

P R E F Á C I O

FACT SHEETS CARBON EXPERTS

A parceria entre Bayer e Embrapa no projeto Pro_Carbono representa esforço original entre os setores público e privado em prol da pesquisa, desenvolvimento e inovação, no enfrentamento às mudanças climáticas globais e na viabilização de soluções para problemas na fronteira do conhecimento científico, em benefício da agricultura, do ambiente e da sociedade.



Agricultura Digital



Instrumentação



Meio Ambiente

O projeto se destaca pela reunião de competências de altíssimo nível e complementares, com ênfase no avanço das técnicas de amostragem e quantificação do carbono no solo, na modelagem e simulação, na realização de balanço de carbono com base na análise de ciclo de vida e, principalmente, no subsídio a uma agricultura de baixa emissão de carbono. O projeto também permeia e interliga o ecossistema de inovação como um todo, o setor produtivo, a academia, o governo e a sociedade civil, representados por produtores rurais, consultores, pesquisadores, cooperativas, associações de produtores, empresas de insumos entre outros atores da agricultura nacional, formando uma sólida rede de colaboração para potencializar a adoção de boas práticas agrícolas.

É notório o caminho virtuoso iniciado com o Pro_Carbono, que continuará a ser trilhado com a colaboração e estruturação em rede nas cadeias agropecuárias, para o futuro próspero e competitivo da agricultura brasileira, frente às novas demandas de mercado que aliam eficiência e sustentabilidade em todos os seus aspectos ambiental, econômico e social.



A Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto uniu-se à Bayer com o desafio de dar o suporte técnico, científico e prático aos participantes do Projeto Pro-Carbono sobre o desenvolvimento de práticas conservacionistas de manejo do solo visando atingir sistemas sustentáveis de produção. Este projeto é inovador e os resultados estão sendo notáveis que darão uma contribuição inestimável ao avanço dos sistemas conservacionistas de manejo do solo.

Os conhecimentos, experiências e discussões ao longo do treinamento das equipes selecionadas pela Bayer foram relevantes e contribuíram para melhorias do sistema atual de produção e na formação de líderes que irão transmitir com o passar do tempo os conhecimentos que darão mais robustez à agricultura Brasileira e mostrar que podemos produzir alimentos em harmonia com a natureza. Foi e está sendo uma parceria sólida, uma via de duas mãos onde todos ganham e todos trabalham juntos. É o segredo do sucesso.


João Carlos de Moraes Sá
Presidente da Comissão Técnica Científica - FEBRAPDP


Jean Kleber Bortoluzzi
Gerente Administrativo O FEBRAPDP


Jônadan Hsuan Min Ma
Gerente Administrativo O FEBRAPDP

- 01 Rede de colaboração científica PRO_Carbono**
Dr. Adriano A. Anselmi - Bayer Carbon Venture
- 02 Boas práticas para uma agricultura sustentável**
Dr. Carlos Eduardo Cerri e Prof. Maurício Roberto Cherubin - Esalq/USP
- 03 O desafio de amostrar o solo para a quantificação e o monitoramento do estoque de carbono**
Dr. Cristiano Alberto de Andrade - EMBRAPA Meio Ambiente
- 04 Métodos e tecnologias inovadoras para mapeamento de estoques de C no solo**
Débora M.B. P. Milori, Ladislau Martin-Neto, Paulino R. Villas-Boas, Diego V. de Babos, Vitor da S. Freitas, Wesley N. Guedes – Embrapa Instrumentação
- 05 Sistemas de manejo de alta performance (experimentos de longa duração)**
Prof. Cimélio Bayer - UFRGS, Julio C. F. Santos - Embrapa Soja, Felipe Bertol - Fundação MT e Edson M. Mattiello - UFV
- 06 Incremento dos estoques de carbono ao longo do tempo**
Prof. Cimélio Bayer - UFRGS
- 07 Sistemas de Produção Intensificados: Avaliação Financeira**
Helio Antonio Wood Joris - FABC, Salathiel Antunes Teixeira - FABC, Claudio Kapp Junior - FABC, Alberto Mario Peper - Bayer CS, Gabriel Barth - FABC, Luis Henrique Penckowski - FABC
- 08 Sistemas de Produção Intensificados: Produtividade e aporte de C**
Helio Antonio Wood Joris - FABC, Salathiel Antunes Teixeira - FABC, Claudio Kapp Junior - FABC, Alberto Mario Peper - Bayer CS, Gabriel Barth - FABC, Luis Henrique Penckowski - FABC
- 09 Intensificação ecológica: Alternativa para incrementar a produtividade e a captura de carbono, reduzindo o impacto ambiental.**
Peper Alberto, Benedit Beltran, Galvan Jônatas - Bayer Agronomic Systems & Digital Market Development LATAM
- 10 Impulsionadores para maior produtividade e melhoria do ambiente produtivo**
Peper Alberto, Benedit Beltran, Galvan Jônatas - Bayer Agronomic Systems & Digital Market Development LATAM
- 11 Benefícios dos sistemas de manejo integrado ILPF**
Prof. Leidivan Almeida Frazão - UFMG e Prof. Evander Alves Ferreira - UFMG
- 12 Modelos para projeção de acúmulo de carbono em solos – Aportes para manutenção do sistema**
Prof. Daniel Ruiz Potma Gonçalves - UEPG
- 13 Avanços na modelagem do estoque de carbono no solo**
Dr. Luis Gustavo Barioni, Dr. Júnior Melo Damian, Dr. Vinícius do Carmo Melício, Dra. Beatriz Aria Valladão e Dr. Bruno Henrique Pereira - EMBRAPA Agricultura Digital
- 14 Premissas e desafios da contabilidade da pegada de carbono na agricultura**
Dr. Marcelo A. B. Morandi e Dra. Marília I. S. Folegatti - EMBRAPA Meio Ambiente
- 15 A pegada de carbono da soja Brasileira**
Dra. Marília I. S. Folegatti, Dr. Marcelo A. B. Morandi, Nilza Patrícia Ramos e Anna Leticia M. T. Pighinelli- EMBRAPA Meio Ambiente
- 16 Emissão de GEE associada à produção, transporte e beneficiamento de sementes de soja considerando-se estratégias de mitigação**
Prof. Newton La Scala Jr. - UNESP e Prof. Eduardo Eduardo Bastos - UFSCAR
- 17 Mercado de carbono e os principais conceitos**
Renata Ferreira e Eduardo Bastos – Bayer CS
- 18 Parcerias que impulsionam a sustentabilidade no agronegócio**
Manuela Perri e Isabella Canêo - Bayer Carbon Venture

REDE DE COLABORAÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA PRO CARBONO

COMBINAMOS CIÊNCIA, CONHECIMENTO E COCRIAÇÃO PARA SUPERARMOS JUNTOS AS PRINCIPAIS BARREIRAS DE ENTRADA DA AGRICULTURA NO MERCADO DE CARBONO.

Dr. Adriano A. Anselmi - Bayer Carbon Venture

A agricultura praticada com princípios conservacionistas tem ganhado força e é a grande oportunidade de sequestrar CO₂ da atmosfera e armazená-lo no solo. Apesar do potencial do setor, apenas 2,5% dos créditos de carbono gerados no mundo vem da agricultura (SANTIKARN, 2021). Diante deste contexto, acreditamos que a ciência é a chave para comprovarmos a efetiva contribuição dos produtores rurais e das atividades que estes desempenham na mitigação dos impactos climáticos. O desafio é grande e não poderíamos fazer sozinhos. Criamos uma rede de colaboração que envolve instituições de pesquisa, entidades de classe, universidades e os melhores consultores do país para superarmos juntos algumas barreiras científicas e difundirmos o conhecimento necessário para suportarmos o produtor na implementação de uma agricultura mais produtiva, sustentável e rentável.

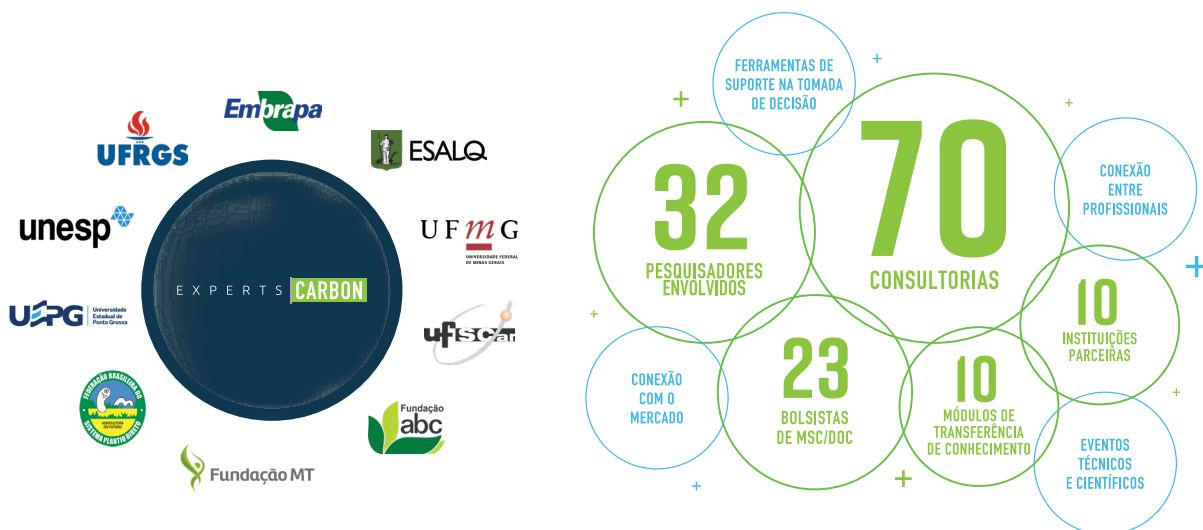
A PARTIR DESSA REDE, ESTAMOS DESENVOLVENDO UMA SÉRIE DE ESTUDOS E EXPERIMENTOS DE CAMPO PARA RESPONDER ALGUMAS QUESTÕES COMO:

Qual a acurácia de técnicas modernas de mensuração do carbono no solo e qual o melhor protocolo de coleta e análise a ser aplicado?

Qual o impacto da adoção de práticas agrícolas conservacionistas no estoque de carbono no solo?

Como desenvolver um modelo ajustado às condições de clima tropical e subtropical para projetar com acurácia o estoque de carbono no solo?

Qual a pegada de carbono e oportunidades de mitigação dos produtores brasileiros?



A intensidade e frequência do preparo de solo depende do objetivo da operação, podendo variar desde gradagens leves com o objetivo de incorporar sementes (particularmente plantas de cobertura), escarificações ou subsolagens periódicas (a cada 3 anos, por exemplo), com objetivo de descompactar o solo, até preparo convencional com objetivo de revolver totalmente o solo por meio de operações de aração, subsolagem ou gradagem pesada associadas com subsequentes gradagens de nivelamento do terreno.

O preparo do solo é uma das práticas de manejo que resulta na redução do C do solo ao longo do tempo. As perdas de C do solo aumentam à medida que se aumenta a intensidade e frequência das operações de preparo/revolvimento do solo na lavoura. O revolvimento do solo acarreta na desestruturação do solo, rompendo os (macro)agregados, e por consequência expondo a matéria orgânica do solo (MOS) que estava oclusa, e, portanto, fisicamente protegida dentro dos agregados, do ataque microbiano. Com isso, parte da MOS é mineralizada pela ação dos microrganismos do solo sendo perdida à atmosfera na forma de gás CO_2 . Portanto, um dos pilares da sustentabilidade agrícola visando a manutenção e incremento nos teores de C do solo é justamente a ausência de preparo do solo, permitindo assim, a proteção física da MOS e sua estabilização no solo. Além do mais, a ausência de preparo reduz os riscos de perdas de solo por erosão, e por consequência, as perdas de C e nutrientes.

ROTAÇÃO DE CULTURAS

O terceiro pilar da sustentabilidade agrícola é a rotação de culturas, que consiste na alternância planejada e previamente ordenada do cultivo de diferentes espécies (ou conjunto de espécies) em um determinado período sobre um dado local. A rotação de cultura visa a diversificação do sistema de cultivo, e, portanto, caracteriza-se exatamente como o oposto da monocultura, onde a mesma espécie é cultivada todos os anos na mesma área. Cabe ressaltar também, que a rotação de culturas é diferente da sucessão de culturas, que é definido como um cultivo sequencial de diferentes espécies em uma mesma área dentro de um intervalo de 12 meses (por exemplo, repetir todos os anos soja/milho safrinha).

A rotação de culturas resulta na diversificação de quantidade e qualidade (constituição bioquímica e composição elementar) do material orgânico derivado da biomassa de parte aérea e sistema radicular que é aportada no sistema. Como consequência, a adoção de sistemas de rotação de culturas bem planejados resulta no aumento gradativo dos estoques de carbono no solo. Além disso, sistemas diversificados, particularmente aqueles envolvendo plantas de cobertura de sistema radicular vigoroso, aporta carbono em camadas mais profundas do solo, beneficiando a estabilização e estocagem de carbono no solo por mais tempo. Por fim, a rotação de culturas traz uma série de benefícios ao sistema (por exemplo, fixação biológica de nitrogênio, reciclagem de nutrientes, estruturação do solo, promoção do equilíbrio biológico, e quebra ciclo de pragas e doenças), os quais contribuem de forma indireta à manutenção e aumento do carbono do solo. Desta forma, a rotação de culturas torna-se fundamental para aumentar os estoques de carbono do solo e tornar o sistema agrícola mais sustentável.

