



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Agrárias
Curso de Bacharelado em Agroecologia



Rebeca Rodrigues Noernberg

Potencial de mitigação de gases de efeito estufa (GEE) através do sistema de integração-lavoura-pecuária-floresta (ILPF), uma revisão

ARARAS - SP
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Agrárias
Curso de Bacharelado em Agroecologia



Rebeca Rodrigues Noernberg

Potencial de mitigação de gases de efeito estufa (GEE) através do sistema de integração-lavoura-pecuária-floresta (ILPF): uma revisão

Trabalho de Conclusão de Curso do Bacharelado em Agroecologia da Universidade Federal de São Carlos.

Orientador: Prof. Eduardo Barretto de Figueiredo

Araras – SP
2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por trilhar meus caminhos e abrir as portas nos momentos certos, pela força e persistência de encarar todas as dificuldades como aprendizado. Agradeço grandemente a minha família, aos meus avós que estiveram sempre ao meu lado, por todo apoio, confiança e educação, assim me tornando quem eu sou hoje, sem eles nada disso teria acontecido. Agradeço aos meus pais por toda determinação, garra e todo apoio para que meu caminho pudesse ser trilhado com muita segurança e determinação, agradeço ao meu companheiro por todo apoio, toda dedicação, que nos últimos anos se tornou um pilar em minha vida. Um agradecimento especial a república gaia que se tornou minha segunda família por todos os momentos vividos juntos, e que me ensinou grandes valores que levarei pra toda minha vida. Agradeço aos amigos que criei nessa jornada dentro da universidade. Agradeço ao meu orientador Eduardo Barretto pelas conversas, pelo trabalho que realizamos juntos, que certamente contribuiu imensamente na minha formação, e deixo aqui também meu “muito obrigada” a Universidade Federal de São Carlos, mais especificamente ao CCA por ter participado da minha história, e deixado um marco tão importante e essencial para minha vida profissional, pessoal e social.

RESUMO

A emissão de gases de efeito estufa (GEE) gera grande preocupação mundial pelo seu impacto negativo no aquecimento global, bem como, maior incidência de eventos climáticos extremos. Em 2020 as emissões do setor de agropecuária totalizaram 577 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, um aumento de 2,5% em relação ao ano anterior (562,9 milhões). Com essa nova realidade, se mostra extremamente importante, identificar e adotar novos sistemas produtivos que possam contribuir para a produção agropecuária mais sustentável, como o sistema de integração lavoura pecuária floresta (ILPF), auxiliando na captura de CO₂ da atmosfera, e contribuindo para adoção de sistemas produtivos mais adaptados e resilientes. O principal foco desta revisão é o sistema de integração lavoura pecuária floresta (ILPF) e as principais tecnologias que são utilizadas para a neutralização de gases de efeito estufa (GEE). Para tanto, define-se a importância dos sistemas integrados para a sustentabilidade da agropecuária; conceitua-se os sistemas de integração, revisando o potencial para o sequestro de carbono no solo e na biomassa em sistemas de ILPF. Além disso, os benefícios agronômicos, ambientais e sociais dos sistemas integrados foram destacados, bem como a importância da assistência técnica, e dos planos governamentais para o estímulo do aumento das áreas e a identificação dos entraves para o aumento das áreas para que se possa atingir o objetivo de mitigação das emissões de (GEE)

Palavras chaves: Sustentabilidade na agricultura; Produção integrada; Efeito estufa; Sequestro de carbono; Sequestro de carbono no solo; Sequestro de carbono na biomassa; Plano ABC+.

ABSTRACT

The emission of greenhouse gases (GHG) generates great concern worldwide due to its high impact on humanity, increasing the negative impacts of global warming, and thus, a higher incidence of extreme weather events. In 2020, emissions from the agricultural sector totaled 577 million tons of CO₂ equivalent, an increase of 2.5% compared to the previous year (562.9 million). With this new reality, it is extremely important to identify and adopt new production systems that can contribute to more sustainable agricultural production, such as the crop livestock integration system (CLFI), helping to capture CO₂ from the atmosphere, and contributing to the adoption more adapted and resilient productive systems. The main focus is the integrated crop, livestock, forest (CLFI) system and the main technologies that are used to neutralize greenhouse gases (GHG). Therefore, the importance of integrated systems for the sustainability of agriculture and livestock is defined; integration systems are conceptualized, reviewing the potential for carbon sequestration in soil and biomass in CLFI systems. In addition, the agronomic, environmental and social benefits of the integrated systems were highlighted, as well as the importance of technical assistance, and of government plans to encourage the increase in areas and the identification of obstacles to the increase in areas so that it can achieve the objective of mitigating emissions of (GHG)

Keywords: Sustainability in agriculture; Integrated production; Greenhouse effect; Carbon sequestration; Soil carbon sequestration; Carbon sequestration in biomass; ABC+ Plan.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Mapa da área estimada de sistemas integrados de produção no Brasil em 2023.....	15
FIGURA 2. . Emissões de gases de efeito estufa no Brasil entre 1990 e 2020 Gt CO ₂ e (SEEG, 2021).....	16
FIGURA 3. ILPF em diferentes tipos de arranjos e espaçamentos.....	19
FIGURA 4. Sistema de ILPF com fileira única de plantio de Eucalipto.....	20
FIGURA 5. Sistema com fileira dupla de plantio de Eucalipto.....	21
FIGURA 6. Sistema com fileira tripla de plantio de Eucalipto.....	21
FIGURA 7. Sistema com Plantio mais adensado de Eucalipto.....	22
FIGURA 8. Ciclo produtivo do Eucalipto na área plantada.....	23
FIGURA 9. Estimativas de acúmulo de carbono no solo devido a recuperação de pastagens degradadas até 2030.....	32

LISTA DE TABELAS

TABELA1. Número de árvores por hectare nos diferentes arranjos espaciais para sistema de ILPF.....	20
TABELA 2. . Potencial de mitigação de GEE nos diferentes sistemas em t de CO ₂ eq ha ⁻¹	27
TABELA 3. Taxas de acúmulo de carbono no solo nos diferentes solos e sistemas....	31
TABELA 4. Balanço de carbono nos diferentes sistemas produtivos.....	33
TABELA 5. Balanço entre as emissões e remoções antrópicas de GEEs, considerando-se apenas os principais processos produtivos em sistemas de produção de bovinos de corte com ou sem integração.....	35

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	8
2.	METODOLOGIA.....	11
3.	REVISÃO LITERATURA.....	11
2.1	SUSTENTABILIDADE NA AGROPECUÁRIA E EMISSÕES DE GEE.....	11
2.2	CONTRIBUIÇÃO DOS SISTEMAS INTEGRADOS E ILPF PARA SUSTENTABILIDADE E COMPENSAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE.....	14
2.3	MODALIDADES DO SISTEMA DE ILPF.....	17
2.4	ARRANJOS ESPACIAIS DE SISTEMAS DE ILPF.....	18
2.5	EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA.....	24
2.6	POTENCIAL PARA O SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO E NA BIOMASSA EM SISTEMAS DE ILPF.....	25
2.7	ASSISTÊNCIA TÉCNICA.....	28
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
3.1	Potencial para o sequestro de Carbono no solo em sistemas integrados.....	30
3.2	Potencial para o sequestro de C na biomassa em sistemas integrados.....	35
3.3	BENEFÍCIOS DO SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA PECURÁRIA FLORESTA 36	
3.4	ENTRAVES PARA ADOÇÃO DE SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO.....	38
5.	CONCLUSÃO.....	40
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	42

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO, 2011), o Brasil possui uma posição de destaque no mercado agropecuário global, como país chave para que a oferta de alimentos possa ser suficiente para atender à crescente demanda, com um papel importante no abastecimento mundial de produtos de origem agropecuária e no fornecimento de serviços ecossistêmicos. O Brasil adquiriu, nos últimos cinquenta anos, o status de potência agroambiental pela expressividade da produção agropecuária, riqueza de recursos naturais e além disso, pelo uso racional de seus recursos naturais, primando pela conservação ambiental e por meio de seus sistemas inovadores de produção (ALEXANDRATOS; BRUINSMA, 2012; EMBRAPA, 2018). A atenção crescente dos consumidores e da sociedade civil às questões sanitárias, a urgência para a tomada de ações que possam reduzir o impacto da agropecuária sobre as mudanças climáticas acentua a necessidade de sistemas produtivos mais sustentáveis, resilientes e seguros, são tendências reforçadas pela pandemia da COVID-19 (MAPA, 2021).

Com o aumento da demanda por alimentos e a evolução tecnológica na produção, a atividade agrícola passou a se caracterizar por sistemas padronizados e simplificados de monocultura. Além disso, com a expansão da fronteira agrícola e com o manejo mecanizado do solo e o uso de agroquímicos e da irrigação, as atividades agrícolas, pecuárias e florestais passaram a ser realizadas de maneira intensificada, independente e dissociada. Esse modelo da produção agropecuária predomina nas propriedades rurais em todo o mundo; entretanto, tem se mostrado saturada, em virtude da elevada demanda por energia e por recursos naturais que o caracteriza (BALBINO, 2011). Tais parâmetros geraram consequências como: i) intensificação da degradação ambiental, ii) índices elevados de emissão de gases de efeito estufa (GEE), iii) destruição das florestas e da biodiversidade genética, iv) erosão dos solos, v) contaminação dos recursos naturais e dos alimentos, além de, vi) aprofundamento dos problemas de concentração de terras e rendas no meio rural (ABRAMOVAY, 2000; CAMPANHOLA, 2004; BALSAN, 2006;).

Este cenário de degradação socioambiental induziu o meio científico a buscar sistemas produtivos sustentáveis, para harmonizar o aumento de produtividade vegetal e animal, com a preservação de recursos naturais, e da sociedade, assim é natural que as pressões sobre os diferentes setores produtivos sejam acentuadas, buscando concretizar ações globais para redução das emissões de GEE, onde a preocupação mundial em relação às mudanças do clima no planeta são decorrentes principalmente das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e outros GEE, tais como o óxido nitroso (N₂O) e o metano (CH₄) (IPCC, 2000).

A agropecuária é a atividade econômica que ocupa a maior extensão territorial do país, equivale a 30,9% da área total brasileira (MAPBIOMAS,2021). No âmbito da pecuária, em 2020, o Brasil se tornou o maior exportador de carne bovina do mundo com 2,2 milhões de toneladas e tem o maior rebanho comercial do mundo, com 217 milhões de cabeças (ARAGÃO; CONTINI, 2021). Em relação à bovinocultura de corte, o país possui o maior rebanho comercial, é o segundo maior produtor e o maior exportador mundial de carne (USDA, 2018). Segundo as Estimativas Anuais de Emissões de GEE no Brasil (Brasil, 2017), no ano de 2012, o setor agropecuário foi responsável por 37% do total de dióxido de carbono (CO₂) equivalente emitido para a atmosfera no país.

A principal consequência do efeito estufa e do aquecimento global é o aumento da atividade das reações na atmosfera em razão da maior disponibilidade de energia, fato que resulta em aumento da frequência e da intensidade de eventos climáticos extremos, com isso acarretando modificações nos padrões do clima (ALMEIDA, 2013). Nas últimas décadas, têm sido observado aumento na frequência e na intensidade de secas, chuvas fortes, inundações, furacões, ciclones, derretimento de geleiras, aumento do nível do mar, entre outros fenômenos (ASSAD, 2015). A preocupação relaciona-se, ao aumento na ocorrência desses fenômenos climáticos extremos, com impactos negativos severos e algumas vezes irreversíveis para as diversas nações e comunidades.

