

Estado da publicação: Não informado pelo autor submissor

ESTIMATIVA DA PEGADA DE CARBONO NO SETOR AGRÍCOLA DA SOJA E MILHO EM MATO GROSSO

Mauricio Vieira, Cleiton Franco, Natalie Guzatti, Roberto Weber da Silva

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.6430>

Submetido em: 2023-07-14

Postado em: 2023-07-24 (versão 1)

(AAAA-MM-DD)

ESTIMATIVA DA PEGADA DE CARBONO NO SETOR AGRÍCOLA DA SOJA E MILHO EM MATO GROSSO

Mauricio Vieira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1729-4702>

Cleiton Franco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3468-8160>

Natalie Guzatti

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7097-1169>

Roberto Weber Da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1380-6006>

¹ Acadêmico do Curso de Ciências Contábeis da Universidade Estadual de Mato Grosso - UNEMAT.

E-mail: mauriciovieira@unemat.br

² Professor do Curso de Ciências Contábeis da Universidade Estadual de Mato Grosso - UNEMAT

E-mail: cleitonfranco@unemat.br

³ Professor do Curso de Ciências Contábeis da Universidade Estadual de Mato Grosso – UNEMAT.

E-mail: natalie_guzatti@hotmail.com

⁴ Professor do Curso de Ciências Contábeis da Universidade Estadual de Mato Grosso - UNEMAT.

E-mail: roberto.weber@unemat.br

Resumo

A pegada de carbono (PC) surgiu com o intuito de administrar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e é uma das várias formas de se medir seus impactos. Este trabalho tem como objetivo avaliar a pegada de carbono no setor agrícola da soja e milho em Mato Grosso. A estimativa foi calculada levando em consideração as pegadas de carbono individuais do uso de fertilizante, eletricidade para irrigação, das emissões de N₂O e advindas do uso de agrotóxicos. A estimativa foi feita para o período de 2004 a 2022. A metodologia utilizada baseou-se no trabalho de cheng et al. (2011). Ao analisar os resultados da Pegada de Carbono anual, percebe-se uma redução de valores em intensidade de carbono por quantidade produzida para 0,21980 em hectares. Ao comparar os resultados obtidos por Cheng et al. (2011), a intensidade em produção média para o período de 1993 a 2007 foi de 0,110 tonC/ton enquanto que a média no estado de Mato Grosso para a cultura da soja, no período entre 2004 a 2022, foi de 0,21980 tonC/ton. Ao considerar a cultura do milho, os resultados de intensidade de carbono por quantidade produzida foram ainda menores se comparados aos da soja, 0,08224 tonC/ton., o que demonstra que a rotação de culturas é demasiado importante ao medir a pegada de carbono no setor agrícola.

Palavras-Chave: Pegada de Carbono. Indicador ambiental. Setor agrícola. Mato Grosso.

ESTIMATE OF THE CARBON FOOTPRINT IN THE SOY AND CORN AGRICULTURAL SECTOR IN MATO GROSSO

Abstract

The carbon footprint (CP) emerged with the aim of managing greenhouse gas (GHG) emissions and is one of several ways to measure its impacts. This work aims to evaluate the carbon footprint in the soybean and corn agricultural sector in Mato Grosso. The estimate was calculated taking into account individual carbon footprints from the use of fertilizer, electricity for irrigation, N₂O emissions and from the use of pesticides. The estimate was made for the period from 2004 to 2022. The methodology used was based on the work of Cheng et al. (2011). When analyzing the results of the annual Carbon Footprint, a reduction of values in carbon intensity per quantity produced to 0.21980 in hectares can be seen. When comparing the results obtained by Cheng et al. (2011), the average production intensity for the period from 1993 to 2007 was 0.110 tonC/ton while the average in the state of Mato Grosso for the soybean crop, in the period between 2004 to 2022, was 0.21980 tonC /ton . When considering the corn crop, the carbon intensity results per amount produced were even lower compared to soybeans, 0.08224 tonC/ton., which demonstrates that crop rotation is too important when measuring the carbon footprint in the agricultural sector.

keywords: Carbon footprint. Environmental indicator. Agricultural sector. Mato Grosso.

1. Introdução

Mato Grosso desponta como pioneiro na discussão sobre pegada ambiental. Instituído pelo decreto 1.160/2021, o projeto Carbono Neutro MT é uma iniciativa do estado de Mato Grosso para redução da pegada de carbono e, tem por finalidade fortalecer ações que contribuem para o desenvolvimento sustentável, gerando o equilíbrio entre as emissões e remoções de gases do efeito estufa (Mato Grosso, 2023). A meta é alcançar a neutralidade de emissões até 2035, 15 anos antes da meta global, que é em 2050. A nova norma técnica ABNT PR 2060, na qual Mato Grosso será o pioneiro na adoção, irá subsidiar o Programa Carbono Neutro MT, que prevê medidas para neutralizar as emissões de carbono até 2035. A nova norma traz a demonstração de neutralidade carbono, sendo lançada durante a 27^a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, a COP-27, no Egito.

