A PRODUTIVIDADE DAS LAVOURAS DE CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO CENTRO-OESTE: UMA ANÁLISE DOS DADOS DOS CENSOS AGROPECUÁRIOS DE 2006 E 2017 COM DADOS EM PAINEL

THE PRODUCTIVITY OF SUGARCANE CROPS IN THE CENTRAL-WEST REGION: AN ANALYSIS OF DATA FROM THE 2006 AND 2017 AGRICULTURAL CENSUS WITH PANEL DATA

Lucas Silva Ramos
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronegócios – UFGD
lucas_smramos@hotmail.com

Jonathan Gonçalves da Silva
Professor Adjunto da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD
jonathandasilva@ufgd.edu.br

Roselaine Bonfim de Almeida
Professora Adjunta da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD
roselainealmeida@ufgd.edu.br

Leandro Vinicios Carvalho
Professor Adjunto da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD
leandrocarvalho@ufgd.edu.br

Grupo de Trabalho (GT): GT04. Questão ambiental, agroecologia e sustentabilidade

Resumo:
O agronegócio tem notória importância na economia brasileira, sendo que representa cerca de 47,6% das exportações do país. Dentre as culturas mais cultivada no Brasil está a cana-de-açúcar. A cana-de-açúcar apresenta-se como uma das matérias-primas para a produção do biocombustível, que corrobora com o desenvolvimento sustentável. Nas últimas décadas, a Região Centro-Oeste vem ganhando destaque em volume e área de produção dessa cultura. Desta forma, identificar os fatores que levam esse destaque é importante. Assim, este trabalho em identificar os determinantes da produção da cana-de-açúcar na região centro-oeste, analisando os itens que podem ser caracterizados como as fontes da produtividade da cultura, com base nas variáveis: agrotóxico, capital, crédito rural, fertilizantes/corretivos, pessoas ocupadas e escolaridade, através da análise em dados em painel, com o modelo aleatório para os anos de 2006 e 2017, com base nos dados do Censo Agropecuário, Pesquisa Agrícola Municipal e Banco Central. Como principais resultados, foram identificadas as variáveis de agrotóxicos, pessoas ocupadas e escolaridade apresentam uma relação positiva e significativa com a produtividade. Já o capital apresenta uma relação negativa, ou seja, a mecanização na produção da cana-de-açúcar provoca uma queda na produtividade, isto devido a compactação do solo, por exemplo.
Palavras-Chave: Bioeconomia; energia renovável; canavieira; agronegócio; biocombustível.

Abstract:
Agribusiness is of notorious importance in the Brazilian economy, representing about 47.6% of the country's exports. One of the most cultivated crops in Brazil is sugar cane. Sugarcane is one of the raw materials for the production of biofuel, which supports sustainable development. In recent decades, the Midwest Region has been gaining prominence in volume and area of production of this crop. In this way, identifying the factors that lead to this highlight is important. Thus, this work aims to identify the determinants of sugarcane production in the Midwest region, analyzing the items that can be characterized as the sources of crop productivity, based on the variables: agrochemicals, capital, rural credit, fertilizers /correctives, persons employed and schooling, through panel data analysis, with the random model for the years 2006 and 2017, based on data from the Agricultural Census, Municipal Agricultural Survey and Central Bank. As main results, the variables of pesticides, employed people and schooling were identified as having a positive and significant relationship with productivity. Capital, on the other hand, has a negative relationship, that is, mechanization in sugarcane production causes a drop in productivity, due to soil compaction, for example.
Keywords: *Bioeconomy; renewable energy; sugarcane; agribusiness; biofuel.*

Introdução

O agronegócio brasileiro tem se destacado no contexto de produção agrícola mundial nos últimos anos, isso devido a diversos fatores como áreas agriculturáveis, clima, investimentos em pesquisas, entre outros. Desta forma, o país alcançou expressiva notoriedade na agropecuária. Esse destaque é notado através do montante exportado, como em 2022, quando 47,6% do montante exportado teve como origem o agronegócio, conforme destaca o Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA (2023).

Dentre as culturas com maior relevância em área e produção no país estão o milho, a soja, a cana-de-açúcar, entre outras culturas. A safra 2020/2021, por exemplo, o Brasil foi o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma área de mais de 8 milhões de hectares (CONAB, 2022).

Conforme Grassi e Pereira (2019), o país tem cerca de 40% da produção mundial cultivada de cana-de-açúcar, em uma área de 1% do território nacional. Desta forma, o país produz quantidades significativas de açúcar e etanol. O etanol é produzido a partir de diversas matérias-primas como: beterraba, milho, batata, cana-de-açúcar, entre outras culturas (GUO; SONG; BUHAIN, 2015). No contexto brasileiro, a produção de etanol está baseada de cana-de-açúcar, a qual também é utilizada na produção de açúcar (BENTIVOGLIO; FINCO; BACHI, 2016).

Nas últimas décadas a produção da cana-de-açúcar foi amplamente cultivadas na Região Sudeste do Brasil, justificando o grande número de usinas na região. Contudo, a produção da cultura expandiu para o Cerrado, principalmente nos estados de Mato Grosso do Sul e Goiás (FILOSO et al, 2015).

Diversos fatores justificam as novas áreas de produção de cana-de-açúcar como a conversão de terras antes utilizada pela pecuária, agora dando lugar a agricultura. Isso, devido a busca de atividades agropecuárias mais lucrativas (EGESKOG et al., 2016).

Conforme Shikida (2013) o aumento da produção e da participação Região Centro-Oeste no montante produzido pelo país, está ligada à busca pela segurança alimentar e por uma matriz enérgica sustentável. Além disso, a conscientização internacional para o consumo de energia renovável tem estimulado a expansão em termos de área e produtividade no Cerrado brasileiro, especialmente nos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul (GRANCO et al., 2017).

A produção de cana-de-açúcar é essencial para o desenvolvimento sustentável, considerando o seu uso na produção de energia renovável, biocombustíveis. Ademais, conforme Filoso et al. (2015), as fontes de energia limpa estão diretamente inseridas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS). Conforme Heimann (2019), os biocombustíveis deverão desempenhar um papel fundamental na implementação dos ODS.

Assim, o objetivo do trabalho consiste em identificar os determinantes da produção da cana-de-açúcar na Região Centro-Oeste, analisando os itens que podem ser caracterizados como as fontes da produtividade da cultura. Desta forma, este trabalho analisa os fatores que justificam a produção/produtividade nessa região, considerando a utilização dos seguintes insumos no processo produtivo: mão-de-obra, maquinários, crédito, escolaridade, a quantidade gasta em agrotóxico e fertilizantes (adubos e corretivos).

Para atender tal objetivo, foi empregado a metodologia de dados em painel para os anos de 2006 e 2017. Para isso, foram utilizados dados do Censo Agropecuário, da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) e do Banco Central.

Este trabalho está dividido em cinco seções, incluindo esta breve introdução. A segunda parte apresenta a caracterização do mercado canavieiro no brasil e a revisão da literatura da produção de cana-de-açúcar e seus derivados (bioenergia, açúcar e etanol). A terceira parte é dedicada à apresentação da metodologia de dados em painel. Na quarta seção tem-se os

resultados e as discussões dos resultados obtidos. Por fim, a última seção é dedicada às considerações finais do trabalho.