A cada fração de grau no aquecimento global, os impactos das mudanças climáticas se tornam mais intensos. No Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), 278 cientistas de 65 países mostraram que, para que tenhamos a chance de manter ao alcance o limite de 1,5°C estabelecido pelo Acordo de Paris, o mundo deve atingir o pico de emissões de gases do efeito estufa (GEE) dentro dos próximos três anos. Globalmente, as emissões de GEE aumentaram ao longo da última década, atingindo 59 gigatoneladas de CO₂ equivalente (GtCO₂e) em 2019 – cerca de 12% a mais do que em 2010 e 54% a mais que em 1990. Porém, nas trajetórias modeladas no estudo, compatíveis com a meta de 1,5°C do Acordo de Paris (com ou sem excedente), as emissões de GEE precisam parar de crescer em 2025 e depois cair 43% até 2030 em relação aos níveis de 2019 (SCHUMER, 2022)

Segundo SKOPURA (2021), a discussão sobre a neutralização dos GEE e o sistema produtivo de Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF) têm grande relevância pelo fato de que, nos últimos 20 anos, os sistemas ILPF ganharam visibilidade e reconhecimento por serem capazes de promover, de forma sustentável, o uso do solo e a diversificação da produção em uma mesma área. De acordo com Oliveira et al., (2017), a ILPF é um sistema de produção propício para alcançar produtividade satisfatória e compensar as emissões de gases de efeito estufa provenientes da atividade pecuária, proporcionando ainda balanço positivo de carbono, sendo uma estratégia que trata da utilização de diferentes sistemas

produtivos, agrícolas, pecuários e florestais dentro de uma mesma área, podendo ser feita em cultivo consorciado, em sucessão ou em rotação, de forma que haja benefício mútuo para todas as atividades realizadas dentro de uma mesma área.

Um exemplo concreto da iniciativa de aprofundar o uso de sistemas agrícolas sustentáveis são os compromissos de aumento da área de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) como estratégia para a redução de emissão de GEE pelo setor agrícola (BRASIL, 2010) é o Plano ABC, plano setorial da agropecuária criado em 2009 e incorporado em lei nacional em 2010 como à Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), que deve ser cada vez mais escalado e difundido, justamente por estimular o desenvolvimento do setor com baixas emissões.

Em 2021, o plano entrou em seu novo ciclo, renomeado para Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixas Emissão de Carbono na Agropecuária (ABC+), até 2030. Segundo SEEG (2021) o Brasil está alinhado com a agenda internacional no uso sustentável dos recursos naturais, de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Sustainable Development Goals) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Dessa forma o sistema integrado busca otimizar o uso da terra, elevando os patamares de produtividade em uma mesma área, usando melhor os insumos, diversificando a produção e gerando mais renda e emprego (EMBRAPA, 2019). Segundo Polidoro et al. (2020), estima-se que na safra 2020/2021, o Brasil aumentou a área de ILPF para 17.431.533 milhões ha. Se compararmos com a safra 2015/2016 até a safra de 2020/2021 houve um aumento estimado de 52% de áreas com ILPF no Brasil.

Segundo o ministério, o plano ABC+ tem como meta promover a adaptação à mudança do clima e o controle das emissões de GEE na agropecuária brasileira, com aumento da eficiência e resiliência dos sistemas produtivos, considerando uma gestão integrada da produção rural. Ao estimular a adoção de sistemas, práticas, produtos e processos de produção sustentáveis, o plano ABC+ pretende diminuir vulnerabilidades e aumentar a resiliência dos sistemas de produção agropecuários, conservando recursos naturais e aumentando a biodiversidade e a estabilidade climática dos sistemas produtivos. A meta estipulada pelo anterior Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC), em 2009, era de aumentar em 4 milhões de hectares a área com ILPF em todo o país até 2020, onde entre 2010 e 2015 o incremento de 5,96 milhões de hectares foi responsável pelo sequestro de 21,8 milhões de toneladas de CO₂ (REDE ILPF, 2021).

Com base no exposto o estudo teve como objetivo realizar uma revisão de literatura, que visou identificar e discutir os principais impactos na adoção de sistema de ILPF no Brasil e as principais tecnologias responsáveis pela redução e neutralização dos GEE na produção agropecuária.

2. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido através de revisão bibliográfica, relacionando e discutindo o potencial da tecnologia de integração lavoura pecuária floresta em sequestrar e compensar emissões de GEE.

As fontes de pesquisa utilizadas foram artigos científicos, relatórios, teses e dissertações provenientes de plataformas de pesquisa como Scielo, Google Acadêmico, ResearchGate, ScienceDirect, Elsevier e sites de organizações nacionais como o do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Além disso, também foram coletados dados fornecidos pelo Painel Internacional de Mudanças Climáticas (IPCC), Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO).

3. REVISÃO LITERATURA

2.1 SUSTENTABILIDADE NA AGROPECUÁRIA E EMISSÕES DE GEE

A intensificação sustentável da produção agropecuária tem sido a principal estratégia brasileira para fomentar tecnologias de produção que levem a adoção de sistemas de produção mais eficientes. Assim, a produção de alimentos, fibras e energia alcança o tripé da sustentabilidade. No aspecto econômico, reduz o custo marginal de produção, melhorando a rentabilidade do produtor e o incentiva a continuar adotando as boas práticas. No aspecto social, além de empregar mais pessoas, também tende a qualificá-las, gerando diversas externalidades positivas para a região. Isto, sem mencionar a maior estabilidade de preços ao longo do ano. E no aspecto ambiental, aumenta a produção em áreas já antropizadas, contribuindo também para a redução da intensidade das emissões de GEE (MAPA, 2020)

O desenvolvimento agrícola sustentável deve considerar a conservação da biodiversidade e a valorização de serviços ambientais, contribuir para conservar e melhorar a qualidade do solo e da água, reduzir a contaminação do meio ambiente e do homem, controle ecológico de insetos pragas, doenças e ervas daninhas, manejo dos recursos e ecossistemas, e, por fim, se adequar às exigências do mercado consumidor.

Segundo BALBINO et al. (2011a) a demanda por alimentos, bioenergia e produtos florestais em contraposição à necessidade de redução de desmatamento e mitigação da emissão de GEE, exige soluções que incentivem o desenvolvimento socioeconômico sem comprometer a sustentabilidade dos recursos naturais. As soluções para estes desafios, em

grande parte, dependem do manejo sustentável do solo (Lal, 2007) e adequação e adaptação de novos sistemas de produção.

A intensificação sustentável do uso do solo atende um dos grandes desafios da produção de alimentos, que é aumentar a produção nas áreas agrícolas existentes de maneira que proporcione menor pressão ao meio ambiente e não elimine a capacidade de continuar produzindo alimentos no futuro.

Segundo Garnett et al (2013) entre as premissas da intensificação sustentável na agropecuária destacam-se:

- A necessidade de aumento de produção;
- O aumento de produção deve ser obtido pelo incremento de produtividade, pois o aumento da área plantada promove elevados custos ambientais;
- A segurança alimentar exige atenção tanto para o aumento da sustentabilidade ambiental quanto para o incremento da produtividade.

Levando em consideração as premissas citadas anteriormente, a intensificação do uso da terra em áreas agrícolas e o aumento da eficiência dos sistemas de produção podem contribuir para harmonizar esses interesses (LAL, 1991; VILELA et al., 2008).

A degradação de pastagens tornou-se um dos principais sinais da baixa sustentabilidade da pecuária nas diferentes regiões brasileiras, onde o processo de conversão que transformou as áreas em pastagens foi mais intenso entre 1985 e 2006, quando se registrou um crescimento de 46,3% na extensão ocupada por pastagens, que passou de 111 milhões de hectares para 162,4 milhões de hectares. Em meados dos anos 2000, a área total de pastagem parou de crescer e até encolheu, registrando uma retração de 5% de 2005 a 2020.

A análise das imagens realizadas pelo MapBiomas permitiu também avaliar a qualidade da pastagem no território nacional e foi constatada uma queda nas áreas com sinais de degradação, passando de 70%, em 2000, para 53% em 2020. No caso das pastagens severamente degradadas, houve uma redução ainda mais expressiva: de 29% das pastagens em 2000, equivalente a 46,3 milhões de hectares, para 14%, que representa 22,1 milhões de hectares, essa aparente estabilidade esconde um intenso processo de mudança de uso de solo, com a conversão de áreas de vegetação nativa para pecuária e a ocupação de áreas já convertidas pela agricultura. Em termos percentuais, o bioma mais ocupado por pastagens cultivadas é a Mata Atlântica, com 25,7%, seguido por Cerrado (23,7%), Caatinga (23,1%), Pantanal (16%) e Amazônia (13,4%). Os estados líderes em área de pastagem são Pará (21,5 milhões de hectares), Mato Grosso (21 milhões de hectares) e Minas Gerais (19,3 milhões de hectares) (MAPBIOMAS, 2021).

No Brasil a área de pastagem total é de 159 milhões de hectares, dos quais 66 milhões estão em algum estado de degradação intermediárias e 35 milhões em situação de degradação severa (MAPBIOMAS, 2021). O manejo inadequado do rebanho é considerado

como a principal causa dessa degradação. Aidar & Kluthcouski (2003) alertam que, entre os principais problemas da pecuária brasileira, estão a degradação das pastagens e dos solos; o manejo animal inadequado; a baixa reposição de nutrientes no solo; os impedimentos físicos dos solos; e os baixos investimentos tecnológicos.

A principal fonte de emissão de CO₂ são as pastagens degradadas, com uma emissão estimada de 38,6 milhões de toneladas de CO₂ e respondendo por uma área de mais de 80,9 milhões hectares em pastagens em algum grau de degradação em 2020, segundo o MapBiomass. Segundo Strassburg et al. (2014) a bovinocultura de corte é uma das principais responsáveis pela expansão da fronteira agropecuária e também a principal fonte de emissão de GEE do setor, decorrente principalmente pelo uso de apenas 33% da capacidade instalada das pastagens, bem como pela baixa eficiência produtiva, com pequena taxa de lotação animal e com pouca qualidade em seu manejo.

Buscar a expansão de boas práticas agropecuárias, com o fomento e adoção de tecnologias de mitigação e adaptação, ainda mais em áreas já antropizadas é fundamental para gerar o efeito “poupaterra”, reduzindo a pressão por desmatamento de novas áreas (SEEG, 2021).

Segundo a Embrapa (2019), com a entrada dos animais ruminantes na área inicia-se a emissão de metano entérico (CH₄), devido à fermentação entérica que ocorre no processo digestivo dos animais. As emissões desse gás no sistema de produção podem variar de acordo com a taxa de lotação da área e a qualidade da pastagem ingerida pelos animais como já dito anteriormente. Um fator que influencia diretamente as emissões, é o fator de conversão de metano (Y_m), que significa a fração da energia consumida convertida em metano durante a fermentação entérica animal. Essa fração varia de 2 a 12%, e dependerá da combinação de consumo e qualidade do alimento e tipo de animal (IPCC, 2006).

A Embrapa analisou as emissões em um experimento onde, a taxa de lotação no sistema ILPF foi de 1,7 cabeça ha⁻¹ (1,1 UA-unidade animal. ha⁻¹), acarretando em uma emissão de aproximadamente 2 mil kg de CO₂ eq.ha⁻¹.ano⁻¹ na forma de CH₄ entérico. No tratamento sem árvores (ILP), a taxa de lotação foi de 3 cabeças.ha⁻¹ (2,0 UA.ha⁻¹), proporcionando uma emissão de 3.400 kg CO₂eq.ha⁻¹.ano⁻¹ na forma de CH₄ (GUIMARÃES JÚNIOR et al., 2016). Somando-se as emissões após 2 anos de estabelecimento do sistema, observou-se 2.672 kg de CO₂eq.ha⁻¹.ano⁻¹ para o sistema de ILPF e 4.072 kg de CO₂eq.ha⁻¹.ano⁻¹ para o sistema de ILP (GUIMARÃES JÚNIOR et al., 2016). Podendo então observar a importância do componente arbóreo para um aumento do sequestro de C.

Na agropecuária os balanços de emissões e remoções de GEE (balanço GEE) envolve a medição dos fluxos de emissões de CO₂, CH₄ e N₂O do sistema solo-planta, da emissão de metano entérico (CH₄) emitido pelos animais e a taxa de sequestro de C do solo e da floresta plantada, todos expressos em CO₂eq. num determinado período de tempo, normalmente um

ano. As principais estratégias para mitigar a emissão de GEE resultantes de atividades antrópicas no setor agrícola consistem na redução das taxas de desmatamento e queima de material vegetal, melhor uso da terra, e por fim, estratégias para maximização do sequestro de carbono (C) no solo e na vegetação (CARVALHO, 2010).

