

OS IMPACTOS AMBIENTAIS DO SETOR SUCROENERGÉTICO E O USO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

Mateus Resende Oliveira¹
Antônio Pasqualetto²
Jeferson de Castro Vieira³
Sérgio Duarte de Castro⁴

RESUMO

A partir da década de 1980, o setor canavieiro tem passado por forte expansão, tendo sido símbolo do progresso e o desenvolvimento do país, ou seja, possui papel de fundamental importância na economia brasileira. Entretanto, o seu desenvolvimento está seguido por crescentes preocupações em relação aos impactos ambientais acarretados pela cultura da cana-de-açúcar nos recursos naturais ocasionados pelo seu modelo no sistema de produção. A sustentabilidade no setor agrícola pode ser entendida como a capacidade dos sistemas agrícolas de manter sua produção a longo prazo sem extinguir os recursos uso futuro, portanto, o custo ambiental gerado pelo setor não é calculado em sua produção que em longo prazo pode-se ocorrer perdas ambientais irreparáveis. Neste sentido, objetivou-se avaliar os impactos decorrentes da atividade. Metodologicamente, foi utilizado revisão bibliográfica em artigos científicos, teses, dissertações, manuais e documentos governamentais que abordam o assunto. Os resultados demonstram que o setor sucroenergético produz impacto tanto no setor econômico, quanto nos setores social e ambiental. Por isso, é de suma importância repensar no modelo de desenvolvimento tecnológico utilizado no agronegócio nacional. Dessa forma, faz-se necessário investimento por parte dos setores público e privado em tecnologias e pesquisas acadêmicas, pois o aproveitamento de subprodutos é muito promissor para o desenvolvimento sustentável, permitindo a destinação correta dos resíduos gerados.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Desenvolvimento Sustentável; Saccharum officinarum.

ABSTRACT

Since the 1980s, the sugarcane sector has undergone strong expansion, having been a symbol of the country's progress and development, that is, it has a fundamental role in the Brazilian economy. However, its development is followed by growing concerns about the environmental impacts caused by the sugarcane culture on natural resources caused by its model in the production system. Sustainability in the agricultural sector can be understood as the ability of agricultural systems to maintain their production in the long term without extinguishing the resources for future use, therefore, the environmental cost generated by the sector is not calculated in its production, which in the long term may occur. irreparable environmental losses. In this sense, the objective was to evaluate the impacts resulting from the activity. Methodologically, a literature review was used in scientific articles, theses, dissertations, manuals and government documents that address the subject. The results demonstrate that the sugar-energy sector has impact both on the economic sector and on the social and environmental sectors. That is why, it is extremely important to rethink the model of technological development used in national agribusiness. In this way, it is necessary investment by the public and private sectors in technologies and academic research, since the use of by-products is very promising for sustainable development, allowing the correct destination of the generated residues.

¹ Bolsista do Programa de Iniciação Científica da Coordenação de Pesquisa, COPES/PIBIC - UFSE-mail: mateusoliveira.arquitetura@gmail.com

² Pós-doutorado em Environmental Engineering na Università di Pisa – Itália. Doutor em Fitotecnia (Produção Vegetal) Universidade Federal de Viçosa (Brasil). Professor do Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas - PUC Goiás. E-mail: profpasqualetto@gmail.com

³ Doutor em Estudos Comparados Sobre As Américas – Universidade de Brasília, DF (Brasil). Professor titular da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. E-mail: jcastrovieira@gmail.com

⁴ Pós-Doutorado pela Università Degli Studi de Roma Tre. Doutor em Ciência Econômica – Universidade Estadual de Campinas (Brasil). professor titular da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. E-mail: sergiouc@gmail.com

Keywords: Sugar cane; Sustainable development; Saccharum officinarum.

JEL: Q53, Q56

1 INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético tem impacto na economia do país, pois apresenta número expressivo de agroindústrias em todas as regiões do Brasil, sendo responsável pela geração de empregos diretamente e indiretamente. Deste modo, é considerável averiguar sob o olhar do desenvolvimento sustentável como o setor impacta nas esferas social, econômica e ambiental.

Necessita-se de informações e dados sobre as mudanças que a inserção desta cultura promove no ambiente e no desenvolvimento regional, visto que, este fato contribui no processo de tomada de decisões e a criação de políticas públicas norteadas para a realidade dos ambientes que recebem usinas e fluxo de pessoas com a migração de trabalhadores.

Relacionando o cenário de expansão do agronegócio, e, das problemáticas e riscos associados em termos de desenvolvimento socioeconômico, este estudo apresenta análise do panorama dos impactos ambientais, sociais e econômicos ocorridos em decorrência da expansão da cultura da cana-de-açúcar, apontando caminhos viáveis para uma agenda sustentável. A pesquisa se justifica pela importância do setor sucroalcooleiro ao Brasil.

Desta maneira, objetivou-se analisar os impactos ocasionados pela cana-de-açúcar, levando em consideração os conceitos e desafios para a sustentabilidade, de modo a iniciar discussão sobre a necessidade de esforços para a criação de políticas públicas que regulem o setor e sua expansão. Faz-se uma abordagem dos impactos ambientais, sociais e econômicos, apresentando, deste modo, uma revisão de trabalhos e publicações que abordam o desenvolvimento sustentável no segmento.

A estrutura deste artigo é composta de Introdução, Revisão de Literatura dividida em dois subtítulos: a) Expansão do setor sucroalcooleiro e b) Cana-de-açúcar: produtos e subprodutos. Na sequência a Metodologia empregada com busca nos periódicos da Capes. Nos Resultados e Discussão faz-se: a) Relato da busca bibliográfica b) Análise dos Impactos Ambientais e c) Indicadores de Sustentabilidade. Por fim, são feitas as Considerações finais e Referências.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CANA-DE-AÇÚCAR: PRODUTOS E SUBPRODUTOS

A cultura possui um ciclo produtivo que é em média de seis anos com cinco cortes.

O aproveitamento integral da cana-de-açúcar é fator fundamental para a sustentabilidade do processo produtivo do complexo sucroenergético. Devido à diversidade de usos de seus produtos e subprodutos, essa cultura tem se mostrado uma das matérias-primas mais importantes.

A cultura possui dois produtos essenciais para a economia mundial: o açúcar, que é parte indispensável para a alimentação humana. E o álcool, utilizado nas bebidas alcoólicas como a cachaça ou como combustível para veículos, comumente conhecido como etanol (AGROPOS, 2021).

O aproveitamento dos subprodutos da cana-de-açúcar na indústria alimentícia, produção de etanol de segunda geração, construção civil e produção de energia elétrica são exemplos das opções de aproveitamento desses resíduos. Como pode ser visto, o uso desses subprodutos tem implicações na viabilidade econômica, fluxo do processo, sustentabilidade e impacto ambiental (SILVA *et al.*, 2021).

Usualmente, a cana-de-açúcar, em muitas regiões do Brasil, é como bebida *in natura*, popularmente conhecida como caldo de cana ou garapa. E por meio do seu processamento, na maioria das vezes, artesanal, pode ser obtido, com o caldo de cana, o melado, açúcar mascavo e rapadura.

Da cana-de-açúcar pode ter seu proveito em absolutamente tudo, porquanto os subprodutos e resíduos podem ser utilizados na alimentação humana e animal, fertilização de solos e na geração de energia, sendo um ponto das práticas ambientais sendo levadas em consideração. Em meio aos subprodutos e resíduos, destacam-se: bagaço, melaço (ou mel final), torta de filtro, vinhaça, óleo fúsil, álcool bruto e levedura seca (AGROPOS, 2021).

Os subprodutos da cana têm enorme importância econômica, como a geração de energia, que auxilia no acréscimo da oferta e redução dos custos, que coopera para expandir a sustentabilidade do setor.

Conseqüentemente com a crescente demanda por energia renovável, o bioetanol de cana-de-açúcar é uma das mais importantes fontes renováveis de

energia, por ser uma opção energética estratégica e supostamente sustentável (CRISTÓBAL *et al.*, 2016).

Atualmente, o Brasil encontra-se em primeiro lugar no ranking de produção de e exportação de etanol e açúcar do mundo (UDOP, 2021). Desta forma, o açúcar representou a primeira riqueza agrícola e industrial do Brasil, isso por causa da versatilidade e à adaptabilidade da cana em nosso clima e solo, que por muito tempo, foi a base da economia colonial (UDOP, 2021).

