



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE
Av. NS 15 ALC NO 14, Bloco III, Sala 19, Palmas/TO; CEP 77020-210.
Fone: (63) 3232-8177| E-mail: pgciamb@uft.edu.br

ERLAN SILVA DE SOUSA

MUDANÇAS NO USO DA TERRA E NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS EM
ÁREAS ATINGIDAS POR HIDRELÉTRICAS NA BACIA TOCANTINS
ARAGUAIA

Palmas - TO
2025

Erlan Silva de Sousa

**MUDANÇAS NO USO DA TERRA E NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS EM
ÁREAS ATINGIDAS POR HIDRELÉTRICAS NA BACIA ARAGUAIA
TOCANTINS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente (PPGCIAMB) da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Palmas (CUP), como requisito parcial para obtenção de título de Doutor em Ciências do Ambiente.

Orientadora: Prof. Dra. Elineide Eugênio Marques

Coorientador: Prof. Dr. Jonas Carvalho e Silva

**Palmas - TO
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

S725m Sousa, Erlan Silva.
Mudanças no uso da terra e na produção agrícola em áreas atingidas por hidrelétricas na bacia Tocantins-Araguaia. / Erlan Silva Sousa. – Palmas, TO, 2025.
101 f.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Ciências do Ambiente, 2025.
Orientadora : Elineide Eugênio Marques
Coorientador: Jonas Carvalho Silva
1. bacia Tocantins-Araguaia. 2. Produção de alimentos. 3. Hidrelétricas. 4. Uso da terra. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autonzado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Erlan Silva de Sousa

**MUDANÇAS NO USO DA TERRA E NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS EM
ÁREAS ATINGIDAS POR HIDRELÉTRICAS NA BACIA ARAGUAIA
TOCANTINS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente. Foi avaliada para obtenção do título de Doutor em Ciências do Ambiente e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora

Orientadora: Prof. Dra. Elineide Eugênio Marques
Coorientador: Prof. Dr. Jonas Carvalho e Silva

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Elineide Eugênio Marques - Orientador e presidente da banca - PGCIAMB - UFT

Prof. Dr. Jonas Carvalho e Silva, Coorientador - PGCIAMB - UFT

Prof. Dra. Juliana Fonseca Moreira da Silva - PGCIAMB - UFT

Prof. Dr. Heber Rogério Grácio - Membro Interno - PGCIAMB - UFT

Prof. Dr. José Luiz Cabral da Silva Junior – Membro externo - UNITINS - PROFÁGUA

Prof. Dr. Jose Roberto Verginio de Pontes - Membro Externo - IFPA - PRODUÇÃO
VEGETAL

Dedico esta tese aos meus pais, que sempre foram minha base e inspiração, e que sempre me incentivaram a buscar o conhecimento por meio dos estudos.

“A menos que modifiquemos à nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, pela saúde e pela oportunidade de vivenciar ótimas experiências ao longo da minha jornada acadêmica. Sou grato por ter guiado e abençoado os meus passos, renovando minha fé e me concedendo força para enfrentar os desafios com coragem, sem jamais desistir de alcançar meus objetivos.

Agradeço aos meus pais, que, mesmo sem formação acadêmica, sempre enxergaram nos estudos uma oportunidade de transformação e mudança de vida. Foram eles que, com palavras e exemplos, me incentivaram a seguir em frente, a cursar o mestrado e, agora, a concluir o doutorado. Sei que para eles é motivo de orgulho ver essa conquista, que também é deles, e saber que, por meio do conhecimento, posso contribuir com o lugar onde nasci e onde hoje atuo profissionalmente.

À minha orientadora, Dra. Elineide Marques, minha gratidão pelos ensinamentos e pela orientação ao longo desta jornada no doutorado. Seu exemplo de dedicação e comprometimento com a educação, sempre de forma acolhedora e humana, foi fundamental para o meu crescimento acadêmico e pessoal. Sua orientação e seus questionamentos valiosos foram essenciais para moldar minha pesquisa e ampliar minha forma de compreender as ciências ambientais. Muito obrigado!

Ao meu coorientador, Jonas Carvalho, pelas valiosas orientações e pelo exemplo inspirador de pesquisador, ser humano e amigo. Agradeço por ter me acolhido na Universidade de Dortmund, na Alemanha, durante o período do Doutorado Sanduíche, e por ter me apresentado a professores, pesquisadores e colegas que enriqueceram minha experiência acadêmica e pessoal.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Meio Ambiente da Universidade Federal do Tocantins, que ministraram as aulas com dedicação, e a todos os membros do colegiado deste programa, cuja atuação comprometida faz a diferença na pós-graduação e na área das ciências ambientais.

À Universidade Federal do Tocantins e a todos os seus colaboradores, meu sincero agradecimento por serem a base da minha formação desde a graduação, passando pelo mestrado até o doutorado. Foram anos de estudo e crescimento nesta instituição, e sou profundamente grato por todas as oportunidades e aprendizados e momentos que vivi ao longo dessa trajetória.

Ao Instituto Federal do Pará, agradeço pelo apoio concedido à minha formação e qualificação profissional, contribuindo para o meu desenvolvimento acadêmico.

A Universidade da Dortmund (em nome do Professor Kepler e Ije Jene).

À CAPES, pela concessão de bolsa de Doutorado Sanduíche, no ano de 2024.

RESUMO

A Bacia Tocantins-Araguaia, uma das principais regiões agrícolas e hidroenergéticas do Brasil, tem vivenciado grandes transformações territoriais nas últimas décadas. Esta tese teve como objetivo analisar as transformações na produção agrícola na Bacia Tocantins-Araguaia, considerando as mudanças no uso da terra e as influências decorrentes da instalação de empreendimentos hidrelétricos na produção de alimentos. A pesquisa foi estruturada em quatro eixos principais: análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra entre 1985 e 2022 com base em dados do MapBiomas; revisão sistemática da literatura sobre os impactos das hidrelétricas na agricultura familiar; estudo sobre a perda de áreas agrícolas e reassentamento de produtores; e avaliação da substituição de cultivos alimentares em municípios impactados. As abordagens metodológicas incluíram análise estatística, elaboração de mapas temáticos e meta-análise qualitativa comparativa (fsQCA). Os resultados indicam uma redução expressiva de áreas florestais e um crescimento acelerado das áreas agropecuárias, especialmente voltadas à produção de commodities como soja e milho. Os resultados apontam um crescimento expressivo das áreas destinadas à agropecuária na Bacia Tocantins-Araguaia, com expansão da fronteira agrícola em detrimento das áreas florestais. A análise por meio da metodologia fsQCA identificou múltiplas combinações de condições causais suficientes para explicar a ocorrência de impactos negativos da construção de usinas hidrelétricas sobre a produção agrícola, incluindo perda de áreas agricultáveis, reassentamento forçado de produtores e ausência de medidas de mitigação eficazes. A pesquisa também constatou a inundação de terras férteis pela formação dos reservatórios, o que gerou o deslocamento compulsório de agricultores e a interrupção de seus sistemas tradicionais de produção. Além disso, observou-se a substituição de cultivos alimentares locais por commodities agrícolas, como soja e milho, nos municípios diretamente impactados pelas hidrelétricas, comprometendo a diversidade produtiva, a segurança nutricional e a soberania alimentar das comunidades atingidas. Conclui-se que as transformações territoriais impulsionadas pela expansão agrícola e hidrelétrica geram impactos estruturais sobre a produção de alimentos, reforçando desigualdades socioeconômicas e ameaçando os modos de vida tradicionais.

Palavras-chave: Bacia Tocantins-Araguaia. Uso e cobertura da terra. Hidrelétricas. Produção agrícola. Soberania alimentar.

ABSTRACT

The Tocantins-Araguaia Basin, one of Brazil's main agricultural and hydroenergetic regions, has undergone significant territorial transformations in recent decades. This study aimed to analyze the transformations in agricultural production in the Tocantins-Araguaia Basin, considering land use changes and the influences arising from the installation of hydroelectric projects on food production. The research was structured around four main axes: a spatiotemporal analysis of land use and land cover between 1985 and 2022 based on MapBiomas data; a systematic literature review on the impacts of hydroelectric dams on family farming; an investigation into the loss of agricultural land and the resettlement of producers; and an assessment of the replacement of food crops in municipalities affected by dams. Methodological approaches included statistical analysis, thematic mapping, and fuzzy-set Qualitative Comparative Analysis (fsQCA).

The results indicate a marked reduction in forested areas and a rapid expansion of agricultural land, particularly dedicated to commodity crops such as soybeans and corn. The fsQCA methodology identified multiple combinations of causal conditions sufficient to explain the occurrence of negative impacts from hydroelectric dam construction on agricultural production, including the loss of arable land, forced resettlement of farmers, and the absence of effective mitigation measures. The research also confirmed the flooding of fertile lands due to reservoir formation, leading to the compulsory displacement of agricultural communities and the disruption of their traditional production systems. Additionally, the replacement of local food crops by commodity agriculture was observed in municipalities directly affected by dams, undermining productive diversity, nutritional security, and local food autonomy. The study concludes that the territorial transformations driven by agricultural and hydroelectric expansion generate structural impacts on food production, reinforce socio-economic inequalities, and threaten traditional livelihoods.

Keywords: Tocantins-Araguaia Basin. Land use and land cover. Hydroelectric dams. Agricultural production. Food sovereignty.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
Aproximação do pesquisador com a temática	17
OBJETIVOS	20
Objetivo geral	20
Objetivos específicos	20
MUDANÇAS NO USO DA TERRA E A EVOLUÇÃO AGRÍCOLA NA BACIA TOCANTINS-ARAGUAIA: 1985 A 2022	21
Introdução	21
Metodologia	22
Resultados e discussão	25
Conclusões	37
Referências	37
O QUE DIZEM AS PESQUISAS ACADÊMICAS SOBRE OS IMPACTOS DAS HIDRELÉTRICAS NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA?	40
Resumo	40
Introdução	41
Metodologia	43
Resultados e discussão	45
Considerações finais	54
Referências	55
HIDRELÉTRICAS NA BACIA TOCANTINS-ARAGUAIA: ÁREAS INUNDADAS E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS	60
Resumo	60
Introdução	60
Materiais e métodos	62
Resultados e discussão	65
Conclusões	72
Referências	73
A SUBSTITUIÇÃO DAS CULTURAS ALIMENTARES EM ÁREAS IMPACTADAS POR HIDRELÉTRICAS NA BACIA-TOCANTINS ARAGUAIA E A SOBERANIA ALIMENTAR	75
Resumo	75
Introdução	75
Metodologia	78

Resultados e discussão	81
Conclusões.....	88
Referências	90
CONCLUSÃO GERAL	93
REFERENCIAS	95

INTRODUÇÃO GERAL

A produção agrícola é uma variável fundamental para o desenvolvimento econômico e garantia de alimentos para a população em todo o mundo (Fuglie; Morgan; Jelliffe, 2024). No Brasil, a agricultura representa uma porção significativa para a economia, contribuindo com 23,2% do Produto Interno Bruto total do Brasil (IBGE, 2025) além de contribuir para a redução da pobreza e a estabilidade socioeconômica (Bezerra; Schlindwein, 2017; Luz; Fochezatto, 2023).

A agricultura é historicamente influenciada por fatores naturais, sociais e tecnológicos, no entanto, atualmente decisões políticas e econômicas estão entre os fatores que mais influenciam os resultados da produção agrícola (Smelik, 2022). Essas decisões, impulsionadas por fatores internos e externos, impactam as escolhas sobre o que os agricultores produzem e a quantidade produzida (Halloran; Archer, 2008; Johnson; Thow; Nisbett, 2023), em muitos casos levando a escolha de produtos mais rentáveis em detrimento de uma produção mais variada de alimentos, influenciando a demanda, preços e a disponibilidade de alimentos acessíveis a população.

A expansão de empreendimentos de grande porte, como rodovias, ferrovias, usinas hidrelétricas é outro fator transformador dos territórios rurais, e de áreas destinadas à produção agrícola. Esses empreendimentos causam impactos diretos e indiretos sobre o uso e a ocupação do solo, afetando os sistemas de produção (Dorber; May; Verones, 2018; Guerrero *et al.*, 2020; Shamdasani, 2021), que podem comprometer a soberania alimentar de comunidades locais, especialmente em países em desenvolvimento (Fauziah; Arifin; Susanto, 2022; Mustika Iubbis, 2024; Sari; Muslim, 2024).

No Brasil, a Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia se destaca como uma região estratégica para a agricultura e o desenvolvimento econômico do país. A bacia possui uma vasta extensão territorial e é caracterizada pela abundância de recursos hídricos, essenciais para a produção de energia, irrigação e outras atividades econômicas (Gomes; Blanco; Pessoa, 2019; Vieira Valadão *et al.*, 2023). No entanto, o uso intensivo desses recursos tem causado impactos ambientais e gerado conflitos que ameaçam a sustentabilidade ambiental e a integridade dos ecossistemas locais (Montoya *et al.*, 2018; Obeso *et al.*, 2024; Large-scale Degradation of the Tocantins-Araguaia River Basin Pelicice *et al.*, 2021b; Polizel *et al.*, 2021; Sousa; Marques, 2024).

A bacia Tocantins-Araguaia é um dos maiores sistemas fluviais da América do Sul, localizado inteiramente em território brasileiro e abrange áreas dos estados de

Tocantins, Goiás, Mato Grosso, Maranhão e Pará (Acioly *et al.*, 2024). A região passou por grandes mudanças nas últimas décadas devido a atividades intensivas em capital, como agronegócio, mineração e desenvolvimento hidrelétrico (Large-scale Degradation of the Tocantins-Araguaia River Basin Pelicice *et al.*, 2021a). Essas atividades tem promovido um crescimento econômico, mas também tem desencadeado alterações significativas na cobertura do solo, hidrologia e condições ambientais (Silva Bernardino; José Ribeiro, 2023; Sousa; Marques, 2024).

A expansão da agricultura na Bacia do Tocantins-Araguaia tem sido notável nas últimas décadas. Sua vasta extensão territorial e à presença de solos férteis, tem favorecido a expansão da fronteira agrícola, consolidando-se como importante polo de produção de grãos, pastagens e culturas alimentares. Essa expansão é impulsionada pela busca por novas fronteiras agrícolas e pelo desenvolvimento socioeconômico da região (Marchi *et al.*, 2024).

A área tem atraído grandes investimentos em monoculturas de larga escala, especialmente soja, milho e pastagens para a pecuária extensiva, afim de atender ao mercado internacional (Cerqueira, 2018; Martins; De Souza; Kloh, 2017; Schmitz *et al.*, 2025). Essa dinâmica produtiva está fortemente associada ao avanço do agronegócio, que opera sob uma lógica de alta produtividade e eficiência econômica, muitas vezes em detrimento de práticas sustentáveis e de usos tradicionais da terra. A infraestrutura logística, como rodovias, hidrovias e centros de armazenamento, tem sido ampliada para atender às demandas desse modelo de produção agroexportador

A produção de alimentos para o consumo local, geralmente comercializados em pequenos comércios informais e feiras, cultivados pela agricultura familiar e de subsistência vem cedendo espaço para a produção em larga escala de commodities agrícolas destinadas à exportação (Bazotti; Coelho, 2018; Schuster; Filho; Hahn, 2024). Esse processo tem gerado impactos socioambientais, incluindo a concentração de terras e capitais, conflitos agrários e insegurança alimentar (Almeida, 2020; Corrêa *et al.*, 2019; Sauer, 2024).

A expansão da fronteira agrícola no Matopiba (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) é um exemplo do avanço da comoditização agrícola na Bacia Tocantins-Araguaia (Latrubesse *et al.*, 2019; Large-scale Degradation of the Tocantins-Araguaia River Basin Pelicice *et al.*, 2021b). Essa região, considerada a última fronteira agrícola do país, ocupa 42% do território da bacia, e tem sido alvo de investimentos massivos para a

produção de soja e milho, intensificando a pressão sobre os recursos naturais e as comunidades locais (Araújo *et al.*, 2024).

As terras da região são predominantemente ocupadas por grandes propriedades, enquanto as áreas destinadas à agricultura familiar consistem em pequenas parcelas, insuficientes para garantir a sustentabilidade das atividades agrícolas das famílias. Apesar da escassez de recursos e incentivos provenientes de órgãos estatais e do mercado, é a agricultura familiar que tem desempenhado um papel importante na garantia da produção de alimentos para o mercado interno, uma vez que a agricultura moderna mecanizada produz apenas commodities para a exportação (Marchi; Santos; Vieira, 2024; Santos *et al.*, 2024).

A substituição de cultivos alimentares por commodities não apenas compromete a segurança alimentar das comunidades locais, mas também ameaça o equilíbrio socioeconômico regional. A produção de commodities, embora economicamente vantajosa no curto prazo, contribui para a marginalização de pequenos agricultores (Bazotti; Coelho, 2018). Esse fenômeno intensifica a desigualdade rural e fragiliza os sistemas de produção voltados ao abastecimento interno (Arbex Valadares, 2022).

A soberania alimentar é fortemente afetada pela substituição de cultivos alimentares por commodities, uma vez que essa prática compromete a autonomia das comunidades locais na definição de políticas e estratégias de produção de alimentos, tornando-as dependentes de mercados externos e vulneráveis a flutuações econômicas globais (Bradão; Peres; Moraes, Verena Pereira; Casemiro, 2022; Moruzzi Marques; Gebrim Dória, 2021). Além disso, a priorização de commodities para exportação pode levar à redução da diversidade agrícola local, afetando a disponibilidade de alimentos nutritivos e culturalmente adequados para a população local (Maciel; Troian; Oliveira, 2022).

Acrescenta-se a isso, a intensificação do uso de agrotóxicos para a produção de commodities agrícolas como outro fator alarmante. Estudos apontam que esses insumos químicos contaminam os solos e os corpos hídricos, afetando tanto a saúde humana quanto a biodiversidade (Borba *et al.*, 2024). Esse cenário reforça a necessidade de alternativas produtivas sustentáveis que reduzam a dependência de insumos externos e valorizem práticas agroecológicas (Araújo *et al.*, 2022; Fortini; Braga; Freitas, 2020).

As mudanças climáticas globais também estão interligadas às transformações ambientais e aos sistemas produtivos na bacia Tocantins-Araguaia. O desmatamento para expansão agrícola e a emissão de gases de efeito estufa associada às práticas intensivas

de manejo agrícola agravam os impactos climáticos (Araújo *et al.*, 2024). Isso reforça a urgência de implementar estratégias que conciliem desenvolvimento econômico e conservação ambiental.

A implantação de usinas hidrelétricas na Bacia Tocantins-Araguaia é outro fator que pressiona a produção agrícola, gerando impactos socioeconômicos e ambientais significativos. Esses efeitos estão associados a alterações no uso e na ocupação da terra (de Oliveira Serrão *et al.*, 2020; Dorber; May; Verones, 2018; Sousa; Marques, 2024), nos regimes hidrológicos (de Oliveira Serrão *et al.*, 2023; Penereiro; Martins; Beretta, 2016), nas áreas de várzeas e planícies de inundação (Castro *et al.*, 2018; Swanson *et al.*, 2021). Além disso, os projetos hidrelétricos têm provocado o reassentamento forçado de comunidades tradicionais de agricultores, o que compromete seus modos de vida e de produção. (Carolina; Catolico, 2019; Carvalho; Sieben, 2019; Elizabeth; Marín, 2015).

As inundações decorrentes da construção das barragens das usinas hidrelétricas, atingem diretamente as populações que dependem dessas áreas para produção agrícola e a manutenção de seus modos de vida. A inundação de terras agrícolas e áreas habitadas pode resultar no deslocamento forçado de comunidades inteiras e na interrupção de meios de subsistência tradicionais (Jaysawal; Saha, 2018; Langill; Abizaid, 2020). Esses impactos tendem a intensificar a vulnerabilidade social e econômica das comunidades atingidas, além de aumentar a ocorrência de conflitos e tensões sociais.

A perda de terras férteis e áreas agrícolas devido as inundações pode ter consequências duradouras para a segurança e soberania alimentar das comunidades locais. A inundação de terras produtivas pode resultar na diminuição da disponibilidade de alimentos locais e no aumento da dependência de alimentos importados (Viana; Silva, 2023; Yoshida *et al.*, 2020). Essa dependência pode aumentar a vulnerabilidade das comunidades locais, aumentando flutuações nos preços e escassez de alimentos.

Apesar de o Brasil ser um dos maiores produtores de alimentos do mundo, uma parte significativa da população enfrenta fome e insegurança alimentar, refletindo desigualdades no acesso aos recursos alimentares (Bezerra *et al.*, 2020; Bonfim, 2024). Esse cenário se distancia dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS-2, que visa acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e promover a agricultura sustentável (Maciel; Troian; Oliveira, 2022).

Nesse sentido, a hipótese desta tese é de que as mudanças no uso da terra e na produção agrícola da Bacia Tocantins-Araguaia, são resultantes de um conjunto de fatores

socioambientais, entre os quais a instalação de empreendimentos hidrelétricos desempenha um papel contributivo, por meio da implicação de perda de áreas agrícolas, deslocamento de agricultores e mudanças nos modos de produção, impactando a produção de alimentos e a soberania alimentar das comunidades locais.

Aproximação do pesquisador com a temática

A escolha do tema desta pesquisa surgiu a partir das minhas experiências acadêmicas e das vivências cotidianas no contexto agrícola e ribeirinho do município de Conceição do Araguaia, no estado do Pará. Essa aproximação com a temática também foi influenciada pelas memórias e histórias compartilhadas por meus pais e avós, que, assim como milhares de nordestinos, migraram do Nordeste para a região amazônica na década de 1970. Fugindo da seca e da pobreza, serviram como força de trabalho braçal nos grandes latifúndios da região e depois como agricultores familiares, o que contribuiu para minha sensibilização em relação às dinâmicas sociais, econômicas e ambientais associadas a esses processos na Amazônia.

Seguindo a trajetória de luta de meus avós, meu pai foi um dos camponeses sem terra contemplados com uma pequena parcela de terra proveniente da divisão de grandes latifúndios na Amazônia, como parte do processo de reforma agrária na década de 1990. Ao longo dos anos, acompanhei de perto seu esforço e dedicação na organização de uma associação de trabalhadores rurais assentados voltada à produção agrícola no Projeto de Assentamento Santa Eudóxia. Esse projeto foi implantado em uma parte da antiga Fazenda Antártica, anteriormente pertencente a um grupo empresarial do setor de bebidas. Essa mesma fazenda fazia divisa com a Fazenda Bradesco, pertencente a um grande conglomerado bancário, com mesmo nome.

Acompanhei meu pai cultivando abóbora, maxixe, quiabo, jiló, mandioca, abacaxi, coco, banana, manga, ingá, caju, batata-doce, milho e arroz, tanto para complementar a alimentação da família quanto para gerar renda. Ao longo dos anos, testemunhei sua luta diária para manter a produção diante de inúmeras dificuldades, como o aumento constante dos custos de insumos, o surgimento de pragas, o encarecimento das sementes e a crescente competitividade com grandes produtores de outras regiões. Esses desafios tornaram inviável a continuidade da agricultura familiar voltada à produção de alimentos, levando-o, assim como os demais agricultores do assentamento, a optar exclusivamente pela atividade pecuária.

No município de Conceição do Araguaia, durante minha infância, era comum a existência de diversas usinas de beneficiamento de arroz. Tive a oportunidade de vivenciar esse ambiente, inclusive brincando entre as palhas, enquanto o arroz dos agricultores familiares era beneficiado por meio do sistema de pagamento de “meia”, no qual parte da produção era cedida ao dono da usina. Com o passar dos anos, testemunhei o fechamento dessas usinas e o abandono da produção de arroz por parte dos pequenos produtores. Da mesma forma, era comum, na feira coberta da cidade, encontrar famílias comercializando ou mesmo trocando seus produtos agrícolas por outros alimentos, prática que também se tornou cada vez mais rara com o tempo.

Atualmente, os grãos, verduras e legumes comercializados na mesma feira provêm, em sua maioria, de outras cidades e estados do Brasil. Apesar de Conceição do Araguaia ser um dos municípios com tradição agrícola e com o maior número de assentamentos de reforma agrária do Norte do Brasil, a maior parte dos alimentos hoje consumidos pela população é produzida em outras regiões. Trata-se de um território caracterizado por terras férteis e abundância de recursos hídricos, mas que, tornou-se dependente da produção externa e vulnerável às oscilações de preço do mercado.

Um lugar que antes era autossustentável em sua produção agrícola hoje podemos ver pessoas em situações de insegurança alimentar. As áreas produtivas, que antes atendiam às necessidades alimentares locais, passaram a ser destinadas, à pecuária extensiva e à monocultura de milho e soja.

Após minha mudança para Palmas, com o objetivo de cursar Engenharia Ambiental e, posteriormente, o mestrado e doutorado em Ciências do Ambiente na Universidade Federal do Tocantins, chamou-me a atenção o fato de o campus da Universidade Federal do Tocantins estar situada às margens da Usina Hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães. A imensidão do lago e a vasta extensão de áreas alagadas em decorrência da construção da barragem despertaram em mim uma inquietação.

Nesse contexto, ao unir minha vivência pessoal com o interesse acadêmico, surgiu o desejo de investigar como a produção de alimentos foi afetada nas áreas atingidas por hidrelétricas. Considerando que a agricultura familiar já sofre diversas pressões de mercado e da concorrência com grandes produtores, imaginei que esses impactos poderiam ser ainda mais aumentados em áreas atingidas por empreendimentos hidrelétricos. A escolha desse tema foi também influenciada pela afinidade com a linha de pesquisa da minha orientadora e pelas experiências adquiridas durante visitas de campo às áreas de estudo.

Durante o processo de construção deste trabalho, foi possível constatar que não apenas as hidrelétricas, mas também o modelo agrícola e de desenvolvimento adotado no país estão direcionados na produção de monoculturas voltadas à exportação. Esse modelo, associado a falta de recursos financeiros, financiamentos, aos impactos causados por grandes obras desenvolvimentistas e à falta de assistência técnica, tem contribuído para que muitos agricultores abandonem a agricultura familiar. Como consequência, observa-se a redução tanto da quantidade quanto da diversidade de alimentos produzidos.

As experiências adquiridas ao longo da construção deste trabalho, aliadas ao contato com a literatura já publicada sobre o tema, evidenciaram a importância da prática da agricultura familiar, mesmo que em pequena escala, para a promoção da soberania alimentar e para a garantia da disponibilidade de alimentos de boa qualidade para as famílias e para a população local. Além disso, destaca-se a importância do agricultor familiar na redução da dependência de fontes externas de alimentos, geralmente mecanizadas e industrializadas, contribuindo assim para um sistema alimentar mais justo, resiliente e sustentável.

Meu desejo é que os produtores possam retomar a produção de alimentos, garantindo às suas famílias uma nutrição adequada, baseada na qualidade e na diversidade de itens como frutas, verduras, legumes, carnes, ovos, leite e queijo. Que essa produção, além de assegurar o autoconsumo, gere excedentes que possam ser comercializados no entorno, fortalecendo as redes locais de abastecimento e promovendo o desenvolvimento sustentável das comunidades rurais.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Analisar as transformações na produção agrícola na Bacia Tocantins-Araguaia, considerando as mudanças no uso da terra e as influências decorrentes da instalação de empreendimentos hidrelétricos.

Objetivos Específicos

- Analisar as mudanças no uso da terra e investigar a expansão agrícola na Bacia Tocantins-Araguaia entre 1985 e 2022;
- Investigar os impactos da construção de usinas hidrelétricas na produção agrícola na Bacia Tocantins-Araguaia, a partir de uma revisão de literatura sistemática e uma meta-análise qualitativa comparativa;
- Avaliar as consequências da perda de áreas agrícolas e do deslocamento de agricultores na produção decorrentes da instalação de hidrelétricas;
- Analisar a substituição de culturas alimentares em municípios atingidos por hidrelétricas e seus efeitos sobre a soberania alimentar.

MUDANÇAS NO USO DA TERRA E A EVOLUÇÃO AGRÍCOLA NA BACIA TOCANTINS-ARAGUAIA: 1985 A 2022

INTRODUÇÃO

A bacia Tocantins-Araguaia tem passado por mudanças significativas nas últimas décadas, principalmente em função da expansão da fronteira agrícola. Essa expansão, impulsionada por fatores como a demanda crescente por alimentos e commodities agrícolas, tem gerado impactos socioambientais e aumentado a discussão acerca de práticas de uso sustentável na bacia.