2. Caracterização do Mercado da Cana-de-açúcar no Brasil

2.1 Produção da cana-de-açúcar brasileira

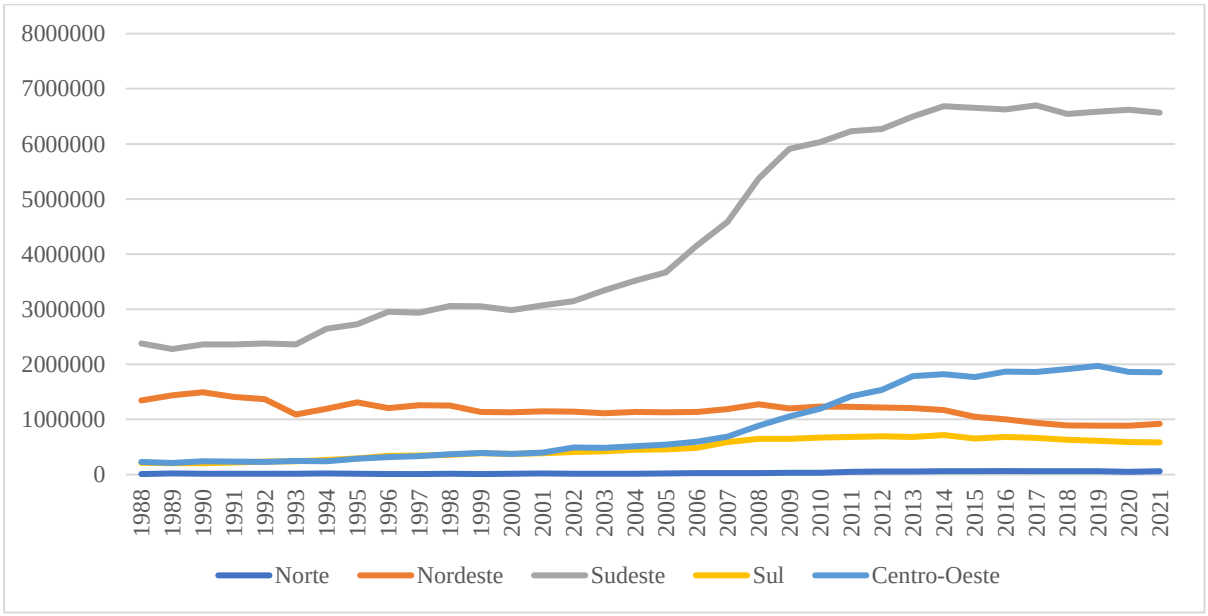
A crescente produção de cana-de-açúcar pode ser explicada pelas iniciativas para a substituição dos combustíveis fósseis e suas consequências negativas ao meio-ambiente, como a emissões de CO_2. Desde a década de 1920, o etanol vem sendo utilizado como combustível no Brasil (LEITE; LEAL, 2007). Esse produto, à base da cana-de-açúcar, foi estimulado pelo Decreto 19.717 de 1931, que estabeleceu uma mistura de 5% de etanol anidro com gasolina.

Contudo, apenas em 1975, com o Proálcool (Programa Nacional do Álcool), foi dada maior importância para o uso de biocombustível no país (LEITE; LEAL, 2007). O programa forneceu incentivos e subsídios para a expansão das destilarias, e nesse mesmo período, foram desenvolvidos veículos movidos a etanol. Além disso, foram realizadas pesquisa para a produção de etanol, o que tornou o seu uso mais viável (LEITE; LEAL, 2007).

O Brasil foi o pioneiro a utilizar o etanol em grandes volumes, isso, ainda na década de 1970, para contornar a crise do petróleo. Com o desenvolvimento da indústria automobilística com tecnologia de motores *flex* (álcool e gasolina), em 2003, o uso de biocombustível foi impulsionado mais uma vez no contexto nacional (BENTIVOGLIO et al., 2016). Os programas que visam a promoção de fontes de energias renováveis, como os biocombustíveis foram empregados por diversos países, com justificativas econômicas, ambientais e sociais, dado que sua produção de forma sustentável é essencial para o futuro do planeta (ROBERTSON et al., 2017).

Nesse sentido, a produção de cana-de-açúcar é fundamental, sobretudo no contexto da sustentabilidade. Isso, devido os acontecimentos já mencionados e outros fatores como, grandes áreas agricultáveis, fazem do Brasil um importante *player* mundial na produção de cana-de-açúcar, a exemplo da safra excepcional de 2020/2021 (CONAB, 2022). Assim, em termos de área plantada, a Região Centro-Oeste vem ganhando espaço no contexto nacional ao longo do tempo, conforme mostra a Figura.

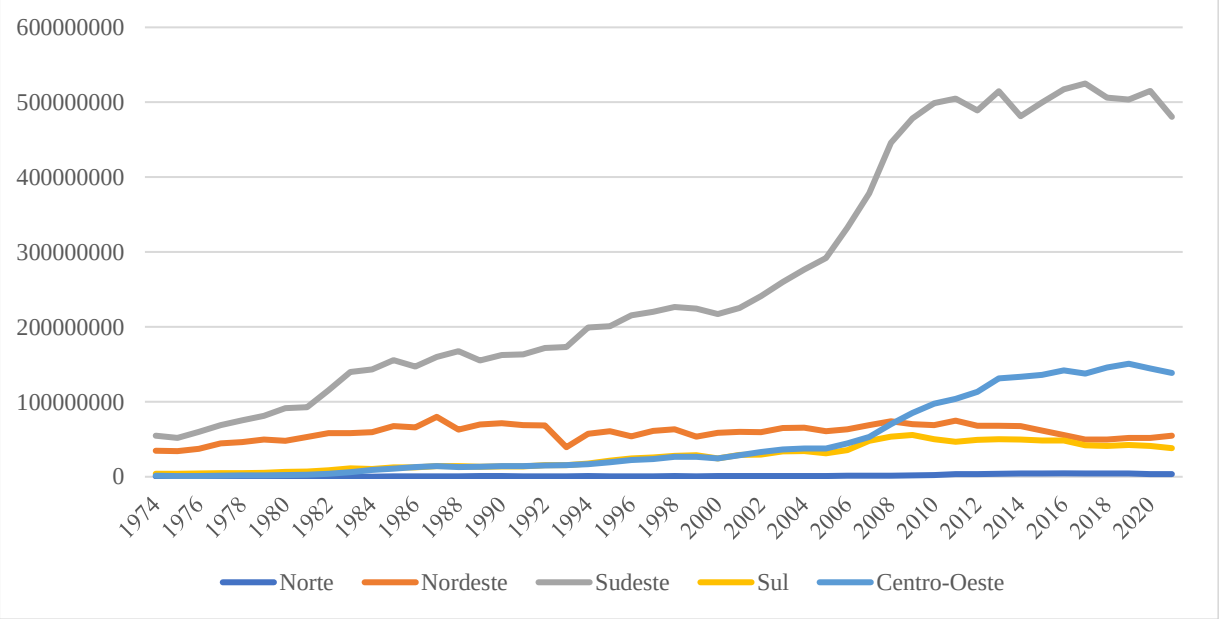
Figura 1 - Área plantada em hectares de cana-de-açúcar por região entre 1988 a 2021, em unidades.



Fonte: Elaboração própria com base na Pesquisa Agrícola Municipal, IBGE (2023).

Como apresentado, a Região Centro-Oeste desde 2010 é a segunda em área plantada do país, tendo uma área inferior apenas a da Região Sudeste. Além disso, quando considerada a produção aquela região também tem ganhado espaço no contexto nacional, conforme mostra a Figura 2.

