

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

JANAINA JACINTO DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DO CULTIVO DO
MILHO PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2024

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

JANAINA JACINTO DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DO CULTIVO DO
MILHO PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL**

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Ferreira de Lima

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

CHAPADÃO DO SUL – MS

2024



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



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Janaina Jacinto de Oliveira

ORIENTADOR: Dr. Sebastião Ferreira de Lima

TÍTULO: Avaliação de impactos ambientais do cultivo do milho para a produção de etanol.

AVALIADORES:

Prof. Dr. Sebastião Ferreira de Lima

Prof. Dra. Ana Paula Leite de Lima

Prof. Dra. Deborah Nava Soratto

Chapadão do Sul, 21 de junho de 2024.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Sebastiao Ferreira de Lima, Professor do Magisterio Superior**, em 24/06/2024, às 08:46, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula Leite de Lima, Professora do Magistério Superior**, em 24/06/2024, às 09:15, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Deborah Nava Soratto, Professora do Magistério Superior**, em 24/06/2024, às 09:25, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4912473** e o código CRC **F445F083**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por todas as bênçãos recebidas em minha vida e por todos os ensinamentos que o Mestrado me trouxe.

A minha família, especialmente, aos meus pais Cleofas e Aurenita (in memoriam).

Aos colegas de trabalho pelo apoio e incentivo. A minha querida amiga Rafaela Mochinski Gonçalves e Suzany Santos de Moura, pela generosidade, acolhimento e toda a ajuda prestada.

Meus sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. Sebastião Ferreira de Lima, pelo aceite em ser meu orientador, por todo auxílio que recebi desde a elaboração do pré-projeto de pesquisa. Agradeço de coração pela receptividade, inteligência, comprometimento, paciência e cordialidade que sempre teve comigo. Muito obrigada!

Agradeço à Profa. Dra. Ana Paula Leite de Lima e à Profa. Dra. Deborah Nava Soratto, pelo aceite em compor a banca examinadora e pelas valiosas contribuições oferecidas a este trabalho.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) por tudo que têm proporcionado à minha vida e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia por esta oportunidade. Enfim, agradeço a todos os servidores da UFMS que de alguma forma contribuíram para minha conclusão neste curso.

AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DO CULTIVO DO MILHO PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL

RESUMO: Aproximadamente 80,3% da matriz energética mundial provém de combustíveis fósseis não renováveis, toda esta demanda somada às preocupações com o aquecimento global e o alto custo do petróleo, incentivou a busca por fontes alternativas renováveis, como os biocombustíveis produzidos a partir de biomassa. No Brasil, a produção do etanol de milho cresceu nos últimos anos. A utilização do milho como matéria-prima reduz a ociosidade das destilarias no período de entressafra da cana-de-açúcar, aumenta a oferta nacional do biocombustível e gera coprodutos como óleo de milho e ração animal, por isso, a produção desta cultura requer uma avaliação de impacto ambiental. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar quali-quantitativamente o impacto ambiental do cultivo do milho para a produção de etanol. Para a identificação das interações possíveis entre os componentes do processo produtivo, foi utilizada uma matriz de significância de impacto ambiental. Essa matriz tem como finalidade qualificar e quantificar os impactos ambientais. Na matriz qualitativa as letras são atribuídas para valor, ordem, espaço, tempo, dinâmica e plasticidade. Para a matriz quantitativa foi atribuída nota de 0 a 5 para indicar o grau de impacto. Foram observados 16 impactos ambientais que atingem o meio físico, biótico e antrópico. O cultivo de milho para produção de etanol resulta em importantes impactos ambientais, com predominância dos impactos negativos, sendo os mais significativos: a deterioração da qualidade do ar, a redução da qualidade da água e incômodos e desconfortos. Os impactos positivos se devem a capacitação da força de trabalho e o aumento da renda do trabalhador.

Palavras-chave: Bioenergia, commodities agrícolas, questões ambientais, matriz de impacto

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF CORN CULTIVATION FOR ETHANOL PRODUCTION

ABSTRACT: Approximately 80.3% of the world's energy matrix comes from non-renewable fossil fuels. This demand, coupled with concerns about global warming and the high cost of oil, has encouraged the search for alternative renewable sources, such as biofuels produced from biomass. In Brazil, corn ethanol production has grown in recent years. The use of corn as a raw material reduces the idleness of distilleries during the sugarcane off-season, increases the national supply of biofuel and generates co-products such as corn oil and animal feed, which is why the production of this crop requires an environmental impact assessment. The aim of this study was to assess the environmental impact of growing corn for ethanol production qualitatively and quantitatively. In order to identify the possible interactions between the components of the production process, an environmental impact significance matrix was used. The purpose of this matrix is to qualify and quantify environmental impacts. The purpose of this matrix is to qualify and quantify environmental impacts. In the qualitative matrix, letters are assigned for value, order, space, time, dynamics and plasticity. The quantitative matrix was given a score from 0 to 5 to indicate the degree of impact. Sixteen environmental impacts were observed, affecting the physical, biotic and anthropic environments. Growing corn for ethanol production results in significant environmental impacts, with negative impacts being the most significant: deterioration in air quality, loss of water quality and inconvenience and discomfort. The positive impacts are due to the training of the workforce and the increase in workers' incomes.