Além da produção de açúcar, o Brasil possui lugar de destaque mundial na produção de biocombustível etanol, representando mercado em constante expansão. Com área de 9,6 milhões de hectares plantados e com aproximadamente 734 milhões de toneladas produzidas por ano, sendo o país maior produtor e exportador de açúcar e o maior exportador e o segundo maior produtor de etanol do mundo, segundo dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior -MDIC (2021).

De acordo com a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), (2022) é estimada a produção de etanol de aproximadamente 25,83 bilhões de litros do combustível a partir da cana, redução de 2,2% comparado ao ciclo anterior.

Em relação ao etanol, o Brasil exportou cerca de 607,8 milhões de litros no acumulado dos primeiros quatro meses da safra 2022/23 (abril a julho), segundo o Ministério da Economia, cujo volume corresponde a uma queda de 10,7% em comparação com o mesmo período da safra anterior. Deste modo, como no caso do açúcar, essa redução é impactada pela desvalorização do dólar em relação ao real, à frente da estimativa de queda na produção (CONAB, 2022).

As principais tecnologias com potencial de contribuição para a produtividade e resistência da cana-de-açúcar estão relacionadas com o melhoramento genético, controle de pragas, as técnicas de plantio, os tratamentos culturais e a colheita do milho (NOVACANA, 2021).

2.2 EXPANSÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO

A expansão nacional da produção da cana-de-açúcar deu-se início com a concepção do programa federal, denominado Pró-Álcool, sob resposta à crise do petróleo na década dos anos 1970, cujo objetivo primordial era a criação de um substituto para o petróleo que reduzisse a dependência do país no que se refere à sua variação de preço. (PACCA; MOREIRA, 2009). Essa expansão das áreas de

cana-de-açúcar ocorre especialmente pelo incentivo ao desenvolvimento local e pela procura por soluções para os desafios ambientais.

Conforme CONAB (2022) o país deve produzir 572,9 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na sua próxima safra 2022/23. Cujo resultado representa aumento de 1,6% referente a média nacional no rendimento das lavouras do país que é um contraponto para a redução de 2,6% na área do cultivo. Porém, também representa leve queda de 1% comparada ao ciclo anterior.

O setor sucroenergético nacional está se beneficiando das atuais políticas nacionais de estímulo à produção de biocombustíveis, a exemplo do Renovabio que se apresenta como Política Nacional de Biocombustíveis, constituída pela Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, cujo desígnio é ampliar a produção de biocombustíveis no Brasil e que deve aumentar ainda mais a utilização de renováveis como o etanol, com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Também passa por um novo ciclo de expansão à medida que os mercados externos se abrem e aceitam o açúcar e o álcool brasileiros.

No entanto, vale destacar que, de acordo com a tendência de desenvolvimento da produção de açúcar e etanol no Brasil, o aumento da produção de cana-de-açúcar é necessário para sustentar a expansão emergente do setor, baseada principalmente em novas áreas de produção, uma vez que, nos últimos anos, a produtividade do setor não teve aumento substancial (FERRAZ; SIMÕES; DUBREUIL, 2013).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2016), o mercado brasileiro de etanol continuará em forte expansão em decorrência ao acordo de Paris, e poderá atingir 53 bilhões de litros em 2030, o que significa acréscimo de 25 bilhões de litros de etanol. Essa expansão acelerada da produção de cana-de-açúcar no país poderá causar sérias consequências ao meio ambiente, com efeitos na esfera social, de maneira especial nas áreas de expansão do centro-sul do Brasil (MORAES *et al.*, 2016).

O crescimento do setor vem acompanhado das preocupações em decorrência dos impactos ambientais ocasionados pela agricultura e pecuária, sobretudo ao consumo de água, utilização de agrotóxicos e fertilizantes, emissão de gás metano, queimadas e desmatamentos de vegetação nativa derivados da expansão do agronegócio (ASSAD *et al.*, 2012).

A expansão do cultivo da cana-de-açúcar no Centro-Oeste é, em princípio, uma alternativa técnica e economicamente viável, mas dadas as condições de sustentabilidade e em áreas de significativa importância ambiental, social e econômica, decorrentes da mudança da dinâmica de uso do solo associada ao risco de impacto. Deste modo a expansão da cana-de-açúcar no estado de Goiás é caracterizada pela expansão das fronteiras agrícolas.

No entanto, para que essas mudanças não comprometam a sustentabilidade, é necessário identificar ferramentas e indicadores de sustentabilidade que possam mostrar qual dimensão (social, ambiental, econômica ou institucional) é mais afetada (RODRIGUES; NAJBERG, 2013), mitigando os impactos negativos e potencializando os positivos.

3 METODOLOGIA

O estudo caracterizou-se como pesquisa qualitativa, com foco fundamental na compreensão do fenômeno e seu possível impacto no meio ambiente.

O método utilizado foi revisão de literatura, de modo que a questão de interesse, a base de dados a ser analisada, a combinação de palavras-chave e os critérios de inclusão e exclusão dos artigos tiveram que ser pré-determinados para, posteriormente, avaliar, sintetizar e interpretar os dados.

A pergunta de interesse foi: *“Quais impactos ambientais que o setor sucroenergético desempenha no meio e o papel dos indicadores de sustentabilidade para tornar o setor mais sustentável?”*.

Para responder a essa pergunta foi realizada a busca em agosto de 2022 e a atualização dos dados em outubro de 2022, de forma a contemplar os artigos publicados até o momento da pesquisa, em duas plataformas de pesquisa científica: SciELO e periódicos CAPES. Uma vez que a presente revisão foi direcionada para estudos no Brasil, as plataformas utilizadas para garantir que estudos publicados em revistas regionais fossem incluídos na análise. Além disso, visando obter significativo número de artigos e, desta forma, proporcionar melhor diagnóstico dos estudos brasileiros, foi delimitado um período específico para a busca entre os anos de 2010 e 2022.

Para a localização de artigos, utilizou-se a seguinte combinação de palavras-chave vinculadas por operadores booleanos “AND” e “OR”: (“*sugarcane*” OR “*sustainability*” OR “*environmental impacts*” OR *agriculture*) AND (*Brazil*). A

combinação de palavras-chave, os operadores booleanos, as aspas e os parênteses foram empregados como processo de busca, a fim de limitar as informações e garantir maior precisão da pesquisa.

Após a busca, como primeiro passo, foi feita ordenação dos artigos, registrada em planilha para que se pudesse orientar a análise. As informações anotadas nesta seção foram: ano de publicação, autor, periódico, campo de pesquisa e motivos da inclusão ou exclusão do artigo.

A partir do registro das informações mais gerais dos artigos, foram lidos e analisados os títulos, resumos e palavras-chave de todos os artigos identificados. Esta etapa visa garantir que os artigos atendam aos critérios de inclusão. Critérios foram definidos para refinar a busca de artigos dedicados a discutir claramente a relação entre impactos ambientais e setor sucroalcooleiro.

Quanto aos critérios de exclusão, não foram incluídos estudos não realizados no Brasil, artigos de revisão e artigos não disponíveis em texto completo em formato PDF. Após a triagem, na etapa seguinte, os artigos foram lidos na íntegra, possibilitando que fossem excluídos outros artigos conforme critérios.