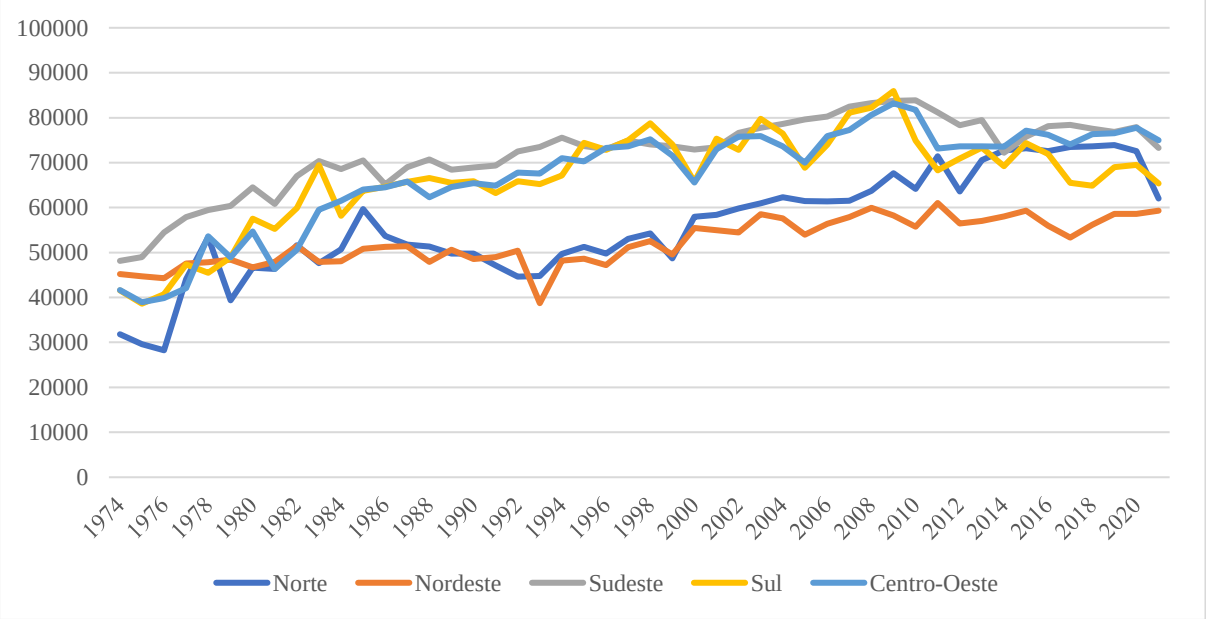
Figura 2 – Quantidade produzida em quilogramas de cana-de-açúcar por região entre 1988 a 2021, em unidades.



Fonte: Elaboração própria com base na Pesquisa Agrícola Municipal, IBGE (2023).

As figuras 1 e 2 mostram que o Centro-Oeste brasileiro se transformou em importante polo produtor de cana-de-açúcar, alcançado a segunda posição no ranking das regiões produtoras dessa *commodity*. Ao considerar a área e produção é possível estabelecer a produtividade por hectare, como é destacado na Figura 3.

Figura 3 – Produtividade com base da quilogramas por hectare da cana-de-açúcar por região entre 1974 a 2021.



Fonte: Elaboração própria com base na Pesquisa Agrícola Municipal, IBGE (2023).

Como apresentado na Figura 3, entre o período inicial de 1974 e final 2021, há uma crescente na produtividade em todas as regiões do Brasil. A produção da cana-de-açúcar possui três destinos principais: a produção de bioeletricidade, de açúcar e de biocombustível (etanol), destacando-se os dois últimos. Assim, a Tabela 1 mostra as estimativas de produção desses subprodutos da cana-de-açúcar, isso para a safra 2022/2023.

Tabela 1- Estimação da produção de produtos da indústria sucroalcooleira safra 2022/2023 para as regiões brasileira.

REGIÃO/UF	AÇÚCAR (mil toneladas)	% da produção de açúcar das regiões	ETANOL TOTAL (Em mil litros)	% produção de etanol por região
NORTE	72,305	0,19%	268.971	1,01%
RR	0		0	
RO	0		0	
AC	0		0	
AM	12,052		4.585	
AP	0		0	
PA	60,253		52.972	
TO	0		211.414	
NORDESTE	3.179,162	8,74%	1.993.574	7,50%
MA	34,678		158.953	
PI	99		44.593	
CE	0		0	
RN	186,262		99.850	
PB	125		382.736	
PE	986,278		391.995	
AL	1.516,944		46.3501,7	
SE	129,77		98.354	
BA	101,23		353.591,7	
CENTRO-OESTE	4.050,673	11,13%	8.364.702	31,45%
MT	494,985		1.003.104	
MS	1.304,643		2.441.378	
GO	2.251,045		4.920.220	
DF	0		0	
SUDESTE	27.002,94	74,24%	14.871.899	55,92%
MG	4.621,995		2.921.507	
ES	133,363		127.933	
RJ	28,701		109.622	
SP	22.218,88		11.712.837	
SUL	2.067,544	5,68%	1.096.933	4,12%
PR	2.067,544		1.096.933	
SC	0		0	
RS	0		0	
BRASIL	36.372,62		265.96.080	

Fonte: CONAB, 2023.

Conforme apresentado na Tabela 1, as estimativas mostram que o país se concentra na produção de biocombustível, quando comparado ao montante de açúcar produzido. Ainda na Tabela 1 é possível verificar as Regiões Sudeste e Centro-oeste como as principais na produção do etanol, enquanto para a produção de açúcar está concentrada, principalmente, na Região Sudeste.

A produção de cana-de-açúcar apresenta notoriedade e importância no contexto da sustentabilidade. Além disso, fatores como a criação do carro *flex* (2003), bem como leis que estimulam a adoção de um percentual de etanol na gasolina, são importantes fontes de crescimento da produção dessa cultura no país. Conforme Caldarelli e Gilio (2018), a expansão da área da cana-de-açúcar também é explicada pela substituição de grandes áreas de pastagens e de outras culturas por lavouras cana-de-açúcar.

Desta forma, a cana-de-açúcar apresenta-se como uma das culturas de maior importância econômica e social no país, gerando empregos e divisas (FERNANDES, SHIKIDA E CUNHA, 2013; PELOSI, SHIKIDA, 2020). Desta forma, sua produção tem impacto econômico e social, e quando considerado o papel dos biocombustíveis no desenvolvimento sustentável, sua produção ganha ainda mais visibilidade. Ademais, considerando seus valores na balança comercial brasileira, a relevância da cultura é demonstrada sua relevância. Assim, a próxima seção irá apresentar a importância socioeconômica da cultura para o país.

2.2 Importância econômica da cana-de-açúcar e seus derivados no contexto brasileiro

Na seção anterior foram apresentados alguns números relativos à produção da cana-de-açúcar no contexto brasileiro, os quais serão complementados com informações sociais subjacentes à produção dessa *commodity*. Assim, a Tabela 2 mostra a importância do setor sucroalcooleiro na geração de emprego no país, nesse caso, nos anos de 2006 e 2018.

Tabela 2 - Número de empregados do setor sucroenergético, por faixa etária para os anos de 2006 e 2018.

	2006				2018			
idade	**Cana-de-açúcar**	**Açúcar**	**Álcool**	**Total**	**Cana-de-açúcar**	**Açúcar**	**Álcool**	**Total**
até 17	534	294	84	912	170	498	397	1.065
18 a 24	34.030	54.647	16.292	104.969	12.139	29.356	13.295	54.790
25 a 29	29.876	48.466	14.343	92.685	14.044	33.339	15.620	63.003
30 a 39	52.611	76.791	23.910	153.312	36.489	81.959	35.748	154.196
40 a 49	39.031	53.411	17.015	109.457	32.298	63.066	24.030	119.394
50 a 64	22.497	25.064	8.192	55.753	27.587	45.008	16.457	89.052
65 ou mais	1.579	1.326	454	3.359	2.847	3.805	1.072	7.724
Total	180.158	259.999	80.290	520.447	125.574	257.031	106.619	489.224

Fonte: Rais/MTE (2023).