Keywords: bioenergy, agricultural commodities, environmental issues, impact matrix

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz qualitativa de impactos ambientais no cultivo do milho para a produção de etanol.	12
Tabela 1 - Matriz qualitativa de impactos ambientais no cultivo do milho para a produção de etanol (Continuada).....	13
Tabela 2 - Matriz quantitativa de impactos ambientais no cultivo do milho para a produção de etanol.....	15
Tabela 2 - Matriz quantitativa de impactos ambientais no cultivo do milho para a produção de etanol (Continuada)	16

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
MATERIAL E MÉTODOS	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
CONCLUSÕES.....	20
REFERÊNCIAS	20

INTRODUÇÃO

Grande parte da energia consumida no mundo é proveniente de combustíveis fósseis não renováveis, como os derivados do petróleo, o gás natural e o carvão mineral (Feil; Correa, 2023), correspondendo a 80,3% da matriz. Os combustíveis fósseis somados à energia nuclear representam 85,3% da matriz energética global, sendo os outros 14,7% da matriz, provenientes de fontes renováveis, como a energia hidráulica, a biomassa, a solar, a eólica e a geotérmica (Silva; Castañeda-Ayarza, 2021; Brasil, 2023).

A alta demanda por combustíveis somada às preocupações com o aquecimento global, o abastecimento de energia e os elevados preços do petróleo, provocaram o interesse da comunidade internacional em buscar alternativas renováveis para diversificar a matriz energética, introduzindo ou ampliando a produção de biocombustíveis (Gerrior et al., 2022; Silva et al., 2020). Os biocombustíveis são um correspondente direto do petróleo com capacidade de mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) do setor de transportes, impulsionar a economia rural, fomentar a produção agrícola e gerar empregos. São produzidos a partir de biomassa, sendo o biodiesel e o etanol os principais biocombustíveis produzidos (Giehl et al., 2023).

No Brasil, apesar da cana-de-açúcar ser a principal matéria-prima para a produção de etanol, a utilização do milho como matéria-prima para a produção de biocombustível cresceu nos últimos anos (Donke, et al., 2017). O etanol produzido a partir do milho é uma alternativa para diminuir a ociosidade das destilarias na entressafra da cana-de-açúcar, reduzindo problemas de abastecimento e aumentando a produção nacional do biocombustível. Sua produção também gera coprodutos como: óleo de milho, *DDGS* (do inglês, *Dried Distillers Grain with Solubles* - Grãos Secos por Destilação com Solúveis) e *WDG* (*Wet Distillers Grains* - Grãos Úmidos de Destilaria), dotados de alto valor proteico, fibra e energia, considerados economicamente vantajosos no uso para alimentação animal (Silva et al., 2020; Talamini et al., 2022).

O etanol de milho é um complemento ao etanol da cana-de-açúcar, para atender ao aumento nacional pelo combustível. Isto é possível, visto que, ao longo de quase vinte anos, o Brasil passou de uma produção de 35 milhões de toneladas de milho em uma área plantada de 12,3 milhões de hectares, para 118,32 milhões de toneladas em 21,08 milhões de hectares, aumentando cerca de 71% a área de cultivo e quase 240 % na produção (Silva; Castañeda-Ayarza, 2021; Conab, 2023). Esses números evidenciam os investimentos e as tecnologias

envolvidas nessa cadeia produtiva, e, devido às preocupações socioeconômicas e ambientais que a produção de etanol de milho levanta, torna-se importante avaliar os impactos ambientais associados a esse setor.

No Brasil, a Lei nº 6.938/81 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) instituiu a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) como instrumento de prevenção de problemas ambientais. A AIA é regulamentada pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da resolução CONAMA nº 01/86, que estabelece as diretrizes gerais de utilização deste mecanismo (Bragagnolo et al., 2017). Trata-se de uma ferramenta que objetiva evitar ou mitigar os problemas ambientais em razão das atividades antrópicas (Sánchez, 2020), sendo útil na conservação dos recursos naturais, na proteção da biodiversidade e na manutenção da qualidade de vida da humana (Almeida et al., 2017).

Nesse sentido, a compreensão das peculiaridades do empreendimento e da área de influência, somada ao uso das metodologias adequadas, ajudam a identificar e avaliar os impactos ambientais decorrentes da implantação de uma atividade (Silva et al., 2022). A metodologia quali-quantitativa adotada, busca integrar a compreensão mais contextual e holística proporcionada pelos métodos qualitativos com a precisão e a objetividade dos métodos quantitativos. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar quali-quantitativamente o impacto ambiental do cultivo do milho para a produção de etanol.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo considerou como base a região dos Chapadões, constituída pelos municípios de Chapadão do Sul, Costa Rica e Paraíso das Águas localizados no estado de Mato Grosso do Sul e o município de Chapadão do Céu, localizado no estado de Goiás, onde o cultivo do milho é realizado principalmente em segunda safra, após a colheita da soja. Nesse sistema de cultivo em segunda safra, o nível tecnológico aplicado a cultura é reduzido, em função da menor disponibilidade de água, que acaba inviabilizando o maior potencial produtivo dos híbridos utilizados. O sistema de cultivo em segunda safra foi utilizado como base nesse trabalho para a elaboração das atividades impactantes e impactos ambientais.