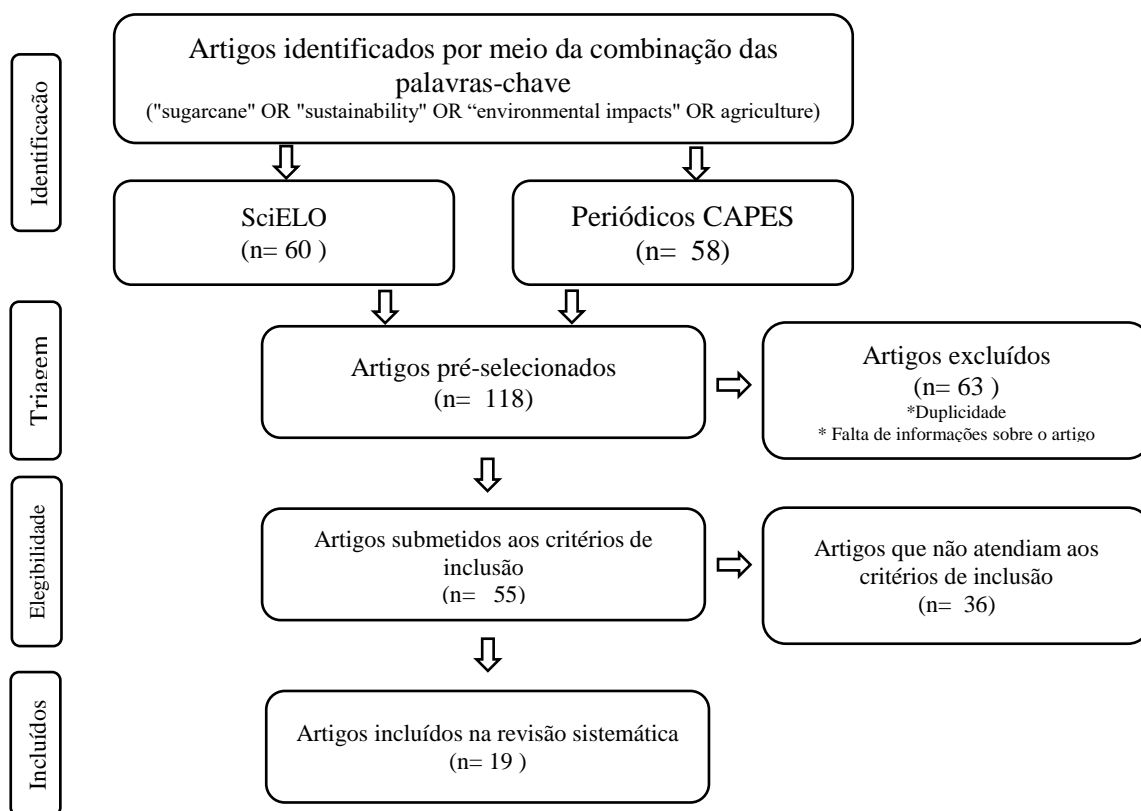
Deste modo, a lista de verificações se deu a partir dos temas de destaque que foram identificados nos artigos pesquisados, sendo eles: (i) impactos ambientais do setor sucroenergético; (ii) sustentabilidade no setor sucroenergético e (iii) desenvolvimento sustentável na cultura da cana-de-açúcar.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RELATO DA BUSCA BIBLIOGRÁFICA

Dos artigos que compõem o banco de dados (Figura 1), foram incluídos 60 da SciELO e 58 dos periódicos da CAPES, totalizando 118 artigos científicos selecionados.

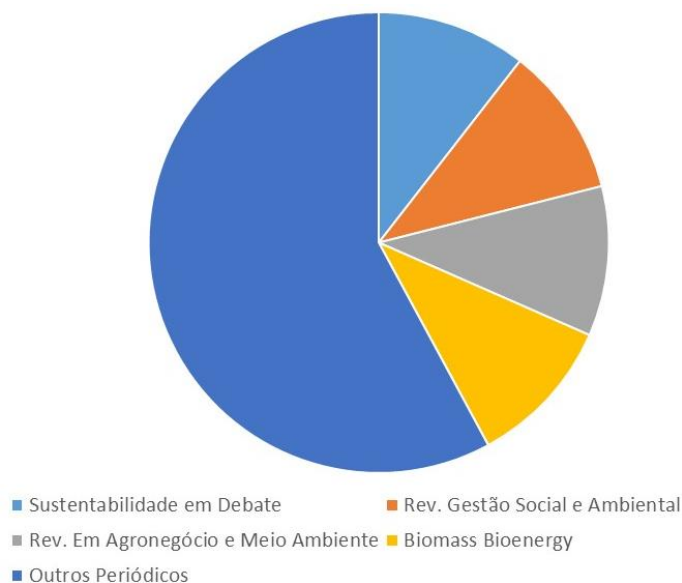
Figura 1 - Fluxograma da pesquisa e triagem dos artigos obtidos nas plataformas de pesquisa SciELO e periódicos CAPES até o ano de 2022



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Os periódicos com maior número de publicações foram: Revista de Gestão Social e Ambiental, Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Sustentabilidade em Debate e Biomass Bioenergy representando cada um 11%, respectivamente, e outros periódicos com (58%) com apenas uma publicação cada (Figura 2).

Figura 2 – Periódicos das publicações de artigos selecionados



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Dentre os artigos do banco de dados, apenas 19 foram selecionados para análise e discussão (Quadro 1).

Quadro 1 – Artigos selecionados conforme a pergunta interesse: “Quais impactos ambientais que o setor sucroenergético desempenha no meio e o papel dos indicadores de sustentabilidade para tornar o setor mais sustentável?”

Ano	Autor(es)	Títulos	Periódicos	Qualis (Novo) CAPES
2022	SILVA, G. M. C. D.; PÉRICO, A. E.	Eficiência e sustentabilidade: uma análise econômica, social, ambiental e sustentável das usinas paulistas de cana-de-açúcar.	Revista De Economia E Sociologia Rural	A3
2021	SILVA, D. L. G. et al.	Cana-de-açúcar: aspectos econômicos, sociais, ambientais, subprodutos e sustentabilidade.	Research, Society and Development	A3
2019	GOMES, C. S.	Impactos da expansão do agronegócio brasileiro na conservação dos recursos naturais.	Cadernos do Leste	-
2019	JESUS, K. R. E, et. al	Sustainability assessment of sugarcane production systems: SustenAgro Decision Support System.	Environmental Development	A1
2018	AMORIM, F. R.; PATINO, M. T. O.; MARCOMINI, G. R.	Sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar em usinas no estado de São Paulo.	Revista Em Agronegócio E Meio Ambiente	A4

2018	RIBEIRO, A. R. B.; SILVA, F. F.; MEIRELES, Y. S.; MELO, F. L.; RODRIGUES, R. P.	Gestão da sustentabilidade no cultivo da cana-de-açúcar: um estudo de caso no Nordeste do Brasil.	Revista Em Agronegócio E Meio Ambiente	A4
2017	KLING, K.L., et al.	Reconciling food security and bioenergy: priorities for action	GCB Bioenergy	A1
2016	CRISTÓBAL, J. et. al	Environmental sustainability assessment of bioeconomy value chains.	Biomass Bioenergy	A1
2015	DUARTE, C. G.; MALHEIROS, T. F.	Sustentabilidade e políticas públicas para o setor sucroenergético: uma análise dos temas abordados.	Revista De Gestão Ambiental E Sustentabilidade	A3
2014	CHIARAVALLI, R. M.; SANTANA, S.; MORAIS M. S.; ROCHA, L. M. V.; FREITAS, D. M.	Efeitos da expansão da cana de açúcar no sudeste do Mato Grosso do Sul e possíveis caminhos para uma agenda sustentável.	Sustentabilidade em Debate	B1
2014	MACHADO, P. G.; DUFT, D. G.; PICOLI, M. C. A.; WALTER, A	Diagnóstico da expansão da cana-de-açúcar.	Sustentabilidade Em Debate	B1
2014	MEYER, M. A.; PRIESS, J.A.	Indicators of bioenergy-related certification schemes – an analysis of the quality and comprehensiveness for assessing local/regional environmental impacts.	Biomass Bioenergy	A1
2013	FERRAZ, R.; SIMÕES, M., DUBREUIL, V.	Indicadores para a avaliação do processo de expansão da cultura canavieira no sul do estado de Goiás.	Brazilian Journal of Environmental Sciences	A3
2013	RODRIGUES FILHO, S.; JULIANI, A. J.	Sustentabilidade da produção de etanol de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.	Estudos Avançados	A1
2013	RODRIGUES, D. M.; NAJBERG, E.	Indicadores de sustentabilidade das políticas públicas decorrentes da expansão do setor sucroalcooleiro em Carmo do Rio Verde (GO).	Revista De Gestão Social E Ambiental	A3
2012	LIBONI, L. B.; CEZARINO, L. O.	Impactos sociais e ambientais da indústria da cana-de-açúcar.	Future Studies Research Journal	A4
2011	LIMA, S.S et al.	Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agrofloretais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí.	Rev. Árvore	B2

2010	PINHEIRO, J. N.; FREITAS, B. M.	Efeitos letais dos pesticidas agrícolas sobre polinizadores e perspectivas de manejo para os agroecossistemas brasileiros.	Oecologia australis	B3
2009	PACCA S.; MOREIRA, J. R.	Historical carbon budget of the brazilian ethanol program.	Energy Policy	A1

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Para o escopo do estudo, fica evidente maior número de publicações para o ano de 2013 e 2014, seguidos de 2018 e 2019. Destes artigos, 14 foram publicados em periódicos classificados no estrato A do Qualis Periódicos da Capes.