Como apresentado, a faixa com o maior número de empregados é a de entre 30 a 39 anos para ambos os períodos. Os empregos diminuem para a cana-de-açúcar e no total, mas para o álcool ele aumenta, demonstrando a crescente predominância da produção de biocombustível no país. Observa-se também que a geração de emprego é predominante para a produção de açúcar em ambos os anos também. Sendo explicado pela pressão da mecanização

da colheita substituindo o processo de queima (SILVA, GILIO e CASTRO, 2019). Como consequência, a geração de empregos diminui no período, isso pode ser em grande parte ocasionado pela mecanização da colheita, assim, tais dados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Tipo de colheita da cana-de-açúcar em porcentual de manual ou mecanizada para os anos de 2007 a 2018.

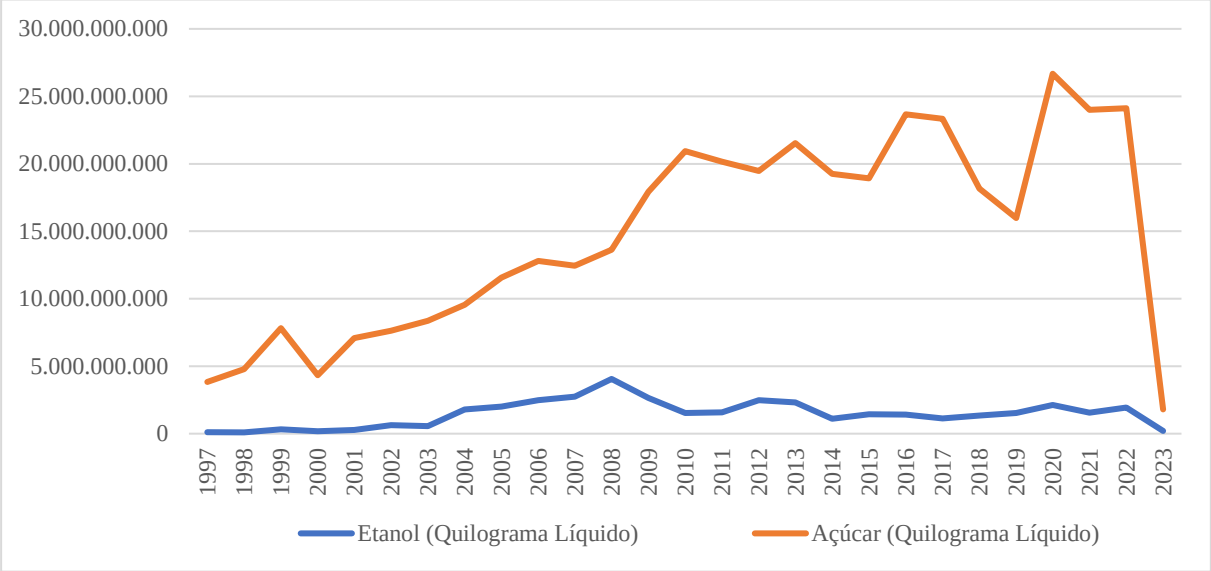
UF/ REGIÃO	Manual 2007/2008	Mecanizada 2007/2008	Manual 2016/2017	Mecanizada 2016/2017	Manual 2017/2018	Mecanizada 2017/2018
NORTE	**46,7**	**53,3**	**-**	**100,0**	**-**	**100,0**
AM	20,0	80,0	-	100,0	-	100,0
PA	63,0	37,0	-	100,0	-	100,0
TO	65,0	35,0	-	100,0	-	100,0
NORDESTE	**97,8**	**2,2**	**82,5**	**17,5**	**82,0**	**18,0**
MA	100,0	-	45,9	54,1	56,5	43,5
PI	100,0	-	91,6	8,4	90,3	9,7
RN	79,7	20,3	44,8	55,3	47,1	52,9
PB	100,0	-	70,4	29,7	75,9	24,1
PE	99,7	0,3	98,1	1,9	96,3	3,7
AL	97,5	2,5	81,9	18,1	80,1	19,9
SE	100,0	-	88,5	11,5	93,8	6,2
BA	100,0	-	88,8	11,2	88,7	11,3
CENTRO-OESTE	**71,1**	**28,9**	**3,1**	**96,9**	**3,5**	**96,5**
MT	66,7	33,3	7,5	92,5	8,3	91,7
MS	80,0	20,0	0,2	99,8	0,9	99,1
GO	68,5	31,5	4,1	95,9	4,2	95,8
SUDESTE	**69,2**	**30,8**	**5,4**	**94,6**	**3,8**	**96,2**
MG	80,6	19,4	3,0	97,0	0,5	99,5
ES	87,3	12,7	39,2	60,8	26,2	73,8
RJ	92,9	7,1	72,5	27,5	55,8	44,2
SP	67,0	33,0	5,5	94,5	4,1	95,9
SUL	**89,6**	**10,4**	**13,4**	**86,6**	**13,9**	**86,1**
PR	89,6	10,4	13,4	86,6	13,9	86,1
RS	100,0	-	17,5	82,5	18,2	81,8
Brasil	**75,6**	**24,4**	**10,2**	**89,8**	**8,8**	**91,2**

Fonte: CONAB, 2022.

A Tabela 3 mostra que a mecanização vem sendo apresentada como principal forma de colheita da cana-de-açúcar, com exceção da Região do Nordeste, onde a mecanização da colheita tem crescido, apesar do percentual de mecanização ser consideravelmente menor ao apresentado por outras regiões do país. O estado de Pernambuco apresenta o menor percentual de mecanização (3,7%) para o último período. Alguns estados apresentam 100% de sua colheita mecanizada, como os estados do Amazonas, Pará e Tocantins na Região Norte. Ademais, destacam-se os estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, com cerca de 99,05% e 99,01% de mecanização no último período, respectivamente.

Além da geração de empregos, a cana-de-açúcar e seus derivados apresentam importância na formação de divisas para economia brasileira. Neste sentido, a Figura 4 apresenta os valores exportados de etanol e açúcar em quilogramas.

FIGURA 4. Exportação de etanol e açúcar em quantidade (quilogramas) para os anos de 1997 a fevereiro de 2023.



Fonte: Elaboração própria com base COMEXSTAT, 2023.

Como apresentado na Figura 4, o montante oriundo da produção canavieira é expressivo e importante para o contexto da balança comercial brasileira. Os dados mostram que em 2009 há uma queda na exportação de etanol, reflexo da crise mundial de 2008, assim, favorecendo o mercado do açúcar no período.

A cana-de-açúcar tem relevância econômica e social (PELOSI, SHIKIDA, 2020), sendo as principais regiões produtoras o Centro-Oeste e Sudeste. Ademais, a cana-de-açúcar apresenta-se como uma importante cultura para o desenvolvimento sustentável do país. Assim, a próxima seção irá apresentar os determinantes que justificam a produção/produtividade da cultura.

2.3. Determinantes da produtividade agrícola e da cana-de-açúcar

Na literatura é encontrado diversos determinantes da produtividade da cana-de-açúcar, como clima, tipo de solo, variedade, uso de insumos, existência de pragas e doenças e políticas públicas (CARDOSO et al., 2018; MARIN; CARVALHO, 2012). Além dessas, a mecanização é apresentada como um dos fatores que afetam negativamente (BACCARIN, 2015). Conforme Dias e Sentelhas (2018), o uso de máquinas compactam o solo, diminuindo a produtividade, além de exigir altos níveis de investimento. Além disso, como apresentado anteriormente nas Tabelas 2 e 3, a mecanização interfere diretamente na quantidade de pessoas ocupadas na atividade econômica.