De modo geral, a sequência utilizada no cultivo do milho se caracteriza pela dessecação da área após a colheita da soja, semeadura do milho junto com adubação de plantio, aplicação de herbicidas (em torno de duas vezes no ciclo da cultura), controle de pragas (principalmente cigarrinhas, lagartas e percevejos), controle de doenças fúngicas, adubação de cobertura com nitrogênio e potássio (no estágio fenológico entre V4 e V6) e, posteriormente, a colheita.

Para a identificação das interações possíveis entre os componentes do processo produtivo, foi utilizada a matriz de significância de impactos ambientais proposta por Sánchez (2020), a qual é composta de três listas, dispostas na forma de linhas e colunas. Em uma das listas são elencadas as principais atividades que compõem o empreendimento analisado, na outra são apresentados os principais aspectos do sistema ambiental e por fim uma lista com os impactos ambientais no meio físico, biótico e antrópico. Essa matriz tem como finalidade qualificar e quantificar os impactos ambientais do empreendimento. Uma vez selecionadas as atividades, bem como os componentes ambientais pertinentes, foram identificadas todas as interações possíveis marcando a célula correspondente. Os símbolos inseridos em cada célula correspondem a uma pontuação de magnitude e importância da interação em uma escala arbitrária de classificação de aspectos: ▲ aspecto significativo, ■ aspecto pouco significativo, □ aspecto não significativo. A classificação de impactos foi caracterizada qualitativamente por meio de seis critérios descritos no quadro 1.

Quadro 1- Critérios de avaliação qualitativa dos impactos ambientais.

Critério	Valor	Impacto
Valor	Positivo (P)	Quando uma ação causa melhoria na qualidade de um parâmetro
	Negativo (N)	Quando uma ação causa dano a um parâmetro de qualidade.
Ordem	Direto (D)	Quando uma ação resulta de uma simples relação de causa e efeito
	Indireto (I)	Quando resulta de uma reação secundária em relação à ação
Espaço	Local (L)	Quando uma ação ocorre em torno de seu próprio local e arredores
	Regional (R)	Quando um efeito se propaga através de uma área além de seu entorno
	Estratégico (E)	Quando uma ação afeta o coletivo, nacional ou internacional.
Tempo	Curto prazo (C)	Quando um efeito se manifesta em pouco tempo
	Médio prazo (M)	Quando um efeito se manifesta em um tempo médio
	Longo prazo (O)	Casos com efeitos claros em longo prazo
Dinâmica	Temporário (T)	Quando o efeito permanece por um tempo específico
	Cíclico (Y)	Quando o efeito é sentido em vários períodos.
	Permanente (A)	Quando a ação é executada os efeitos não param de se manifestar em um tempo longo e conhecido
Plástica	Reversível (V)	Quando a ação termina o ambiente retorna às suas condições originais
	Irreversível (S)	Quando a ação termina o ambiente não retorna às suas condições originais, pelo menos em um tempo longo e conhecido

Fonte: Adaptado de Kaercher et al. (2013).

A partir do resultado da análise qualitativa, os impactos ambientais identificados também foram avaliados de forma quantitativa. Foi utilizada uma classificação numérica para formar uma matriz de interação, a qual permite interpretar o grau de alteração nos fatores ambientais, segundo uma atividade impactante, conforme o que se segue: (0) nenhum impacto; (1) desprezível; (2) baixo grau; (3) médio grau; (4) alto grau; e (5) muito alto grau de impacto. Os impactos considerados positivos receberam o sinal (+), enquanto os impactos negativos, o sinal (-). O método da matriz de interação mostra a presença de influências ambientais quando é possível determinar a relação entre ações (linhas) e fatores ambientais (colunas).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados 16 impactos ambientais que atingem o sistema produtivo. As maiores quantidades de impactos foram observados no meio antrópico (7), seguidos pelo meio físico (6) e pelo biótico (3). Na avaliação qualitativa (Tabela 1), nota-se a predominância de impactos negativos nos meios físico e biótico e de impactos positivos no meio antrópico. Como é comum em todos os sistemas produtivos, algumas atividades causam impactos de maior magnitude, que são danosos ao ambiente e às pessoas e precisam, na maioria das vezes, de ações mitigadoras.

Das atividades para o cultivo da cultura do milho, aquelas consideradas mais significativas quanto a ocorrência de impactos foram a dessecação, seguida pela aplicação de insumos como: herbicidas, inseticidas e fungicidas. Dentre aquelas menos significativas têm-se a semeadura e a colheita (Tabela 1).

Na dessecação, por exemplo, pode ocorrer falhas e na aplicação de herbicidas e de inseticidas/fungicidas podem ocorrer deriva, levando à redução da qualidade da água e do ar no meio físico e incômodos e desconforto, impactos na saúde humana e diminuição da produção dos grãos, no meio antrópico, refletindo diretamente na arrecadação de tributos e na renda do trabalhador.