A partir dos anos 1970, a região passou por um rápido processo de expansão agrícola, com investimentos em tecnologia e modernização agropecuária, e atualmente é reconhecida como a principal região produtora de alimentos do Brasil, abrangendo extensas áreas de agricultura e pecuária, além de possuir cerca de 5% do estoque bovino mundial (Vilpoux; Gonzaga; Pereira, 2021).

Apesar da importância da produção agrícola na bacia, é importante ponderar sobre os custos socioambientais dessa expansão desenfreada. A intensificação da agricultura, sem a devida atenção à sustentabilidade ambiental, pode levar à degradação do solo, à poluição dos recursos hídricos e à perda de produtividade no longo prazo, comprometendo o desenvolvimento socioeconômico da região (Ruiz Garcia; Ribeiro Romeiro, 2021; Souza *et al.*, 2023) e a própria população humana, que faz parte desse sistema.

A expansão agrícola na bacia Tocantins-Araguaia, com a plantação de monoculturas, tem sido acompanhada por conflitos socioambientais, incluindo questões relacionadas à posse da terra e direitos territoriais de comunidades indígenas e tradicionais. A rápida conversão de terras para fins agrícolas muitas vezes ignora os direitos e interesses dessas comunidades, desencadeando conflitos e impactos negativos em sua sustentabilidade cultural e socioeconômica (Fries *et al.*, 2010). Ao mesmo tempo em que se anunciam formas inovadoras que aceleram o ritmo de produção e de circulação das mercadorias sob a liderança de empresas globais, evidencia-se a expropriação de camponeses cujas únicas possibilidades disponíveis passam a ser a de venderem sua força de trabalho nas lavouras modernas de grãos em condições de extrema precarização, ou a de se instalarem nas periferias das cidades do agronegócio. Esses fatores agravam as crises ambientais por conta do avanço das culturas modernas (Alves, 2007).

Entender as mudanças no uso e cobertura da terra na bacia Tocantins-Araguaia é fundamental devido à sua importância estratégica como uma das principais regiões

produtoras do país, que abriga uma vasta diversidade de ecossistemas, habitats naturais e recursos hídricos, que estão sujeitos a mudanças rápidas devido à intensificação das atividades agrícolas e outras pressões ambientais. É importante compreender as tendências e impactos das mudanças no uso da terra nesta região para orientar políticas de gestão sustentável dos recursos naturais e minimizar potenciais efeitos negativos sobre o meio ambiente e as comunidades locais.

Diversos métodos são utilizados para avaliar as mudanças no uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas, dentre eles destaca-se, o uso de dados de Sensoriamento Remoto, apoiados por Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e outras técnicas de Geoprocessamento. Essas ferramentas desempenham um papel importante na gestão e tomada de decisões, colaborando no planejamento ambiental e ordenamento territorial de bacias hidrográficas (Castanho; Carvalho; Santana, 2020; Medeiros; Souza, 2015). As geotecnologias favorecem análises objetivas e complexas do uso e cobertura da terra, contribuindo para uma análise abrangente dos processos que explicam o comportamento das mudanças na paisagem de uma determinada área de estudo, sendo um importante instrumento na avaliação dos impactos ambientais (Silva, 2022).

Diante desse cenário, esse estudo visa avaliar as alterações no uso e cobertura da terra e investigar a expansão agrícola na bacia no período de 1985 a 2022.

METODOLOGIA

A bacia do rio Tocantins-Araguaia está localizada em uma vasta área geográfica, que inclui partes dos estados de Mato Grosso, Goiás, Tocantins, Maranhão e Pará (Figura 1), caracterizando-se por uma diversidade de solos e condições climáticas que influenciam diretamente atividades agrícolas desenvolvidas ao longo de sua área.

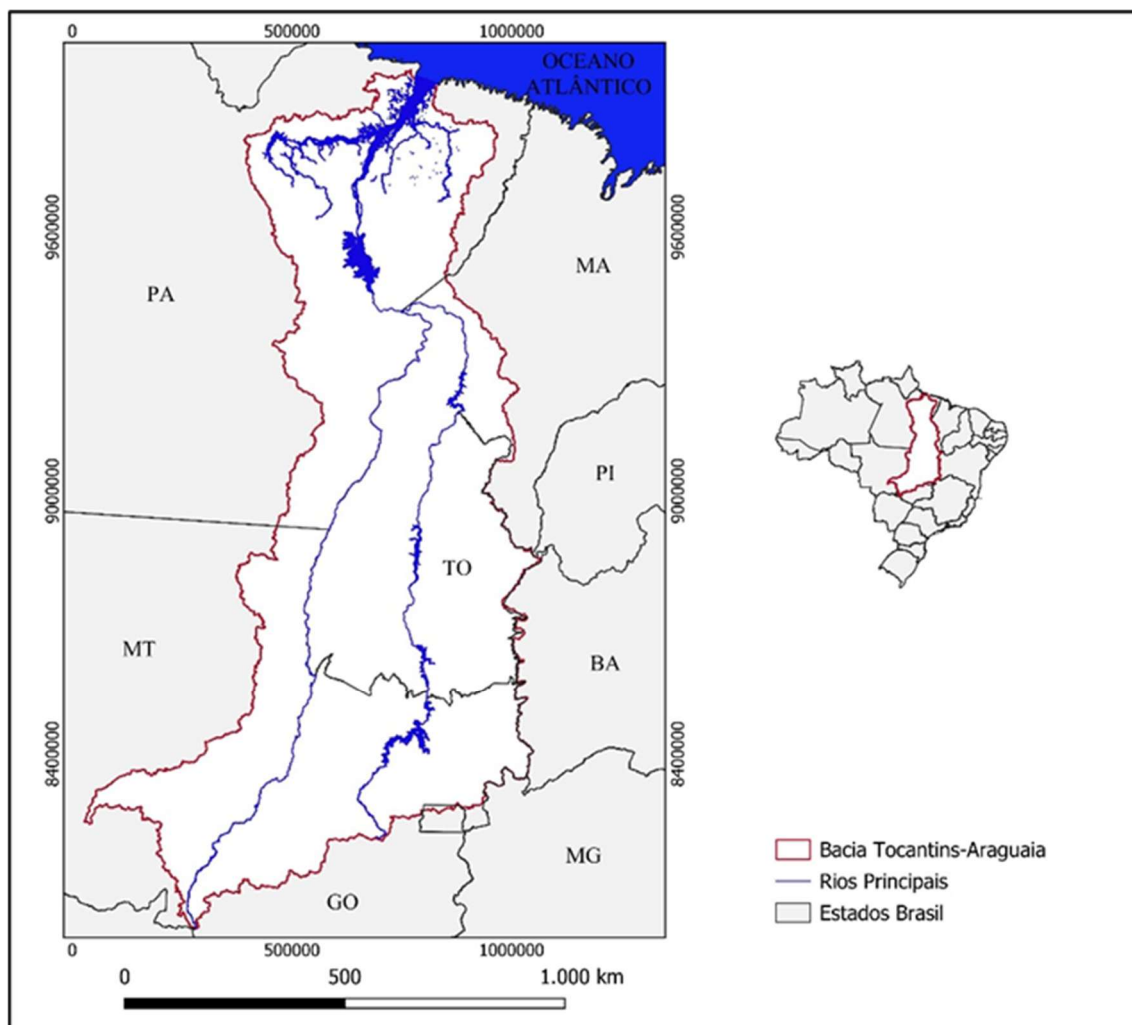


Figura 1. Mapa de localização da bacia Tocantins-Araguaia
Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

A bacia Tocantins-Araguaia apresenta um clima predominantemente tropical, com variações sazonais significativas. A precipitação anual média varia de 1000 a 2000 mm, com uma estação chuvosa que se estende de novembro a abril (Deus; Deus; Neves, 2020). Quanto aos solos, predominam uma diversidade edáfica na região, incluindo solos arenosos, argilosos e latossolos, que oferecem diferentes potenciais para o cultivo agrícola (Loreto *et al.*, 2022).

As informações sobre o uso cobertura da terra na bacia Tocantins-Araguaia foram coletadas da coleção 8.0 do Projeto MapBiomas©(2023), abrangendo um período de 38 anos, de 1985 a 2022. O MapBiomas, criado em 2015 em parceria com o Google Earth Engine, realiza uma avaliação da qualidade dos seus mapeamentos através da análise de acurácia. Segundo dados da plataforma, a acurácia global para todas as classes de uso e

cobertura, no nível 1, é de 91,3%, enquanto nos níveis 2 e 3 é de 87,9% (Projeto MapBiomias, 2023).

O arquivo vetorial que delimita a bacia Tocantins-Araguaia foi obtido no site da Agência Nacional de Águas (ANA) e importado para a plataforma do Google Earth Engine. Através desta plataforma, foi possível acessar os produtos desenvolvidos pelo MapBiomias. Dentre as coleções disponíveis na plataforma, foram coletados dados de cobertura e uso do solo em formato matricial, com resolução de pixel de 30 metros, e mosaicos de imagens de satélites para cada ano da série histórica de uma área específica. Cada mosaico pode conter até 105 camadas de informações, incluindo bandas espectrais, frações e índices, todos acessíveis diretamente no Google Earth Engine (Projeto MapBiomias, 2023).

Utilizando o software livre QGIS 3.30.3, foi realizada uma reclassificação, agrupando as classes com características semelhantes em um grupo geral, visando uma análise mais otimizada para o estudo, e confeccionados os mapas de uso e cobertura da terra da bacia. As variáveis de interesse para o estudo foram as classes Floresta, Formação Natural Não florestal, Agropecuária, Área Não Vegetada e Corpos d'água. A Tabela 1 apresenta as classes da coleção 8.0 do projeto e suas classes agrupadas.

Tabela 1. Classes de uso da terra do MapBiomias

Nome da Classe	Classes agrupadas
Formação Florestal	Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue, Floresta Alagável e Restinga
Formação Natural não Florestal	Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Apicum, Afloramento Rochoso, Outras Formações não Florestais
Agropecuária	Agricultura, Silvicultura, Mosaico de Agricultura e Pastagem
Área não Vegetada	Área Urbanizada, Praia, Duna e Areal, Mineração e Outras Áreas não Vegetadas
Corpo D'água	Rio, Lago, Oceano e Aquicultura

Fonte: MapBiomias (2023).

Foi gerado o diagrama de Sankey conforme a metodologia de Schmidt (2008), para a visualização do fluxo de transições entre as classes temáticas ao longo da série temporal estudada.

Para o tratamento estatístico dos dados, foi realizada uma análise descritiva e a aplicação de testes de normalidade utilizando o software RStudio© v.2023. Para avaliação temporal das áreas de cobertura e uso do solo, foi empregada a regressão clássica, conforme o modelo de regressão (Equação 1).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon_i \text{ (Eq.1)}$$

Sendo: Y_i é uma observação da variável dependente; X_1, X_2, \dots, X_n são as variáveis independentes; $\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ são referidos como coeficientes de regressão correspondentes, e ϵ_i é o erro associado às observações da variável dependente.

Para verificar se as amostras procediam de uma determinada distribuição de probabilidade, foram utilizados os testes de hipóteses não paramétricos Shapiro-Wilk (1965), Anderson-Darling (1954), Lilliefors (1967) e Jarque-Bera (1987).

Por fim, para análise da evolução da produção agrícola na bacia, extraiu-se da classe agropecuária as informações da subclasse agricultura e as áreas das principais culturas agrícolas. Essa análise permitiu identificar e quantificar o crescimento da área destinada à agricultura ao longo do período de estudo, fornecendo informações importantes sobre o desenvolvimento agrícola na região.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia destaca-se como uma área estratégica para o desenvolvimento econômico do país, que contribui para atender às crescentes demandas globais por produtos agrícolas e commodities. Em função desse contexto, observou-se um rápido processo de transformação do uso e cobertura da terra na área da bacia, evidenciando mudanças acentuadas nas paisagens (Figura 2).

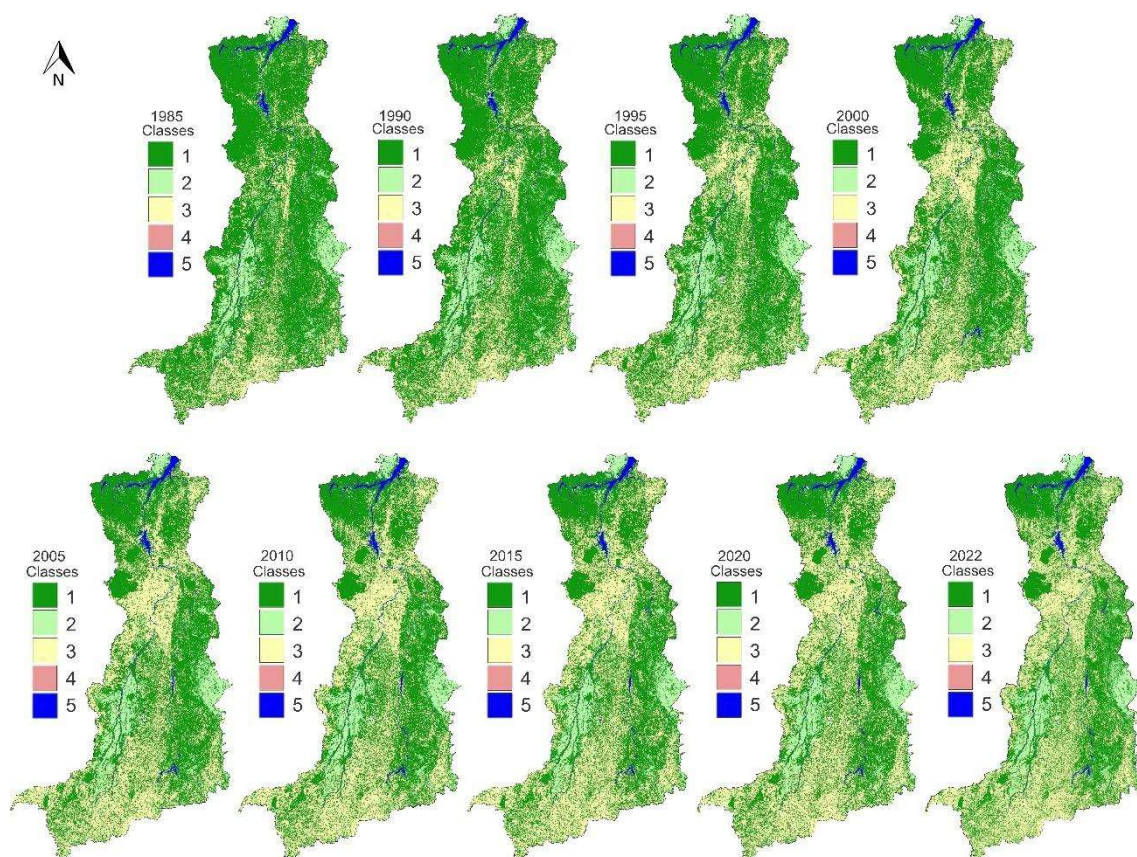


Figura 2. Mapas de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia.

Fonte: Elaborado pelos Autores a partir de dados do Mapbiomas (2023).

Legenda: 1-Florestas; 2-Formação natural não florestal; 3-Agropecuária; 4-Área não vegetada; 5-Corpos d'água

Verificou-se que a bacia perdeu aproximadamente 65% de suas áreas florestais, as quais foram convertidas em áreas destinadas à agropecuária, classe que apresentou um crescimento de 210% durante o período analisado (Tabela 1). Em 2022, 45,89% da extensão total da bacia era ocupada por atividades agropecuárias, enquanto 43,26% ainda estava coberta por formação florestal. Adicionalmente, 8,05% compreendia formações naturais não florestais, 1,94% corpos d'água e 0,87% de áreas não vegetadas.

Tabela 1. Variação espaço-temporal de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia

Classes	1985 (ha)	(%)	2022 (ha)	(%)
Floresta	61128206,65	66,57	39722946,12	43,26
Formação Natural não Florestal	8253528,07	8,99	7393886,45	8,05
Agropecuária	20091387,20	21,88	42136874,91	45,89
Área não Vegetada	777325,89	0,85	795453,54	0,87

Corpo D'água	1575718,76	1,72	1777008,97	1,94
Não Observado	19,14	0,001	15,71	0,001
Total	91826185,71	100,00	91826185,71	100,00

Fonte: MapBiomias (2023).

Barcelos et al. (2022) e Oliveira et al. (2020) ao avaliarem a evolução do uso e cobertura da terra em municípios na área de estudo, constataram que a cobertura florestal reduziu, sendo essa diminuição associada ao extensivo uso das terras para a prática da pecuária, bem como à ocorrência significativa do aumento de áreas exploradas para a agricultura na região.

Rodrigues e Castro (2018) mencionam que as transformações das áreas classificadas como floresta convertida para a classe agropecuária relacionam-se ao processo histórico de ocupação da região. Esse processo baseia-se no desmatamento de grandes áreas de vegetação nativa para a formação de pastagens e na subsequente implantação de áreas agrícolas, especialmente voltadas ao cultivo de soja.

A classe formação natural não florestal oscilou de 8.253.528,07 ha (8,99%) para 7.393.886,45 ha (8,05%) em 2022, representando uma perda percentual de cerca 10,42% da área. Para a classe de área não vegetada, foi identificado um aumento de 777.325,89 ha em 1985 para 795.453,54 ha em 2022, representando um acréscimo de 2,33% na área dessa classe. Esse aumento pode ser atribuído à urbanização das cidades que ocorreu ao longo dos 38 anos de comparação.

A classe corpo d'água apresentou variações significativas ao longo dos anos analisados. Em 1985, a área coberta por corpos d'água era de aproximadamente 1.575.718,76 ha, em 2022, essa área aumentou para cerca de 1.777.008,97 ha, correspondendo um aumento percentual de aproximadamente 12,78% (201.209,21 ha). O aumento observado na classe corpo d'água é atribuído à implementação de grandes usinas hidrelétricas na bacia, principalmente no rio Tocantins. Esses empreendimentos desencadearam processos de inundação em áreas que anteriormente eram terrestres.

Essas transformações exemplificam os impactos significativos das atividades antrópicas na bacia, refletindo não apenas as mudanças geográficas, mas também os desdobramentos ambientais associados às atividades econômicas desenvolvidas na região. Nesse contexto, na Figura 5 pode-se observar o diagrama de Sankey, que possibilita uma análise detalhada das transições de uso e cobertura da terra na bacia.

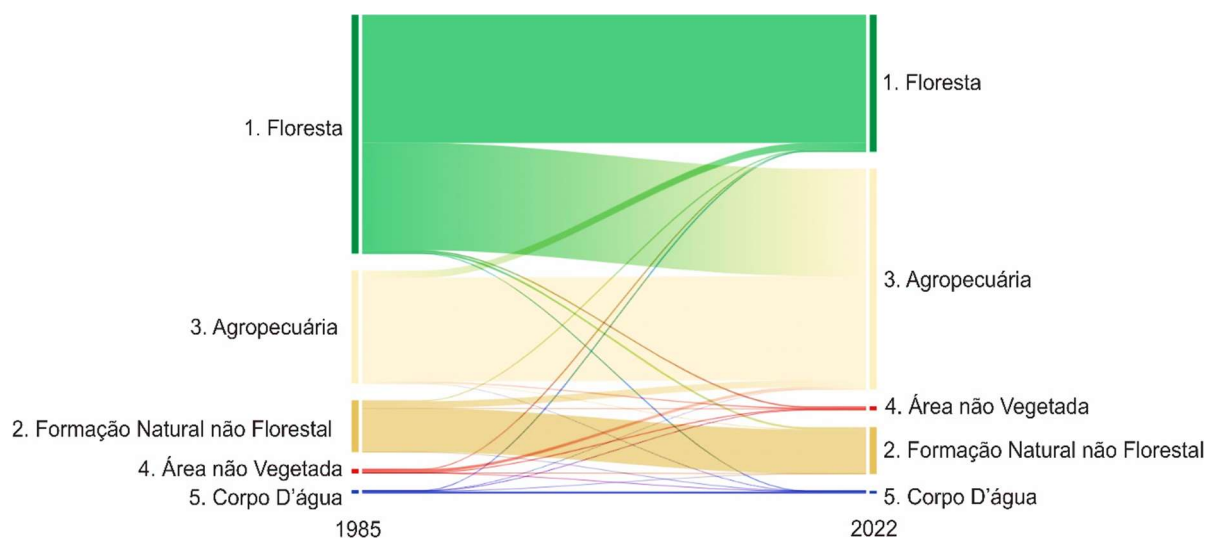


Figura 3. Diagrama de Sankey da transição espaço-temporal na bacia Tocantins-Araguaia.

Fonte: Elaborado pelos Autores a partir de dados do Mapbiomas (2023).

No Diagrama de Sankey, destaca-se o principal fluxo das classes em direção à classe agropecuária, sobretudo de áreas provenientes da classe floresta. Essa tendência indica um significativo redirecionamento de recursos na bacia, revelando as complexas dinâmicas associadas às mudanças do uso e cobertura da terra característica da região. Segundo Rivero et al. (2009), as atividades agropecuárias estão intrinsecamente ligadas ao desmatamento, sendo consideradas a causa imediata mais significativa da perda de áreas florestais, fato observado no diagrama.

A análise estatística descritiva dos dados apresentados na Tabela 2 fornece insights sobre a distribuição e variabilidade das diferentes categorias de uso e cobertura das áreas da bacia, contribuindo para uma compreensão da dinâmica temporal das classes de uso de solo. A variável floresta apresentou a maior amplitude, variando de 39.722.946,12 ha a 61.218.281,69 ha, com uma média de 52.184.625,14 ha e um desvio padrão de 5.167.146,02 ha. Os valores extremos indicam uma considerável diminuição na extensão das áreas florestais, e a elevada magnitude do desvio padrão sugere uma variação substancial entre os anos, ressaltando a natureza dinâmica e acentuada das mudanças na classe floresta.

Tabela 2. Análise descritiva da dinâmica do uso e cobertura da terra (ha) na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
----------	--------	--------	-------	---------------

	39.722.946,1	61.218.281,6	52.184.625,1	
Floresta	2	9	4	5.167.146,02
Formação Natural não Florestal	7.393.886,45	8.253.528,07	7.756.101,95	185.536,73
	20.091.387,2	42.136.874,9	29.437.686,9	
Agropecuária	0	1	7	5.414.724,01
Área não Vegetada	390.812,04	795.453,54	497.664,10	105.706,99
Corpo D'água	1.575.718,76	1.801.618,73	1.721.107,67	76.294,77
Não observado	14,73	22,33	19,79	1,59

Fonte: Elaborado pelos Autores a partir de dados do Mapbiomas (2023).

A variável formação natural não Florestal apresentou valores mais restritos, variando de 7.393.886,45 ha a 8.253.528,07 ha, com uma média de 7.756.101,95 ha e um desvio padrão de 185.536,73 ha. Isso sugere uma menor variabilidade na cobertura de áreas não florestais, caracterizando uma certa estabilidade nesse aspecto.

A análise da variável agropecuária destaca uma tendência de aumento na área destinada a essa atividade. A amplitude dessa categoria variou de 20.091.387,20 ha a 42.136.874,91 ha, com uma média de 29.437.686,97 ha e um desvio padrão de 5.414.724,01 ha. Os valores extremos indicam uma significativa expansão ao longo do tempo, refletindo o aumento da influência da agropecuária na região. A média expressiva reforça essa tendência de crescimento consistente. A magnitude do desvio padrão destaca a variação anual na extensão das áreas dedicadas à agropecuária. Essa variabilidade confirma o processo dinâmico de conversão de áreas anteriormente cobertas por florestas para atividades agropecuárias.

A variável área não vegetada apresentou valores mais restritos, variando de 390.812,04 ha a 795.453,54 ha, com média de 497.664,10 ha e desvio padrão de 105.706,99 ha. Essa categoria sugere uma menor extensão de áreas não vegetadas em comparação com as demais categorias. A variável corpo d'água exibe uma amplitude que vai de 1.575.718,76 ha a 1.801.618,73 ha, com média de 1.721.107,67 ha e desvio padrão de 76.294,77 ha.

Nos gráficos de dispersão (Figura 4) da cobertura e uso do solo entre 1985 a 2022 pode-se verificar o comportamento das classes em estudo. A classe Floresta exibe uma tendência de diminuição ao longo do tempo, sugerindo processos de desmatamento ou mudanças na cobertura florestal. A Formação Natural não Florestal apresentou flutuações, indicando uma pequena tendência de decréscimo de sua área.

A classe agropecuária exibe uma tendência ascendente contínua ao longo do período. Essa tendência sugere expansão das áreas destinadas à agricultura e pecuária. A extensão da área não vegetada apresentou flutuações ao longo dos anos, indicando uma pequena tendência de crescimento. A classe corpo d'água indicou flutuações com tendência de crescimento até o ano de 2011, ano de conclusão da última grande usina hidrelétrica na bacia, e manteve-se relativamente estável após esse período.

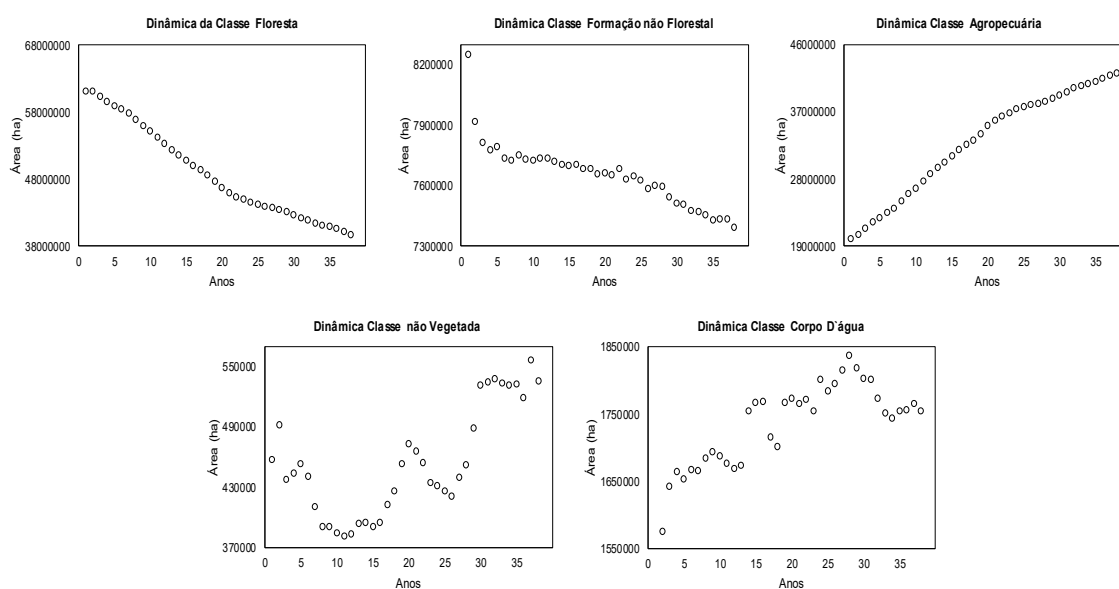


Figura 4. Dinâmica do uso e cobertura da terra (ha) na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia no período de 1985 a 2022.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

Por meio da análise estatística (Figura 5), foi observado que as variáveis que apresentaram as menores variações de amplitude foram áreas não vegetadas e corpo d'água. Essas variáveis apresentam uma amplitude relativamente menor em comparação com as outras, o que sugere uma menor dispersão dos dados em torno da média. Essa constatação pode indicar uma maior homogeneidade ou estabilidade nas áreas não vegetadas e corpos d'água ao longo do período analisado.

