

Produção de soja, consumo de energia elétrica e CO₂ evitado com a implantação de sistemas fotovoltaicos: um estudo de caso do Sudeste Goiano

Soybean production, electricity consumption and CO₂ avoided with the implementation of photovoltaic systems: a case study in the Southeast of Goiano

**Sérgio Batista¹, Álvaro Guilherme Rocha², André Barra Neto³, Bruno Garcia de Oliveira⁴,
Sthefânia Magalhães Martins⁵, Guilherme Purcina de Assunção⁶**

*Autor correspondente: Amanda Martins de Souza – E-mail: mariabaggio@yahoo.com.br

Recebido em: 26/07/2023

Aceito em: 14/11/2023

RESUMO: Nos últimos 20 anos, a produção mundial de soja dobrou e o Brasil foi responsável por 52% de toda a soja exportada no mundo na safra 2021-2022. O Estado de Goiás responde sozinho por 14,1 milhões de toneladas de soja e a região Centro-Oeste brasileira foi responsável por 46% da safra nacional de 2021-2022. A produção de soja requer um consumo considerável de energia elétrica. No entanto, é preocupante notar que, em 2021, cerca de 72% da energia elétrica utilizada pelo setor agropecuário brasileiro provinha de fontes não renováveis, como lenha e óleo diesel. Diante deste contexto, o principal objetivo deste estudo é analisar a correlação entre a produção de soja, o consumo de energia elétrica e o potencial de redução das emissões de dióxido de carbono que pode ser alcançado caso os produtores rurais optem por adotar sistemas de energia fotovoltaica. Na avaliação dessa correlação, a análise concentra-se no período de 2005 a 2019, utilizando dados secundários de comprovada confiabilidade. Os resultados obtidos revelam uma forte correlação entre a produção de soja e o consumo de eletricidade no meio rural. Além disso, é possível identificar que a introdução de sistemas de geração fotovoltaica teria evitado a emissão de cerca de 66 toneladas de CO₂ durante a safra de 2020 na região do sudeste goiano. Dado o peso da cultura da soja nessa região, esses resultados têm implicações significativas para o planejamento e a gestão de programas de eletrificação rural, bem como para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis.

Palavras-chave: soja, energia elétrica, sistemas fotovoltaicos, CO₂.

ABSTRACT: The world soybean production has doubled in the last 20 years, and Brazil was responsible for 52% of all soybeans exported worldwide in the 2021-2022 harvest. The state of Goiás accounts for 14.1 million tons of soybeans, and the Brazilian Midwest region was responsible for 46% of the 2021-2022 national harvest. Soybean production requires considerable electricity consumption. However, it is worrying that, in 2021, around

¹ Discente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional (PPGGO) da Universidade Federal de Catalão – UFCAT, Catalão (GO), Brasil.

² Discente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional (PPGGO) da Universidade Federal de Catalão – UFCAT, Catalão (GO), Brasil.

³ Docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional (PPGGO) da Universidade Federal de Catalão – UFCAT, Catalão (GO), Brasil.

⁴ Doutor. Docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Administração Pública (PROFIAP) da Universidade Federal de Catalão – UFCAT, Catalão (GO), Brasil.

⁵ Discente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional (PPGGO) da Universidade Federal de Catalão – UFCAT, Catalão (GO), Brasil.

⁶ Discente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional (PPGGO) da Universidade Federal de Catalão – UFCAT, Catalão (GO), Brasil.

72% of the electricity used by the Brazilian agricultural sector came from non-renewable sources, such as firewood and diesel oil. In this context, the main objective of this study is to analyze the correlation between soybean production, electricity consumption, and the potential for reducing carbon dioxide emissions that can be achieved if rural producers choose to adopt photovoltaic energy systems. In evaluating this correlation, the analysis focuses on the period from 2005 to 2019, using secondary data with proven reliability. The results obtained reveal a strong correlation between soybean production and electricity consumption in rural areas. Furthermore, it is possible to identify that the introduction of photovoltaic generation systems would have avoided the emission of approximately 66 tons of CO₂ during the 2020 harvest season in the southeastern region of Goiás. Given the significance of soybean cultivation in this region, these findings have significant implications for rural electrification program planning and management, as well as the development of more sustainable agricultural practices.

Keywords: Soy; Electrical energy; Photovoltaic Systems; CO₂.

INTRODUÇÃO

A produção mundial de soja dobrou nos últimos 20 anos, passando de 174 milhões de toneladas para 363 milhões de toneladas. Na safra 2021-2022, o Brasil contribuiu com 52% de todo o volume global de soja exportada, totalizando uma produção de 126 milhões de toneladas (USDA, 2022) e com uma expectativa de crescimento na produção de 44,3% de 2019 a 2029 (Girardi, 2022).

Estima-se que a região Centro-Oeste brasileira seja responsável pela produção de 46% da safra nacional de 2021-2022, com o Estado de Goiás respondendo por 14,1 milhões de toneladas de soja (CONAB, 2022). Na safra 2021-2022, a região do sudeste goiano desempenhou um papel significativo ao contribuir com 1,9 milhões de toneladas de soja, o que representa aproximadamente 13,7% de toda a produção estadual de soja em Goiás (IMB, 2022).

