dos Dados

As imagens utilizadas para a elaboração dos produtos e análise da ocupação do solo na área de estudo foram obtidas do satélite Sentinel-2, referentes ao ano de 2023. As bandas multiespectrais foram obtidas através da base de dados do Earthexplorer, uma interface online gratuita desenvolvida pelo United States Geological Survey (USGS).

A coleta de dados de uso e cobertura do solo foi realizada em duas etapas distintas. Na primeira etapa, focou-se na identificação dos plantios de eucalipto no estado de Goiás, adotando uma abordagem localizada que envolveu consultas a supervisores, produtores, engenheiros florestais e outros especialistas. Essa metodologia permitiu uma coleta minuciosa e contextualizada dos dados, capturando nuances que poderiam ser negligenciadas por métodos generalizados, contribuindo para validação dos dados de sensoriamento remoto para classificação de florestas plantadas de eucalipto. Na segunda etapa, para os pontos correspondentes aos outros usos e cobertura do solo, foi utilizada uma abordagem diferente. Optou-se por utilizar os pontos de validação disponibilizados pela plataforma MapBiomass (2023), reconhecida por sua abrangência e precisão na caracterização do uso da terra.

Desenho da Amostragem

O conjunto de pixels utilizados nesta análise foi constituído por meio de um cálculo por amostragem estratificada, onde N1 refere-se às amostras de validação obtidas, enquanto N2 compreende o conjunto de amostras de treinamento do modelo. Considerando a proporção de pontos como sendo 30% para N1 e 70% para N2, o valor encontrado para N1 foi de 793, resultando em $N2 = 1847$.

Cada pixel possui resolução de (10 m x 10 m) e foram sorteados do mosaico de imagens do satélite Sentinel-2, recortadas para o Estado de Goiás. Um estimador de áreas para o método de amostragem estratificada e alocação uniforme (Cochran, 1977) foi utilizado para estimar as áreas referentes a cada uso da terra para o retrato temporal.

As estimativas foram calculadas (equação 1) em função da população total (pixels compreendidos pelos limites territoriais de Goiás), o tamanho da amostra resultante foi de $Nt =$

2640 pontos, com margem de erro de 5% e confiança de 95% para a estimativa intervalar da acurácia do modelo.

$$N1 = \frac{\sum \frac{(Wh^2 \sqrt{p(1-p)})}{wh}}{\left(\frac{e}{z}\right)^2 + \frac{1}{N} \sum Wh \sqrt{p(1-p)}} \quad \text{equação 01}$$

Onde:

N1 = Tamanho da amostra da validação,

Wh = Tamanho do extrato da população da classe h;

p = Proporção;

e = Margem de erro;

z = Quantil da distribuição da normal padrão referente ao nível de confiança;

wh = Proporção do tamanho do extrato pela quantidade de extratos;

N = Tamanho total da população.

Processamento dos Dados

Para realizar a classificação supervisionada, foram selecionadas as 2644 amostras de coordenadas geográficas, divididas em 8 classes de cobertura da terra. Esses pontos foram distribuídos aleatoriamente em toda a área de estudo, de acordo com a fisionomia da vegetação observada. Cada classe foi aleatorizada e dividida em dois conjuntos independentes: um de treinamento (70%) e outro de teste (30%). Todo o processamento de dados foi realizado na plataforma de computação em nuvem Google Earth Engine (GEE), desde a seleção de imagens até a avaliação da classificação, seguindo as instruções de Gorelick et al. (2017). O GEE permitiu a configuração de propriedades do classificador, como o número de árvores de decisão, variáveis por divisão e número de nós, sendo utilizadas 50 árvores de decisão.

Análise de Substituição

Para compreender a dinâmica de uso do solo, com base na mudança de seu uso para plantio de eucalipto foi conduzida uma análise de substituição, com referência nas áreas de eucalipto vetorizadas e dissolvidas para o ano de 2023. Iniciou-se com a operação de interseção entre essas áreas e os mapas de uso e cobertura do solo do MapBiomas, identificando assim o uso e cobertura

do solo antes do plantio de eucalipto, retroativamente até 2014, uma vez que anteriormente a este ano não foram identificadas mudanças de uso solo significativas. Esse mapeamento temporal permitiu rastrear a evolução e conversão das áreas de eucalipto entre 2014 e 2023, destacando a dinâmica de substituição das paisagens e evidenciando transformações econômico e ambientais ocorridas ao longo do tempo.

Fragilidade Ambiental

A abordagem de análise ambiental foi conduzida com base na avaliação da fragilidade ambiental e, neste estudo, incorpora propostas metodológicas de Ross (1994) e Crepani et al. (2001).

Dado que a metodologia de Ross (1994) categoriza em cinco níveis hierárquicos, variando de 1 a 5, enquanto a de Crepani avalia a vulnerabilidade ambiental em uma escala de 1 a 3, foi necessário normalizar os intervalos de fragilidade usados por Crepani et al. (2001) e recategorizar para os cinco níveis de fragilidade delineados por Ross (1994). Assim, dados referentes aos aspectos pedológicos, geológicos, relevo e pluviométricos da área de estudo foram indispensáveis para a obtenção da fragilidade ambiental.

Fragilidade do solo

Os dados pedológicos foram obtidos a partir do Mapa de Solos de Goiás, elaborado pelo Instituto Mauro Borges e disponibilizado pela SIEG-GO (2022). A análise da fragilidade pedológica da bacia seguiu os princípios estabelecidos por Ross (1994), levando em consideração o tipo de solo presente na área de estudo.

Neste contexto, os Latossolos destacam-se por apresentar uma baixa suscetibilidade à erosão quando comparados aos Cambissolos e Neossolos. Esses últimos, por sua vez, são considerados solos com um maior grau de fragilidade, conforme descrito por Manfré et al. (2013). Essa classificação é fundamental para compreender a vulnerabilidade dos solos à erosão e contribui para o desenvolvimento de estratégias de manejo e conservação adequadas.