2.2 CONTRIBUIÇÃO DOS SISTEMAS INTEGRADOS E ILPF PARA SUSTENTABILIDADE E COMPENSAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE

Os sistemas que integram lavoura e pecuária (ILP) são alternativas para a recuperação de pastagens degradadas e para a agricultura anual, que melhoram a produção de palha para o sistema de plantio direto (SPD) e as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. A inclusão do componente arbóreo aos componentes lavoura e pastagem representa avanço da integração lavoura pecuária (ILP), com evolução para o conceito de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), que é uma estratégia de produção sustentável. Por definição, a ILPF é uma estratégia que visa a produção rural sustentável, que integra as atividades agrícolas, pecuárias e florestais realizadas em uma mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, e busca efeitos sinérgicos entre os componentes dos agroecossistemas, contemplando a adequação ambiental, a viabilidade econômica e a valorização das pessoas (BALBINO et al., 2011).

Nesse cenário, sistemas de produção que permitam conciliar produtividade e sustentabilidade ganham destaque e se mostram promissores. De acordo com Lorenz e Lal (2014), alguns sistemas agroflorestais têm recebido maior atenção pela sua capacidade de capturar CO₂ atmosférico e armazenar o carbono nas plantas e no solo. De acordo com Oliveira et al., 2017, a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é um sistema de produção propício para alcançar produtividade satisfatória e compensar as emissões de gases de efeito estufas provenientes da atividade pecuária, proporcionando ainda balanço positivo de carbono.

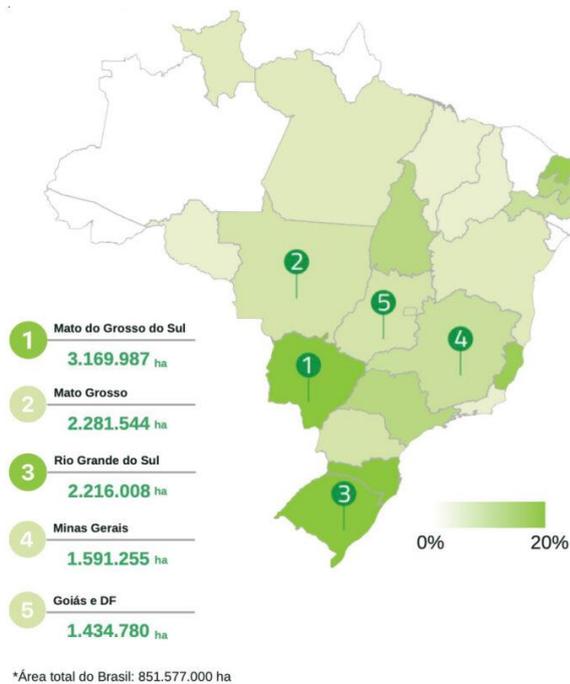
Em regiões onde a produção agrícola e a preservação dos recursos naturais estão sob crescente pressão, ou que demandem a implementação de práticas que promovam o bom uso da terra, a ILPF tende a oferecer alternativas às questões ecológicas, econômicas e sociais (BALBINO et al., 2002). Para o componente pecuário, a ILPF proporciona microclima favorável ao aumento do índice de conforto térmico para os animais à sombra das árvores, ao contrário da exposição à insolação direta (GARCIA et al., 2011; SILVA et al., 2011A).

Os sistemas de ILPF, com manejo adequado das culturas e pastagens, podem proporcionar substanciais aumentos na produção, principalmente quando ocorre recuperação de áreas degradadas ou pouco produtivas. Pela adoção destes sistemas, pode-se evitar a abertura de novas áreas, com benefícios ambientais, como proteção da vegetação nativa,

conservação do solo e recursos hídricos, além de promover o desenvolvimento socioeconômico regional. Com a melhoria dos processos produtivos é possível reduzir a idade de abate dos animais, que com dietas apropriadas, reduzem a emissão de metano por unidade de produto, contribuindo desta forma, para mitigar a emissão de gases de efeito estufa na agropecuária. Além disso, as pastagens, o cultivo de grãos, e as florestas contribuirão para o sequestro de CO₂ atmosférico via fotossíntese e posterior incorporação na forma de matéria orgânica ao solo e na biomassa das árvores (EMBRAPA, 2019).

A ILPF é uma tecnologia em expansão no Brasil, em dez anos, a área ocupada pela ILPF aumentou em quase 10 milhões de hectares, considerando-se uma evolução linear entre 2005 e 2015 e de acordo com uma projeção feita pela Plataforma ABC. Na pesquisa realizada Kleffmann Group para a safra 2015/2016 se estimou que o Brasil contava com 11.468.124 milhões ha de sistemas integrados de produção agropecuária entre 2015/2016. Segundo Polidoro et al. (2020) atualmente a estimativa é de que o Brasil aumentou a área de integração para 17.431.533 ha. Da safra 2015/2016 até a safra de 2020/2021, houve um aumento estimado de 52% de áreas com ILPF no Brasil, onde sua distribuição no território nacional no ocorre conforme a figura (1).

Figura 1. Mapa da área estimada de sistemas integrados de produção no Brasil em 2023



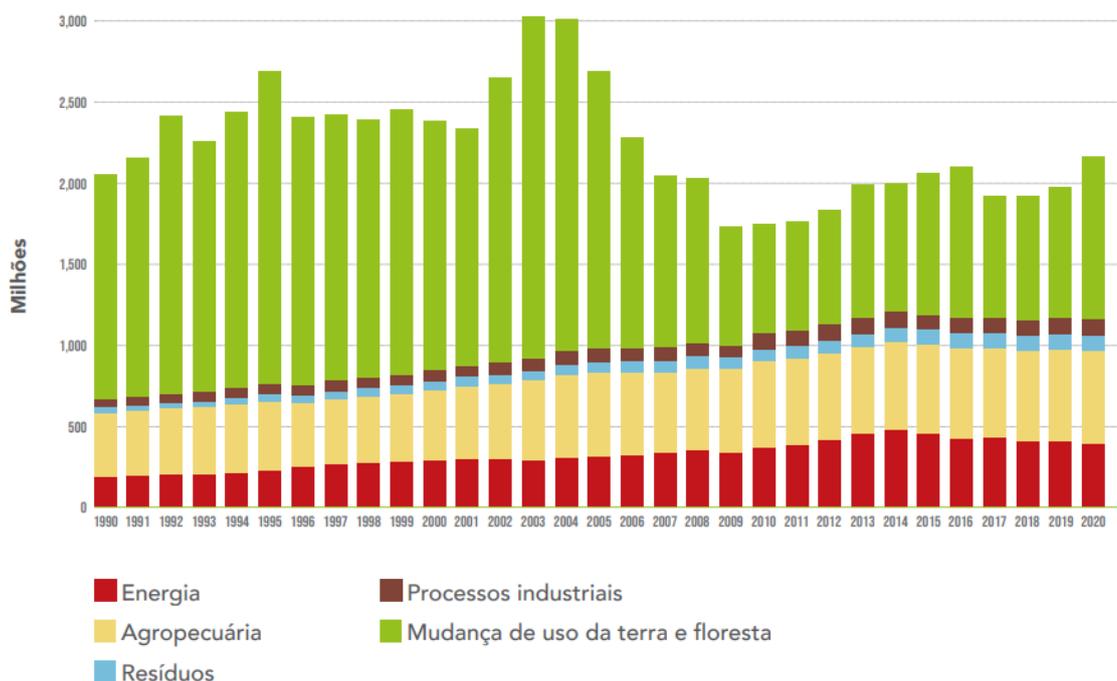
17,43 milhões de hectares é a área estimada com ILPF no Brasil

Fonte: Rede ILPF (2021)

Em termos espaciais, destaca-se a expansão e a adoção de sistemas ILPF mais concentradas no eixo centro-sul do País, com destaque para o estado do Mato Grosso do Sul, com adoção estimada em 2 milhões de hectares, Mato Grosso e Rio Grande do Sul com 1,50 e 1,46 milhão de hectares, seguidos pelos estados de Minas Gerais, São Paulo, e Santa Catarina). No Nordeste, destaque para o estado da Bahia com 545 mil hectares, seguido por Rio Grande do Norte, Pernambuco e Paraíba com estimativas de adoção da ordem de 221, 217 e 136 mil hectares. Na Região Norte, o destaque é o estado do Pará com adoção da ordem de 427 mil hectares (SKOPURA, 2019).

Segundo SEEG (2021) as mudanças no uso da terra foram responsáveis pela emissão de 998 milhões de toneladas de CO₂ em 2020. Isso consolida o setor agropecuário como a maior fonte de emissão bruta de gases do efeito estufa do país, representando 46% do total nacional, seguido pelo setor de energia como mostra a figura (2). A maior parte das emissões brutas (93%) é causada por alterações de uso da terra, que em sua maioria consistem no desmatamento do bioma Amazônia, que concentra 78,4% (782 Mt CO₂ e) das emissões brutas do setor em 2020.

Figura 2. Emissões de gases de efeito estufa no Brasil entre 1990 e 2020 Gt CO₂e (SEEG, 2021).



Fonte: SEEG (2021)

Segundo o SEEG (2021), dentro do setor agropecuária, o subsetor que mais contribuiu com as emissões foi proveniente da fermentação entérica apresentando uma

emissão de 373 MtCO₂ e, 65% do total, um incremento de 1,5% em relação a 2019. Em seguida, com 166 milhões de toneladas e um crescimento de 5,4% em relação a 2019 com total de 158 milhões de toneladas, vêm os solos manejados, ou as emissões diretas da agricultura. Nas emissões de óxido nitroso (N₂O), destacam-se as provenientes do uso de dejetos de bovinos de corte utilizados como adubo e dispostos no pasto, juntamente do uso de fertilizantes sintéticos, respondendo por 29% e 18% do subsetor.

Nas áreas de pecuária, a introdução da lavoura tem sido utilizada principalmente para reforma e ou recuperação de pastagens degradadas ou com baixa produtividade. Nas áreas de agricultura sob sucessão de cultivos, os principais objetivos da implantação de sistemas de ILPF são dedicadas a produção de forragem para os animais no período da entressafra (estação seca) e a formação de palha visando conferir sustentabilidade ao sistema de plantio direto (SPD) (CARVALHO, 2010). Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) em áreas agrícolas têm mostrado evidências que podem funcionar como um sumidouro de C com taxas de acúmulo variando de 0,82 a 2,58 t ha⁻¹ano⁻¹ em quatro anos de cultivo, tendo a magnitude do acúmulo de C no solo dependente, além dos fatores como os tipos de culturas e das condições edafoclimáticas, da quantidade de tempo que a área está submetida à ILP (CARVALHO et al, 2010).

2.3 MODALIDADES DO SISTEMA DE ILPF

Na década de 1980, a Embrapa desenvolveu as seguintes tecnologias para a produção sustentável: os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) ou Agropastoril, Integração Lavoura-Floresta (ILF) ou Silviagrícola, Integração Pecuária Floresta (IPF) ou Silvipastoril e a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou Agrossilvipastoril, onde os sistemas de integração podem ser classificados em quatro modalidades distintas, segundo Balbino et al. (2011):

- Integração Lavoura-Pecuária (ILP) ou agropastoril, sistema de produção que integra os componentes agrícola e pecuário em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área e no mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos;
- Integração Lavoura-Floresta (ILF) ou silviagrícola, sistema de produção que integra os componentes florestal e agrícola pela consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes);
- Integração Pecuária Floresta (IPF) ou silvipastoril, sistema de produção que integra os componentes pecuário (pastagem e animal) e florestal, em consórcio;
- Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou agrossilvipastoril, sistema de produção que integra os componentes agrícola, pecuário e florestal em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área.

Nesse padrão de sistema integrado, o elemento florestal pode ser representado por uma ou mais espécies madeireiras (eucalipto, pinheiro, etc.), por árvores frutíferas (laranjeira, abacateiro, coqueiro etc.), ou ainda por forrageiras arbóreas, principalmente leguminosas (RANGEL et al., 2010).