Mas para que se tenha esta produção são necessários diversos insumos, dentre eles a energia elétrica. Com o crescimento na produção de soja no país, faz-se necessário o desenvolvimento do setor de energia elétrica, recurso indispensável para fomentar essa produção. O cenário mundial aponta que a demanda por energia elétrica cresceu 2,3% em 2018 (González Celis, 2020) e 4,6% em 2021 (IEA, 2021). Além disso, o aquecimento global é um fator que proporciona insegurança energética e promove a busca por fontes de energias renováveis (Zhang; Ge; Liu; Zhou, 2022).

Em 2021, o sudeste goiano teve o consumo de 21,532 GWh de energia elétrica nas atividades rurais (IMB, 2022), já no setor agropecuário brasileiro houve o consumo de 13.110 GWh de energia. Importante destacar que 72 % da energia produzida para este setor foi por meio de lenha ou óleo diesel (EPE, 2021). Este dado contrasta com a inclusão do

desenvolvimento das fontes de energias renováveis pelos países e a busca por tecnologias sustentáveis (Bianco; Brown; Hafner; Eicke *et al.*, 2019).

As fontes fósseis são limitadas e não renováveis, a utilização destes recursos contribui para a destruição do meio ambiente, uma vez que 85% do enxofre liberado na atmosfera provém da queima de combustíveis fósseis, assim como 75% das emissões de CO₂, principal responsável pelo efeito estufa (Goldemberg; Villanueva, 2003). Estima-se que até 2040, metade da produção da matriz elétrica mundial será produzida por energias renováveis (Gehrke; Goretti; Avila, 2021).

Neste sentido, a Organização das Nações Unidas propõe dobrar as fontes de energias renováveis no mundo até o ano de 2030. O Brasil não tem metas definidas sob o Protocolo de Kyoto, mas assumiu metas voluntárias junto a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima -UNFCCC, onde através da Contribuição Nacionalmente Determinada - NDC, propondo reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025; e em 50% abaixo dos níveis de 2005, em 2030.

A busca mundial por energias renováveis proporcionou um forte crescimento no desenvolvimento da energia solar. Conforme apontado pelo IEA (2022), a geração de energia solar fotovoltaica experimentou um aumento notável de 179 TWh em 2021, ultrapassando a geração de 1000 TWh. Isso equivale a 3,6% de toda a produção global de energia elétrica. Apesar de sua representação ainda ser modesta em comparação com outras fontes, a geração de energia solar registrou um crescimento de 26,5% a.a no período de 2012 a 2021 (Bezerra, 2022). Um fator substancial que impulsionou esse crescimento exponencial na última década é a crescente atratividade econômica dos investimentos em sistemas de geração de energia fotovoltaica, quando comparados à construção de usinas de combustíveis fósseis (Bianco; Brown; Hafner; Eicke *et al.*, 2019).

Em 2021, o Brasil foi o quarto país que mais desenvolveu capacidade de energia solar fotovoltaica em âmbito global, com novos 5,7 GW, sendo que atualmente essa fonte solar já se apresenta em 15GW. No ranking mundial da fonte solar, o Brasil está na décima terceira colocação, com possibilidade de subir para entre os dez primeiros nos próximos anos (Absolar, 2022), prevendo alcançar em 2031 a potência de 37,2 GW (EPE, 2022). O Estado de Goiás ocupa a sexta colocação no ranking nacional em energia proveniente do sol, com geração distribuída de 594,2 MW (Absolar, 2022).

A relevância do setor agrícola nacional, seu consumo de energia e o cenário de crescimento do uso de energia solar no Brasil são o ponto de partida para este estudo. O objetivo do artigo foi analisar a correlação entre a produção da soja, o consumo de energia

elétrica e a quantidade de dióxido de carbono que pode ser evitada, caso os produtores rurais passem a gerar energia por meio de sistemas de energia fotovoltaicos. Os resultados obtidos contribuem para o planejamento e a gestão de programas de eletrificação rural, bem como para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os dados oficiais da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB e do Instituto Mauro Borges (IMB) apresentam séries históricas que destacam o constante crescimento da área plantada e da produção de soja do Brasil. Esses dados consolidam o Brasil como o maior produtor mundial de soja, uma posição de extrema relevância para a economia do país. Esse crescimento tem se refletido diretamente no aumento do Produto Interno Bruto (PIB) e na geração constante de empregos nos últimos anos. Portanto, a produção de soja desempenha um papel fundamental no mercado, atendendo às demandas locais, regionais, nacionais e internacionais. Esse fenômeno também se manifesta na região sudeste do Estado de Goiás, como evidenciado na tabela a seguir:

Tabela 1. Produção de soja no Sudeste Goiano, em Goiás e no Brasil – Safra 2015/16 a 2021/22, em mil toneladas, com previsão para a safra 2021/2022

REGIÃO/UF	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22 Previsão ⁽¹⁾
SE/GO	1.262	1.549	1.664	1.633	1.636	1.995	-
GO			12	12	13	14	16.032
	10.250	11.111	.223	.098	159	554	
BRASIL	95.698	115.027	123.259	119.718	124.845	138.153	124.048

Legenda: ⁽¹⁾ Estimativa em agosto/2022.

Fontes: Conab (2022); IMB (2022)

No entanto, para impulsionar o crescimento da produção de soja, é imperativo aumentar a disponibilidade de energia elétrica. De acordo com os dados oficiais da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), fica evidente que o setor agropecuário brasileiro consumiu um total de 3.158 GWh de energia elétrica proveniente da queima de lenha e mais 6.264 GWh gerados a partir óleo diesel.