Tabela 1 - Matriz qualitativa de impactos ambientais no cultivo do milho para a produção de etanol.

Atividades								Aspectos Classificação de aspecto: ▲ Aspecto significativo ■ Aspecto pouco significativo □ Aspecto não significativo	Impactos ambientais														
Dessecação	Corretivos	Semeadura	Adubação plantio	Herbicidas	Cobertura	Inseticidas/fungicidas	Colheita		Meio físico					Meio biótico			Meio antrópico						
									Perda de solo	Perda da qualidade do solo	Redução da água superficial	Perda da qualidade da água	Deterioração da qualidade do ar	Emissão de CO ₂ atmosférico	Perda de habitat	Impacto visual	Alteração de ecossistemas	Incômodos e desconfortos	Risco de ferimentos ou morte	Impacto a saúde humana	Redução na produção de grãos	Capacitação da força de trabalho	Aumento na arrecadação de tributos
▲	■	■	■	■	■	■	■	Degradação do solo	ND RC TV	ND RC TV	ND RC TV	NIR CT V	ND LC TV	ND LC TV	NIL MT V	ND LC TV	NIL CT V	ND LC TV	NIR CT V	NIR CT V			
▲	■	■	■	▲	■	▲	■	Falha na aplicação de produtos				NIR CT R	ND LC TV	ND LC TV	NIL CT V		NIL MT V	ND LC TV	NIL CT V	ND RC TV			
■	■	■	■	■	■	■	■	Consumo de água de superfície		NIL CT R	ND LC TR	NIL CT V				NIR CT V				ND LC TV			
■	■	■	■	■	■	■	■	Consumo de água de subsuperfície		ND LC TV	NIR CY R	NIR CT V				ND LC T				NIL CY V			
■	▲	■	■	■	■	■	■	Emissão de material particulado				ND RC TV	ND LC TV	NIL CT V			NIL CT V	ND LC TV	ND LC TV	ND LC TV	NIL CT V		
■	■	■	■	▲	■	▲	■	Emissão de gases e fumaça				ND RC TV	ND LC TV	ND LC TV	NIL CT V		NIL CT V	ND LC TV	ND LC TV	ND LC TV	NIL CT V		NIL TR

Crítérios de avaliação: N- negativo; P- positivo; D- direto; I- indireto; L- local; R- regional; E- estratégico; C- curto; M- médio; O- longo; T- temporário; Y-cíclico; A- permanente; V- reversível; S- irreversível

Continuação...

Continuação...

▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	Resíduos no solo		ND		ND		NIL			NIL	NIL	NIL	ND	NIL			
										LC		LC		CT			CT	CT	CT	LC	CT			
										TV		TV		V			V	V	V	TV	V			
■	■	■	■	■	■	■	■	Ruídos									NIL	ND		ND				
																	CT	LC		LC				
																	R	TV		TV				
■	■	■	■	■	■	■	■	Vibrações									NIL	ND		ND				
																	CT	LC		LC				
																	R	TV		TV				
▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	Microrganismos no solo	ND	ND	ND	NIL	NIL	PD			PIL				PIL		PIL	PIL
									LC	LC	LC	CT	CT	LC			CT				CT		CT	CT
									TV	TR	TV	V	V	TV			V				V		V	V
▲	■	■	■	▲	■	■	■	Redução da vegetação nativa	ND	ND	ND	ND	NIL	ND	ND	ND	ND			NIL	NIL			
									LC	LC	LPT	LC	CT	LC	LC	LC	LC			CT	CT			
									TV	TV	V	TV	V	TV	TV	TV	TV			V	V			
■	■	■	■	■	■	■	▲	Uniformidade da vegetação de recobrimento	NIL	ND	NIL	NIL	NIL	NIL	NIL	ND	ND				PD			PDL
									CT	LC	CT	CT	CT	CT	CT	LC	LC				LC			CT
									V	TV	V	V	V	V	V	TV	TV				TV			V
■	■	■	■	■	■	■	▲	Geração de emprego												PIR	PIR	PD		PD
																				CT	MT	RM		RC
																				V	V	TV		TV
■	■	■	■	■	■	■	▲	Atração de pessoas															PD	PD
																							RM	RM
																							TV	TV
■	■	■	■	■	■	■	■	Capacitação profissional											PIR	PIR		PD	PIR	PD
																			MT	MT		RM	MT	RM
																			V	V		TV	V	TV
▲	■	▲	■	■	■	■	▲	Demanda de bens e serviços													NIR	PIL	PIR	PD
																					MT	CT	MT	RM
																					V	V	V	TV
■	■	■	■	■	■	■	▲	Geração de impostos														PIR	PIR	PD
																						MT	MT	RM
																						V	V	TV

Crerios de avaliaão: N- negativo; P- positivo; D- direto; I- indireto; L- local; R- regional; E- estratgico; C- curto; M- mdio; O- longo; T- temporrio; Y-ciclo; A- permanente; V- reversvel; S- irreversvel