Fragilidade da geologia

Os dados referentes às propriedades da geologia foram obtidos a partir da base de dados da SIEG-GO (2022), elaborado pelo Instituto Mauro Borges. A fragilidade geológica está intrinsecamente ligada ao nível de coesão dos minerais constituintes das rochas, determinando assim a capacidade de resistência destas à denudação, que compreende o intemperismo e a erosão (Crepani et al., 2001). Como exemplo, as rochas compostas principalmente por quartzitos, devido à menor solubilidade de seus minerais, são classificadas como altamente resistentes ao intemperismo químico (Wray; Sauro, 2017).

Em contrapartida, as rochas carbonáticas, como calcário, dolomita e evaporitos, apresentam uma maior vulnerabilidade ao intemperismo devido à sua propensão à dissolução em água (Juračić et al., 2009). Essa distinção na resposta ao intemperismo químico entre diferentes tipos de rochas é crucial para compreender a estabilidade geológica de uma região e tem implicações significativas na avaliação da suscetibilidade dessas formações rochosas à erosão e outros processos de degradação ambiental.

Fragilidade do relevo

Os dados referentes às propriedades do relevo foram obtidos a partir da base de dados da SIEG-GO (2022), elaborado pelo Instituto Mauro Borges. Esse índice realiza uma análise morfométrica do relevo, focando no grau de entalhamento dos vales e na dimensão média interfluvial. Ele é aplicado em diversas situações, como no mapeamento geomorfológico, na relação entre morfogênese e pedogênese, e em estudos de vulnerabilidade ambiental (Crepani et al., 2001; Guimarães et al., 2017).

Fragilidade da precipitação

Os dados referentes às propriedades da precipitação foram obtidos a partir da base de dados do Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da Agência Nacional de Águas (ANA, 2023).

Após obter o mapa de pluviosidade média anual espacializado, procedeu-se à sua divisão pela duração do período chuvoso, expressa como o número médio de meses. Esse processo resultou nos valores de lâmina precipitada mensal (mm/mês) para a área de estudo, denominados por

Crepani et al. (2001) como "intensidade pluviométrica". Conforme definido por esses autores, maiores valores de intensidade pluviométrica indicam uma maior erosividade da chuva e uma influência mais acentuada do clima nos processos morfodinâmicos.

Fragilidade do uso e ocupação do solo

Os dados referentes às propriedades do uso e ocupação de solo foram obtidos a partir da classificação de uso e ocupação do solo mencionado anteriormente. No âmbito deste estudo, adotou-se uma classificação de alta fragilidade para áreas urbanas e com solo exposto, atribuindo esse status devido à menor proteção do solo decorrente da ausência de cobertura vegetal. Por outro lado, as áreas de floresta nativa e plantada foram classificadas como de fragilidade muito baixa e baixa, respectivamente.

Em contrapartida, devido à predominância de cultivos de ciclos longos, como citros e café, cultivados geralmente em nível, considerou-se esta classe de cobertura como de média fragilidade (3). As áreas de pastagem e agricultura anual foram categorizadas como de fragilidade média à alta, de acordo com o grau de degradação observado e devido à limitada proteção do solo (Ross, 1994). Por fim, as áreas ocupadas por corpos d'água foram associadas a uma fragilidade nula, conforme preconizado por Cruz et al. (2017).

Aplicação da análise multicritério para o mapeamento da fragilidade

Obtidos os mapas de fragilidade para cada fator, a análise multicritério foi utilizada para gerar o mapeamento da fragilidade potencial e ambiental, por intermédio do software Qgis 3.22.

As ferramentas Analytic Hierarchy Process (AHP) e o modelo de Combinação Linear Ponderada (WLC) foram empregados para apoiar as decisões na determinação dos níveis de fragilidade. Na matriz de comparação pareada do método AHP, os fatores foram avaliados conforme sua importância, resultando nos pesos calculados para cada um deles. No contexto da análise de fragilidade potencial, foi atribuído o mesmo nível de relevância (1) para os fatores intrínsecos da área, tais como pedologia, geologia, dissecação do relevo e precipitação, resultando, inicialmente, em pesos iguais de 0,25 para cada um desses fatores.

A fim de enfatizar a importância da cobertura vegetal na análise de fragilidade ambiental, foi atribuída uma importância superior ao uso e cobertura da terra em comparação com os fatores naturais, mantendo esses últimos com a mesma relevância entre si. Assim, o modelo determinou um peso de 0,4286 para o uso e ocupação da terra e 0,1429 para cada um dos fatores intrínsecos, conforme proposto por Manfré et al. (2013). A inconsistência para os pesos derivados do AHP foi de 0,0, indicando uma excelente consistência entre os fatores e os pesos adotados, permitindo a utilização confiável desses resultados na análise de fragilidade ambiental.

Análise Econômica

A análise econômica foi baseada no Valor Bruto de Produção (VBP). Conforme aponta Faria (1983) o VBP constitui uma proxy da riqueza social produzida por um setor em uma determinada região, portanto, para os fins a que se destinam esse trabalho, qual seja, a avaliação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes da mudança de uso do solo para os fins agropecuários, o VBP é uma métrica que representa o valor (ou riqueza) total gerada no local, a partir da produção agrícola ou florestal a preços de mercado. Importante esclarecer que o VBP integra toda a compensação aos fatores de produção que contribuíram para a geração de valor à determinado elo da cadeia produtiva e, apesar desses fatores não serem necessariamente todos produzidos no local, a sua dinâmica de localização permite atrair recursos para tais localidades por meio de tributos e serviços ali realizados.

Assim, durante o período compreendido entre os anos de 2023 e 2014, foi realizada a análise econômica comparativa entre o Valor Bruto da Produção (VBP) proveniente do uso anterior e o atual (Floresta de eucalipto), o qual foi calculado com base na produção agrícola, pecuária e extrativista bem como nos preços recebidos pelos produtores. Esses dados foram obtidos a partir dos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O valor bruto da produção de plantio comercial de eucalipto (R\$ 32.235,00/ha) foi obtido de EMBRAPA Florestas (2022), documento de informação técnica que analisa a viabilidade econômica de Plantio de Eucalipto no estado de Goiás e é referente a receita bruta obtida a cada 6 anos da cultura. Para comparação com o VBP dos demais usos do solo, os quais são obtidos de

fluxos anuais, este valor foi estimado como obtido de uma anualidade a uma taxa de juros de 8,7% a.a (BRASI, 2021), permitindo estimar um VBP anual de R\$ 4.315,00/ha.