Outro fator importante que promove a produtividade é o acesso crédito. Conforme Figueira (2020) o crédito impactou na produção e na área plantada da cana-de-açúcar no estado de São Paulo. Conforme Ciaian et al. (2012), o acesso ao crédito agrícola impacta na produção e na produtividade.

Além desses, fatores como a utilização de agrotóxico e fertilizantes (ZHANG et al., 2015), entre outros insumos da produção agrícola, podem influenciar a produtividade da cana-de-açúcar. Ademais, para a análise, foi utilizado a variável escolaridade (KABIRU, 2020), Com

o intuito de identificar como essa influência na produtividade. O Quadro 1 apresenta trabalhos referentes as variáveis selecionadas e os sinais esperados.

Quadro 1. Estudos empíricos selecionados sobre os fatores que corroboram com a produtividade.

AUTORES (ANO)	**VARIÁVEIS**	**SINAL ESPERADO**
OSTAPECHEN; GOTARDO, 2019 KABIRU, 2020	Escolaridade	+
GUEDES; ALMEIDA; SIQUEIRA, 2021; RIBEIRO et al., 2022 DIAS; COSTA, 2023	Crédito rural	+
OLIVEIRA; BUENO, 2019	Crédito rural	+ e -
ZHANG et al., 2015	Fertilizante, mão de obra, pesticida, educação	+
ANDRIANARISON; KAMDEM; CHE, 2021	Escolaridade, crédito, fertilizante, pesticida	+
BACCARIN, 2015 DIAS; SENTELHAS (2018)	Máquinas agrícolas	-
MASYHURI et al., 2020	Fertilizantes Mão de obra	+

Fonte: Elaborado pelo autor.

3. Metodologia

Para análise das variáveis utilizadas nessa pesquisa, utilizou-se o modelo econométrico de dados em painel, o método permite que sejam combinados os dados de cada município estudado da Região Centro-Oeste em cada ano da análise (2006 e 2017). Sendo assim, é possível verificar a heterogeneidade presente nos indivíduos. Além disso, dados em painel admitem a aplicação de um número maior de observações, assim, ampliando os graus de liberdade e diminuindo a correlação das variáveis independentes e explicativas (HSIAO, 2014).

Conforme Woodridge (2001) o modelo geral para dados em painel pode ser descrito como na equação abaixo:

$$Y_{it} = \beta_k + \beta_{it} X_{it} + u_i \quad (1)$$

Em que a variável Y_{it} é a variável dependente da unidade i no ano t; os β's são os parâmetros a serem estimados; X_{it} representa as variáveis independentes da unidade i no ano t; e u_i corresponde a um termo de erro aleatório. De uma forma geral, os dados em painel apresentam-se em 3 modelos: *Pooled*, Efeito Fixo e Efeito Aleatório.

3.1 Modelo *Pooled,* Efeito Fixo e Efeito Aleatório

Ao utilizar a técnica de regressão com dados em painel, o modelo *Pooled* é o primeiro modelo empregado (CAMERON e TRIVEDI, 2009). O modelo de *Pooled* considerará que as observações se comportam de maneira semelhante em todos os municípios analisados, e que há

uniformidade em todas as observações ao longo do tempo. Já o modelo de Efeitos Fixos considera haver alterações nos elementos, porém, uniformes para os municípios e períodos, mas diferente entre as unidades (VERBEEK, 2000). Desta forma, o modelo consegue captar efeitos omitidos entre os municípios, mas constantes em cada um deles, conhecidos no modelo como efeito não-observado.

Por fim, o modelo de Efeitos Aleatórios analisa os elementos de variância para os municípios e o erro, assim, o modelo tem os mesmos pressupostos do Efeito Fixo (intercepto muda entre os municípios, mas não ao longo do tempo), diferenciando-se nos termos de erros nos componentes.

3.3 Testes econométricos: Teste Chow, Hausman e Breusch-Pagan

Para determinar qual modelo econométrico é mais adequado, é necessário a realização de testes enométricos. Desse modo, são apresentados os principais testes para as análises em dados em painel: Chow, Hausman e Breusch-Pagan.

3.3.1 Teste de Chow

O teste de Chow é utilizado para determinar a melhor escolha entre o modelo *Pooled* e o modelo de Efeitos Fixos. Neste, são calculadas as regressões separadas para cada conjunto de dados e são verificadas as diferenças nas equações estimadas. Com esse teste, é possível identificar se os parâmetros são estáveis durante o período analisado. É importante destacar que, se a diferença for significativa, sugere-se uma mudança estrutural na relação. Vale ressaltar que o teste de Chow parte do pressuposto de que a data da mudança estrutural é conhecida (GUJARATI; PORTER, 2008).

3.3.2 Teste de Hausman

O teste de Hausman visa verificar a ortogonalidade entre os efeitos aleatórios e os regressores, além de avaliar se os estimadores de efeitos fixos e aleatórios são significativamente diferentes (HSIAO, 2014). Em síntese, o teste ajuda a decidir qual modelo é mais apropriado entre Efeitos Fixos ou Aleatórios.

3.3.3 Teste do multiplicador de Lagrange Breusch-Pagan

O teste de Multiplicadores de Lagrange é utilizado para selecionar a melhor estimativa entre o modelo *Pooled* e o modelo de efeitos aleatórios, examinando a hipótese de que a variância dos resíduos individuais é igual a zero.

3.3.4 Modelo de regressão proposto para a análise

Para a estudo é proposto o modelo é apresentado que busca identificar os determinantes da produtividade da cana-de-açúcar, para isso, foi considerado a produtividade como a produção em toneladas por hectares nos municípios. A equação 2 apresenta as variáveis o modelo.

$$lnProdcana = \beta 0_i + \beta_1 lncred_{it} + \beta_2 lnpo_{it} + \beta_3 lncap_{it} + \beta_4 lnagrox_{it} + \beta_5 lnadub_{it} + \beta_6 sup_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Em que:

lnProdcana: quantidade produzida por hectares de cana-de-açúcar para os municípios da Região Centro-Oeste;

lncred: Valores concedidos de crédito para os municípios em mil reais;

lnpo: pessoas ocupadas nos estabelecimentos nos municípios;

lncap: maquinário utilizados nos municípios;

lnagrox: valores gastos com agrotóxicos nos municípios;

lnfert: valores gastos com fertilizantes e corretivos nos munícipios;

lnsup: proporção de responsável pelo estabelecimento com nível superior nos municípios.

As variáveis selecionadas foram transformadas em logaritmo para melhor desenvolvimento do trabalho. Desta forma, serão apresentadas as variações percentuais nos resultados obtidos.

3.5 Dados e fontes dos dados da análise

Para análise é utilizada os dados para a cultura da cana-de-açúcar conforme é apresentado no Quadro 2.

Quadro 2– Descrição das variáveis utilizadas no modelo.

Variável	Descrição	Med	Fonte/ano	Sigla
Crédito Rural*	Valores monetários de investimentos.	R$	Banco central (2006 e 2017)	CRED
Agrotóxicos*	Quantidade monetária gasta em agrotóxicos em 2006 e 2017 por município.	R$	Censo agropecuário (2006 e 2017)	AGROX
Capital	Somatória de tratores, semeadeiras ou plantadeiras, colheitadeiras e adubadeiras ou distribuidoras.	Un	Censo agropecuário (2006 e 2017)	CAP
Pessoas ocupadas**	Quantidade de pessoas ocupadas nas fazendas por municípios em 2006 e 2017	Un	Censo agropecuário (2006 e 2017)	PO
Escolaridade***	Proporção dos produtores com ensino superior em2006 e 2017.	Em %	Censo agropecuário (2006 e 2017)	SUP
Produtividade cana	Quantidade média por hectare produzida da lavoura 2006 e 2017.	Ton/ ha	Pesquisa agrícola municipal	PRODCANA
Fertilizantes e corretivos*	Quantidade monetária gasta em fertilizantes em 2006 e 2017 por município.	R$	Censo agropecuário (2006 e 2017)	ADUB

Fonte: Elaboração própria.