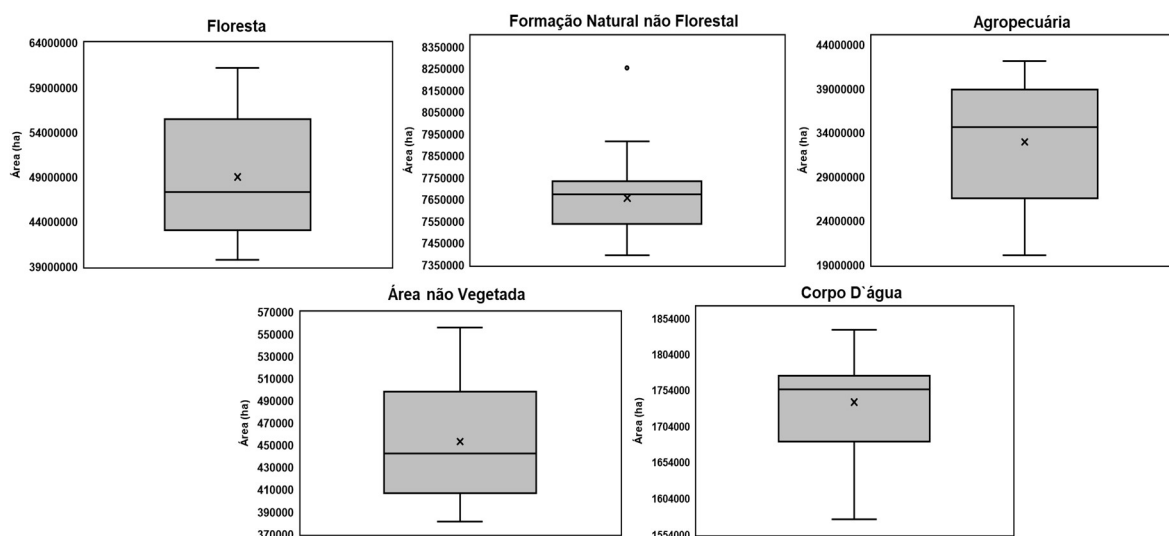


Figura 5. Boxplot das classes de uso e cobertura da terra (ha) na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

A variável floresta apresentou a maior variação de amplitude entre as classes analisadas, indicando consideráveis mudanças na cobertura florestal ao longo da área da bacia Tocantins-Araguaia. Essa ampla variação sugere dinâmicas significativas, como desmatamento ou alterações na extensão das áreas florestais. Por outro lado, a variabilidade observada na variável agropecuária aponta para uma tendência ascendente ao longo do período analisado.

Na Figura 6 e Tabela 3 observam-se os resultados dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera.

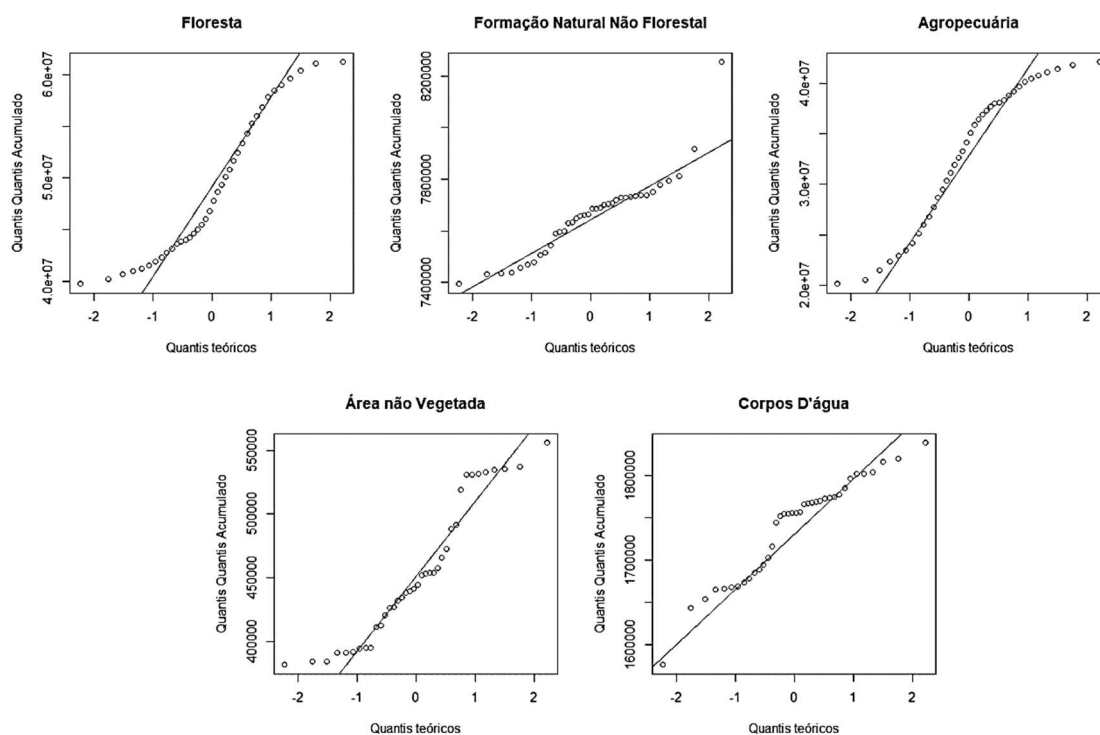


Figura 6. Análise das classes de uso e cobertura da terra (ha) na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia

Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

Tabela 3. Testes de normalidade

Variável	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
Floresta	0,0060	0,0070	0,0500	0,1811
Formação Natural não Florestal	0,0015	0,0164	0,0400	0,0001
Agropecuária	0,0078	0,0095	0,0555	0,1885
Área não Vegetada	0,0049	0,0054	0,0751	0,2259
Corpo D'água	0,0330	0,0074	0,0008	0,3043

Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

Os resultados dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e Anderson-Darling indicam consistentemente a rejeição da hipótese nula de normalidade para todas as variáveis avaliadas (floresta, formação natural não florestal, agropecuária, área não vegetada e corpo d'água). Ambos os testes, sensíveis a desvios nas caudas e em toda a

distribuição, destacam a presença de não normalidade nos conjuntos de dados. Esses achados sugerem que os dados não seguem uma distribuição normal.

Os resultados do teste de normalidade de Lilliefors para os dados das variáveis formação natural não florestal e corpo d 'água, sugere evidências estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese nula de normalidade, indicando que essas duas amostras não seguem uma distribuição normal. Por outro lado, para as variáveis floresta, agropecuária e área não vegetada, os valores de p são maiores que 0,05, sugerindo que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de normalidade para essas amostras.

Os resultados do teste de Jarque-Bera para as variáveis apresentam diferentes níveis de concordância com a hipótese de normalidade. Em particular, destaca-se a variável formação natural não florestal com um valor de p extremamente baixo, indicando uma forte evidência estatística contra a normalidade dessa amostra. Para as demais variáveis, os valores de p estão acima do nível de significância de 0,05, sugerindo que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de normalidade.

Esse conjunto de análises destaca a complexidade na distribuição dos dados, enfatizando a necessidade de abordagens estatísticas robustas e específicas ao lidar com conjuntos de dados que não aderem à normalidade, especialmente quando características variáveis são evidenciadas por diferentes testes.

Em relação à variação da área destinada à agricultura na bacia (Figura 7), foi observado um crescimento da área ao longo do período analisado. No ano de 1985 as áreas destinadas à classe agricultura ocupavam 273.518,02 ha, evoluindo para 4.745.677,09 ha em 2022. Este aumento representa um crescimento percentual de aproximadamente 1.637,56%, evidenciando um panorama de desenvolvimento agrícola vigoroso na bacia Tocantins-Araguaia.

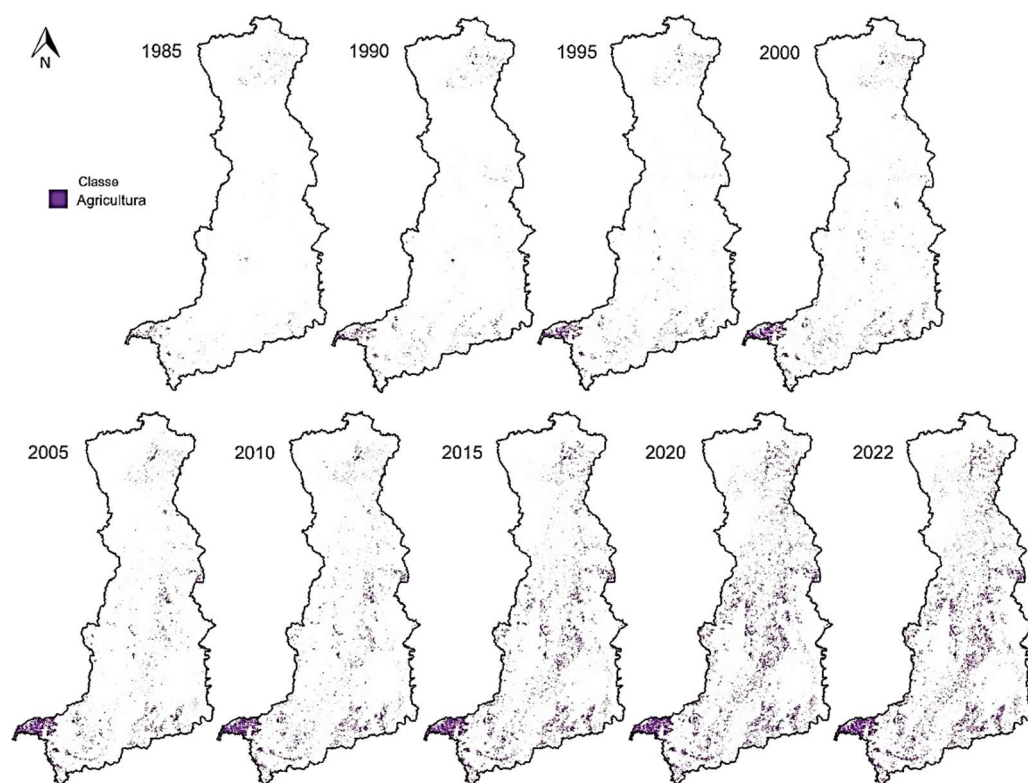


Figura 7. Mapas da evolução da classe agricultura na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia.

Fonte: Elaborado pelos Autores a partir de dados do Mapbiomas (2023).

As áreas das classes soja, cana, arroz, algodão, outras lavouras temporárias, café, dendê e outras lavouras perenes podem ser visualizadas na Figura 8. Observa-se que as áreas dedicadas ao cultivo da soja predominam como as de maior extensão na prática agrícola. Inicialmente cobrindo 132.982,98 hectares em 1985, a área destinada à soja expandiu-se consideravelmente, atingindo 4.745.677,09 hectares em 2022, o que representa um aumento percentual de cerca de 3.472,48%.

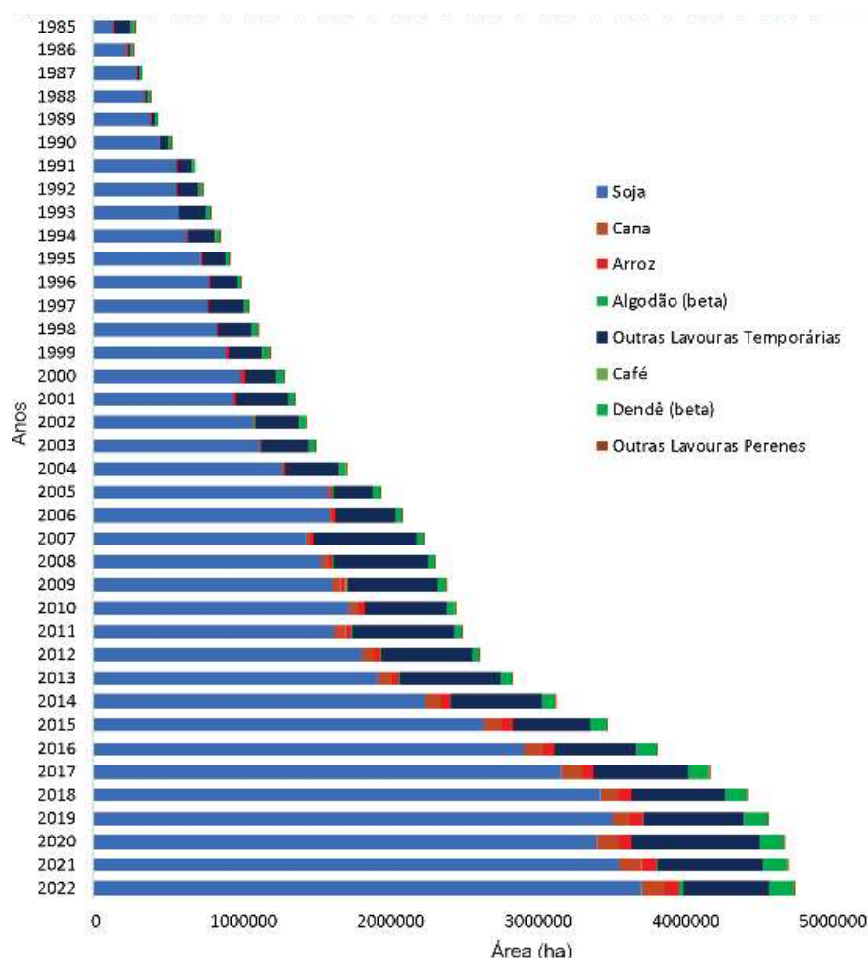


Figura 8. Distribuição das principais culturas na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia.

Fonte: Elaborado pelos Autores a partir de dados do Mapbiomas (2023).

As áreas destinadas ao cultivo da cana-de-açúcar em 1985 eram de 118,45 ha, expandindo-se para 161.072,83 ha em 2022, representando um aumento percentual de aproximadamente 135.769,86%. Quanto ao cultivo do arroz, aumentou de 5.420,84 ha em 1985 para 93.948,89 hectares em 2022, refletindo um aumento percentual de aproximadamente 1.637,56%. As outras lavouras temporárias cresceram de 110.655,19 hectares em 1985 para 586.112,11 hectares em 2022, apresentando um crescimento percentual de aproximadamente 429,61%.

O aumento das áreas de cultivo de culturas, como a soja e outras lavouras temporárias, também foram constatados em estudos conduzidos por Demambro et al. (2021), Baia et al (2022) e Pereira (2018). Especificamente, a soja desempenhou um papel significativo no processo de transformação no uso e cobertura da terra. Este padrão de expansão pode ser atribuído a diversos fatores, tais como a crescente demanda global por

commodities agrícolas, avanços tecnológicos, incentivos fiscais e a implementação de práticas agrícolas mais eficientes.

O crescente avanço da expansão agropecuária tem aumentado a preocupação devido aos impactos socioambientais observados na região. A supressão de grandes áreas de vegetação nativa para o uso agropecuário causam consequências que provocam a diminuição da qualidade da água, degradação dos solos, aumento de gases do efeito estufa e contaminação dos diversos compartimentos ambientais devido ao uso de agrotóxicos (Rodrigues *et al.*, 2019; Sousa; Ferreira, 2014; Suga; Tanaka, 2013)

Constata-se que a Bacia Hidrográfica do Tocantins-Araguaia apresenta fragilidades e vulnerabilidades, tanto econômicas quanto sociais; e, ao mesmo tempo, potencialidades em termos de disponibilidade de áreas aptas para cultivo, sendo a região reconhecida como um dos principais corredores de abastecimento no Brasil (Loreto *et al.*, 2022).

No entanto, apesar da região apresentar um grande potencial para o suprimento de alimentos, a agricultura de monocultura, como a praticada na bacia Tocantins-Araguaia, segundo a FAO (2019), pode resultar na concentração de terras nas mãos de grandes produtores, marginalização de pequenos agricultores, redução da diversidade de cultivos para consumo local, aumento de preços e a perda da soberania alimentar de agricultores. Além disso, essa prática agrícola pode levar à pobreza e à fome, uma vez que a produção é concentrada e direcionada quase exclusivamente para a exportação (Zimmermann, 2009).

Verifica-se a necessidade de implementação de um planejamento que envolva técnicas de uso sustentável para o uso e ocupação do solo na bacia. É importante realizar estudos eficientes visando a ocupação adequada de áreas, de modo a evitar impactos negativos ao meio ambiente e a não comprometer a qualidade e disponibilidade dos recursos naturais (Baia *et al.*, 2022).

Portanto, é necessário um maior controle e planejamento adequado do uso da terra na bacia Tocantins Araguaia, buscando conciliar o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental. Medidas como o estabelecimento de áreas protegidas, a promoção de práticas agrícolas sustentáveis e a implementação de políticas de reflorestamento são essenciais para mitigar os impactos negativos e promover uma gestão ambiental adequada na bacia.

CONCLUSÕES

Os resultados do estudo indicam transformações no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia. O rápido crescimento das atividades agropecuárias, impulsionado pela demanda crescente por alimentos e commodities agrícolas, resultou em uma notável conversão de áreas florestais em terras dedicadas à agricultura e pecuária. Apesar de contribuir para o desenvolvimento econômico da região, esta expansão traz consigo impactos socioambientais significativos, como desmatamento e a perda de biodiversidade.

Os dados do uso e cobertura da terra apontam uma tendência de perda de áreas florestais e formação natural não florestal, enquanto a expansão das áreas agropecuárias e não vegetadas demonstra uma dinâmica de transformação contínua na paisagem da bacia. A análise da evolução da produção agrícola na bacia revelou um crescimento expressivo da área destinada à agricultura, principalmente para culturas como a soja, cana-de-açúcar e outras lavouras temporárias.

Este padrão de mudança coloca em destaque a necessidade premente de adotar estratégias de desenvolvimento agrícola sustentável, que conciliem a produção de alimentos com a conservação dos ecossistemas naturais e o bem-estar de agricultores familiares e das comunidades locais.

REFERÊNCIAS

- AFFONSO, A. A. *et al.* A Comparison between Supervised Classification Methods: Study Case on Land Cover Change Detection Caused by a Hydroelectric Complex Installation in the Brazilian Amazon. **Sustainability**, v. 15, n. 2, p. 1309, 2023.
- AKAMA, A. Impacts of the hydroelectric power generation over the fish fauna of the Tocantins river, Brazil: Marabá dam, the final blow. **Oecologia Australis**, v. 21, n. 3 Special Issue, p. 222–231, 2017.
- ALMEIDA PRADO, F. *et al.* How much is enough? An integrated examination of energy security, economic growth and climate change related to hydropower expansion in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 1132–1136, 2016..
- ATHAYDE, S. *et al.* Mapping research on hydropower and sustainability in the Brazilian Amazon: advances, gaps in knowledge and future directions. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 37, p. 50–69, 2019.
- BARCELOS, A. A. de *et al.* Mapeamento do uso e ocupação das terras da bacia do reservatório da usina hidrelétrica de Espora-GO. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 2, p. 682, 2022.

BEMPAH, G.; BOAMA, P. Effects of Hydroelectric Dam Construction on Land Use Land Cover Changes in Bui National Park , Ghana. v. 20, p. 1–12, 2021.

BRANCO, E. A. **Dinâmicas de uso e cobertura da terra e grandes empreendimentos hidrelétricos na Amazônia**. 2020. 279 f. - Universidade de São Paulo, 2020.

CASTANHO, R. B.; CARVALHO, V. M. da C. de; SANTANA, G. H. dos S. Aplicação de geotecnologias na agropecuária da microrregião geográfica de Ituiutaba/Minas Gerais. **Revista Campo-Território**, v. 15, n. 36 Jul., p. 259–285, 2020.

FEITOSA, C. O. Panorama das atividades agropecuárias de exportação do Tocantins: soja e carne. **Geosul**, v. 34, n. 71, p. 154–174, 2019.

IBGE, I. B. de G. e E. **Malha Municipal**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 1 dez. 2022.

LATRUBESSE, E. M. *et al.* Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. **Conservation Science and Practice**, v. 1, n. 9, 2019.

MALDANER, K. L. S. *et al.* A avaliação ambiental integrada e os cenários socioeconômicos de municípios impactados pelas usinas hidrelétricas Peixe Angical e Aão Salvador no rio Tocantins. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 52, p. 119–134, 2019.

MAPBIOMAS, P. M. **MapBiomas Projeto**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto>. Acesso em: 3 dez. 2022.

MEDEIROS, C. N.; SOUZA, M. J. N. Mapeamento dos Sistemas Ambientais do Município de Caucaia (CE) utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG): Subsídios para o Planejamento Territorial (Mapping of the Environmental Systems of the Municipality of Caucaia (CE) using Geographic...). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 025, 2015.

NOGUEIRA, M. G. **Limnologia de reservatorios e sistemas em cascata**. São Carlos: Rima, 2005.

OBAHOUNDJIE, S. *et al.* Assessment of Spatio-Temporal Changes of Land Use and Land Cover over South-Western African Basins and Their Relations with Variations of Discharges. **Hydrology**, v. 5, n. 4, p. 56, 2018.

OLIVEIRA, E. R. de *et al.* Tecnologia e degradação de pastagens na pecuária no Cerrado brasileiro. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 626–638, 2020.

PEREIRA TRINDADE, S.; MARIA SILVA DE FARIA, K.; SIMÕES DE CASTRO, S. Análise da expansão canavieira e as mudanças de uso do solo no sudoeste goiano de 1985 a 2016. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 38, n. 3, p. 569–590, 2018.

RODRIGUES, B. M. *et al.* Avaliação da influência do uso e cobertura da terra na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pirapozinho (SP) (Evaluation of the effects of land use and occupation on superficial water quality of the

hydrographic basin of the Pirap. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 3, p. 738, 2019.

RODRIGUES, H. S. M. de C.; CASTRO, S. S. de. A expansão da cana-de-açúcar e a aptidão agrícola das terras da microrregião do vale do Rio dos Bois - GO. **GEOGRAFIA**, v. 43, n. 2, p. 237–253, 2018.

RUFIN, P. *et al.* Synthesizing dam-induced land system change. **Ambio**, v. 48, n. 10, p. 1183–1194, 2019.

SILVA, I. de S. *et al.* Evolução da cobertura e uso da terra nas áreas de influência direta das usinas hidrelétricas Batalha e Itumbiara sob o aporte de fontes secundárias de dados cartográficos e censitários. **Sociedade e Território**, v. 33, n. 3, p. 224–250, 2022.

SILVA, N. L. **Mudanças do uso e cobertura da terra e avaliação do potencial de impactos na Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros - MG**. 2022. - Universidade Federal de Minas Gerais, 2022.

SILVA, P. R.; VIANNA, J. N. S. A Região de MATOPIBA (Brasil) e o Nexus Água-Energia-Alimentos. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 59, 2022.

SOUSA, S. B.; FERREIRA, L. G. Mapeamento da cobertura e uso da terra: uma abordagem utilizando dados de sensoriamento remoto óptico multitemporais e provenientes de múltiplas plataformas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 2, 2014.

SOUZA, L. F. P. **Dinâmica de uso e cobertura da terra em áreas com formações Não Florestais/PRODES no Sudeste Paraense**. 2019. 79 f. - Universidade Federal do Pará, 2019.

TUNDISI, J. G. Reservoirs: New challenges for ecosystem studies and environmental management. **Water Security**, v. 4–5, p. 1–7, 2018. Disponível em:

WITTMANN, F. *et al.* The Brazilian freshwater wetlandscape: Changes in tree community diversity and composition on climatic and geographic gradients. **PLOS ONE**, v. 12, n. 4, p. e0175003, 2017..

ZIEMBOWICZ, M. M. *et al.* Geotechnology applied in the analysis of the impacts on the land use and land cover caused by the construction of a hydroelectric plant. **Ciência e Natura**, v. 40, p. 17, 2018.

O QUE DIZEM AS PESQUISAS ACADÊMICAS SOBRE OS IMPACTOS DAS HIDRELÉTRICAS NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA?

RESUMO

Este estudo investiga as relações entre o impacto da construção de usinas hidrelétricas na produção agrícola na Bacia Tocantins-Araguaia, região estratégica o desenvolvimento agrícola e produção de alimentos. Embora as hidrelétricas sejam uma importante fonte de energia renovável, seus efeitos negativos sobre comunidades rurais e ecossistemas ainda são subexplorados, especialmente no que se refere à agricultura. A pesquisa baseou-se em uma revisão bibliográfica sistemática de 52 artigos científicos publicados entre 1980 e 2024, com ênfase nos impactos sociais, econômicos e produtivos decorrentes de sete grandes hidrelétricas instaladas na bacia. Para analisar as relações causais entre diferentes fatores, foi aplicada a metodologia Qualitative Comparative Analysis com lógica fuzzy-set (fsQCA), que permite identificar combinações de condições suficientes para a ocorrência de determinados resultados. Os quatro desfechos analisados foram: redução da produção agrícola, impactos na renda agrícola, perda da diversidade de alimentos produzidos e fragilização da segurança e soberania alimentar. As condições causais incluíram reassentamento forçado, perda de áreas agricultáveis, medidas de mitigação ineficazes, mudanças no modo de produção, conflitos sociais e abandono da atividade agrícola. Os resultados indicam que os impactos negativos não derivam de fatores isolados, mas de configurações específicas de condições estruturais e sociais, sendo a combinação reassentamento forçado + perda de terras agricultáveis + abandono da atividade agrícola + conflitos sociais a mais recorrente e consistente. O estudo conclui que o desenvolvimento hidrelétrico, quando desarticulado das realidades locais, compromete os meios de subsistência agrícola e amplia a vulnerabilidade das comunidades rurais, indicando a necessidade de abordagens integradas e sensíveis ao território nas políticas públicas e nos processos de licenciamento ambiental.

Palavras-chave: hidrelétricas; agricultura; fsQCA; reassentamento forçado; segurança alimentar; Tocantins-Araguaia.

INTRODUÇÃO

No Brasil, 80% da produção de energia é gerada a partir de usinas hidrelétricas. Embora sejam consideradas uma fonte de energia renovável de baixo carbono, as hidrelétricas causam efeitos negativos na vida das pessoas e no meio ambiente, como o reassentamento forçado e a redução da biodiversidade (Castro-Diaz *et al.*, 2023; Johansen *et al.*, 2024). Além disso, os críticos das usinas hidrelétricas argumentam que essas estruturas acarretam uma série de impactos socioecológicos e econômicos negativos para as populações que dependem principalmente da agricultura para sobreviver.

Entre esses impactos, destacam-se a limitação dos meios de subsistência, o aumento do ônus financeiro e a ausência de participação nos processos decisórios relacionados à construção e operação das hidrelétricas (Atkins, 2020; García *et al.*, 2021; Mayer *et al.*, 2022). Diante disso, cientistas e movimentos civis recomendam a adoção de medidas mais rigorosas para minimizar as consequências socioecológicas e econômicas negativas provocadas pelas usinas hidrelétricas (Silva; Bucher-maluschke, 2018).

A Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia, localizada na região centro-norte do Brasil, é um exemplo desse processo. Essa bacia abriga 7 grandes usinas hidrelétricas, como Tucuruí, Estreito, Lajeado, Peixe Angical, São Salvador, Cana Brava e Serra da Mesa (Obeso *et al.*, 2024), além de outras pequenas centrais hidrelétricas, cuja construção resultou na inundação de extensas áreas agricultáveis e no deslocamento de milhares de agricultores, comunidades ribeirinhas e povos tradicionais. Apesar disso, a maioria dos estudos existentes tem se concentrado nos impactos ambientais e energéticos desses projetos, enquanto os efeitos sobre a agricultura – especialmente os de natureza estrutural, simbólica e produtiva – permanecem subexplorados ou tratados de forma fragmentada.

Além disso, muitas análises sobre os impactos hidrelétricos na agricultura tendem a adotar abordagens unidimensionais, com foco em variáveis isoladas ou resultados diretos. Essa limitação metodológica dificulta a compreensão dos mecanismos causais que explicam por que, em determinados contextos, os impactos são mais profundos ou duradouros do que em outros. Fatores como reassentamento forçado, perda de terras férteis, ausência de medidas compensatórias eficazes, conflitos sociais e mudanças no modo de produção agrícola podem atuar de forma combinada, reforçando ou atenuando os efeitos negativos sobre a produção agrícola. No entanto, tais combinações complexas ainda são pouco investigadas de maneira sistemática na literatura científica nacional e internacional.

Nesse sentido, este artigo busca contribuir para o avanço do conhecimento ao investigar as possíveis relações entre os impactos da construção de usinas hidrelétricas e a produção agrícola na Bacia Tocantins-Araguaia, por meio da aplicação da metodologia Qualitative Comparative Analysis com lógica fuzzy-set (fsQCA). Essa abordagem configuracional é especialmente útil para lidar com fenômenos sociais complexos, nos quais múltiplas causas interagem simultaneamente para produzir determinados efeitos (Feldman; Grant-Smith, 2022; Tóth; Henneberg; Naudé, 2017). Em vez de identificar causas únicas ou médias estatísticas, a fsQCA permite mapear diferentes combinações de condições suficientes para a ocorrência de determinados resultados, reconhecendo a diversidade de trajetórias causais possíveis (Huang; Guaita-Martínez; Yu, 2021; Shalahuddin *et al.*, 2024).