O Valor Bruto da Produção (VBP) por hectare de pastagem no estado de Goiás, foi obtido de dados provenientes de fontes nacionais e locais. Utilizando o relatório "Beef Report 2022" da Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC), o VBP da carne bovina no Brasil foi estabelecido em R\$ 243,18 bilhões para o ano de 2021, com um rebanho bovino total de 196,468 milhões de cabeças (ABIEC, 2022). Adicionalmente, incorporou-se o VBP do leite, totalizando R\$ 35 bilhões (Gov, 2023), culminando em um VBP agregado de R\$ 278,18 bilhões. A partir desses valores, calculou-se o VBP médio por cabeça de gado no Brasil, resultando em R\$ 1.415,90. Essa média foi então aplicada à taxa média de lotação do estado de Goiás, permitindo obter um VBP médio de R\$ 2.188,97/ha de pastagem.ano no estado de Goiás (Goiás, 2022).

Para calcular o Valor Bruto de Produção (VBP) por hectare, foi adotada uma abordagem que envolveu a obtenção da média dos últimos quatro anos do VBP de determinado uso do solo, corrigido pelo Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI). No caso da classe agricultura, especificamente, o cálculo do VBP por hectare considerou o VBP total médio ponderado pela participação da cultura na área agrícola das principais culturas agrícolas da safra de Verão do estado de Goiás, quais sejam, soja, milho, feijão e algodão.

Não havendo informações consistentes sobre a exploração sustentável de vegetação nativa, optou-se por considerar o paradigma de preservação da mesma na análise de substituição, assim, não sendo possível sua exploração econômica direta.

Para calcular o Valor Bruto de Produção (VBP) proporcional às áreas substituídas, foram consideradas diferentes categorias de uso da terra: pastagem, agricultura, vegetação nativa e silvicultura. O efeito econômico de substituição (EES) foi calculado, então, como o custo de oportunidade em relação à substituição por eucalipto, resultando em ganhos, quando positivo e perdas, quando negativo, conforme a equação 2:

$$EES = VBPe (Ae) - VBPcx(Acx) \quad \text{equação 2}$$

Em que:

VBP = valor bruto da produção

A= área cultivada

e=eucalipto

cx=cultura x

Resultados e Discussões

Validação da classificação

A classificação realizada obteve um índice Kappa de 92%, uma acurácia global de 90% e desvio padrão de 0.01112 o que demonstra o grau de confiabilidade na categorização do uso e cobertura do solo no Estado de Goiás (Tabela 1).

Tabela 1 – validação e acurácia da classificação.

Classes	Outros	Água	Formação florestal	Lavoura	Pastagem	Urbano	Formação savânica	Eucalipto	total	Acc. Usuário
Outros	30	0	0	0	1	0	0	0	31	96,774
Água	1	4	1	0	0	0	0	0	6	66,667
Formação florestal	0	0	72	0	0	0	0	0	72	100
Lavoura	0	0	0	77	2	0	0	1	80	96,25
Pastagem	0	0	1	4	191	0	1	3	200	95,5
Urbano	0	0	0	0	1	1	1	1	4	25,0
Formação savânica	0	0	1	0	1	0	18	0	20	90,0
Eucalipto	11	0	45	3	30	1	8	283	381	74,278
total	42	4	120	84	226	2	28	288	794	-
Acc. (Produtor)	90,786	100	82,523	88,187	94,123	92,32	59,933	91,121	-	-

Fonte: resultados da pesquisa (2023).

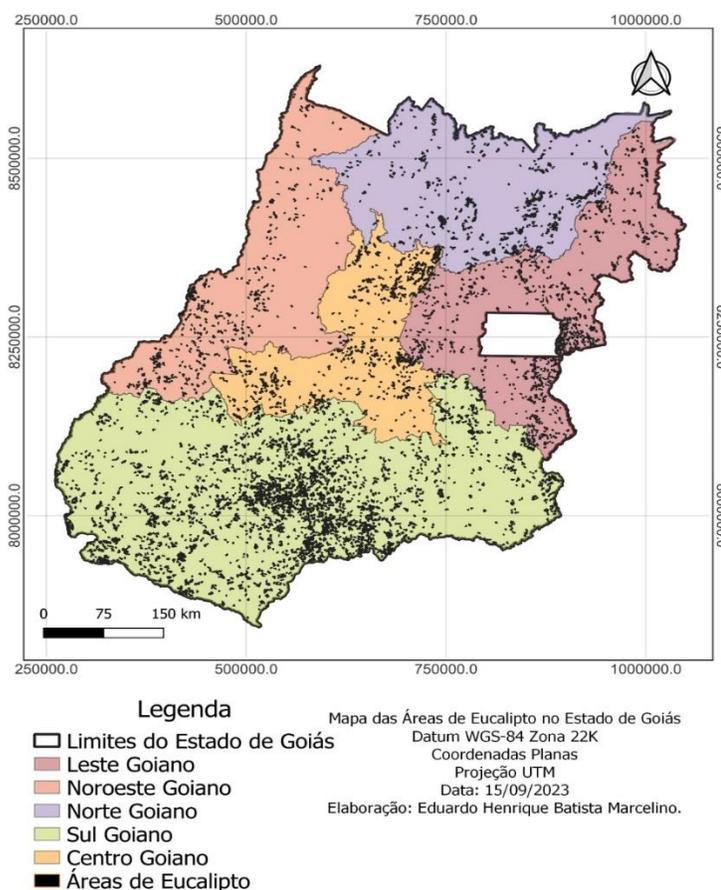
A qualidade da classificação, utilizando o resultado do índice Kappa, foi aquela proposta por Landis e Koch (1977), para os quais um valor Kappa acima de 80% é classificado como excelente, esse resultado revela a precisão e a confiabilidade do processo de classificação, indicando que as áreas de plantio foram identificadas com grande acurácia.