A aplicação de herbicidas é necessária para atender a grande demanda por alimentos, no entanto, se aplicados erroneamente, podem atingir o ambiente provocando impactos no ecossistema (Américo et al., 2015). Dentre os efeitos negativos têm-se: maior trânsito de tratores e pulverizadores; a eliminação parcial da cobertura vegetal, o acúmulo e efeitos residuais de herbicidas, o carreamento do princípio ativo dos herbicidas e a possível contaminação da cadeia alimentar. Deste modo, recomenda-se a pulverização em momentos de alta umidade relativa e pouco vento, bicos apropriados e boa regulação do equipamento, controle manual e/ou mecânico, descarte adequado das embalagens, mão-de-obra qualificada e uso de equipamento de proteção individual (Cunha; Pasqualetto, 2022).

A análise quantitativa dos impactos demonstra que, a capacitação profissional e a demanda por bens e serviços foram os dois aspectos de melhor retorno para a população, em função, principalmente, dos impactos na capacitação da força de trabalho e no aumento da renda do trabalhador. Enquanto a degradação do solo, falha na aplicação de produtos, redução da vegetação nativa e emissão de material particulado foram os aspectos que mais contribuem para o aumento de impactos ambientais negativos (Tabela 2).

A redução da qualidade da água, deterioração da qualidade do ar, emissão de CO₂ atmosférico, incomodo e desconforto às pessoas e impacto a saúde humana foram os impactos negativos de maior magnitude. No total, os efeitos negativos foram aproximadamente três vezes maiores do que os positivos, indicando que o sistema é negativamente impactante, necessitando de acompanhamento para ações voltadas à mitigação dos possíveis impactos ambientais.

A colheita de milho para produção de biocombustível traz preocupações quanto à qualidade do solo. A erosão que esta atividade pode causar, contribui para a sedimentação e problemas na qualidade da água, por isso, a adoção de práticas agrícolas como o plantio direto se mostram interessantes, pois, podem reduzir processos erosivos e melhorar o desempenho de determinadas culturas (Hoekman et al., 2018). O manejo dos solos quando bem conduzido resulta em altas produtividades a baixos custos, ao mesmo tempo em que, manejado incorretamente, pode causar a degradação física, química e biológica dos solos (Pugliese; Lourencetti, 2017).

Na região do estudo, predomina o sistema de cultivo em sucessão sendo menos utilizado o sistema de plantio direto. O cultivo em sucessão não é o ideal dentro do preconizado para a conservação dos solos, no entanto, é o que mais atende aos produtores da região (Aratani, 2018), sendo melhor que o cultivo em sistema convencional.

Tabela 2- Matriz quantitativa de impactos ambientais no cultivo do milho para a produção de etanol.

Atividades								Aspectos Classificação de aspecto: ▲ Aspecto significativo ■ Aspecto pouco significativo □ Aspecto não significativo	Impactos ambientais																				
Dessecação	Corretivos	Semeadura	Adubação plantio	Herbicidas	Cobertura	Inseticidas/fungicidas	Colheita		Meio Físico						Meio Biótico			Meio Antrópico							Quantidade de impactos	TOTAL (+)	TOTAL (-)	RESULTADO	
									Perda de solo	Perda da qualidade do solo	Redução da água superficial	Perda da qualidade da água	Deterioração da qualidade do ar	Emissão de CO ₂ atmosférico	Perda de habitat	Impacto visual	Alteração de ecossistemas	Incômodos e desconfortos	Risco de ferimentos ou morte	Impacto a saúde humana	Redução na produção de grãos	Capacitação da força de trabalho	Aumento na arrecadação de tributos	Aumento da renda do trabalhador					
▲	■	■	■	■	■	■	■	Degradação do solo	-2	-2	0	-2	-1	-3	-2	-3	-1	-2	0	0	-3	0	-3	-3	12	0	-27	-27	
▲	□	■	■	▲	■	▲	■	Falha na aplicação de produtos	0	-2	0	-3	-3	0	0	0	-1	-3	-3	-3	-3	0	-3	-3	10	0	-27	-27	
□	■	■	■	■	■	■	■	Consumo de água de superfície	0	0	-1	-1	-1	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	+2	+2	7	+4	-5	-1
□	■	■	■	■	■	■	■	Consumo de água de subsuperfície	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+1	+1	3	+2	-1	+1
■	▲	■	■	■	■	■	■	Emissão de material particulado	-2	-1	0	-3	-3	-1	-1	0	-1	-4	-1	-3	0	0	0	0	0	10	0	-20	-20
■	■	■	■	▲	■	▲	■	Emissão de gases e fumaça	0	0	0	0	-3	-3	-1	-1	-1	-3	-2	-3	0	0	0	0	8	0	-17	-17	
■	▲	■	▲	■	▲	■	■	Resíduos no solo	0	0	0	0	0	+3	0	0	0	0	0	0	0	+2	0	0	2	+5	0	+5	
■	■	■	■	■	■	■	■	Ruídos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	-2	0	0	0	0	2	0	-4	-4	

(+) positivo (-) negativo (0) nenhum impacto (1) desprezível (2) baixo grau (3) médio grau (4) alto grau (5) muito alto grau

Continuação...