A atualização dos valores monetários foi realizada com base no IPCA (2006 para 2017), utilizando dados do Bacen. Cabe destacar que foi considerada pessoas ocupadas com mais de 14 anos para o ano de 2017. Já para 2006, foi considerado pessoas ocupadas com mais de 14 anos, com ou sem laço com o dono da propriedade.

Já para a variável ensino superior, foi considerado a proporção dos responsáveis pelo estabelecimento agropecuário com ensino superior, mestrado ou doutorado para o ano de 2017, para o ano de 2006 foi agregado os valores de engenheiro agrônomo, veterinário, zootecnista, engenheiro florestal e outras formações.

4. Resultados e discussões

Nessa seção são apresentados os resultados obtidos a partir do modelo de regressão de dados em painel. Em primeiro lugar, serão apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas nesta pesquisa, o que será seguido da análise dos testes e dos resultados da regressão. Na Tabela 4 encontram-se a descrição, a frequência, a média ponderada e o desvio-padrão dos períodos analisados.

Tabela 4. Variáveis da análise, número de observações, média, desvio padrão, mínimo e máximo, para os anos de 2006 e 2017.

Variável	Observações	Média	Desvio padrão	Mín	Máx
Produção de cana	734	36.860	29.399	0	125.738
Agrotóxicos	714	21.410,8	69.525,66	1	1.426.748
Pessoas ocupadas	890	607.21	916.5277	0	8.780
Capital	770	329.25	577.84	0	4.904
Fertilizantes	850	20.293,34	53.209,32	0	548.490
Crédito rural	909	24.030,21	50.767,8	10.449,91	763.360,6
Proporção produtores com ensino superior	933	0.1129383	0.0790456	0	0.5196375

Fonte: Resultado da pesquisa.

Para o período analisado e região o número de observações (municípios) são de 466 para 2006 e 467 para 2017, ou seja, um total de 933. Desta forma, com base na Tabela 5, destes 734 municípios houveram a produção de cana-de-açúcar nos períodos analisados.

Ao realizar analisar os testes econométricos para identificação do melhor modelo, conforme o teste de Hausman, o modelo de Efeitos Aleatório é o mais indicado, quando comparado ao de Efeito Fixo. Em seguida foi realizado o teste de Breusch-Pagan para analisar a adequação ao modelo entre Efeitos Aleatórios e *Pooled*. Conforme apresentado, Tabela 5, o modelo Efeito Aleatório foi o mais indicado para a análise. Desta forma, é apresentado os resultados para os três modelos, porém, a análise é realizada utilizando-se o modelo de Efeitos Aleatórios.

Tabela 5. Resultados da análise para efeitos aleatórios, fixo e *pooled.*

Variável	Efeito aleatório	Efeito Fixo	*Pooled*
	Coeficiente (P-valor)	Coeficiente (P-valor)	Coeficiente (P-valor)
lnCred	0.24247 (0.174)	.1632883* (0.072)	.0624247 (0.174)
lnFert	0.71998 (0.240)	.0905262 (0.330)	.071998 (0.240)
lnAgrox	0.978286** (0.025)	.0109466 (0.882)	.0978286 ** .(0.025)
lnPO	0.236528*** (0.001)	.19285 (0.132)	.236528 *** (0.001)
lnCAP	- 0.3376219*** (0.000)	-.1724844 (0.334)	-.3376219 *** (0.000)
Proporcaosuperior	1.529535** (0.028)	-.6246517 (0.625)	1.529535** (0.028)
Constante	1.270147*** (0.000)	.5893461 (0.542)	1.270147*** (0.001)
Observações	933	933	933
R^2	0.31031964	0.54514067	0.29665713
Teste de Hausman	Prob>chi2 = 0.2079		
Teste Breusch Pagan	Prob>chi2 = 0.0000		

Fonte; Resultado da pesquisa. Nota: Significância estatística *** a 1%, ** 5%, * 10%

Os resultados demonstram que para a produtividade da cana-de-açúcar na Região Centro-Oeste os valores de fertilizantes e crédito não foram significativos. Isso pode ser explicado por questões de a produção em novas áreas ser diferente de produtividade nessas, dado que o crédito rural tem papel fundamental para exploração de novas áreas. Assim, como para os fertilizantes os valores não foram significativos, o que pode ter relação com uso do solo e quantidade utilizada de fertilizantes nos municípios, por exemplo, Lacerda et al. (2019), argumenta que a época da adubação pode influenciar na produtividade. Também podem ser consideras questões de solo, em que as exigências de utilizações de fertilizantes diferem entre os municípios (MIGUEL et al., 2010; BONINI et al., 2021).

O montante de agrotóxico está positivamente correlacionado com a produtividade da cana-de-açúcar na Região Centro-Oeste (a um nível de 95% de significância), sendo que o aumento de 1% na quantidade gasta de agrotóxico, elevaria a produtividade da cana-de-açúcar em 0,97%, *ceteris paribus.* Os resultados corroboram os resultados da literatura especializada (ANDRIANARISON; KAMDEM; CHE, 2021; ZHANG et al., 2015). Assim, apesar dos efeitos adversos como a contaminação do solo e das águas, causados pela utilização de agrotóxicos (MORAES, 2019), seu uso ainda gera benefícios para a produtividade dessa cultura.

Os valores para pessoas ocupadas apresentam uma relação positiva com a produtividade, por exemplo, o aumento de 1% na quantidade de pessoas ocupadas nos municípios elevaria em 0,23% a produtividade da cana, *ceteris paribus*. Apesar da queda no número de pessoas ocupadas nas atividades agrícolas sucroenergéticas nos últimos anos, devido a mecanização (GILIO et al., 2019), os valores foram significantes.

O capital apresenta uma relação inversa com a produtividade, sendo o aumento percentual de 1% na quantidade de maquinário poderá diminuir a produtividade das lavouras

de cana-de-açúcar em 0,33%, *ceteris paribus*. Estudos apontam a mecanização como um dos responsáveis pela diminuição da fertilidade do solo (XIAO, et al., 2023). Assim, os resultados para a Região Centro-Oeste são semelhantes aos encontrados por Baccarin (2015) e Castro et al. (2022), isso pode ser apresentado também quando considerado Dias e Sentelhas (2018), que indicam os resultados negativos para a produtividade gerada com a mecanização da colheita pela compactação do solo.

Os valores da mecanização da colheita geraram valores de queda na produtividade. Resultado similar ao encontrado por Ribeiro et al. (2019), que conforme os autores, há uma perda de 10% de toda a colheita com a mecanização. Além da perda de produtividade a mecanização tem sua relevância negativa e positiva, ao considerar questões sociais e ambientais, como a diminuição de empregos e a poluição atmosférica que a colheita manual gera através da queima da cana-de-açúcar (BACCARIN, 2019).

Por fim, a proporção dos responsáveis pelo estabelecimento com escolaridade de nível superior apresentou uma relação positiva com a produtividade. Esses resultados são semelhantes ao que é apresentado na literatura (OSTAPECHEN; GOTARDO, 2019; KABIRU, 2020; ANDRIANARISON; KAMDEM; KAMENI, 2021).