Classificação de plantios de eucalipto

Os resultados da classificação permitiram estimar a presença de aproximadamente 138,9 mil hectares de plantações de eucalipto no estado de Goiás.

A preponderante proporção destes plantios de eucalipto encontra-se distribuída nas mesorregiões Sul, Leste, Centro Norte e Noroeste do estado de Goiás, perfazendo, respectivamente, uma parcela de 55% na mesorregião Sul, 16% na mesorregião Leste, 12% na mesorregião Centro, 9% na mesorregião Norte e 8% na mesorregião Noroeste (Figura 1).

Figura 1 – Classificação dos plantios de eucalipto no Estado de Goiás.



Fonte: resultados da pesquisa (2023).

Adicionalmente, foi observado que 76,9% dos referidos plantios possuem áreas inferiores a 10 hectares, ao passo que 14,9% das plantações apresentam área entre 10 e 25 hectares. Por sua

vez, 4,6% dos cultivos detém áreas entre 25 e 50 hectares, enquanto 2,14% ocupam extensões territoriais entre 50 e 100 hectares. Assim 1,43% dos plantios apresentaram dimensões superiores a 100 hectares.

Verifica-se uma diferença no valor da área de plantações de eucalipto em Goiás no ano de 2023 em comparação com os dados reportados pela Industria Brasileira de Arvores (IBÁ, 2021). A discrepância de 17% entre os valores mencionados pode estar relacionada ao abate de áreas não detectáveis pelo sistema de classificação utilizado.

Esta discrepância é corroborada por estudos anteriores, como o de Cabral (2017), que apontou uma divergência de 12% entre os dados da Ibá e do TerraClass em 2013. A resolução espacial dos sensores empregados e a escolha das faixas espectrais também influenciam na interpretação dos dados, sendo que sensores com menor resolução espacial e faixas espectrais mais limitadas tendem a facilitar a interpretação e aumentar a clareza das distinções entre os alvos.

Essas conclusões são consistentes com achados anteriores, como os de Carvalho (2020), que evidenciou a importância da escolha dos sensores e técnicas de classificação na discriminação de remanescentes florestais de cultivos de eucalipto.

Análise de substituição e fragilidade ambiental

A Composição atual evidenciada (Tabela 2), revela que dos 138,9 mil hectares de eucalipto identificados em 2023, as áreas anteriormente destinadas a pastagem, lavoura, vegetação nativa e silvicultura apresentavam distintas alocações. Dentre estas, a agricultura correspondia com 74 mil hectares, a pastagem representava 36 mil hectares, a vegetação nativa totalizava 19,2 mil hectares, e 9,7 mil hectares ainda subsistem como áreas dedicadas ao eucalipto.

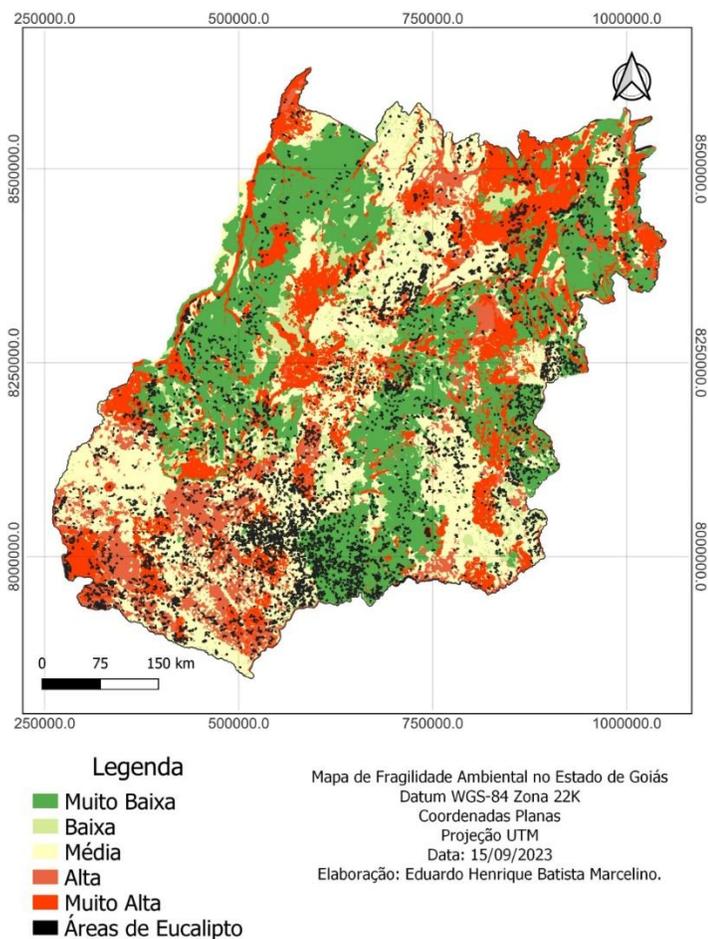
Tabela 2 – Análise de substituição.

Usos Anteriores	Área (ha)	Proporção (%)
Agricultura	74.027	53,28
Vegetação Nativa	19.149,6	13,78
Eucalipto	9.779,5	7,04
Pastagem	35.995	25,90
Total	138.951,1	100,0

Fonte: resultados da pesquisa (2023)

A classificação das áreas de eucalipto revelou uma distribuição diversificada em termos de fragilidade ambiental (Figura 2).

Figura 2. Mapa de Fragilidade Ambiental no Estado de Goiás.



Fonte: resultados da pesquisa (2023)

A maioria dessas áreas foi identificada como de alta fragilidade ambiental, representando 41,7% do total. Isso sugere que uma parte significativa dos plantios está em regiões classificadas como frágeis, com alto nível de sensibilidade ambiental, aonde o plantio de eucalipto pode estar contribuindo para a estabilidade dos solos nessas localidades. Em segundo lugar, as áreas de baixa fragilidade compreendem 27,7% do total, indicando uma presença substancial em ambientes menos suscetíveis a impactos ambientais. A classe de média fragilidade, representando 25,1%, também é

significativa, indicando a presença de plantios em áreas relativamente menos sensíveis a impactos ambientais.

