



Mas na prática, como se relacionam Produtividade e Carbono?

Artigo técnico

Autor: Lucas Camargo Antedomenico

Título: Mas na prática, como se relacionam Produtividade e Carbono?

Empresa: MyCarbon

Mas na prática, como se relacionam Produtividade e Carbono?

O título do artigo “*Mas na prática, como se relacionam Produtividade e Carbono?*” carrega uma experiência pessoal, a qual vivencio – repetidamente – nos meus 6 anos de carreira profissional. Do ponto de vista linguístico, a sintaxe dessa pergunta não deixa dúvidas de entendimento e – com um breve raciocínio neural - também carrega uma resposta rápida, imediata e transparente: “quanto mais plantas você tiver em sua lavoura, mais carbono estamos trazendo da atmosfera para sistemas bióticos”. Afinal, todos os seres vivos são compostos por cadeias de carbono. Todavia, muitas vezes essa resposta trouxe expressões confusas que me levaram – espero que até o dia de hoje - a questionar “será que isso basta”?

Para iniciarmos essa conversa gostaria de definir Produtividade de uma maneira não convencional. O uso corriqueiro da palavra remete a quantidade de um determinado produto em relação a uma área definida, mas o que pouco se faz é trazer à tona a parte biológica em que a palavra está imbuída. Na atividade agrícola, o dividendo da equação (Produto) representa o resultado fisiológico do complexo fotossintético. Falar em *quantidade de produto vegetal* é assumir que o Fotossistema II, a Plastoquinona, o Citocromo, o Fotossistema I e a Bomba de H⁺ cumpriram seus ciclos de reduções e oxidações de moléculas até produzirem um gradiente eletroquímico entre a matriz do Estroma e o interior do Tilacoide. Isso permite o fornecimento de elétrons para a enzima Rubisco, a qual é capaz de fixar carbono em uma estrutura molecular com funções fisiológicas.

E se fosse simples assim a nossa conversa pararia por aqui, mas ainda precisamos considerar que o metabolismo das plantas – e aqui vou me ater apenas aquelas comerciais em grande escala – podem ser, em sua devastadora maioria, do tipo C3 e C4. Isso significa que a molécula de carbono produzida nos diferentes tipos de metabolismos será de 3 (3-fosfoglicerato) ou 4 (oxaloacetato) carbonos, respectivamente. E, já aproveitando para me retratar com os leitores pela prolixidade do texto, eu gostaria de piorar todo esse enredo dizendo que essa cadeia de eventos não é assertiva como parece. Vez ou outra, a Rubisco se liga ao oxigênio e cria um efeito de Fotorespiração, o qual promove formas reativas de oxigênio que reduzem a taxa fotossintética. Todo esse fluxo não se restringe apenas a criação de um produto com valor comercial, e sim a originação de uma estrutura física que se inicia na germinação de uma semente até a obtenção da parte desejada. E, para que nosso dividendo seja alto, é obrigatório que a planta germine, se desenvolva e possua uma biomassa que comporte níveis de produção elevados. Quando esses valores são relacionados com nosso divisor (Área), podemos obter um índice de qualidade das lavouras que indica quanto de carbono é possível fixar em uma determinada área.

A discussão que eu trago é que o nosso dividendo é resultado de uma grande produção de moléculas de carbono, que se inicia no campo e se estende até o consumidor final. Embora a avaliação da Produtividade seja importante para fins financeiros, ela também é um reflexo quantitativo da biomassa que está sendo armazenada na área. Este reflexo, por sua vez, se correlaciona com a sustentabilidade e contribui com problemas vigentes, como: Segurança Alimentar e Efeito Estufa. A agricultura de elevada produtividade é uma solução que promove maior quantidade de alimento no mundo e remove carbono atmosférico nos sumidouros naturais (solos ou em árvores de sistemas integrados).

E você sabia que um índice (agronômico) em específico pode contribuir com a avaliação de produtividade? Ele se chama Evapotranspiração e é definido como a perda de água da planta em condições específicas de solo, clima e tipo de cultura. Por abarcar as condições edafoclimáticas e a fase de desenvolvimento da planta, ele é utilizado como principal entrada de estimativa de produtividade da lavoura. Vale ressaltar que a palavra “perda” neste contexto se refere a passagem de água das raízes até os estômatos, o que permite a manutenção dos efeitos fotossintéticos e, conseqüentemente, maior produtividade. Cientificamente ele pode ser classificado como evapotranspiração potencial (ET₀), evapotranspiração atingível (ETA) e evapotranspiração real (ETR), as quais irão acontecer em condições de diferentes estresses fisiológico. A ET₀ é uma estimativa do quanto a planta seria capaz de perder água sem nenhuma restrição biótica e abiótica, a ETA é a estimativa do quanto a planta seria capaz de perder água em condições apenas de déficit hídrico e a ETR é a estimativa de quanto a

planta perde de água em condições naturais de campo. Quando esses valores são utilizados para estimar a produtividade de lavouras geram resultados como: Produtividade Potencial (PP; uso da ET₀), Produtividade Atingível (PA, uso da ETA) e Produtividade Real (PR; uso da ETR).