Por meio da iniciativa PRO Carbono *Commodities*, programa global de proteção de florestas da Bayer, que busca apresentar o agronegócio como solução para as mudanças climáticas e preservação da biodiversidade. A mensuração foi feita com ferramenta (PRO Carbono *Footprint*), desenvolvida colaborativamente por meio de uma parceria da Bayer com a Embrapa e lastreada em uma metodologia com reconhecimento internacional, a análise do ciclo de vida (ACV). O programa PRO Carbono *Commodities* estabelece como pré-requisito para participação que os agricultores não tenham convertido áreas de vegetação natural em campos agrícolas nos últimos 10 anos, prática alinhada aos padrões internacionais de certificação de carbono. Além disso, assumem o compromisso de preservar o excedente de vegetação natural nas suas propriedades. Cerca de 4 milhões de sacas de soja da safra 2022/2023 produzidas em uma área de 159 mil hectares agricultáveis em Mato Grosso foram executadas com pegada de carbono mensurada, rastreada e livre de desmatamento (DCF – *Deforestation and Conversion FREE Soy*). O programa registrou dados primários das áreas referentes às 240 mil toneladas de soja produzidas e contabilizou uma pegada média de carbono de 861,55 CO₂ eq/t. (Odocumento, 2023).

A agricultura é o contribuinte maior para as emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE), portanto, a quantificação de diferentes práticas agrícolas é essencial para a identificação de práticas mais sustentáveis. A pegada de carbono tem potencial como ferramenta para avaliar

e comparar o desempenho de GEE de diferentes produtos agrícolas, juntamente com a identificação de pontos para melhorar a eficiência ambiental (Pandey & Agrawal, 2014).

O cultivo de grãos pode ser visto como um sistema que incorpora a produção de materiais ricos em energia, por meio da fotossíntese e uso de insumos altamente dependentes de combustíveis fósseis como diesel, fertilizantes e pesticidas (Pimentel & Pimentel, 2006) e em razão do uso de insumos dependentes de combustível fóssil, problemas ambientais como o aquecimento global pela emissão de gases de efeito estufa (Cowell & Parkinson, 2003).

Consequentemente, além do balanço energético, surgiu a necessidade da determinação das emissões totais de gases de efeito estufa (GEEs) associadas à produção agrícola. A pegada de carbono representa essa determinação e é uma das métricas (categorias de impacto) da avaliação do ciclo de vida do sistema de produção agrícola (Rotz et al., 2010).

O gerenciamento da pegada de carbono na cadeia de produtos é uma etapa importante para o esforço de reduzir essas emissões de gases de efeito estufa (GEE) e mitigar as mudanças climáticas (CARBON TRUST, 2006). Um importante critério que tem sido utilizado para avaliar a sustentabilidade ambiental da produção e distribuição de alimentos é a quantificação de GEE, como o dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq) (DREWNOWSKI et al., 2015), que são gerados de modo significativo do campo até o consumo ou descarte (GARNETT, 2013; ROY et al., 2009).

As alterações climáticas, como o aumento de temperatura, é um dos temas com grande influência no setor agroindustrial dado o fato de que essa é uma das atividades econômicas mais sensíveis à sua variação, podendo resultar em stress hídrico e incidência de pragas e doenças, realidade percebida na quantidade e qualidade da produção agrícola de muitas regiões produtoras (GROSSI et al., 2010).

A pegada de carbono (PC) ganhou grande visibilidade acadêmica ao apresentar resultados eficazes no que dizem respeito à administração de emissões de gases de efeito estufa (GEE), se tornando uma importante ferramenta para se medir seus impactos. Sua importância é apontada principalmente pela sua estimativa gerada a fim de diminuir níveis de poluição e servir como um indicador de sustentabilidade de atividades econômicas ao conseguir quantificar o impacto negativo gerado pelas diversas etapas que gerem emissão de GEE (CARBON TRUST, 2012; PANDEY et al., 2011; HERTWICH & PETERS, 2009).

Podendo ser entendido como uma Análise do Ciclo de Vida dos diversos setores da produção que gerem impactos e GEE, seus meios de averiguação são diversos (CUCEK et al., 2012). Sua utilização, ainda, auxilia governantes e demais tomadores de decisão a perceberem de modo mais eficiente as diversas interfaces socioambientais que seus empreendimentos ou ações apresentam, contrapondo-se a visão usual de “crescimento em desfavor do meio ambiente” (GALLI et al., 2012; MONTIBELLER et al., 2012).