Conforme apresentado, a produtividade pode ser explicada através de variáveis que os produtores possuem algum controle. Contudo, vale destacar que outros fatores podem justificar a produtividade, como variáveis climáticas. Sendo essa essencial para a produção agrícola, ao qual o produtor não possui controle (KURUKULASURIYA; ROSENTHAL, 2013).

Por exemplo, Silva et al. (2022), estudam a relação das variáveis climáticas na produtividade da cana-de-açúcar na Região Nordeste. Assim, apesar da reconhecida influência das variáveis climáticas na produtividade, o estudo não explorou essa relação.

Sendo reconhecida as variáveis climáticas como um dos fatores que justificam a produtividade, as mudanças climáticas poderão influenciar a produção dessa cultura na região Centro-Oeste e no país, no futuro. Apesar dos estudos apresentarem valores nulos e de aumento de produção da cana-de-açúcar, no contexto brasileiro (SOUZA, 2007; OLIVEIRA et al., 2022). Estudos que busquem manter a produtividade da cultura elevada são necessários, devido a importância dessa cultura para o desenvolvimento sustentável.

5. CONCLUSÕES

O trabalho buscou identificar e analisar os determinantes da produtividade da cultura da cana-de-açúcar na Região Centro-Oeste, por sua importância na fronteira agrícola brasileira. A produção dessa cultura é fundamental, devido a demanda crescente por fontes renováveis de energia, como, também, em busca de atingir os ODS. Assim, explorar o assunto é relevante no contexto nacional e internacional, visto que a produção tem sua relevância nas exportações de biocombustível.

Desta forma, o trabalho evidência alguns fatores que justificam a produtividade da cultura da cana-de-açúcar, como a quantidade de pessoas ocupadas, valores gastos com agrotóxico e escolaridade com influência de forma positiva, enquanto capital (máquinas) apresenta-se uma relação negativa. Cabe destacar, que apesar dos valores de capital apresentarem uma relação negativa na produtividade, a mecanização é uma das fontes da produção em áreas amplas. Semelhante ao crédito, que apesar dos valores não significados para a regressão analisada, o crédito é uns dos fatores no qual a produção pode ser ampliada no Brasil.

Dentre as limitações do trabalho está as questões espaciais geográficas existente nos estados, como a qualidade do solo, que podem justificar os valores não significativos para

crédito e fertilizantes. Desta forma, como sugestão para trabalhos futuros é realizar a análise via dados mais específicos, como também, agregar variáveis climáticas à regressão.

REFERÊNCIAS

ANDRIANARISON, F.; KAMDEM, C. B.; CHE KAMENI, B. Factors enhancing agricultural productivity under innovation technology: Insights from Cameroon. African Journal of Science, Technology, Innovation and Development, p. 1–11, 19 jul. 2021.

BACCARIN, J. G. (2015). Mudanças tecnológicas recentes e ocupação canavieira no centro sul do Brasil. Revista Laborativa, 4(1), 56-78.

BENTIVOGLIO D, FINCO A, BACCHI MRP. Interdependencies between Biofuel, Fuel and Food Prices: The Case of the Brazilian Ethanol Market. Energies. 2016; 9(6):464. https://doi.org/10.3390/en9060464

BONINI, C. S B, ALVESS, M. C, HEIRICHS. R, BORIM, W. E. SOUZA, J. A. L, MOREIRA, B. R. A, OLIVEIRA, B. C. L. B, (2021) Produtividade da cana-de-açúcar e qualidade do solo utilizando diferentes doses e fontes de fósforo no Oeste do Estado de São Paulo, Brasil.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). Disponível em: http://pdet.mte.gov.br/acesso-online-as-bases-de-dados.

CALDARELLI, C. E.; CAMARA, M. R. G.; PERDIGÃO, C. Instituições de Ensino Superior e Desenvolvimento Econômico: o caso das universidades estaduais paranaenses. Planejamento e Políticas Públicas, v. 44, p. 85-112, 2015.

CALDARELLI, C. E., & GILIO, L. (2018). Expansion of the sugarcane industry and its effects on land use in São Paulo: Analysis from 2000 through 2015. Land Use Policy, 76, 264-274. http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.05.008

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. Microeconometrics using Stata. College Station: Stata Press, 2009.

CARDOSO, T. F., WATANABE, M. D., SOUZA, A., CHAGAS, M. F., CAVALETT, O., MORAIS, E. R., NOGUEIRA, L. A. H., LEAL, M. R. L. V., BRAUNBECK, O. A., CORTEZ, L. A. B., & BONOMI, A. (2018). Economic, environmental, and social impacts of different sugarcane production systems. Biofuels, Bioproducts & Biorefining, 12(1), 68-82. http://dx.doi.org/10.1002/bbb.1829

CASTRO, N. R, GILIO L. MACHADO (2022) Impactos da mecanização na produtividade agrícola agregada da cana-de-açúcar no estado de São Paulo de 2007 a 2013. https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.235496

CIAIAN, P., & Swinnen, J. F. M. (2009). Credit market imperfections and the distribution of policy rents. American Journal of Agricultural Economics, 91(4), 1124-1139.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Série Histórica das Safras. Brasília: 2021. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras.

DIAS, H. B., & SENTELHAS, P. C. (2018). Sugarcane yield gap analysis in Brazil: a multi-model approach for determining magnitudes and causes. The Science of the Total Environment, 637-638, 1127-1136. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.017 http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.017

DIAS, T. K. M., SILVA, V. H. M. C., & COSTA, E. M. (2023). **Crédito rural e produção das lavouras temporárias nos distintos cenários do Nordeste brasileiro**. Revista de Economia e Sociologia Rural, 61(1), e247380. https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.247380

EGESKOG, A. BARRETTO, G. BERNDES, F. Freitas, M. HOLMÉN, G. SPAROVEK, J. Torén, Actions and opinions of Brazilian farmers who shift to sugarcane an interview-based assessment with discussion of implications for land-use change, Land Use Policy, Volume 57, 2016, Pages 594-604, ISSN 0264-8377, https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.06.022.

FERNANDES, C. B. S.; SHIKIDA, P. F. A.; CUNHA, M. S. O mercado de trabalho formal do setor sucroalcooleiro no Brasil. Redes – Rev. Des. Regional, Santa Cruz do Sul, v. 18, n. 2, p. 177-192, 2013..

FILOSO, S., DO CARMO, J. B., MARDEGAN, S. F., LINS, S. R. M., GOMES, T. F., & MARTINELLU, L. A. (2015). Reassessing the environmental impacts of sugarcane ethanol production in Brazil to help meet sustainability goals. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 52, 1847–1856. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.012

FIGUEIRA, S. R. F (2020). Impactos dos preços e do crédito rural sobre a produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. ARTIGO • Rev. Econ. Sociol. Rural 58 (4) • 2020 • https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.186266

GILIO, L., CASTRO, N. R., RODRIGUES, L., & BACCHI, M. R. P. (2019). Mercado de trabalho formal e rendimentos da agroindústria sucroenergética de 2000 a 2016. *Economia Aplicada*, *23*(4), 93-112. https://doi.org/10.11606/1980-5330/ea151478

GRANCO, G., CALDAS, M. M., BERGTOLD, J. S., & SANT'ANNA, A. C. (2017). Exploring the policy and social factors fueling the expansion and shift of sugarcane production in the Brazilian Cerrado. GeoJournal, 82(1), 63–80. https://doi.org/10.1007/s10708-015-9666y

GRASSI, M. C. B., & PEREIRA, G. A. G. (2019). Energy-cane and RenovaBio: Brazilian vectors to boost the development of Biofuels. Industrial Crops and Products, 129(December 2018), 201–205. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.006

GREENE, W. H. Econometric Analysis. 7. ed. New York: Person, 2012

GUEDES, I. A.; ALMEIDA, A. T. C.; SIQUEIRA, L. B. O. DE. Efeitos do microcrédito rural sobre a produção agropecuária na região Nordeste: evidências do Programa Agroamigo. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 1, p. e210774, 2021.