Tabela 2. Consumo de Energia no Setor Agropecuário, no Brasil, por Fonte (GWh) - Série Histórica – 2010 a 2021

FONTE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Lenha	2.523	2.446	2.421	2.639	2.682	2.814	2.618	3.136	3.054	3.171	3.198	3.158
Óleo Diesel	5.486	5.379	5.595	5.594	5.833	5.884	5.748	6.150	6.023	6.134	6.230	6.264
Biodiesel	267	264	275	275	327	414	404	484	604	661	735	722
Óleo Combustível	79	17	21	29	24	14	11	13	13	10	10	9
Gás Liquefeito de petróleo	10	12	11	12	2	2	18	20	21	21	23	26
Eletricidade	1.629	1.846	2.001	2.046	2.286	2.304	2.429	2.471	2.616	2.617	2.797	2.914
Carvão Vegetal	8	7	7	8	8	8	8	9	9	9	9	9
Álcool Hidratado	8	9	10	11	11	13	9	9	9	9	9	9
TOTAL	10010	9980	10342	10614	11174	11452	11244	12292	12348	12631	13012	13110

Fonte: EPE (2021)

Essa expansão da produção de soja no Brasil provavelmente terá efeitos danosos ao meio ambiente, onde deve-se discutir o uso de agrotóxicos para lavouras mais resistentes às pragas, desmatamento das florestas e produção de energia elétrica com combustíveis fósseis. Essas questões são relevantes nas políticas públicas, onde deve-se promover o desenvolvimento de alimentos e geração de empregos de forma sustentável, e ações ligadas ao ativismo ambiental, como a criação de um regime climático global, sendo este representado pelo Protocolo de Kyoto, bem como demais tratados climáticos, que vem a incluir o Tratado de Paris assinado em 2016 e o acordo de Glasgow de 2021 (COP26), que visam regular e gerenciar emissões de gases de efeito estufa (Chakravorty; Magné; Moreaux, 2006).

A transição sustentável dos combustíveis fósseis pode ser concretizada por meio da implementação de fontes de energia renovável, tais como sistemas de energia eólica, hidrelétrica e solar fotovoltaica (Irena, 2016). Na última década a geração de energia solar fotovoltaica apresenta-se mais atraente economicamente do que construir usinas de combustíveis fósseis (Raturi, 2019). Estudos realizados pelos autores Altoé *et al.* (2017), Silva *et al.* (2017) e Souza *et al.* (2018), verificaram que os sistemas fotovoltaicos promovem benefícios ambientais, além de serem economicamente viáveis pela redução dos gastos com energia. A tecnologia já vem sendo utilizada no estado goiano em algumas propriedades rurais para alimentação de granjas, silos e pivôs, demonstrando ser vantajoso a adoção do sistema fotovoltaico, conforme o estudo dos autores Sousa; Júnior; Evangelista; Casaroli e

Mesquita (2019), onde foi demonstrado a utilização de energia fotovoltaica em pivô central no estado de Goiás.

A avaliação do uso do solo e aptidão agrícola são importantes antes da instalação de usinas solares fotovoltaicas, deve-se priorizar áreas improdutivas, ou seja, solos menos férteis e que não interfiram no meio ambiente, como reservas legais, ressaltando que as placas solares também podem ser instaladas nos galpões, silos e telhados dos prédios rurais (Dantas, 2020).

A China encontra-se na liderança mundial com maior potência instalada de geração de energia solar (De Souza Ribeiro Filho; Pereira; Velázquez, 2022), liderando o ranking geral com 306 GW e como maior produtor de painéis e inversores solares (IEA, 2021).

Liu, Wang e Wang; Li *et al.* (2022), pesquisando a contribuição das energias eólica e solar para a neutralidade de carbono na China identificou que para limitar o aquecimento atmosférico abaixo de 1,5 °C, a geração de energia pode precisar atingir aproximadamente 5,4–9,7 PWh até 2050, o que resultaria em uma redução de 4,54–8,15 Gt de CO₂ emitido por ano. Identifica ainda que com implantações de políticas de financiamento verde, como precificação de carbono, certificado verde e crédito verde pode reduzir fortemente o LCOE⁷ de energia eólica offshore e energia solar. O país asiático possui meta ambiciosa de neutralidade de carbono até 2060.

À medida que o mundo faz a transição dos combustíveis emissores de carbono para as energias renováveis e neutras em carbono, os esforços nas pesquisas mudaram o foco e a perspectiva geral é especificar os impactos da inovação tecnológica no consumo de energias renováveis. A agricultura brasileira para continuar sendo a maior exportadora do grão de soja deve adequar os processos e consumo energético reduzidos, sendo necessário avançar com medidas de adaptação aos impactos das alterações climáticas. É importante a avaliação econômica do uso da energia fotovoltaica no meio rural, pois a energia elétrica possibilita a geração de trabalho, proporcionando às pessoas melhor qualidade de vida e promovendo o desenvolvimento para as propriedades rurais (De Arruda Viana; Zambolim; Sousa; Tomaz, 2019).

2 MÉTODO

⁷ Levelized Cost of Energy, ou Custo Nivelado da Energia. Mede os custos médios para construir e operar uma usina geradora de energia ao longo de sua vida útil. Também é comumente usado para comparar os custos de eletricidade de diferentes tecnologias de energia de forma consistente.