2.4 ARRANJOS ESPACIAIS DE SISTEMAS DE ILPF

As práticas usuais, para a implantação do sistema, regem de acordo com cada região; na ocasião da implantação, também denominada Ano zero, é iniciado o plantio com culturas agrícolas, seja arroz, soja, milho, sorgo, feijão, dentre outras, na área intercalar, a espécie florestal. A seleção da espécie florestal é de acordo com o uso final da madeira, bem como características de rápido crescimento, fuste alto, copa pouco densa e adaptação às condições edafoclimáticas da região. O cultivo das culturas agrícolas no sistema, normalmente, ocorre até o 3º ano, após a implantação, ocasião em que o componente pecuário permanece com o crescimento das árvores até a ocasião da colheita da madeira (SERAFIM, 2018).

A adoção do sistema de ILPF pode ser facilitada pela adequada distribuição espacial das árvores no terreno, para conservação do solo e da água, favorecimento do trânsito de máquinas e observância de aspectos comportamentais dos animais. Para tanto, o arranjo espacial mais simples e eficaz é o de aleias (ou renques), em que as árvores são plantadas em faixas (linhas simples ou múltiplas) com espaçamentos amplos. Quando se deseja privilegiar a produção de madeira, pode-se utilizar espaçamentos menores entre as aleias ou maior número de linhas em cada aleia (maior número de árvores por hectare). Para privilegiar a atividade agrícola ou pecuária, podem-se utilizar espaçamentos maiores entre as aleias ou aleias com menor número de linhas (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2006, 2007).

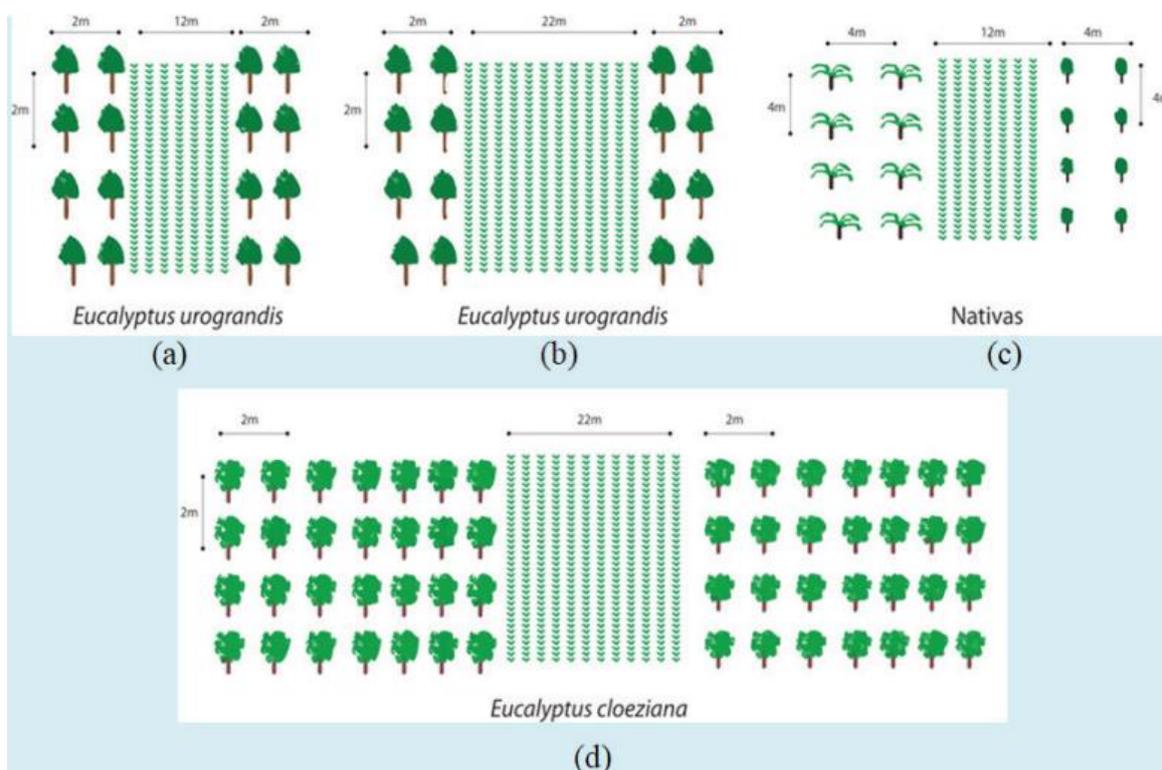
Atualmente, o mais indicado para a implantação do sistema ILPF é o plantio de lavoura consorciada com árvores no primeiro ano e, no ano seguinte, a implantação de pastagem. Dessa maneira, entre os renques de árvores, é implantada uma safra principal de verão seguida por uma safrinha de milho ou sorgo em que o plantio já ocorre de forma consorciada com a forragem. No entanto, com o crescimento e o desenvolvimento do componente arbóreo, esse alinhamento favorece o sombreamento no espaço entre os renques, prejudicando o desenvolvimento da cultura agrícola.

Os arranjos de plantio no Sistema ILPF utilizam espaçamentos que variam em função do foco da produção, considerando a largura das máquinas (trator, semeadoras e colhedoras) e implementos (pulverizadores) disponíveis na propriedade. Em áreas onde é possível proceder a implantação das árvores no sentido Leste-Oeste, a fase de lavoura poderá ser estendida por mais tempo, especialmente se utilizado espaçamentos maiores entre os renques de árvores, variando entre 30 m a 60 m. Esse espaçamento poderá aumentar a

produção da pastagem na fase silvipastoril quando comparado a renques de menor espaçamento. Resultados de pesquisa têm demonstrado que espaçamentos menores que 20 m entre renques causaram redução significativa na produção de grãos e de forragem nas entrelinhas, principalmente na área mais próxima das árvores, devido ao efeito do sombreamento e da competição por água e nutrientes (SENAR, 2018).

Na Figura 3 estão representadas as demais configurações: (a) está demonstrado um sistema com corredor de 12 m de largura com plantio de pastagem ou lavoura, entre os renques de fileiras duplas de *Eucalyptus urograndis* com espaçamento de 2 m x 2 m; em (b) o arranjo é de 22 m de largura entre os renques e demais especificações iguais ao esquema (a); em (c) o arranjo é de 12 m de largura entre os renques de espécies arbóreas nativas com espaçamento de 4 m x 4 m; e em (d) o arranjo é de 22 m de largura entre os renques e sete fileiras de *Eucalyptus cloeziana* com espaçamento de 2 m x 2 m.

Figura 3. Diferentes tipos de arranjos e espaçamentos



Fonte: Embrapa (2019)

O eucalipto é uma das espécies com maior potencial de utilização no sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta por possuir um crescimento rápido e à oferta de clones adaptados a diferentes regiões (PULROLNIK, 2021). O componente arbóreo tem como benefício dentro dos sistemas integrados a capacidade de recuperar áreas degradadas, além de influenciar na disponibilidade de nutrientes na zona de absorção radicular, sendo essa

disponibilizada sobre o solo em forma de serapilheira (ABREU et al., 2020; GODINHO et al., 2014). A escolha das espécies a serem plantadas deve levar em consideração sua adaptação às condições edafoclimáticas da região, o sistema de produção, a disponibilidade de mudas e o mercado para a produção. Independentemente do tamanho da propriedade.

No Sistema ILPF, os renques podem ter fileiras simples, duplas, triplas, quádruplas ou mais para compensar o número de árvores por hectare. Em geral, em arranjos com fileiras múltiplas, são programados desbastes visando a uma população final de 150 a 200 árvores/ha (no caso do eucalipto), com foco na agregação de valor à produção como madeira para serraria, laminação, tratamento para postes etc (SENAR, 2018).

Tabela 1. Número de árvores por hectare nos diferentes arranjos espaciais para sistema de ILPF.

Arranjo espacial	Distância entre renques (m)	Distância entre árvores na linha (m)	Distância entre linhas no renque (m)	Número de árvores por hectare	% área ocupada pelas árvores
Linha simples	14,0	2,0	0,0	357	14,3
Linha simples	26,0	2,0	0,0	192	7,7
Linha dupla	26,0	2,0	3,0	345	17,2
Linha dupla	32,0	2,0	3,0	286	14,3
Linha tripla	26,0	2,0	3,0	469	25,0
Linha tripla	32,0	2,0	3,0	395	21,1

Fonte: Ferreira et al (2012)

Figura 4. Sistema de ILPF com fileira única de plantio de Eucalipto



Fonte: Ferreira et al. (2012).

Figura 5. Sistema com fileira dupla de plantio de Eucalipto



Fonte: Pulroinik (2021)

Figura 6. Sistema com fileira tripla de plantio de Eucalipto



Fonte: Portal DBO (2019)

Figura 7. Sistema com Plantio mais adensado de Eucalipto



Fonte: Embrapa (2017)

A altura mínima prevista para que uma espécie arbórea possa constar em um sistema agrossilvipastoril, procede da atribuição de se obter um fuste de pelo menos 3,5 m, o que permite o fluxo de maquinários nas operações agrícolas sob as copas e a incidência direta de luz solar sob as copas nos horários matutinos e vespertinos (PORFÍRIO da SILVA, 2013).

O eucalipto tem sido a espécie mais utilizada no Sistema ILPF por diversos fatores, como: crescimento rápido; boa capacidade de adaptação aos diferentes ambientes; facilidade na aquisição de mudas; bom volume de informações sobre o seu manejo; boa disponibilidade de radiação solar no sub-bosque. Devem-se preferir mudas clonadas adaptadas às condições da propriedade (tipo de solo, altitude e precipitação), e comercialmente plantadas na região.

A cultura intercalar deverá ser implantada de maneira semelhante ao seu plantio solteiro, isto é, com o mesmo espaçamento das entrelinhas, ressaltando-se que deverá ficar um metro livre (sem plantio) de cada lado das árvores e que, na aplicação de defensivos agrícolas na cultura intercalar, principalmente à base de glifosato, o cuidado deverá ser redobrado para não atingir as árvores, especialmente o eucalipto (SENAR, 2018).

De acordo com SENAR (2018) a implantação do Sistema ILPF em área de pastagem degradada, o cultivo da soja nos primeiros anos promove a elevação dos teores de nutrientes do solo, especialmente do nitrogênio, que é aproveitado pela cultura do milho e pela pastagem ao serem cultivados na sequência. Além disso, as receitas proporcionadas pela colheita da

soja geram mais retorno financeiro inicial, o que ajuda a melhorar o fluxo de caixa da propriedade.

Figura 8. Ciclo produtivo do Eucalipto na área plantada.



Fonte: Embrapa (2012)

Segundo a Embrapa (2019) é possível que apenas um percentual da propriedade agrícola seja ocupado com o sistema ILPF de maneira que esse percentual seja capaz de compensar as emissões de GEE por todos os bovinos da propriedade. Para isso, é necessário maior número de árvores/ha nas áreas com sistema ILPF. Com o sistema ILPF destinado apenas para uma parte da área da propriedade agrícola. A experiência na Embrapa Cerrados com aproximadamente 417 árvores/ha com alinhamento Norte-Sul demonstra que bastaria cerca de 15% da área de produção com o sistema ILPF para que todas as emissões de metano dos bovinos e óxido nitroso (proveniente do solo e das excretas dos bovinos) somadas às emissões iniciais da fase de lavoura (N_2O) fossem compensadas. Ressalte-se que existe ainda armazenamento de C nas raízes das árvores, as quais não foram computadas

2.5 EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA

O potencial de adoção de sistemas de ILPF em diferentes ecossistemas brasileiros está condicionado a diversos fatores. De acordo com Vilela et al. (2001) e Dias-Filho (2007) incluem: disponibilidade de solos favoráveis; infraestrutura para produção e armazenamento da produção; recursos financeiros próprios ou acesso a crédito; domínio da tecnologia para produção de grãos e pecuária; acesso a mercado para compra de insumos e comercialização da produção; acesso à assistência técnica; e possibilidade de arrendamento da terra ou de parceria com produtores tradicionais de grãos.