Além disso, é interessante observar que uma porção considerável das áreas de eucalipto se apresenta em níveis variados de fragilidade ambiental. As classes de muito baixa e muito alta fragilidade representam, respectivamente, 2,7% e 2,6% do total, sugerindo uma distribuição que vai desde áreas com menor suscetibilidade ambiental até aquelas de alto risco.

A predominância das plantações de eucalipto em solos de elevada aptidão agrícola, ou baixa e média fragilidade ambiental, evidencia uma expansão comercial para essas áreas, possivelmente competindo com a produção de alimentos e bioenergia. O avanço em direção a áreas anteriormente destinadas à lavoura e pastagens destaca o potencial da atividade no estado de Goiás, já que os plantios florestais passam a disputar terras com histórico de maior retorno financeiro. Essa tendência sugere um aumento potencial na oportunidade de integração entre silvicultura e agricultura, visto que ambas as atividades tenderiam a ocupar o mesmo espaço, conforme observado por Cabral (2018).

O mapeamento da fragilidade potencial do solo revela informações sobre a erodibilidade do território, considerando suas características físicas e climáticas. A análise indica que aproximadamente 27,7% da área estudada possui uma classificação de fragilidade potencial baixa. Esta categoria inclui terrenos com inclinações suaves e solos bem drenados, principalmente Latossolos e Argissolos, sugerindo uma baixa vulnerabilidade à erosão.

A fragilidade potencial média compreende 25,1% da área, destacando-se por inclinações moderadas e a presença de Argissolos Vermelho Eutróficos, que possuem alta permeabilidade e susceptibilidade à erosão, conforme evidenciado por Vale Junior et al. (2009), Castro et al. (2011) e Cunha (2013).

A maior parte da área, cerca de 41,7%, é classificada como detentora de alta fragilidade potencial, predominando Neossolos Litólicos Eutróficos e Argissolos Vermelho Amarelo Distróficos. Essas regiões, com inclinações entre 20 e 45%, exigem atenção especial de conservação. Já as áreas de muito alta fragilidade potencial, representando 2,6% do território, são encontradas em encostas de morros, com inclinações superiores a 45%, representando os locais de

maior risco de erosão e demandando medidas de conservação rigorosas para evitar a degradação ambiental.

A fragilidade potencial do eucalipto constitui uma consideração primordial no âmbito de sua produção e plantio. A fragilidade potencial, neste contexto, refere-se à susceptibilidade de um ecossistema específico a sofrer danos ou degradação devido a intervenções humanas ou fenômenos naturais. No contexto do cultivo de eucalipto, uma série de variáveis podem influenciar a fragilidade potencial, englobando características edáficas, topográficas, climáticas e práticas de manejo empregadas.

É de suma importância ressaltar que o cultivo de eucalipto não ocasiona alterações nos fatores intrínsecos à fragilidade ambiental. Entretanto, é pertinente mencionar que o cultivo de eucalipto pode exercer impactos sobre a fragilidade potencial do ambiente de outras formas, como por exemplo a redução da velocidade de impacto da gota de água, resultado da energia cinética da chuva (caracterizada pelo efeito splash ou salpico) que depende do tamanho e velocidade das gotas das chuvas é reduzido significativamente quando atingem o solo, melhorando a infiltração e retardando o movimento de escoamento (Wang et al., 2013; Cunha, 2013).

Fragilidade por categoria substituída

Os resultados da distribuição das classes de fragilidade ambiental por categoria de uso do solo substituída, revelam uma diversidade significativa nos níveis de fragilidade (tabela 3). No geral, todas as categorias de uso do solo detinham a maior parte das áreas distribuídas entre os níveis intermediários de fragilidade.

Especificamente, a maior parte da área de agricultura (60,8%) é caracterizada por 'Baixa' (16,8%) à 'Média Fragilidade' (44,0%), enquanto áreas de 'Alta' fragilidade contribuem significativamente, ocupando 34,0%. Importante destacar que as áreas de alta fragilidade dessa categoria indicam uma substituição ecologicamente vantajosa para o cultivo de eucalipto. A cobertura vegetal é um fator fundamental na proteção e estabilidade dos processos morfodinâmicos do solo, conforme apontado por Tricart (1977) e Melo et al. (2014).

Tabela 3 – Análise de fragilidade por classe e a respectiva porcentagem.

Classe	Agricultura (ha)	Proporção (%)	Vegetação nativa (ha)	Proporção (%)	Eucalipto (ha)	Proporção (%)	Pastagem (ha)	Proporção (%)
Muito baixa	2.654,2	3,6	397,1	2,1	608,9	6,2	830,7	2,3
Baixa	12.451,3	16,8	4.502,5	23,5	2.674,2	27,1	12.636,1	35,1
Média	32.536,9	44,0	5.179,5	27,0	35,2	36,0	5.176,3	14,4
Alta	25.210,8	34,0	8.397,6	43,9	3.003,1	30,7	15.713,4	43,6
Muito alta	1.173,6	1,6	672,7	3,5	0,0	0,0	1.638,3	4,6
Total	73.926,8	100	18.049,4	100	12.821,4	100	36.194,8	100

Fonte: resultados da pesquisa (2023).

A análise da fragilidade ambiental na classe de vegetação nativa, abrangendo uma área total de 19,2 mil hectares, revela nuances distintas nos níveis de fragilidade. A vegetação nativa ocupa a maior parte da área com predominância de 'Alta Fragilidade' (43,9%), seguida por áreas de 'Média' (27,0%) e 'Baixa' (23,5%) fragilidade.

Essas áreas de alta fragilidade, associadas principalmente a Neossolos e Argissolos, são mais suscetíveis à erosão devido a suas características físicas e químicas. A preservação da vegetação nessas áreas desempenha um papel crucial na proteção do solo, reduzindo sua vulnerabilidade aos processos erosivos ao longo do tempo, sendo, portanto, desaconselhável sua substituição por qualquer outra modalidade de uso, inclusive eucalipto, conforme observado por Tricart (1977) e Melo et al. (2014).