A escolha dessa abordagem justifica-se pela natureza multifacetada do objeto em estudo e pela heterogeneidade dos contextos analisados. Ao empregar a fsQCA, o presente trabalho busca superar as limitações de abordagens lineares e oferecer uma compreensão mais rica e detalhada dos caminhos causais que levam à redução da produção agrícola, à diminuição da diversidade de alimentos produzidos, à queda na renda agrícola e à fragilização da segurança e soberania alimentar nas regiões impactadas por hidrelétricas.

O estudo também se propõe a preencher lacunas teóricas e metodológicas ao articular análises qualitativas com técnicas comparativas sistemáticas, contribuindo para a construção de um quadro analítico mais abrangente sobre os efeitos socioeconômicos das grandes obras de infraestrutura. Além disso, os achados apresentados têm implicações relevantes para o desenho de políticas públicas e ações de mitigação, uma vez que permitem identificar combinações críticas de fatores que devem ser evitadas ou monitoradas em futuros empreendimentos hidrelétricos.

Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo investigar as relações entre o impacto da construção de usinas hidrelétricas na produção agrícola na Bacia Tocantins-Araguaia. Focamos nessa região porque a implantação de usinas hidrelétricas tem se expandido significativamente, causando efeitos negativos ao meio ambiente (Large-scale Degradation of the Tocantins-Araguaia River Basin Pelicice *et al.*, 2021a). Além disso, a construção de hidrelétricas tem aumentado em países do Sul Global, onde a maioria das pessoas depende da agricultura para garantir sua subsistência (Chaudhary, 2024). Assim, uma análise aprofundada do caso da Bacia Tocantins-Araguaia pode oferecer implicações práticas para os diversos atores sociais

METODOLOGIA

Coleta de Dados

A pesquisa bibliográfica foi conduzida na plataforma Google Scholar, utilizando os seguintes critérios de seleção: artigos revisados por pares, escritos em português ou inglês, publicados entre janeiro de 1980 e abril de 2024, que abordassem os impactos sociais, econômicos e produtivos de hidrelétricas de grande porte na Bacia Tocantins-Araguaia. O ano de 1980 foi adotado como marco inicial, pois corresponde à década de construção da primeira hidrelétrica na bacia.

O processo de triagem resultou na seleção de 52 artigos científicos, que analisam os impactos de sete hidrelétricas localizadas na bacia. Para estruturar a análise, foi desenvolvido um manual de codificação (codebook), juntamente com um protocolo de codificação, seguindo os procedimentos metodológicos recomendados por Castro-Diaz et al. (2023).

Análise dos Dados

Utilizou-se a Análise Qualitativa Comparativa Fuzzy-set (fsQCA), com o objetivo de compreender como a construção de hidrelétricas impacta a produção agrícola, tanto no contexto da agricultura familiar quanto da agricultura convencional, na Bacia Tocantins-Araguaia.

A fsQCA foi aplicada para compreender como diferentes combinações de fatores estão associadas aos impactos da construção de hidrelétricas sobre a produção agrícola na Bacia Tocantins-Araguaia. Na fsQCA, os outcomes (resultados) são definidos como os fenômenos que se busca explicar, enquanto as condições causais representam os fatores contextuais, sociais, econômicos e territoriais que estão relacionados a esses resultados.

Foram considerados quatro outcomes, que refletem impactos das hidrelétricas sobre a agricultura: redução da produção agrícola, segurança e soberania alimentar, diversidade de alimentos produzidos e impactos na renda agrícola. As condições causais foram as mesmas para todos os outcomes e representam os principais fatores estruturais identificados na literatura sobre os impactos de grandes projetos hidrelétricos. São elas: reassentamento forçado, perda de áreas agricultáveis, medidas de mitigação ineficientes e mudanças no modo de produção.

A fsQCA é adequada para este estudo, pois permite analisar um número pequeno ou intermediário de casos, o que é típico em estudos sobre grandes empreendimentos.

Essa técnica combina as vantagens das abordagens qualitativas com análises comparativas, permitindo compreender como diferentes combinações de condições levam a certos resultados (Marx, Rihoux & Ragin, 2014; Ragin, 2008; Castro-Diaz et al., 2023).

O processo analítico envolveu, primeiramente, a calibração tanto dos outcomes quanto das condições causais, transformando dados qualitativos e quantitativos extraídos da literatura em conjuntos fuzzy, variando de 0 a 1, conforme critérios específicos de cada variável. Em seguida, foram realizados os testes de necessidade e suficiência das condições causais para cada outcome, utilizando o software fsQCA 3.0.

Na análise de necessidade, buscou-se identificar se alguma condição causal está sempre presente quando determinado resultado ocorre. Para isso, foi adotado um limiar de consistência de 0,9 ou superior, conforme proposto por Schneider e Wagemann (2012).

Já na análise de suficiência, foram examinadas as combinações de condições que, quando presentes, são capazes de explicar a ocorrência dos impactos analisados. Neste caso, foi adotado um nível de consistência mínimo de 0,75, seguindo a recomendação de Ragin (2005). Este critério garante que as soluções identificadas possuam coerência interna suficiente para serem consideradas robustas.

Calibração

O processo de calibração na técnica fsQCA consiste em transformar dados qualitativos e quantitativos em conjuntos fuzzy, permitindo avaliar o grau de pertencimento de cada caso a um determinado conjunto (Ragin, 2008; Schneider & Wagemann, 2012). Este procedimento é essencial para garantir a robustez analítica, a comparabilidade dos casos e a interpretação lógica das configurações causais.

Neste estudo, tanto os outcomes (resultados) quanto as condições causais foram calibradas com base nos dados extraídos da meta-análise qualitativa dos estudos sobre os impactos das hidrelétricas na Bacia Tocantins-Araguaia, descritos na Tabela 1.

Para cada outcome a calibração seguiu um esquema tricotômico, estabelecendo os seguintes critérios:

- 1 (pertencente) → Quando os impactos negativos foram predominantes;
- 0,5 (ponto de cruzamento) → Quando os impactos foram moderados ou equilibrados;
- 0 (não pertencente) → Quando não foram observados impactos negativos significativos, ou quando os efeitos foram neutros ou positivos.

As condições causais foram calibradas de acordo com os critérios. Algumas variáveis foram calibradas em escala binária (presença = 1; ausência = 0), enquanto outras utilizaram uma escala fuzzy de quatro níveis, para refletir diferentes intensidades do fenômeno observado.

Tabela 1. Critérios para calibração de Outcomes e Condições causais para análise comparativa fuzzy-set (fsQCA)

Classe	Variável	Descrição da Calibração
Outcomes	Redução da Produção Agrícola	1 = Impacto negativo predominante; 0,5 = Impacto moderado; 0 = Impacto ausente ou positivo
	Segurança e Soberania Alimentar	1 = Insegurança alimentar presente; 0,5 = Insegurança moderada; 0 = Segurança alimentar mantida
	Diversidade de Alimentos Produzidos	1 = Perda significativa da diversidade; 0,5 = Perda moderada; 0 = Diversidade mantida ou ampliada
	Impacto na Renda Agrícola	1 = Queda significativa; 0,5 = Queda moderada; 0 = Renda mantida ou aumentada
Condições Causais	Reassentamento Forçado	1 = Ocorreu reassentamento forçado; 0 = Não ocorreu
	Perda de Áreas Agricultáveis	1 = Impacto predominante; 0,5 = Impacto moderado; 0 = Impacto ausente
	Medidas de Mitigação	1 = Ausência total ou ineficazes; 0,67 = Medidas insuficientes; 0,33 = Parcialmente eficazes; 0 = Medidas eficazes
	Mudanças no Modo de Produção	1 = Mudança total no sistema produtivo; 0,67 = Mudança moderada; 0,33 = Mudança leve; 0 = Sem mudanças significativas
	Abandono ou Diminuição da Atividade Agrícola	1 = Abandono total da atividade agrícola; 0,67 = Redução severa; 0,33 = Redução moderada; 0 = Não houve redução significativa ou continuidade da atividade agrícola
	Conflitos Sociais	1 = Ocorrência de conflitos sociais intensos e recorrentes (jurídicos, comunitários ou territoriais); 0,67 = Conflitos moderados; 0,33 = Conflitos pontuais; 0 = Ausência de conflitos

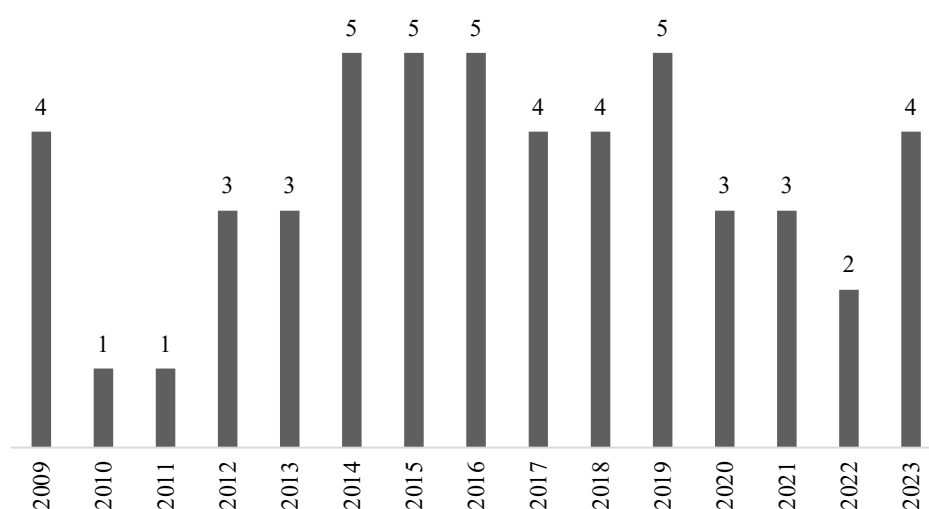
Fonte: autores (2024)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos anos de publicação dos artigos sobre impactos de usinas hidrelétricas na produção agrícola, identificaram publicações entre 2009 e 2023, e revelaram uma distribuição temporal heterogênea (Figura 1). Não houve um aumento gradual no número de publicações ao longo do período sobre a temática analisada. Esses

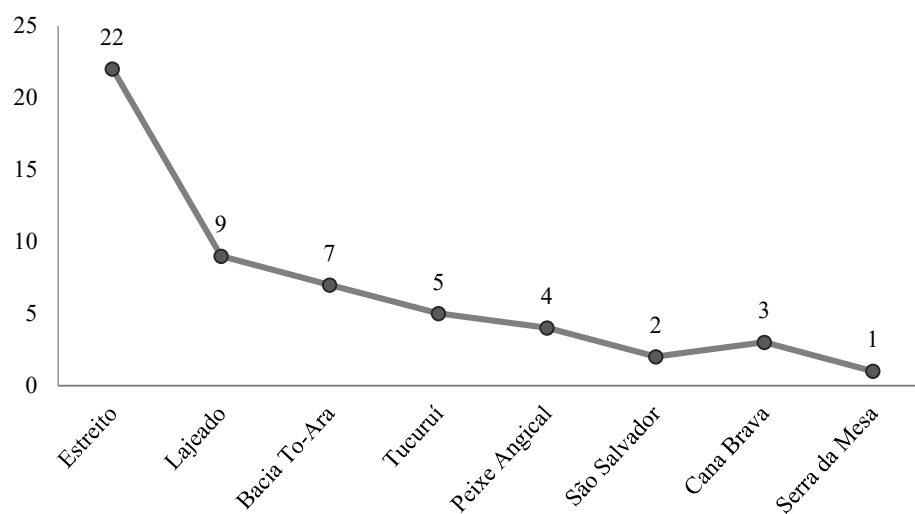
dados sugerem que, apesar da relevância da temática dos impactos das usinas hidrelétricas na agricultura, ela não foi amplamente explorada pela comunidade científica ao longo dos anos. A distribuição temporal heterogênea e a ausência de um aumento gradual nas publicações indicam que o interesse por essa questão pode ter sido influenciado por fatores contextuais ou regionais, como a construção de novas usinas e conflitos socioambientais específicos.

Figura 1. Ano de publicação dos artigos publicados sobre a temática estuda.



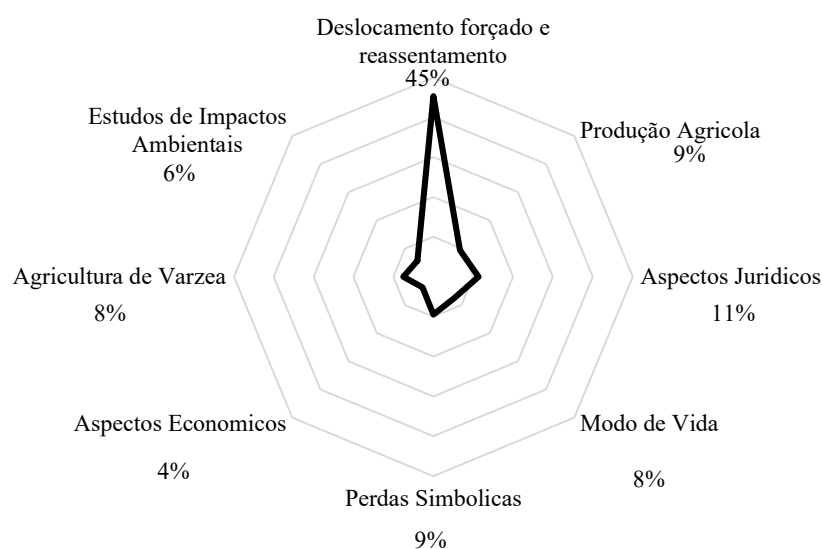
A análise da quantidade de estudos publicados, conforme apresentado na Figura 2, segmentados por hidrelétrica, revela que a UHE Estreito é a mais investigada, com 22 publicações. Em seguida, a UHE Lajeado destaca-se com 9 estudos. A nível de bacia, foram realizados 7 estudos, enquanto a UHE Tucuruí conta com 5 publicações e Peixe Angical com 4. As UHEs São Salvador, Cana Brava, e Serra da Mesa apresentam um menor número de estudos, com 2, 3 e 1 publicação, respectivamente. A maior quantidade de estudos encontrados sobre a UHE Estreito deve-se ao fato de ser a mais recente grande hidrelétrica instalada no rio Tocantins, inaugurada em 2010, e aos significativos impactos causados às comunidades ribeirinhas e aos agricultores familiares da região.

Figura 2. Relação dos reservatórios mais estudados nos artigos sobre impactos de usinas hidrelétricas na agricultura



Os artigos foram categorizados em oito principais grupos conforme seu conteúdo: Deslocamento Forçado e Reassentamento (45%), Jurídicos (11%), Produção Agrícola (9%), Perdas Simbólicas (9%), Modo de Vida (8%), Agricultura de Várzea (8%), Estudos de Impactos Ambientais (6%) e Aspectos Econômicos (4%) (Figura 3).

Figura 3. Representação da proporção dos artigos por categoria de resultados



A análise da fase do empreendimento nos artigos revisados revelou que apenas 5% dos estudos focaram no período anterior à construção das barragens hidrelétricas. Cerca de 13% dos estudos abordaram tanto os períodos antes quanto após o barramento, enquanto a maioria, 81%, concentrou suas análises no período pós-barragem. Além disso, 74% das pesquisas foram realizadas a montante das barragens, 14% a jusante e 12% cobriram tanto a montante quanto a jusante. A abordagem qualitativa foi a mais utilizada, presente em 83% dos estudos, seguida pela abordagem quantitativa em 10% dos casos, e uma combinação de métodos quantitativos e qualitativos em 7%. Segue uma síntese dos conteúdos.

Sobre os estudos relacionados ao Deslocamento Forçado e Reassentamento, em geral, os impactos são considerados negativos (Amorim; Jesus, 2013; Carolina; Catolico, 2019; Castro *et al.*, 2018; Clier; Farias, 2017; Curvina; Moreira, 2020; Delismar Palmeira; Elizeu Ribeiro, 2015; Foschiera; Batista; Thomaz Junior, 2012; Guimaraes Clemente, 2016; Mercês; Castro; Cañete, 2019; Parente, 2015; Pereira; Arévalo, 2016; Pitombeira Carvalho; Sieben, 2019; Sieben; Cleps Junior, 2012; Unique, 2016).

O deslocamento de comunidades e a subsequente necessidade de reassentamento resultam em diversas dificuldades sociais, econômicas e psicológicas para os afetados. As implicações adversas incluem a perda de terras agrícolas, a desintegração de comunidades e redes sociais, além de desafios na adaptação a novos ambientes e condições de vida. Esses impactos negativos ressaltam a necessidade de políticas mais eficazes e sensíveis ao contexto socioeconômico local, que possam mitigar os efeitos adversos do deslocamento e proporcionar suporte adequado às comunidades reassentadas (Menestrino; Parente, 2011; Mercês; Castro; Cañete, 2019; Parente, 2015; Sieben; Cleps Junior, 2012).

Pereira e Arévalo (2013) discutem o caso da Usina Hidrelétrica de Estreito, no Maranhão, onde a construção da barragem resultou na desagregação socioeconômica de diversas comunidades ribeirinhas que dependiam diretamente do rio Tocantins para suas atividades de subsistência. Segundo os autores, a imposição do deslocamento forçado não apenas desestruturou as bases econômicas dessas comunidades, mas também levou a uma perda significativa de bem-estar, evidenciada pela queda na renda familiar e pela insatisfação generalizada devido à falta de compensações adequadas para os danos causados.

Mercês et al. (2019) analisam o impacto do deslocamento compulsório causado pela construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, também no rio Tocantins. Os autores

ressaltam que o deslocamento forçado dos moradores de áreas inundadas pela formação do lago artificial gerou um profundo sentimento de sofrimento entre os atingidos, uma vez que a nova realidade imposta pelo deslocamento rompeu com modos de vida tradicionais e conexões históricas com o território.

Considerando os estudos que abordaram os aspectos jurídicos, verifica-se a falta de um arcabouço legal que considere não apenas a avaliação dos impactos ambientais, mas também as características específicas da população afetada e seus meios de produção. A análise sugere que a legislação vigente frequentemente ignora as particularidades socioeconômicas e culturais das comunidades impactadas, resultando em políticas inadequadas para mitigar os efeitos negativos (Campoi; Ferrante; Junior, 2022; Mattarozzi, 2022; Pinto; Oliveira, 2013; Santana; Parente, 2013).

Além disso, a falta de uma abordagem integrada que inclua a proteção dos direitos dos moradores, suas práticas agrícolas tradicionais e a sustentabilidade de seus modos de vida agrava ainda mais a situação (Santana; Parente, 2013). É imperativo desenvolver um quadro jurídico mais abrangente e inclusivo, que equilibre as necessidades ambientais com os direitos e as realidades das populações locais.

Outro tema importante abordado em parte dos estudos é a perda simbólica sofrida pelos agricultores. Esta perda vai além das consequências econômicas e materiais, abrangendo também o desmantelamento de vínculos comunitários, tradições culturais e identidades sociais (Ferreira *et al.*, 2014; Maldaner; Akama, 2017; Parente; da Silva Júnior, 2019; Petit; Sociais, 2014; Seed; To, 2009; Sousa *et al.*, 2020).

As terras agrícolas representam mais do que uma fonte de sustento para essas comunidades; elas são a base de suas práticas culturais e sociais. A remoção dessas populações de suas terras tradicionais não apenas interrompe suas atividades econômicas, mas também desestrutura a coesão social e o patrimônio cultural (Foschiera; Batista; Thomaz Junior, 2012; Petit; Sociais, 2014). Assim, a perda simbólica implica uma desarticulação do modo de vida que foi construído ao longo de gerações, resultando em um impacto profundo e duradouro na identidade coletiva dos agricultores.

Alguns estudos trataram sobre os impactos das hidrelétricas sobre a agricultura de várzea, destacando as diversas formas pelas quais esses empreendimentos afetam esse tipo específico de agricultura praticada principalmente por famílias ribeirinhas e pescadores (Castro *et al.*, 2018; Castro; Flávio Bezerra, 2017; Elizabeth; Marín, 2015; Sieben, 2014; Venâncio; Chelotti, 2021).

O estudo de Castro et al. (2018) analisa de forma aprofundada os impactos das hidrelétricas na agricultura familiar, especialmente no contexto da agricultura de vazante praticada pelos vazanteiros do médio rio Tocantins. Segundo os autores, a construção e operação de barragens na região, como as UHE de Lajeado e Estreito, causou alterações significativas nos ecossistemas locais, comprometendo a continuidade das práticas agrícolas tradicionais.

A agricultura de vazante, caracterizada pelo cultivo nas planícies aluviais durante os períodos de seca, depende da dinâmica natural de cheias e vazantes para sua viabilidade. Com a instalação das hidrelétricas, há uma alteração artificial do ciclo das águas, resultando em um dessecamento compulsório das áreas de cultivo e na elevação permanente dos níveis de água. Isso impede o ciclo natural das cheias, essencial para a fertilização dos solos e a renovação dos nutrientes, comprometendo a produção agrícola e o modo de vida das comunidades locais (Castro et al., 2018).

Além dos impactos ecológicos, Castro et al. (2018) destacam as consequências sociais e culturais das hidrelétricas sobre as populações ribeirinhas. A interrupção das práticas de agricultura de vazante não só diminui a segurança alimentar e a autonomia econômica dos vazanteiros, mas também ameaça à integridade cultural e a identidade coletiva destes povos tradicionais. Os autores argumentam que a lógica de desenvolvimento imposta pelo capitalismo, materializada nas grandes obras de infraestrutura, como as hidrelétricas, muitas vezes desconsidera as especificidades locais e os modos de vida sustentáveis das comunidades afetadas. Este desrespeito às práticas tradicionais, aliado à falta de diálogo e à exclusão das comunidades locais dos processos decisórios, exemplifica um modelo de desenvolvimento que ignora os princípios do etnodesenvolvimento, que visa integrar os interesses das sociedades mais amplas com os das comunidades locais (Castro et al., 2018).

Com relação às alterações no modo de vida dos agricultores atingidos pelas hidrelétricas, os estudos concentraram suas análises em aspectos como mudanças nas práticas agrícolas, alterações nas relações com o ambiente e nas interações das famílias com a prática agrícola (Anjos, 2014; Desidério; Pereira da Silva; Queiroz dos Santos, 2023; Silva Coelho *et al.*, 2021).

Anjos (2014) destaca que a construção de hidrelétricas força os agricultores a adaptarem suas práticas agrícolas, muitas vezes abandonando culturas tradicionais que não se adaptam às novas condições ambientais impostas pelo barramento dos rios. Além disso, o aumento da umidade do solo e a salinização das terras próximas aos reservatórios

representam novos desafios para a agricultura familiar, levando a uma diminuição da produtividade agrícola e à necessidade de introdução de novas técnicas de manejo do solo.

Silva e Santos (2023) complementam que a perda de áreas agricultáveis e a fragmentação dos habitats locais, devido à formação de grandes lagos artificiais, alteram não só a geografia física, mas também o patrimônio cultural e social das comunidades rurais. As famílias, diante dessas mudanças, muitas vezes precisam desenvolver novas formas de interação com o ambiente, como a adoção de práticas agroecológicas ou o redirecionamento de suas atividades econômicas, o que reflete uma profunda transformação no modo de vida e nas tradições dessas comunidades.

Com relação aos trabalhos categorizados como estudos de avaliação de impactos ambientais, os estudos focaram suas análises em aspectos relacionados à análise de documentos técnicos, como o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), bem como no monitoramento ambiental (Acseirad, 2010; Desidério; Pereira da Silva; Queiroz dos Santos, 2023; Massoli; Borges, 2014; Thomaz; Martins, 2016; Weitzman, 2018). Esses estudos frequentemente investigam a conformidade dos projetos com as normativas ambientais, a eficácia das medidas mitigadoras propostas, e a adequação dos métodos de avaliação utilizados.

A análise fuzzy-set Qualitative Comparative Analysis (fsQCA) identificou múltiplas combinações de condições causais suficientes para explicar a ocorrência de impactos negativos da construção de usinas hidrelétricas sobre a produção agrícola na Bacia Tocantins-Araguaia. A Tabela 2 apresenta as principais configurações identificadas, associadas a quatro outcomes: Redução da Produção Agrícola (RPA), Segurança e Soberania Alimentar (SA), Diversidade de Alimentos Produzidos (DAL) e Impacto na Renda Agrícola (IRA).

A análise de necessidade indicou que nenhuma das condições causais isoladamente é necessária para explicar qualquer dos outcomes. Por isso, os resultados se concentram em combinações específicas de fatores que, quando presentes, são suficientes para explicar o fenômeno observado.

Tabela 2. Configurações de condições causais.

CONDIÇÕES	RPA	SA	DAL	IRA
RF*PAA*ATA*CS	RC: 0.87	RC: 0.87	RC: 0.86	RC: 0.89
	UC: 0.80	UC: 0.79	UC: 0.80	UC: 0.93

	C: 0.98	C: 0.99	C: 0.96	C: 0.97
FR*~MMI*~MP*~ATA*CS	RC: 0.87 UC: 0.80 c: 0.98			RC: 0.08 UC: 0.02 C: 0.98
RF*PAA*~MMI*MP*~ATA*~CS	RC: 0.09 UC: 0.03 C: 0.81			
RF*PAA*~MMI*~MP*CS		RC: 0.08 UC: 0.01 C: 0.98		
RF*~MMI*~MP*~ATA			RC: 0.12 UC: 0.03 C: 0.75	
RF*PAA*~MMI*~ATA*~CS			RC: 0.11 UC: 0.02 C: 0.73	

Siglas: RPA: Redução da Produção Agrícola; SA: Segurança Alimentar; DAL: Diversidade de Alimentos Produzidos; IRA: Impacto na Renda Agrícola; RF: Reassentamento Forçado; PAA: Perda de Áreas Agricultáveis; MMI: Medidas de Mitigação Ineficientes; MP: Mudanças no Modo de Produção; AA: Abandono da Atividade Agrícola; CS: Conflitos Sociais.

A configuração RF*PAA*ATA*CS foi identificada como uma condição suficiente comum para todos os quatro outcomes, com altos valores de consistência (acima de 0,96) e elevada cobertura bruta (RC variando de 0,86 a 0,89). Esta configuração apresenta também alta cobertura única, indicando forte relevância empírica para explicar os casos analisados (UC = 0,93).

Outra configuração relevante é RF*~MMI*~MP*~ATA*CS, que também explica a presença de impactos negativos na produção agrícola (RC: 0,87; C: 0,98) e, com menor cobertura, sobre a renda agrícola (RC: 0,08). Nessa configuração, os impactos ocorrem mesmo sem abandono da atividade nem mudanças significativas no modo de produção.

Configurações adicionais foram identificadas com menor cobertura, mas reforçam a influência de certas variáveis combinadas. A configuração RF*PAA*~MMI*MP*~ATA*~CS indica que, mesmo na ausência de conflitos sociais, a presença de reassentamento, perda de terras, medidas ineficazes e mudanças no modo de produção é suficiente para explicar a redução impactos na produção agrícola (RC: 0,09; C: 0,81).

Para o outcome de diversidade de alimentos, a configuração RF*PAA*~MMI*~MP*CS apresentou consistência alta (C: 0,98) e cobertura moderada

(RC: 0,08). Esse caminho revela que a combinação entre perda de terras agricultáveis, ausência de mitigação e presença de conflitos é suficiente para explicar perdas na diversidade de cultivos, mesmo sem alterações diretas no sistema produtivo.

Outras duas configurações com menor presença nos casos analisados — RF*~MMI*~MP*~ATA e RF*PAA*~MMI*~ATA*~CS — ainda que com menor consistência (C: 0,75 e 0,73, respectivamente), apontam para trajetórias marginais. Nelas, a ausência de medidas eficazes, combinada à perda de base territorial e produtiva, sem necessariamente envolver conflitos ou mudanças produtivas significativas, também pode estar associada a impactos negativos na diversidade ou renda agrícola.