O DESAFIO DE AMOSTRAR O SOLO PARA A QUANTIFICAÇÃO E O MONITORAMENTO DO ESTOQUE DE CARBONO

O PLANO DE AMOSTRAGEM DO SOLO EM PROJETOS DE CARBONO DEVE SER FUNDAMENTADO NA VARIAÇÃO ESPACIAL, PARA A DEFINIÇÃO DO NÚMERO DE AMOSTRAS, E NA VARIAÇÃO TEMPORAL SUFICIENTEMENTE MAIOR QUE A ESPACIAL, NA DEFINIÇÃO DA FREQUÊNCIA DE MONITORAMENTO, DE FORMA QUE SE POSSA, COM ALGUM NÍVEL DE CERTEZA, AFIRMAR SOBRE O SEQUESTRO DE C.

Dr. Cristiano Alberto de Andrade - EMBRAPA Meio Ambiente

A matéria orgânica é há muito tempo monitorada para fins de avaliação da fertilidade do solo e correção no manejo da cultura. No entanto, hoje, seu principal constituinte, o carbono (C), é foco de atenção na contabilidade ambiental relacionada as mudanças climáticas globais.

O solo é considerado compartimento estratégico para o alcance de reduções na emissão de C para a atmosfera e para a valorização do produto agrícola e/ou recompensa ao produtor rural.

A quantificação e o monitoramento desse C no solo, entretanto, é um desafio a ser enfrentado. Num esforço conjunto, Embrapa e Bayer iniciaram cooperação para estabelecer um protocolo ou guia para orientar a amostragem de solo para fins de quantificação, monitoramento e auditoria do sequestro de C.

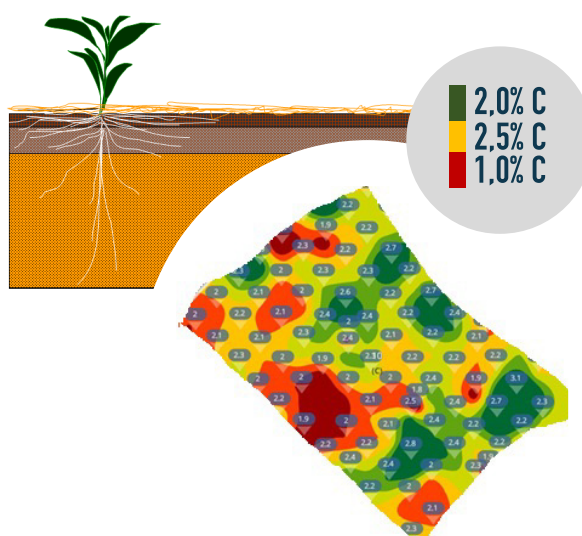
Sabe-se que a variabilidade espacial do carbono ocorre tanto no sentido vertical, quanto no sentido horizontal. Verticalmente se espera um gradiente com maiores teores de C nas camadas mais superficiais, diminuindo com a profundidade no perfil do solo. O gradiente ocorre porque os aportes vegetais são proporcionalmente maiores a partir da superfície do solo, com a permanência de restos de cultura e palhas, bem como a maior concentração de raízes nas primeiras camadas. No procedimento de amostragem, a variabilidade vertical é considerada no momento de definição das camadas para coleta. Geralmente, são retiradas amostras (deformadas e indeformadas) a cada 5 ou 10 cm até a profundidade de 40 cm; e a partir daí a cada 20 cm.



Embrapa



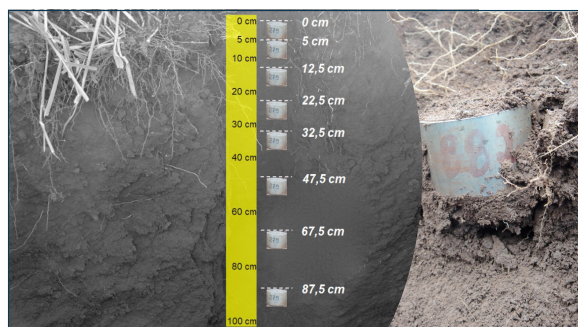
VARIABILIDADE ESPACIAL DO CARBONO



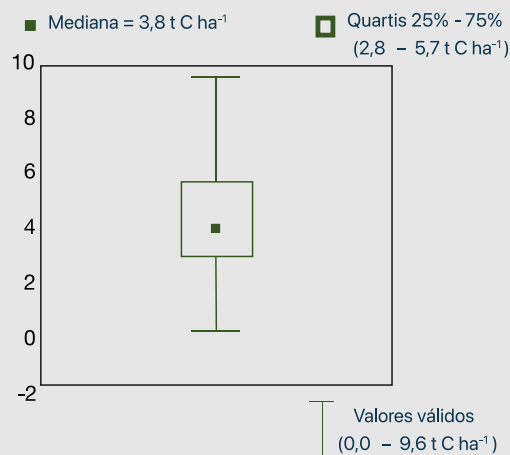
Horizontalmente, a variabilidade do C no solo têm relação com a região de linha e entrelinha, com diferenças de microrelevo e, principalmente, com a ocorrência de manchas/tipos de solo. Nesse caso, a estratégia de amostragem para quantificação do C no solo segue as premissas já utilizadas nos procedimentos de avaliação da fertilidade do solo, em que a unidade de amostragem é a unidade de manejo do produtor, ou seja, o talhão. O talhão é a unidade de manejo e de produção, que deve apresentar certa homogeneidade quanto ao tipo de solo, relevo e histórico de uso e manejo.

Uma característica fundamental do projeto para sequestro de C no solo refere-se a variação do estoque com o tempo após a adoção de um novo sistema de cultivo e/ou prática agrícola (adicionalidade*). Essa variação temporal do estoque de C no solo em função do tempo deve ser suficientemente maior que a variabilidade espacial do C. Dessa forma, se pode estimar o número de amostras e a periodicidade de reamostragem em função de uma variabilidade espacial esperada (revisão de literatura ou medidas prévias) no talhão. Admitindo-se uma taxa anual de sequestro de $0,4 \text{ t C ha}^{-1}$ e uma variabilidade espacial expressa como desvio padrão da média igual a $3,8 \text{ t C ha}^{-1}$ (valor calculado com dados dos estoques de C até 30 cm de profundidade, a partir das 54 propriedades rurais monitoradas na cooperação Embrapa - Bayer), é possível perceber que o número de amostras pode ser inferior a 20 e o intervalo para monitoramento do estoque entre três e quatro anos.

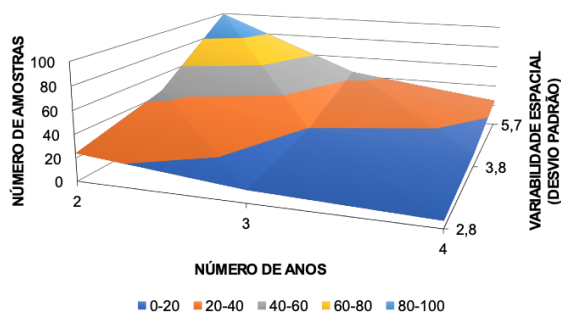
*Adicionalidade: redução de emissões de gases de efeito estufa ou sequestro de carbono de forma adicional ao que ocorreria na ausência de tal atividade, prática ou sistema.



VARIABILIDADE ESPACIAL NA AMOSTRAGEM PARA ESTOQUE DE C NO SOLO ATÉ 30 CM - VALORES DE DESVIO PADRÃO (EMBRAPA-BAYER)



Número de amostras = $(t * \text{DesvPad} / Ci)^2$
 t : 1,96 (95% prob.; $GL > 120$)
 DesvPad: desvio padrão (2,8; 3,8; e $5,7 \text{ t C ha}^{-1}$)
 Ci : incremento de carbono ($0,4 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)



MÉTODOS E TECNOLOGIAS INOVADORAS PARA MAPEAMENTO DE ESTOQUES DE C NO SOLO

TÉCNICAS DE FRONTEIRA GERAM RESULTADOS PROMISSORES PARA MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO NO SOLO

Débora M.B. P. Milori, Ladislau Martin-Neto, Paulino R. Villas-Boas, Diego V. de Babos, Vitor da S. Freitas, Wesley N. Guedes
EMBRAPA Instrumentação

CONTEXTO

Simplificar e reduzir os custos de análise para mapeamento de estoque de Carbono no solo é um desafio internacional, para o qual a Embrapa tem contribuído com novos métodos e tecnologias já transferidas para o setor privado. Em alternativa ao método de referência internacional, utilizando analisador elementar CHN, foram desenvolvidas duas novas metodologias. Uma delas foi com a técnica LIBS, a mesma usada pela NASA nos robôs que investigam o solo de Marte, que utiliza laser embarcado no equipamento AGLIBS, licenciado para a empresa Agrorobótica. A outra é o NIRS, que utiliza infravermelho no equipamento SpecSolos, licenciado para a empresa SpecLab e Instituto Brasileiro de Análises (IBRA).

RESULTADOS

Análises realizadas pela Embrapa Instrumentação, em parte do conjunto amostral das fazendas, mostraram diferenças significativas nos estoques de C do solo entre os sistemas agrícolas (denominados “manejos do produtor” e “sustentável Bayer”) e as áreas de vegetação nativa. Foi identificado sequestro de C em algumas propriedades rurais comparativamente às áreas de vegetação nativa, principalmente na região do Cerrado.

No caso das medidas usando o LIBS, foi possível demonstrar uma incerteza de 0,4% na determinação do conteúdo de C. Dados da literatura internacional para o NIRS indicam uma faixa de incerteza de 0,4 a 0,9%, e estão em avaliação no presente projeto. Os valores obtidos com o LIBS, no presente projeto, e dados da literatura internacional para o NIRS, indicam que ambos poderão se consolidar como métodos alternativos, de menor custo e maior velocidade de análises, em relação ao uso do Analisador CHN, método de referência internacional, o qual apresenta uma incerteza instrumental de 0,3% C.

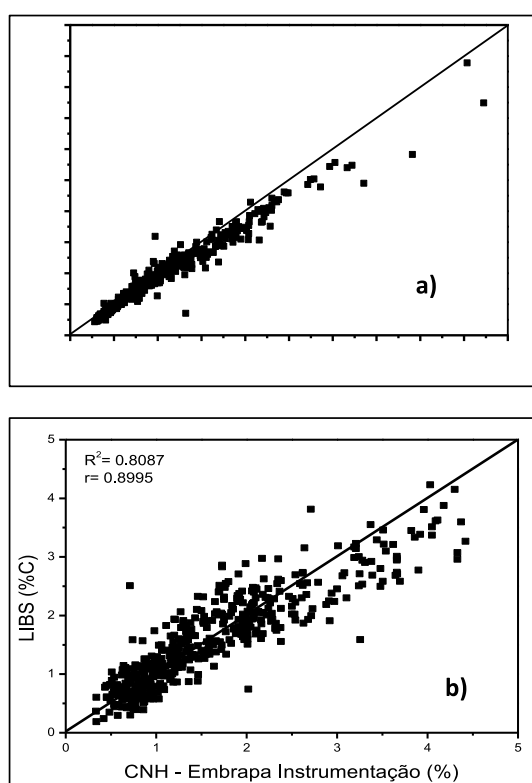
As análises qualitativas da matéria orgânica do solo (MOS) utilizaram outro método inovador, patenteadado pela Embrapa Instrumentação, a fluorescência induzida por laser (LIFS), que permite determinar o grau de humificação da MOS, com amostras de solos das áreas de cultivos e de vegetação nativa. Foram realizadas ainda análises qualitativas da MOS usando métodos isotópicos, que permitem determinar se a planta que originou o carbono no solo é C3.



[FIGURA 1] Estrutura laboratorial da Embrapa, utilizando laser, para gerar medidas com método inovador LIBS para detecção de C em amostras de solos.

Resultado publicado internacionalmente, muito recentemente, com estudos de metadados, comparando experimentos de campo de longa duração, especialmente conduzidos em instituições de pesquisas, em 19 países de 6 continentes, indicaram que em áreas de clima quente, como o Brasil, com possibilidade de 2 safras anuais e usando práticas conservacionistas, como plantio direto, tem mais possibilidades de sequestrar C que outras regiões. Trata-se de importante resultado e que indica a habilidade dos solos dos trópicos em terem maior protagonismo em um mercado de créditos de C no solo. No presente projeto a expectativa é avançar e gerar dados inéditos com um significativo monitoramento e acompanhamento temporal de propriedades rurais privadas, nos principais polos produtores do país.

A expectativa é que os métodos inovadores de quantificação de C e aspectos qualitativos da MOS serão importantes aliados para viabilizar a superação do desafio proposto. Vamos trabalhar juntos!



[Figura 2] Dados de medidas de quantificação do conteúdo de C em solos: a) resultados obtidos pelo método de referência internacional (CHN), comparando resultados gerados pelas empresas contratadas (planilha Bayer) e pela Embrapa Instrumentação; b) resultados obtidos pelo método LIBS, na Embrapa Instrumentação, em comparação com analisador CHN, para amostras com teores de C no solo abaixo de 4,5%.

CONCLUSÕES

As técnicas inovadoras LIBS e NIRS geraram resultados promissores no projeto. Internacionalmente, cresce o interesse nas publicações indexadas relacionadas ao uso das duas ferramentas para medidas do conteúdo de C nos solos, assim como o de empresas atuantes nos mercados de créditos de C e de entidades certificadoras.