A análise revela ainda que a maior proporção da área de pastagem é classificada como 'Alta Fragilidade', representando 43,6% do total identificado, enquanto as áreas de 'Baixa' fragilidade cobrem 35,1% da extensão total. A presença de 'Muito Baixo' e 'Muito Alto' é menos comum, abrangendo 2,3% e 4,6%, respectivamente. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Pinese Júnior e Rodrigues (2012) na bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG), onde as pastagens foram associadas à maior vulnerabilidade ao solo devido à redução da infiltração, favorecendo a erosão.

A substituição dessas áreas por plantios de eucalipto evidencia ganhos ecológicos relacionados à redução da fragilidade potencial, uma vez que os plantios de eucalipto podem promover maior estabilidade do solo frente aos processos erosivos.

A diferença principal entre os mapas de fragilidade potencial e fragilidade emergente está na ocupação de solos com culturas anuais, onde a exposição do solo sem cobertura vegetal propicia sua degradação por erosão laminar. Resultados semelhantes foram encontrados por Pinese Júnior e Rodrigues (2012) na bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG), onde áreas com solos expostos ou preparados para o plantio mostraram-se mais suscetíveis à fragilidade ambiental.

Análise econômica da substituição

Os Valores Brutos da Produção Anual das diferentes culturas que foram substituídas desde 2014 por eucalipto em 2023 (tabela 4) representam a contribuição dessas categorias de uso do solo na geração anual de riqueza a partir de suas respectivas localidades. No total, a área substituída abrange 138.951,1 hectares e gerava um VBP global de R\$ 965.269.932,65 anualmente.

Tabela 4. Valores da produção agropecuária original nas áreas substituídas por eucalipto.

Classes	Área (ha)	VBP/ha (R\$)	VBP total (R\$)
Agricultura	74.027	11.405,02	844.279.415,00
Vegetação nativa	19.149,6	-	-
Eucalipto	9.779,5	4.315,00	42.198.542,50
Pastagem	35.995	2.188,97	78.791.975,15
Total	138.951,1		965.269.932,65

Fonte: resultados da pesquisa (2023).

Os valores globais obtidos para as diferentes categorias substituídas por eucalipto (Tabela 4) foram desagregados por mesoregião do estado de Goiás (Tabela 5), permitindo verificar o balanço econômico da substituição e seu efeito na economia dessas regiões.

Na análise dos valores apresentados na tabela, observa-se que a classe Agricultura revela desvantagens econômicas em todas as mesoregiões, quando substituída por eucalipto. Isso indica que a substituição de áreas agrícolas pelo cultivo de eucalipto resultou em perdas econômicas substanciais em todas as regiões, perfazendo um total de R\$ 524.853.334 perdidos anualmente no estado de Goiás devido à substituição por plantio de eucalipto das modalidades de cultivo agrícola anual aqui consideradas.

Tabela 5 – efeito econômico de substituição por mesorregião do estado de Goiás.

Mesorregiões	Norte	Noroeste	Sul	Leste	Centro	Goiás
Agricultura	- 27.597.690	- 11.166.143	- 389.337.175	-60.677.738	- 36.074.588	-524.853.334
Vegetação	13.867.935	19.782.851	8.692.438	13.566.877	26.720.464	82.630.565
Eucalipto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
Pastagem	15.927.047	12.726.628	19.042.914	15.979.432	12.850.405	76.526.426

Fonte: resultados da pesquisa (2023).

Por outro lado, as áreas de pastagens revelaram vantagens econômicas, quando substituída por eucalipto, perfazendo um total de R\$ 82.630.565 anualmente para o estado de Goiás. Esse resultado demonstra que a conversão de áreas de pastagem para o cultivo de eucalipto resultou em ganhos econômicos e maior potencial de geração de riquezas em todas as regiões.

Finalmente, o balanço econômico global para o Estado revela uma perda de R\$365.696.343 anualmente. Cumpre destacar que, conforme apresentado anteriormente, 34% das áreas que geraram déficit na substituição eram de alta fragilidade e, portanto, mais aptas para plantio de eucalipto do que de culturas anuais.

Por fim, a classe de Vegetação Nativa apresenta vantagens econômicas em todas as mesorregiões, com valores positivos para o cultivo de eucalipto. Apesar dessa vantagem, a substituição de áreas de vegetação nativa pelo cultivo de eucalipto pode ter resultados ecológicos adversos, com efeitos negativos em serviços ecossistêmicos, os quais não foram valorados neste trabalho, além disso, o código florestal prudentemente veda o desflorestamento além de 80% da propriedade, bem como em áreas de elevados níveis de fragilidade natural e áreas de preservação permanente, conforme lei 12.651, de 25 de maio de 2012 (Brasil, 2024).

Considerações finais

- Considerando divergências entre as informações disponíveis sobre a localização das áreas de plantio de eucalipto no estado de Goiás este trabalho buscou, por meio de classificação supervisionada, com validação cruzada de campo e algoritmo de classificação por árvore de decisão apresenta conclusões significativas sobre a classificação dos plantios de eucalipto em Goiás e sua relevância para o setor florestal e a gestão ambiental no estado. O

primeiro destaque é o índice Kappa de 92%, classificado como excelente segundo os critérios de Landis e Koch (1977). A técnica utilizada permitiu uma estimativa de aproximadamente 138,9 mil hectares de plantações de eucalipto oferecendo uma base para o planejamento da expansão da silvicultura no estado.