Os resultados indicam que nenhum fator isolado é suficiente para explicar os impactos negativos sobre a agricultura, mas sim combinações específicas de condições estruturais e sociais, como reassentamento forçado, perda de terras, conflitos e ausência de mitigação eficaz. Essa constatação reforça a abordagem sistêmica e multidimensional necessária para compreender os efeitos dos impactos de grandes empreendimentos hidrelétricos na produção agrícola.

A principal configuração comum a todas as configurações - (presença de reassentamento forçado, perda de áreas agricultáveis, abandono da atividade agrícola e ocorrência de conflitos sociais) - revela como os processos de deslocamento populacional e desestruturação territorial impactam a base produtiva agrícola. Essa configuração é comparável aos descritos por Randell et al. (2022) e Roquetti et al. (2017), que destacam os riscos de empobrecimento relacionados ao deslocamento forçado causado por usinas hidrelétricas, principalmente em relação a perda de acesso a terras férteis, aliada à ruptura de redes sociais e econômicas, que compromete a viabilidade da atividade agrícola familiar e convencional nas áreas atingidas.

Outro caminho identificado - (presença de reassentamento forçado, ausência de medidas de mitigação ineficientes, ausência de mudanças no modo de produção, ausência de abandono da atividade agrícola e presença de conflitos sociais) - sugere que mesmo em contextos de continuidade da prática agrícola, os impactos negativos ainda podem ocorrer quando há a perda das áreas e consequente deslocamento forçado e a presença de conflitos. Essa configuração indica que, mesmo com a continuidade das atividades agrícolas e a manutenção do modo de produção, os agricultores estão inseridos em um contexto de conflitos sociais que, associados à ausência de apoio técnico e à adoção de medidas de mitigação eficazes, podem levar à diminuição da produção ou até ao

abandono futuro da atividade conforme apontam Cardoso e Lunas (2018) Roquequetti et al., (2024).

A configuração (presença de reassentamento forçado, perda de áreas agricultáveis, ausência de medidas de mitigação ineficientes, presença de mudanças no modo de produção, ausência de abandono da atividade agrícola e ausência de conflitos sociais), sugere que alterações no modo de produção, introduzidas sem suporte adequado, são capazes de reduzir a produtividade, mesmo em contextos de menor tensão social.

Em síntese, as configurações identificadas demonstram que os impactos negativos na agricultura da Bacia Tocantins-Araguaia não derivam de uma única condição, mas sim de combinações específicas de fatores estruturais, sociais e institucionais. Reassentamento forçado, perda de terras, conflitos sociais e falhas na mitigação aparecem repetidamente como elementos centrais nos caminhos explicativos, confirmando a necessidade de abordagens integradas e sensíveis à realidade local nos processos de decisão e implementação de grandes projetos hidrelétricos.

Os resultados do estudo reforçam que os impactos das hidrelétricas não podem ser compreendidos apenas sob a ótica técnica ou ambiental, mas exigem uma abordagem integrada, que considere aspectos sociais, territoriais e institucionais. Os modelos de desenvolvimento baseados em grandes obras de infraestrutura frequentemente ignoram as características dos territórios e das populações atingidas, gerando mais perdas do que benefícios para o público impactado. Na Bacia Tocantins-Araguaia, esse cenário se repete, demonstrando que o discurso da “energia limpa” não pode ser dissociado de suas consequências sociais e econômicas, principalmente quando envolve pessoas que dependem diretamente da terra para sua sobrevivência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do estudo indicam que os impactos das usinas hidrelétricas sobre a produção agrícola na Bacia Tocantins-Araguaia não podem ser explicados por fatores isolados, mas por combinações específicas de condições estruturais e sociais. A análise comparativa fuzzy-set (fsQCA) identificou que o reassentamento forçado, a perda de terras agricultáveis, o abandono da atividade agrícola e os conflitos sociais estão presentes nas configurações que levam à redução da produção, da renda, da diversidade de cultivos e da soberania alimentar.

A configuração RF*PAA*ATA*CS destacou-se como a mais relevante, apresentando alta consistência e ampla cobertura empírica em todos os casos analisados.

Essa combinação aponta os efeitos do deslocamento territorial e da fragmentação social provocados pelos projetos hidrelétricos. Os impactos ultrapassam a perda física de terras e representam uma ameaça estrutural aos sistemas de produção agrícola e aos meios de subsistência rural nas áreas atingidas.

Outras configurações sugerem que, mesmo quando há continuidade nas atividades agrícolas e manutenção dos modos de produção, os impactos negativos ainda ocorrem diante do reassentamento e de conflitos sociais, especialmente quando faltam medidas de mitigação eficazes. Isso reforça que a permanência da agricultura não é suficiente para evitar prejuízos se não houver suporte institucional adequado. A ausência de mitigação, aliada a conflitos e desestruturação territorial, amplia a vulnerabilidade das comunidades.

Os resultados também mostram que 81% dos estudos se concentraram no período pós-barragem e que 83% adotaram metodologias qualitativas. Apenas uma pequena parcela abordou a fase prévia à construção ou combinou métodos qualitativos e quantitativos. Essa lacuna limita a capacidade de prever e prevenir os impactos e indica a necessidade de estudos longitudinais e com métodos mistos. Compreender a dimensão temporal completa dos impactos hidrelétricos é essencial para políticas públicas mais eficazes.

Conclui-se que o desenvolvimento hidrelétrico gera impactos sobre os sistemas agrícolas da Bacia Tocantins-Araguaia. Esses impactos decorrem da sobreposição de falhas sociais, ambientais e institucionais. Os achados reforçam a urgência de abordagens integradas e territorializadas na governança ambiental, incorporando as realidades locais, os direitos e os saberes das populações atingidas. A transição energética sustentável deve considerar plenamente suas consequências socioespaciais.

REFERÊNCIAS

- ACSELRAD, H. Mercado de terras e meio ambiente em áreas de grandes projetos de investimento - o caso da Usina Hidrelétrica de Tucuruí. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 1, n. 18, p. 158–192, 2010.
- AMORIM, F. L.; JESUS, A. De. Impactos Socioambientais Da Construção Da Uhe - Estreito Na Comunidade De Palmatuba Em Babaçulândia-To. **Geoambiente On-line**, v. 0, n. 7, p. 14–33, 2013.
- ANJOS, M. M. de S. Caracterização Socio-Econômica e Cultural das Comunidades Lindeiras ao Reservatório de Cana Brava. **Espaço em Revista**, v. 16, n. 2, p. 123–141, 2014.

- ATKINS, E. Contesting the ‘greening’ of hydropower in the Brazilian Amazon. **Political Geography**, v. 80, p. 102179, 2020.
- CAMPOI, A. M.; FERRANTE, V. L. S. B.; JUNIOR, O. A. Populações tradicionais e a construção de usinas hidrelétricas: um falso dilema entre desenvolvimento e direitos territoriais. **Revista de Geografia**, v. 25, n. 2, p. 242–265, 2022.
- CARDOSO JÚNIOR, H. M.; LUNAS, D. A. L. Construção da usina hidrelétrica de Cana Brava em Minaçu (GO): conflitos sociais e o dilema do desenvolvimento. **Revista Campo-Território**, v. 13, n. 29, p. 231–255, 2018.
- CAROLINA, A.; CATOLICO, C. Efeitos sociais da implementação da usina hidrelétrica de lajeado estudos de casos nos reassentamentos do córrego do prata e pinheirópolis rural. **Enanpur**, 2019.
- CASTRO-DIAZ, L. *et al.* Impacts of hydropower development on locals’ livelihoods in the Global South. **World Development**, v. 169, p. 106285, 2023.
- CASTRO, V. B. *et al.* Os vazanteiros, a agricultura de vazante e as barragens da destruição no Médio Rio Tocantins: perspectivas etnoecológicas. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 65, 2018.
- CASTRO, V. B.; FLÁVIO BEZERRA, B. A barragem não serve para nós ”: inconformismo dos vazanteiros pescadores com as indenizações na região do médio rio Tocantins. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, p. 1–25, 2017.
- CHAUDHARY, D. Hydropower Development and Economic Growth in Nepal: Challenges and Prospects. **Journey for Sustainable Development and Peace Journal**, v. 2, n. 1, p. 1–18, 2024.
- CLIER, M.; FARIAS, F. Deslocamento compulsório em Tucuruí : sintoma , sofrimento e mal-estar. **Paper do NAEA**, v. 28, 2017.
- CURVINA, J. S.; MOREIRA, E. do S. S. O deslocamento compulsório ex situ provocado pela Hidrelétrica de Tucuruí em Jacundá (PA): uma reconstrução a partir da memória. **RevistaIDeAS–InterfacesemDesenvolvimento,AgriculturaeSociedade.**, v. 13, p. 1–18, 2020.
- DELISMAR PALMEIRA, C.; ELIZEU RIBEIRO, L. Da ilha de são josé ao assentamento Mirindiba: a geografia da luta camponesa a partir da implantação da usina hidrelétrica de Estreito. **Geografia em Questão**, v. 1, n. April, p. 28–58, 2015.
- DESIDÉRIO, P. M. M.; PEREIRA DA SILVA, D.; QUEIROZ DOS SANTOS, G. Territórios De Resistências: Uma Análise Do Documentário “Tocantins Rio Afogado” (2005). **Revista Escritas**, v. 15, n. 01, p. 210–225, 2023.
- ELIZABETH, R.; MARÍN, A. Os vazanteiros, a agricultura de vazante e as barragens da destruição no médio rio Tocantins: perspectivas etnoecológicas. **Estudos Sociedade e Agricultura**, 2015.
- FELDMAN, A.; GRANT-SMITH, D. Fuzzy Set Qualitative Comparative Analysis. *In*: [S. l.: s. n.], 2022. p. 50–76.

- FERREIRA, D. T. A. M. *et al.* Perdas simbólicas e os atingidos por barragens: o caso da Usina Hidrelétrica de Estreito, Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 30, p. 73–87, 2014.
- FOSCHIERA, A. A.; BATISTA, L. S.; THOMAZ JUNIOR, A. Organização E Atuação Do Movimento Dos Atingidos Por Barragens: O Caso Do Mab/To. **PEGADA - A Revista da Geografia do Trabalho**, v. 9, n. 2, 2012.
- GARCÍA, M. A. *et al.* Are large-scale hydroelectric dams inherently undemocratic?. **Global Environmental Change**, v. 71, p. 102395, 2021.
- GUIMARAES CLEMENTE, L. Movimento dos Atingidos por Barragens: sujeitos e Formações Discursivas na abordagem sobre a Usina Hidrelétrica Estreito no site do MAB. **Eptic online: revista electronica internacional de economia política da informação, da comunicação e da cultura**, v. 18, n. 3, p. 214–231, 2016.
- HUARNG, K.-H.; GUAITA-MARTÍNEZ, J. M.; YU, T. H.-K. Challenges and opportunities of new research methods in innovation, entrepreneurship, and knowledge. **Journal of Business Research**, v. 134, p. 101–103, 2021.
- JOHANSEN, I. C. *et al.* Poverty–Food Insecurity Nexus in the Post-Construction Context of a Large Hydropower Dam in the Brazilian Amazon. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 21, n. 2, p. 155, 2024.
- MALDANER, K. L. S.; AKAMA, A. Os atingidos por barragens do rio Tocantins: perdas simbólicas e materiais dos afetados pela UHE Peixe Angical. **Revista Delos**, v. 12, n. 34, p. 1–17, 2017.
- MASSOLI, E. C.; BORGES, F. Q. Uma Análise das Externalidades Geradas pela UHE de Estreito (MA) e o Processo de Desenvolvimento. **Desenvolvimento em Questão**, v. 12, n. 28, p. 251, 2014.
- MATTAROZZI, V. Responsabilidade Socioambiental No Setor Financeiro: Caso De Financiamento Ao Projeto De Uma Hidrelétrica. **Revista Contemporânea**, v. 2, n. 4, p. 2–26, 2022.
- MAYER, A. *et al.* Pretend Participation: Procedural Injustices in the Madeira Hydroelectric Complex. **Global Environmental Change**, v. 75, p. 102524, 2022.
- MENESTRINO, E.; PARENTE, T. G. O estudo das territorialidades dos povos tradicionais impactados pelos Empreendimentos Hidrelétricos no Tocantins. **Brazilian Geographical Journal**, v. V.2, p. 1–19, 2011.
- MERCÊS, J. A. S. das; CASTRO, F. F. de; CAÑETE, V. R. Memória do excesso: vivência do deslocamento compulsório pela Hidrelétrica de Tucuruí. **Novos Cadernos NAEA**, v. 22, n. 2, p. 225–246, 2019.
- OBESO, M. P. *et al.* Hydropower Plants and Ichthyofauna in the Tocantins–Araguaia River Basin: Challenges for Planning and Approaches to Ichthyofauna Conservation. **Sustainability**, v. 16, n. 6, p. 2303, 2024.
- PARENTE, T. G. Gênero e (in)sustentabilidade de mulheres nos reassentamentos rurais

da usina hidrelétrica de estreito – tocantins. **OPSIS Dossiê Ruralidades e meio ambiente: retrocessos e desmontes institucionais.**, 2015.

PARENTE, T. G.; DA SILVA JÚNIOR, C. P. From the water road to the energy reservoir: The senses of the Tocantins River in the oral memory of the riverside. **Tempo e Argumento**, v. 11, n. 28, p. 156–180, 2019.

PELICICE, F. M. *et al.* Large-scale Degradation of the Tocantins-Araguaia River Basin. **Environmental Management**, v. 68, n. 4, p. 445–452, 2021.

PEREIRA, M. D. R.; ARÉVALO, J. L. S. A Política Energética e seu Efeito nas Comunidades Ribeirinhas: O Caso dos Atingidos pela Usina Hidrelétrica de Estreito-Maranhão. **...de Economia Regional, Urbana e do ...**, 2016.

PETIT, P.; SOCIAIS, I. Memórias alagadas: a Amazônia Oriental e os projetos hidrelétricos, o caso da UHE de Estreito (MA/TO) 1. **Revista Eletrônica dos Discentes do Mestrado em História da UFRN**, v. 7, n. 1, 2014.

PINTO, P.; OLIVEIRA, L. A construção da Usina Hidrelétrica de Estreito no estado do Tocantins, Brasil: Um exemplo de injustiça ambiental. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental PPGEA/FURG-RS**, v. 30, n. 1, p. 237–251, 2013.

PITOMBEIRA CARVALHO, G. D. A.; SIEBEN, A. Da ilha de São José ao reassentamento coletivo Baixão em Babaçulândia (TO): efeitos da Usina Hidrelétrica de Estreito na Amazônia. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 28, n. 1, p. 175–191, 2019.

RANDELL, H. The challenges of dam-induced displacement: Reducing risks and rethinking hydropower. **One Earth**, v. 5, n. 8, p. 849–852, 2022.

ROQUETTI, D. R. *et al.* Amazon communities displaced by hydroelectric dams: Implications for environmental changes and household's livelihood. **Global Environmental Change**, v. 89, p. 102933, 2024.

ROQUETTI, D. R.; MORETTO, E. M.; PULICE, S. M. P. Dam-forced displacement and social-ecological resilience: the barra grande hydropower plant in Southern Brazil. **Ambiente & Sociedade**, v. 20, n. 3, p. 115–134, 2017.

SANTANA, F. S.; PARENTE, T. G. Usina Hidrelétrica no Tocantins e sujeitos na construção da consciência jurídica: o reassentamento Córrego Prata em Porto Nacional (TO) - DOI: 10.5801/ncn.v16i2.1252. **Revista Panorâmica On-Line**, v. 16, n. 2, p. 121–148, 2013.

SEED, F.; TO, P. Do plantio de sementes à do plantio de sementes à colheita de recordações. **Humanidades e Inovação**, 2009.

SHALAHUDDIN, M. *et al.* Fuzzy-set qualitative comparative analysis (<sc>fsQCA</sc>) for validating causal relationships in system dynamics models. **Engineering Reports**, v. 6, n. 10, 2024.

SIEBEN, A. Efeitos da usina hidrelétrica estreito na cultura de vazante da ilha São José e na feira livre em Babaçulândia-TO. **Revista Sapiência: sociedade, saberes e práticas**

educacionais, p. 85–103, 2014.

SIEBEN, A.; CLEPS JUNIOR, J. Política energética na amazônia: a UHE estreito e os camponeses tradicionais de Palmatuba/Babaçulândia (TO). **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 2, p. 183–196, 2012.

SILVA, J. C.; BUCHER-MALUSCHKE, J. S. N. F. Psychology of Forced Displacement and Migration: A systematic review of the scientific literature. **Estudos de Psicologia (Campinas)**, v. 35, n. 2, p. 127–136, 2018.

SILVA COELHO, L. O. *et al.* Impactos socioambientais decorrentes da implantação da UHE Estreito no município de Carolina, Maranhão. **Acta Tecnológica**, v. 15, n. 1, p. 11–25, 2021.

SOUSA, S. *et al.* História dos povos mundo novo de miracema do tocantins. **Humanidades e Inovação**, 2020.

THOMAZ, P.; MARTINS, D. A. Mudanças temporais no uso e cobertura do solo na bacia do reservatório de Peixe Angical, Tocantins Temporal changes in use and land cover in the basin of Peixe Angical reservoir, Tocantins. **Ciencia e Natura**, p. 137–145, 2016.

TÓTH, Z.; HENNEBERG, S. C.; NAUDÉ, P. Addressing the ‘Qualitative’ in fuzzy set Qualitative Comparative Analysis: The Generic Membership Evaluation Template. **Industrial Marketing Management**, v. 63, p. 192–204, 2017.

UNIQUE, A. A realidade socioeconômica e as condições ambientais dos moradores no reassentamento urbano coletivo novo milênio em Babaçulândia (To). **Revista Panorâmica On-Line**, v. 24, n. 0, p. 1–23, 2016.

VENÂNCIO, M.; CHELOTTI, M. C. A construção da barragem de Lajeado no rio Tocantins e o Programa de Compensação Ambiental Xerente. **Revista Campo-Território**, v. 16, n. 40 Abr., p. 409–438, 2021.

WEITZMAN, R. Organizações de atingidos pela UHE-Tucuruí : Regimes de verdade e constituição de ações coletivas Social groups affected by the hydroelectric plant in Tucuruí : Belief systems that orient the creation of collective strategies and actions. **Revista de Extens**, 2018.

HIDRELÉTRICAS NA BACIA TOCANTINS-ARAGUAIA: ÁREAS INUNDADAS E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

RESUMO

Este estudo teve como objetivo quantificar as áreas inundadas pelos reservatórios de usinas hidrelétricas na Bacia Tocantins-Araguaia, identificar os tipos de uso e cobertura da terra afetados e analisar os impactos sobre a produção agrícola regional. Foram analisados os reservatórios de seis usinas hidrelétricas localizadas ao longo do rio Tocantins, por meio de imagens do Projeto MapBiomas (Coleção 8.0) e de dados de Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA). As análises foram conduzidas com o auxílio do software QGIS e do Google Earth Engine. Os resultados apontaram para a inundação de 2.238 km², predominantemente formados por áreas de floresta e agropecuária. Ao todo, 6.834 famílias de agricultores foram diretamente afetadas, sofrendo deslocamento e perda de suas terras produtivas. As hidrelétricas também provocaram alterações no lençol freático, perda da biodiversidade e emissões de gases de efeito estufa. Os casos das usinas Estreito, Lajeado, Peixe Angical, São Salvador, Cana Brava e Serra da Mesa ilustram diferentes graus de impacto, sendo observadas perdas significativas na produção agrícola de subsistência e na segurança alimentar das populações afetadas. Conclui-se que a construção de hidrelétricas na região gera danos ambientais e sociais substanciais, o que exige uma abordagem mais crítica e integrada na fase de planejamento desses empreendimentos, além da consideração de alternativas energéticas com menor impacto.

Palavras-chave: Hidrelétricas, Impactos socioambientais, Uso e cobertura do solo, Bacia Tocantins-Araguaia, Áreas inundadas.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia elétrica no Brasil tem impulsionado a construção de grandes usinas hidrelétricas como estratégia para o aproveitamento do potencial hídrico nacional. Embora sejam fontes consideradas renováveis, esses empreendimentos podem causar diversos impactos socioambientais. A implementação de grandes hidrelétricas causam inundações de áreas naturais e produtivas, gerando impactos diretos e indiretos sobre a biodiversidade, o equilíbrio ecológico e, especialmente, sobre comunidades tradicionais e agricultores que dependem da terra para sua subsistência.

Do ponto de vista ambiental, a inundação de áreas naturais pode resultar na perda de biodiversidade e na degradação dos ecossistemas adjacentes (Santangeli *et al.*, 2016). Habitats importantes para espécies nativas são frequentemente destruídos, e a fragmentação resultante do ambiente pode dificultar o movimento e a migração de animais, levando a um declínio populacional e à perda de diversidade genética (Sirqueira *et al.*, 2020; Talukdar *et al.*, 2020)

As inundações causadas pelas hidrelétricas também têm implicações socioeconômica que atingem diretamente as comunidades que dependem dessas áreas para sua subsistência e identidade cultural (Roquetti *et al.*, 2024). A inundação de terras agrícolas e áreas habitadas pode resultar no deslocamento forçado de comunidades inteiras e na interrupção de meios de subsistência tradicionais (Jaysawal; Saha, 2018; Langill; Abizaid, 2020). Esses impactos podem gerar conflitos sociais e econômicos, além de aumentar a vulnerabilidade das populações afetadas.

A perda de terras férteis e áreas agrícolas devido as inundações pode ter consequências duradouras para a segurança alimentar das comunidades locais. A inundação de terras produtivas pode resultar na diminuição da disponibilidade de alimentos locais e no aumento da dependência de alimentos importados (Viana; Silva, 2023; Yoshida *et al.*, 2020). Essa dependência pode aumentar a vulnerabilidade das comunidades locais, aumentando flutuações nos preços e escassez de alimentos.

As inundações causadas pelas hidrelétricas também podem resultar na liberação de gases de efeito estufa, contribuindo para as mudanças climáticas globais. A decomposição da matéria orgânica nos reservatórios inundados pode levar à produção de metano, um potente gás de efeito estufa (Bayazit, 2021; Guo *et al.*, 2021). Essas emissões podem impactar o regime de chuvas, ocasionando problemas para as atividades econômicas locais e até mesmo afetar a produção de energia

Inserida no contexto de implantação de grandes projetos hidrelétricos, a bacia Tocantins-Araguaia apresenta 7 grandes usinas hidrelétricas (UHEs): Tucuruí (1984), Serra da Mesa (1998), Lajeado (2001), Cana Brava (2002), Peixe Angical (2006), São Salvador (2009) e Estreito (2011). Para a implantação dessas usinas, foram construídos grandes reservatórios que inundaram uma extensa área, desencadeando diversos impactos socioambientais. Esses efeitos adversos destacam a importância de caracterizar conjuntamente as classes de uso do solo impactadas em função da construção de hidrelétricas em cascata no rio Tocantins. Neste contexto, o objetivo deste estudo é

caracterizar as classes de uso e cobertura da terra anteriores a construção dos reservatórios das usinas hidrelétricas no Rio Tocantins.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia do Rio Tocantins-Araguaia é composta principalmente dos rios Tocantins e Araguaia. A Região Hidrográfica é a maior bacia localizada em território brasileiro (cerca de 11% do território brasileiro), abrangendo 938.368 km², nos estados de Goiás (21,4%), Tocantins (30,2%), Pará (30,3%), Maranhão (3,3%), Mato Grosso (14,7%) e Distrito Federal (0,1%) (Figura 1).

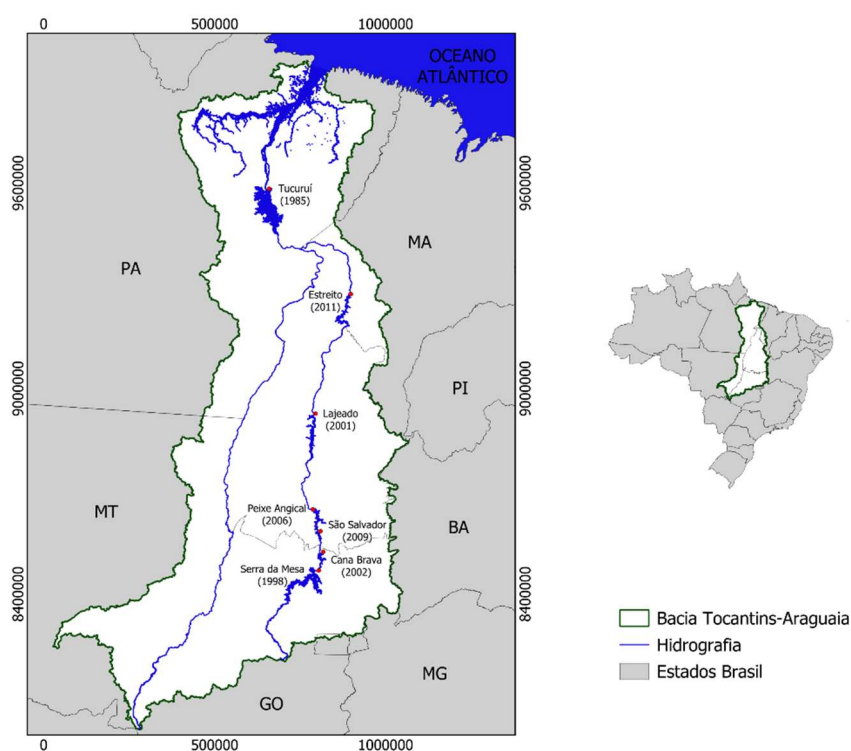


Figura 1. Mapa de localização da bacia Tocantins-Araguaia

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

A bacia apresenta um clima predominantemente tropical, com variações sazonais. A precipitação anual média varia de 1000 a 2000 mm, com uma estação chuvosa que se estende de novembro a abril (Deus; Deus; Neves, 2020). Quanto aos solos, predominam uma diversidade edáfica na região, incluindo solos arenosos, argilosos e latossolos, que oferecem diferentes potenciais para o cultivo agrícola (Loreto *et al.*, 2022).

Uma porção significativa da bacia está localizada no Cerrado (65%) (ANA, 2009) e na região Amazônica (35%) (Mittermeier *et al.*, 2003) e destaca-se como uma área de

grande relevância nacional, seu potencial hídrico sustenta uma ampla gama de atividades, incluindo irrigação, abastecimento público, geração de energia, mineração e indústria (GOMES *et al.*, 2018).

Procedimentos metodológicos

Foram analisadas as áreas atingidas pelos reservatórios das usinas hidrelétricas (UHE) Tucuruí, Estreito, Luís Eduardo Magalhães (Lajeado), Peixe Angical, São Salvador, Cana Brava e Serra da Mesa, localizadas no rio Tocantins.

Os dados das áreas impactadas diretamente pelos reservatórios das hidrelétricas foram obtidos a partir do website do Projeto MapBiomass Coleção 8.0 (MapBiomass, 2023), utilizando a ferramenta Google Earth Engine Toolkit. Essa ferramenta possibilitou, por meio de um script, a seleção das imagens e períodos necessários para o estudo (GORELICK *et al.*, 2017). Após executar o Toolkit, foram selecionadas para download imagens referentes aos anos de obtenção das licenças prévias (anteriores a construção dos reservatórios) e aos anos seguintes à obtenção das licenças de operação das hidrelétricas (pós-barragem). Uma vez concluído o processo de download das imagens brutas, procedeu-se ao recorte no software QGIS, versão 3.28.2 (Firenze), com o intuito de identificar as diferentes classes de uso da terra e caracterizar as áreas inundadas devido a construção dos reservatórios das hidrelétricas.

Os dados percentuais de cada classe do MapBiomass foram obtidos por meio do algoritmo de extração de histogramas Classification Report, presente no Plugin Semi-automatic Classification (SCP) 3, executado no software QGIS. As saídas brutas do Classification Report exibem as classes identificadas, a contagem de pixels e o percentual correspondente a cada classe. As nomenclaturas e as cores das classes nos mapas foram confeccionadas conforme o padrão do MapBiomass. A Tabela 1 apresenta as classes de uso e cobertura da terra da coleção 8.0 do projeto e suas classes agrupadas.