Para analisar a correlação da produção de soja e o consumo de energia elétrica foram utilizados dados oficiais do estado de Goiás fornecidos pelo Instituto Mauro Borges – IMB (2022). Na seção “Estatísticas Municipais - (Séries Históricas)”, foi selecionada a abrangência como “Regiões de Planejamento”, e recorte para “Região de Planejamento: Sudeste Goiano”. A amostra considera os vinte e dois municípios que compõem a região do Sudeste do Estado do Goiás⁸, situada na região Centro-Oeste do Brasil.

⁸ Municípios da Região Sudeste do Estado de Goiás – Gameleira de Goiás; Leopoldo de Bulhões; Silvânia; Vianópolis; São Miguel de Passa Quatro; Cristianópolis; Santa Cruz de Goiás; Orizona; Palmelo; Pires do Rio; Urutaí; Campo Alegre de Goiás; Ipameri; Nova Aurora; Goiandira; Catalão; Cumari; Anhanguera; Ouvidor; Três Ranchos; Davinópolis.

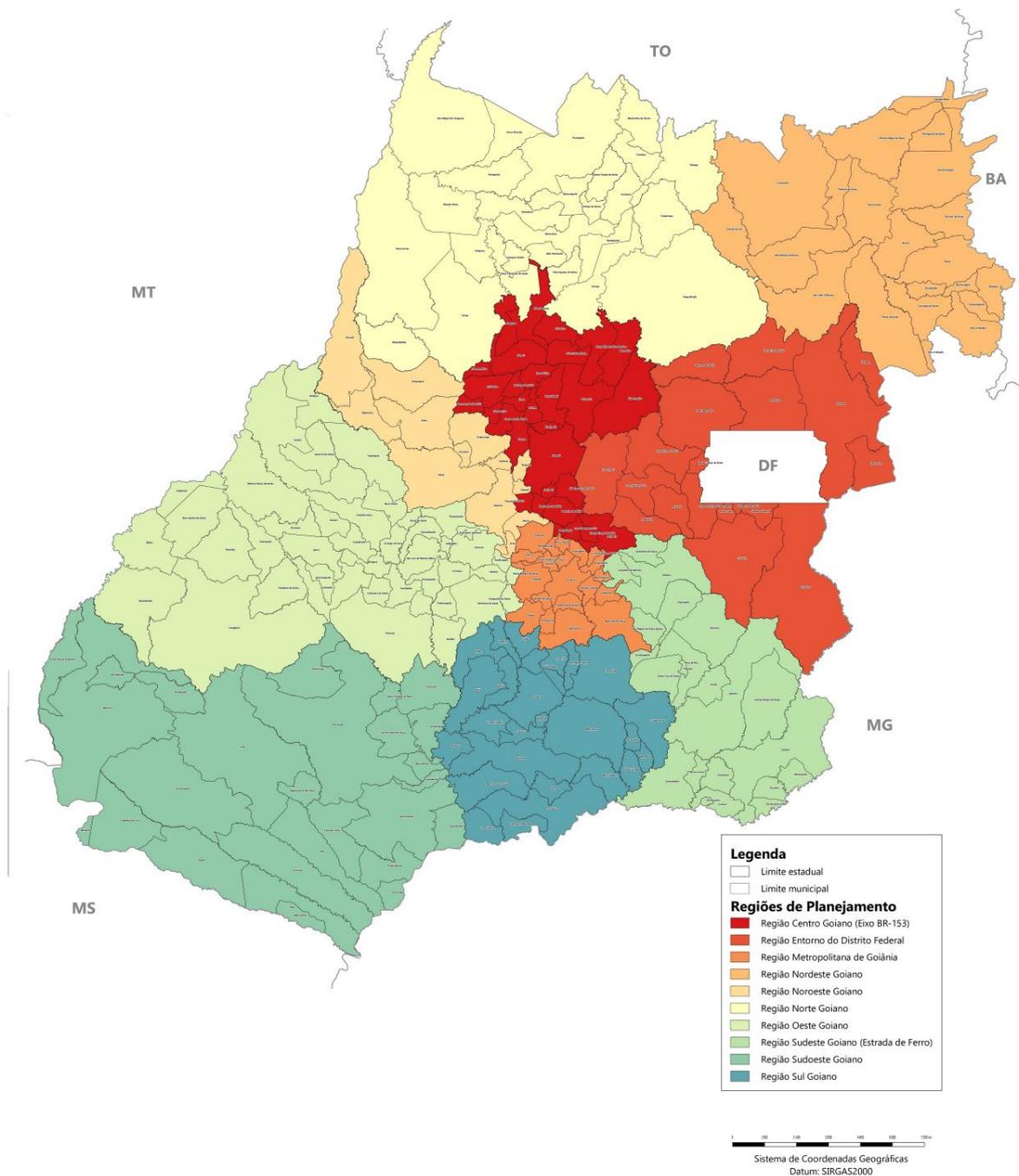


Figura 1. Regiões de Planejamento do Estado de Goiás.

Fonte: Instituto Mauro Borges, 2021.

Os dados foram coletados para o período de 2005 a 2019. Para cada um dos municípios da amostra foram selecionadas as seguintes variáveis de estudo: "Produção de Soja (em toneladas)", "Produtividade de Soja (em toneladas por hectare)" e "Consumo de Energia Elétrica Rural (em MWh)".

O software SPSS Statistics da IBM 21.0 foi utilizado para análise estatística. Na primeira etapa foram realizados testes para verificar se os pressupostos estatísticos foram atendidos, incluindo o teste de normalidade das variáveis, a avaliação da linearidade e a detecção de valores discrepantes.