Para que o nosso setor seja ativo na Segurança Alimentar e nas Mudanças Climáticas as barreiras operacionais, financeiras, de assistência técnica rural, monitoramento e certificação têm que ser rompidas. A superação se inicia com o mapeamento de Produtividade e Balanço de Carbono dos nossos sistemas convencionais de agricultura. O próximo passo é provar que a biomassa residual de sistemas com alta produtividade são efetivos em exceder a emissão dos componentes operacionais.

Com esse fim, foram selecionados três municípios de produção de soja do país: Barreiras (BA), Diamantino (MT) e Jataí (GO). O critério de escolha foi de municípios aleatórios contidos nos estados de maior produção de soja brasileira (Bahia, Mato Grosso e Goiás), segundo portal de Informações Agropecuárias da CONAB^[1]. Em seguida, os dados de: produtividade real (série histórica CONAB; sc.ha⁻¹), clima (Anexo 1), solo (Anexo 2), cultura (Anexo 3) foram obtidos para os anos de 1990 – 2019. Eles foram utilizados para cálculo da evapotranspiração (ET₀, ETA e ETR; (Allen et al., 1998)), para o Balanço Hídrico Climatológico Sequencial em escala diária (Thorntwaite e Mather, 1955) e para a Estimativa de Produtividade (PP, PA, PR; (Doorenbos e Kassam, 1994)) em sistema de soja-safra em sequeiro (período de setembro – dezembro).

O Balanço de Carbono foi calculado com a metodologia VERRA – VCS VM0042^[2] por a instituição originar 90% dos créditos de carbono no mercado voluntário global. Das emissões operacionais da cultura, foram considerados: emissão de nitrogênio (fixação biológica; kg N.ha⁻¹), emissão do corretivo de solo Calcário Dolomítico (kg.ha⁻¹) e emissão do combustível fóssil nas operações de campo (L.ha⁻¹ de diesel). Para ajuste do carbono gerado pelo material orgânico deixado no pós-colheita em cada produtividade simulada foram utilizados os valores de: índice de colheita da soja (%; DOORENBOS e KASSAM, 1994), decomposição anual (%; ROSSI et al., 2013), porcentagem de carbono na biomassa (%; RAUCCI et al, 2015) e perda de carbono pela gradagem e aração (t CO_{2eq}.ha⁻¹; REICOSKY, 1997) (Anexo 4).

Com os três níveis de produtividade (PP, PA, PR) e o Balanço de Carbono para a série histórica de 30 anos nos três municípios, foi possível obter: a diferença de produtividade, o comparativo de emissão operacional e a diferença do acúmulo de carbono no solo.

Os resultados de produtividade obtidos foram impressionantes, em que os três municípios apontaram um potencial maior do que 200 sc.ha⁻¹ (**Figura 1**). Observou-se que a produtividade real dos municípios está distante do seu potencial em, aproximadamente, 82%, 79% e 77%, respectivamente para Barreiras, Diamantino e Jataí.

Se compararmos a diferença entre PP e PA, isto é, diferir apenas as condições hídricas, nota-se que existe uma diferença média (dos três municípios) de 35 sc.ha⁻¹. Isso demonstra que a precipitação - de maneira isolada - reduz a produtividade das lavouras em níveis comparados a, aproximadamente, 64% da produção média nacional.

Avaliando o mesmo resultado entre a PA e PR, em que imputamos as condições de campo na agricultura, os resultados são ainda mais desesperadores. A lacuna entre produtividades (média dos três municípios) se mostrou superior a 143 sc.ha⁻¹, isto é, o sistema de manejo está deixando de ganhar mais de 100 sc.ha⁻¹ todo ano.