Tabela 1. Classes de uso da terra do MapBiomass

Nome da Classe	Classes agrupadas
Formação Florestal	Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue, Floresta Alagável e Restinga
Formação Natural não Florestal	Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Apicum, Afloramento Rochoso, Outras Formações não Florestais

Agropecuária	Agricultura, Silvicultura, Mosaico de Agricultura e Pastagem
Área não Vegetada	Área Urbanizada, Praia, Duna e Areal, Mineração e Outras Áreas não Vegetadas
Corpo D'água	Rio, Lago, Oceano e Aquicultura

Fonte: MapBiomias (2024).

Para estimar a perda de áreas decorrente da construção dos reservatórios hidrelétricos, foi quantificada a Área de Terra Inundada (ATI) resultante da implantação das barragens. (Equação 1). A ATI para cada barragem hidrelétrica x , é a diferença entre a área superficial real do reservatório construído (ASR), menos a área superficial do corpo d'água antes da construção da barragem (ASC) (Dorber; May; Verones, 2018).

$$ATI_x = ASR_x - ASC_x \quad (\text{Equação 1})$$

Para analisar a relação entre as áreas inundadas e a produção de energia, foram calculados os valores da Ocupação Líquida do Solo (OL) em km^2/kWh (Equação 2). Esse indicador representa a razão entre a área total de terra inundada (ATL $_x$) para a formação do reservatório em Km^2 e a potência instalada da usina hidrelétrica (PE $_x$) em MW, expressando, a eficiência do uso do solo alagado na geração de energia elétrica.

$$OL_x = \frac{ATI_x}{PE_x} \quad (\text{Equação 2})$$

A OL é uma métrica útil para avaliar a relação custo-benefício territorial dos empreendimentos hidrelétricos, especialmente em termos de produtividade energética por unidade de área alagada (Dorber; May; Verones, 2018).

Coletou-se informações relacionadas aos impactos ambientais decorrentes da perda de áreas agrícolas provocadas pela implementação dos empreendimentos hidrelétricos selecionadas como objetos de análise. A abordagem empregada envolveu a revisão e consulta a documentos técnicos como Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e Relatórios de Impactos Ambientais (RIMA) dos empreendimentos. Esses dados foram posteriormente utilizados como base para a análise e descrição dos resultados, permitindo avaliar de forma abrangente o impacto das hidrelétricas sobre a perda de áreas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Processados os dados, foi possível elaborar os mapas de uso e cobertura da terra das áreas inundadas pelos reservatórios das usinas hidrelétricas, permitindo quantificar cada classe impactada (Figura 2 e Tabela 02). Verificou-se que a construção da UHE Estreito causou a inundação de uma área total de 434 km², composta majoritariamente por Formação Florestal (76,3%) e áreas de Agropecuária (21,7%). A UHE Lajeado resultou na inundação de cerca de 663,6 km², com predominância de Formação Florestal (73,9%) e áreas Agropecuárias (17,4%). No caso da UHE Peixe Angical, aproximadamente 316,0 km² foram submersos, com 85,8% da área original composta por Formação Florestal e 12,3% destinados à Agropecuária. A UHE de São Salvador inundou uma área de aproximadamente 70,5 km², com 67,9% de Formação Florestal e 30,8% de áreas Agropecuárias.

As UHEs Cana Brava e Serra da Mesa, causaram um impacto considerável pela inundação de áreas para a formação dos seus reservatórios. O reservatório formado pela construção da UHE Cana Brava causou a inundação de uma área total de 114,6 km². Dentre esse total, cerca de 86,8% correspondiam a áreas com Formação Florestal e 11,5% áreas da classe Agropecuária. Já o reservatório formado pela construção da UHE Serra da Mesa causou a inundação de uma área total de aproximadamente 639,4 km², com 87,7% da área original composta por Formação Florestal e 10,6% destinados à Agropecuária.

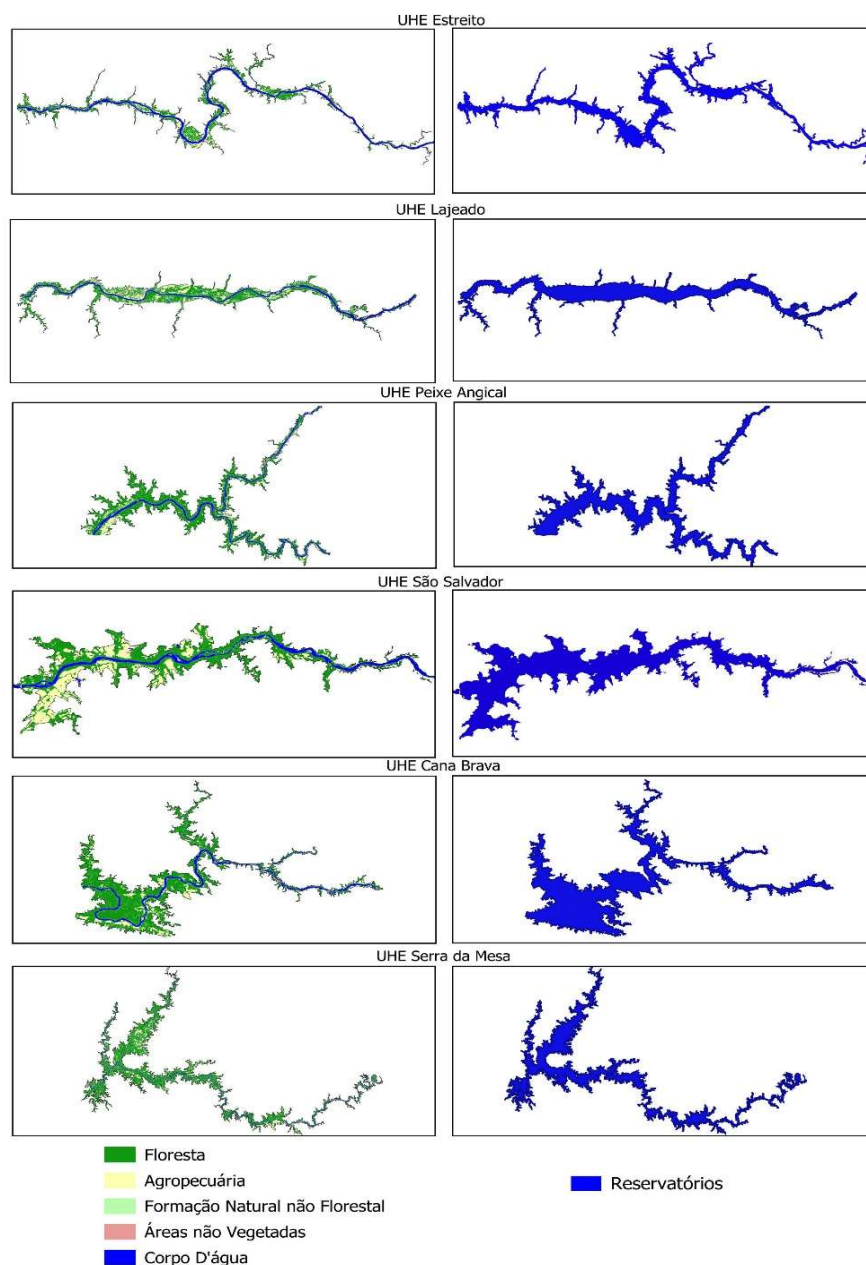


Figura 2. Representação dos rios, reservatórios e classes de uso da terra das áreas inundadas por usinas hidrelétricas do rio Tocantins.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

Tabela 2. Classes de uso e ocupação das áreas impactadas pelos reservatórios de usinas hidrelétricas no rio Tocantins

UHE / Classes	Floresta	Formação Natural não Florestal	Agropecuária	Áreas não vegetadas	Corpo D'água
	km ²	km ²	km ²	km ²	km ²
Estreito	330,9	5,2	94,1	3,8	177,0

Lajeado	490,5	31,3	115,8	26,0	118,1
Peixe Angical	271,2	2,5	38,8	3,6	55,0
São Salvador	47,9	0,3	21,7	0,6	11,7
Cana Brava	99,5	0,2	13,2	1,7	15,3
Serra da Mesa	560,9	5,1	67,9	5,5	48,0
Total	1801,0	44,7	351,4	41,1	425,1

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

A tabela 3 apresenta um compilado de informações das usinas hidrelétricas analisadas, a capacidade de geração, as áreas inundadas, e o número de família rurais impactadas. Os empreendimentos implicaram uma perda total de 2.238 km² de áreas, além de outras áreas não estimadas neste estudo no entorno dos reservatórios impactadas pela elevação do lençol freático e formação de áreas úmidas e alagadas que deixaram de ser utilizadas.

Tabela 3. Capacidade de geração, áreas inundadas, número de família rurais impactadas e proporção área inundada x geração dos empreendimentos hidrelétricos do Rio Tocantins

UHE	Estado	Capacidade de Geração (MV)	Áreas inundadas (km ²)	Famílias de Agricultores Atingidos	Proporção Áreas inundadas x Geração
Estreito	Maranhão/Tocantins	1.087	434	1.019	2,50
Lajeado	Tocantins	902	663,6	997	1,36
Peixe Angical	Tocantins	453	316	223	1,43
São Salvador	Tocantins	241	70,5	156	3,42
Cana Brava	Goiás	450	114,6	109	3,93
Serra da Mesa	Goiás	1275	639,4	4230	1,99
Total		4.408	2.238	6.834	

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

O impacto das hidrelétricas implementadas no Rio Tocantins afetou um total de 6.834 famílias de agricultores na região. Essas famílias, que dependiam das terras próximas ao rio para sua subsistência, tiveram suas atividades agrícolas e formas de vida tradicionais interrompidas devido à inundação das áreas pela formação dos reservatórios. A necessidade de reassentamento forçado resultou em desafios socioeconômicos e ambientais para essas comunidades rurais.

A UHE Lajeado foi o empreendimento que proporcionalmente mais implicou em perdas de áreas inundadas pela construção do reservatório em função da sua capacidade de geração de energia, enquanto as UHEs Cana Brava e São Salvador foram as que proporcionalmente menos impactaram perdas de áreas por capacidade de geração. Torna-se evidência a necessidade de explorar alternativas para a implementação de usinas hidrelétricas com menor impacto ambiental

A construção do reservatório da UHE Estreito causou impactos nos solos, com magnitude considerável, nos quais não se podem estabelecer medidas preventivas ou corretivas, provocando alterações profundas no cotidiano de uma parcela da população local (CNEC, 2001). Esses impactos se traduziram em perdas definitivas de solos ou alterações profundas nas características dos mesmos, tanto diretamente por inundação pelo reservatório, quanto indiretamente pela possível elevação do lençol freático, causando a formação de áreas úmidas e alagadas (CNEC, 2001).

Aproximadamente 84% dos proprietários rurais das regiões afetadas pela UHE Estreito dedicavam-se à agricultura de subsistência. Essa atividade ocorria principalmente durante a época de vazante do rio Tocantins, envolvendo o cultivo de arroz, feijão, mandioca e milho, sem a necessidade de grandes investimentos financeiros ou técnicos. A criação de gado era voltada para a subsistência, assim como outras espécies de animais, como aves, suínos, caprinos e equinos, que também eram criadas com o mesmo propósito (CNEC, 2001).

A perda de áreas agrícolas e dos lugares ocupados por essas comunidades devido ao impacto da construção da UHE Estreito e o subsequente enchimento do lago não se resumiram apenas a uma questão de terras cultiváveis, essa perda representou também a extinção de um conhecimento adquirido ao longo do tempo, por meio da experiência e prática dessas pessoas no cultivo de alimentos adaptados aos ritmos da natureza (Menestrino; Parente, 2011).

O reservatório UHE Lajeado foi implantado em região de solos pobres, sem potencial agrícola significativo e com ambiente natural bastante degradado, embora com algumas áreas propícias a agricultura pela sua particularidade de apresentar manchas úmidas na paisagem seca predominante de cerrados (THEMAG, 1998).

O EIA da UHE Lajeado menciona que uma parte da área inundada era utilizada para a pecuária extensiva e para a agricultura de subsistência, principalmente nas proximidades dos rios (THEMAG, 1998). Os produtores locais aproveitavam a fertilidade natural das terras alagadas pelas cheias dos rios para cultivar diversos tipos de culturas,

como arroz, milho, feijão, hortaliças e outras de ciclo curto. Essa prática permitia que as colheitas fossem realizadas antes da chegada da próxima cheia, evitando que as plantações fossem submersas e garantindo a segurança das colheitas.

A agricultura de várzea era uma atividade fundamental para a subsistência das comunidades locais impactadas pela UHE Lajeado. Os agricultores familiares desenvolveram ao longo do tempo técnicas adaptadas às condições específicas das várzeas do rio Tocantins, transmitindo de geração em geração conhecimentos ancestrais sobre o manejo do solo e o ciclo de plantio (Castro *et al.*, 2018). Essa forma de agricultura era uma importante fonte de produção de alimentos para as famílias que viviam nas proximidades dos rios. Além disso, a diversificação de culturas praticada nessa região contribuía para a segurança alimentar, fornecendo uma dieta variada e nutritiva para as comunidades.

No entanto, com a formação do reservatório da UHE Lajeado, essas áreas agricultáveis de várzea foram submersas e perdidas, impactando negativamente a agricultura local e a subsistência das comunidades. Além do impacto das áreas inundadas pelo reservatório, a jusante da UHE Lajeado, verificaram-se alterações nas variações naturais da água no período de cheias e secas, impactando a planície de inundação e as várzeas. A jusante da UHE Lajeado, 72% da área média antes inundada não está mais inundada e o hidro período médio diminuiu 35% (SWANSON *et al.*, 2021).

Na porção impactada pela UHE Peixe Angical, eram cultivadas nas áreas alagadas pelo reservatório as culturas temporárias de arroz, milho, algodão, a melancia e a soja, cana-de-açúcar, mandioca e feijão, principalmente para subsistência (THEMAG, 2000). O EIA relata como impacto da construção do reservatório a perda do potencial agrícola dos solos inundados de forma permanente.

O estudo relata que a maior parte da atividade agrícola praticada na área alagada era desenvolvida para consumo próprio (54,2% dos estabelecimentos rurais), seguindo-se a produção destinada em parte ao consumo próprio e em parte à venda (10,2% dos estabelecimentos). As comercializações dos produtos agrícolas eram realizadas majoritariamente de forma direta para o consumidor (45,5%) ou por meio de intermediários (27,3% dos estabelecimentos), a atividade agrícola quase sempre desenvolvida pelos proprietários dos estabelecimentos e/ou seus familiares e/ou empregados, sendo incomum a presença de arrendatários e parceiros (THEMAG, 2000).

Com a inundação das terras e a perda do potencial agrícola das áreas alagadas, uma grande quantidade de famílias residentes na área rural afetada pela UHE Peixe

Angical teve que ser reassentadas (THEMAG, 2000). Muitas destas famílias eram moradores das margens do rio Tocantins, se utilizando dos recursos naturais disponíveis neste ambiente e tirando seu sustento dele, sem a preocupação ou a intenção de adquirir um excedente que gerasse um poder econômico maior que lhes dessa representatividade econômica.

Segundo Maldaner (2019), a empresa responsável pela construção da UHE Peixe Angical, entregou aos reassentados as propriedades já com as áreas plantadas; no entanto, os agricultores enfrentaram dificuldades em manter as safras subsequentes, devido às diferenças dos solos da região em relação às suas terras anteriores, demandando recursos técnicos e financeiros para correção do solo e uso de adubos.

Considerando que as comunidades afetadas pela hidrelétrica não utilizavam técnicas agrícolas modernas, como fertilizantes químicos, corretivos de solo e maquinário, devido à fertilidade natural da agricultura de vazante na área original, o processo de reassentamento deveria proporcionar condições ambientais semelhantes ao local perdido para que pudessem reconstruir um novo modo de vida no novo lugar.

No caso da UHE São Salvador, antes da implantação da hidrelétrica, a população rural cultivava nas áreas de solo mais fértil, nas margens dos rios, principalmente para subsistência, as culturas de arroz, milho e mandioca (THEMAG, 2004). Entretanto, com a formação do reservatório e inundação das áreas ribeirinhas, a agricultura de subsistência desenvolvida nessas áreas foi prejudicada, o que comprometeu a sustentabilidade dos agricultores.

A divulgação do início das obras e o consequente processo de desapropriação das terras trouxeram interrupção de investimentos nas propriedades atingidas, diminuição da produção, a desmobilização de empregados rurais, o aumento da população das cidades e a ocupação irregular das áreas desapropriadas (THEMAG, 2004).

Esse fato pode ter causado uma diminuição na produtividade agrícola das áreas atingidas e afetado o sustento das famílias que dependiam dessas terras para o cultivo, impactando negativamente a segurança alimentar das comunidades locais, uma vez que a oferta de alimentos diminuiu devido à restrição de terras disponíveis para a agricultura, principalmente de ordem familiar (THEMAG, 2004).

As áreas inundadas pela construção da Usina Hidrelétrica Cana Brava eram predominantemente utilizadas para atividades agropecuárias, principalmente pela criação de gado de corte e pela prática da agricultura de subsistência. A agricultura praticada nessa área era voltada, em grande parte, para o cultivo de culturas como arroz, feijão,

milho, mandioca, sorgo, cana-de-açúcar, amendoim, cacau e banana (IESA, I. de E. S. ., 1987).

Do total da área ocupada pelo reservatório, 26,5% eram consideradas de baixa aptidão para culturas anuais e perenes, enquanto 24,9% eram compostos por solos de alta qualidade, que permitiam a obtenção de boas colheitas de culturas anuais, mesmo em manejo de baixa tecnologia, sem uso de corretivos e fertilizantes, ou com uso mínimo destes produtos (IESA, I. de E. S. ., 1987).

O reservatório da UHE Serra da Mesa resultou na inundação de porções de diversos municípios no norte do estado de Goiás, incluindo Niquelândia, Santa Rita do Novo Destino, Minaçu, Uruaçu, Campinorte, Campinaçu, Colinas do Sul e Barro Alto. O relevo acidentado nas áreas alagadas pelo reservatório, dificultavam a obtenção de altos índices de produtividade agrícola, sendo cultivada nessas áreas as culturas de soja, arroz, milho, feijão, sorgo, mandioca, banana, abacaxi, café e cana-de-açúcar, principalmente para a subsistência (IESA, I. de E. S., 1987).

Apesar da baixa produtividade quando comparadas a outros municípios do estado de Goiás, as economias dos municípios afetados eram predominantemente baseadas nas atividades agropecuárias, que sustentavam suas atividades comerciais e de serviços. Os principais impactos relacionados a construção do reservatório nas atividades agropecuárias, foram o reassentamento das populações residentes na área de inundação, o aumento do número de grileiros e posseiros, devido à perspectiva de desapropriação das terras a serem inundadas, e aos impactos econômicos na agricultura e pecuária devido à pausa na produção e perda de solos férteis (IESA, I. de E. S., 1987).

Em síntese, os resultados deste estudo ressaltam a magnitude dos impactos socioambientais decorrentes da construção de hidrelétricas na Bacia Tocantins-Araguaia. As extensas áreas inundadas pelos reservatórios das usinas hidrelétricas resultaram na perda de habitats naturais, terras agrícolas férteis, o deslocamento forçado e à interrupção dos meios de subsistência de comunidades locais. Além disso, os impactos ambientais, como a perda de biodiversidade e a emissão de gases de efeito estufa, têm repercussões de longo prazo sobre os ecossistemas locais e o clima global. Portanto, é importante considerar esses aspectos na avaliação de impactos ambientais e no planejamento de futuros empreendimentos hidrelétricos, visando a minimização dos impactos negativos e a promoção da sustentabilidade do desenvolvimento regional.

CONCLUSÕES

Os resultados do estudo revelam a expressiva extensão das áreas perdidas devido à construção de hidrelétricas na Bacia Tocantins-Araguaia, totalizando um impacto de 2.238 km² de terras inundadas. Essas áreas, anteriormente ocupadas por florestas, terras agrícolas e habitats naturais, agora representam perdas irreparáveis em termos de biodiversidade e recursos naturais.

Um total de 6.834 famílias de agricultores foram diretamente afetadas pela construção das hidrelétricas na região. Essas comunidades, que dependiam das terras para sua subsistência e práticas agrícolas tradicionais, enfrentam agora desafios socioeconômicos devido ao deslocamento forçado e à interrupção de seus meios de vida. O reassentamento dessas famílias implica não apenas em questões logísticas, mas também em perdas culturais e sociais, exacerbando a vulnerabilidade dessas populações.

Diante desse cenário, recomenda-se que os processos de licenciamento ambiental incorporem, desde sua fase inicial, análises detalhadas sobre o uso e ocupação do solo e os modos de vida das populações locais. É fundamental que estudos de impacto ambiental não se restrinjam às dimensões físicas e ecológicas, mas contemplem também variáveis sociais, culturais e econômicas com participação ativa das comunidades afetadas. Outro ponto essencial é o desenvolvimento de programas de reassentamento baseados em critérios de equivalência funcional e produtiva, garantindo que as novas áreas ofereçam condições ambientais e logísticas compatíveis com os modos de produção anteriores.

Adicionalmente, a pesquisa reforça a necessidade de considerar alternativas energéticas com menor impacto territorial, como fontes solares e eólicas, especialmente em regiões com alta densidade populacional rural e diversidade ecológica. Também se sugere a implementação de mecanismos de compensação socioambiental mais eficazes, que incluam assistência técnica continuada aos agricultores reassentados, acesso ao crédito rural, regularização fundiária e incentivos à agroecologia.

Como contribuição científica, este estudo oferece um panorama abrangente e integrado dos efeitos de seis empreendimentos hidrelétricos sobre o território da bacia Tocantins-Araguaia, combinando dados espaciais, análises técnicas e evidências documentais. Do ponto de vista social, o trabalho contribui para o fortalecimento do debate sobre os limites do modelo energético baseado em grandes barragens e chama atenção para a urgência de políticas públicas mais justas, inclusivas e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- ANA, A. N. de Á. **Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia**. Brasília, 2009.
- BAYAZIT, Y. The effect of hydroelectric power plants on the carbon emission: An example of Gokcekaya dam, Turkey. **Renewable Energy**, v. 170, p. 181–187, 2021.
- CASTRO, V. B. *et al.* Os vazanteiros, a agricultura de vazante e as barragens da destruição no Médio Rio Tocantins: perspectivas etnoecológicas. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 65, 2018.
- CNEC, E. **Estudo de Impacto Ambiental da Usina Hidrelétrica de Estreito**. 2001.
- DEUS, R.; DEUS, S. S.; NEVES, R. J. de J. Uso do código SWAT na previsão de vazão dos rios da bacia hidrográfica Tocantins-Araguaia. **Novos Cadernos NAEA**, v. 23, n. 2, 2020.
- GOMES, E. P. *et al.* Assessment of Water Degradation in the Hydrographic Basin Tocantins Araguaia. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 41, n. 3, p. 503–513, 2018.
- GUO, L.-N. *et al.* Prediction of the effects of climate change on hydroelectric generation, electricity demand, and emissions of greenhouse gases under climatic scenarios and optimized ANN model. **Energy Reports**, v. 7, p. 5431–5445, 2021.
- IESA, I. de E. S. **Aproveitamento hidrelétrico de Serra da Mesa. Relatório Avaliação de Impacto Ambiental**, 1987.
- IESA, I. de E. S. . **Estudo de Impacto Ambiental. Usina Hidrelétrica Cana Brava**, 1987.
- LORETO, M. das D. S. de *et al.* Análise Multicritério para identificação de áreas prioritárias para irrigação, por meio de indicadores socioeconômicos, no contexto da Bacia Tocantins-Araguaia, Região Centro-Oeste do Brasil. **Interações (Campo Grande)**, p. 927–943, 2022.
- MENESTRINO, E.; PARENTE, T. G. O estudo das territorialidades dos povos tradicionais impactados pelos Empreendimentos Hidrelétricos no Tocantins. **Brazilian Geographical Journal**, v. V.2, p. 1–19, 2011.
- MITTERMEIER, R. A. *et al.* Wilderness and biodiversity conservation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, n. 18, p. 10309–10313, 2003.
- SIRQUEIRA, E. G. G. *et al.* A vulnerabilidade das matas ripárias diante da construção de grandes empreendimentos hidrelétricos na bacia do Rio Tocantins. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 375, 2020.
- TALUKDAR, S. *et al.* Damming effects on trophic and habitat state of riparian wetlands and their spatial relationship. **Ecological Indicators**, v. 118, n. July, p. 106757, 2020.
- THEMAG, E. L. **Estudo de Impacto Ambiental da Hidrelétrica Luiz Eduardo**

Magalhães - Lajeado, 1998.

THEMAG, E. L. **Relatório de Impacto Ambiental. Usina Hidrelétrica de Peixe/Angical**, 2000.

THEMAG, E. L. **Relatório de Impacto Ambiental. Usina São Salvador**. [S. l.: s. n.], 2004.

VIANA, H. M. M.; SILVA, T. N. da. Abordagem FEW Nexus (nexo água-energia-alimento) para o desenvolvimento sustentável através dos ODS da ONU. **Revista de Administração da UFSM**, v. 16, n. 2, p. e2, 2023.

YOSHIDA, Y. *et al.* Impacts of Mainstream Hydropower Dams on Fisheries and Agriculture in Lower Mekong Basin. p. 1–21, 2020.

A SUBSTITUIÇÃO DAS CULTURAS ALIMENTARES EM ÁREAS IMPACTADAS POR HIDRELÉTRICAS NA BACIA-TOCANTINS ARAGUAIA E A SOBERANIA ALIMENTAR

RESUMO

A Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia é uma região estratégica para o desenvolvimento econômico do Brasil devido à sua disponibilidade de recursos hídricos, solos férteis e reservas minerais. No entanto, a exploração desses recursos tem levado a transformações socioambientais, como é observado no setor agrícola, marcado pela substituição de culturas alimentares de subsistência por culturas para a exportação. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo analisar a expansão agrícola, com ênfase na substituição de cultivos tradicionais de subsistência (arroz, feijão e mandioca) por sistemas de produção em larga escala de soja e milho, em municípios afetados por usinas hidrelétricas. Foram analisados dados históricos de produção agrícola de 1980 a 2023, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os resultados apontam uma redução de 199,7% na produção de alimentos básicos, enquanto a produção de milho e soja aumentou em 9.650,1% e 181.371,4%, respectivamente. Os resultados demonstram que, embora as usinas hidrelétricas contribuam para mudanças na produção de alimentos, devido o alagamento de áreas férteis e deslocamento de comunidades rurais, fatores como a demanda global por commodities, políticas nacionais voltadas ao agronegócio e a falta de incentivos à agricultura familiar exercem um papel determinante nessa transição. Os resultados indicam que as usinas hidrelétricas afetam principalmente a produção de alimentos a nível local, aumentando a dependência das populações e comunidades de alimentos externos, afetando a soberania e segurança alimentar de comunidades já vulneráveis em diversos aspectos.

Palavras-chave: Produção de alimentos, expansão da soja, agricultura familiar, segurança alimentar, Bacia Tocantins-Araguaia.

INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia é uma região estratégica para o desenvolvimento econômico do Brasil devido à sua diversidade de recursos naturais, incluindo o alto potencial hidrelétrico, extensas áreas de solos agriculturáveis, reservas minerais e madeiras de alta qualidade (Catolico; Strauch, 2024). No entanto, o uso

intensivo desses recursos tem causado impactos ambientais, como o desmatamento acelerado e a perda de biodiversidade, que ameaçam a sustentabilidade ambiental e a integridade dos ecossistemas locais (Large-scale Degradation of the Tocantins-Araguaia River Basin Pelicice *et al.*, 2021b; Polizel *et al.*, 2021; Sousa; Marques, 2024).

No setor agrícola, observa-se uma transformação na dinâmica produtiva da região, caracterizada pela substituição de culturas alimentares de subsistência por sistemas voltados à produção em larga escala, com destaque para o cultivo de milho e soja. A produção de alimentos para o consumo local e regional, cultivados principalmente pela agricultura familiar e de subsistência vem cedendo espaço para a produção em larga escala de commodities agrícolas destinadas à exportação (Bazotti; Coelho, 2018; Schuster; Filho; Hahn, 2024). Esse processo tem gerado impactos socioambientais, incluindo a concentração de terras e capitais, conflitos agrários e insegurança alimentar (Almeida, 2020; Corrêa *et al.*, 2019; Sauer, 2024).