Segundo Kluthcouski et al. (2000) o sistema Santa Fé – Tecnologia Embrapa constitui-se na formação consorciada de culturas de grãos, em especial o milho, sorgo, milheto e soja com forrageiras tropicais, principalmente as do gênero *Brachiaria*, no sistema de plantio direto e conjuntamente no convencional, em áreas de lavoura com solo devidamente corrigido. Nestes, as culturas anuais mostram grande desempenho de desenvolvimento inicial, com isso executando alta competição sobre as forrageiras, evitando, assim, redução significativa nas suas capacidades produtivas de grãos. Além do fornecimento de palhada em quantidade e qualidade para o Sistema de Plantio Direto (SPD).

O Sistema Barreirão (SB), trata-se de uma tecnologia de recuperação/renovação de pastagens que utiliza o cultivo de culturas anuais (arroz de terras altas, milho, sorgo e milheto) consorciado com gramíneas forrageiras, principalmente as *braquiárias*, o *andropogon* e os *panicuns*. Esse sistema preconiza a incorporação de corretivos e fertilizantes no solo com grade aradora e arado de aiveca. O fato de não se adotar nenhuma medida para reduzir a competição das forrageiras com as culturas de grãos pode ocasionar redução na produção de grãos, compensada pela subsequente produção de forragens

O Sistema Santa Brígida (SSB) consiste no consórcio de gramíneas (milho ou sorgo e forrageiras) com leguminosas (feijão guandu-anão e crotalaria), proporcionando um aumento do aporte de nitrogênio ao sistema, via fixação biológica do nitrogênio atmosférico. Podem-se citar como vantagens desse sistema a diversificação das palhadas para o SPD, potencialmente redução da necessidade de fertilizantes nitrogenados para as culturas subsequentes, a melhoria na qualidade das pastagens e o enriquecimento da silagem com proteína verdadeira, quando no consórcio se cultivam braquiárias e leguminosas.

2.6 POTENCIAL PARA O SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO E NA BIOMASSA EM SISTEMAS DE ILPF

Segundo o relatório do IPCC (2021), manter o aumento da temperatura global em 1,5°C ainda é possível, mas apenas se agirmos imediatamente. O mundo precisa atingir o pico das emissões de GEE até 2025, reduzir essas emissões quase pela metade até 2030, atingir o zero líquido até meados do século e, ao mesmo tempo, assegurar uma transição justa e equitativa. Com riscos crescentes de secas, inundações, incêndios florestais e outros efeitos catastróficos das mudanças climáticas, esses são prazos que não podemos deixar passar.

O solo e a biomassa vegetal são grandes reservatórios biologicamente ativos do carbono terrestre, havendo contenção de 2,7 vezes mais carbono nestes do que na atmosfera. Assim, a conversão de mata nativa em agroecossistemas convencionais porventura da queima ou decomposição microbiana do carbono orgânico acarreta uma grande liberação de CO₂eq. A matéria orgânica do solo (MOS), além de suma importância para a ciclagem de nutrientes em florestas virgens, é capaz de armazenar massivas quantidades de carbono orgânico somente no primeiro metro de solo. (FARGIONE et al., 2008; FERNANDES; CERRI; FERNANDES, 2007).

O principal reservatório de C orgânico nos ecossistemas advém da biomassa, estimada em 56% de C na biomassa e 32% no solo, enquanto a proporção do carbono orgânico na floresta boreal (segunda mais importante no sequestro de carbono) é de 60% no solo e apenas 20% na biomassa, tornando-a comparativamente mais tolerante à retirada de cobertura vegetal (PAN et al., 2011). Segundo BAJTES (1999) a quantidade sequestrada e qualidade do carbono da vegetação dependem muito do clima (principalmente temperatura do ar e chuvas), do tipo de vegetação e da fertilidade do solo. Os solos férteis resultam em plantas maiores que contem, por sua vez, mais carbono a ser depositado no solo. Os processos de decomposição e taxas de transformação são fortemente influenciados pelo clima, tipo e qualidade da matéria orgânica, associações químicas e físico-químicas da matéria orgânica com os componentes minerais do solo e pela localização da matéria orgânica no solo (BAJTES, 1999).

O correto manejo da conservação e fertilização do solo são fundamentais para promover o aumento da produção de biomassa das plantas, prática que estimula o sequestro de carbono, retirando o dióxido de carbono da atmosfera por meio do incremento da fotossíntese. Com isso o potencial da agricultura em atuar como um dreno de GEE contribui para amenizar o forçamento radioativo da atmosfera. É importante a recuperação de áreas degradadas para que a produção de carne tenha aumentos significativos, medidas para a recuperação juntamente com o manejo adequado mais a reposição da fertilidade do solo

garantiria a sustentação do sistema de produção de carne em pastagens, além de minimizar os impactos ambientais. Ao contrário do que se pensava a intensificação do uso das pastagens pode contribuir para o sequestro de carbono (C) atmosférico (ALLARD et al., 2007).

O solo sendo um importante componente do ciclo biogeoquímico do Carbono, armazenando cerca de quatro vezes mais C que a biomassa vegetal, e quase três vezes mais que a atmosfera (NADAL-ROMERO et al., 2016). Dependendo dos fatores climáticos e biogeoquímicos, da taxa de deposição de resíduos vegetais e de sua decomposição, o solo funciona como fonte ou dreno de C para a atmosfera (ARAÚJO et al., 2011; CERRI, FEIGL E CERRI, 2008). As principais formas em que o CO₂ atmosférico pode ser capturado e depois armazenado pelo sistema de produção são por meio da sua transformação em matéria orgânica do solo e, principalmente, pela sua transformação em biomassa vegetal do componente florestal.

O carbono mineral na forma de gás carbônico é fixado através da fotossíntese pelas plantas verdes na forma de carboidratos, lignina, proteínas, lipídeos e outros compostos orgânicos. Com a senescência e morte dos órgãos vegetais aéreos, principalmente folhas e galhos e a produção radicular, esse carbono orgânico é colocado em contato com o solo. Esses resíduos vegetais, assim como os de origem animal, não se acumulam indefinidamente no solo; com o tempo, todos se decompõem em gás carbônico e água. Os principais responsáveis por essa decomposição são os microrganismos do solo, cuja massa ou biomassa microbiana está permanentemente em renovação (TEIXEIRA, 2009). Ou seja, a biomassa acumula carbono pelo crescimento das plantas, por meio do processo de fotossíntese, e o carbono retorna para a atmosfera pela respiração e por meio dos processos de decomposição, quando a planta é cortada ou morre.

O estoque de C orgânico do solo é determinado pelo balanço anual da adição de C fotossintetizado (influxo) e da perda (efluxo) de C orgânico devido a sua oxidação do CO₂ pelos microrganismos heterotróficos (IPCC, 2001). Solos, sob vegetação natural, apresentam estoque de C orgânico estável, resultante da igualdade do influxo de CO₂ atmosférico ao solo via plantas e do efluxo de CO₂ do solo para atmosfera via decomposição microbiana. Quando o solo é cultivado, ocorre alteração na magnitude do influxo e do efluxo de CO₂ no sistema solo-atmosfera, com reflexos na redução dos estoques de C orgânico do solo. (COSTA, 2006).

Nos solos agrícolas, a recuperação do estoque de C no solo é expressa por uma função matemática exponencial, com taxas de acumulação decrescentes. Entende-se, por isso, que para um mesmo solo, nas áreas mais degradadas, as taxas iniciais de acúmulo de C promovido por um sistema conservacionista serão maiores do que aquelas encontradas em áreas menos degradadas (CHRISTOPHER e LAL, 2007).

No Brasil é uma realidade os resultados favoráveis no sequestro de carbono nos diferentes sistemas de uso da terra. Isso tem sido alcançado por meio de estratégias focadas no

desenvolvimento sustentável e na conservação dos recursos naturais que promoveram a redução de emissões de GEE, por meio do sistema integrado lavoura pecuária-floresta a redução foi de 50,6 milhões (t CO₂eq), 53,6 milhões (t CO₂eq) por meio de práticas de plantio direto, e 105 milhões (t CO₂eq) através de pastagens bem manejadas, esses valores se dão devido quantidade de áreas destinadas a esses sistemas.

Alguns sistemas de uso e manejo da terra em diferentes biomas do Brasil, podem alterar consideravelmente os estoques de C e a emissão de GEE do solo para a atmosfera e, conseqüentemente, ser importante no que se refere à mitigação do aquecimento global do planeta, estimativas realizadas para todo o território do Brasil que equivale a 8,5 milhões de km² demonstraram que a média dos estoques de C no solo variam conforme a camada, tendo resultados como: 39 Pg de C na camada de 0-30 cm, 52 Pg de C para a camada de 0-50 cm, 72 Pg de C para a camada de 0-100 cm e de 105 Pg de C para a camada de 0-200 cm do solo, o que corresponde aproximadamente a 40 % de todo o C armazenado nos solos da América Latina (BERNOUX & VOLKOFF, 2006).

Embora haja o armazenamento de carbono (C) na forma de matéria orgânica do solo, são menos comuns os casos em que os estoques de C no solo sob os sistemas agrícolas superam os estoques da vegetação nativa adjacente. Ou seja, é difícil obter saldo positivo de carbono caso o componente florestal não seja inserido no sistema de produção agrícola. Por exemplo, no sistema ILPF, uma única árvore acumulou em média 30,2 kg de C.ano⁻¹ (considerando 45% de C da massa seca de biomassa aérea da planta). Isso equivale ao sequestro 110,5 kg de CO₂.ano⁻¹ da atmosfera por cada árvore inserida no sistema. Contudo, neste cálculo, foram considerados todos os compartimentos das árvores (folhas, galhos, casca, fuste, excluindo apenas as raízes) estocando C.

Todavia, o carbono realmente imobilizado concentra-se na madeira do tronco das árvores, onde a fixação somente no tronco foi de 20,7 (t CO₂eq.ha⁻¹.ano⁻¹) considerando o volume até a altura comercial do tronco das árvores. (EMBRAPA, 2019). De acordo com as estimativas do Plano ABC a ILPF possui um potencial de mitigação de 5 t CO₂eq ha⁻¹, muito à frente do Sistema Plantio Direto (2,25 t CO₂eq ha⁻¹) e da fixação biológica de nitrogênio (1,8 t CO₂eq ha⁻¹) e só atrás da recuperação de pastagens degradadas (6,2 t CO₂eq ha⁻¹) (EMBRAPA, 2020).

Tabela 2. Potencial de mitigação de GEE nos diferentes sistemas em t de CO₂eq ha⁻¹

ILPF	SPD	FBN	RPD
5,0 t CO ₂ eq ha ⁻¹	2,25 t CO ₂ eq ha ⁻¹	1,8 t CO ₂ eq ha ⁻¹	6,2 t CO ₂ eq ha ⁻¹

2.7 ASSISTÊNCIA TÉCNICA

Apesar dos benefícios gerados pela implantação do sistema ILPF, ainda há algumas dificuldades de adoção por parte dos produtores, a maioria relacionada à complexidade de gestão e aos aspectos relacionados à produção diária em uma propriedade inserida neste sistema de produção. Isso gera uma necessidade cada vez maior de assistência técnica, no que diz respeito à extensão rural, aprimoramento dos conhecimentos existentes e incentivo às pesquisas na área. Essas dificuldades interferem na implantação do sistema ILPF muitas vezes, mas, ainda assim, têm gerado cada vez mais ações que facilitam e aceleram a introdução, por meio de treinamento de agentes, aumento do financiamento e capacitação do produtor pela instalação de unidades de treinamento em zonas institucionais e em propriedades agrícolas (FRANCO e SILVA, 2017).

Mesmo com os benefícios econômicos, sociais e ambientais, a área ocupada por sistemas de ILPF no Brasil ainda é reduzida: 17,4 milhões de hectares, onde em Mato Grosso essa proporção é levemente maior, com a ILPF ocupando 6,5% da área estabelecida com lavoura e pecuária. O Governo Federal, desde a safra 2011/2012, tem destinado quantias significativas para adoção desses sistemas, via linhas de crédito específicas dentro do Plano ABC, mas a taxa de captação é baixa. Na safra 16/17, R\$ 2,9 bilhões foram disponibilizados pelo Plano, mas apenas 63% desse total foram contratados pelos produtores. Desse valor, somente 7% (R\$ 118,7 milhões) foram destinados à implementação de sistemas de ILPF (OBSERVATÓRIO ABC, 2017).