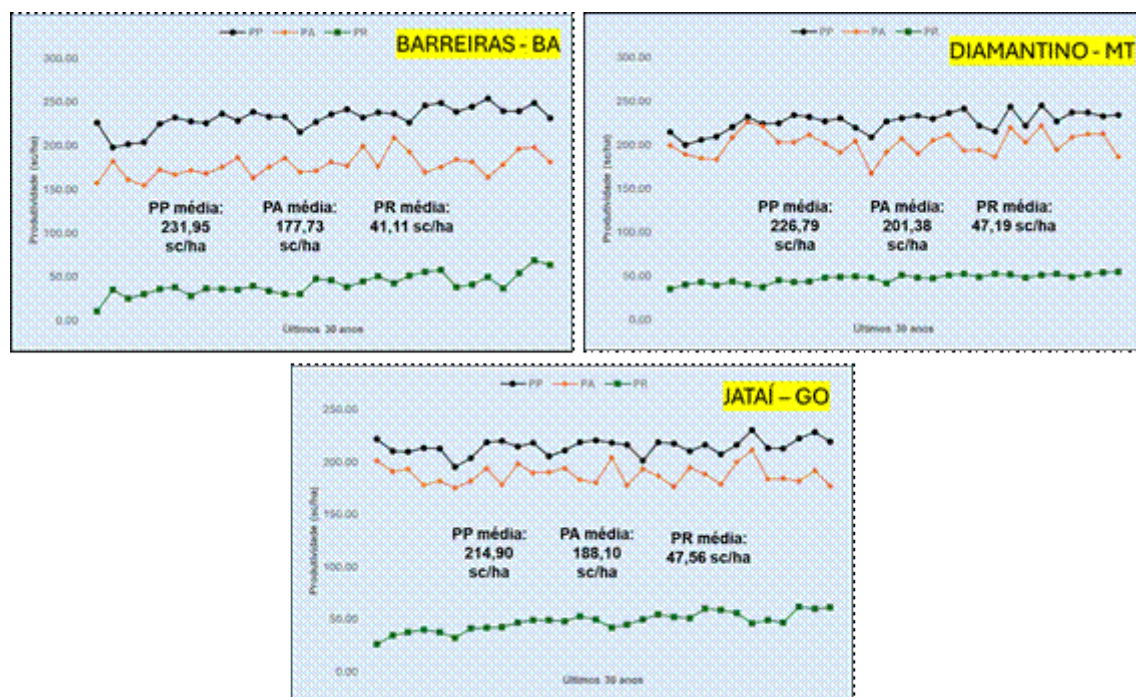


Figura 1 – Níveis de produtividade de soja obtidos nos municípios de Barreiras-BA, Diamantino-MT e Jataí-GO.

Com isso eu quero expressar que a vida do produtor rural já não seria fácil se as condições climáticas fossem os únicos efeitos de quebra de safra. Se observado apenas as relações entre PP e PA, esse resultado retira o embargo de que a produtividade é uma responsabilidade exclusiva do dono da terra. Todavia, quando olhamos pela óptica de campo

(comparativo entre PA e PR), nota-se que essa diferença abissal está diretamente relacionada com as possíveis práticas regenerativas implementadas nas lavouras.

Neste trabalho, em que foi considerado uma prática de soja com preparo convencional de solo, esses números são expressivos e refletem grande parte da escala produtiva do Brasil. Dos 78 milhões^[3] de hectares destinados para grãos, aproximadamente metade deste valor é destinado para sistema de plantio direto, por exemplo. Por um lado otimista, pode-se dizer que práticas regenerativas estão reduzindo as lacunas de produtividade em mais de 50% das lavouras de soja brasileiras. Mas nesta faca de dois gumes, o lado pessimista nos força a dizer que 50% da sojicultura brasileira convive com uma lacuna produtiva de mais de 100 sc.ha⁻¹ todo ano. Isso cria um alerta de que os entraves produtivos, seja do clima ou do sistema, precisam receber cada vez mais foco e soluções que encontrem o produtor rural de maneira assertiva.

E o efeito das lacunas também se expressa no carbono. Quando colocamos o filtro “Balanço de Carbono” nas análises, os resultados apontaram que a o sistema de plantio convencional, o qual demonstra a produtividade real na maior parte do todo, tende a perder carbono no solo. Isso ocorre devido as emissões do sistema operacional superarem o acúmulo de carbono resultante da biomassa residual após a colheita dos grãos.

Isso ficou evidente na análise de emissões consideradas para o sistema convencional. Nota-se que a quantidade de gases de efeito estufa emitidos, seja para uma produção alta ou para uma produção baixa, se manteve semelhante. Na **tabela 1 e figura 2** podem ser obtidas as frações dos componentes emissivos para cada nível de produtividade:

Tabela 1 – Nível de emissão de gases de efeito estufa para produção de soja convencional em cada tipo de produtividade.