Diante das iniciativas propostas dentro do estado, Mato Grosso surge como destaque no cenário de pesquisas relativas ao mercado de carbono. Esta pesquisa busca contribuir no sentido de discutir e avaliar a contribuição do setor de soja e milho, duas das principais culturas exportadoras de commodities do estado para o balanço de emissões e as mudanças climáticas globais e regionais através da estimativa de pegada de carbono no Mato Grosso.

2. Referencial Teórico

O conceito de pegada de carbono se desenvolveu como expressão da intensidade de gases de efeito estufa (GEE) para atividades e produtos. A aceitação do público e a facilidade de informações sobre GEE atraíram também cientistas e formuladores de políticas para revisar e refinar seus cálculos. Métodos padrão para pegada de carbono foram formulados e padrões específicos do setor estão em desenvolvimento. Essas normas direcionam os procedimentos para realizar a pegada de carbono por meio da avaliação do ciclo de vida em conjunto com a

contabilidade de GEE, classificando as atividades em três níveis com base na ordem das emissões (Pandey & Agrawal, 2014).

O setor agrícola contribui com parcela importante no total das emissões de gases do efeito estufa (GEE). Com alta demanda por alimentos e o crescimento da população, a proporção de emissões de GEE do setor agrícola está escalando. A quantidade total de GEE (em termos de carbono equivalente (C-eq)) emitida pelos processos no setor agrícola é considerada como pegada de carbono da agricultura. Várias atividades relacionadas à agricultura, como aração, lavoura, adubação, irrigação, variedade de culturas, criação de gado e equipamentos relacionados emitem uma quantidade significativa de GEE que são categorizados em três níveis de pegada de carbono, separados por limites hipotéticos (Jaiswal & Agrawal, 2020).

A entrada de energia através de máquinas, eletricidade, manejo da pecuária e combustível fóssil constitui uma grande proporção da emissão de carbono através da agricultura. O sistema de cultivo de cereais, principalmente, produz GEE mais altos do que qualquer outro sistema de cultivo, como vegetais e frutas. Além disso, mudanças no uso da terra, incluindo a conversão do ecossistema natural em agrícola, desmatamento e queima de resíduos de culturas após a colheita, contribuem significativamente para uma maior emissão de carbono (Jaiswal & Agrawal, 2020).

Quantificar a pegada de carbono da produção agrícola pode ajudar a identificar as opções para mitigar as emissões de gases de efeito estufa da agricultura. Usando dados de pesquisa agrícola do leste da China, as pegadas de carbono de três grandes culturas de grãos (arroz, trigo e milho) foram avaliadas quantificando as emissões de gases de efeito estufa de insumos individuais e operações agrícolas com uma metodologia completa de avaliação do ciclo de vida. O uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos contribuiu com 44–79% e as operações mecânicas com 8–15% das pegadas de carbono totais. A irrigação e a emissão direta de metano contribuíram significativamente em 19% e 25%, em média, respectivamente, para a produção de arroz. No entanto, a irrigação foi responsável por apenas 2-3% das pegadas de carbono totais em trigo e milho. As pegadas de carbono da produção de trigo e milho variaram entre as regiões climáticas, e isso foi explicado em grande parte pelas diferenças nos insumos de fertilizantes nitrogenados e operações mecânicas para apoiar o manejo da cultura. Além disso, uma diminuição significativa (22-28%) na pegada de carbono do produto, tanto de trigo quanto de milho, foi encontrada em fazendas de grande porte, em comparação com as menores. (YAN, Ming et al., 2015)

2.1 Estudos correlatos

Quadro 1 - Estudos Correlatos

Autores	Objetivos	Metodologia	Conclusões/Resultados
Pandey, D., Agrawal, M. (2014).	A pegada de carbono tem potencial como ferramenta para avaliar e comparar o desempenho de GEE de diferentes produtos agrícolas, juntamente com a identificação de pontos para melhorar a eficiência ambiental.	Estudos de caso sobre a aplicação da pegada de carbono em práticas de cultivo	Assim, uma diretriz padrão abordando a pegada de carbono especificamente para a agricultura é essencial para a aplicação efetiva dessa ferramenta na quantificação da intensidade de GEE, mitigação do aquecimento global e adaptação a cenários futuros de mudanças climáticas.
Jaiswal & Agrawal,	artigo de revisão se	As práticas de mitigação	o sistema de rotação de