REFERÊNCIAS

- BELTRAME, K.K. et al., 2016. Soil Organic Carbon Determination Using NIRS: Evaluation of Dichromate Oxidation and Dry Combustion Analysis as Reference Methods in Multivariate Calibration. *Journal of Brazilian Chemical Society*, vol. 27, No. 9, 1527-1532.
- FONSECA, A.A. et al., 2022. Effect of the sample measurement representativeness on soil carbon determination using near-infrared compact spectrophotometers. *Geoderma*, vol. 409, article 115636.
- NICOLODELLI, G.; et al., 2014. Quantification of total carbon in soil using laser-induced breakdown spectroscopy: a method to correct interference lines. *Applied Optics*, vol. 53, n. 10, p. 2170-2176.
- NICOLOSO, R. S. & RICE, C.W. 2021. Intensification of no-till systems: An opportunity for carbon sequestration. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 85 (5), 1395-1409.
- TADINI, A.M. et al., 2021. Evaluation of soil organic matter from integrated productions systems using laser-induced fluorescence spectroscopy. *Soil & Tillage Research*, vol. 211, 105001.
- VILLAS-BOAS, P.R.; et al., 2020. Applications of laser-induced breakdown spectroscopy for soil characterization, Part II: Review of elemental analysis and soil classification. *European Journal of Soil Science-Special Issue Article*, vol. 75, issue 5, 805-818.

SISTEMAS DE MANEJO DE ALTA PERFORMANCE (EXPERIMENTOS DE LONGA DURAÇÃO)

A COMBINAÇÃO DO PLANTIO DIRETO COM PRÁTICAS QUE INTENSIFICAM O DESENVOLVIMENTO VEGETAL E A PRODUÇÃO DE PALHA PROMOVE A SAÚDE DO SOLO, O AUMENTO DE PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS E O SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO.

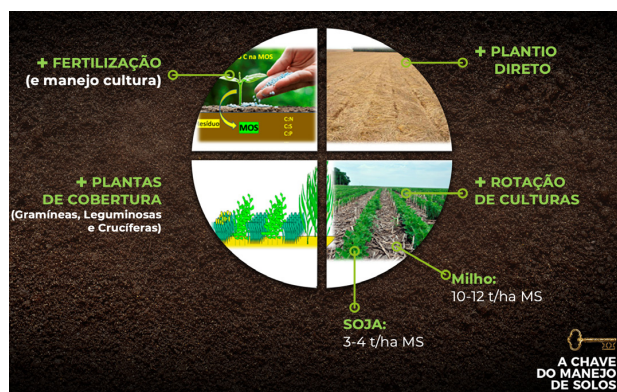
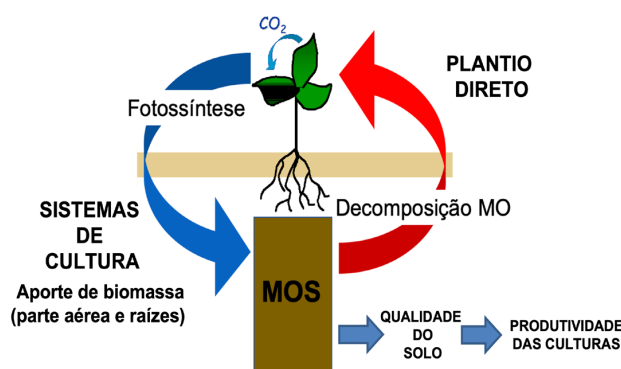
Prof. Cimélio Bayer - UFRGS, Julio C. F. Santos -Embrapa Soja, Felipe Bertol - Fundação MT e Edson M. Mattiello - UFV

CONTEXTO

Manejar o solo em regiões tropicais e subtropicais é manejar a matéria orgânica. Práticas convencionais de manejo que associam intenso revolvimento do solo e baixo aporte de palha, promovem uma perda rápida da matéria orgânica do solo e, em consequência, deterioração da saúde (qualidade) do solo, e redução da produtividade das culturas. Em adição, ocorre uma emissão líquida de dióxido de C (CO_2) para a atmosfera que contribui para o aquecimento global e mudanças climáticas.

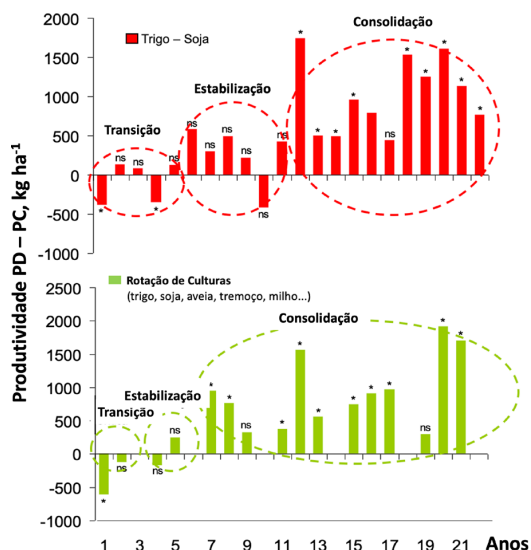
A ampla adoção do plantio direto (PD) no Brasil teve uma grande importância no controle de erosão do solo. Entretanto, a melhoria da qualidade do solo e o sequestro de C demandam o alto aporte de biomassa vegetal. Portanto, a qualificação do PD é necessária para alcançar o seu pleno potencial quanto aos benefícios agrônômicos e ambientais.

Nessa perspectiva de qualificação do PD e ampliação da produtividade das culturas e do sequestro de C no solo devemos trabalhar com a intensificação e diversificação de sistemas de rotação de plantas de cobertura e culturas comerciais, devendo ser observados também o manejo adequado da física e da fertilidade do solo visando privilegiar a fixação de C via fotossíntese.



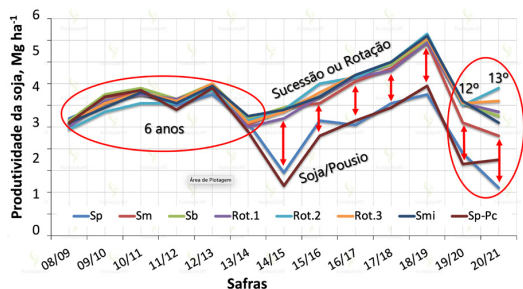
RESULTADOS

A fim de ilustrar o impacto das práticas de manejo na produtividade das culturas e no solo vamos acessar os resultados de dois experimentos de longa duração, sendo um conduzido em Londrina (PR) pela Embrapa Soja, e o outro em Rondonópolis (MT) pela Fundação MT. O experimento do PR demonstra que o plantio direto associado à monocultura trigo-soja promove aumento da produtividade da soja apenas após 11 anos de adoção, em comparação ao preparo convencional (PC). Por sua vez, o sistema de rotação de culturas envolvendo soja, trigo, tremoço, aveia e milho acelera esse efeito e, a partir do 7º ano de adoção, o plantio direto já apresentou maior produtividade de soja do que no PC.



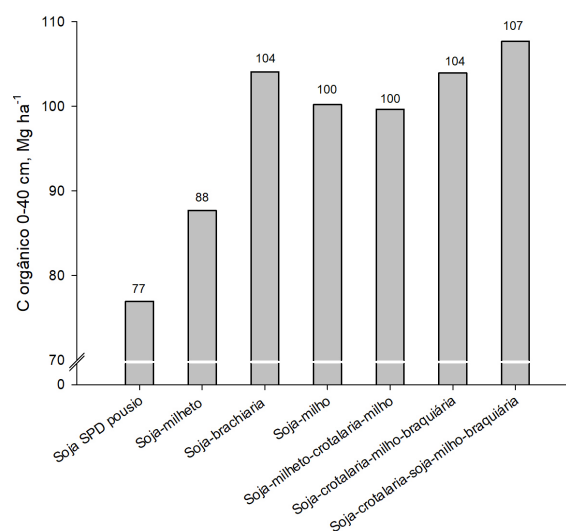
[Figura] Aumento da produtividade da soja em plantio direto acelerado pela rotação de culturas em Latossolo no norte do Paraná. Fonte: Embrapa Soja. Similares resultados foram observados na região do Cerrado. Na figura a seguir é possível visualizar a importância da intensificação do sistema de produção de soja através da inserção do milho e de plantas de cobertura na entre-safra/safrinha.

A partir da 6ª safra os sistemas de cultura mais intensos, com plantas de cobertura ou milho na safrinha, passaram a apresentar maior produtividade de soja do que o sistema com pousio-soja, o que foi também motivado pelo uso de variedades precoces com maior potencial produtivo. O ganho em produtividade acumulada com o uso de sistemas de cultura mais intensos alcançou 20-25% ao longo das 13 safras.



[Figura] Produtividade da soja durante 13 safras sob diferentes sistemas de manejo do solo em Rondonópolis, MT (Fonte: Fundação MT).

Como esses sistemas de produção promovem também aporte diferenciado de biomassa vegetal (e raízes), a adoção dos diferentes sistemas de produção de soja em plantio direto por 12 anos resultou em estoques de C no solo variando de 77 a 107 Mg ha⁻¹, representando taxas de sequestro de C de 0,92 a 2,50 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Estas taxas podem ser consideradas elevadas, e outros experimentos estão sendo avaliados a fim de consolidar taxas médias representativas do sequestro de C no solo nas regiões Sul e Centro-Oeste do Brasil.



[Figura] Estoque de C em Latossolo (0-40 cm) após 12 anos da adoção de diferentes culturas na entressafra/safrinha de um sistema de produção de soja em plantio direto em Rondonópolis, MT. Fonte: Fundação MT e Depto Solos-UFV.

Conclusões: O aumento do aporte de biomassa vegetal através da intensificação cultural promove aumento da produtividade das culturas e amplia as taxas de sequestro de C em solos em plantio direto.

INCREMENTO DOS ESTOQUES DE CARBONO AO LONGO DO TEMPO

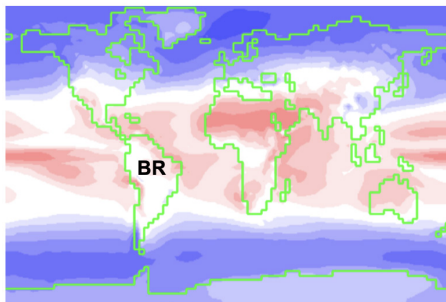
A MENOR DECOMPOSIÇÃO DA MOS EM SOLOS EM PLANTIO DIRETO COMBINADA AO MAIOR APORTE DE BIOMASSA VEGETAL E RAÍZES EM SISTEMAS DE CULTURA INTENSIFICADOS PROMOVEM O SEQUESTRO DE C EM SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS.

Prof. Cimélio Bayer - UFRGS

CONTEXTO

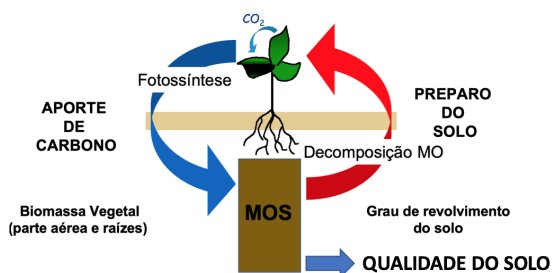
Solos agrícolas em regiões tropicais e subtropicais estão sujeitos a intensa radiação solar e elevadas temperaturas o ano inteiro, o que determina uma atividade biológica pujante (Figura 1).

ELEVADAS TAXAS DE ATIVIDADE BIOLÓGICA



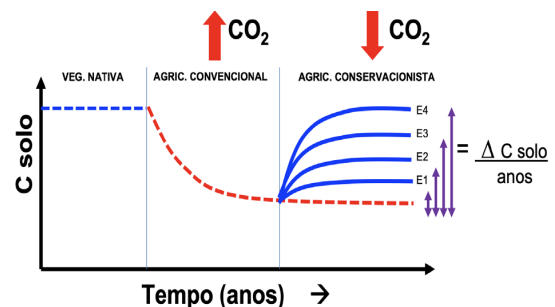
[Figura 1]

Quando os solos nestas regiões são submetidos a sistemas convencionais de manejo com intenso revolvimento, a atividade biológica se intensifica ainda mais e ocorre uma rápida depleção do conteúdo de MOS, deterioração da saúde do solo e comprometimento da sua capacidade produtiva (Figuras 2 e 3). Do ponto de vista ambiental, ocorre uma emissão líquida de dióxido de C (CO_2) para atmosfera, contribuindo para o aquecimento global e mudanças climáticas (Figura 3).



[Figura 2]

Nessas regiões, os fundamentos do manejo conservacionista são o não revolvimento do solo e o alto aporte de biomassa vegetal (e raízes), cujo uso combinado permite um balanço positivo entre o aporte e as perdas de C do solo (Figura 2), que se reflete num aumento gradativo dos estoques de C no solo. Sob sistemas conservacionistas de manejo, o solo pode atuar como um dreno de CO_2 da atmosfera, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (Figura 3).



[Figura 3]

O potencial de sequestro de C em solos em plantio direto depende, portanto, do sistema de cultura adotado, principalmente do aporte anual de biomassa vegetal, mas também sofre influência da textura e mineralogia do solo e das condições ambientais.

RESULTADOS

Experimentos de longa duração são ferramentas valiosas para avaliar o impacto do manejo na MOS. Nesse sentido, trouxemos alguns resultados obtidos em alguns destes experimentos a fim de ilustrar o potencial de acúmulo de C no solo.

Na figura superior pode-se visualizar a relação entre os estoques de C no solo com as adições anuais de C pelas culturas. Os maiores estoques de C no solo em PD do que em PC, para uma mesma adição de C, é decorrente da menor taxa de decomposição da MOS devido ao não revolvimento do solo.