Tipo de produtividade	Emissão da Fixação Biológica (t CO _{2eq} .ha ⁻¹)	Emissão do uso de Calcário (t CO _{2eq} .ha ⁻¹)	Emissão do uso de Combustível Fóssil (t CO _{2eq} .ha ⁻¹)	Emissão total (t CO _{2eq} .ha ⁻¹)
PP	1,48	0,26	0,51	2,25

PA	0,99	0,39	0,40	1,78
PR	0,74	0,65	0,30	1,69

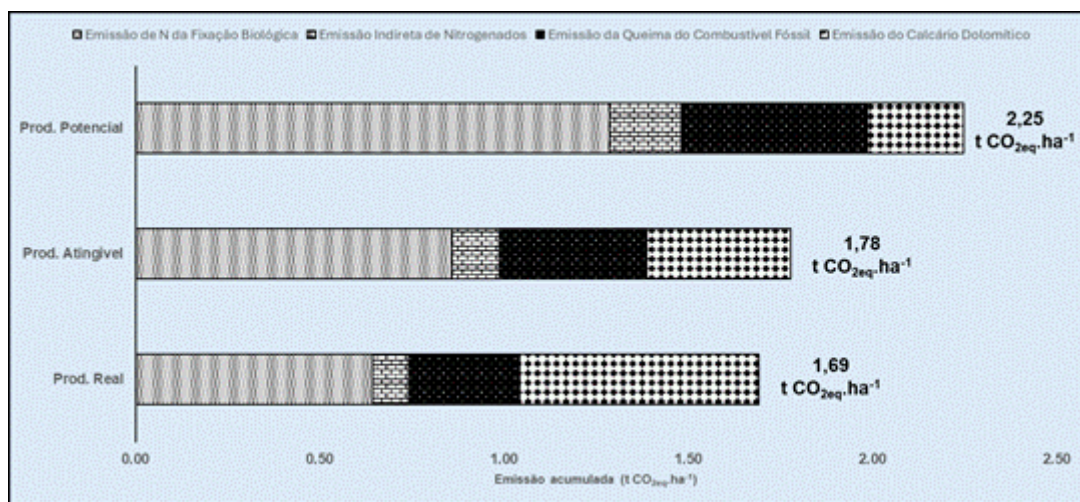


Figura 2 – Nível de emissão de gases de efeito estufa para produção de soja convencional em cada tipo de produtividade.

À primeira vista pode parecer dúbio que as altas produtividades tenham uma maior emissão por área, pois a emissão do PP é superior aos outros dois níveis produtivos. Porém, se analisado o número de processos que retratam as emissões, entende-se que para uma planta de soja expressar sua máxima produção é desejável que a simbiose entre raiz-Rhizobium aconteça em seu nível mais elevado. Dessa forma, a quantidade de N.ha⁻¹ fixada aumenta, bem como sua emissão direta e indireta pelo gás óxido nitroso (NO₂). Além disso, para a manutenção das condições de pH do solo e, conseqüentemente, ajuste na curva de disponibilidade de nutrientes, a área requer aplicações de calcário nas camadas subsuperficiais. Isso tudo se junta a uma robustez no uso operacional das máquinas, a qual exige maior quantidade de diesel para preparo do solo, tratamento de sementes, plantio, aplicações de herbicidas, bactericidas, inseticidas, fungicidas e colheita.

Dessa forma, o que de fato chama atenção nesses resultados é que existe um aumento de emissões de, aproximadamente, 16,5% entre a produção mais elevada (PP) e a menos elevada (PA). Em termos de produtividade, o mesmo comparativo demonstra que existe um aumento de 80% no rendimento da PP em relação a PR (**Figura 1**). Eu quero chamar atenção

dizendo que o aumento das emissões não é expressivo se comparado aos ganhos de produtividade que sistema regenerativos entregam. Os resultados afirmaram que a emissão exigida para produzir um hectare de soja convencional é muito semelhante a emissão exigida para produzir um hectare de soja com técnicas avançadas. E, se existe uma necessidade de emissão que indefere na obtenção de poucas sacas de soja ou muitas sacas de soja, então é responsabilidade do setor garantir sistemas regenerativos de elevada eficiência de produtos.

E mesmo colocando o rendimento como enfoque das discussões, ainda devemos nos questionar: *será que isso também se expressa em carbono acumulado?* Pois, por mais que seja de suma importância avaliar a pegada de carbono de um sistema, é preciso entender se ele também é capaz de remover os gases de efeito estufa da atmosfera.

A análise de Balanço de Carbono demonstrou que, para os três municípios e para os 30 anos avaliados, a quantidade de carbono acumulada no solo foi crescente com o aumento da produtividade. Para PP e PA os acúmulos foram positivos, enquanto para PR houve decréscimo de carbono no solo, em todos os cenários (**Figura 3**).