Uma vez confirmado que as variáveis atendiam aos pressupostos de normalidade, linearidade e ausência de valores discrepantes, foi conduzida uma análise bivariada utilizando a Correlação de Pearson. As correlações foram estabelecidas da seguinte forma: "Produção de Soja x Consumo de Energia Elétrica Rural" e "Produtividade de Soja x Consumo de Energia Elétrica Rural".

Para a interpretação dos resultados dos coeficientes de correlação, foi adotado o nível de significância $\alpha = 0,05$ e considerado os seguintes valores de referência: "Correlação Fraca ($r < 0,25$)", "Correlação Moderada ($0,25 \leq r \leq 0,50$)", "Correlação Forte ($0,5 \leq r \leq 0,75$)" e "Correlação Muito Forte ($r > 0,75$)" (Marôco, 2018).

Para a verificação da quantidade de CO₂ a ser evitada foi utilizado como parâmetro para simulação que toda a produção fosse produzida por energia solar fotovoltaica. Os cálculos foram baseados no estudo dos autores (Liu; Wang; Wang; Li *et al.*, 2022) e utilizam o consumo de energia elétrica por produtividade em KWh/sc.

3 RESULTADOS

A região do sudeste goiano, composta por 22 municípios, teve 513.910 hectares de área plantada de soja no ano de 2020, sendo produzidas 1.995.411 toneladas deste grão, o que corresponde a uma produtividade de 3,88 t/ha, ou seja, 64,71 sacas dessa commodity por hectare (IMB, 2022), sendo necessário o consumo de energia elétrica de 2,9 KWh para produção de cada saca do soja.

Tabela 3. Variáveis de estudo - série histórica - 2015 a 2020

Região do Sudeste Goiano	2.015	2.016	2.017	2.018	2.019	2.020
Área colhida de soja (ha)	459.770	465.700	472.280	452.700	493.585	513.910
Quantidade produzida de soja (ton)	1.262.360	1.548.654	1.664.008	1.632.755	1.636.162	1.995.411
Média de Produtividade (sc/ha)	44,42	54,81	59,49	51,66	55,44	64,71
Consumo de energia elétrica rural (MWH) / sc de soja	2996,15	2668,66	3157,22	3122,07	3100,45	2880,78
Consumo de energia elétrica rural (KWH) / sc de soja	3,0	2,7	3,2	3,1	3,1	2,9

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa

Na tabela acima, verifica-se os resultados do teste de normalidade das variáveis do estudo. Considerando o nível de significância $\alpha = 0,05$, todos os testes estatísticos, tanto de Kolmogorov-Smirnov, quanto Shapiro-Wilk retornaram valores estatisticamente significativos, maiores do que 0,05, para afirmar que as distribuições das variáveis atendem o pressuposto de normalidade. Ainda, os resultados apontaram a linearidade e ausência de valores discrepantes. Portanto, propõe-se a utilização da Correlação de Pearson para a verificação da intensidade e direção das relações entre as variáveis propostas para este estudo.

Tabela 4. Teste de Normalidade das Variáveis

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estatística	df	Sig.	Estatística	Df	Sig.
Consumo de Energia	0,115	15	,200*	0,964	15	0,754
Produção de Soja	0,183	15	0,188	0,923	15	0,217
Total de Empregos	0,15	15	,200*	0,945	15	0,449
PIB	0,163	15	,200*	0,955	15	0,606
Produtividade Soja	0,16	15	,200*	0,964	15	0,754
Área Colhida	0,215	15	0,059	0,892	15	0,073

*. Este é um limite inferior da significância verdadeira.

a. Lilliefors Significance Correction

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa

Identifica-se coeficientes de correlação e a significância estatística entre as variáveis “Produção de Soja” e o “Consumo de Energia Elétrica Rural” na região do sudeste goiano, sendo positiva, muito forte e estatisticamente significativa ($r = 0,934$; e $p < 0,05$).

Tabela 5. Correlação de Pearson - Produção de Soja x Consumo de Energia Elétrica Rural no Sudeste Goiano

		Produção de Soja (ton)	Consumo (mwh)
Produção de Soja (ton)	Correlação de Pearson	1	,934**
	Sig. (2 extremidades)		,000
	N	16	16
Consumo de Energia (mwh)	Correlação de Pearson	,934**	1
	Sig. (2 extremidades)	,000	
	N	16	16

** . A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa

Os resultados dos coeficientes de correlação e a significância estatística entre as variáveis “Produtividade de Soja” e o “Consumo de Energia Elétrica Rural” na região do sudeste goiano, são positiva, muito forte e estatisticamente significativa ($r = 0,779$; e $p < 0,05$).

Tabela 6. Correlação de Pearson - Produtividade de Soja x Consumo de Energia Elétrica Rural no Sudeste Goiano

		Produtividade (ton/ha)	Consumo (mwh)
Produtividade (ton/ha)	Correlação de Pearson	1	,779**
	Sig. (2 extremidades)		,000
	N	16	16
Consumo de Energia (mwh)	Correlação de Pearson	,779**	1
	Sig. (2 extremidades)	,000	
	N	16	16

** . A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa

Os resultados dos coeficientes de correlação de Pearson, de acordo com os valores de referência estabelecidos, apontam para correlações positivas, robustas e estatisticamente significativas entre todas as variáveis de estudo. Assim, é essencial enfatizar que, na região do sudeste goiano, o consumo de energia elétrica rural aumenta de forma proporcional à expansão da produção de soja, indicando uma correlação positiva muito forte entre essas variáveis. De maneira semelhante, observa-se que o consumo de energia elétrica rural está diretamente relacionado à produtividade da soja. É importante destacar que esses resultados não estabelecem uma relação de causa e efeito entre as variáveis, mas demonstram uma conexão significativa entre elas.