Alguns fatores explicam essa relativa baixa adoção dos sistemas de ILPF, como: i) aspectos culturais, ii) necessidade de investimento inicial elevado, iii) escassez de mão de obra qualificada, iv) falta de informação e, v) falta de assistência técnica (CORTNER et al., 2019; EMBRAPA; REDE ILPF, 2017). Contudo, um dos aspectos mais decisivos para a tomada de decisão dos produtores é a falta de informações sobre os potenciais benefícios econômicos dos sistemas de ILPF (CORTNER et al., 2019; REIS et al., 2017).

Segundo o MAPA (2020), o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, denominado Plano ABC, completa dez anos desde a sua criação. O Plano ABC tornou-se uma referência para as políticas públicas promotoras de sustentabilidade no setor agropecuário, especialmente em um período no qual temas ambientais estão nas primeiras linhas de preocupações. O Plano ABC, considerando seus objetivos e contextos, também se alinha com as preocupações de fortalecimento da sustentabilidade no processo de desenvolvimento nacional, em particular, na resposta aos desafios propostos

internacionalmente através dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, em particular o ODS-2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) e o ODS-13 (Ação contra a Mudança Global do Clima) (MAPA, 2021).

Segundo o SEEG (2021), caso a meta seja alcançada ao final desse ciclo novo, o Plano ABC+ poderá ser responsável pela mitigação de 1,11 bilhão de toneladas de CO₂eq. Seria o equivalente a dois anos inteiros de emissões do setor, considerando a média da última década. No entanto, o financiamento do ABC+ enfrenta os mesmos desafios que a fase anterior do programa: o Programa ABC, conjunto de linhas de crédito que implementam as tecnologias do Plano ABC, tem se mantido em patamares historicamente baixos do Plano Safra, nunca superiores a 3% do total do crédito agropecuário, mesmo com o aumento do valor de crédito concedido pelo Plano Safra nos últimos anos.

Segundo MAPA (2021) Para complementar o bem-sucedido Plano ABC, foram estabelecidos novos objetivos no Plano ABC+, como:

Manutenção e adoção de sistemas de produção conservacionistas;

- Fortalecimento do uso de tecnologias e assistência ao produtor;
- Estímulo à pesquisa e desenvolvimento de práticas sustentáveis de produção;
- Reconhecimento e valorização de produtores que adotam práticas sustentáveis;
- Fomento e diversificação de fontes econômicas, financeiras e fiscais vinculados aos sistemas produtivos sustentáveis;
- Aprimoramento do sistema de gestão das informações do ABC+, para efetivação do monitoramento, avaliação e comunicação de resultados;
- Incentivo à regularização ambiental das propriedades rurais.
- Com isso, sempre buscando aumentar a produtividade e renda do produtor e ao mesmo tempo controlar as emissões de gases do efeito estufa.

As estratégias do ABC+ também preveem estímulo aos produtos agrícolas do país, ou seja, a certificação agregando valor aos produtos. Hoje já é possível encontrar nos mercados, alimentos com o selo “baixa emissão de carbono” ou “carbono neutro”. Esta certificação ocorre com base na evidência científica e garante ao consumidor que aqueles produtos foram produzidos por agricultores conscientes e que buscam a mitigação de CO₂ (MAPA, 2021).

A assistência técnica oficial e privada tem executado bem essa responsabilidade, comumente há circunstâncias em que o produtor, por costume ou por falta de atenção, favorece aquele sistema ao qual tem maior afinidade. Se um dos pilares da ILPF é obter o sinergismo entre os segmentos vegetal e animal, deve-se avaliar o indispensável planejamento, em longo prazo, que atenda todo o sistema, desde o momento de sua implantação até o seu propósito (ALVARENGA e GONTIJO NETO, 2011).

Uma maior integração dos processos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) com a Transferência de Tecnologia (TT) possibilita que os resultados cheguem de maneira eficiente e rápida aos produtores rurais. Isso pode ocorrer por meio de diferentes ferramentas, com ações complementares de Comunicação, informando e capacitando os profissionais e usuários de determinada tecnologia.

A TT é entendida como um processo que só se completa com a efetiva adoção de um conhecimento ou tecnologia pelo usuário. O que compete à Embrapa é induzir e facilitar igual acesso ao conhecimento e às tecnologias a todos os interessados, seja para produtores rurais, seja para instituições públicas e privadas que desenvolvem ações na área. Para a maioria, isto pode significar a transformação/ melhoria de suas unidades produtivas a partir da mudança ocorrida pelo conhecimento e tecnologias aplicadas (MARTINEZ et al, (2019).

As unidades de referência tecnológica, mais conhecidas como URTs são áreas de produtores rurais ou de instituições associadas ao setor produtivo em que é utilizada alguma configuração de ILPF. Tais áreas contam com a assistência da equipe técnica da Embrapa que auxiliam na avaliação, validação de tecnologias e também são usadas como objeto de aprendizagem em processos de capacitação de consultores privados e agentes públicos de assistência técnica e extensão rural (EMBRAPA, 2005).

Os critérios de seleção de áreas para as ações de TT se baseiam principalmente no interesse dos produtores rurais inovadores e na utilização das URTs com sistemas implantados. Esse interesse leva em consideração o perfil da propriedade rural e do proprietário, sendo as mais comuns, as tipologias de produtores e propriedades em que se encontram a maior quantidade de pecuaristas e as com maiores impactos à produção agropecuária em uma área de abrangência. Além disso, as ações são realizadas também pelas demandas provenientes de órgãos estaduais de extensão rural, de entidades governamentais, fomento, ensino e de instituições financeiras (SKOPURA, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 POTENCIAL PARA O SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS

O sistema integrado (ILPF) possuem a capacidade de preservar o C, em frações mais estáveis do solo, como consequência de um aporte maior de material orgânico, tornando-os importantes estabilizadores de C e contribuindo para a mitigação às mudanças climáticas. Nos sistemas integrados ocorre uma maior contribuição das espécies C4 (*Brachiaria brizantha*), para o C da MOS nas camadas superficiais, enquanto as espécies de *Eucalyptus* (C3) contribuem, nas camadas mais profundas, associado ao C remanescente da vegetação nativa. Isso foi verificado por Sarto et al. (2020), mostrando maior contribuição do C oriundo

de espécies C3 (*Eucalyptus*) em profundidade e em camadas superficiais predominância do C originário de espécies C4 (*B. brizantha*).

Diversos estudos comprovam que quando submetidas a boas práticas de manejos as pastagens proporcionam a manutenção ou até mesmo o aumento dos estoques de C no solo (Conant et al. 2001; Maia et al., 2009; Assad et al., 2013; Fujisaki et al., 2015). A ciclagem do robusto sistema radicular, associada ao pouco ou nulo revolvimento do solo, é apontada como o principal fator para o acúmulo de C no solo sob pastagens. Cerri et al. (2004) avaliou a variação nos estoques de carbono no solo, comparando casos de adoção do SPD e o sistema convencional, para as condições brasileiras, possuindo uma variação na taxa do potencial de acúmulo de carbono no solo no Brasil, sendo o valor médio de aproximadamente 0,5 t C ha⁻¹ ano⁻¹. foi observada taxas de acúmulo variando de 0,4 a 1,7 t C ha⁻¹ ano⁻¹, para a região do cerrado, e 0,5 a 0,9 t C ha⁻¹ ano⁻¹, para a região Sul do Brasil, quando avaliaram a camada de 40 cm de solo. Quando se refere a pastagens Conant et al. (2001), estimaram que as pastagens bem manejadas apresentam uma taxa de acúmulo de C de 0,30 t ha⁻¹ ano⁻¹, (MAIA et al.,2009). E a taxa média de acúmulo no solo de C nas pastagens recuperadas, foi de 0,40 t ha⁻¹ ano⁻¹ de C. e as pastagens degradadas apresentaram taxas de acumulo de C do solo de 0,02 a 0,24 t ha⁻¹ ano⁻¹.

Tabela 3. Taxas de acumulo de carbono no solo nos diferentes solos e sistemas.

Media no Brasil	0,5 t C ha ⁻¹ ano ⁻¹
Cerrado	0,4 à 1,7 t C ha ⁻¹ ano ⁻¹
Região Sul	0,5 à 0,9 t C ha ⁻¹ ano ⁻¹
Pastagens bem manejadas	0,30 t C ha ⁻¹ ano ⁻¹
Pastagens recuperadas	0,40 t C ha ⁻¹ ano ⁻¹
Pastagens degradadas	0,2 à 0,24 t C ha ⁻¹ ano ⁻¹

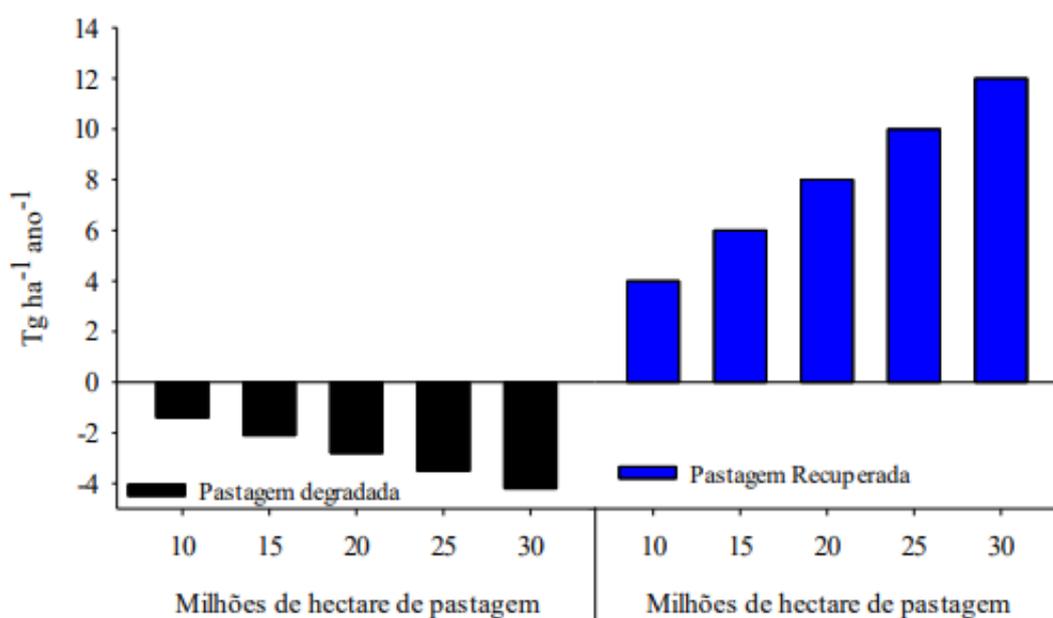
O estoque de C no solo é influenciado pela textura do solo aumentando com o incremento do teor de argila (SANTOS et al., 2016). As argilas apresentam tamanho coloidal e possuem maior superfície específica que as demais partículas do solo. Dessa forma, ocorre uma maior interação entre a MOS e as argilas, conferindo maior estabilidade e consequente proteção química e/ou física à ação de microrganismos (DURIGAN et al., 2017). A MOS é um dos principais responsáveis pela agregação do solo e estabilidade dos agregados (CALONEGO et al., 2012). Nos primeiros centímetros dos solos que apresentam textura argilosa ou muito argilosa, a redução dos estoques de C no solo sob pastagem, provavelmente está ligada a quebra dos agregados do solo ao se fazer o preparo do solo expondo a MOS à ação dos microrganismos. Nas pastagens ocorreram um aumento no estoque de C de acordo com o aumento do teor de argila, em de profundidade o estoque de carbono os diferentes

solos 100cm foram de, 56,39 t de C ha¹ em solos arenosos, 109,39 t de C ha¹ em solos de textura media, 115,52 t de C ha¹ em solos argilosos, e muito argilosa com 130,78 t de C ha¹. Enquanto nos solos de textura a argilosa e muito argilosa a diferença ocorreu apenas na camada inicial do solo. (OLIVEIRA, 2018)

Como anteriormente exposto os solos apresentam diferentes taxas de acumulo de carbono conforme sua profundidade e além disso a magnitude dos estoques de C no solo sob pastagem também diferem entre os biomas. Segundo Oliveira (2018) o solo em até 10 cm, onde nos Pampas apresentou maior estoque de C (30,82 t ha¹), seguido pela Amazônia (23,12 t ha¹), Cerrado (22,32 t ha¹), Mata Atlântica (17,14 t ha¹), Pantanal (11,71 t ha¹) e Caatinga (10,29 t ha¹), já quando consideramos o solo a 30 cm, o Cerrado apresentou os maiores estoques de C no solo sob pastagem (53,26 t ha¹), seguido pela Mata Atlântica (45,63 t ha¹), Amazônia (44,80 t ha¹) e Caatinga (24,73 t ha¹).