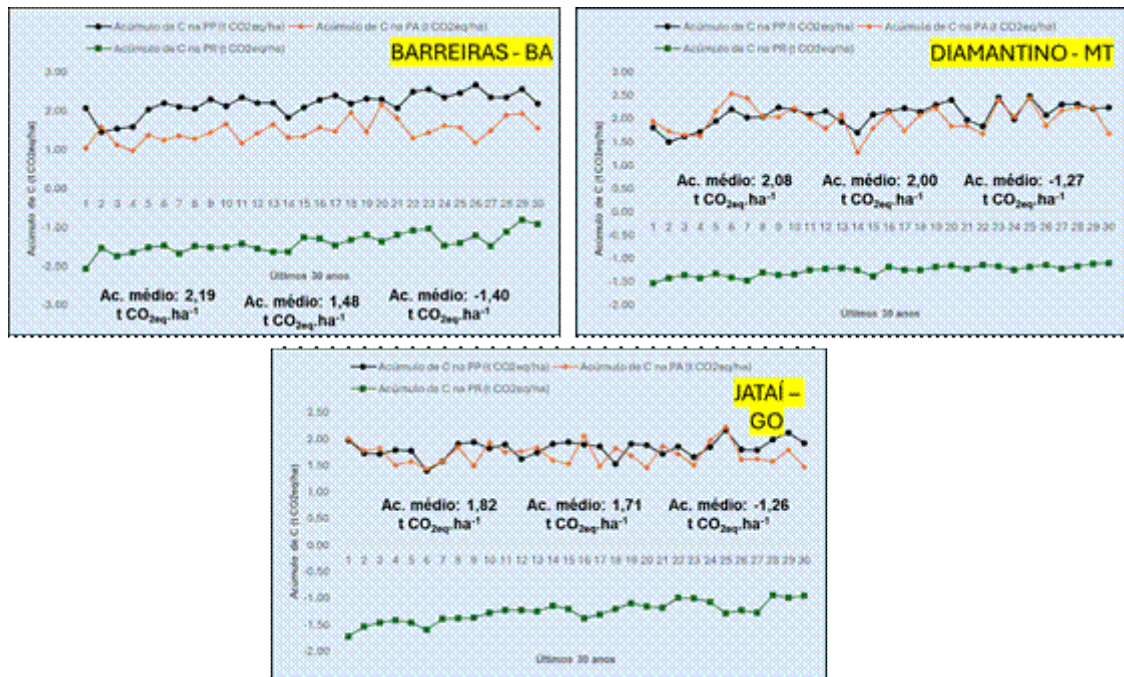


Figura 3 – Variação do acúmulo de carbono no solo nos municípios de Barreira (BA), Diamantino (MT), Jataí (GO) nos 30 anos avaliados.

Além do fato da perda de carbono no solo ocorrer em 100% das vezes em sistemas convencionais de baixa produtividade (PR), os resultados apontaram um aumento de até 256% de acúmulo de carbono no solo quando comparados ao cenário de baixa produtividade (PR). As médias de aumento anual foram, para os municípios, de: 165% em Barreiras (BA), 175% em Diamantino (MT) e 162% em Jataí (GO). É importante destacar que os valores extremos de $2,19 \text{ t CO}_{2\text{eq}}.\text{ha}^{-1}$ até $-1,40 \text{ t CO}_{2\text{eq}}.\text{ha}^{-1}$ são comuns na literatura brasileira para agricultura e podem ser encontrados nos trabalhos de (LOVATO et al., 2004; AGUIAR et al., 2014; SEGNINI et al., (2019)).

Neste momento, toda a análise e os resultados da **figura 4** me dão segurança para responder à pergunta anteriormente feita com um transparente – e categórico – “*Sim! O mesmo se mantém para o acúmulo de carbono no solo.*” A variação encontrada entre as emissões dos sistemas de produção aumenta em 16,5% (ou $0,56 \text{ t CO}_{2\text{eq}}.\text{ha}^{-1}$) ao passo que o acúmulo de carbono no solo aumenta em 167% (ou $3,34 \text{ t CO}_{2\text{eq}}.\text{ha}^{-1}$) entre a baixa e a alta produtividade de soja. Isso significa que aumentar a emissão em 16,5% para um hectare de soja, te entrega qualidade do perfil de solo aumentada em 167%.