(2020)	concentrará na pegada de carbono da agricultura, incluindo insumos para usos de energia, fertilizantes, adubo orgânico, pesticidas e processos que afetam a emissão de carbono da agricultura.	eficazes na redução da pegada de carbono de várias atividades agrícolas também serão revistas	culturas e a limitação do desmatamento foram discutidos como medidas que podem ajudar a reduzir as emissões de GEE do setor agrícola.
Zortea et al. (2018)	Este estudo objetivou calcular as emissões da mudança do estoque de carbono em razão da MUT para cultivo de soja no estado do Rio Grande do Sul	A partir da metodologia Tier1 do IPCC (2006a), preconizada no guia para cálculo das reservas de carbono nos solos (COMISSÃO EUROPEIA, 2010), utilizando-se informações de dados oficiais nacionais do avanço da soja em 20 anos, no período de 1992 a 2013.	Para cada hectare plantado na safra 2012/2013, apenas 15,4% provém de áreas de pastagem, valor inferior ao estimado em outros estudos que não investigaram as possíveis ocupações da soja durante a expansão.
Vasconcelos, Beltrão, & Pontes (2016)			
Campos et al. (2017)	O objetivo deste estudo foi estabelecer a pegada de carbono para a produção da margarina e da manteiga com uso das normas ISO e PAS aplicadas a uma empresa de alimentos localizada na região Sul do Brasil desde a etapa do campo até a sua forma embalada.	As ACV para margarina e para manteiga foram baseadas na Norma Brasileira (NBR) ISO 14040 (ABNT, 2009a), que define os princípios e a estrutura, na NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b), que estabelece requisitos e orientações, e na PAS 2050 (BSI, 2008), que determina as especificações para a avaliação das emissões de GEE no ciclo de vida de bens e serviços.	A pegada de carbono da manteiga é preponderantemente afetada pela produção de leite, seguida pela industrialização, pelo empacotamento e, com um impacto relativamente pequeno, pelo transporte. No caso da produção de margarina, o fator preponderante depende da origem da soja com expansão agrícola com uso de queimada.
CHENG et al. (2011)	relata uma estimativa básica da pegada de carbono da produção agrícola usando dados estatísticos nacionais chineses para o período de 1993-2007.	O conjunto de dados inclui a quantidade de insumos agrícolas individuais (fertilizantes, pesticidas, diesel, filme plástico), área de cultivo e total de culturas inteiras de produção. Usando os fatores de emissão estimados para as características agrícolas da China e disponíveis no exterior.	Embora tenha havido uma correlação positiva significativa da intensidade de carbono com a produção total, a eficiência de carbono foi mostrada em uma tendência decrescente durante 2003-2007. Portanto, a agricultura de baixo carbono deve ser buscada, e a prioridade deve ser dada à redução da aplicação de fertilizantes na agricultura da China. No entanto, para o desenvolvimento de melhores práticas de

			manejo para mitigação das mudanças climáticas na produção agrícola da China, mais estudos de culturas e regiões e a variação com as condições climáticas e manejos agrícolas são necessários.
YAN, Ming et al. (2015)	Usando dados de pesquisa agrícola do leste da China, as pegadas de carbono de três grandes culturas de grãos (arroz, trigo e milho) foram avaliadas quantificando as emissões de gases de efeito estufa de insumos individuais e operações agrícolas com uma metodologia completa de avaliação do ciclo de vida	As pegadas de carbono da produção de trigo e milho variaram entre as regiões climáticas, e isso foi explicado em grande parte pelas diferenças nos insumos de fertilizantes nitrogenados e operações mecânicas para apoiar o manejo da cultura. Além disso, uma diminuição significativa (22-28%) na pegada de carbono do produto, tanto de trigo quanto de milho, foi encontrada em fazendas de grande porte, em comparação com as menores.	Demonstrou que a pegada de carbono da produção agrícola pode ser afetada pelo tamanho da fazenda e condição climática, bem como práticas de manejo da cultura. Melhorar as práticas de manejo das culturas, reduzindo o uso de fertilizantes nitrogenados e desenvolvendo fazendas em grande escala com agricultura intensiva, podem ser opções estratégicas para mitigar as mudanças climáticas na agricultura chinesa.

3. Métodos da Pesquisa

Na primeira etapa foi realizada uma revisão sistemática da literatura dos estudos correlatos sobre pegada de carbono. O levantamento dos dados foi realizado por meio da coleta de informações do IBGE (2023) para produção, área plantada e rendimento médio por hectare de soja e milho no estado de Mato Grosso considerando o período de 2004 a 2016. Posteriormente, para o período de 2017 a 2022 foram utilizadas as informações do Instituto Mato-grossense de Economia agropecuária (IMEA). Para o cálculo do fator PCA (tabela 2), foram utilizados os valores médios de princípios ativos de agrotóxicos em kg/hectares do período de 2019 a 2022 para o estado do Mato Grosso a partir do Indea (2023) e posteriormente calculados na proporção unitária pela divisão entre kg de agrotóxicos e área plantada em hectares. A estratégia empírica baseia-se no modelo de cálculo utilizado por Cheng et al (2011) e a partir da seguinte fórmula:

$$PCF_{(hectares)} = PCF_{(fertilizantes)} + PCI_{(Eletricidade)} + PCN_{(emissõesN2o)} + PCA_{(agrotóxicos)}$$