Quadro 1. Análise de correlação

Correlação	Coefficiente (r)	Interpretação
Produção de soja x Consumo de energia elétrica rural	0,934	Muito forte

Produtividade de soja x consumo de energia elétrica rural	0,779	Muito forte
Produção de soja x Produto Interno Bruto	0,901	Muito forte
Produção de soja x Empregos gerados	0,839	Muito forte

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa

O Gráfico 1 oferece uma visão abrangente dos resultados dos coeficientes de correlação, abordando todos os municípios que compõem a região do sudeste goiano. É notável que os municípios de Corumbaíba, Goiandira, Leopoldo de Bulhões e Silvânia se destacam nesse contexto. Eles exibem um padrão notável: à medida que a produção de soja aumenta, o consumo de energia elétrica rural também acompanha esse crescimento, o que evidencia uma correlação positiva e altamente significativa entre essas variáveis.

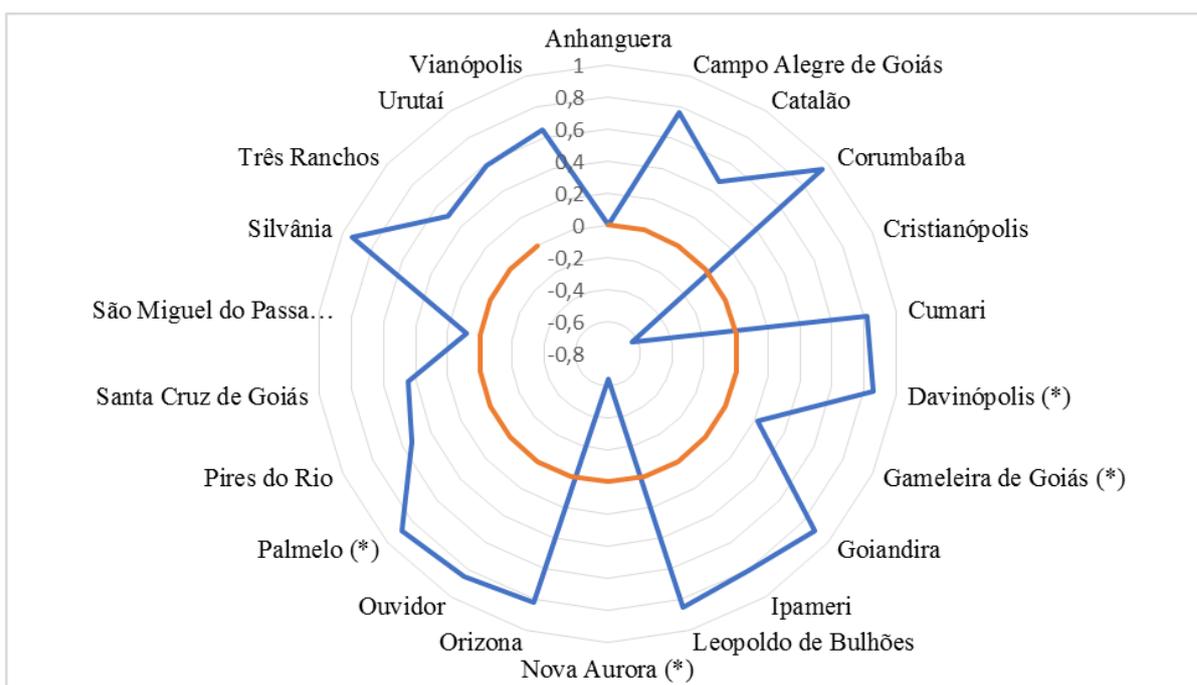


Gráfico 1. Coeficiente de correlação soja produzida x consumo de energia elétrica rural.

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa

Após demonstrar a forte correlação entre a produção de soja e o consumo de energia elétrica, foi realizada uma simulação na qual se considerou que a produção de soja no sudeste goiano é conduzida inteiramente com energia limpa, por meio de sistemas de energia fotovoltaica. Com isso, é possível avaliar a quantidade de dióxido de carbono que poderia ser evitada. Dessa forma, o estudo visa contribuir para que o Brasil possa cumprir com suas metas voluntárias perante a UNFCCC, uma vez que 72% da energia consumida nas propriedades

rurais é proveniente de lenha ou óleo diesel, fontes significativas de emissão de dióxido de carbono.

Para estimar o consumo de energia elétrica de cada safra de soja, foram utilizados os dados fornecidos pelo IMB (2022), que ofereceu informações sobre o consumo de energia elétrica por saca, juntamente com os dados de produção de soja na região sudeste goiano, conforme apresentados nas Tabelas 1 e 3. Em seguida, a equação para simular a quantidade de emissões de dióxido de carbono que poderiam ser evitadas foi aplicada:

$$E = \textit{Produtividade} * \textit{Sacas de soja} \quad (1)$$

onde E = consumo de energia elétrica (MWh/safra); $\textit{Produtividade}$ = consumo de energia por saca de soja (MWh/saca); $\textit{Sacas de soja}$ = número de sacas de soja por safra.