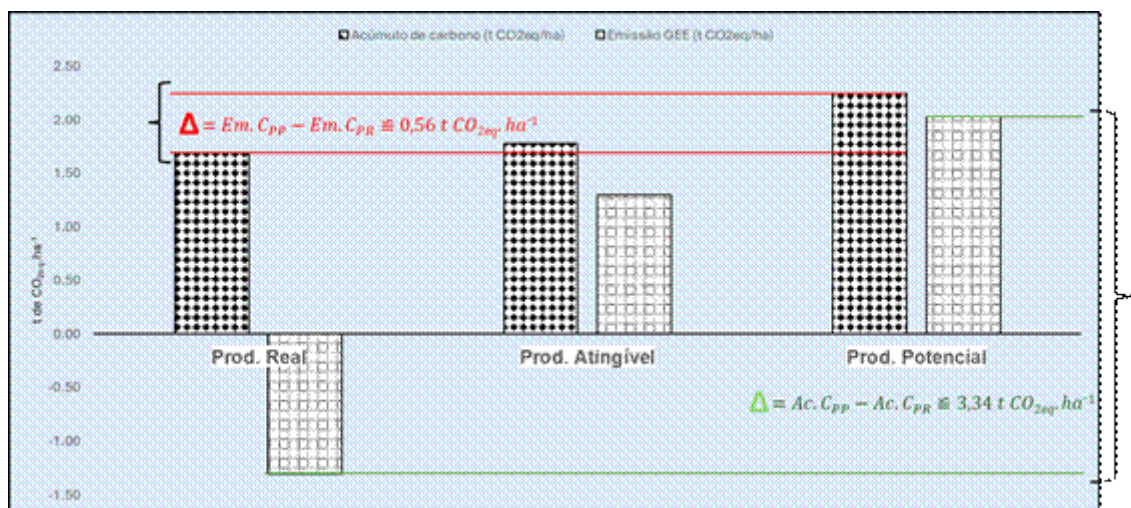


Figura 4 – Comparativo entre acúmulo de carbono no solo e emissão de carbono nos sistemas produtivos. As siglas se referem a: Delta (Δ), Emissão de Carbono em PP ($Em.C_{PP}$), Emissão de Carbono em PR ($Em.C_{PR}$), Acúmulo de Carbono em PP ($Ac.C_{PP}$) e Acúmulo de Carbono em PR ($Ac.C_{PR}$).

Para efeitos comparativos, se assumirmos como referência o valor de estoque de carbono no solo, na profundidade de 30cm, publicado pela da EMBRAPA^[4] como *estado padrão*

(após a curva de decaimento atingir o platô no processo de mudança do uso da terra), e aplicarmos os acúmulos anuais encontrados neste trabalho será possível notar que apenas sistemas com alta produtividade são conservacionistas. Mesmo que nós optemos por excluir a PP das nossas análises e, portanto, reconhecemos que a quebra de produtividade climática sempre vai ocorrer, a solução ainda é melhorar o manejo para incrementar até, aproximadamente, 6% do estoque de carbono atual das lavouras (**tabela 2**).

Tabela 2 – Estoque inicial e incremento médio anual de carbono no solo para os municípios de Barreira (BA), Diamantino (MT) e Jataí (GO) respectivamente.

Tipo de produtividade	Estoque Inicial EMBRAPA (t CO ₂ eq.ha ⁻¹)	Incremento médio anua (% em relação ao estoque)
Barreiras-BA		
PP	137,30	5,85
PA		3,96
PR		-3,74
Diamantino-MT		
	-	-
PP	157,87	4,83
PA		4,64
PR		-2,94
Jataí-GO		
	-	-
PP	161,35	4,13

PA	3,88
PR	-2,86

Isso reforça ainda mais que o ambiente tropical possui características de clima e solo equilibradas para atender a livre expressão genética das plantas cultivadas. E, aproveitando o tópicos e o espaço, gostaria de dar voz a uma crítica pessoal: as parametrizações dos cálculos para condições tropicais demonstram a capacidade de contribuir com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU) ainda melhor do que as metodologias internacionais estão preparadas para entregar atualmente. A pesquisa brasileira – mesmo com toda dificuldade – é capaz de fomentar resultados de qualidade para ajustes métricos de qualquer índice de sustentabilidade desejado.

As soluções propostas para atingir altas produtividades na agricultura e obter os resultados demonstrados neste trabalho envolvem práticas sustentáveis como: plantio direto, sistemas integrados, cultivo de cobertura, safra de inverno, uso de sistemas de irrigação, uso de produtos biológicos, adequação das operações ao zoneamento climático, uso de produtos com baixa pegada de carbono na produção, ajuste da dieta animal, uso de ingredientes alimentares para ruminantes, manejo de dejetos, reciclagem nutricional (adubação orgânica) etc. E não podemos esquecer das boas práticas de manejo, as quais contemplam o cuidado com o perfil do solo. Recomendo para este tópico a publicação “**Erosão do Solo: Desafios e Soluções para um Futuro Sustentável**” por Isabela Mello da Silva, Engenheira Agrônoma que escreveu com maestria sobre as dificuldades com processos erosivos.