Os principais fatores de degradação do solo são: a compactação, a ausência da cobertura vegetal do solo, a ação das chuvas de alta intensidade, o uso de áreas inaptas para culturas anuais, o preparo do solo com excessivas gradagens superficiais e o uso de práticas conservacionistas isoladas (Seixas et al., 2020).

Outra preocupação com relação à qualidade do solo trata da redução da matéria orgânica devido ao aumento do cultivo de milho. Elevados níveis de carbono orgânico no solo beneficiam a produtividade da cultura, a biodiversidade do solo e a retenção de nutrientes e água (Hoekman et al., 2018). Para Van Meter et al. (2016), os estoques e fluxos de carbono orgânico do solo refletem o equilíbrio de longo prazo entre as entradas de material orgânico da vegetação e as perdas devido à decomposição, erosão e lixiviação. Portanto, perdas significativas de carbono orgânico podem ocorrer com baixos retornos de resíduos, enquanto aumentos ocorrerem com retornos elevados. Segundo os autores, as descobertas variam de acordo com vários fatores, especialmente o manejo de fertilizantes, cite-se como exemplo, níveis inadequados de nutrientes que tendem a resultar na diminuição da produtividade da cultura o que eleva ainda mais a perda de carbono orgânico do solo.

Todas as atividades de implantação da cultura do milho descritas na matriz, demandam gasto de energia, já que o maquinário utilizado para realizar o trabalho consome óleo diesel, em razão dos longos períodos de trabalho na lavoura (Scremin; Kemerich, 2010). O uso de óleo diesel contribui especialmente para as emissões de combustão de óxidos de nitrogênio (NO₂) e material particulado fino, com menores contribuições para monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (VOC's) e óxidos de enxofre (SO₂) (Hoekman et al., 2018).

As principais preocupações ambientais associadas ao etanol de milho são atribuídas à fase agrícola. A aplicação excessiva de nutrientes no solo acima da quantidade necessária para a cultura está relacionada a níveis elevados de nitrato nos reservatórios de abastecimento de água, a níveis elevados de nitrato e fósforo nos corpos hídricos levando a eutrofização, e, à emissão de gases de efeito estufa, especialmente N₂O, resultantes das operações agrícolas (Reetz, 2017).

O fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil e no mundo é a ureia. Principalmente, nas gramíneas, é aplicada em grandes quantidades durante a adubação de cobertura (Alves, 2020). Porém, devido à instabilidade desse nutriente, pode ocorrer de hidrolisar e se perder na atmosfera na forma de gás amônia e CO₂ quando aplicada no solo (IEA, 2015), podendo ainda ser perdida por erosão, lixiviação, volatilização e desnitrificação (Sangoi et al., 2015). Além disso, de acordo com o Instituto de Economia Agrícola (2015), reações envolvendo nitrogênio

liberam óxido nitroso (N₂O), um gás de efeito estufa com poder de aquecimento global 310 vezes maior que o do CO₂.

No meio físico, as emissões de material particulado geraram impactos significativos na redução da qualidade da água e deterioração da qualidade do ar, provocando incômodos e desconfortos e impactos na saúde dos funcionários que trabalham na lavoura (Scremin; Kemerich, 2010). Outras emissões também são constatadas, como ruídos e vibrações, que afetam, especialmente, os condutores de caminhões e máquinas agrícolas, pela exposição direta a estas circunstâncias.

No aspecto social, as fases de semeadura e colheita geram empregos e movimentam o comércio local, e, desta forma, promovem o desenvolvimento da região, contribuindo com a criação de novos postos de trabalho e aumento da arrecadação de impostos (Cunha; Pasqualetto, 2022). Além disso, estima-se que o ciclo de investimentos para a construção de uma nova planta, do início ao fim, gere em torno de 8,5 mil empregos diretos e indiretos e 4,5 mil empregos no início da operação da planta (Moreira; Arantes, 2018).

A existência de uma planta de etanol no município favorece o desenvolvimento da região e aumenta a atividade econômica. No mesmo sentido, um estudo realizado no ano de 2018, demonstrou que a operação de uma planta de etanol de milho com produção anual de 500 milhões de litros de etanol é capaz de gerar anualmente um valor de produção total de R\$ 2,5 bilhões e um PIB (Produto Interno Bruto) de R\$ 910 milhões. Em arrecadação de impostos, os valores chegam a R\$ 73 milhões (Moreira; Arantes, 2018).

Entretanto, os resultados do meio antrópico também apontam para alguns impactos negativos relacionados à saúde humana. A falta de espaço para o armazenamento do milho, obriga os produtores a atrasarem a colheita. Com isso, o milho que permanece no campo, por quaisquer questões operacionais, fica sujeito à contaminação dos grãos, pelo surgimento de fungos, que disseminam substâncias químicas tóxicas aos seres humanos podendo causar doenças (Guimarães, 2018).