Oliveira (2018) afirma também que o cumprimento da meta prevista no plano ABC (recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens) proporcionará um potencial acúmulo de 6 Tg ano⁻¹ de C no solo, onde caso não haja tal cumprimento o país deixará de recuperar esses 15 milhões de hectares de pastagens, havendo uma perda de 2,1 Tg ano⁻¹ de C. Por outro lado, o cumprimento da meta do plano ABC e outros que visa a recuperação de 30 milhões de hectares de pastagens, resultará no acúmulo de 12 Tg ano⁻¹ de C no solo. Se essas pastagens não forem recuperadas, ocorrerá uma perda de 4,2 Tg ano⁻¹ de C. Assim, além de evitar emissões de C para a atmosfera, a recuperação das pastagens proporcionará o acúmulo de C no solo líquido de 16,2 Tg ano⁻¹ (OLIVEIRA, 2018).

Figura 9. Estimativas de acúmulo de carbono no solo devido a recuperação de pastagens degradadas até 2030.



Fonte: Oliveira (2018)

Segundo de Figueiredo et al. (2017) a produção de bovinos de corte em pasto bem manejado apresenta maior emissão total de GEE do que a produção em pastagem degradada, seguido pela ILPF, onde as emissões totais estimadas em dez anos foram para o sistema com pastagens manejadas (84.541 kg CO₂eq.ha¹), seguido pelo sistema de ILPF (64.519 kg CO₂eq.ha¹) e pelo sistema degradado (8.004 kg CO₂eq.ha¹) entretanto se mostra mais sustentável pela alta produção animal e pelo incremento de C no solo, resultando em uma menor pegada de C de 7,6 kg de CO₂eq.por kg¹ de peso vivo animal em pastagem bem manejada, ante 18,5 kg de CO₂eq. kg¹ por kg de peso vivo de animal na pastagem degradada, seguido por 12,6 kg CO₂eq.kg peso vivo¹ para o sistema de ILPF. Além desses fatores há também o componente florestal no sistema ILPF, pode reduzir a pegada de C para -28,1 kg de CO₂eq. kg¹ de animal vivo. Importante destacar que o sistema ILPF tem potencial para produzir, além do gado de corte, três tipos de grãos (milho, sorgo e soja),além da produção de madeira de eucalipto, durante o ciclo de produção de 10 anos dentro da mesma unidade de área de terra. Neste estudo, com densidade de 476 árvores por hectare de árvores no sistema ILPF, seria possível o sequestro de 4,75 t de C ha⁻¹ ano⁻¹.ou 17,4 t CO₂ ha⁻¹ ano⁻¹ (de FIGUEIREDO et al., 2017).

Tabela 4. Balanço de carbono nos diferentes sistemas produtivos

	Emissões totais	Pegada de C ¹	Sequestro de C na Biomassa ²
Pastagem bem manejada	84,541 kg CO ₂ eq.ha ¹	7,6 kg CO ₂ eq.por kg.pv ¹	-
Pastagem degradada	8.004 kg CO ₂ eq.ha ¹	18,5 kg CO ₂ eq. kg-1 por kg.pv ¹	-
Integração lavoura pecuária floresta	64.519 kg CO ₂ eq.ha ¹	12,6 kg CO ₂ eq.kg pv ¹	-28,1 kg CO ₂ eq. kg.pv ¹

Nota. ¹ Quantidade de CO₂eq. emitido por kg de peso vivo produzido. ² Quantidade de CO₂eq. retirado da atmosfera pela biomassa por kg de peso vivo produzido

Como podemos avaliar no dado trabalho o sistema de ILPF, se mostra o modelo de uso do solo mais atrativo por apresentar menor pegada de emissão de CO₂eq., por kg de peso vivo produzido, essencialmente, pelo sequestro de carbono na biomassa do eucalipto

O balanço entre as emissões e remoções antrópicas de GEE foi realizado para todos os sistemas de produção e variou de 3,29 a 29,15 t CO₂eq./ha¹.ano¹ (Tabela 5), sendo o menor valor para as pastagens extensivas e o maior valor para o ILPF, evidenciando que os

drenos de C (sequestro de C no solo e no fuste do eucalipto) foram maiores que as emissões de GEE e mostrando que todos apresentaram potencial de mitigação dos GEE.

Tabela 5. Balanço entre as emissões e remoções antrópicas de GEEs, considerando-se apenas os principais processos produtivos em sistemas de produção de bovinos de corte com ou sem integração

Sistemas de produção	Lotação Animal	Acumulo de C no solo	Acumulo de C no fuste	Carbono Sequestrado	CH4 emitido bovino	N2O solo emitido	CH4 solo emitido	Emissões totais	Diferença líquida
	n./ ha	t / ha.ano							
Pastagem Extensiva	2.04	1.7		6.24	2.95	0.00203	0.00068	2.9527	3.29
IPF	2.73	3.13	5.18	30.5	4.42	0.00193	0.00013	4.4221	26.08
ILP	2.66	3.13		11.49	3.86	0.03869	0.00108	3.8998	7.59
ILPF	2.57	3.13	5.75	32.59	3.40	0.03957	0.00078	3.4404	29.15
Pastagem intensiva	3.13	3.13		11.49	5.55	0.00068	0.00068	5.5514	5.94

Fonte: Oliveira (2017)

Sistemas com pastagens degradadas não são capazes de abater as emissões de GEE pelo sequestro de C no solo, enquanto que sistemas intensivos, integrados ou não, apresentaram potencial de mitigação dos GEE e possibilidade de zerar a pegada de C da carne e ainda gerar créditos de carbono. Apesar da alta lotação e maior ganho de peso médio do sistema intensivo, fatores que aumentam a emissão de metano entérico, os balanços apresentados apontam para a capacidade de mitigação das emissões de GEE por meio do sequestro de C no solo das áreas de pastagens intensificadas (com manejo adequado da planta forrageira e da manutenção da fertilidade do solo). Os sistemas integrados contendo o componente florestal, como ILF e ILPF, possuem um potencial superior em relação aos outros sistemas para a mitigação das emissões de GEE (OLIVEIRA, 2017).

A variação dos estoques de carbono no solo decorrente da adoção de tecnologias relacionadas ao manejo da terra varia principalmente com o tipo e textura de solo, práticas de manejo e histórico de uso da terra. Sá et al. (2013) relatam ainda que no Brasil são escassos os estudos sobre estoques de C e N de sistemas de uso e gestão da terra de paisagens produtivas, que consideram a abordagem de uso e mudanças de uso da terra e florestas do IPCC.

3.2 POTENCIAL PARA O SEQUESTRO DE C NA BIOMASSA EM SISTEMAS INTEGRADOS

A matéria orgânica do solo (MOS) sob plantações florestais tem grande importância no fornecimento de nutrientes às plantas, retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, estabilidade da estrutura, infiltração e retenção de água, aeração, e na atividade microbiana, constituindo-se, assim, em um componente fundamental e determinante da capacidade produtiva de solos altamente intemperizados (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Segundo Pulrolnik (2016) estudos realizados pela Embrapa cerrados apontam que um hectare de eucalipto com 1.666 plantas apresenta, em média, o estoque de 140 t ha⁻¹ de carbono no solo, na camada de até 1 metro de profundidade e de 70 t ha⁻¹ de carbono na parte aérea, nas raízes e na serapilheira, ao final de um período de sete anos, resultando em um sequestro 7 t C ha⁻¹ ano⁻¹. A serapilheira protege o solo, beneficia a manutenção da umidade, atua como barreira física das plantas invasoras e pode influenciar a biodiversidade, abundância e atividade da biota do solo, e a serapilheira pode acumular de 10 a 30 t ha⁻¹, com alta relação C/N, altas relações C/P e C/S que favorecem uma lenta decomposição, o que pode aumentar os estoques de carbono no solo favorecendo a estabilidade a longo prazo, ajudando na mitigação dos gases de efeito estufa (GEEs).

Esses sistemas apresentam potencial de mitigação de emissão de GEE por meio das remoções de C da atmosfera e estocagem na biomassa e no solo, especialmente quando o componente arbóreo está presente (OLIVEIRA et al., 2017; DUBE et al., 2002; ALMEIDA et al., 2011; CARVALHO et al., 2014; SALTON et al., 2014). O *Eucalyptu Orograndis* é o mais utilizado nos sistemas integrados pelo seu auto índice de sequestro de C onde segundo Müller et al. (2009), ao avaliar o estoque de carbono em sistema silvipastoril misto com *E. grandis* e *Acacia mangium*, observaram, para o eucalipto, valor mais elevado de biomassa e de carbono do que outras espécies.

Segundo Pezzopane (2020) uma pesquisa realizada pela Embrapa sudeste na área experimental localizada na cidade de São Carlos, em uma área de 3 hectares de latossolo vermelho-amarelo distrófico arenoso-argiloso, com as seguintes formatações experimentais, com árvores da espécie *Eucalyptus urograndis* (GG100) com pastagens de *Brachiaria Brizantha* e *Piatã*, onde foram adotados renques de fileiras simples, com espaçamento 2x2m e 15 metros entre os renques, possuindo uma densidade de 333 árvores por hectares, com manejo rotacionado das pastagens, divididos em 6 piquetes, com ocupação de 6 dias e descanso de 30 dias, os seguintes sistemas de renovação que diferiram entre o tempo de renovação da pastagem, com 2 e 3 anos para a renovação do pasto (ILPF-2 e ILPF-3) e SSP onde no momento não havia sido renovada a pastagem. Os dados por analisados após cinco

anos de implantação dos sistemas, onde a variação de acúmulo de volume por ano nos sistemas analisados o variou entre 26,4 t C ha¹ ano¹ em SSP a 31,2 t C ha¹ ano¹ em ILPF-2. Quando avaliada a produção de biomassa somente pelo fuste das árvores, as variações foram de 11,4 em SSP a 13,5 t ha¹ ano¹ em ILPF-2. E quando analisados aos estoques de C no fuste do *E urograndis* os dados obtidos equivalem a um acúmulo de carbono de 5,2 em SSP e 6,1 t ha ano em ILPF-2.

Segundo Tsukamoto et al. (2004) relataram que o sistema agrossilvipastoril foi considerado o mais indicado para projetos de fixação de carbono, pois, na idade de cinco anos, o eucalipto fixou maior quantidade de carbono do que nos sistemas tradicionais.

O potencial de acúmulo de C pelo componente arbóreo em sistemas integrados ainda é pouco estudado nas condições brasileiras, e possuem muito fatores que levam a resultados diversos, como espécie, manejo e da densidade populacional (TSUKAMOTO FILHO, 2003; GUTMAIS, 2004; OFUGI et al., 2008; MULLER et al., 2009).

3.3 BENEFÍCIOS DO SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA PECURÁRIA FLORESTA

A ILPF pode ser uma ferramenta eficaz para que produtores rurais se protejam de eventos climáticos extremos, onde uma série de tecnologias agrícolas previstas no Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), impactam positivamente, difundindo e aumentando segurança do produtor em adotar esse sistema. A análise da iLPF mostra que ela melhora o clima local e a qualidade do solo, reduz eventos extremos e pragas, além de trazer ganhos em produtividade.

Sistemas de integração Lavoura-Pecuária Floresta proporcionam o uso intenso e sustentável do solo, com rentabilidade, desde o ano de sua implantação. O aumento da produção constatada em sistemas ILPF trazem grandes vantagens ao produtor e ao meio ambiente, enriquecendo as condições físicas, químicas e biológicas do solo, melhorando a eficiência na utilização dos nutrientes, diminuindo custos de produção da atividade agrícola e pecuária, diminuindo a pressão por abertura de novas áreas, modificando e estabilizando a renda na propriedade rural e possibilitando a recuperação de áreas com pastagens degradadas (NETO, et al., 2014).