4.2 ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS

As atividades econômicas se intensificaram nas últimas décadas, e tem havido preocupação crescente com seu impacto no meio ambiente. Melhorar a competitividade e buscar o crescimento econômico sustentável tornaram-se os principais veículos para essa mudança (SILVA; PÉRICO, 2022).

Deste modo, destaca-se a ótica ambiental e os impactos causados pelas atividades da agroindústria canvieira. Ou seja, o termo "impacto ambiental" foi definido com mais precisão nas décadas de 1970 e 1980, quando os países perceberam a necessidade de diretrizes e padrões para avaliar os efeitos adversos da intervenção humana na natureza. Com tal característica, impacto ambiental é a mudança no meio ambiente ou em um de seus componentes por uma determinada ação ou atividade. Essas mudanças precisam ser quantificadas porque apresentam mudanças relativas, que podem ser positivas ou negativas, grandes ou pequenas (LIBONI; CESARINO, 2012).

De acordo com a Resolução do CONAMA n. 001 (Conselho Nacional do Meio Ambiente), de 23 de janeiro de 1986, define que:

Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais. (BRASIL, 1986, p.2548).

Já a Norma ABNT ISO 14001 (2015, p. 3), a definição do termo impacto ambiental é “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização”.

Com a constante procura por combustíveis renováveis que substituam o petróleo e não sejam tão nocivos ao meio ambiente, torna a cana-de-açúcar cultura de suma importância mundial na busca de um modelo de desenvolvimento sustentável (UDOP, 2021).

A cultura da cana-de-açúcar possui apelo pelas práticas sustentáveis em todos os âmbitos da nossa vida, as diversas possibilidades oferecidas pela cana-de-açúcar ganham lugar de destaque no cenário atual. Sendo fonte renovável de diversos produtos, a tendência é que aconteça aumento expressivo na busca pelos artigos derivados desse cultivo (ÚNICA, 2021).

A agricultura se afastou dos processos naturais ecológicos, afetando a flora, fauna e a própria espécie humana. Deste modo, a conversão de áreas florestadas em lavouras agrícolas representa mudança radical no ecossistema original, já que ocasiona em alterações morfológicas, físicas, químicas e biológicas no que se refere aos atributos do solo, e que podem gerar impactos significativos, em que os mecanismos naturais de reciclagem e de proteção do sistema são alterados (LIMA *et al.*, 2011).

Os setores produtivos das sociedades organizadas ao redor do mundo foram surpreendidos pela intensidade das pressões regulatórias sobre as quais atuam. Em particular, as pressões referentes ao comportamento socioambiental responsável são cada vez mais reconhecidas como fundamentais para a sustentabilidade do crescimento e bem-estar humano (LIBONI; CESARINO, 2012).

Desta forma, para os mesmos pesquisadores, os impactos ambientais do setor sucroenergético abrangem “os efeitos na qualidade do ar e no clima global, no uso do solo e biodiversidade, na conservação do solo, nos recursos hídricos e no uso de defensivos e fertilizantes”.

No Quadro 2, relaciona-se autores e os principais impactos ambientais no meio físico (solo, água e ar) ocasionados pelo cultivo extensivo de cana-de-açúcar.

Quadro 2 – Principais impactos da cana-de-açúcar que ocorrem na esfera ambiental – Fator do Meio Físico-Químico

Fator do Meio Físico-Químico	Impacto
Solo	Em consequência da mudança do uso do solo, ocasionado pela supressão da vegetação natural e a sua modificação em áreas cultivadas, da degradação do solo das áreas cultivadas, causadas por práticas inapropriadas de manejo e do uso discriminado de agrotóxicos e fertilizantes (SAMBUICHI et al., 2012).
	Ocorre a alteração da microbiologia do solo, a morte de polinizadores e de organismos que controlam as populações de pragas e prejuízos às lavouras (PINHEIRO, 2010).
	Aplicação excessiva de adubos, corretivos minerais e a erosão do solo em áreas de renovação da lavoura (AMORIM; PATINO; MARCOMINI, 2018).
Água	Com o uso excessivo de fertilizantes químicos, causam impactos severos no ambiente, podendo ocasionar à eutrofização de cursos d'água, lagos e mananciais, acidificação dos solos, contaminação de aquíferos, geração de gases associados ao efeito estufa e a destruição da camada de ozônio (SAMBUICHI et al., 2012).
	As queimadas praticadas na agricultura facilitaram o corte da cana-de-açúcar e a limpeza da terra pelos trabalhadores. Isso tem contribuído para o aumento do teor de sacarose, à medida que o calor é gerado, o que contribui para a evaporação da água (SANTOS; ALMEIDA, 2007).
	O uso de água para irrigação é uma atividade essencial para a agricultura no mundo todo e, não obstante os canais sejam cultivados em sua maioria pelo sistema de sequeiro, que está à serviço de precipitação natural, há uma dependência de sistemas de irrigação. Mas é possível usar nos cultivos água residuária proveniente das próprias usinas, que é chamada de "irrigação de salvamento", atividade que economiza o consumo de água e evita seu desperdício (UNICA, 2021).
Ar	A principal justificativa está atrelada ao processo de produção, que contrariamente do petróleo, não tem a retirada de matéria orgânica depositada há milhares de anos e a decorrente emissão de dióxido de carbono (CO ₂) na atmosfera em consequência às queimadas (CHIARAVALLI, 2014).
	Um dos assuntos mais discutidos no momento é a mudança climática. Tais preocupações levaram os países a acelerar a busca por fontes de energia renovável, revisar os padrões atuais de energia e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (LIBONI; CESARINO, 2012).

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

É importante salientar sobre o uso em excesso de agrotóxicos na agricultura sendo considerável agente de contaminação do solo, das águas e do ar devido à sua toxicidade, sua permanência no solo e o crescente aumento dos teores encontrados no ambiente, pois é estimado que cerca de 30% do total de agrotóxico permanece na planta (GOMES, 2019).

E em relação aos resíduos do cultivo e industrialização da cana-de-açúcar, muitos estudos têm desenvolvido formas de reaproveitá-los, a fim de evitar desperdícios e contribuir para a sustentabilidade do setor, além de fornecer matéria-prima para outros setores. Portanto, pode-se afirmar que o setor sucroenergético, com estas inovações, contribui para uma abordagem ecológica de proteção ao meio

ambiente. Especialmente por meio de investimentos em novas tecnologias, como melhoramento genético e gestão de resíduos. (SANTOS; ALMEIDA, 2007).

Nesse sentido, a colheita mecanizada sem queima de palha e o aproveitamento de resíduos têm recebido incentivos para que os objetivos preconizados pelo desenvolvimento sustentável possam ser plenamente alcançados (FONTANETTI; BUENO, 2017).

A impermeabilização dos canais de vinhaça no período da safra das empresas exportadoras não é executada, assim como a incorporação do fertilizante nitrogênio (AMORIM; PATINO; MARCOMINI, 2018).

Deste modo, além dos impactos ambientais causados pela queima da vinhaça no meio Físico-Químico tem impactos no Fator do meio Biótico (flora e fauna), como pode-se observar no Quadro 3:

Quadro 3 – Principais impactos da cana-de-açúcar, que ocorrem na esfera ambiental – Fator Meio Biótico

Fator do Meio Biótico	Impacto
Flora	“A queima da palha da cana-de-açúcar se tornou um dos fatores que, acompanhados dos aspectos sociais e ambientais decorrentes do processo de expansão dessa monocultura no estado, ocasionou várias formas de degradação ambiental com alto potencial de risco a fauna e flora, além de ser prejudicial ao próprio ser humano, gerando consequências como: invasão de Biomas e as Áreas de Preservação Permanente (APP) ou de Preservação Ambiental (APA)” (BRITTS; SILVA; ABRITA, 2016).
	“Cultivos extensivos e manejo convencional com o uso de arados, grades pesadas e subsoladores, como é caso da cana-de-açúcar, afetam vários grupos taxonômicos, pois influenciam a agregação dos componentes do solo e reduzem a atividade biológica” (SAAD; IWASAKI; SILVA; SOUZA-CAMPANA; BUENO; MORINI, 2017, p.132).
	“A alta carga orgânica presente na vinhaça induz a proliferação de microrganismos que esgotam o oxigênio dissolvido na água, destruindo, conseqüentemente, pela falta de oxigenação a fauna e a flora aquáticas” (CORREIA; MARCATO; CHRISTOFOLETTI; SOTO; FONTANETTI, 2017, p.252).
Fauna	“Fatores como lavração, exposição ao sol e uso de adubos químicos afetam diretamente a fauna edáfica, que pode ser usada como bioindicadores da qualidade do solo por ser sensível a mudanças no ambiente” (SAAD; IWASAKI; SILVA; SOUZA-CAMPANA; BUENO; MORINI, 2017, p.131).
	“Em relação à abundância da fauna edáfica que forrageia sobre e nos interstícios do solo. Essa fauna é constituída especialmente de invertebrados classificados como mesofauna e possui funções ecológicas associadas a diferentes processos, revolvimento do solo, incorporação da matéria orgânica e até mesmo de controle biológico” (SAAD; IWASAKI; SILVA; SOUZA-CAMPANA; BUENO; MORINI, 2017, p.137).
	“O uso de vinhaça afeta diversas propriedades físico-químicas que são importantes para a fauna edáfica, o que pode influenciar suas comunidades” (SAAD; IWASAKI; SILVA; SOUZA-CAMPANA; BUENO; MORINI, 2017, p.139).