E vou além! Para tornar palpável toda essa discussão, gostaria de trazer uma abordagem financeira, a qual o Guilherme Ferraud, Gerente da MyCarbon3 Ltda., demonstrou em seu artigo “**Como o crédito de carbono pode ajudar na rentabilidade da sua lavoura**” que produtividades abaixo de 50 sc.ha⁻¹ não são financeiramente viáveis para manutenção da atividade em qualquer cenário de investimento (que pode variar entre R\$3.000,00.ha⁻¹ – R\$7.500,00.ha⁻¹). Logo, entende-se que incrementar sistemas produtivos não é apenas uma preocupação com a alimentação do mundo, com a redução da pressão por desmatamento, mitigação do efeito climático extremo, é também garantir que o pequeno, médio e grande agricultor possa se manter com condições íntegras, de aspecto cultura intacto, gere renda, emprego e saúde social.

E, para concluir todo o trabalho neste parágrafo, gostaria de reforçar que na prática produtividade e carbono se relacionam com o aumento da biomassa, a qual só é possível ser obtida com a alta taxa fotossintética e sistemas conservacionistas. Apenas isso vai garantir que as emissões sejam compensadas, que o carbono no solo seja inserido e as contribuições do *Agro* com as ODS sejam efetivas.

- **Agradecimentos:**

Gostaria de agradecer a oportunidade de escrever sobre minha percepção no mercado de carbono na agricultura à Minerva Foods e a MyCarbon. Junto a isso, especificamente agradeço a equipe Marta Giannichi, Guilherme Ferraudo, Jeanderlon Veiga, Chanderson Ernani Lopes Teixeira, Beatriz Menengotti Ferreira e Isabela Mello Silva que estão no cotidiano de trabalho, fazendo do tema aquecido e colocando nossos valores nas decisões técnicas.

- **Referências:**

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D., Smith, M. Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. FAO, Roma, Irrigation and Drainage Paper 56, 300p. 1998.

Aguiar, M. I., Fialho, J. S., Campanha, M. M., & Oliveira, T. S. (2014). Carbon sequestration and nutrient reserves under different land use systems. *Revista Árvore*, 38(1), 81-93.

Doorenbos, J.; Kassam, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. *Estudos FAO - Irrigação e Drenagem* n.33, 1994. 306p. (Traduzido por Gheyi, H.R. et al. - UFPB).

HUNGRIA, M. et al. Fixação Biológica Do Nitrogênio Na Cultura Da Soja. Embrapa Soja. Circular Técnica, 35, p. 48, 2001.

IPCC. 2006 IPCC GUIDELINES FOR NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES. Kanagawa: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006a. Relatório Técnico.

IAC (2014). Boletim 200. Boletim 200: Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas, v. 200, n. 7, p. 452, 2014.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, n. 1, p. 175–187, 2004.

REICOSKY, D. C. Tillage-induced CO₂ emission from soil Tillage-induced CO₂ emission from soil. n. July 1997, p. 273–285, 2014.

ROSSI, C.Q et al. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais em áreas de plantio de soja (Glycine max) sob plantio direto no Cerrado Goiano. 2013.

SEGNINI, A. et al. Soil carbon stock and humification in pastures under different levels of intensification in Brazil. Scientia Agricola, v. 76, n. 1, p. 33–40, 2019.

THORNTHWAITE, C.; MATHER, J. The water balance. Publications in Climatology, New Jersey, Drexel Inst. Of Technology, 104p. 1955.

TASCA, F. A. et al. Volatilização De Amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, v. 35, n. 2, p. 493–509, 2011.

ANEXO 1 – DO CLIMA

Foi gerado um Balanço Hídrico Sequencial Climatológico conforme Thornthwaite e Mathers (1955), em que considera como entrada de água no sistema as precipitações e, como saída, a evapotranspiração de cultura, em escala diária. Para os dados meteorológicos, foram utilizadas as informações atmosféricas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)^[5], corrigindo os dados faltantes pelo banco de dados NASA-POWER^[6], de 1990 até 2019, sendo: (1) radiação global (Q_g – MJ.m⁻².dia⁻¹), temperatura máxima, mínima e média (°C), velocidade do vento (m.s⁻¹), umidade relativa (%) e precipitação (P) como entrada.