- A análise da localização de plantações de eucalipto em Goiás revela uma distribuição estratégica entre as regiões, concentrada principalmente nas mesorregiões Sul (55%), Leste (16%) e Centro (12%) do estado, restando 9% no Norte e 8% no Noroeste, destacando a importância econômica dessas regiões no contexto da localização da silvicultura de eucalipto em Goiás.
- O trabalho também analisou o processo de mudança de uso do solo que culminou na destinação atual do mesmo ao plantio de eucalipto, evidenciando fatores ecológicos e econômicos. Em 2023, a análise de substituição demonstrou que dos 138,9 mil hectares de plantações de eucalipto identificados, 74 mil hectares eram áreas agrícolas, 19,2 mil hectares eram de vegetação nativa, e 9,7 mil hectares eram dedicados à silvicultura e 36 mil hectares eram anteriormente destinados a pastagem.
- A predominância das plantações de eucalipto em solos de uso anterior para agricultura sugere uma expansão comercial para essas áreas, possivelmente competindo com a produção de alimentos. O avanço em direção a terras antes dedicadas à agricultura e pastagens destaca o potencial da atividade no estado, à medida que os plantios florestais passam a disputar terras com histórico de maior retorno financeiro.
- Entretanto, quando se analisa o efeito econômico da substituição, constata-se que o cultivo de eucalipto proporcionou um déficit econômico anual de R\$ 365.696.343 anualmente. No entanto, 34% das áreas deficitárias economicamente no processo de substituição eram de elevada fragilidade e, portanto, mais aptas ao plantio de eucalipto do que de culturas anuais. Além disso, a substituição de eucalipto foi predominantemente maior nas categorias de alta a muito alta fragilidade, para os demais usos anteriores, indicando ganhos em serviços ecossistêmicos, além dos financeiros apontados para tais categorias substituídas.
- Apesar dos déficits econômicos apresentados, em relação a substituição de cultivos anuais, ao se considerar alternativas em sistemas integrados, como os lavoura, pastagem, florestas

(ILPFs), o plantio de eucalipto evidencia vantagens econômicas, provenientes dos efeitos sinérgicos biológicos e de escopo e ecológicas, no aproveitamento de áreas degradadas e de níveis mais elevados de fragilidade. Entretanto, a produção de eucalipto, em particular, apresenta desafios adicionais em relação ao equilíbrio de mercado, uma vez que a oferta efetiva se estabelece muitos anos após a decisão inicial de implantação ou manejo da floresta.

- As informações geradas pelo presente trabalho destacam a importância do planejamento estratégico na atividade florestal, considerando não apenas as condições atuais do mercado, mas também as opções ecológicas e suas projeções a longo prazo, sobretudo no compute e remuneração de serviços ecossistêmicos gerados por sistemas integrados.

Referências

- ABIEC (Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes). (2022). *Beef Report 2022*. Disponível em https://www.abiec.com.br/wp-content/uploads/Beef-Report-2022_atualizado_jun2022.pdf
- ANA. (2023) *Agência Nacional de Águas: Sistema de Informações hidrológicas*. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>
- BRASIL. *Lei N° 12.651, de 25 de maio de 2012*. (2012). Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União.
- BRASIL. Ministério da Economia. Secretaria Especial de Produtividade e Competitividade.(2021). *Guia geral de análise socioeconômica de custo-benefício de projetos de investimento em infraestrutura* Brasília: SDI/ME.
- CABRAL, E. G.; BARREIRA, S. (2018). Expansão do setor florestal nas mesorregiões do estado de Goiás. *Revista de Ciências Agrárias*, 61. <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2018.2590>

CABRAL, E. G. *Análise multitemporal da silvicultura no estado de Goiás via sensoriamento remoto*. (2017). 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

CABRAL, E. G., BARREIRA, S, FERREIRA, M. E., ARAÚJO, L. G. O. (2019). *A silvicultura do eucalipto no estado de Goiás: um registro histórico via sensoriamento remoto*. Pesquisa Florestal Brasileira, 39(1). <https://doi.org/10.4336/2019.pfb.39e201801649>

CANO, P. L. G., & MARCATO JUNIOR, J. (2021). Aplicação de aprendizado de máquina com dados de sensoriamento remoto para o mapeamento de florestas urbanas. *Revista Geociências-UNG-Ser*, 20(2), 16-27. <https://doi.org/10.33947/1981-741X-v20n2-4834>

CARVALHO, C. M., BERNARDI, E. S., FANTINEL, R. A., FELDKIRCHER, T., & CRUZ, R. C. (2020). Fragilidade ambiental frente ao uso do solo no Alto Camaquã, RS. *Revista de Geografia (Recife)*, 37(1). <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2020.236352>

CASTRO, W. J., LEMKE-DE-CASTRO, M. L., OLIVEIRA LIMA, J., OLIVEIRA, L. F. C. RODRIGUES, C., & FIGUEIREDO, C. C. (2011). Erodibilidade de solos do Cerrado Goiano. *Revista Agronegócios e Meio Ambiente*, 4(2), 305-320. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2011v4n2p%25p>

CAVALCANTE DE JESUS FRANÇA, Luciano; SOARES MENEZES, Eduarda; TITON CUSTÓDIO, Sandra; SANTOS DE MORAIS, Marcelino; PIUZANA MUCIDA, Danielle. Modelagem da fragilidade ambiental potencial de Almenara, Minas Gerais. **Recital - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 37–59, 2020. DOI: [10.46636/recital.v2i1.64](https://doi.org/10.46636/recital.v2i1.64). Disponível em: <https://recital.almenara.ifnmg.edu.br/recital/article/view/64>. Acesso em: 7 nov. 2024.

COCHRAN, W. G. (1977). *Sampling techniques*. John Wiley & Sons.

CREPANI, E., MEDEIROS, J. S., HERNANDEZ FILHO, P., FLORENZANO, T. G., DUARTE, V., BARBOSA, C. C. F. (2001). *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao*

zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: Inpe, 2001.

CRUZ, B. B., MANFRÉ, L. A., RICCI, D.S., BRUNORO, D. L., APPOLINARIO Jr. & QUINTANILHA, J. A. (2017). Environmental fragility framework for water supply systems: a case study in the Paulista Macro Metropolis area (SE Brazil). *Environmental Earth Sciences*, 76, 441. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6778-3>

CUNHA, E. R.; BACANI, V. M.; AYACH, L. R. (2013). Geoprocessamento aplicado à análise da fragilidade ambiental. *Revista da ANPEGE*, 9(12), 89-105. <https://doi.org/10.5418/RA2013.0912.0005>

DE OLIVEIRA ARAÚJO, L. G.; BARREIRA, S. Modelagem dinâmica de plantios florestais no estado de Goiás . *Revista Ciência Geográfica*, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 123–140, 2024. DOI: 10.18817/26755122.28.1.2024.3632. Disponível em: <https://www.ppg.revistas.uema.br/index.php/cienciageografica/article/view/3632>. Acesso em: 7 nov. 2024.