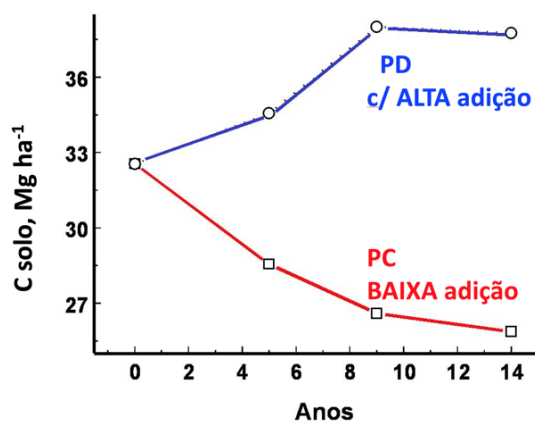
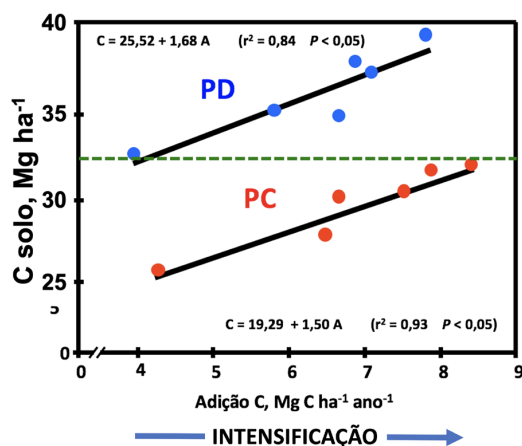
O comportamento dos estoques de C do solo no tempo nos sistemas de manejo extremos (maior adição de C no PD e menor adição de C no PC) pode ser visualizada na figura inferior. Observa-se que enquanto o solo em PC perde C gradativamente, no solo em PD, apresenta um aumento no seu estoque de C, cuja taxa é maior nos anos iniciais e reduz com o passar do tempo, tendendo a um conteúdo estável de C no solo.

Na tabela ao lado é apresentado um breve levantamento das taxas de sequestro de C em solos em plantio direto observadas nas regiões Sul e Centro-Oeste do Brasil. O primeiro aspecto a observar são as similares ou até maiores taxas de sequestro de C em solos brasileiros do que nos solos dos Estados Unidos, o que é relacionado ao número de cultivos por ano e produção de biomassa vegetal nas regiões brasileiras.

O segundo aspecto a observar é que a taxa de sequestro de C no solo em PD é altamente dependente do sistema de cultura, sendo praticamente nula sob sistemas tradicionais, com alta frequência de pousio, monocultura e culturas de baixa produção de biomassa. O potencial de acúmulo de C em PD se eleva com sistemas de cultura intensivos, com taxas médias em torno de 0,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Apesar de taxas mais elevadas serem obtidas em algumas publicações, os valores são dependentes do tipo de solo, condições climáticas e peculiaridades do sistema de produção.

CONCLUSÕES

O plantio direto apenas é efetivo no sequestro de C no solo se combinado a sistemas de cultura com elevado aporte de biomassa. As taxas de acúmulo de C são maiores na fase inicial e diminuem gradativamente ao longo dos anos.



Taxas médias de sequestro de C em solos em plantio direto

Região	Bayer et al. (2006)	Estimativa revisada
Sul (subtropical)	0,48	Mono/Rot. Cult. Tradicional 0,12±0,06
		Rotação Culturas Intensivo 0,58±0,09
Cerrado (tropical)	0,35	Mono/Rot. Cult. Tradicional 0,03±0,07
		Rotação Culturas Intensivo 0,42±0,06
Temperada-USA	0,34 (0,24-0,40)	

Fonte: Bayer et al. (2006), Lal et al. (1999), West e Marland (2002)

REFERÊNCIAS

- Bayer et al. 2006. Soil Till. Res., v.86, p. 237-245.
 Amado e Bayer, 2008.
 Lal et al. 1999. J. Soil Water Conserv. v. 54, p. 374-381.
 West e Marland, 2002. Agric. Ecosys. Environ. v. 91, p. 217-232.

SISTEMAS DE PRODUÇÃO INTENSIFICADOS: AVALIAÇÃO FINANCEIRA

SOB O VIÉS FINANCEIRO A INTENSIFICAÇÃO DE CULTIVOS DIVERSIFICA O RISCO E POTENCIALIZA O USO DOS RECURSOS DISPONÍVEIS NA PROPRIEDADE, AUMENTANDO A PROBABILIDADE DE OBTER MELHORES RESULTADOS.

Helio Antonio Wood Joris - FABC, Salathiel Antunes Teixeira - FABC, Claudio Kapp Junior - FABC,
Alberto Mario Peper - Bayer CS, Gabriel Barth - FABC, Luis Henrique Penckowski - FABC

Para potencializar o impacto social, o agronegócio tem a missão de maximizar o uso dos recursos disponíveis. Dentro deste contexto, o produtor rural tem o constante desafio de maximizar o uso da estrutura necessária para realizar o processo produtivo ao mesmo tempo que mantém a solvência e a rentabilidade do negócio (como os exemplos ilustrados na Figura 1).

A intensificação de cultivos pode encontrar soluções com grande impacto social que apresente sinergia ambiental e financeira, ajudando nos itens ilustrados na Figura 1. Esta hipótese é fundamentada com a modelagem financeira apresentada na Figura 2 para diferentes sistemas de produção projetados para condições edafoclimáticas específicas da cidade de Ponta Grossa – PR, na safra 2019-20, com valores deflacionados. O sistema de monocultura ilustrado é o resultado da sequência de: (i) 100 % da área com a cultura da Soja no verão e 100% com a cultura de Aveia Presta no inverno. Já o sistema de intensificação de cultivos ilustrado é resultado da sequência de: (i) 50% da área com a cultura da Soja no verão e cultura da Aveia preta no inverno; (ii) 25% da área com a cultura do feijão, seguida da cultura da soja em safrinha e a cultura de trigo no inverno; (iii) 25% da área com a cultura do milho, seguida da cultura do feijão em safrinha e a cultura de trigo no inverno.

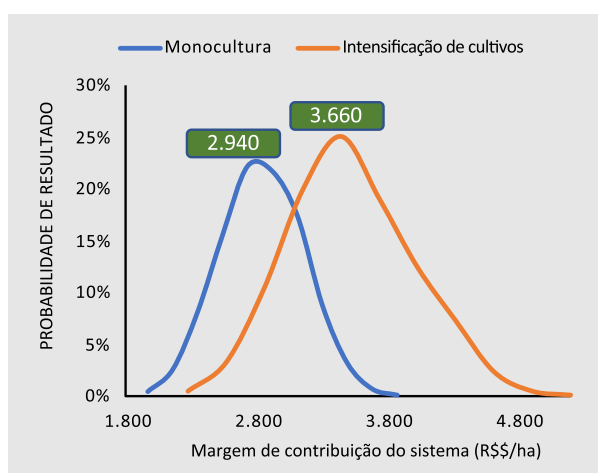
Na Figura 2 observa-se que a projeção do sistema de monocultura concentra a probabilidade de obtenção de uma margem de contribuição em torno de R\$ 2.940 por hectare ao passo que um sistema intensificado acaba concentrando a curva de probabilidade mais a direita com maior concentração em torno de R\$ 3.660 por hectare.



CUSTO DA TERRA OCIOSIDADE DE RECURSOS HUMANOS



[Figura 1] Itens da gestão financeira da propriedade rural.



[Figura 2:] Modelagem de probabilidade de resultados para diferentes sistemas de produção.

Além de apresentar maior chance de melhorar a margem de contribuição, o sistema intensificado pode ajudar a diluir o risco da atividade agrícola com a diversificação das culturas, cultivares e épocas de plantio, diminuindo assim o impacto de uma decisão específica como é observado na modelagem financeira apresentada na Figura 3. Como exemplificação, conforme ilustrado, uma decisão que leve a variação do preço médio de comercialização da cultura da soja em 1% podem impactar em aproximadamente 2% na margem de contribuição no sistema de monocultura, enquanto no sistema intensificado cai para próximo de 1%.

RESULTADOS OBTIDOS

Nas cidades de Carambeí-PR e Itaberá-SP, entre as safras 2018-19 a 2020-21, foram monitorados em condições experimentais sistemas de produção agrícola conforme descritos no capítulo: "Sistemas de Produção Intensificados: Produtividade e aporte de C". Além das variáveis já estudadas, foram monitorados a Margem de Contribuição e a produção de energia de todos os sistemas, apresentados na Tabela 1.

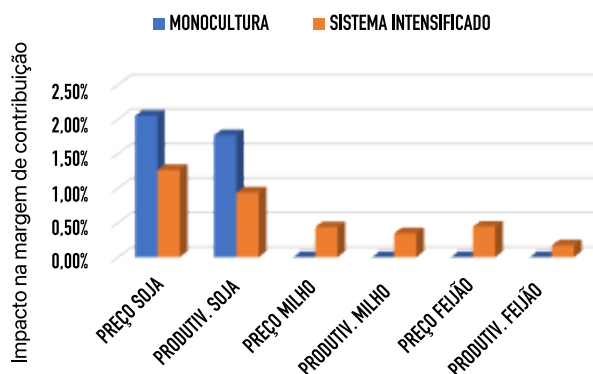
Observa-se que:

Na cidade de Carambeí-PR o sistema de Intensificação sustentável obteve uma diferença de 28% e 16% em relação à rotação clássica; e 45% e 50% em relação à monocultura para a margem de contribuição e produção de energia respectivamente.

Na cidade de Itaberá-SP o sistema de Intensificação sustentável obteve uma diferença de 28% e 20% em relação à rotação clássica; e 51% e 63% em relação à monocultura para a margem de contribuição e produção de energia respectivamente.

CONCLUSÃO

A intensificação de sistemas de produção na agricultura pode ser uma alternativa para potencializar o impacto social o agronegócio, contribuindo para a diluição do risco financeiro, e, conforme hipóteses modeladas os sistemas de produção monitorados apresentaram maior resultado financeiro acumulado ao longo de 3 ciclos de safra agrícola.



[Figura 3] Impacto da variação de 1% do preço e produtividade na margem de contribuição de sistemas de produção agrícola.

Sistemas de produção Agrícola	TOTAL	
	R\$	GJ ha
Carambeí - Paraná		
Monocultura	17.993	947
Rotação clássica	20.291	1.230
Intensificação sustentável	26.121	1.429

Sistemas de produção Agrícola	TOTAL	
	R\$	GJ ha
Itaberá- São Paulo		
Monocultura	19.149	1.062
Rotação clássica	22.620	1.282
Intensificação sustentável	29.090	1.740

[Tabela 1] Margem de contribuição e energia acumulados em diferentes sistemas de produção agrícola entre as safras de 2018-19 a 2020-21.

SISTEMAS DE PRODUÇÃO INTENSIFICADOS: PRODUTIVIDADE E APORTE DE C

A INTENSIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO É MAIS QUE UMA TENDÊNCIA: É UMA NECESSIDADE. COMO MANTER ESSES SISTEMAS SUSTENTÁVEIS? QUAIS ESTRATÉGIAS USAR PARA PLANTAS DE COBERTURA? COMO AVALIAR? COMO ADEQUAR PRÁTICAS A DIFERENTES AMBIENTES DE PRODUÇÃO? SÃO PERGUNTAS QUE ESSE PROJETO BUSCA RESPONDER.

Helio Antonio Wood Joris, Salathiel Antunes Teixeira, Claudio Kapp Junior, Alberto Mario Peper, Gabriel Barth, Luis Henrique Penckowski

A produção de grãos de modo geral é realizada em sistemas de produção que envolvem diferentes espécies visando obter a máxima rentabilidade que o ambiente permite. Com o aumento expressivo no preço da terra, arrendamento e custos de produção de maneira geral, a demanda por maior rentabilidade na mesma área tem aumentado de maneira expressiva.

No entanto, há uma demanda crescente para avaliar diferentes sistemas de produção que consigam aliar maior diversidade de espécies e intensificação do sistema. Tal demanda é fundamental para garantir a sustentabilidade do sistema, tanto do ponto de vista ambiental, quanto social e econômico.

Nesse contexto, é fundamental ter embasamento científico para que o produtor possa escolher os sistemas mais rentáveis, mas sem causar degradação do solo em médio/longo prazo. O incremento de C no solo é um dos principais indicativos da viabilidade do sistema escolhido, e a possibilidade de desenvolvimento de um mercado de C é fundamental para aliar a rentabilidade com a sustentabilidade do sistema como um todo.

Em 2018, esse projeto foi implantado em uma parceria entre Bayer e Fundação ABC, em dois locais: Carambeí-PR e Itaberá-SP (Tabela 1). Os locais são relativamente próximos geograficamente, porém os ambientes diferem em altitude, clima e tipo de solo, de modo que essas diferenças ambientais influenciam diretamente nos sistemas mais adequados aos objetivos propostos.