Para cálculo da evapotranspiração foi utilizado o método proposto por Allen et al. (1998) ajustado pelos coeficientes de crescimento (K_c) $K_{c\text{inicial}} = 0,6$, $K_{c\text{máximo}} = 1,2$ e $K_{c\text{final}} = 0,5$ do “FAO Irrigation and Drainage Paper - Boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998). Os coeficientes de Ångström receberam os valores para condição tropical, sendo: $a=0,25$ e $b=0,50$, o coeficiente de reflexão (albedo) de 0,23 e a constante psicométrica de 0,063, conforme a própria metodologia de Allen et al., (1998).

ANEXO 2 – DO SOLO

As informações de solo utilizadas para ajuste do balanço hídrico foram: capacidade de armazenamento do solo (CAD), água facilmente disponível (AFD) e densidade do solo (BD). A CAD foi fixada em 100mm para todas os municípios considerando um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. O valor de 50mm foi padronizado para AFD conforme Doorenbos e Kassam (1994) para soja. Foi considerada a profundidade do solo até 1 m e o balanço foi iniciado um ano anterior ao período avaliado para garantir que o armazenamento estivesse com a CAD completa no início da simulação.

ANEXO 3 – DA CULTURA

Para a genética de “Cultivar” foi utilizado apenas a cultivar M7739 IPRO, que possui perfil genético de: metabolismo C3, grupo de maturação 7.6, hábito de crescimento semi-determinado, crescimento semiereto, cor da flor roxa e engalhamento bom.

Para determinação de rendimento máximo da cultura, foi utilizado o Modelo de Estimativa de Produtividade Potencial descrito por Doorenbos e Kassam (1994), em que foram realizadas as etapas de (1) determinação da produção bruta de matéria seca, (2) correção para índice de área foliar, (3) correção para respiração e (4) correção para parte colhida. A parametrização das etapas ocorreu com a mesma metodologia de Doorenbos e Kassam (1994).

ANEXO 4 – DAS EMISSÕES

A metodologia VERRA – VM0042 foi empregada para obtenção das emissões de carbono nos municípios, bem como o balanço de carbono e acúmulo de carbono no solo para as simulações. Com a ferramenta “Quantification Approach 3” da própria metodologia, foram selecionados os manejos de relevância para emissão de gases na produção de soja. Os fatores de emissão utilizados foram obtidos do IPCC (2006).

Tabela 3 - Fração de C_x e N_x nos componentes considerados e fatores de emissão padrões da literatura.

Frações de C _x e N _x	Valor	Grandeza	Fonte
NC _{SF}	45	%	IAC (2014)
FRAC _{GASF}	50	%	Tasca et al., (2011)
N _{content}	15	%	Hungria et al., (2001)

Fator de emissão	Valor	Grandeza	Fonte
EF _{FF}	0,00267	Mg CO _{2eq} .L ⁻¹	IPCC (2006)
EF _{Dolomite}	13	%	IPCC (2006)
EF _{Ndirect}	1	%	IPCC (2006)
EF _{Nvolatt}	10	%	IPCC (2006)

NC_{SF} é a fração de N na ureia; $FRAC_{GASF}$ é a fração de $N-NH_3$ perdida por volatilização; $N_{content}$ é a fração de N na matéria seca da soja; EF_{FF} é o fator de emissão da queima de combustível fóssil; $EF_{Dolomite}$ é o fator de emissão do carbonato contido no calcário dolomítico; $EF_{Ndirect}$ é o fator de emissão direto do N_2O-N ; EF_{Nvolat} é o fator de emissão do N_2O-N do total volatilizado.

Os valores de emissão por aração e gradagem foram de 0,6 t $CO_{2eq}.ha^{-1}$ (REICOSKY, 1997), a fração de C na planta da soja foi de 0,44 (RAUCCI et al., 2015), o índice de colheita de 0,3 (DOORENBOS e KASSAM, 1994) e a taxa de decomposição da soja foi de 0,7% (ROSSI et al., 2013).

[1] <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/produtos-360.html>

[2] <https://verra.org/methodologies/vm0042-improved-agricultural-land-management-v2-1/>

[3] <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20maior,foi%20de%203.508%20kg/ha.>

[4] <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085197/mapa-de-estoque-de-carbono-organico-do-solo-cos-a-0-30-cm-do-brasil>

[5] <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inmet>

[6] <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Nota: O conteúdo deste artigo é de responsabilidade exclusiva de seu autor e reflete suas opiniões e análises pessoais. As posições aqui apresentadas não representam, necessariamente, o entendimento institucional da Aliança Brasil NBS, de seus associados ou de sua diretoria.