$PC_{(hectares)}$ representa a soma dos valores resultantes da multiplicação dos fatores pela área em hectares. O fator $PCF_{(fertilizantes)}$ é a pegada de carbono oriunda do uso de fertilizantes em área de hectares de Mato Grosso; PCI é a pegada de carbono da eletricidade utilizada para irrigação em área de hectares; PCN é a pegada de carbono das emissões de N_2O em área de hectares; e PCA é a pegada de carbono advinda do uso de agrotóxicos em área em hectares. Todos os valores individuais resultado da multiplicação dos dados de entrada pelos fatores. Os fatores aqui utilizados foram também considerados no trabalho de Cheng et al. (2011) e são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1

Fatores de Emissão por tipo de Pegada individual

pegada individual	Fator de emissão	descrição
PCF	1,74	ton de C/ton de fertilizante N
	0,2	ton de C/ton de fertilizante P
	0,15	ton de C/ton de fertilizante K
PCN	0,01	ton de N_2O de fertilizante N
PCA	4,93	ton de C/ton de total de agrotóxicos
PCI	0,74	ton de C/ha

Fonte: Cheng et al. (2011)

4. Resultados da Pesquisa

Os resultados aqui apresentados visam demonstrar o papel da máxima eficiência produtiva, com aumento da área plantada, rendimento médio por hectare e produção da soja, com redução da pegada de carbono. A tabela 2 apresenta os fatores os valores unitários de cada um dos fatores, bem como a quantidade consumida/hectare em Mato Grosso, de acordo com os dados IBGE. A última coluna apresenta o produto dos fatores por hectare que serão posteriormente utilizados para o cálculo da pegada de carbono ao considerar a área plantada.

Tabela 2

Fatores de Emissão, utilização em Mato Grosso e total por hectare para as culturas de soja e milho

Cultura da Soja			
pegada individual	Fatores	Quant. consumida/hectare	Fatores totais/hectare
PCF	2,09	300	627,00
PCN	0,01	300	3,00
PCA	4,93	4,72	23,27
PCI	0,74	200	148,00
Cultura do Milho			
pegada individual	Fatores	Quant. consumida/hectare	Fatores totais/hectare
PCF	2,09	165	344,85
PCN	0,01	165	1,65
PCA	4,93	3,62	17,83
PCI	0,74	200	148,00

Fonte: IBGE (2023) e Indea (2023)

As tabelas 3 e 4 apresentam os resultados do produto dos fatores totais/hectare de Mato Grosso pela área em hectares para as culturas de soja e milho. Os valores são resultado dos cálculos da aplicação dos fatores de fertilizantes (627/ha), energia (148/ha), óxido nitroso (3,00/ha) e agrotóxicos (23,27/ha) multiplicado pela área colhida anual em hectares e posteriormente transformada em tonelada. Por fim, a soma dos resultados dos fatores representará a Pegada de Carbono total para Mato Grosso em tonelada ao ano. Na tabela 3 se pode notar que a PC da soja considerando os fatores de produção vem aumentando ano após em função do rendimento médio da produção. O mesmo ocorre com os resultados da PC da cultura do milho (tabela 4).

Tabela 3

Cálculo da Pegada de Carbono da cultura da soja por tonelada em Mato Grosso – 2004 a 2022

Ano	PCF	PCI	PCN	PCA	PC
2004	3.300.169,36	778.987,34	44.465,44	186.550,69	4.310.172,83
2005	3.828.872,06	903.784,79	56.077,40	216.436,99	5.005.171,25
2006	3.644.065,69	860.162,24	50.214,88	205.990,33	4.760.433,13
2007	3.182.074,53	751.111,69	42.935,17	179.875,07	4.155.996,47
2008	3.548.286,42	837.554,05	50.932,34	200.576,16	4.637.348,97
2009	3.656.330,44	863.057,26	52.483,21	206.683,63	4.778.554,54
2010	3.656.330,44	863.057,26	52.483,21	206.683,63	4.778.554,54
2011	4.046.865,54	955.240,99	60.412,54	228.759,64	5.291.278,71
2012	4.376.892,63	1.033.142,12	66.595,78	247.415,29	5.724.045,82
2013	4.961.881,75	1.171.225,68	72.647,65	280.483,32	6.486.238,39
2014	5.400.722,81	1.274.811,76	77.005,52	305.289,96	7.057.830,06
2015	5.622.107,73	1.327.068,49	85.542,12	317.804,32	7.352.522,66
2016	5.707.406,69	1.347.202,86	81.924,50	322.626,07	7.459.160,12
2017	5.960.681,19	1.406.986,95	97.951,28	336.943,07	7.802.562,48
2018	6.025.177,03	1.422.210,85	96.930,23	340.588,87	7.884.906,97
2019	6.260.761,22	1.477.819,24	106.210,52	353.905,88	8.198.696,85
2020	6.561.481,01	1.548.802,54	108.155,02	370.904,85	8.589.343,42
2021	7.193.003,23	1.697.869,98	122.516,36	406.603,29	9.419.992,86
2022	7.600.816,87	1.794.132,21	135.950,66	429.656,02	9.960.555,76