SISTEMAS	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4
Monocultura				
Rotação Clássica				
Intensificação Mínima				
Intensificação Máxima (Carambeí)				
Intensificação Máxima (Itaberá)				
Intensificação Máxima Sustentável (Carambeí)				
Intensificação Máxima Sustentável (Itaberá)				

TRIGO

SOJA

FEIJÃO

MILHO

AVEIA PRETA

MIX DE COBERTURA

[Tabela 1] Sequência de cultivos nos diferentes sistemas avaliados

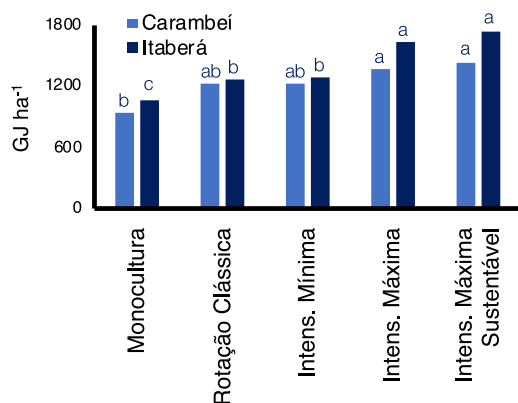


[Figura 1] Culturas comerciais e de cobertura em diferentes sistemas avaliados

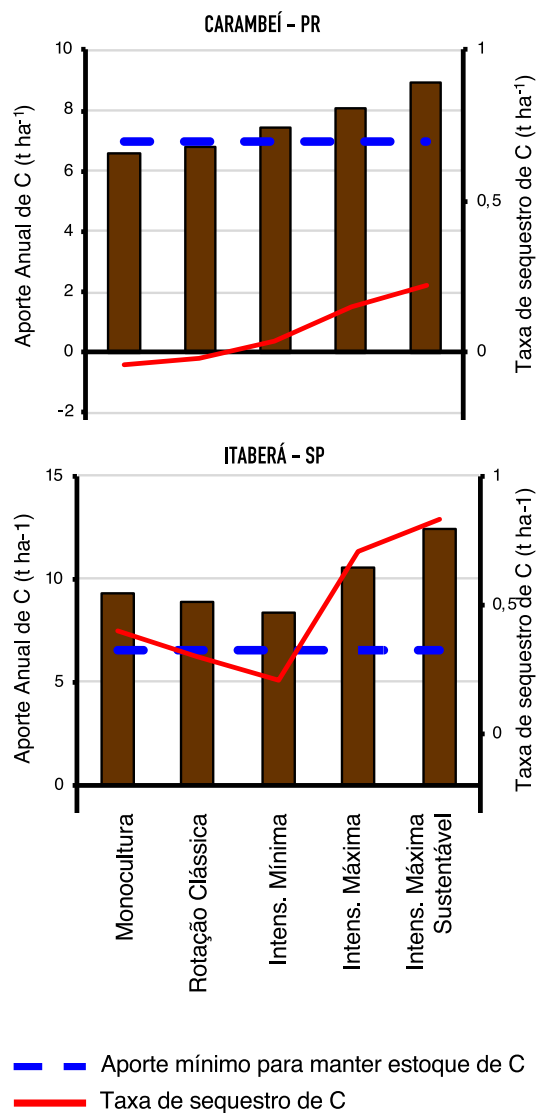
Atualmente, os ensaios estão na terceira safra de avaliação. A partir da condução de dois ciclos agrícolas, foi possível avaliar resultados referentes à produtividade, transformada em produção de energia, englobando grãos e biomassa (Figura 2). Em ambos locais, é possível notar um aumento na produção de energia com a intensificação do sistema. Tal resposta confirma a hipótese de maior produtividade global com a intensificação do sistema, havendo ou não a adição de plantas de cobertura no sistema.

Os resultados de aporte de C (Figura 3) indicam no entanto que o uso de boas práticas em sistemas mais intensificados potencialmente aumentam o aporte de C no sistema, o que pode refletir em C no solo. O aporte mínimo de C foi calculado por meio do modelo Century. Em Carambeí, é possível observar o risco de depleção de C no sistema com sistemas menos diversificados.

Atualmente, há diversas avaliações em andamento, tais como: Emissão de GEE, diversidade microbiana, entre outros.



[Figura 2] Produtividade acumulada de energia após 2 anos de avaliação.



[Figura 3] Aporte anual de C e taxa de sequestro obtida em diferentes sistemas, de acordo com aporte mínimo de C necessário

INTENSIFICAÇÃO ECOLÓGICA: ALTERNATIVA PARA INCREMENTAR A PRODUTIVIDADE E A CAPTURA DE CARBONO, REDUZINDO O IMPACTO AMBIENTAL.

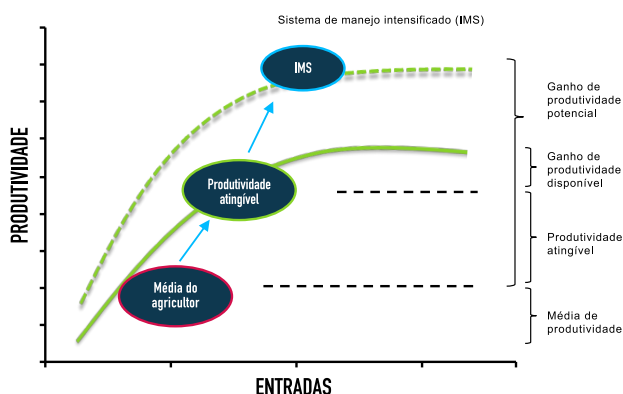
A AGRICULTURA É PARTE DA SOLUÇÃO PARA ALIVIAR A FOME NO MUNDO E O AQUECIMENTO GLOBAL

Peper Alberto, Benedit Beltran, Galvan Jônatas - Bayer Agronomic Systems & Digital Market Development LATAM

A agricultura tem a possibilidade de atender uma demanda crescente de produtos de uma forma mais estável, minimizando também o impacto ambiental, aumentando a incorporação de carbono no solo e utilizando os recursos de forma mais eficiente (Andrade, 2020), através da combinação de conhecimentos e práticas atualmente disponíveis, com um uso criterioso dos recursos naturais que os preservem a longo prazo (Tittone, 2020 in Satorre 2020). Essas estratégias de produção baseiam-se na geração de novas funções ou fronteiras de produtividade, que para serem alcançadas devem ser executadas por meio de um processo de construção ao longo do tempo, não podendo ser alcançadas em uma única safra.

As diretrizes para gerenciar modelos produtivos de intensificação ecológica:

1. Adequar a oferta de recursos às exigências e demandas do sistema produtivo;
2. Regular ou corrigir os fatores que impeçam ou diminuam a eficiência da relação entre a oferta ambiental e os requerimentos;
3. Reduzir a dependência do sistema de insumos externos, principalmente aqueles obtidos de recursos não renováveis;
4. Sustentar a base de recursos naturais e serviços ecossistêmicos associados ao longo do tempo, aumentando a resiliência;



Estes conceitos podem se agrupar em:

1. Tecnologias de processos: Baseadas em conhecimento e tecnologias sólidas. Por exemplo: melhoria genética, biotecnologia, robótica, sensores, inteligência artificial, conhecimento do ambiente;
2. Tecnologias de insumos: Tipos de produtos, dosagem, forma e momento de aplicação;
3. Biodiversidade: Sequências de cultivos, intensificação do número de cultivos por ano, cultivos de cobertura, incremento na quantidade e diversidade da biota do solo.

INTENSIFICAÇÃO ECOLÓGICA

TECNOLOGIA DE PROCESSOS E CONHECIMENTOS
TECNOLOGIA DE INSUMOS
INCREMENTO DE BIODIVERSIDADE

Essas são as bases do modelo de manejo agrônomo que estamos promovendo e que o time de MD da Bayer vem avaliando desde 2014, com excelentes resultados em produtividade, sequestro de carbono e redução de impacto ambiental, acompanhados de uma excelente margem bruta.

- + EFICIÊNCIA NO USO DOS RECURSOS
- + PRODUTIVIDADE ANUAL
- IMPACTO AMBIENTAL

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Andrade, F. H. (2020). Los desafíos de la agricultura global, Ediciones INTA.
Satorre, E. H. (2020). Sistemas productivos sostenibles: bases y experiencias para repensar el modelo de producción agrícola y sus relación con la ganadería.

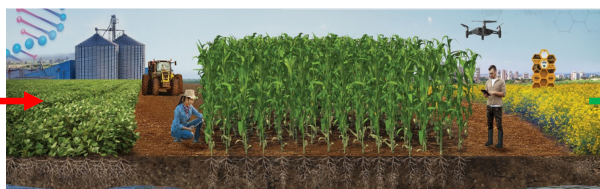
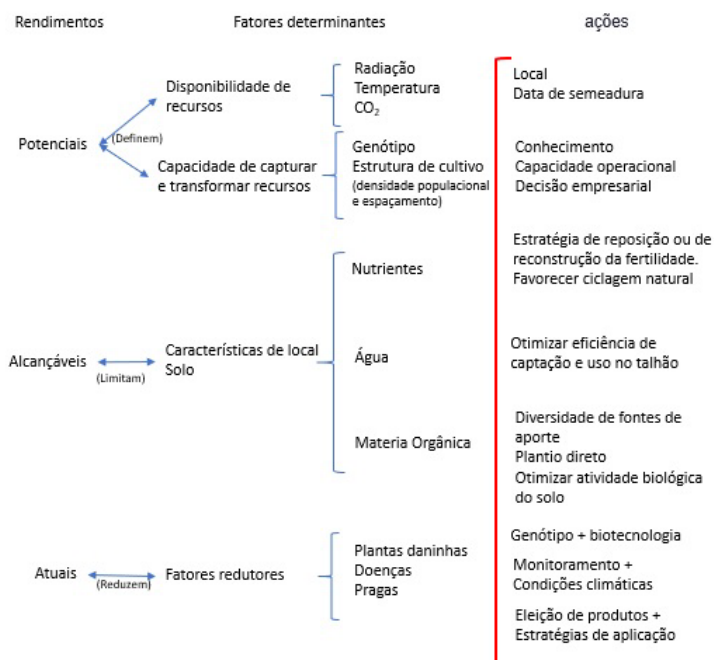
IMPULSIONADORES PARA MAIOR PRODUTIVIDADE E MELHORIA DO AMBIENTE PRODUTIVO

PARA CADA AMBIENTE, MAXIMIZAR OS RENDIMENTOS, DIMINUIR SUA VARIABILIDADE AO MESMO TEMPO EM QUE AUMENTA SUA QUALIDADE, RESILIÊNCIA E DIVERSIDADE BIOLÓGICA

Peper Alberto, Benedit Beltran e Galvan Jônatas - Bayer Agronomic Systems & Digital Market Development LATAM

A produtividade de um sistema agrícola depende da disponibilidade de recursos - radiação solar, água e nutrientes - e da capacidade do sistema de capturá-los e convertê-los em produtos de valor econômico. A eficiência dessa transformação pode ser limitada pelas condições do solo, que regulam o fornecimento de água e nutrientes, e pela incidência de fatores redutores - plantas daninhas, doenças e insetos - que juntos determinam o nível de produtividade alcançada.

A intensificação ecológica busca o máximo aproveitamento dos recursos produtivos, no espaço e no tempo, bem como a manutenção ou recuperação de sua disponibilidade por meio de maior ocupação do solo (mantendo o sistema biologicamente ativo), biodisponibilidade e medidas de modificação do meio ambiente. Todos esses processos precisam de tempo para sua correta evolução e um entendimento sistêmico do conjunto de práticas a serem desenvolvidas para sua execução com sucesso.



A maioria dessas decisões não apenas gera um efeito imediato nas respostas de cada cultura em si, mas também gera efeitos residuais no sistema de produção que são cumulativos ao longo do tempo. Essas contribuições são as que modificam a saúde do solo e que acabam realimentando o sistema, facilitando o aumento da produtividade das culturas.

BENEFÍCIOS DOS SISTEMAS DE MANEJO INTEGRADO ILPF

OS SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA PROMOVEM A INTENSIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL DE USO DA TERRA, COM BENEFÍCIOS ECONÔMICOS, SOCIAIS E AMBIENTAIS.

Prof. Leidivan Almeida Frazão - UFMG e Prof. Evander Alves Ferreira - UFMG

Os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), também conhecidos como sistemas agrossilvipastoris, foram introduzidos como alternativa aos modelos atuais de produção e visam aumentar a biodiversidade e a manutenção da sustentabilidade agrícola, pecuária e agrossilvicultura. Esse modelo de produção consiste na diversificação com rotação ou sucessão de espécies agrícolas, forrageiras, florestais e pecuária em uma mesma área, de forma que haja interação e benefícios para todas as atividades (Balbino et al., 2011).

Dentre os potenciais benefícios da ILPF têm-se o aumento da produtividade; a melhoria de atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o aumento dos estoques de carbono (C) no solo; maior geração de renda, redução de riscos climáticos e mercadológicos em virtude da diversificação da produção; dentre outros (Figura 1). Costa et al. (2018), em uma ampla abordagem do ciclo de vida de sistemas ILPF no Cerrado brasileiro, observaram também potencial de redução de 2.389 Mg de CO₂ equivalente comparativamente a sistemas não integrados.

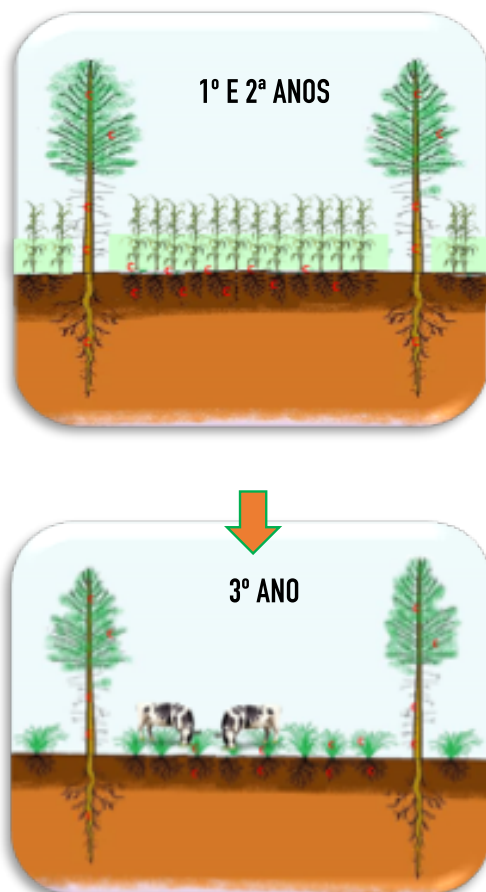
No entanto, a eficiência da ILPF depende de variados fatores como os arranjos produtivos (espaçamento entre linhas, densidade de plantio, espécies cultivadas e genótipos dos três extratos vegetais); o sombreamento (proporcionado pelo componente arbóreo afeta as características fotossintéticas dos extratos inferiores, influenciando diretamente o crescimento e produtividade das espécies consortes); e a competição por água e nutrientes, que influencia diretamente o crescimento e a produtividade das espécies cultivadas (Santos et al., 2017; Cruz et al., 2020).