Além das questões envolvendo a saúde pública, os fungos causam perdas diretas na produção e na produtividade do milho, reduzem o valor comercial ou impedem a exportação dos produtos afetados. Entretanto, com o aumento da produção de etanol, espera-se a redução nos níveis de estoque de milho, o que facilitará o armazenamento dos grãos, evitando assim os riscos inerentes aos atrasos na colheita (Guimarães, 2018).

Outra preocupação envolvendo a saúde humana está relacionada à lixiviação/percolação de nitratos de fertilizantes em áreas agrícolas. Os potenciais efeitos dos elevados níveis de nitrato, são diversos, incluindo câncer e efeitos reprodutivos, entretanto, a principal

preocupação é a metemoglobinemia ou síndrome do bebê azul, à qual os bebês são especialmente suscetíveis. Deste modo, para proteger a saúde pública, a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceram o nível máximo de contaminantes (MCL) de 10 mg L⁻¹ de nitrato-nitrogênio (NO₃-N) em água potável (Ward et al., 2005).

O uso de água é particularmente importante, principalmente, em regiões onde há escassez. A água doce é considerada um recurso renovável, embora finito, por isso, uma visão precisa da sustentabilidade dos biocombustíveis deve levar em consideração o consumo desse recurso e, os potenciais impactos ambientais que a produção de etanol pode causar (Shonnard et al., 2015).

Há que se considerar ainda a contaminação de recursos hídrico pelo mal uso de agrotóxicos. Em um estudo conduzido por Stehle e Schulz (2015) no qual foram revisados 838 trabalhos, que consideraram mais de 2.500 locais de águas superficiais, localizados em 73 países em todo o mundo, foi determinado que as concentrações médias de inseticidas excediam os limites regulatórios para águas superficiais ou sedimentos na maioria dos casos. O estudo mostrou que, mesmo em países com regulamentações ambientais rigorosas, os excessos foram mais elevados para os inseticidas de nova geração em comparação com os antigos inseticidas organofosforados e organoclorados.

A partir dos impactos ambientais encontrados no cultivo de milho segunda safra para produção de etanol, na região dos Chapadões, pode-se destacar algumas propostas de atividades mitigadoras capazes de aliviar os efeitos negativos do sistema produtivo:

- a) Cultivo de milho em integração com brachiárias – permite manter a área com mais massa verde durante o cultivo e na entressafra da cultura, melhorando aspectos de qualidade física, química e biológica do solo (Lobo et al., 2021), podendo minimizar impactos como perda de solo, perda da qualidade do solo, da água e do ar, redução da água superficial e emissões de CO₂.
- b) Aumento do uso de bioinsumos em detrimento aos químicos – diminui o uso de agroquímicos, resultando em importantes atenuações ao meio ambiente (Moraes, 2019) tornando o sistema mais favorável a inimigos naturais e reestruturação biológica do solo
- c) Uso parcial ou total de fertilizantes organominerais – melhora a parte orgânica do solo que é favorável a sua qualidade, com aumento da biota benéfica (Crusciol et al., 2020).

Estas propostas de mitigação contribuem para uma agricultura regenerativa que promove a recuperação da biologia do solo, tornando o sistema mais sustentável, com menos impactos negativos nos meios físicos, biológicos e socioambiental.

CONCLUSÕES

O cultivo de milho para produção de etanol resulta em importantes impactos ambientais, com predominância dos impactos negativos, sendo os mais significativos: a deterioração da qualidade do ar, a redução da qualidade da água e incômodos e desconfortos. Os impactos positivos se devem a capacitação da força de trabalho e o aumento da renda do trabalhador.

Apesar de, a curto e médio prazo, os impactos ambientais positivos refletirem de forma benéfica para a economia, o resultado negativo foi maior, indicando que o sistema é negativamente impactante, necessitando de ações voltadas à mitigação dos possíveis impactos ambientais que a longo prazo a atividade pode causar.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. S. et al. Avaliação de impactos ambientais: uma introdução ao tema com ênfase na atuação do Gestor Ambiental. **Diversidade e Gestão**, v.1, n.1 1, p. 70-87. 2017.

ALVES, D. K. M. **Desenvolvimento, produtividade e estado nutricional de milho fertirrigado com água residuária de piscicultura e suinocultura diluídas**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) -Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2020.

AMÉRICO, J. H. P. et al. O uso de agrotóxicos e os impactos nos ecossistemas aquáticos. *Revista Científica ANAP Brasil*, v. 8, n. 13, p. 101-115, 2015.

ARATANI, R. G. et al. Percepção e prática do sistema plantio direto por agricultores mato-grossenses. *Revista de Ciências Agroambientais*, v. 16, n. 1, p. 1-7, 2018.

BRAGAGNOLO, C. et al. Streamlining or sidestepping? Political pressure to revise environmental licensing and EIA in Brazil. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 65, p. 86-90, jul. 2017.

BRASIL. Empresa de pesquisa Energética, EPE. ABCD Energia: Matriz energética e elétrica, 2023.

CONAB. Boletim da Safra de Grãos. **Tabela de dados**: produção e balanço de oferta e demanda de grãos. 2023.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Organomineral fertilizer as source of P and K for sugarcane. *Scientific Reports*, v. 10, n. 5398, 2020.