Fonte: IBGE (2023); Indea (2023) e IMEA (2023)

Tabela 4

Cálculo da Pegada de Carbono da cultura do milho por tonelada em Mato Grosso – 2004 a 2022

Ano	PCF	PCI	PCN	PCA	PC
2004	324.535,58	139.281,62	5.145,99	16.780,89	485.744,07
2005	359.959,60	154.484,62	5.208,22	18.612,58	538.265,02
2006	372.427,65	159.835,56	7.494,88	19.257,27	559.015,37
2007	568.544,19	244.003,31	9.004,22	29.397,95	850.949,67
2008	631.219,30	270.901,72	12.805,60	32.638,72	947.565,33
2009	573.447,62	246.107,72	13.499,34	29.651,49	862.706,17
2010	573.447,62	246.107,72	11.134,21	29.651,49	860.341,04
2011	662.491,68	284.322,95	12.809,23	34.255,73	993.879,59
2012	945.079,70	405.601,84	25.815,60	48.867,62	1.425.364,77
2013	1.178.249,34	505.671,75	33.306,68	60.924,22	1.778.152,00
2014	1.148.627,41	492.958,84	29.820,35	59.392,55	1.730.799,15
2015	1.231.323,48	528.449,69	35.231,17	63.668,55	1.858.672,89
2016	1.288.470,30	552.975,51	25.313,20	66.623,46	1.933.382,47
2017	1.631.796,12	700.321,37	46.635,38	84.375,95	2.463.128,83
2018	1.681.619,17	721.704,04	53.542,86	86.952,17	2.543.818,24
2019	1.868.888,46	802.074,79	58.493,28	96.635,38	2.826.091,92
2020	2.014.287,81	864.476,14	53.576,08	104.153,61	3.036.493,63
2021	2.464.695,49	1.057.778,55	72.333,75	127.443,02	3.722.250,82

2022	2.557.879,70	1.097.770,61	77.555,47	132.261,34	3.865.467,12
------	--------------	--------------	-----------	------------	--------------

Fonte: IBGE (2023); Indea (2023) e IMEA (2023)

O cálculo de Pegada de Carbono e intensidade de carbono por quantidade produzida de soja e milho para o estado de Mato Grosso no período de 2004 a 2022 é apresentado nas Tabelas 4 e 5. A intensidade de carbono por quantidade produzida em hectare representa a razão entre a PC (ton) a quantidade produzida de soja (ton) ou milho (ton). Os resultados demonstram que apesar do aumento da pegada de carbono, a intensidade da pegada de carbono acaba sendo diluída em função da quantidade de área plantada e colhida ano a ano.

Tabela 5
Intensidade da Pegada de Carbono/hectare da cultura da soja para Mato Grosso – 2004 a 2022

Ano	Área (ha)	Quantidade produzida de soja (ton)	Toneladas de soja produzidas por hectare	Pegada de carbono (ton)	Intensidade de carbono por quantidade produzida
2004	5.263.428	14.821,81	2,816	4.310.173	0,29080
2005	6.106.654	18.692,47	3,061	5.005.171	0,26776
2006	5.811.907	16.738,29	2,880	4.760.433	0,28440
2007	5.075.079	14.311,72	2,820	4.155.996	0,29039
2008	5.659.149	16.977,45	3,000	4.637.349	0,27315
2009	5.831.468	17.494,40	3,000	4.778.555	0,27315
2010	5.831.468	17.494,40	3,000	4.778.555	0,27315
2011	6.454.331	20.137,51	3,120	5.291.279	0,26276
2012	6.980.690	22.198,59	3,180	5.724.046	0,25786
2013	7.913.687	24.215,88	3,060	6.486.238	0,26785
2014	8.613.593	25.668,51	2,980	7.057.830	0,27496
2015	8.966.679	28.514,04	3,180	7.352.523	0,25786
2016	9.102.722	27.308,17	3,000	7.459.160	0,27315
2017	9.506.669	32.650,43	3,434	7.802.562	0,23897
2018	9.609.533	32.310,08	3,362	7.884.907	0,24404
2019	9.985.265	35.403,51	3,546	8.198.697	0,23158
2020	10.464.882	36.051,67	3,445	8.589.343	0,23825
2021	11.472.094	40.838,79	3,560	9.419.993	0,23066
2022	12.122.515	45.316,89	3,738	9.960.556	0,21980

Fonte: IBGE (2023); Indea (2023) e IMEA (2023)

Ao analisar os resultados referentes à Pegada de Carbono anual, percebe-se redução na intensidade da pegada de carbono em função do aumento da área plantada e soja no Mato Grosso. Infere-se ainda que o valor de PC está mais ligado à esta área plantada do que propriamente à produção de soja.