[Figura 1] Benefícios dos sistemas de manejo integrado ILPF.

- Assim, estudos com sistemas integrados ILPF tornam-se importantes em escala nacional, visando:
- Determinar o impacto da conversão de pastagens degradadas em sistemas de ILPF nos estoques de C do solo;
- Avaliar o potencial de acúmulo de C em sistemas de ILPF em função das diferentes condições edafoclimáticas;
- Determinar como os arranjos produtivos influenciam a qualidade física e química dos solos.

Considerando os múltiplos arranjos produtivos da ILPF (Figura 2), estudos já realizados apontaram que os sistemas podem ser utilizados como estratégia eficiente para recuperação de pastagens degradadas, promovendo aumento dos estoques de C no solo (Almeida et al., 2021; Frazão et al., 2021), aumento da biodiversidade (Freitas et al., 2020), além de melhorias na fertilidade do solo, no armazenamento de matéria orgânica, na qualidade biológica (Damian et al., 2021) e qualidade física dos solos (Muchane et al., 2020).



[Figura 2] Exemplo de arranjo produtivo e potencial de acúmulo de C pela ILPF.

REFERÊNCIAS

- Almeida, L.L.S. et al. Soil carbon and nitrogen stocks and the quality of soil organic matter under silvopastoral systems in the Brazilian Cerrado. *Soil and Tillage Research*, v. 205, 104785, 2021.
- Balbino, L.C. et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 1–12, 2011.
- Costa, M.P. et al. A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. *Journal of Cleaner Production*, v. 171, p. 1460-1471, 2018.
- Cruz, P.J.R. et al. Morphogenetic, physiological, and productive of forage peanut responses to shading. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 55, e01746, 2020.
- Damian, J.M. et al. Pastureland intensification and diversification in Brazil mediate soil bacterial community structure changes and soil C accumulation. *Applied Soil Ecology*, v.160, 103858, 2021.
- Frazão, L.A. et al. Carbon and nitrogen stocks and organic matter fractions in the topsoil of traditional and agrisilvicultural systems in the Southeast of Brazil. *Soil Research*, v. 59(8), p. 794–805, 2021.
- Freitas, I.C. et al. Agrosilvopastoral systems and well-managed pastures increase soil carbon stocks in the Brazilian Cerrado. *Rangeland Ecology & Management*, v. 73(6), p. 776–785, 2020.
- Muchane, M. N. et al. Agroforestry boosts soil health in the humid and sub-humid tropics: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 295, 106899, 2020.
- Santos, M.V. et al. Brachiaria physiological parameters in agroforestry systems. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 47:05, 2017.

MODELOS PARA PROJEÇÃO DE ACÚMULO DE CARBONO EM SOLOS APORTES PARA MANUTENÇÃO DO SISTEMA

OS MODELOS MAIS UTILIZADOS ATUALMENTE ESTIMAM 6.5 E 7.0 MG CHA⁻¹ANO⁻¹ PARA A MANUTENÇÃO DO EQUILÍBRIO DOS ESTOQUES DE CARBONO NOS SOLOS DA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ.

Prof. Daniel Ruiz Potma Gonçalves - UEPG

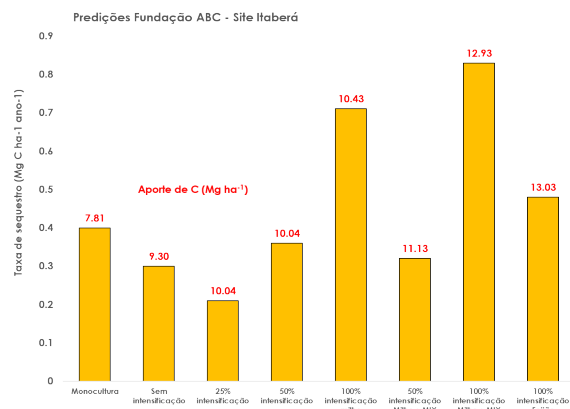
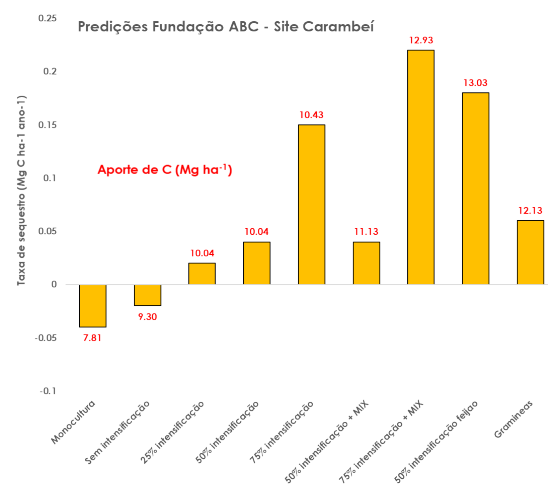
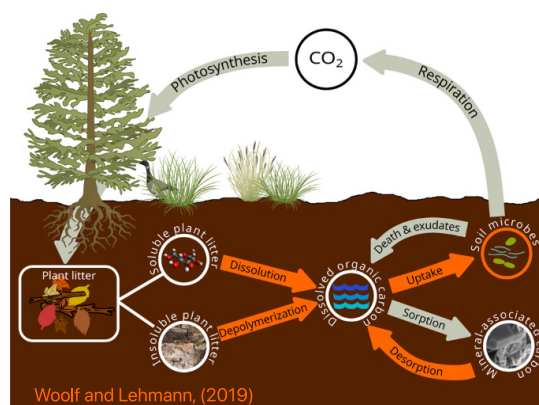
Agricultura de destaca como uma atividade capaz de sequestrar carbono nos solos, sendo o seu potencial estimado em 19 ± 2.8 Tg C somente para a região dos Campos Gerais do Paraná (Gonçalves et al. 2018).

Visando explorar este potencial para a consolidação de um mercado de carbono na agricultura é fundamental a mensuração dos estoques de carbono no solo. Porém, este processo pode ser muito custoso.

Assim, modelos preditivos se destacam como uma ferramenta complementar às técnicas analíticas. Sua utilização possibilita projeções de cenários futuros e redução de custos e incerteza na implementação de projetos. A maioria dos principais modelos (Century, RothC, DNDC, etc.) foi desenvolvida para regiões temperadas, e embora possam ser aplicadas em regiões tropicais e subtropicais, exigem calibração e ajustes.

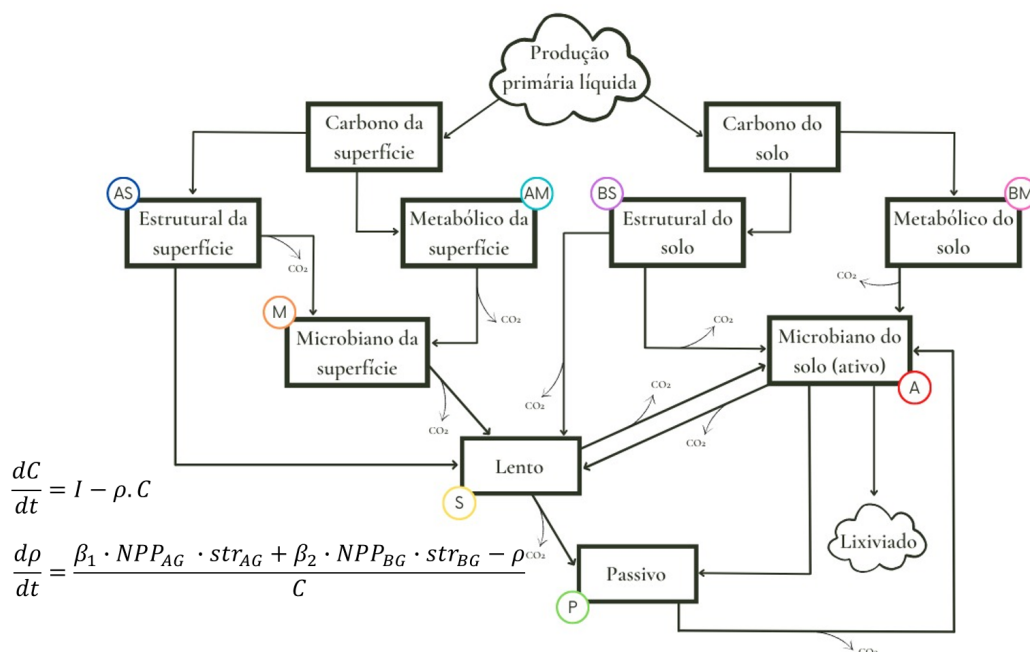
Neste trabalho utilizamos o modelo Century para simular o aporte de carbono necessário para a manutenção dos estoques de carbono no solo em um experimento de longa duração realizado na Fundação ABC.

As taxas de sequestro de carbono obtidas indicam necessidade de aporte de 7.0 e 6.6 Mg ha⁻¹ C ano⁻¹ para a manutenção dos estoques observados em Carambeí e Itaberá simultaneamente. Estas podem ser somadas às emissões do sistema (e.g. N₂O, CO₂, NH₄) para obtenção de inventários e pegadas de carbono positivas.



AVANÇOS NA MODELAGEM DO ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO

Dr. Luis Gustavo Barioni, Dr. Júnior Melo Damian, Dr. Vinícius do Carmo Melício,
Dra. Beatriz Aria Valladão e Dr. Bruno Henrique Pereira - EMBRAPA Agricultura Digital



Modelos matemáticos e de simulação tem evoluído para responder questões cada vez mais complexas associadas ao clima, à cultura, aos impactos ambientais e aos retornos e riscos econômicos das atividades agrícolas. A representação do conhecimento científico teórico ou empírico sobre os processos possibilita projetar o comportamento esperado como resultado de complexas interações no sistema solo-planta-atmosfera, tornando-os ferramentas imprescindíveis para dar escala aos experimentos controlados e dados de campo.

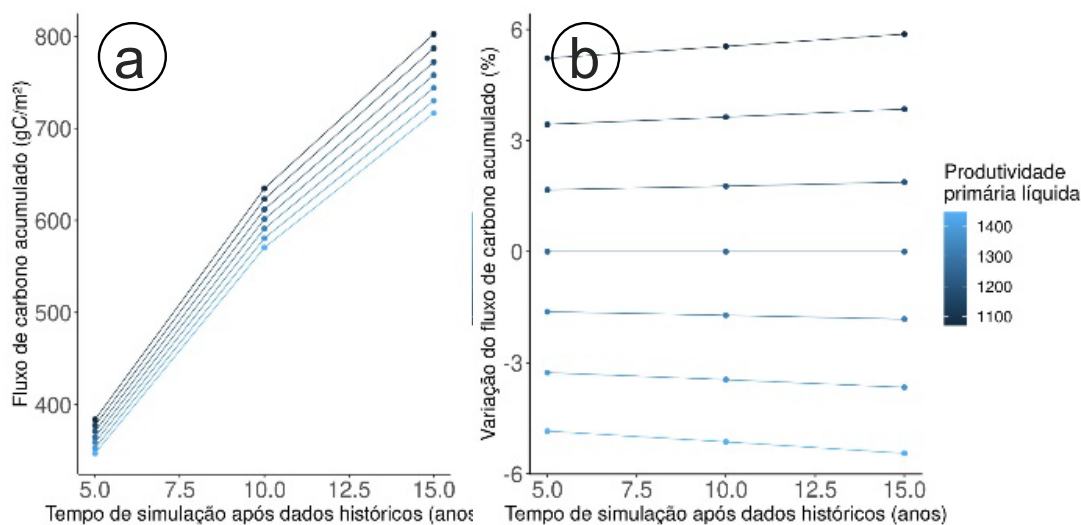
Modelos da dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) têm sido desenvolvidos desde a década de 40, predominantemente em países de clima temperado. Modelos seminais consideravam um estoque homogêneo de carbono e cinética de primeira ordem (i.e. proporcionalidade entre o estoque de carbono e as taxas de decomposição) com estabilidade (tempo de residência) constante ao longo do tempo. Entretanto logo se tornou imperativo reconhecer-se que o carbono do solo agrupa uma miríade de moléculas em diversos tipos de associações com organismos ou com minerais.

Modelistas passaram a representar a heterogeneidade dos compostos orgânicos por meio de múltiplos compartimentos, cada um deles com premissas semelhantes aos modelos monocompartimentais (McGill, 1996). Na abordagem multicompartimental, embora a estabilidade intrínseca de cada compartimento seja constante, a estabilidade de todo o estoque de MOS varia no tempo em função da dinâmica da partição da massa de carbono entre os compartimentos.

Há, atualmente, um grande número de modelos multicompartimentais. Entre os mais aplicados estão o Century, o DNDC, o DayCent, o RothC, o Candy e o CQESTR (ver: <https://soil-modeling.org/resources-links/model-portal>).

Modelos multicompartimentais tradicionais têm sido criticados, entretanto, pela grande dificuldade metodológica para definir e quantificar cada uma das partições de carbono representadas (e.g. Zhang et al., 2021). Ademais, o grande número de parâmetros necessários dificulta a calibração direta com medidas de carbono total no campo e a aplicação de algoritmos de assimilação de dados. Modelos multicompartimentais tradicionais também dificultam a inicialização dos estoques, uma vez que não é possível medi-los. Usualmente, essa inicialização é feita por meio de simulações de longo prazo (também denominadas de simulações de spin-up) com dados históricos de cobertura e manejo do solo até obtenção de um equilíbrio dinâmico.