A expansão da fronteira agrícola no Matopiba (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) é um exemplo do avanço da comoditização agrícola na Bacia Tocantins-Araguaia (Latrubesse *et al.*, 2019; Large-scale Degradation of the Tocantins-Araguaia River Basin Pelicice *et al.*, 2021b). Essa região, considerada a última fronteira agrícola do país, ocupa 42% do território da bacia, e tem sido alvo de investimentos massivos para a produção de soja e milho, intensificando a pressão sobre os recursos naturais e as comunidades locais (Araújo *et al.*, 2024).

As terras da região são predominantemente ocupadas por grandes propriedades, enquanto as áreas destinadas à agricultura familiar consistem em pequenas parcelas, insuficientes para garantir a sustentabilidade das atividades agrícolas das famílias. Apesar da escassez de recursos e incentivos provenientes de órgãos estatais e do mercado, é a agricultura familiar que tem desempenhado um papel importante na garantia da produção de alimentos para o mercado interno, uma vez que a agricultura moderna mecanizada produz apenas commodities para a exportação (Marchi; Santos; Vieira, 2024; Santos *et al.*, 2024).

A substituição de cultivos alimentares por commodities não apenas compromete a segurança alimentar das comunidades locais, mas também ameaça o equilíbrio socioeconômico regional. A produção de commodities, embora economicamente vantajosa no curto prazo, contribui para a marginalização de pequenos agricultores (Bazotti; Coelho, 2018). Esse fenômeno intensifica a desigualdade rural e fragiliza os sistemas de produção voltados ao abastecimento interno (Arbex Valadares, 2022).

A soberania alimentar é fortemente afetada pela substituição de cultivos alimentares por commodities, uma vez que essa prática compromete a autonomia das comunidades locais na definição de políticas e estratégias de produção de alimentos, tornando-as dependentes de mercados externos e vulneráveis a flutuações econômicas globais (Bradão; Peres; Moraes, Verena Pereira; Casemiro, 2022; Moruzzi Marques; Gebrim Dória, 2021). Além disso, a priorização de commodities para exportação pode levar à redução da diversidade agrícola local, afetando a disponibilidade de alimentos nutritivos e culturalmente adequados para a população local (Maciel; Troian; Oliveira, 2022).

Além disso, intensificação do uso de agrotóxicos para a produção de commodities agrícolas é outro fator alarmante. Estudos apontam que esses insumos químicos contaminam os solos e os corpos hídricos, afetando tanto a saúde humana quanto a biodiversidade (Borba *et al.*, 2024). Esse cenário reforça a necessidade de alternativas produtivas sustentáveis que reduzam a dependência de insumos externos e valorizem práticas agroecológicas (Araújo *et al.*, 2022; Fortini; Braga; Freitas, 2020).

As mudanças climáticas globais também estão interligadas às transformações ambientais e aos sistemas produtivos na bacia Tocantins-Araguaia. O desmatamento para expansão agrícola e a emissão de gases de efeito estufa associada às práticas intensivas de manejo agrícola agravam os impactos climáticos (Araújo *et al.*, 2024). Isso reforça a urgência de implementar estratégias que conciliem desenvolvimento econômico e conservação ambiental.

Apesar de o Brasil ser um dos maiores produtores de alimentos do mundo, uma parte significativa da população enfrenta fome e insegurança alimentar, refletindo desigualdades no acesso aos recursos alimentares (Bezerra *et al.*, 2020; Bonfim, 2024). Esse cenário se distancia dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS-2, que visa acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e promover a agricultura sustentável (Maciel; Troian; Oliveira, 2022).

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo analisar a expansão do cultivo de milho e soja em detrimento das lavouras tradicionais de arroz, feijão e mandioca nos municípios afetados pela instalação de hidrelétricas na bacia Tocantins-Araguaia. Essa análise busca compreender as implicações econômicas, sociais e ambientais dessa transição agrícola na região.

A seleção da área de estudo fundamenta-se nos impactos multifacetados associados à implantação de usinas hidrelétricas, que promovem a inundação de extensas

áreas agrícolas, deslocam populações rurais e transformam os sistemas de produção agrícola de famílias diretamente afetadas, além das áreas está presente na fronteira agrícola do Matopiba.

Esses empreendimentos, por outro lado, também desempenham um papel estratégico na indução de novos investimentos no setor agropecuário, uma vez que viabilizam o controle e a disponibilidade de recursos hídricos essenciais para a irrigação e outras práticas produtivas. Além disso, a construção de hidrelétricas geralmente está associada à expansão de infraestrutura logística, como rodovias e hidrovias, que facilita o escoamento da produção e estimula a reorganização territorial e econômica das regiões impactadas.

METODOLOGIA

A Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia (Figura 1) é a maior bacia hidrográfica localizada inteiramente em território brasileiro, abrangendo uma área de aproximadamente 967.059 km², o que representa cerca de 11,3% do território nacional (ANA, 2021). Estende-se por sete estados: Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Pará, Maranhão, Distrito Federal e uma pequena porção de Rondônia. A bacia é composta por dois principais sistemas fluviais: o Rio Tocantins e seu maior afluente, o Rio Araguaia, que juntos desempenham um papel crucial no abastecimento hídrico, na biodiversidade e nas atividades socioeconômicas da região.

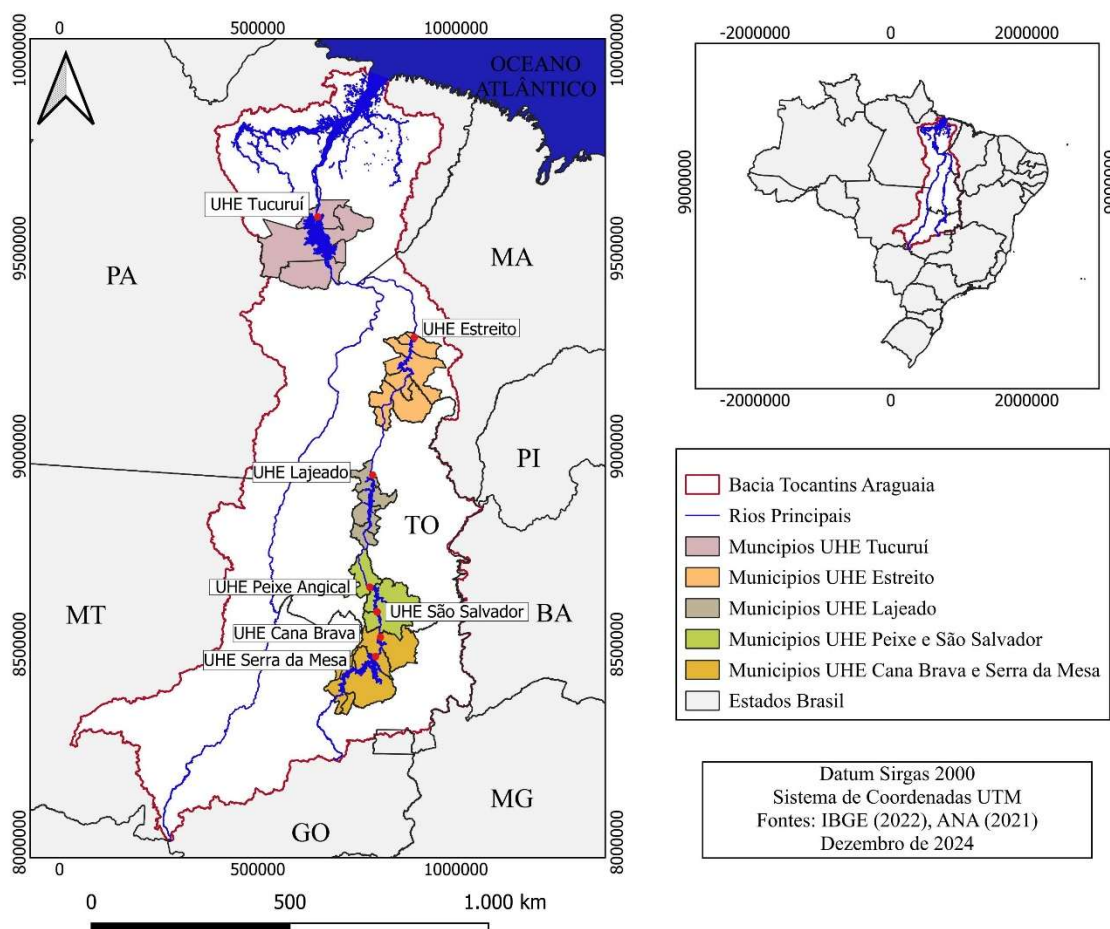


Figura 1. Mapa de localização da bacia Tocantins-Araguaia
Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

O Rio Tocantins tem sua nascente localizada na Serra Dourada, em Goiás, e percorre aproximadamente 2.640 km até sua foz na Baía de Marajó, no Pará, onde deságua no Oceano Atlântico. O Rio Araguaia, por sua vez, nasce na Serra dos Caiapós, em Mato Grosso, e percorre cerca de 2.115 km, servindo como divisor natural entre os estados de Goiás e Mato Grosso e, posteriormente, entre Tocantins e Pará.

A bacia Tocantins-Araguaia apresenta uma elevada diversidade ecológica, incluindo ecossistemas do Cerrado e Amazônia, além de ser um importante corredor biogeográfico. No entanto, o bioma Cerrado, predominante na região, tem sido intensamente modificado devido ao avanço da fronteira agrícola, à expansão do agronegócio e à construção de grandes empreendimentos de infraestrutura, como usinas hidrelétricas e rodovias (SILVA et al., 2022).

A Bacia Tocantins-Araguaia abriga um dos maiores complexos hidrelétricos do Brasil. Além das grandes usinas hidrelétricas, a região conta com diversas Pequenas

Centrais Hidrelétricas (PCHs) em operação, bem como empreendimentos de grande porte em diferentes fases de planejamento e licenciamento ambiental.

O estudo foi realizado nos municípios impactados pelas usinas hidrelétricas de Tucuruí, Estreito, Luís Eduardo Magalhães (Lajeado), Peixe Angical, São Salvador, Cana Brava e Serra da Mesa, localizadas no rio Tocantins (Figura 1 e Tabela 1). Os projetos hidrelétricos analisados atingiram os estados do Pará, Tocantins, Goiás e Maranhão.

Tabela 1. Usinas Hidrelétricas em operação no Estado do Tocantins

Usinas Hidrelétricas	Estado	Capacidade Instalada (MV)	Área do Reservatório (km ²)	Ano de Início de Operação
Tucuruí	Pará	8.370	2.850	1984
Estreito	Maranhão- Tocantins	1.087	590	2010
Luís Eduardo Magalhães	Tocantins	902	630	2001
Peixe Angical	Tocantins	453	294	2006
São Salvador	Tocantins	241	104	2008
Cana Brava	Goiás	450	139	2002
Serra da Mesa	Goiás	1275	1.784	1998

Fonte: Elaborado pelos Autores (2023).

Para alcançar os objetivos deste estudo, foram utilizados dados secundários da Produção Agrícola Municipal (PAM), disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referentes ao período de 1980 a 2023. Os dados foram coletados para os municípios impactados pelas hidrelétricas no rio Tocantins. Foram analisadas as variáveis produção agrícola (em toneladas) e área colhida (em hectares) das culturas arroz, feijão, mandioca, milho e soja. Os dados foram organizados e analisados por meio de planilhas eletrônicas e posteriormente comentados com base na revisão da literatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados referentes à produção agrícola e às áreas colhidas nas regiões impactadas pela instalação de hidrelétricas na bacia Tocantins-Araguaia indicam alterações na dinâmica agrícola local. O cultivo de milho e soja tem substituído gradualmente as lavouras tradicionais de arroz, feijão e mandioca, evidenciando alterações no uso da terra e transformações nas estratégias econômicas e sociais da região.

A Tabela 2 apresenta a evolução da produção e da área colhida de arroz, feijão e mandioca nos municípios analisados de 1980 a 2023. A produção total dessas culturas reduziu-se de 249.450 toneladas em 1980 para 136.174 toneladas em 2023. Os maiores declínios foram observados nas áreas dos complexos Peixe Angical/São Salvador (-79,2%) e Cana Brava/Serra da Mesa (-79,5%). Nas áreas dos municípios impactados pela hidrelétrica de Tucuruí, observou-se um aumento na produção, que passou de 37.550 toneladas em 1980 para 58.228 toneladas em 2023, representando um incremento de 55%.

Tabela 2. Produção e área colhida de arroz, feijão e mandioca nos municípios atingidos por hidrelétricas na bacia Tocantins Araguaia de 1980 a 2023.

Hidrelétricas	Arroz, Feijão e Mandioca					
	Produção (t)			Área colhida (ha)		
	1980	2023	2023/1980 (%)	1980	2023	2023/1980 (%)
Tucuruí	37.550	58.228	55,1	7.041	4.355	-38,1
Estreito	67.894	33.122	-51,2	22.414	5.438	-75,7
Lajeado	43.789	24.122	-44,9	29.890	3.120	-89,6
Peixe Angical/São Salvador	49.252	10.249	-79,2	31.450	1.150	-96,3
Cana Brava/Serra da Mesa	50.965	10.453	-79,5	41.796	1.512	-96,4
Total	249450	136174		132591	15575	

Fonte: IBGE (2025).

Em relação à área colhida para arroz, feijão e mandioca, os dados indicam uma redução de 132.591 hectares em 1980 para 15.575 hectares em 2023. As culturas de arroz, feijão e mandioca são tradicionalmente cultivadas em regime de sequeiro por agricultores familiares, geralmente em propriedades de pequeno porte, com a produção destinada ao consumo local e regional. A redução da produção nessas áreas tem resultado na maior dependência de alimentos provenientes de outras regiões do país, levando ao aumento dos preços e à perda da soberania alimentar.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 3, a produção de milho nos municípios analisados registrou um crescimento acentuado entre 1980 e 2023. Destacam-

se os municípios que compõem as áreas das hidrelétricas de Lajeado e Estreito, que apresentaram aumento de 4.808,6% e 3.418,3%, respectivamente.

Tabela 3. Produção e área colhida de milho nos municípios atingidos por hidrelétricas na bacia Tocantins Araguaia de 1980 a 2023.

Hidrelétricas	Milho					
	Produção (t)			Área colhida (ha)		
	1980	2023	2023/1980 (%)	1980	2023	2023/1980 (%)
Tucuruí	2.976	28.102	844,3	2.840	8.865	212,1
Estreito	5.620	197.727	3418,3	7.697	56.361	632,2
Lajeado	3.912	192.026	4808,6	3.280	49.327	1403,9
Peixe Angical/São Salvador	6.179	26.584	330,2	4.028	6.148	52,6
Cana Brava/Serra da Mesa	34.354	119.778	248,7	17.790	23.220	30,5
Total	53041	564217		35635	143921	

Fonte: IBGE (2025).

A área colhida de milho aumentou de 35.635 hectares em 1980 para 143.921 hectares em 2023. Os maiores incrementos foram registrados nos complexos de Lajeado, com uma expansão de 1.403,9%, e Estreito, com 632,2%. Em contrapartida, os municípios das hidrelétricas de Peixe Angical/São Salvador e Cana Brava/Serra da Mesa apresentaram crescimentos mais modestos, com aumentos de 52,6% e 30,5%, respectivamente.

Historicamente, o milho era cultivado por agricultores familiares, com foco na alimentação de animais e, em menor escala, no consumo humano. Com o avanço tecnológico e as transformações na agricultura, o milho passou a ser integrado a sistemas de produção em consórcio com a soja. Essa prática não apenas maximiza o uso do solo e a eficiência produtiva, mas também contribui para a diversificação das fontes de renda dos grandes produtores. Além disso, o aumento da demanda global por grãos, impulsionado pela exportação e pela crescente indústria de rações, consolidou o milho como uma cultura estratégica no agronegócio. Esses fatores técnicos e econômicos foram determinantes para o expressivo crescimento da produção de milho nas últimas décadas.

A produção de soja (Tabela 4) evoluiu de 753 toneladas em 1980 para 1.366.452 toneladas em 2023. O maior aumento de produção ocorreu nas áreas dos municípios impactados pela hidrelétrica de Lajeado, onde a produção cresceu de 76 toneladas em 1980 para 428.273 toneladas em 2023, resultando em uma variação de 563.417,1%. Cana Brava/Serra da Mesa apresentou um aumento igualmente expressivo, com um

crescimento de 61.088%, saltando de 677 toneladas em 1980 para 414.243 toneladas em 2023. Nos demais complexos, como Tucuruí, Estreito e Peixe Angical/São Salvador, a produção em 1980 era inexistente, mas registraram aumentos expressivos ao longo do período analisado, indicando que a soja se tornou uma cultura predominante nessas áreas

Tabela 4 – Produção e área colhida de soja nos municípios atingidos por hidrelétricas na bacia Tocantins Araguaia de 1980 a 2023.

Hidrelétricas	Soja					
	Produção (t)			Área colhida (ha)		
	1980	2023	2023/1980 (%)	1980	2023	2023/1980 (%)
Tucuruí	-	13.200	-	-	4.000	-
Estreito	-	304.810	-	-	103.941	-
Lajeado	76	428.273	563417,1	63	129.463	205396,8
Peixe Angical/São Salvador	-	205.926	-	-	58.931	-
Cana Brava/Serra da Mesa	677	414.243	61088,0	400	115.917	28879,3
Total	753	1.366.452		463	412.252	

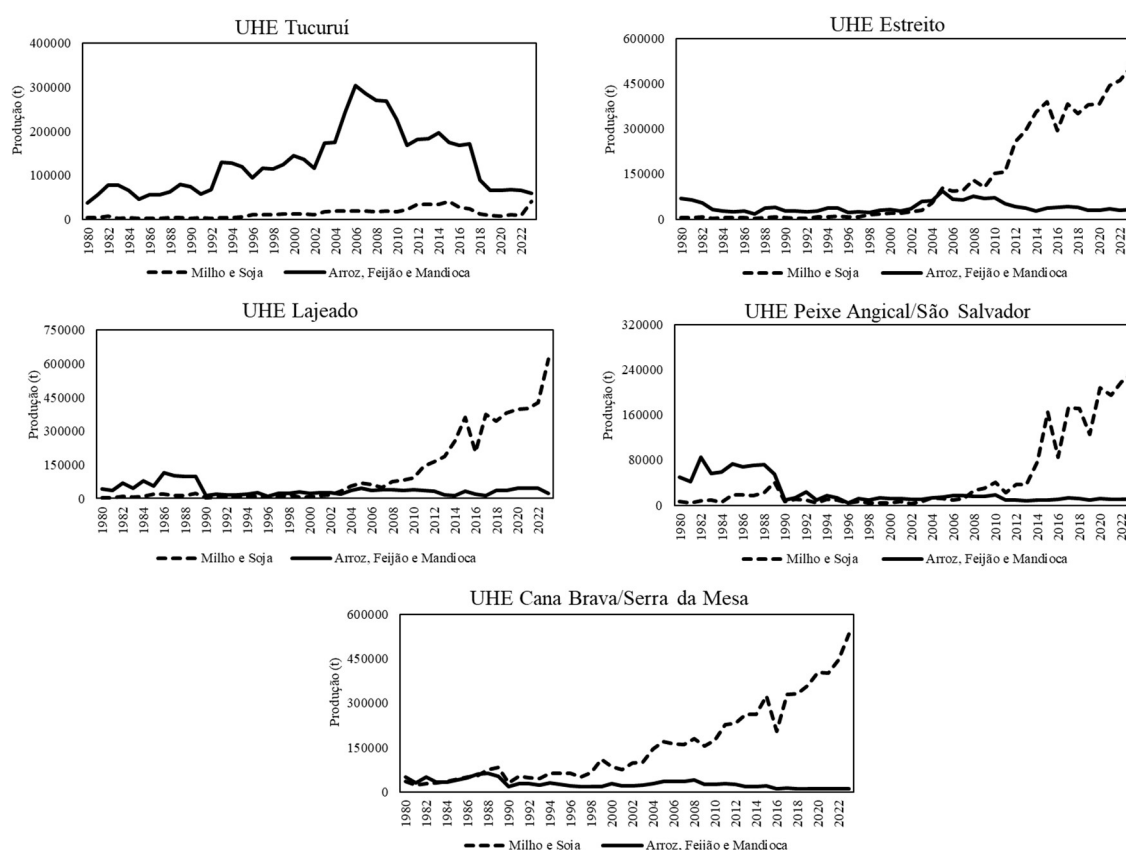
Fonte: IBGE (2025).

A área colhida de soja também cresceu, de 463 hectares em 1980 para 412.252 hectares em 2023. Lajeado destacou-se novamente, com uma expansão de 205.396,8%, 63 hectares em 1980 para 129.463 hectares em 2023, enquanto Cana Brava/Serra da Mesa apresentou um crescimento de 28.879,3%, com a área colhida aumentando de 400 hectares para 115.917 hectares. Nos municípios de Estreito e Peixe Angical/São Salvador, que não tinham áreas dedicadas à soja em 1980, a expansão alcançou 103.941 hectares e 58.931 hectares, respectivamente, demonstrando a incorporação de novas terras para atender à demanda crescente por essa cultura.

A área colhida de soja também apresentou um crescimento expressivo, passando de 463 hectares em 1980 para 412.252 hectares em 2023, representando um aumento total acumulado de 234.276,1%. Lajeado destacou-se, com uma expansão de 205.396,8%, evoluindo de 63 hectares em 1980 para 129.463 hectares em 2023. Cana Brava/Serra da Mesa também registrou crescimento com a área colhida aumentando de 400 hectares para 115.917 hectares. Nos municípios de Estreito e Peixe Angical/São Salvador, que não possuíam áreas dedicadas à soja em 1980, a expansão alcançou 103.941 hectares e 58.931 hectares, respectivamente, evidenciando a incorporação de novas terras agrícolas para atender à crescente demanda por essa cultura.

A Figura 2 apresenta a variação da produção de alimentos básicos (arroz, feijão e mandioca) e commodities agrícolas (milho e soja) nos municípios atingidos por hidrelétricas na bacia Tocantins-Araguaia no período de 1980 a 2023. Observa-se uma tendência de redução na produção de alimentos básicos, contrastando com o aumento na produção de milho e soja.

Figura 2. Variação da produção de alimentos básicos (arroz, feijão e mandioca) e commodities agrícolas (milho e soja) nos municípios impactados por hidrelétricas na bacia Tocantins-Araguaia (1980-2023)



A produção de arroz, feijão e mandioca apresentou uma diminuição influenciada pela redução das áreas destinadas ao cultivo dessas culturas e pela priorização de práticas agrícolas voltadas para commodities de maior valor de mercado. Esse declínio é preocupante, pois esses alimentos desempenham um papel fundamental na segurança alimentar local e regional.

Em contrapartida, a produção de milho e soja cresceu de forma exponencial, impulsionada pela demanda global por grãos, principalmente para exportação e fabricação de rações. A soja, em especial, tornou-se a principal cultura exportada da

região, beneficiada por sistemas de cultivo intensivo e pelo aumento da competitividade do agronegócio.

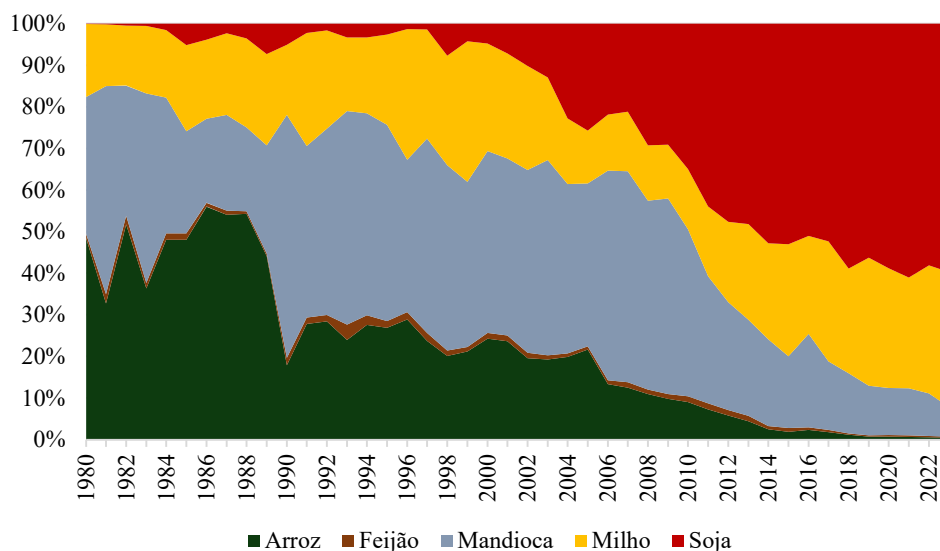
A atividade pecuária expandiu entre o período analisado (Tabela 5), com o rebanho total de bovinos aumentando de 1.301.695 em 1980 para 5.955.055 em 2023. Esse crescimento reflete a expansão da pecuária na região, caracterizada pelo desmatamento de áreas de vegetação nativa para a formação de pastagens.

Hidrelétricas	Pecuária Quantidade de Bovinos		
	1980	2023	(%)
Tucuruí	90614	2918026	3120,28
Estreito	267014	932949	249,9
Lajeado	263121	454859	72,9
Peixe Angical/São Salvador	267524	675716	152,6
Cana Brava/Serra da Mesa	413422	973501	135,5
Total	1301695	59550551	

Verificou-se um maior crescimento nas áreas atingidas pela hidrelétrica de Tucuruí, aumentado de 90.614 animais em 1980 para 2.918.026 em 2023, o que representa um crescimento de 3.120,28%. O crescimento do rebanho na área indica uma pressão crescente sobre os ecossistemas locais e o uso intensivo da terra, sendo a área segundo Santos (2021), uma das áreas mais desmatadas do Brasil.

A Figura 3 apresenta a proporção total da produção de alimentos básicos (arroz, feijão e mandioca) e commodities agrícolas (milho e soja) nos municípios impactados por hidrelétricas na bacia Tocantins-Araguaia ao longo do período de 1980 a 2023. Os dados evidenciam uma mudança na estrutura produtiva da região, caracterizado pelo deslocamento da produção de alimentos voltados ao consumo local para a produção de commodities.

Figura 3. Proporção total da produção de alimentos básicos (arroz, feijão e mandioca) e commodities agrícolas (milho e soja) nos municípios impactados por hidrelétricas na bacia Tocantins-Araguaia (1980-2023)



No início da série histórica analisada, verificava-se uma maior diversidade na produção agrícola, com a predominância de culturas essenciais para a segurança alimentar, como arroz, feijão e mandioca. Essas culturas eram amplamente cultivadas por agricultores familiares e desempenhavam um papel importante na alimentação das comunidades locais. Entretanto, ao longo das décadas, a diversidade produtiva foi gradualmente reduzida, sendo substituída principalmente pelo cultivo de soja e milho.

A redução na produção de alimentos básicos, como arroz e feijão, tem gerado preocupação, dada a relevância dessas culturas para a segurança alimentar da população. Dados do relatório "Projeções do Agronegócio, Brasil 2022/23 a 2032/33" do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), indicam uma tendência de diminuição nas áreas plantadas de arroz e feijão, concomitante ao aumento significativo das áreas destinadas à soja e ao milho. Especificamente, projeta-se uma redução de 980 milhões de hectares para o arroz e de 993 milhões de hectares para o feijão na próxima década. Em contrapartida, a área de soja deve aumentar em 123,2%, enquanto a de milho, em 62,5% (MAPA, 2023).

As áreas destinadas ao cultivo de soja têm substituído terras anteriormente ocupadas por culturas de alimentos básicos. Esse processo tem resultado em uma estabilização ou até mesmo em uma redução na produção de alimentos consumidos pela população brasileira, indicando um deslocamento das áreas de cultivo para atender à

demanda por commodities destinadas predominantemente à exportação (Barrozo; Rosa, 2018).

Além dos fatores econômicos que impulsionam a substituição de produtos agrícolas alimentares, a instalação de usinas hidrelétricas em bacias hidrográficas, como as das regiões Tocantins-Araguaia e Amazônica, tem gerado impactos na produção de alimentos básicos. A instalação da hidrelétrica de Tucuruí, por exemplo, resultou no alagamento de aproximadamente 2.875 km² de terras, muitas delas utilizadas para o cultivo de mandioca e arroz por comunidades ribeirinhas e indígenas (Fearnside, 2016).