CUNHA, G. N.; PASQUALETTO, A. Impactos socioeconômicos e ambientais, do plantio à colheita, da cana-de-açúcar na mesorregião Norte de Goiás. **Colóquio - Revista do Desenvolvimento Regional**, Taquara, v. 19, n. 4, p. 234-157, 2022.

DONKE, A. et al. Environmental and Energy Performance of Ethanol Production from the Integration of Sugarcane, Corn, and Grain Sorghum in a Multipurpose Plant. **Resources**, v.6, n.1, 2017.

FEIL, A. A.; CORREA, W. Avaliação dos impactos físicos, bióticos e antrópicos de usinas sucroenergéticas de Minas Gerais. **Revista RIOS**, Petrolina, v. 18, n. 36, 2023.

FREITAS, S. M. de. Nitrogênio: um dilema entre produzir e poluir? Análise e Indicadores do Agronegócio. **Instituto de Economia Agrícola**, v. 10, n. 11, 2015.

GERRIOR, D. et al. Life cycle assessment and techno-economic analysis of a novel closed loop corn ethanol biorefinery. **Sustainable Production and Consumption**, v. 30, mar. p. 359-376, 2022.

GIEHL, A. et al. Ethanol and electricity: Fueling or fooling the future of road passenger transport? **Energy Nexus**, v.12, dez. 2023.

GUIMARÃES, E. Atraso na colheita contamina milho. **Estado de Minas Agropecuário**, Belo Horizonte, 24 set. de 2018.

HOEKMAN, S. K.; BROCH, A. Environmental implications of higher ethanol production and use in the U.S.: A literature review. Part II – Biodiversity, land use change, GHG emissions, and sustainability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, jan. p. 3159-3177, 2018.

KAERCHER, J. A. et al. **Optimization of biodiesel production for self-consumption: considering its environmental impacts**. *Journal of Cleaner Production*, v. 46, p. 74-82, 2013.

LOBO, C. A. N. et al. Diferentes densidades da braquiária na produtividade do milho consorciado. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v.11, n. 1, p. 423–429, 2021.

MACHADO, J. R. F. Metodologias de pesquisa: um diálogo quantitativo, qualitativo e quali-quantitativo. **Devir Educação**, v.7, n.1, 2023.

MORAES, R.F. de. Agrotóxicos no Brasil: padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória. Brasília: Ipea, p. 76, 2019.

MOREIRA, M. M. R; ARANTES, S. M. Análise Socioeconômica e Ambiental da Produção de Etanol do Milho no Centro Oeste Brasileiro, **INPUT Brasil**, 2018.

PUGLIESE, L. et al. Impactos ambientais na produção do etanol brasileiro: uma breve discussão do campo à indústria. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 142-165, 2017. DOI: 10.25061/2527-2675/ReBraM/2017.v20i1.472.

REETZ, H. F. Fertilizantes e o uso eficiente. São Paulo: ANDA, p. 178, 2017.

SANCHEZ, L. H. **Avaliação de impactos ambiental**: conceito e métodos. 3. ed. São Paulo, oficina de textos, 2020.

SANGOI, L. et al.. Desempenho agrônômico do milho em razão do tratamento de sementes com *azospirillum* sp. e da aplicação de doses de nitrogênio mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1141–1150, jul. 2015.

SCREMIN, A. P.; KEMERICH, P. D. C. Impactos ambientais em propriedade rural de atividade mista. **Disc. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas**, v.11, n. 1, p. 126-148, 2010.

SEIXAS, C. D. S. et al. Tecnologias de produção de soja. **Sistema de Produção**, Embrapa Soja, Londrina, n.17, 2020.

SHONNARD, D. R. et al. A Review of Environmental Life Cycle Assessments of Liquid Transportation Biofuels in the Pan American Region. **Environmental Management**, v. 56, 1356–1376 (2015).

SILVA, A. L.; CASTAÑEDA-AYARZA, J. A. Macro-environment analysis of the corn ethanol fuel development in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 135, jan. 2021.

SILVA, E. B. R. da. et al. Principais metodologias de Avaliação de Impacto Ambiental no território brasileiro. **CIS - Conjecturas Inter Studies**, v. 22, n. 1, p. 2137–2146, 2022.

SILVA, H. J. T. et al. Aspectos técnicos e econômicos da produção de etanol de milho no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 142, 2020.

STEHLE, S; SCHULZ, R. Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. **PNAS**, University of Ottawa, Ottawa, Canada, v.112, n.18, 2015.

TALAMINI D. J. D. et al. Viabilidade do uso de DDGS e DDG de milho na alimentação de frangos e suínos em Santa Catarina. Concórdia, Santa Catarina: Embrapa, 2022.

VAN METER, K. J. et al. The nitrogen legacy: emerging evidence of nitrogen accumulation in anthropogenic landscapes. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 3, 2016.

WARD, M. H. et al. Workgroup report: drinking-water nitrate-N and health—recent findings and research needs. **Environ Health Perspect**, v. 113, p. 1607-1614, 2005.