Há incertezas associadas ao histórico da produtividade primária e da composição do material orgânico adicionado pela vegetação anterior bem como do manejo do solo para input no spin-up. Para quantificar essas incertezas, testes tem sido realizados no âmbito da parceria Embrapa-Bayer. Na Figura 1 apresentamos um exemplo de avaliação de uma cronosequência típica do Cerrado brasileiro com os valores de C do solo devidamente calibrados. É possível perceber que as estimativas de variações do estoque de C no solo é sensível às estimativas da produção florestal líquida da vegetação nativa. Em geral, para cada três pontos percentuais de variação da produção da vegetação natural, convertida há 30 anos, houve uma variação de um ponto percentual na estimativa do modelo. Assim, variações das estimativas de produtividade no procedimento spin-up são propagadas no decorrer das simulações para os demais usos do solo, gerando incertezas nas estimativas das taxas de sequestro de C pela agricultura. A geração de estudos completos sobre essas incertezas estão em andamento e serão importantes para ferramentas preditivas.

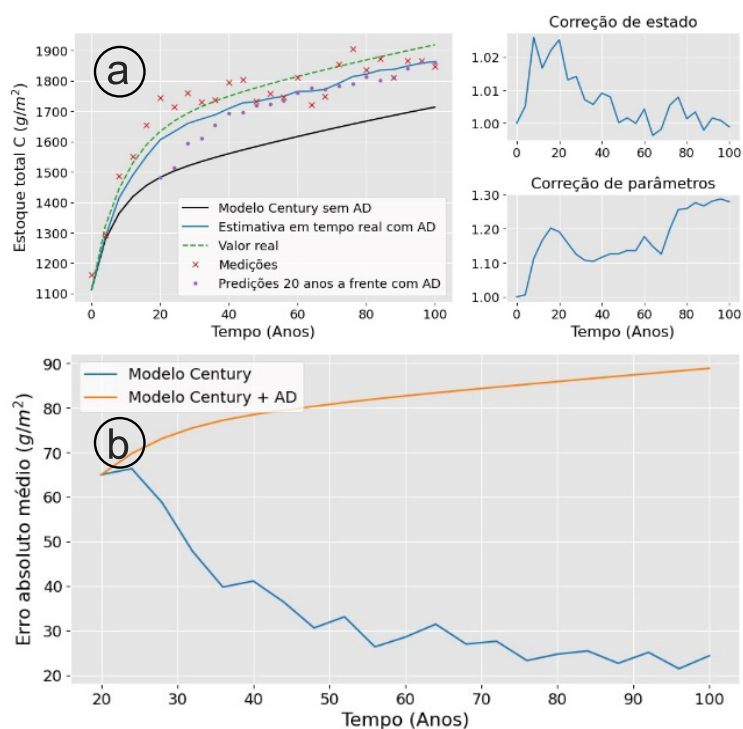


[Figura 1] Variações na previsão da dinâmica de carbono no solo associados à variação na avaliação da produtividade primária líquida de vegetação típica do Cerrado brasileiro convertida 30 anos antes dos cultivos e sucedidos por pastagens com manejo extensivo. (a) Variação absoluta do carbono total a partir do início dos cultivos; (b) Variação percentual em relação à produtividade primária de referência (ca. $1250 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}$)

No projeto Carbono+ especificaram-se novos modelos de dinâmica de carbono no solo, nos quais o estoque de carbono é representado por apenas um compartimento que pode ser diretamente comparado com medidas de campo. Em contraste com modelos multicompartimentais de cinética de primeira ordem, os modelos em desenvolvimento pela nossa equipe consideram a estabilidade do carbono uma variável do sistema.

	R ²	MSE	MB
Monocompartimental Embrapa	0,72	2,91E+4	187,2
Multicompartimental Century	0,78	2,30E+4	103,9

[Tabela 1] Coeficientes de determinação (R²), erro quadrático médio (MSE) e viés médio (MB) para o modelo monocompartimental do projeto Carbono+ e para o modelo Century usando 6 anos de dados de calibração e validação cruzada.



[Figura 2] Testes de aplicação de algoritmos de assimilação de dados (AD) em associação ao modelo de dinâmica de carbono no solo: (a) séries temporais de dados observados e previsões dos modelos com ou sem assimilação de dados; (b) Erro absoluto médio somente com o modelo e com o modelo mais um algoritmo de assimilação de dados.

CONCLUSÕES

A demanda por soluções para estimação dos estoques de C do solo no contexto da mitigação das mudanças climáticas e do mercado de carbono, implica em novos desafios para a aplicação de modelos e algoritmos com fins preditivos. A parceria entre Embrapa e a Bayer no projeto Carbono+ têm avançado consistentemente em uma nova geração de soluções por meio de novas abordagens matemáticas e computacionais respaldadas pela geração de dados obtidos com métodos padronizados de coleta e análise, e instrumentação de última geração. Avaliações preliminares indicam que as novas soluções são muito promissoras para o avanço da capacidade preditiva frente às ferramentas tradicionais. Espera-se, em breve, a consolidação de uma nova geração de soluções digitais para aperfeiçoar as estimativas dos estoques de carbono e a projeção dos impactos de intervenções sobre os sistemas de cultivo nos estoques futuros.

PREMISSAS E DESAFIOS DA CONTABILIDADE DA PEGADA DE CARBONO NA AGRICULTURA

A CONTABILIDADE DA PEGADA DE CARBONO, E DO PERFIL AMBIENTAL DAS CULTURAS AGRÍCOLAS, POR MEIO DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV), CONSIDERANDO AS CARACTERÍSTICAS PRÓPRIAS DE NOSSA AGRICULTURA TROPICAL, É ESSENCIAL PARA O PAÍS SE POSICIONAR COMO REFERÊNCIA EM AGRICULTURA SUSTENTÁVEL.

Dr. Marcelo A. B. Morandi e Dra. Marília I. S. Folegatti - EMBRAPA Meio Ambiente

A ACV é uma metodologia com forte base científica, padronizada por normas técnicas internacionais, que permite a avaliação dos impactos ambientais de um produto durante todo o seu ciclo de vida ("berço ao túmulo"). Corresponde à "Compilação e avaliação das entradas e saídas de material e energia) e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida" (ISO 14040: 2006).

As boas práticas são importantes para promover a manutenção de carbono no sistema agrícola. A contabilidade desse carbono pela técnica de ACV é desafiadora, por abranger todas as fases de produção, mesmo aquelas "antes da porteira".

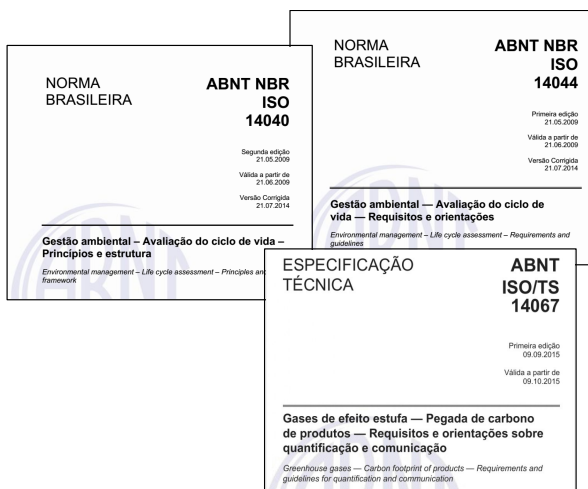
Métricas tropicalizadas, com credibilidade científica e padrões reconhecidos na comunidade internacional são elementos essenciais para a valoração das qualidades e da sustentabilidade do nosso produto. A ACV nos permite ter base de comparação internacional, entretanto preservando e ressaltando as características próprias de nossos sistemas de produção.

O cálculo da pegada de carbono dos sistemas produtivos permite a indicação de pontos de intervenção na cadeia de suprimentos para melhoria de desempenho ambiental.

Os inventários de Ciclo de Vida (ICV) são a base para se avaliar a pegada de carbono de um produto. A qualidade do levantamento de dados dos processos de produção reflete no bom cálculo da pegada da agricultura.



DO BERÇO AO TÚMULO



A PEGADA DE CARBONO DA SOJA BRASILEIRA

A PRODUÇÃO BRASILEIRA DE GRÃOS, EM ESPECIAL COM A ADOÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO MAIS DIVERSOS E DA PRÁTICA DO PLANTIO DIRETO, TRAZEM INÚMEROS BENEFÍCIOS AMBIENTAIS, INCLUINDO A MANUTENÇÃO DE CARBONO NO SISTEMA. ESSE BENEFÍCIO PODE SER TRADUZIDO COMO UMA FAVORÁVEL PEGADA DE CARBONO DE GRÃOS

Dra. Marília I. S. Folegatti, Dr. Marcelo A. B. Morandi, Nilza Patrícia Ramos
e Anna Leticia M. T. Pighinelli - EMBRAPA Meio Ambiente

A agricultura brasileira tem potencial para se destacar como de caráter sustentável, trilhando o virtuoso caminho da adoção de boas práticas agrícolas, incluindo as capazes de ampliar o carbono nos sistemas de produção. A diversidade desses sistemas, associada a práticas conservacionistas, pode resultar em valores muito favoráveis de pegada de carbono – hoje uma exigência em vários mercados.

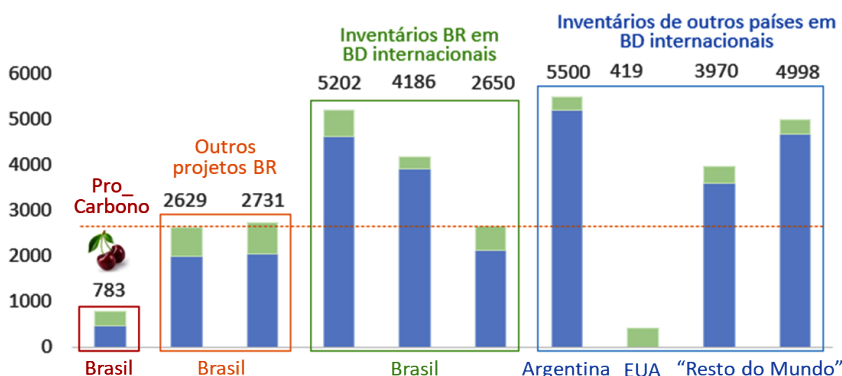
A pegada de carbono de produtos é estimada pela técnica da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), partindo da descrição dos processos produtivos. No projeto Pro_Carbono, Bayer, Embrapa e um conjunto de produtores agrícolas parceiros trabalharam para a descrição de sistemas de produção diferenciados, gerando uma pegada de carbono da soja muito inferior à obtida em outros estudos brasileiros e internacionais.

O estudo permitiu demonstrar o bom desempenho da soja brasileira, respondendo ao investimento em boas práticas – como a adoção de sistemas diversificados e o emprego do plantio direto, dentre outras.

Além disso, o estudo indicou pontos de melhoria nos processos de produção.

Uma boa relação entre consumo de recursos naturais e insumos agrícolas e produtividade concorre para uma boa pegada de carbono da soja. Além disso, a opção pelo uso de fertilizantes minerais que não contenham nitrogênio, e a redução do número de operações agrícolas (com consequente redução das emissões da queima de diesel), contribuem para resultados mais favoráveis.

O projeto Pro_Carbono tem promovido uma agricultura mais sustentável, comprovada por método de reconhecimento internacional, aumentando a competitividade da soja brasileira, ao passo que contribui para a mitigação de emissões de gases de efeito estufa, apoiando o enfrentamento dos problemas climáticos globais.



EMIÇÃO DE GEE ASSOCIADA À PRODUÇÃO, TRANSPORTE E BENEFICIAMENTO DE SEMENTES DE SOJA CONSIDERANDO-SE ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO

UTILIZAMOS METODOLOGIAS DO IPCC E FATORES DE EMISSÃO ESPECÍFICOS PARA ESTIMAR A EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) ASSOCIADA AS FASES DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA, TRANSPORTE E BENEFICIAMENTO DE SEMENTES DE SOJA. EM ADIÇÃO SUGERIMOS ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO:

1. REDUZIR AS EMISSÕES
2. COMPENSAR VIA SEQUESTRO DE CARBONO

Prof. Newton La Scala Jr. - UNESP e Prof. Eduardo Eduardo Bastos - UFSCAR

A agricultura é fonte mas também pode ser sumidouro de gases de efeito estufa, em especial o CO_2 , podendo ser armazenado no solo ou biomassa. Consideramos metodologias específicas para realização do inventário de emissão de GEE aplicado à fase agrícola da produção de sementes de soja, transporte e beneficiamento. Em adição, consideramos estratégias mitigadoras visando o balanço zero de GEE da produção de semente de soja e sistema agrícola incluindo rotações.

Aplicando-se metodologias específicas (IPCC e outras) é possível estimar o balanço de GEE, conhecer o perfil das emissões e adotar medidas que contribuem para adoção de sistemas agrícolas com menor impacto nas mudanças climáticas.

Desenvolvemos planilhas para aquisição de dados e realização do inventário de GEE. Com a inestimável ajuda de associados foi possível estimar as emissões considerando-se as fases 1) agrícola 2) transporte e 3) beneficiamento das sementes de soja. Nossa metodologia possibilitou também estimar a emissão de sistemas agrícolas considerando-se as rotações de cultura (no caso específico fazenda K, soja, milho e feijão). Assim, podemos considerar medidas de redução da emissão de GEE e determinar o potencial de sequestro de carbono necessário (solo ou biomassa) para reduzir o balanço de GEE na fase agrícola para zero.