FAO. Food and Agriculture Organization. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020. Key Findings*. FAO: Rome, Italy, 16p.

FARIA, L.A.E. (1983). Sobre o conceito do valor agregado: uma interpretação. *Ensaio FEE*, Porto Alegre, 3(2), 109-118. Disponível em <https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/ensaios/article/download/272/475>

FUSHIMI, M., & RODRIGUES NUNES, J. O. . (2022). VULNERABILIDADE AOS SULCOS E RAVINAS EM SETORES DE GRAMÍNEA DE PRESIDENTE PRUDENTE-SP COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL. *GEOFRONTER*, 8. <https://doi.org/10.61389/geofronter.v8.7053>

GOIÁS. (2023). Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Rebanho bovino em Goiás*. Disponível em <https://goias.gov.br/agricultura/rebanho-bovino-goiano-bate-novo->

[recorde-e-chega-a-244-milhoes-de-cabecas/#:~:text=O%20rebanho%20bovino%20goiano%20cresceu,Pecu%C3%A1ria%20Municipal%20\(PPM%202022\)](#)

GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., & MOORE, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

GOV. (2021). *VBP Pecuária*. Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/valor-da-producao-agropecuaria-de-2020-soma-mais-de-r-871-bilhoes-e-o-maior-dos-ultimos-32-anos/Cpiade202012VBPelaspeyresagropecuaria.pdf>

IBÁ. (2023). Indústria Brasileira de Árvores. *Relatório Ibá 2022*. Brasília. Disponível em <https://www.iba.org/>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). *Bacias e Divisões Hidrográficas do Brasil 2021*. IBGE, Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE, 82p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Panorama 2021*. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/panorama>.

JURAČIĆ, M., BENAC, Č., PIKELJ, K., & ILIĆ, S. (2009). Comparison of the vulnerability of limestone (karst) and siliciclastic coasts (example from the Kvarner area, NE Adriatic, Croatia). *Geomorphology*, v. 107(2), 90-99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.05.020>

LANDIS, J. R., & KOCH, G. G. (1977). An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics*, p. 363-374. <https://doi.org/10.2307/2529786>

LIMA, MIRELLE TAINÁ VIEIRA; OLIVEIRA, CARLOS WAGNER; MOURA-FÉ, MARCELO MARTINS. Análise multicritério em geoprocessamento como contribuição ao estudo da

vulnerabilidade à erosão no estado do Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 5, p. 3156-3172, 2021.

MANFRÉ, L. A. SILVA, A. M., URBAN, R. C., & RODGERS, J. (2013). Environmental fragility evaluation and guidelines for environmental zoning: a study case on Ibiuna (the Southeastern Brazilian region). *Environmental Earth Sciences*, 69(3), 947-957.
<http://hdl.handle.net/11449/111714>

MAPBIOMAS. (2023). *Plataforma*. Disponível em <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>

PERIÇATO, A. J., & NUNES, J. O. R. (2024). ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL: REVISÃO. *GEOFRONTER*, 10, e8637.
<https://doi.org/10.61389/geofronter.v10.8637>

PINESE JÚNIOR, J. F., & RODRIGUES, S. C. (2012). Método de Análise Hierárquica - AHP como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Piedade (MG). *Revista do Departamento de Geografia*, 23, 4–26.
<https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0023.0001>

REIS, C. F, SANTOS, A. M, MOREIRA, J. M. M. A. P, OLIVEIRA, V. L. E, COSTA, A. C, DUARTE, M, FARINA, S. S, BARREIRA, S, & REZENDE, W. (2018). *Diretrizes para promoção do desenvolvimento florestal no estado de Goiás*. Goiânia: Sebrae.

ROSS, J. L. S. (1994). Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. *Revista do departamento de geografia*, 8, 63-74. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>

ROSS, J. L. S. (2012). Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. *Revista do Departamento de Geografia*, esp., 38-51.
<https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0112.0003>

SIEG-GO. (2022). *Sistema Estadual de Geoinformação*. Disponível em <https://goias.gov.br/imb/sieg/>

SILVA, TAUÃ OSAIDA DA. Efeito do uso de diferentes práticas silviculturais e modelos de plantio misto de espécies arbóreas em área degradada no sul do Brasil. 2023.

SOARES, D. R.; NAHSEN, M. H. C.; SOARES, F. da S.; MORALES, M. V. .; RIGONATO, M. B.; GERMANO, A. D.; VALENTE, R. A. . Structural connectivity of native vegetation for forest conservation planning. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 4, p. e39811427492, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i4.27492. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/27492>. Acesso em: 7 nov. 2024.

TEIXEIRA, T. M. DE A.; TEIXEIRA, A. C. DE O.; OLIVEIRA, E. S. Avaliação da vulnerabilidade natural à perda de solo e fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Rita (DF-GO). **Revista Cerrados**, [S. l.], v. 22, n. 01, p. 217–236, 2024. DOI: [10.46551/rc24482692202409](https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/7249). Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/7249>. Acesso em: 7 nov. 2024.

TRICART, J. (1977). *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 91p.

WANG, L.; HUANG, J.; DU, Y.; HU, Y.; & HAN, P. (2013). Dynamic assessment of soil erosion risk using Landsat TM and HJ satellite data in Danjiangkou Reservoir area, China. *Remote Sensing*, v. 5(8), 3826-3848. <https://doi.org/10.3390/rs5083826>

Publicação: Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Geografia. Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio ambiente. Publicação no Portal de Periódicos UFJ. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores: Eduardo Henrique Batista Marcelino: Conceituação, Curadoria de dados, Análise formal, Investigação, Escrita, Rascunho original. Klaus de Oliveira Abdala: Orientação, Análise de dados, Curadoria de dados, Conceituação, Supervisão, Validação de dados e Experimentos.

Financiamento: Bolsa de pós-graduação nível Mestrado concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) para o curso de pós-graduação stricto sensu em Agronegócio pelo Programa de Pós-Graduação em Agronegócio (PPGAGRO-UFJ).

Conflito de interesse: Os autores não têm interesses financeiros ou não financeiros relevantes a divulgar.