	“No geral, as práticas agrícolas convencionais provocam diversas alterações na composição e diversidade da fauna edáfica, ocasionando a diminuição e mudanças na estrutura da população de determinados grupos, especialmente nas comunidades de formigas” (SOUZA-CAMPANA, SAAD; SILVA; BUENO; MORINI, 2017. p.157).
	“Os invertebrados da fauna terrestre têm sido os mais utilizados como organismos bioindicadores com o intuito de avaliar os efeitos causados por substâncias tóxicas aplicadas no solo” (CHRISTOFOLETTI; SOUZA; FONTANETTI, 2017. p.197).
	“Como a fauna edáfica possui papel fundamental na decomposição e mineralização do solo e, conseqüentemente, na sua fertilidade, as conseqüências geradas pela aplicação desses resíduos na agricultura devem ser identificadas e avaliadas com vistas a favorecer a sustentabilidade ”(CHRISTOFOLETTI; SOUZA; FONTANETTI, 2017. p.199).

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

À vista disso, o desenvolvimento da indústria deve ser equilibrado com valores sociais e ambientais. Para tanto, o primeiro passo para a expansão deve ser a determinação dos impactos sociais, econômicos e ambientais do setor sucroenergético (LIBONI; CESARINO, 2012).

Em que pese os impactos ambientais, não menos importantes levantar pontos sobre os quais levam em conta o desenvolvimento do setor e os impactos ocasionados nas esferas social e econômica. No Quadro 4 visualiza-se os textos que os autores apresentam.

Quadro 4 – principais impactos da cana-de- açúcar que ocorrem nas esferas social e econômica

Meio antrópico	Impactos
Econômico	Embora a agricultura seja importante para a economia e subsistência do Brasil, há necessidade de melhorar a eficiência do uso dos recursos naturais e reconhecer o impacto das tecnologias antropogênicas sob a incerteza climática futura (RIBEIRO; SILVA; MEIRELES; MELO; RODRIGUES, 2018).
	O etanol ganhou força à medida que cresce a conscientização sobre as limitações dos combustíveis fósseis e os estragos que o uso de fontes de energia não renováveis pode causar ao meio ambiente. Os altos preços do petróleo nos mercados mundiais e a pressão internacional para reduzir as emissões de gases de efeito estufa estão acelerando a expansão dos canaviais dedicados ao aumento da produção de etanol nos mercados interno e externo (LIBONI; CESARINO, 2012).
	Os resultados relacionados ao aspecto econômico mostram que as empresas que exportam seus produtos apresentam melhor desempenho financeiro (AMORIM; PATINO; MARCOMINI, 2018).
Social	Na frente social, alguns estudos têm demonstrado que o corte manual da cana-de-açúcar pode levar a acidentes industriais e até mesmo à morte por más condições de trabalho e adoção de posturas incorretas, movimentos corporais bruscos, repetitivos e vigorosos, trabalhos manuais etc. No entanto, com a mecanização da colheita e do plantio, outras variáveis, como qualificação dos trabalhadores e desemprego das atividades mecanizadas, merecem estudo especial (AMORIM; PATINO; MARCOMINI, 2018).

	Na esfera social, não há diferença entre o faturamento das empresas exportadoras de subprodutos e das que não exportam, nem a quantidade de cana produzida pelos trabalhadores (AMORIM; PATINO; MARCOMINI, 2018).
	O setor sucroenergético contribuiu e continua contribuindo para a geração de empregos nos setores agrícola e industrial. No entanto, à medida que esses números aumentam, o trabalho direto ameniza, principalmente relacionado à terceirização, ganhos de produtividade e mecanização (FONTANETTI; BUENO, 2017).
	A preocupação com a preservação ambiental e a saúde pública parece sempre presente quando se trata da criação e utilização das técnicas de colheita mecanizada. Embora possa haver dificuldades de implantação, alguns produtores apontam que a mecanização é a opção mais adequada para as necessidades atuais do setor, como redução de mão de obra e responsabilidade socioambiental. (RIBEIRO; SILVA; MEIRELES; MELO; RODRIGUES, 2018).
	Além disso, o despejo da vinhaça nos cursos d'água provoca mau cheiro e contribui para o agravamento de endemias como a malária, a amebíase e a esquistossomose " (CORREIA; MARCATO; CHRISTOFOLETTI; SOTO; FONTANETTI, 2017, p.252).

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Perante o exposto, a agroindústria, e todas as atividades humanas em geral, devem ser redirecionadas para considerar os fatores ambientais como um importante elemento de gestão, capaz de incorporar em seus agroecossistemas para produção sustentável. Por isso, a atividade econômica deve ser localizada e extraída do ambiente natural, até a sua capacidade de suporte (LIBONI; CESARINO, 2012).

À medida que a demanda cresce e a produção se expande com ela, a necessidade de avaliar o impacto na sociedade e no meio ambiente é inquestionável. O Brasil, com suas vastas terras cultiváveis e próprias à produção de cana-de-açúcar, tem potencial de expansão, além do conhecimento acumulado em décadas de pesquisa e produção de bioetanol, mas as consequências devem ser analisadas, não apenas para a simples viabilidade econômica (MACHADO *et al.*, 2014).

Os custos ambientais resultantes da forma de produção e expansão das agroindústrias necessitam ser incorporados nas transações financeiras, para que deste modo, demonstre e avalie na esfera econômica as perdas ambientais e se de fato é vantajoso manter a lógica de funcionamento do agronegócio.

Para controlar os impactos ambientais ocasionados pelo agronegócio é necessário adotar e implantar práticas de manejo sustentável, investir em métodos que envolvam a diversificação e rotação de culturas, bem como a utilização de insumos alternativos agrícolas e pouco agressivo para o controle de pragas. Se

esses sistemas de produção de baixo impacto ambiental forem bem executados, as técnicas podem ser veiculadas para as áreas degradadas e com baixíssima produção (GOMES, 2019).

Conseqüentemente é necessário que toda a cadeia produtiva da cana-de-açúcar assegure a sustentabilidade ambiental visando atender aos ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Por isso, desde a semeadura, manejo e colheita, o país busca novas tecnologias que visem aumentar a produtividade e alcançar a sustentabilidade em toda a cadeia produtiva (FONTANETTI; BUENO, 2017).

4.3 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

Para se chegar a indicadores de sustentabilidade, torna-se primordial compreender a origem do termo desenvolvimento sustentável.

A idealização do desenvolvimento sustentável desde a “Declaração de Estocolmo” na Conferência das Nações Unidas, em 1972, passou por redefinições e discussões, com a finalidade de estabelecer critérios e princípios comuns que oferecessem a todos os povos inspiração e guia para preservar e melhorar o meio ambiente” (KIANG; SOTO; BASSO, 2017, p. 268).

Segundo o Relatório Brundtland da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1998 apud EDWARDS, 2013), o desenvolvimento sustentável “é aquele que deve atender às necessidades da geração presente, sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades”.