Com essa equação foi possível estimar a energia gerada anual de cada safra de soja. Para a análise das emissões CO₂ evitada, bem como os demais gases que compõem os gases do efeito estufa (GEE) foi verificado segundo as metodologias adaptadas por Liu *et al.* (2022); Lira *et al.* (2019); Sanquetta (2017) e Buiatti *et al.* (2016), obtidos através da equação a seguir:

$$E_{(tCO_2)} = E * Fe \quad (2)$$

em que $E_{(tCO_2)}$ = emissões de dióxido de carbono evitadas por safra de soja; E = energia gerada por safra (MWh); Fe = fator de emissão (tCO₂).

A partir da equação acima, simula-se as emissões evitadas de dióxido de carbono, caso a produção de soja utilize somente energia de sistemas fotovoltaicos. O fator de emissão de CO₂ foi calculado a partir dos registros do Sistema Interligado Nacional (SIN), onde foi apurado o valor de 0,084275, ou seja, cada 1 KWh de eletricidade de energia solar renovável pode compensar aproximadamente 842 g de CO₂, fator de emissão próximo ao da China apurado em 841g de CO₂, de acordo com o relatório anual da indústria de energia da China (Council, 2019).

Desta forma, identificou-se que caso os produtores rurais na safra 2019-2020 tivessem gerado energia por meio de sistemas fotovoltaicos, o dióxido de carbono evitado representaria 12% de todo o gás de efeito estufa que poderia ser evitado no estado de Goiás.

Quadro 2. Simulação CO₂ evitados na produção de soja com sistemas de energia fotovoltaico

Safra (soja)	Brasil(_t CO ₂)	Goiás (_t CO ₂)	Sudeste do Goiás (_t CO ₂)
2015	4.020	430	53
2016	4.350	420	58
2017	5.530	540	74
2018	5.200	520	71
2019	5.430	570	71
2020	5.080	530	66

Fonte: Elaborado pelos autores com dados da pesquisa

4 CONCLUSÃO

Para que o Brasil mantenha sua posição como um dos maiores produtores de soja do mundo, é imperativo incrementar a geração de energia. O presente estudo revela uma correlação substancial entre a produção de soja e o consumo de energia elétrica, com um coeficiente de 0,934, e uma correlação sólida entre a produtividade da soja e o consumo de energia elétrica, com um coeficiente de 0,779.

No entanto, é importante ressaltar que atualmente, 72% da energia utilizada no setor agropecuário provém da queima de lenha e combustíveis fósseis, o que não é uma abordagem sustentável para o país aumentar sua capacidade de geração de energia. O uso de lenha pode levar ao aumento do desmatamento ou ao redirecionamento de áreas produtivas para o cultivo de florestas destinadas à produção de lenha, diminuindo assim as terras disponíveis para o cultivo, especialmente de soja. Isso, por sua vez, pode resultar em um aumento dos custos da terra e, conseqüentemente, dos custos de produção da soja.

Além disso, a dependência do óleo diesel para a geração de energia elétrica também contribuirá para o aumento dos custos em toda a cadeia produtiva do agronegócio, o que poderá resultar em um aumento nos preços dos grãos.

Esta prática de geração de energia elétrica para a produção agropecuária vai contra a Contribuição Nacionalmente Determinada - NDC do Brasil, compromisso com a UNFCCC. As áreas utilizadas para a produção de lenha podem ser recuperadas contribuindo com a meta de reflorestamento de 15 milhões de hectares degradadas e possibilitar na área de plantio de diversas culturas, principalmente o soja.

Diante deste quadro, foi avaliado a implementação de sistemas de geração fotovoltaicos para suprir esta demanda de crescimento do soja, o que geraria uma redução

estimada de 66 toneladas de CO₂ na safra 2020 no sudeste goiano, podendo chegar a números superiores à medida que haja expansão da produção. A energia solar torna-se uma das principais alternativas para redução de CO₂ na produção agropecuária, contribuindo para que o país possa atingir as metas estabelecidas na NDC, como a neutralidade de emissão de carbono até 2050 e redução de 50% (1,28 Gt CO₂eq) até 2030.

Os projetos de implantações de sistemas fotovoltaicos devem avaliar o uso do solo e aptidão agrícola, devendo os equipamentos serem instalados em áreas que não serão utilizadas para as atividades produtivas rurais ou em telhados de galpões, silos, currais ou prédios administrativos localizados nas propriedades rurais para que a geração de energia não compita com áreas para produção de soja.

Os resultados apresentados têm um potencial significativo para orientar a formulação de políticas públicas voltadas à implementação e ao financiamento de sistemas fotovoltaicos para geração de energia na agricultura, especialmente no segmento da produção de soja. Isso se deve às claras vantagens econômicas e ambientais que essa transição oferece.

Ao adotar fontes de geração de energia mais sustentáveis para a cadeia de produção de soja, evita-se um cenário potencialmente prejudicial. Caso se mantenha a dependência das mesmas fontes de energia tradicionais, entra-se em um círculo vicioso que aumenta os custos na cadeia de produção, prejudicando assim os produtores de soja. Além disso, essa dependência contribui para uma maior emissão de CO₂ na atmosfera, agravando os problemas ambientais e as mudanças climáticas.

Portanto, a promoção de sistemas fotovoltaicos e outras fontes de energia limpa na agricultura não apenas pode aumentar a eficiência e a competitividade do setor, mas também contribuirá significativamente para a redução das emissões de CO₂, beneficiando tanto a economia quanto o meio ambiente. É essencial que as políticas públicas incentivem e apoiem essa transição rumo a práticas mais sustentáveis na agricultura.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no Mundo**. 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em 15 de setembro de 2022.