GUJARATI, D., & Porter, D. (2008). Basic econometrics. 5th edition, New York, USA, McGraw-Hill companies.

GUO, M., SONG, W., & BUHAIN, J. (2015). Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42, 712–725. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.013

HAUSMAN, J. A. Specification tests in econometrics. Econometrica, v. 46, n. 6, p. 1251- 1272, 1978.

HEIMANN, T. (2019). Bioeconomy and SDGs: Does the Bioeconomy Support the Achievement of the SDGs? Earth's Future, 7(1), 43–57. https://doi.org/10.1029/2018EF001014

HSIAO, C. Analysis of panel data. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2014

IBGE (2023). INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo-agropecuário 2006 e 2017 Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017/resultados-definitivos

IBGE (2023). INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Agricola Municipal. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas

KABIRU, S. A. The Relationship Between Education and Agricultural Productivity: The Moderating Effect of NGO. **Universal Journal of Educational Research**, v. 8, n. 3, p. 866–871, mar. 2020.

KURUKULASURIYA, Pradeep & ROSENTHAL, Shane. (2013). Climate Change and Agriculture: A Review of Impacts and Adaptations. Climate Change Series 91. Environment Department Papers, World Bank, Washington, D.C. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/16616

LACERDA, A. R. S. Souza, A. R, Santos, T. M, Clemente, J. M, Duarte, A. R, Machado, M. G. PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO NPK EM DIFERENTES ÉPOCAS. HUMANIDADES & TECNOLOGIA EM REVISTA (FINOM) - ISSN: 1809-1628. Ano XIII, vol. 18- JanDez 2019. http://revistas.icesp.br/index.php/FINOM_Humanidade_Tecnologia/article/view/793/566

LEITE, R. C. C; LEAL, Leal, M. R.V. O biocombustível no Brasil. Novos estud. - CEBRAP, São Paulo , n. 78, p. 15-21, jul. 2007 . Disponível em . acessos em 03 mar. 2023. https://doi.org/10.1590/S0101-33002007000200003

MAPA (2023) Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/exportacoes-do-agronegocio-fecham-2022-com-us-159-bilhoes-em-vendas#:~:text=Com%20esses%20aumentos%2C%20as%20vendas,271%2C4%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas.

MARIN, F. R., Martha Junior, G. B., Cassman, K. G., & Grassini, P. (2016). Prospects for increasing sugarcane and bioethanol production on existing crop area in Brazil. Bioscience, 66(4), 307-316. http://dx.doi.org/10.1093/biosci/biw009 http://dx.doi.org/10.1093/biosci/biw009

MASYHURI, Rahayu Waluyati, L., ROHMAH, F., & Yoga PRASADA, I. (2020). Factors affecting sugarcane production in Probolinggo Regency, East Java Province. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 518(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/518/1/012039

MIGUEL R. M. F, VIEIRA R. S , CHIBA K. M, GREGO R. C , SIQUEIRA M. G. CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE A PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão-ConBAP 2010 Ribeirão Preto - SP, Brasil, 27 a 29 de setembro de 2010.

MÖHRING N, FINGER R, DALHAUS T. Extreme heat reduces insecticide use under real field conditions. Sci Total Environ. 2022 May 1;819:152043. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.152043. Epub 2021 Nov 29. PMID: 34856258.

MORAES, Rodrigo Fracalossi de; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.Brasília; IPEA; 2019. 84 p. ilus, graf.(Texto para DiscussÃ£o / IPEA, 2506). Monografia em Português | LILACS, ECOS | ID: biblio-1054574

OLIVEIRA, A, R.; RIBEIRO. B., LUCIANO. **O impacto do financiamento do PRONAF sobre indicadores agrícolas nas lavouras do Estado do Paraná: uma análise de dados em painel Redes**. Revista do Desenvolvimento Regional, vol. 24, núm. 1, 2019, Janeiro-Abril, pp. 292-309 Universidade de Santa Cruz do Sul Brasil DOI: https://doi.org/10.17058/redes.v24i1.7599)

OLIVEIRA, L. P. M., dos Santos SILVA, F. D., COSTA, R. L., da ROCHA JÚNIOR, R. L., GOMES, H. B., PEREIRA, M. P. S., MONTEIRO, L. A., & da SILVA, V. de P. R. (2020). Impact of climate change on sugarcane yield in Maceió. *Revista Brasileira de Meteorologia*, *35*(Special Issue), 969–980. https://doi.org/10.1590/0102-77863550107

OSTAPECHEN, L. A. P. Análise dos Determinantes da Produtividade Leiteira Municipal na Mesorregião Oeste do Paraná. p. 15, 2019.

PELOSI, E. M., & SHIKIDA, P. F. A. (2020). A Dinâmica do Mercado de Trabalho Formal do Setor Sucroalcooleiro Paranaense de 2000-2017: Evolução dos Empregos e Perfil dos Trabalhadores. Desenvolvimento Em Questão, 18(53), 386–407. https://doi.org/10.21527/2237-6453.2020.53.386-407.

RIBEIRO, A. R. B., SILVA, F. F., MEIRELES, Y. S., MELO, F. L., & RODRIGUES, R. P. (2018). Sustainability management in sugar cane culture: A case study in northeastern Brazil. Revista Em Agronegócio e Meio Ambiente, 11(3), 843–861. https://doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n3p843-861

ROBERTSON, P.G, HAMILTON, S.K, BARHAM B.L, DALE, B.E, IZAURRALDE C.R, JACKSON, R.D. Cellulosic biofuel contributions to a sustainable energy future: choices and outcomes. Science. 2017;80(356):1–9

SHIKIDA, P. F. A. Expansão canavieira no Centro-Oeste: limites e potencialidades. Revista de Política Agrícola, Brasília, DF, ano 22, n. 2, p. 122-137, abr./maio./jun. 2013.

SILVA, A. S, MOURA, G. B. de A., LOPES, P. M. O., GUIMARÃES, M. J. M., BEZERRA, A. C., & Gomes, A. W. A. . (2022). PREDIÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR COM BASE EM MODELO AGROMETEOROLÓGICO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. Nativa, 10(4), 515-524. https://doi.org/10.31413/nativa.v10i4.13773.

SILVA, R. P., GILIO, L., & CASTRO, N. R. (2019). Impactos da eliminação da queimada da cana sobre o setor sucroenergético: uma análise de equilíbrio geral. Revista Economica do Nordeste, 50(1), 9-21.

SOUZA, A. P. A cana de açúcar e as mudanças climáticas: efeitos de uma atmosfera enriquecida em CO2 sobre o crescimento, desenvolvimento e metabolismo de carboidratos de Saccharum spp. Dissertação (mestrado em Biologia Celular e Estrutural) – Universidade Estadual de Campinas. p. 85. 2007.

VERBEEK, M. A guide to modern econometrics. Chichester: John Wiley & Sons, 2000. 384p.

WOOLDRIDGE, J. M. Introductory econometrics: A modern approach. 5. ed. Thomson: South-Western, 2013.

XIAO, Tian LIANG, Shangdong YANG, Hongwei TAN, Do full mechanized management strategies destroy soil health and fertility in sugarcane fields?, CATENA,Volume 224, 2023, 107000, ISSN 0341-8162, https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107000.

ZHANG, C. Shi GUANMING, Jian SHEN, Rui-fa HU. Productivity effect and overuse of pesticide in crop production in China. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 14, n. 9, p. 1903–1910, set. 2015. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61056-5.