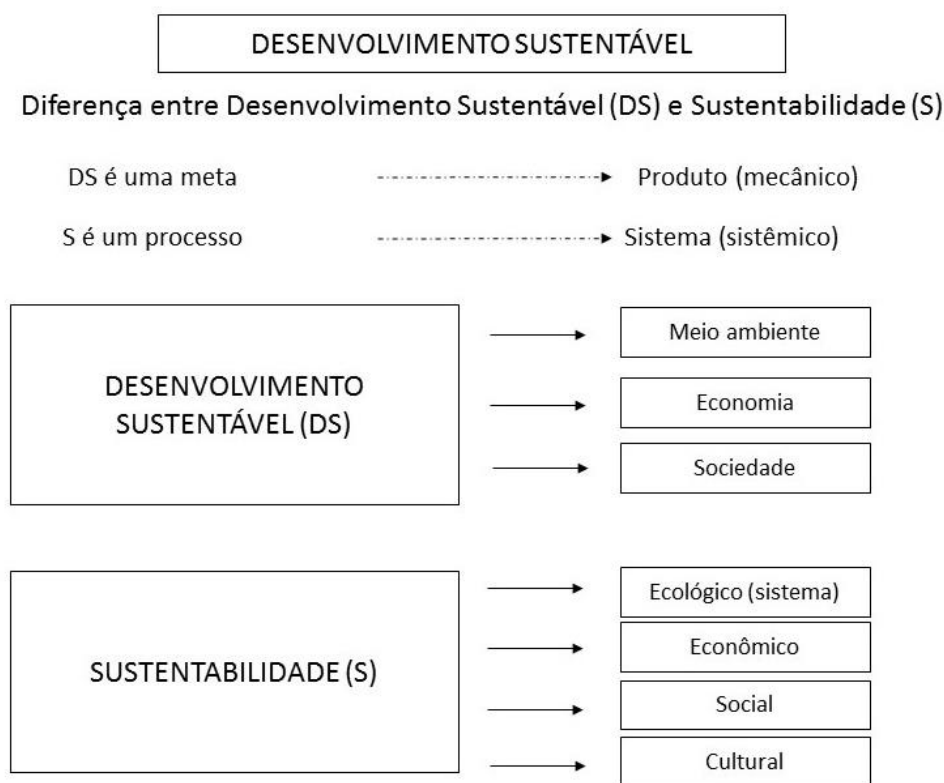
Criada em 1987 pela Comissão para o Meio Ambiente da ONU, sob a direção de Gro Harlem Brundtland, aborda as necessidades de recursos ambientais das gerações presentes e futuras. A definição de Brundtland talvez seja o maior imperativo para o desenvolvimento global no século XXI. Suas repercussões foram muito abrangentes e impactantes” (EDWARDS, 2013, p. 20).

A Comissão Brundtland acredita que os sistemas econômicos e sociais não podem ser independentes das questões ambientais. Para o benefício das gerações futuras, as ideias de crescimento e bem-estar social devem ser equilibradas com a conservação dos recursos ambientais para o presente (EDWARDS, 2013).

Em suma, Edwards (2013) salienta que o conceito de desenvolvimento sustentável “possui amplas ramificações para os responsáveis por esse desenvolvimento” e no que se diz respeito ao contexto do crescimento sustentável, o autor questiona a correta “possibilidade de conciliação entre a sustentabilidade

econômica e ambiental”. Entretanto o autor faz essa exemplificação com a diferenciação entre os conceitos entre Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade, conforme mostra Figura 3.

Figura 3 – Diferença entre Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade



Fonte: Edwards (2013).

No cerne deste conceito de desenvolvimento sustentável está a redefinição de riqueza para incluir o capital natural: ar puro, água limpa, uma camada de ozônio eficiente, oceanos não poluídos, terras férteis e rica diversidade de espécies. Os meios propostos para garantir a proteção desse capital natural são as normas regulatórias e, mais importante, deve ser fixado um preço adequado para o uso do capital natural, um legado que antes era considerado ilimitado e, portanto, não requer custos (ROGERS; GUMUCHDJIAN, 2013).

As questões ambientais não são diferentes das questões sociais e econômicas. As políticas ambientais também podem melhorar a vida dos cidadãos. As soluções ecológicas, sociais e econômicas se complementam, garantindo cidades mais saudáveis, dinâmicas e multifuncionais. Mais importante ainda, uma

cidade autossustentável é sinônimo de qualidade de vida para a próxima geração (ROGERS; GUMUCHDJIAN, 2013).

Por isso, o objetivo final do desenvolvimento econômico sustentável é deixar para as gerações futuras um estoque de capital natural igual ou superior ao nosso próprio legado (ROGERS; GUMUCHDJIAN, 2013).

A sustentabilidade nos níveis econômico, social e ecológico pode ser alcançada pela adoção de tecnologias adaptadas às diferentes condições locais, pela agregação de bens e serviços mais duráveis e distribuídos de forma mais equitativa e, principalmente, por uma nova visão do uso dos recursos, a energia do sistema Valorização de insumos e conhecimento local (FERRAZ, 2003).

Já os autores Rodrigues Filho e Juliani (2013) afirmam que os conceitos de desenvolvimento e desenvolvimento sustentável passaram por um processo de refinamento e rediscussão, e os debates se intensificaram em diferentes fóruns, com o objetivo de estimular reflexões em prol da construção de novas visões, principalmente no que diz respeito às questões energéticas globais. Essas discussões ajudam a refinar esses conceitos, mas contrastam com os níveis de desenvolvimento e histórias de sustentabilidade em diferentes partes do mundo.

Cardoso (2013), cita os autores Barbieri e Lage (2001) que defendem o posicionamento de Sachs (1993), sobre um novo paradigma para o planejamento do desenvolvimento em cinco esferas da sustentabilidade e que devem ser considerados simultaneamente, que são:

- a) Social, com o objetivo de melhorar substancialmente os direitos e condições das amplas massas de população e reduzir as distâncias entre os padrões de vida de abastados e não abastados;
- b) Econômica, possibilitada pela alocação e gestão eficiente dos recursos e por um fluxo regular do investimento público e privado, avaliado mais em termos macrossociais do que apenas por critérios de lucratividade microempresarial;
- c) Ecológica, envolvendo medidas para reduzir o consumo de recursos e a produção de resíduos, para intensificar as pesquisas e a introdução de novas tecnologias limpas e poupadoras de recursos;
- d) Espacial, voltada a uma configuração rural- urbana mais equilibrada e a melhor distribuição territorial de assentamentos humanos e atividades econômicas, envolvendo questões de concentração excessiva das áreas metropolitanas, destruição de ecossistemas frágeis, projetos de agricultura, industrialização descentralizada e rede de proteção das reservas naturais, biosfera e biodiversidade;
- e) Cultural, em busca das raízes endógenas dos modelos de modernização e dos sistemas rurais integrados de produção, privilegiando processos de desenvolvimento que respeitem as peculiaridades de cada ecossistema, de cada cultura e de cada local (CARDOSO, 2013, p. 6).

Em contraponto, por sua vez, o conceito de consumo e produção sustentáveis foi introduzido na Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em Joanesburgo em 2002, resultando em vários acordos internacionais. O objetivo principal é estabelecer a relação entre produtividade, uso de recursos e níveis de poluição. Especificamente, esses acordos abordam as seguintes áreas: garantir que o crescimento econômico não polui o meio ambiente nos níveis regional e global; melhorar a eficiência do uso de recursos; analisar o ciclo de vida completo dos produtos; fornecer aos consumidores mais informações sobre produtos e serviços; a utilização de impostos e leis promove a inovação em tecnologia limpa (EDWARDS, 2013).

Entretanto, pode-se citar que o modelo de apropriação da natureza através do producionismo industrial da Revolução Verde que acelerou dramaticamente a degradação ambiental e social das áreas rurais a ponto de se tornar insustentável. A Revolução Verde no Brasil altamente industrializado trouxe inicialmente um aumento na produção e produtividade, especialmente para produtos de exportação (FERRAZ, 2003).

Por conseguinte, sob perspectiva agrícola, a sustentabilidade pode ser como a capacidade dos sistemas agrícolas “de manter sua produção no longo prazo sem esgotar os recursos disponíveis, incluindo biodiversidade, fertilidade do solo e recursos hídricos, com seu manejo adequado” (KLINE *et al.*, 2017).

Assim, ao longo da última década, organismos governamentais, não-governamentais, institutos de pesquisa e universidades de todo o mundo se interessaram em encontrar indicadores de sustentabilidade. No entanto, ainda não há nada de concreto, pois o tema é relativamente novo para a comunidade científica (CARDOSO, 2013).

Desta maneira, o autor Ferraz (2003) cita que os indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas devem refletir mudanças em atributos como produtividade, resiliência, estabilidade e equidade. Note-se que não existe um indicador “universal”, mas cada sistema, com base nas suas categorias e elementos específicos, e descritores associados, tem o seu próprio conjunto de indicadores. As métricas devem ser válidas e não exaustivas. É válido, sensível e tem uma boa base estatística no sentido de que as condições descritas são realmente atendidas; e não é exaustivo, ou seja, não há muitos indicadores para um mesmo descritor. Um

critério geral para a seleção de indicadores é que eles devem não apenas sinalizar a existência de degradação do sistema, mas também alertar sobre possíveis distúrbios.