ABSOLAR. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Energia solar fotovoltaica: Brasil é o 4º País que mais cresceu em 2021**. 20 de Abril 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-fotovoltaica-brasil-e-o-4o-pais-que-mais-cresceu-em-2021/>. Acesso em 27 de setembro de 2022.

ALTOÉ, J. et al. Viabilidade econômico-financeira na instalação de um sistema de energia solar fotovoltaica em uma propriedade rural. **REMAS-Revista Educação, Meio Ambiente e Saúde**, v. 7, n. 1, p. 72-86, 2017.

BEZERRA, F. D. Micro e Minigeração Distribuída e suas Perspectivas com a Lei 14.300/2022. 2022.

BIANCO, E.; BROWN, A.; HAFNER, M.; EICKE, A. *et al.* Renewable Energy Market Analysis. Southeast Europe. 2019.

BRASIL. Acordo de Paris - Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC). 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/comite-interministerial-sobre-mudanca-do-clima/arquivos-cimv/item-de-pauta-3-paris-agreement-brazil-ndc-final-1.pdf/view>. Acesso em 29/09/2022

COUNCIL, China Electricity. **Annual development report of China power industry**. Beijing: CEC, 2019.

CHAKRAVORTY, U.; MAGNÉ, B.; MOREAUX, M. A Hotelling model with a ceiling on the stock of pollution. **Journal of economic Dynamics and Control**, 30, n. 12, p. 2875-2904, 2006.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries Históricas das Safras**. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 08 de agosto de 2022.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da Safra de Grãos, 2º levantamento Safra 2021-2022**. 30 de junho de 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10>>. Acesso em 28 de setembro de 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro 2022.

DANTAS, S. G. **Oportunidades e desafios da geração solar fotovoltaica no semiárido do Brasil**. Texto para Discussão. 2020.

DE ARRUDA VIANA, L.; ZAMBOLIM, L.; SOUSA, T. V.; TOMAZ, D. C. Melhoria Da Qualidade De Vida Em Regiões Rurais Sem Acesso À Energia Elétrica Por Meio Da Geração Solar Fotovoltaica. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, 27, n. 3, p. 204-211, 2019.

DE SOUZA RIBEIRO FILHO, L. A.; PEREIRA, V. L.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G. SIMULADOR DE ENERGIA SOLAR PARA IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO CONTEXTO URBANO. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, 22, n. 1, p. 82-104, 2022.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 07/09/2022.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano decenal de expansão de energia 2031**. Brasília: MME/EPE, 2022. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-deexpansao-de-energia-pde>. Acesso em 27/09/2022.

GEHRKE, P.; GORETTI, A. A. T.; AVILA, L. V. Impactos da matriz energética no desenvolvimento sustentável do Brasil. **Revista de Administração da UFSM**, 14, p. 1032-1049, 2021.

GIRARDI, E. P. Brasil potência agrícola: dinâmicas recentes, projeções, contradições e fragilidades (2006-2029). **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 54, 2022.

GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L. D. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. Edusp São Paulo, 2003.

GONZÁLEZ CELIS, R. Matriz energética mundial y el cambio climático: Estado actual. 2020.

IEA. **Global Energy Review 2021**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>. Acesso em: 06 de junho de 2022.

IEA. **Global Energy Review 2022**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/solar-pv>. Acesso em: 27/09/2022.

IMB – Instituto Mauro Borges. **Mapas das Regiões de Planejamento do Estado de Goiás**. 2021. Disponível em: https://www.imb.go.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=97&catid=32&Itemid=179. Acesso em: 15 de outubro de 2023.

IMB – Instituto Mauro Borges. **Estatísticas Municipais**. 2022. Disponível em: <https://www.imb.go.gov.br/>. Acesso em: 06 de setembro de 2022.

IRENA, I.-P. End-of-life management: Solar photovoltaic panels. **International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems**, 2016.

LIU, L.; WANG, Y.; WANG, Z.; LI, S. *et al.* Potential contributions of wind and solar power to China's carbon neutrality. **Resources, Conservation and Recycling**, 180, p. 106155, 2022.

MARÔCO, J. **Análise Estatística com o SPSS Statistics.: 7ª edição**. ReportNumber, Lda, 2018. 9899676357.

RATURI, A. K. REN21, 2019: Asia and the Pacific Renewable Energy Status Report. 2019.

SILVA, F. V. P. et al. Potencial de energia solar para a irrigação no município de Barbalha-CE. **Energia na agricultura**, v. 32, n. 1, p. 57-64, 2017.

SOUSA, M. A.; JÚNIOR, J. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D.; MESQUITA, M. Nota técnica: estimativa de viabilidade econômica do uso de energia fotovoltaica em pivô central no estado de goiás. **Revista Engenharia na Agricultura**, 27, n. 1, p. 22-29, 2019.

SOUZA, S. V.; GIMENES, R. M. T. VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO HIDROPONICA. **Informe Gepec**, v. 22, n. 2, p. 27-45, 2018.

USDA. United States Department of Agriculture. 2022. Oilseeds. World Markets and Trade. Disponível em: www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade. Acesso em: 27 de setembro de 2022.

ZHANG, M.; GE, Y.; LIU, L.; ZHOU, D. Impacts of carbon emission trading schemes on the development of renewable energy in China: Spatial spillover and mediation paths. **Sustainable Production and Consumption**, 32, p. 306-317, 2022.