Ao comparar os resultados obtidos por Cheng et al. (2011), a intensidade em produção média para o período de 1993 a 2007 foi de 0,110 tonC/ton enquanto que a média no estado de Mato Grosso, no período entre 2004 a 2022, foi de 0,21980 tonC/ton. Ao observamos os resultados para a cultura do milho, observamos a mesma redução na intensidade de carbono por quantidade de produzida, numa escala maior se comparada a cultura da soja, uma vez que se utiliza uma quantidade menor de agrotóxicos e há um aumento da produtividade do milho.

Tabela 6
Intensidade da Pegada de Carbono/hectare da cultura do milho para Mato Grosso – 2004 a 2022

Ano	Área (ha)	Quantidade produzida de milho (ton)	Toneladas de milho produzidas por hectare	Pegada de carbono (ton)	Intensidade de carbono por quantidade produzida
2004	941.092	3.118,78	3,314	485.744	0,15575
2005	1.043.815	3.156,50	3,024	538.265	0,17053
2006	1.079.970	4.542,35	4,206	559.015	0,12307
2007	1.648.671	5.457,10	3,310	850.950	0,15593
2008	1.830.417	7.760,97	4,240	947.565	0,12209
2009	1.662.890	8.181,42	4,920	862.706	0,10545
2010	1.662.890	6.748,01	4,058	860.341	0,12750
2011	1.921.101	7.763,17	4,041	993.880	0,12802
2012	2.740.553	15.645,82	5,709	1.425.365	0,09110
2013	3.416.701	20.185,87	5,908	1.778.152	0,08809
2014	3.330.803	18.072,94	5,426	1.730.799	0,09577
2015	3.570.606	21.352,22	5,980	1.858.673	0,08705
2016	3.736.321	15.341,33	4,106	1.933.382	0,12602
2017	4.731.901	28.263,87	5,973	2.463.129	0,08715
2018	4.876.379	32.450,22	6,655	2.543.818	0,07839
2019	5.419.424	35.450,47	6,541	2.826.092	0,07972
2020	5.841.055	32.470,35	5,559	3.036.494	0,09352
2021	7.147.152	43.838,64	6,134	3.722.251	0,08491
2022	7.417.369	47.003,32	6,337	3.865.467	0,08224

Fonte: IBGE (2023); Indea (2023) e IMEA (2023)

A ideia do presente trabalho é identificar a eficiência e a relação entre rendimento por hectare, aumento da área plantada e redução da pegada de carbono PC. A eficiência máxima foi alcançada para a produção de 2022, cuja intensidade de carbono foi de 0,21980 para cultura da soja e 0,08224 para a cultura do milho. Como a análise dos resultados demonstra-se que o Mato Grosso manteve-se em constante aumento da área plantada, juntamente com o aumento de sua produtividade e rendimento por hectares. Infere-se, portanto, que os investimentos dos produtores e o avanço em tecnologia proporcionam aumento na produtividade e consequentemente contribuem para uma maior eficiência e solução ao problema ambiental.

5. Conclusão e Recomendações

O trabalho aqui apresentado pode trazer conclusões positivas quanto ao desenvolvimento de estudos e políticas para redução das emissões de gases do efeito estufa, uma vez que busca quantificar o impacto da pegada de carbono em Mato Grosso. O programa PRO carbono desenvolvido em parceria com a Embrapa para mensuração da pegada de carbono é uma prova da preocupação do estado com a exportação das commodities para o mercado consumidor global. O PRO Carbono *Commodities* é um desdobramento do PRO Carbono, iniciado em 2021 com 1,9 mil agricultores brasileiros, no qual é feito um trabalho para ampliar a produtividade no campo e o sequestro de carbono no solo pela intensificação de práticas regenerativas.

O trabalho buscou quantificar a pegada de carbono frente a quantidade produzida em Hectares em Mato Grosso para as culturas de soja e milho, as duas principais culturas presentes no estado. Políticas como o Carbono Neutro MT caminham para a redução das emissões de

gases do efeito estufa, demonstrando a responsabilidade do governo do estado e agronegócio para com o meio ambiente e sustentabilidade. Destaca-se o programa desenvolvido em parceria com a empresa, PRO carbono *commodities*, visando a exportação de produtos com reduzida emissão de carbono. Os resultados também demonstraram a importância das variações de culturas para a pegada de Carbono.

Os resultados obtidos por Cheng et al. (2011), se comparados ao presente trabalho apresentam a intensidade para Mato Grosso, no período entre 2004 a 2022, a média de 0,21980 tonC/ton em produção, enquanto que a média de Cheng et al. (2011 para o período de 1993 a 2007 foi de 0,110 tonC/ton. Entretanto, para se obter uma melhor conclusão a respeito de tal comparação, dever-se-ia analisar a média de intensidade de produção de soja no Brasil como um todo, tal qual foi feito no trabalho de Cheng et al (2011) para a China como um todo.