Os indicadores de sustentabilidade são ferramentas compostas por uma ou mais variáveis que se relacionam de diferentes maneiras, revelando as implicações mais amplas dos fenômenos a que se referem. São ferramentas importantes para orientar a ação e apoiar o monitoramento e a avaliação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável (RODRIGUES FILHO; JULIANI, 2013).

E, deste modo, Ferraz (2003) relata que um para um critério geral para a seleção de indicadores, eles “devem ser capazes não apenas de sinalizar a existência de uma degradação no sistema, mas também de advertir sobre eventuais perturbações potenciais”. O autor cita Toews (1987) que distingue os indicadores em quatro principais categorias, sendo eles:

1. Indicadores gerais (estado geral do sistema).
2. Indicadores de diagnóstico (porque mostra sinais de degradação).
3. Indicadores de estimativa de risco (fatores que conduzem, com alta probabilidade, ao desenvolvimento não-sustentável).
4. Indicadores de fitness (robustez) (FERRAZ, 2003, p. 31).

Ferraz (2003), continua seu raciocínio ainda sob a perspectiva de Toews (1987) sobre as características que os indicadores devem possuir, são elas:

1. Aplicáveis em um grande número de sistemas ecológicos, sociais e econômicos;
2. Mensuráveis e de fácil medição;
3. De fácil obtenção e baixo custo;
4. Concebidos de tal forma que a população local possa participar de suas medições, ao menos no âmbito da propriedade;
5. Sensíveis às mudanças do sistema e indicar tendências;
6. Representar os padrões ecológicos, sociais e econômicos de sustentabilidade; e
7. Permitir o cruzamento com outros indicadores (FERRAZ, 2003, p.31).

Ainda, Ferraz (2003) relata que os indicadores utilizados ao decorrer do tempo para monitorar o sistema devem ser medidos em relação a sua eficiência com as características anteriormente citadas. O autor conclui que para cada agroecossistema deve ser determinado um “conjunto particular de indicadores em função das condições agroecológicas e socioeconômicas presentes” de determinada região, bem como do perfil dos “usuários finais da informação, da disponibilidade de

informações existentes e dos custos envolvidos na geração de novos dados, se necessário.”

Guimarães, Turetta e Coutinho (2010), citam alguns indicadores de sustentabilidade que podem ser utilizados para a avaliação da sustentabilidade do setor sucroenergético, dentre as três dimensões da sustentabilidade (ambiental, social e econômica) considerando assim o critério de multidisciplinaridade, que são eles (Quadro 5):

Quadro 5 – Indicadores de Sustentabilidade utilizados no setor sucroenergético

Dimensões	Indicadores
Ambiental: refere-se a informações sobre as mudanças nos recursos naturais como solo e água.	- Consumo de agrotóxicos - Domicílios atendidos por rede geral de água
Social: Caracteriza-se por medidas referentes a condições de renda da população com indicadores que contemplam distribuição de renda e emprego.	- Índice de Gini - Pessoal ocupado no setor Agropecuário
Econômica: Caracteriza as condições da produção das microrregiões no processo de desenvolvimento.	- PIB <i>per capita</i> - Saldo da Balança Comercial

Fonte: Guimarães, Turetta e Coutinho (2010).

Por sua vez, Cardoso (2013) indica também mais dimensões e indicadores que podem ser utilizados pelo setor sucroenergético (Quadro 6).

Quadro 6 – Dimensões e Indicadores de Sustentabilidade utilizados no setor sucroenergético

Dimensões	Indicadores
Agrícola / Industrial : Esta dimensão visa analisar o sistema canavieiro sob uma perspectiva agroindustrial. Melhorar indicadores como modernização da produção, aumento da produção, tipos de plantio, políticas de resíduos sólidos, tecnologia de produção, infraestrutura, mecanização e custos de produção.	- Rotação de culturas - Distância usina / produção de cana - Cana queimada manual - Adoção do plantio direto - Variedades melhoradas para condições eco regionais mais específicas
Produtos / Subprodutos: Nesta dimensão, os indicadores são baseados em: processo tecnológico, valor do produto/subproduto, relação com outros produtos, barreiras comerciais, comercialização, distribuição etc.	- Relação preço gasolina/ etanol - Regulação de comércio de distribuição - Inclusão do etanol como <i>commodity</i> - Número de contrato para fornecer bioeletricidade
Tecnologia:	- Investimentos no desenvolvimento dos

Nesta dimensão objetiva-se por avaliar as inovações e investimentos no setor sucroenergético. São levantados indicadores de investimento em pesquisa e desenvolvimento em fermentação extrativa.	biocombustíveis de 2ª e 3ª gerações - Desenvolvimento de leveduras mais resistentes a concentrações mais elevadas de álcool (Fermentação Extrativa)
Política: A dimensão política visa avaliar o alcance das tomadas de decisão, acordos governamentais e demais políticas envolvendo o sistema produtivo canavieiro.	- Iniciativas do poder público com a proteção ao ambiente - Número de produtores / usinas que aderiram/ renovam o Protocolo Agroambiental – Projeto Etanol Verde

Fonte: Cardoso (2013).

Ao todo o autor menciona 62 indicadores em seu estudo sobre o setor e a agroindústria para avaliar a sustentabilidade em toda a cadeia produtiva, deste modo, para cada estudo a ser aplicado cabe ao avaliador indicar e escolher os que melhor representam, tendo em vista que cada região possui suas particularidades.

Portanto, conclui-se que os indicadores são ferramentas analíticas muito úteis, porque fornecem a compreensão mais ampla da situação geral. Os indicadores se dividem em duas categorias: a) aqueles que categorizam até que ponto as metas são alcançadas e b) aqueles que apontam para flutuações sistêmicas (EDWARDS, 2013).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Objetivou-se avaliar os impactos ambientais do setor sucroalcooleiro e o uso de indicadores de sustentabilidade no setor sucroalcooleiro.

Pode-se observar brandos avanços na redução dos impactos negativos da cultura em relação ao meio ambiente e à questão social, nesse último caso, gerada pela mecanização, especialmente da colheita, retirando a colheita manual em condições inóspitas, mas carecendo de alternativas de direcionamento desta mão de obra. Vale destacar que o setor contribui para a geração de empregos diretos e indiretos. Já sobre o aspecto econômico, o setor responde significativamente por parte relevante do PIB local, regional e nacional.

Assim, indicadores de sustentabilidade globais, devem ser adotados e a certificação de processos de forma clara e eficiente, que estejam alinhados às responsabilidades ambiental, social e econômica, desde a produção até o processamento e comercialização da cana-de-açúcar, seus produtos e subprodutos.

Para esse propósito, são necessários investimentos dos setores público e privado e conseqüentemente aumento de pesquisas, voltadas para o

desenvolvimento sustentável, conciliando os interesses de obtenção de receita, com zelo ambiental e ações sociais.

Recomenda-se futuros estudos empregando as ferramentas disponíveis para avaliar o segmento, utilizando metodologias que fazem uso de indicadores de sustentabilidade como forma de contribuir com o setor sucroenergético e a sociedade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14001 - Sistemas de gestão ambiental**: Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT. 2015.

AGROPÓS. **Cana-de-açúcar a cultura que potencializou o Brasil**. Disponível em: <https://agropos.com.br/cana-de-acucar/>. Acesso em: 29 mar. 2021.

AMORIM, F. R.; PATINO, M. T. O.; MARCOMINI, G. R. Sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar em usinas no estado de São Paulo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 4, p. 133-1145, 2018.

ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; PINTO, H. P. **Sustentabilidade no agronegócio brasileiro**. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n° 001, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Seção 1, p. 2548-2549.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). **Conhecendo o Brasil em Números – Knowing Brazil in Numbers**, Brasília, 2021.

BARBIERI, J. C.; LAGE, A. C. Conceitos, Problemas e Pontos de Partidas Para Políticas de Desenvolvimento Sustentável. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO, 25. 2001, (Campinas). **Anais...** Campinas: ANPAD, 2001.

BRITTS, T. H. C.; SILVA, W. G.; ABRITA, M. B. O crescimento canavieiro no município de Rio Brilhante-MS e os impactos ambientais causados pela queima da palha da cana-de-açúcar (2001 a 2010). **Revista Cerrados**, v. 14, n. 1, p. 58–76, 2016.