A inundação de áreas agrícolas e a realocação de comunidades na região impactada pela UHE Estreito resultaram em uma redução na produção de culturas como arroz, melancia, abóbora, feijão, fava e milho em pequena escala. Parte dessa produção era destinada à alimentação e venda, enquanto outra parcela era utilizada na alimentação do gado, desempenhando um papel fundamental na segurança alimentar e econômica das famílias.

Relatos das comunidades impactadas destacam que, antes da implantação do empreendimento, as colheitas eram abundantes e os alimentos estavam disponíveis em quantidade suficiente para atender às necessidades locais, no entanto, a realocação dos agricultores para áreas menos produtivas comprometeu as práticas agrícolas tradicionais, resultando em menor produtividade e, conseqüentemente, em desafios para a subsistência das famílias afetadas (Carvalho; Sieben, 2019).

No caso da UHE Lajeado, agricultores relataram que, antes da implantação do empreendimento, os alimentos eram cultivados em suas propriedades com solos férteis, que garantiam colheitas abundantes e sustentavam suas necessidades alimentares e econômicas (Carolina; Catolico, 2019; Venâncio; Chelotti, 2021). Entretanto, após a implementação do projeto e a realocação para outras áreas, os solos das novas localidades apresentaram características inadequadas para a prática agrícola, resultando em uma significativa redução na produção de alimentos e na perda de renda, obrigando as famílias a buscar outras formas de emprego para garantir seu sustento.

De forma geral, observa-se o impacto negativo das usinas hidrelétricas na produção de alimentos, principalmente devido à perda de terras férteis e à redução na produção de alimentos básicos, como arroz, feijão e mandioca, comprometem diretamente a segurança alimentar das populações afetadas e o suprimento dos municípios impactados (Barros; Brabo; Ferreira, 2020; Ferreira *et al.*, 2024; Lopes; Brito, 2021; Silva; Lucas, 2019).

As mudanças decorrentes da implantação de usinas hidrelétricas e outras obras de desenvolvimento, combinadas com a escassez de incentivos à agricultura familiar e a expansão do agronegócio, têm contribuído para a redução da produção de alimentos básicos destinados ao consumo e à comercialização regional. Esse cenário força agricultores e populações locais a buscarem novas formas de acesso a alimentos, frequentemente a custos mais elevados, ampliando desigualdades sociais e agravando a insegurança alimentar.

Constata-se que o modelo agroalimentar predominante no país é amplamente direcionado para a produção de grãos, como soja e milho, majoritariamente voltados à exportação ou à produção de rações para a pecuária industrial. Esses produtos, com baixo valor nutricional para o consumo humano direto, não atendem plenamente às necessidades alimentares da população nacional e contribuem para a emissão de gases de efeito estufa, devido às práticas intensivas de monocultura e ao desmatamento associado à expansão dessas culturas.

Por outro lado, a agricultura familiar desempenha um papel importante na oferta de alimentos frescos, diversificados e nutritivos, essenciais para a segurança alimentar e nutricional. Essa modalidade agrícola, que apresenta menor impacto ambiental, é fundamental para promover a sustentabilidade dos sistemas alimentares. No entanto, enfrenta desafios estruturais, como a falta de políticas públicas adequadas e de investimentos que garantam sua expansão e competitividade no mercado. Além disso, a agricultura familiar é frequentemente a mais afetada por obras de desenvolvimento, o que agrava sua vulnerabilidade e compromete seu papel na segurança alimentar e na preservação ambiental.

CONCLUSÕES

Os resultados do estudo indicam modificações na dinâmica agrícola da bacia Tocantins-Araguaia, impulsionada pela expansão da fronteira agrícola, priorização de commodities voltadas à exportação e pela instalação de usinas hidrelétricas. A substituição de cultivos tradicionais de subsistência, como arroz, feijão e mandioca, por grandes monoculturas de milho e soja geram impactos socioeconômicos e ambientais e o comprometimento da segurança alimentar das comunidades e agricultores locais.

Entre 1980 e 2023, a produção total de alimentos básicos (arroz, feijão e mandioca) sofreu uma queda acumulada de 199,7%, acompanhada de uma redução de 396,1% na área colhida. Em contrapartida, a produção de milho aumentou em 9.650,1%,

enquanto a soja registrou um crescimento de 181.371,4%, com sua área colhida expandindo em 234.276,1%. Esses dados refletem a consolidação de um modelo agrícola orientado para a exportação de commodities em detrimento da segurança alimentar regional.

Apesar de não ser o fator determinante, a instalação de usinas hidrelétricas na bacia Tocantins-Araguaia contribui para esse processo, promovendo mudanças no uso da terra e induzindo a reorganização econômica das áreas impactadas. O alagamento de extensas áreas produtivas, a perda de solos férteis, o deslocamento de comunidades agrícolas e as mudanças no modo de vida dos agricultores desencadeado pela instalação de hidrelétricas, reduzem a produção de cultivos tradicionais que abastecem feiras, comércios e mercados locais. Como consequência, há um declínio na produção de alimentos destinados ao consumo local, aumentando a dependência das populações de alimentos provenientes de outras regiões e a vulnerabilidade socioeconômica dessas áreas.

É importante destacar que o objetivo deste estudo não é estabelecer uma relação causal direta entre a instalação de hidrelétricas e a redução da produção de alimentos na bacia Tocantins-Araguaia, mas sim compreender esse fenômeno como um dos múltiplos fatores que contribuem para a transformação do setor agrícola na região. Fatores externos, como a valorização das commodities agrícolas no mercado internacional, o modelo de desenvolvimento agroindustrial predominante no país, a falta de incentivos à agricultura familiar e a limitação de áreas destinadas a pequenos produtores, desempenham um papel determinante na redução da produção de alimentos básicos.

Assim, a instalação de hidrelétricas deve ser analisada dentro de um contexto mais amplo, no qual seus impactos na produção de alimentos afetam, sobretudo, comunidades tradicionais, indígenas, agricultores e pescadores. Esses grupos não apenas enfrentam as consequências diretas das barragens, mas também são afetados pelos modelos agrícolas predominantes no país, que privilegiam a produção em larga escala de commodities. Esse cenário agrava ainda mais as dificuldades socioeconômicas dessas comunidades, ampliando sua vulnerabilidade e comprometendo sua segurança alimentar e territorial.

REFERENCIAS

- ALMEIDA, S. C. R. O legado da concentração de terra no brasil e seus efeitos sobre a soberania alimentar: o caso da produção de sementes crioulas do MPA. **REVISTA NERA**, n. 55, p. 63–90, 2020.
- ARAÚJO, F. A. da S. *et al.* Indicadores de sustentabilidade para sistemas agroflorestais: levantamento de metodologias e indicadores utilizados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, n. spe, 2022.
- ARAÚJO, M. L. S. *et al.* The Relationship between Climate, Agriculture and Land Cover in Matopiba, Brazil (1985–2020). **Sustainability**, v. 16, n. 7, p. 2670, 2024.
- ARBEX VALADARES, A. Agricultura familiar (af) no brasil: um panorama da produção, do perfil e dos sinais de mudanças entre os censos agropecuários de 2006 e 2017. **Livros**, n. Agricultura e diversidades, p. 149–178, 2022.
- BARROS, K. D. N.; BRABO, M. F.; FERREIRA, A. C. Impactos de usinas hidrelétricas sobre os recursos pesqueiros amazônicos: os casos de Tucuruí e Belo Monte. **Gaia Scientia**, v. 14, n. 4, 2020.
- BARROZO, J. C.; ROSA, J. C. da. A expansão do cultivo da soja no brasil através dos dados oficiais. **Pampa (Santa Fe)**, v. 18, 2018.
- BAZOTTI, A.; COELHO, L. B. Produção de Commodities pela Agricultura Familiar: insegurança alimentar e novos desafios ao PRONAF. **Revista Paranaense De Desenvolvimento - RPD**, v. 38, n. 133, p. 113–129, 2018.
- BEZERRA, M. S. *et al.* Insegurança alimentar e nutricional no Brasil e sua correlação com indicadores de vulnerabilidade. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, n. 10, p. 3833–3846, 2020.
- BONFIM, G. A segurança está à mesa: segurança e soberania alimentar no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 40, n. 9, 2024.
- BORBA, C. B. S. de *et al.* Análise epidemiológica das intoxicações por agrotóxicos de uso agrícola no estado do Tocantins entre os anos de 2018 e 2022. **Revista Caribeña de Ciencias Sociales**, v. 13, n. 12, p. e4372, 2024.
- BRADÃO, A. L.; PERES, F.; MORAES, VERENA PEREIRA; CASEMIRO, J. D. Soberania e Segurança Alimentar na América Latina: um olhar sobre os marcos legais e conceituais. **Polis (Santiago)**, p. 92–105, 2022.
- CAROLINA, A.; CATOLICO, C. Efeitos sociais da implementação da usina hidrelétrica de lajeado estudos de casos nos reassentamentos do córrego do prata e pinheirópolis rural. **Enanpur**, 2019.
- CARVALHO, G. A. P.; SIEBEN, A. Da ilha de São José ao reassentamento coletivo Baixão em Babaçulândia (TO): efeitos da Usina Hidrelétrica de Estreito na Amazônia. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 28, n. 1, p. 175–191, 2019.

CATOLICO, A. C. C.; STRAUCH, J. Bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia: índice sintético de diferenças socioespaciais. **Revista Contemporânea**, v. 4, n. 9, p. e5675, 2024.

CORRÊA, M. L. M. *et al.* Alimento ou mercadoria? Indicadores de autossuficiência alimentar em territórios do agronegócio, Mato Grosso, Brasil. **Saúde em Debate**, v. 43, n. 123, p. 1070–1083, 2019.

FEARNSIDE, P. M. Environmental and Social Impacts of Hydroelectric Dams in Brazilian Amazonia: Implications for the Aluminum Industry. **World Development**, v. 77, p. 48–65, 2016.

FERREIRA, H. S. *et al.* Impactos socioambientais da construção de hidrelétricas: Uma revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 9, p. e9813945992, 2024.

FORTINI, R. M.; BRAGA, M. J.; FREITAS, C. O. Impacto das práticas agrícolas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, n. 2, 2020.

LATRUBESSE, E. M. *et al.* Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. **Conservation Science and Practice**, v. 1, n. 9, 2019.

LOPES, M. de S.; BRITO, D. M. C. Socioenvironmental impacts of dam in the Jari Valley, Amapá, Brazil: community perceptions. **Ambiente & Sociedade**, v. 24, 2021.

MACIEL, M. D. A.; TROIAN, A.; OLIVEIRA, S. V. de O. Brasil do agro , país da fome : pensando estratégias para o desenvolvimento sustentável. **Espacio Abierto**, v. 31, n. 3, p. 23–41, 2022.

MAPA. **Projeções do Agronegócio - Brasil 2022/23 a 2032/33**. Brasília: [s. n.], 2023.

MARCHI, L. F. P. de; SANTOS, M.; VIEIRA, E. T. A agropecuária e os fatores mediadores para o desenvolvimento sustentável: um estudo sobre a agricultura familiar no município de Dianópolis/TO. **Informe GEPEC**, v. 28, n. 1, p. 471–491, 2024.

MORUZZI MARQUES, P. E.; GEBRIM DÓRIA, N. A integração da noção de soberania na concepção predominante de segurança alimentar e nutricional no Brasil. **Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, v. 41, n. 2, p. 246–261, 2021.

PELICICE, F. M. *et al.* Large-scale Degradation of the Tocantins-Araguaia River Basin. **Environmental Management**, v. 68, n. 4, p. 445–452, 2021.

POLIZEL, S. P. *et al.* Analysing the dynamics of land use in the context of current conservation policies and land tenure in the Cerrado – MATOPIBA region (Brazil). **Land Use Policy**, v. 109, p. 105713, 2021.

SANTOS, L. F. *et al.* Padrões espaciais da produção agropecuária no Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MATOPIBA). **Revista do desenvolvimento regional**, v. 21, n. 3, p. 226–251, 2024.

SAUER, S. Questão eco-agrária: extrativismo agrário, mudanças climáticas e

desmatamento no Brasil / Eco-Agrarian Question: agrarian extractivism, climate change and deforestation in Brazil / Cuestión eco-agraria: extractivismo agrario, cambio climático y deforestac. **REVISTA NERA**, v. 27, n. 2, 2024.

SCHUSTER, W. F.; FILHO, L. A. F.; HAHN, K. G. Sustentabilidade de unidades da agricultura familiar: comparativo de três unidades produtoras rurais, situadas nos municípios de planalto e realeza da região do Sudoeste Paranaense. **Revista Acadêmica Online**, v. 10, n. 54, 2024.

SILVA, G. C. e; LUCAS, F. C. A. Riverine communities and Belo Monte power plant: deterritorialization and influence on the cultivation of edible plants. **Ambiente & Sociedade**, v. 22, 2019.

SOUSA, E. S. de; MARQUES, E. E. Land Use Changes and Agricultural Developments in the Tocantins-Araguaia Basin: 1985 to 2022. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. e06034, 2024.

VENÂNCIO, M.; CHELOTTI, M. C. A construção da barragem de Lajeado no rio Tocantins e o Programa de Compensação Ambiental Xerente. **Revista Campo-Território**, v. 16, n. 40 Abr., p. 409–438, 2021.

CONCLUSÃO GERAL

A análise dos dados geoespaciais, estatísticos e qualitativos permitiu compreender as alterações no uso da terra e suas implicações para a dinâmica da produção agrícola na Bacia Tocantins-Araguaia. Os resultados indicam que essas alterações não ocorrem de forma isolada, mas são impulsionadas por processos relacionados à expansão do agronegócio, à implementação de grandes empreendimentos hidrelétricos e à ausência de mecanismos eficazes de ordenamento territorial.

Verificou-se, ao longo da série histórica de 1985 a 2022, uma expansão das áreas destinadas à agropecuária, em especial ao cultivo de commodities como soja e milho, com crescimento de mais de 1.600% da área agrícola. Esse processo ocorreu associado a redução da cobertura florestal, que perdeu aproximadamente 65% de sua extensão no mesmo período.

A utilização da Análise Comparativa Qualitativa por Conjuntos Difusos (fsQCA) permitiu identificar múltiplas combinações de condições causais suficientes para explicar a presença de impactos negativos da construção de hidrelétricas sobre a produção agrícola. Entre as principais configurações identificadas, destacaram-se as que associam a perda de terras agricultáveis, o reassentamento forçado de agricultores e a inexistência de medidas de mitigação eficazes para a reestruturação produtiva. Esses resultados indicam a complexidade dos impactos ambientais das barragens na produção agrícola, os quais não podem ser atribuídos a uma única variável, mas resultam da interação entre múltiplos fatores socioambientais e institucionais.

A formação dos reservatórios das usinas hidrelétricas resultou na inundação de terras férteis historicamente cultivadas por agricultores familiares, resultando em prejuízos diretos à produção de alimentos e ao equilíbrio socioeconômico das comunidades atingidas. A perda dessas áreas produtivas é irreversível e desestrutura tanto os sistemas produtivos quanto os laços sociais e simbólicos que os agricultores mantinham com seus territórios. Além disso, compromete a continuidade de práticas tradicionais e o uso sustentável dos recursos naturais, pilares da agricultura familiar.

A substituição de cultivos alimentares tradicionais por monoculturas de commodities agrícolas nos municípios diretamente impactados pelas hidrelétricas, compromete a diversidade de alimentos disponíveis para o consumo local, fragiliza os sistemas alimentares regionais e aumentam a dependência de cadeias produtivas externas. A homogeneização produtiva resultante da pressão do agronegócio e da ausência de

políticas de incentivo à produção diversificada contribui para a perda de conhecimentos tradicionais associados ao manejo agrícola e à conservação de variedades locais.

Conclui-se, portanto, que as transformações observadas na Bacia Tocantins-Araguaia, impulsionadas pela associação entre expansão agropecuária e implantação de empreendimentos hidrelétricos, produzem efeitos estruturais sobre a produção de alimentos, aprofundam as desigualdades no campo e ameaçam a continuidade dos modos de vida camponeses.

A tese reforça a necessidade urgente de revisão das políticas de ordenamento territorial, bem como a formulação de estratégias públicas que reconheçam a centralidade da agricultura familiar na sustentabilidade socioambiental da região. Somente por meio de abordagens integradas e sensíveis às especificidades locais será possível promover um modelo de desenvolvimento que concilie justiça social, conservação ambiental e segurança alimentar no contexto amazônico expandido.

REFERÊNCIAS

- ACIOLY, T. M. da S. *et al.* Levels of Potentially Toxic and Essential Elements in Water and Estimation of Human Health Risks in a River Located at the Interface of Brazilian Savanna and Amazon Biomes (Tocantins River). **Toxics**, v. 12, n. 7, p. 444, 2024.
- ALMEIDA, S. C. R. O legado da concentração de terra no brasil e seus efeitos sobre a soberania alimentar: o caso da produção de sementes crioulas do MPA. **REVISTA NERA**, n. 55, p. 63–90, 2020.
- ARAÚJO, F. A. da S. *et al.* Indicadores de sustentabilidade para sistemas agroflorestais: levantamento de metodologias e indicadores utilizados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, n. spe, 2022.
- ARAÚJO, M. L. S. *et al.* The Relationship between Climate, Agriculture and Land Cover in Matopiba, Brazil (1985–2020). **Sustainability**, v. 16, n. 7, p. 2670, 2024.
- ARBEX VALADARES, A. Agricultura familiar (af) no brasil: um panorama da produção, do perfil e dos sinais de mudanças entre os censos agropecuários de 2006 e 2017. **Livros**, n. Agricultura e diversidades, p. 149–178, 2022.
- BAZOTTI, A.; COELHO, L. B. Produção de Commodities pela Agricultura Familiar: insegurança alimentar e novos desafios ao PRONAF. **Revista Paranaense De Desenvolvimento - RPD**, v. 38, n. 133, p. 113–129, 2018.
- BEZERRA, M. S. *et al.* Insegurança alimentar e nutricional no Brasil e sua correlação com indicadores de vulnerabilidade. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, n. 10, p. 3833–3846, 2020.
- BEZERRA, G. J.; SCHLINDWEIN, M. M. Agricultura familiar como geração de renda e desenvolvimento local: uma análise para Dourados, MS, Brasil. **Interações (Campo Grande)**, 2017..
- BONFIM, G. A segurança está à mesa: segurança e soberania alimentar no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 40, n. 9, 2024.
- BORBA, C. B. S. de *et al.* Análise epidemiológica das intoxicações por agrotóxicos de uso agrícola no estado do Tocantins entre os anos de 2018 e 2022. **Revista Caribeña de Ciencias Sociales**, v. 13, n. 12, p. e4372, 2024.
- BRADÃO, A. L.; PERES, F.; MORAES, VERENA PEREIRA; CASEMIRO, J. D. Soberania e Segurança Alimentar na América Latina: um olhar sobre os marcos legais e conceituais. **Polis (Santiago)**, p. 92–105, 2022.
- CAROLINA, A.; CATOLICO, C. Efeitos sociais da implementação da usina hidrelétrica de lajeado estudos de casos nos reassentamentos do córrego do prata e pinheirópolis rural. **Enanpur**, 2019.
- CARVALHO, G. A. P.; SIEBEN, A. Da ilha de São José ao reassentamento coletivo Baixão em Babaçulândia (TO): efeitos da Usina Hidrelétrica de Estreito na Amazônia. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 28, n. 1, p. 175–191, 2019.
- CASTRO, V. B. *et al.* Os vazanteiros, a agricultura de vazante e as barragens da destruição no Médio Rio Tocantins: perspectivas etnoecológicas. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 65, 2018.
- CERQUEIRA, E. D. S. Os impactos sócio-econômicos da expansão da monocultura da soja no estado do Tocantins: uma análise dos municípios de Dianópolis e Formoso do

- Araguaia. **Geografia em Atos (Online)**, v. 3, n. 8, p. 58–80, 2018.
- CORRÊA, M. L. M. *et al.* Alimento ou mercadoria? Indicadores de autossuficiência alimentar em territórios do agronegócio, Mato Grosso, Brasil. **Saúde em Debate**, v. 43, n. 123, p. 1070–1083, 2019.
- DE OLIVEIRA SERRÃO, E. A. *et al.* Climate and land use change: future impacts on hydropower and revenue for the amazon. **Journal of Cleaner Production**, v. 385, p. 135700, 2023.
- DE OLIVEIRA SERRÃO, E. A. *et al.* Land use change scenarios and their effects on hydropower energy in the Amazon. **Science of The Total Environment**, v. 744, p. 140981, 2020.
- DORBER, M.; MAY, R.; VERONES, F. Modeling Net Land Occupation of Hydropower Reservoirs in Norway for Use in Life Cycle Assessment. **Environmental Science & Technology**, v. 52, n. 4, p. 2375–2384, 2018.
- ELIZABETH, R.; MARÍN, A. Os vazanteiros, a agricultura de vazante e as barragens da destruição no médio rio Tocantins: perspectivas etnoecológicas. **Estudos Sociedade e Agricultura**, 2015.
- FAUZIAH, A. N.; ARIFIN, A. Z.; SUSANTO, D. How to Manage Residual Impacts of Infrastructure Projects in Developing Countries. **Journal of Infrastructure Policy and Management**, v. 5, n. 1, p. 15–21, 2022.
- FORTINI, R. M.; BRAGA, M. J.; FREITAS, C. O. Impacto das práticas agrícolas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, n. 2, 2020.
- FUGLIE, K. O.; MORGAN, S.; JELLIFFE, J. **World agricultural production, resource use, and productivity, 1961–2020**, 2024.
- GOMES, E. P.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, F. C. L. Identification of homogeneous precipitation regions via Fuzzy c-means in the hydrographic region of Tocantins–Araguaia of Brazilian Amazonia. **Applied Water Science**, v. 9, n. 1, p. 6, 2019.
- GUERRERO, J. V. R. *et al.* Assessing Land Use and Land Cover Changes in the Direct Influence Zone of the Braço Norte Hydropower Complex, Brazilian Amazonia. **Forests**, v. 11, n. 9, p. 988, 2020.
- HALLORAN, J. M.; ARCHER, D. W. External economic drivers and US agricultural production systems. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 23, n. 04, p. 296–303, 2008..
- JOHNSON, E.; THOW, A. M.; NISBETT, N. Opportunities to strengthen trade policy for food and nutrition security: an analysis of two agricultural trade policy decisions. **Food Security**, v. 15, n. 4, p. 1109–1125, 2023.
- LATRUBESSE, E. M. *et al.* Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. **Conservation Science and Practice**, v. 1, n. 9, 2019.
- LUZ, A. da; FOCHEZATTO, A. O transbordamento do PIB do Agronegócio do Brasil: uma análise da importância setorial via Matrizes de Insumo-Produto. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, n. 1, 2023.
- MACIEL, M. D. A.; TROIAN, A.; OLIVEIRA, S. V. de O. Brasil do agro , país da fome : pensando estratégias para o desenvolvimento sustentável. **Espacio Abierto**, v. 31, n. 3, p. 23–41, 2022.
- MARCHI, L. F. P. de *et al.* A Study on The Problematic of Logistics in

- Agricultural Production in The State of Tocantins. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. e06151, 2024.
- MARCHI, L. F. P. de; SANTOS, M.; VIEIRA, E. T. A agropecuária e os fatores mediadores para o desenvolvimento sustentável: um estudo sobre a agricultura familiar no município de Dianópolis/TO. **Informe GEPEC**, v. 28, n. 1, p. 471–491, 2024..
- MARTINS, R.; DE SOUZA, J. A.; KLOH, L. A. Análise dos impactos de investimentos nos sistemas de transporte na logística do complexo soja brasileiro: os casos Ferronorte e Hidrovia do Araguaia-Tocantins. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 36, n. 3, p. 411–429, 2017.
- MONTOYA, A. D. V. *et al.* Conflitos pelo uso das águas no baixo rio tocantins: análise de tendências. **Boletim de Geografia**, v. 36, n. 2, p. 14, 2018.
- MORUZZI MARQUES, P. E.; GEBRIM DÓRIA, N. A integração da noção de soberania na concepção predominante de segurança alimentar e nutricional no Brasil. **Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, v. 41, n. 2, p. 246–261, 2021.
- MUSTIKA LUBBIS, M. The Global Food Crisis and its Impact on Nutritional Adequacy in Developing Countries. **Journal Nutrizione**, v. 1, n. 3, p. 1–10, 2024.
- OBESO, M. P. *et al.* Hydropower Plants and Ichthyofauna in the Tocantins–Araguaia River Basin: Challenges for Planning and Approaches to Ichthyofauna Conservation. **Sustainability**, v. 16, n. 6, p. 2303, 2024.
- PELICICE, F. M. *et al.* Large-scale Degradation of the Tocantins-Araguaia River Basin. **Environmental Management**, v. 68, n. 4, p. 445–452, 2021a.
- PELICICE, F. M. *et al.* Large-scale Degradation of the Tocantins-Araguaia River Basin. **Environmental Management**, v. 68, n. 4, p. 445–452, 2021b.
- PENEREIRO, J. C.; MARTINS, L. L. S.; BERETTA, V. Z. Identificação de variabilidades e tendências interanuais em medidas hidro-climáticas na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, 2016.
- POLIZEL, S. P. *et al.* Analysing the dynamics of land use in the context of current conservation policies and land tenure in the Cerrado – MATOPIBA region (Brazil). **Land Use Policy**, v. 109, p. 105713, 2021.
- SANTOS, L. F. *et al.* Padrões espaciais da produção agropecuária no Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MATOPIBA). **Revista do desenvolvimento regional**, v. 21, n. 3, p. 226–251, 2024.
- SARI, R.; MUSLIM, M. Strategies for Improving Local Food Security in Developing Countries. **Advances in Community Services Research**, v. 2, n. 2, p. 98–110, 2024. Disponível em: <https://advancesinresearch.id/index.php/ACSR/article/view/364>.
- SAUER, S. Questão eco-agrária: extrativismo agrário, mudanças climáticas e desmatamento no Brasil / Eco-Agrarian Question: agrarian extractivism, climate change and deforestation in Brazil / Cuestión eco-agraria: extractivismo agrario, cambio climático y deforestac. **REVISTA NERA**, v. 27, n. 2, 2024.
- SCHMITZ, M. H. *et al.* Unsustainable land use trajectories in the Tocantins/Araguaia basin: Insights from future scenario modeling. **Ambio**, 2025.
- SCHUSTER, W. F.; FILHO, L. A. F.; HAHN, K. G. Sustentabilidade de unidades da agricultura familiar: comparativo de três unidades produtoras rurais, situadas nos municípios de planalto e realeza da região do Sudoeste Paranaense. **Revista Acadêmica**

Online, v. 10, n. 54, 2024.

SHAMDASANI, Y. Rural road infrastructure & agricultural production: Evidence from India. **Journal of Development Economics**, v. 152, p. 102686, 2021.

SILVA BERNARDINO, T. E.; JOSÉ RIBEIRO, H. Análise multitemporal do uso e cobertura do solo, lâmina d'água e frequência de fogo da região hidrográfica do Tocantins-Araguaia. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 19, n. 1, p. 252–267, 2023.

SMELIK, N. L. Global structural factors of agricultural production. *In:* , 2022. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2022. p. 020023.

SOUSA, E. S. de; MARQUES, E. E. Land Use Changes and Agricultural Developments in the Tocantins-Araguaia Basin: 1985 to 2022. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. e06034, 2024.

SWANSON, A. C. *et al.* Changes in floodplain hydrology following serial damming of the Tocantins River in the eastern Amazon. **Science of the Total Environment**, v. 800, p. 149494, 2021.

VIANA, H. M. M.; SILVA, T. N. da. Abordagem FEW Nexus (nexo água-energia-alimento) para o desenvolvimento sustentável através dos ODS da ONU. **Revista de Administração da UFSM**, v. 16, n. 2, p. e2, 2023.

VIEIRA VALADÃO, L. *et al.* Temporal Dynamics of the Hydropower Water Reservoirs of the Tocantins–Araguaia Basin, Brazil, Based on Remote Sensing and Hydrometeorological Station Datasets. **Water**, v. 15, n. 9, p. 1684, 2023.

YOSHIDA, Y. *et al.* Impacts of Mainstream Hydropower Dams on Fisheries and Agriculture in Lower Mekong Basin. p. 1–21, 2020.