As questões aqui respondidas são as seguintes:

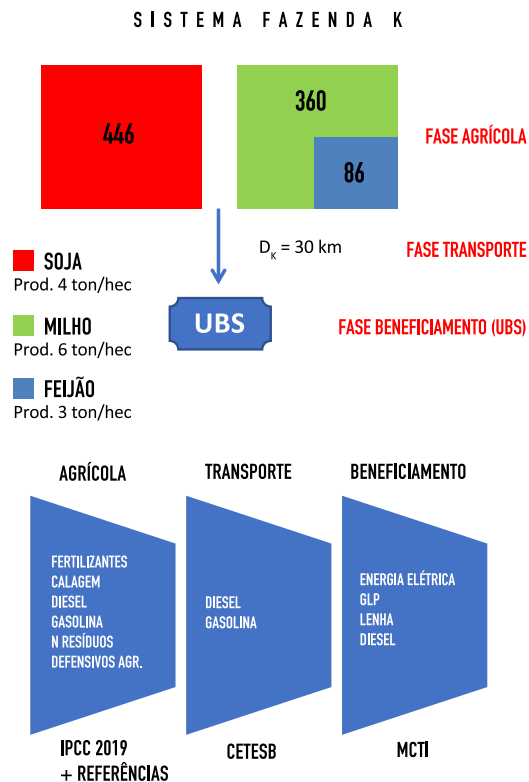
// Qual fase associada à produção de sementes de soja carrega as maiores emissões de GEE? Qual a pegada de carbono associada a produção de sementes de soja?

// Qual a pegada de carbono dos sistemas agrícolas estudados considerando-se também as rotações de culturas?

// Quais práticas poderiam ser conduzidas para reduzir a emissão e promover o sequestro necessário para se zerar o balanço de GEE?

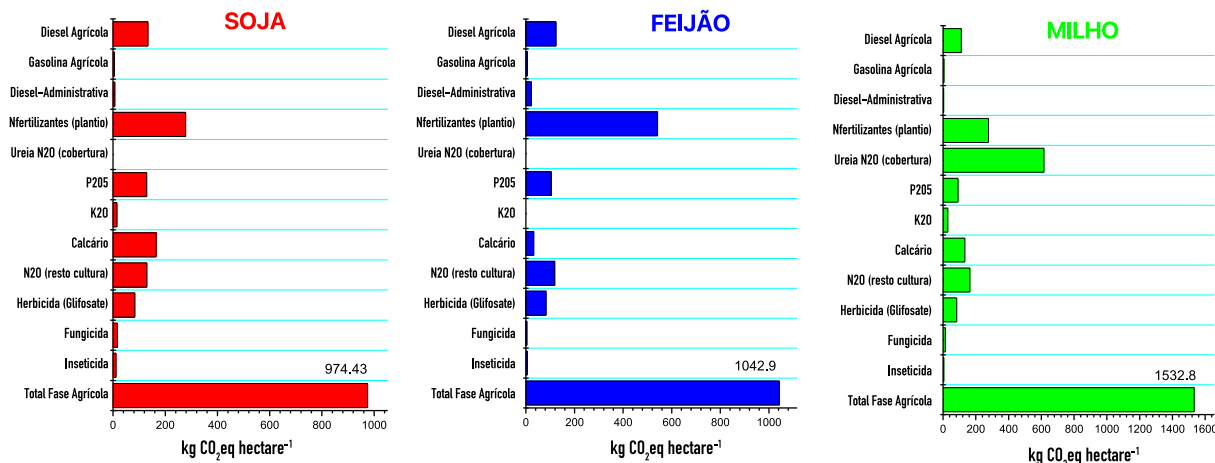
REFERÊNCIAS

IPCC 2006 e 2019.

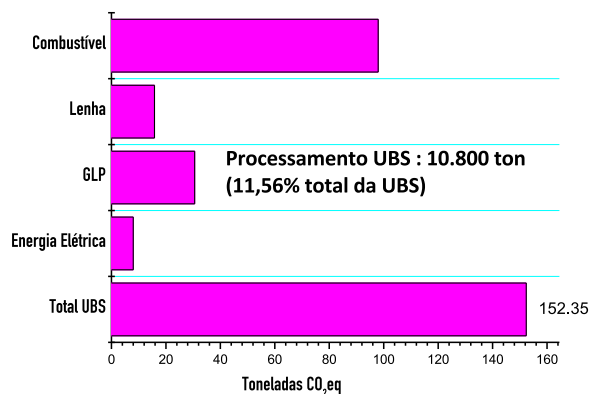


Período do Inventário: Outubro 2020 à Setembro 2021

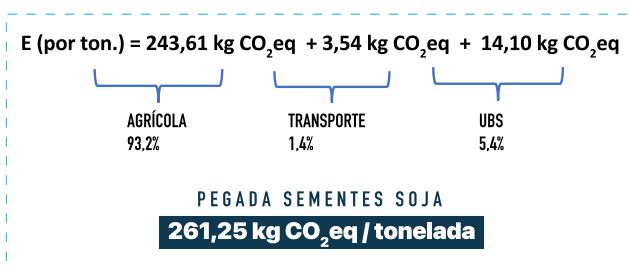
[Figura 1.] Emissões de GEE das culturas soja, milho e feijão (Fazenda K).



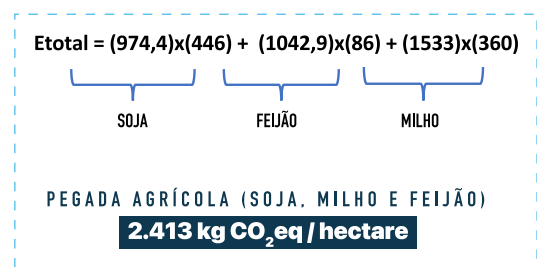
[Figura 2] Emissões de GEE do beneficiamento de sementes de soja (UBS).



[Figura 3] Pegada de C da produção de sementes de soja (Fazenda k)



[Figura 4] Pegada de C do sistema fazenda k (Fase agrícola, soja, milho e feijão.)



Falando em Mitigação

Para compensar emissão sistema agrícola é necessário 658kg C hectare⁻¹ ano⁻¹ (solo+biomassa)

Substituição de fertilizantes sintéticos por orgânico?

Comprar insumos "C free"?

MERCADO DE CARBONO E OS PRINCIPAIS CONCEITOS

A AGRICULTURA BRASILEIRA TEM PAPEL CHAVE NA AGENDA GLOBAL DE REDUÇÃO DE GEE. APESAR DOS DESAFIOS A SEREM SUPERADOS PARA VIABILIZAÇÃO DO MERCADO DE CARBONO NO BRASIL, JÁ É POSSÍVEL COMEÇAR ATRAVÉS DE SOLUÇÕES QUE VÃO ALÉM DO CRÉDITO.

Renata Ferreira e Eduardo Bastos – Bayer Crop Science

O mercado de carbono vem crescendo exponencialmente, excedendo U\$ 1 bilhão em 2021 (Ecosystem Marketplace)- mercado voluntário - e € 229 milhões em 2020 (Refinitiv) - mercado regulado. A expectativa é continuar crescendo para atender a demanda global.

A agricultura tem o potencial, de reduzir ¼ das emissões nos últimos 25 anos (FAO) e o Brasil tem um papel chave nessa discussão, tendo potencial de gerar entre 20 a 30% dos créditos provenientes de soluções baseadas em natureza.

PRINCIPAIS DESAFIOS

Todavia, o volume de projetos de crédito de carbono (Offsetting) vindos da agricultura ainda é baixo se comparado com projetos de crédito de carbono em florestas e energias renováveis. No caso do Brasil os principais desafios a serem superados na geração de créditos na agricultura incluem:

- // Dificuldade de atender critérios estabelecidos pelos padrões (ex.: adicionalidade e permanência);
- // Deficiência de protocolos, metodologias e modelos adaptados para a agricultura tropical;
- // Dificuldade de mensurar o Carbono no solo de forma escalável e financeiramente acessível;
- // Falta de regulação adequada ao mercado de carbono no país.

PAPEL E IMPORTÂNCIA DOS PADÕES & CERTIFICADORAS GLOBAIS

Não existe no mercado voluntário um sistema centralizado para comprar e vender créditos de carbono. Os padrões e certificadoras globais são responsáveis por desenvolverem, gerenciarem e verificarem projetos de carbono. São esses padrões que:

Gold Standard

VCS VERIFIED CARBON STANDARD



// Garantem que tudo o que é reivindicado é real e quantificável

// Fornecem protocolos e metodologias para garantir uma negociação transparente

// Atestam a credibilidade dos projetos de sequestro e redução de emissões

PRINCIPAIS CRITÉRIOS DE QUALIDADE DE PROJETOS DE GERAÇÃO DE CRÉDITOS

No mercado voluntário a origem, os padrões e critérios de qualidade utilizados, bem como os benefícios socioambientais são de extrema importância para o comprador.

Os principais critérios de qualidade são:

- // Permanência: garantir que as reduções e remoções dos gases de efeito estufa (GEE) sejam permanentes e irreversíveis.
- // Evitar dupla contagem: é preciso haver medidas que garantam que não haja dupla emissão, duplo uso e dupla reivindicação do crédito.

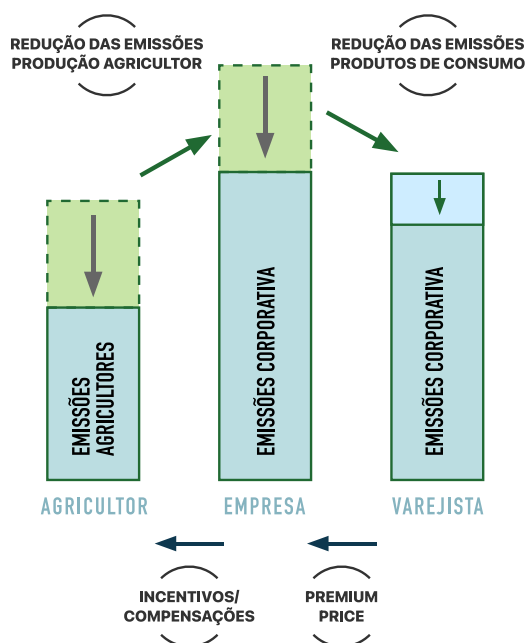
// Adicionalidade: o projeto tem que provar que tem um efeito 'adicional', que provoca um impacto que não existiria na ausência do incentivo dado pelo crédito de carbono

// Monitoramento, reporte e verificação (MRV): as reduções de emissões ou carbono orgânico no solo precisam ser monitoradas, reportadas e verificadas. Dessa forma, garante-se que sejam reais e mensuráveis.

OFFSETTING VS. INSETTING

Existem duas formas de compensar as emissões de GEE no mercado voluntário: crédito de carbono (Offsetting) e intervenções na cadeia de valor (Insetting).

O **Offsetting** é a compra de créditos de carbono originados em projetos fora da cadeia de valor, quando uma empresa adquire créditos gerados por um terceiro para compensar suas emissões ou parte delas – que não foram possíveis de serem reduzidas. **Insetting/** Intervenção na cadeia de valor é a compensação através de investimentos em redução das emissões de GEE no escopo 3 (fornecedores) da sua cadeia de valor.



[Figura 1] Modelo de Intervenção na Cadeia de valor (Fonte: Trees)

Diferente do Offsetting, o Insetting não precisa seguir as diretrizes e protocolos de geração de crédito de Carbono dos padrões globais, bastando que as partes sigam as regras acordadas (geralmente baseadas no GHG Protocol/VCI) e que o projeto seja verificado por terceira parte.



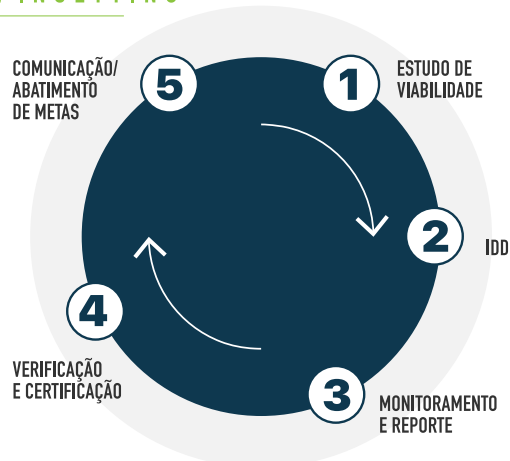
Além disso, o Insetting contribui para a redução de emissões dentro da própria cadeia de valor, evidenciando para o mercado a atuação ativa da empresa em ações de mitigação das questões climáticas.

ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS

// OFFSETTING



// INSETTING



PARCERIAS QUE IMPULSIONAM A SUSTENTABILIDADE NO AGRONEGÓCIO

QUEREMOS RECONHECER E RECOMPENSAR O AGRICULTOR NÃO APENAS PELO QUANTO ELES PRODUZEM MAS TAMBÉM PELA FORMA COMO PRODUZEM.

Manuela Perri e Isabella Canêo - Bayer Carbon Venture

O agro Brasileiro tem uma oportunidade única de combinar sustentabilidade, produtividade e negócios. Podemos produzir mais e ao mesmo tempo sequestrar mais Carbono em solo.

Para impulsionar e suportar essa mudança rumo a uma agricultura ainda mais sustentável, estamos construindo uma rede de benefícios para os agricultores, na qual a sustentabilidade é indispensável.

Aqui, atores se conectam e através de parcerias criam incentivos no curto e médio prazo para que produtores sejam recompensados não apenas pelo o que e quanto produzem, mas também pela forma como produzem.

Até Abril de 2022, os agricultores participantes do PRO Carbono já tem acesso a um portfólio de benefícios e soluções exclusivas: acesso a crédito diferenciado e simplificado oferecido pelo Itaú BBA, subsídios e oferta de seguro agrícola mais atrativo através do Impulso Bayer em parceria com a Tokio Marine, campanhas comerciais exclusivas com empresas de insumos agrícolas como Mosaic Fertilizantes, Raix Sementes e Barenbrug. Além de serviços de consultoria para uma melhor performance de governança em suas áreas, ofertado pela Safras e Cifras.