CARDOSO, B. O. **Avaliação da sustentabilidade de sistemas de produção da cana-de-açúcar no estado de São Paulo**: uma proposta metodológica e de modelo conceitual. 2013. 273 f. Dissertação (Mestrado em Multidisciplinar) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

CHIARAVALLOTI, R. M.; SANTANA, S.; MORAIS M. S.; ROCHA, L. M. V.; FREITAS, D. M. Efeitos da expansão da cana de açúcar no sudeste do Mato Grosso do Sul e possíveis caminhos para uma agenda sustentável. **Sustentabilidade em Debate**, v. 5, n.1, p.117-135, 2014.

CONAB – COMPANHIA BRASILEIRA DE ABASTECIMENTO. **Safrá Brasileira de Cana-de-Açúcar**. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 25 out. 2022.

CORREIA, J. E.; MARCATO, A. C. C.; CHRISTOFOLETTI, C. A.; SOTO, M. A.; FONTANETTI; C. S. Toxicidade e genotoxicidade da vinhaça de cana-de-açúcar em peixes em bioensaios laboratoriais. In: **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. Bauru, SP: Canal 6, p. 251-264, 2017.

CRISTÓBAL, J., et al., 2016. Environmental sustainability assessment of bioeconomy value chains. **Biomass Bioenergy**. v. 89, jun., p.159–171, 2016.

DUARTE, C. G.; MALHEIROS, T. F. Sustentabilidade e políticas públicas para o setor sucroenergético: uma análise dos temas abordados. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 4, n. 3, p. 122-138, 2015.

EDWARDS, B. **O guia básico para a sustentabilidade**. Editora Gustavo Gili, 2013.

FERRAZ, J. M. G. Indicadores de Sustentabilidade: Aspectos Teóricos In: **Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. p.15-73, 2003.

FERRAZ, R.; SIMÕES, M., DUBREUIL, V. Indicadores para a avaliação do processo de expansão da cultura canavieira no sul do estado de Goiás. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, v. 29, p. 76-86, 2013.

FONTANETTI, C. S.; BUENO, O. C. (Org). **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. Bauru, SP: Canal 6, 2017.

GOMES, C. S. Impactos da expansão do agronegócio brasileiro na conservação dos recursos naturais. **Caderno do Leste**. Belo Horizonte, v. 19, n.19, p. 63-78, 2019.

GUIMARÃES, L. T.; TURETTA, A. P. D; COUTINHO, H. L. C. Uma proposta para avaliar a sustentabilidade da expansão do cultivo da cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso do Sul. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 2, p. 313-327, 2010.

JESUS, K.R.E.; TORQUATO, S.A.; MACHADO, P.G.; ZORZO, C.R.B; CARDOSO, B.O.; LEAL, M.R.L.V.; PICOLI, M.C.A.; RAMOS, R.C.; DALMAGO, G.A.; CAPITANI, D,H,D.; DUFT, D,G.; SUÁREZ, J.F.G.; PIEROZZI Jr. I.; TREVELIN, L.C.; MOREIRA, D.A. Sustainability assessment of sugarcane production systems: SustenAgro Decision Support System. **Environmental Development**, v. 32, p. 1-16, 2019.

KIANG, C. H.; SOTO, M. A.; BASSO, J. B. A cultura da cana-de-açúcar à luz da sustentabilidade. In: **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. Bauru, SP: Canal 6, p.267-275, 2017.

KLINE, K.L.; MSANGI, S.; DALE, V.H.; WOODS, J.; SOUZA, G.M.; OSSEWEIJER, P.; CLANCY, J.S.; HILBERT, J.A.; JOHNSON, F.X.; MCDONNELL, P.C.; MUGERA, H.K. Reconciling food security and bioenergy: priorities for action. **GCB Bioenergy**. v. 9, n. 3, p. 557–576, 2017.

LIBONI, L. B.; CEZARINO, L. O. Impactos sociais e ambientais da indústria da cana-de-açúcar. **Future Studies Research Journal**. v. 4, n. 1, p. 201-230, 2012.

LIMA, S.S; LEITE, L.F.C.; OLIVEIRA, F.C; COSTA, D.B. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**. v.35, n.1, p.51-60, 2011.

MACHADO, P. G.; DUFT, D. G.; PICOLI, M. C. A; WALTER, A. Diagnóstico da expansão da cana-de-açúcar. **Sustentabilidade em Debate**, v. 5, n. 1, p. 13-28, 2014.

MEYER, M. A.; PRIESS, J.A. Indicators of bioenergy-related certification schemes – an analysis of the quality and comprehensiveness for assessing local/regional environmental impacts. **Biomass Bioenergy**. v. 65, jun., p. 151–169, 2014.

NOVACANA. **Aspectos do plantio da cana de açúcar**. Disponível em: <https://www.novacana.com/cana/aspectos-plantio-cana-de-acucar>. Acesso em: 08 mar 2021.

PACCA S.; MOREIRA, J. R. Historical carbon budget of the brazilian ethanol program. **Energy Policy**, v. 37, n.11, p. 4863-4873, 2009.

PINHEIRO, J. N.; FREITAS, B. M. Efeitos letais dos pesticidas agrícolas sobre polinizadores e perspectivas de manejo para os agroecossistemas brasileiros. **Oecologia australis**, v. 14, n. 1, p. 266-281, 2010.

RIBEIRO, A. R. B.; SILVA, F. F.; MEIRELES, Y. S.; MELO, F. L.; RODRIGUES, R. P. Gestão da sustentabilidade no cultivo da cana-de-açúcar: um estudo de caso no Nordeste do Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n.3, p. 843-861, 2018.

RODRIGUES FILHO, S.; JULIANI, A. J. Sustentabilidade da produção de etanol de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 27, n. 78, p. 195-212, 2013.

RODRIGUES, D. M.; NAJBERG, E. Indicadores de sustentabilidade das políticas públicas decorrentes da expansão do setor sucroalcooleiro em Carmo do Rio Verde (GO). **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 61-77, 2013.

ROGERS, R.; GUMUCHDJIAN, P. **Cidades para um pequeno planeta**. Editora Gustavo Gili, 2013.

SAAD, L. P.; IWASAKI, M.T.; SILVA, N. S.; SOUZA-CAMPANA, D.R.; BUENO, O. C.; MORINI, M. S. C. Diversidade da fauna edáfica em cultivos de cana-de-açúcar. In: **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. Bauru, SP: Canal 6, pg.125-147, 2017.

SAMBUICHI, R.H.R; OLIVEIRA, M.A.C; SILVA, A.P.M; LUEDEMANN, G. **A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafio**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). 2012.

SILVA, D.G.L; BATISTI, D.L.S.; FERREIRA, M.J.G.; MERLINI, F.B.; CAMARGO, R.B.; BARROS, B.C.B. Cana-de-açúcar: aspectos econômicos, sociais, ambientais, subprodutos e sustentabilidade. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, pg.1-17, 2021.

SILVA, Evandro de Souza. **A expansão do setor sucroenergético goiano no século XXI: evolução e perspectivas futuras**. 2013. xv, 231 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SILVA, G. M. C. D.; PÉRICO, A. E. Eficiência e sustentabilidade: uma análise econômica, social, ambiental e sustentável das usinas paulistas de cana-de-açúcar. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, n. 3, p. 1-22, 2022.

SOUZA-CAMPANA, D. R.; SAAD, L. P.; SILVA, O. G. M.; BUENO, O. C.; MORINI, M. S. C. Comunidades de formigas em cultivos de cana-de-açúcar. In: **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. Bauru, SP: Canal 6, p.149-178, 2017.

SOUZA, R. B.; MOREIRA-DE-SOUSA, C.; CHRISTOFOLETTI, C. A.; SOUZA, C. P.; FONTANETTI, C.S. Impacto de resíduos (vinhaça e bio-sólido) lançados no cultivo de cana-de-açúcar em representantes da fauna edáfica. In: **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**. Bauru, SP: Canal 6, p.197-214, 2017.

UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA (UDOP). **A história da cana-de-açúcar - da antiguidade aos dias atuais**. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2003/01/01/a-historia-da-cana-de-acucar-da-antiguidade-aos-dias-atuais.html>. Acesso em: 29 mar. 2021.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (ÚNICA). **Observatório da Cana**. Disponível em: <https://observatoriodacana.com.br/>. Acesso em: 08 mar. 2021.