6. Contribuição dos autores

Interpretação e redação do trabalho: autor 1. Concepção do modelo econométrico, planejamento, análise e interpretação: autor 2; Revisão e correção: autores 3 e 4. Ambos os autores aprovaram a versão final encaminhada.

7. Conflito de Interesses

Não há conflito de interesses neste trabalho.

Referências

- Campos, S., Weinschutz, R., Cherubini, E., & Mathias, A. L. (2019). Avaliação comparativa da pegada de carbono de margarina e manteiga produzidas no Sul do Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 24, 93-100.
- Carbon trust. Recuperado de <https://www.carbontrust.com>>
- Cheng, K., Pan, G., Smith, P., Luo, T., Li, L., Zheng, J., ... & Yan, M. (2011). Carbon footprint of China's crop production—An estimation using agro-statistics data over 1993–2007. *Agriculture, ecosystems & environment*, 142(3-4), 231-237.
- Cowell, S. J., & Parkinson, S. (2003). Localisation of UK food production: an analysis using land area and energy as indicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 94(2), 221-236.
- Čuček, L., Klemeš, J. J., & Kravanja, Z. (2012). A review of footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 34, 9-20.
- Dalfovo, M. S., Lana, R. A., & Silveira, A. (2008). Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. *Revista interdisciplinar científica aplicada*, 2(3), 1-13.
- de Vasconcellos, R. C., Beltrão, N. E. S., & Pontes, A. N. (2016). Estimativa da pegada de carbono no setor de soja no município de Paragominas, Pará. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 7(1), 142-149.

- Drewnowski, A., Rehm, C. D., Martin, A., Verger, E. O., Voinnesson, M., & Imbert, P. (2015). Energy and nutrient density of foods in relation to their carbon footprint. *The American journal of clinical nutrition*, 101(1), 184-191.
- Garnett, T. (2013). Food sustainability: problems, perspectives and solutions. *Proceedings of the nutrition society*, 72(1), 29-39.
- Hertwich, E. G., & Peters, G. P. (2009). Carbon footprint of nations: a global, trade-linked analysis. *Environmental science & technology*, 43(16), 6414-6420..
- Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., & Giljum, S. (2012). Integrating ecological, carbon and water footprint into a “footprint family” of indicators: definition and role in tracking human pressure on the planet. *Ecological indicators*, 16, 100-112.
- Grossi, M. C.; Chaves, E.; Justino, F. B.; Silva, R. F. da. (2010). Influência das mudanças climáticas na produtividade da soja na Amazônia Legal. In: *Congresso Brasileiro De Meteorologia*, 26, 2010, Belém. Anais... Belém.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Agropecuário*. Recuperado de <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/pesquisa/24/0>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção Agrícola Municipal*. Recuperado de <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/tangara-da-serra/pesquisa/14/10193?indicador=10368&ano=2021>
- Jaiswal, B., & Agrawal, M. (2020). Carbon footprints of agriculture sector. *Carbon Footprints: Case Studies from the Building, Household, and Agricultural Sectors*, 81-99.
- Odocumento. (2023). *Gigante de MT entrega primeira carga de soja com pegada de carbono mensurada e rastreada*. Recuperado de <https://odocumento.com.br/gigante-de-mt-entrega-primeira-carga-de-soja-com-pegada-de-carbono-mensurada-e-rastreada/>
- Pandey, D., & Agrawal, M. (2014). Carbon footprint estimation in the agriculture sector. *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors*, (1), 25-47.
- Pandey, D., Agrawal, M., & Pandey, J. S. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental monitoring and assessment*, 178, 135-160.
- Pimentel, D., & Pimentel, M. (2006). Global environmental resources versus world population growth. *Ecological economics*, 59(2), 195-198.
- da Silva, V. P., van der Werf, H. M., Spies, A., & Soares, S. R. (2010). Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. *Journal of environmental management*, 91(9), 1831-1839.
- Rotz, C. A., Montes, F., & Chianese, D. S. (2010). The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. *Journal of dairy science*, 93(3), 1266-1282.
- Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E. A., ... & Bolwig, S. (2014). Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In *Climate change 2014: mitigation*

of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 811-922). Cambridge University Press.

Yan, M., Cheng, K., Luo, T., Yan, Y., Pan, G., & Rees, R. M. (2015). Carbon footprint of grain crop production in China—based on farm survey data. *Journal of Cleaner Production*, *104*, 130-138.

Zortea, R. B., Maciel, V. G., Menezes, W., Cybis, L. F. D. A., & Seferin, M. (2019). Cálculo de emissões de CO₂ provenientes da mudança do uso da terra para produção de soja no estado do Rio Grande do Sul. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, *24*, 727-735.

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.