A implementação de sistemas de ILPF têm sido preconizadas para a produção de alimentos como carne e grãos, e madeira para energia, construção civil e indústria moveleira em áreas antropizadas ou já consolidadas para a atividade agropecuária (RODRIGUES et al., 2019; SILVA e SCHWARTZ, 2019). Estes tipos de sistemas contribuem para a diversificação da renda, estabilidade econômica, recuperação de áreas degradadas, redução dos gases de efeito estufa, redução do êxodo rural e fixação da população rural (RODRIGUES et al. 2019).

Segundo KICHEL, et al., (2014) Os benefícios agronômicos e ambientais são :

- Melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo devido ao acréscimo da matéria orgânica;
- Elaboração de sistemas radiculares de plantas em maior profundidade, proporcionando melhor utilização de água e nutrientes, reduzindo, assim, perdas de produtividade na ocorrência de veranicos;
- Maior produtividade na utilização de insumos e energia;
- Possibilidade de execução dos sistemas para grandes, médias e pequenas propriedades rurais;
- Melhoria no uso dos recursos naturais pela complementaridade e sinergia entre árvores e lavouras na ILPF. Isso se justifica pela ocorrência de plantas indesejadas, que normalmente ocorrem nas plantações jovens, são substituídas por cultas de grãos e/ou forrageiras, tornando a manutenção menos dispendiosa;
- Diminuição do uso de agrotóxicos para controle de insetos-pragas, doenças e plantas daninhas;
- Mitigação dos gases do efeito estufa, resultante da maior capacidade de sequestro de carbono (TOMAZ e WANDER, 2017);
- Melhoria do aproveitamento da água e dos nutrientes do solo (ASSIS et al., 2015);
- Baixo custo de produção, principalmente pela redução do uso de insumos, máquina e mão-de-obra;
- A integração da agricultura com a pecuária resulta na redução dos custos de implantação e renovação de pastagens, sobretudo em relação à adubação, ao preparo do solo e ao manejo de plantas daninhas (MOTA et al., 2011);
- As pastagens sobre áreas previamente cultivadas, sobretudo com lavouras de grãos, desenvolvem-se com alta capacidade de produção e qualidade de forragem, com mais uniformidade na oferta, reduzindo os efeitos da sazonalidade na produção de matéria seca e as infestações de parasitas, resultando em desempenho animal superior ao das pastagens tradicionais (BUNGENSTAB et al., 2012).

A pecuária bovina é uma atividade importante para a economia brasileira, e recuperar áreas de pastagens degradadas sem aumentar a pressão sobre os recursos naturais, por meio de alternativas como a ILPF, é a melhor estratégia para expandir o setor. A pecuária bovina é uma atividade altamente produtiva em diversas regiões do Brasil, mas sistemas extensivos e de baixa tecnologia ainda fazem com que o setor não alcance todo o seu potencial de eficiência. Modelos que aliam a produção de alimentos saudáveis à criação de

animais e ao cultivo de espécies arbóreas, como a ILPF, ajudam a promover essa mudança mantendo ou aumentando a produtividade, conciliando crescimento econômico e o cuidado com o meio ambiente, essas estratégias de adaptação às mudanças climáticas na agropecuária trazem benefícios financeiros diretos para os produtores rurais, econômicos, sociais e ambientais para a sociedade, e reduzem o risco de investidores, agentes financeiros e de empresas seguradoras.

Além desses diversos benefícios agrônômicos e ambientais, também existem os benefícios sociais atrelados ao aumento da ILPF :

- Aumento da produção anual de alimentos com custo mínimo;
- Geração de emprego e renda no campo;
- Aumento da oferta de alimentos de qualidade; o estímulo à qualificação profissional;
- Melhoria da qualidade de vida do produtor e da sua família; o
- Aumento da renda dos empreendimentos rurais (TOMAZ e WANDER, 2017)

Os benefícios sociais compreendem a geração de empregos diretos e indiretos, aumento e distribuição melhor da renda, aplicação dos sistemas integrados em qualquer tamanho de propriedade, aumento da competitividade do agronegócio brasileiro e contribuição para a segurança alimentar do País, outros benefícios sociais gerados são o aumento da procura de mão de obra qualificada onde áreas de ILPF fomentam a procura por qualificação profissional gerando diversas externalidades positivas para a região.

3.4 ENTRAVES PARA ADOÇÃO DE SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO

O sistema ILPF apesar de possuir inúmeras vantagens agrônômicas, ambientais e sociais, ainda é pouco difundido entre os produtores rurais, entre as entraves de maior destaque, ou fatores condicionantes à adoção da tecnologia, pode-se considerar sob dois aspectos, endógenos e exógenos à “porteira” da propriedade rural. Segundo Martinez (2020) Os endógenos referem-se às questões internas da propriedade como o apego que a grande maioria dos produtores tem por pacotes tecnológicos tradicionais em que muitos não se desvinculam desses métodos; a integração de dois ou mais componentes nos sistemas de ILPF exige uma equipe multidisciplinar, bem como máquinas e equipamentos específicos de cada uma; a inovação, ainda é um processo incipiente com poucas iniciativas por parte dos produtores. Os aspectos exógenos referem-se aqueles que independem da ação direta do produtor, podendo-se relacionar (MARTINEZ, 2020):

- Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) deficitária: poucos técnicos para atender a elevada demanda, veículos inadequados, muitas empresas de ATER trabalham somente com comunidades rurais de agricultura familiar e não têm estrutura para ampliar seu trabalho;

- Precária infraestrutura de transporte e de energia elétrica;
- Baixa disponibilidade de mão-de-obra e serviços qualificadas em toda a cadeia produtiva;
- Dificuldade de acesso ao crédito, decorrente de fatores burocráticos e, principalmente, de regularização fundiária;
- Falta de ações efetivas de comunicação em massa divulgando experiências regionais;
- Tradicionalismo e resistência à adoção de novas tecnologias por parte dos produtores;
- Exigência de maior qualificação e dedicação por parte dos produtores, gestores, técnicos e colaboradores;
- Necessidade de maior investimento financeiro na atividade; com um retorno em médio a longo prazo, especialmente, do componente florestal;
- Falta de infraestrutura básica regional e mercado local para os produtos. A produção depende da disponibilidade e manutenção de máquinas e equipamentos, e também de fatores externos à unidade produtiva, como energia, armazenamento e transporte;
- Longas distâncias até as regiões consumidoras e as agroindústrias. Em algumas regiões, há dificuldade de aquisição de insumos como fertilizantes, sementes, mudas, agroquímicos e animais, bem como comercialização dos produtos;
- Pouca ênfase aos sistemas de integração nas grades curriculares de cursos de ciências agrárias;
- Política governamental de incentivos e estímulos à adoção dos sistemas de integração ainda em desenvolvimento;
- Maior complexidade agregando riscos ao sistema, especialmente devido ao componente agrícola.

Não podemos deixar de citar os entraves para adesão do Plano ABC e de programas de acesso ao crédito, onde estudos técnicos sobre o Plano ABC identificaram como principais problemas: a questão da concentração de recursos em regiões e em alguns programas; a pequena demanda por esta modalidade de crédito; a ausência de capacidade técnica por parte dos produtores; e a falta de assistência técnica específica para as tecnologias sustentáveis para alguns produtores em determinadas regiões brasileiras. No que se refere, especificamente, à baixa demanda por crédito no âmbito do Plano ABC, consubstanciado no Programa ABC, verifica-se que uma das causas possíveis é a existência de outros programas de crédito com menores exigências burocráticas (CONCEIÇÃO, 2022).

Segundo Assad (2013) os recursos do programa ABC não são plenamente utilizados. O estudo do Observatório ABC ressalta que outras linhas de crédito de investimento apresentam menores exigências técnicas e ambientais do que o Programa ABC (ASSAD,

2013). Este fato pode ser um motivo de redução da procura do crédito do programa pelos produtores. Outro ponto relevante, no que se refere ao Programa ABC, é a dificuldade para as instituições financeiras, com relação à análise do projeto e da documentação exigida para acessar o crédito.

A questão da divulgação do Programa ABC para os agricultores e a ausência de disseminação e treinamento das tecnologias entre os produtores podem ser fatores que expliquem a baixa utilização dos recursos do programa entre os produtores que seriam os mais adequados, isto é, aqueles produtores que seriam o público-alvo do Plano ABC. Além disso, o baixo conhecimento a respeito dos benefícios das tecnologias amparadas pode se constituir em um fator que não estimule a contratação de recursos por meio do programa.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos através deste trabalho sugerem que o sistema de ILPF é uma alternativa viável, que permite a diversificação de atividades de produção agrícola e pecuária na propriedade e redução dos riscos climáticos, colaborando para a redução do desmatamento, para a redução da erosão, para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa e, suportando a produção sustentável, além do aumento da estabilidade com a diversificação das atividades e da fonte de renda, diminuindo risco de mercado, em decorrência das fontes de renda com produtos variáveis.

No Brasil, as iniciativas de mitigação GEEs, como o plano ABC e a ampliação de áreas sob o sistema de ILPF, fomentam a produção agrícola e auxiliam o Brasil a possuir condições de aumentar sua produção agropecuária e produzir alimentos com baixa emissão de GEE ou até mesmo C zero.

Sistemas integrados de produção em especial o ILPF, contribuem efetivamente com a redução dos impactos das mudanças climáticas globais, pois com sua ampliação pode contribuir para mitigar ou até mesmo neutralizar as emissões de GEE, em especial os provenientes da fermentação entérica dos bovinos criados nesses sistemas, apresentando potencial significativo de aumentar a produção de carne no Brasil. Os resultados de diversos trabalhos de pesquisas apresentados neste estudo comprovam que a recuperação de pastagens degradadas é uma prática viável de sequestrar C no solo e principalmente na biomassa das árvores e dessa forma promover a mitigação das emissões de GEE.

Há a necessidade de esforços adicionais para uma melhor compreensão de manejo mais intensivo de pastagens, em diferentes sistemas produtivos e seu potencial de sequestro de C na biomassa e no solo; a necessidade de englobar a análise do balanço de carbono em agroecossistemas produtivos e variações dos estoques de carbono no solo para se obter

estimativas mais precisas do balanço de carbono e de realizar estudos nas diferentes condições e regiões do país.

O sistema ILPF pode colaborar com diversos benefícios para os sistemas de produção agropecuário no Brasil, seja benefícios, econômicos, ambientais e sociais. Apesar dos recentes avanços da pesquisa, ainda há uma grande demanda em novos estudos e na avaliação de diferentes sistemas de integração e arranjos produtivos em diferentes tipos de clima, solo e condições edafoclimáticas, assim como considerando as variações de espaçamento entre árvores e diversos impactos nas interações entre os componentes animal, vegetal e ambiental, podendo assim, o avanço e melhoria destes sistemas de integração, efetivamente contribuir para reduzir os impactos das Mudanças Climáticas Globais e suportar métodos de produção agropecuária mais sustentáveis.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.

ABRAMOVAY, R. Agricultura, Diferenciação Social e Desempenho Econômico. Seminário: Desafios da Pobreza Rural no Brasil. Anais... Rio de Janeiro - RJ; Brasil: 2000

ABREU, K. M.; FERREIRA, J. L. S.; VASCONCELOS, W. A.; CALIL, F. N.; NETO, C. M. S. Biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em diferentes idades. Revista Magistra, Cruz das Almas-BA, v. 31, n. 1, p. 736-748, 2020.

ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. World Agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision ESA. Working paper No. 12-03. Brasília - DF, Brasil: [s.n.]

ALMEIDA, R. G. de; MEDEIROS, S. R. de. Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 10 ANOS DE PESQUISA, 2013, Campo Grande, MS. Anais... Campo Grande, MS: SAF's : Embrapa Gado de Corte, 2013.

ARAÚJO, E. A. et al. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. Acta amazônica, v. 41, n. 1, 2011.

ARAGÃO, Adalberto; CONTINI, Elisio. O agro no Brasil e no mundo: Uma síntese do período de 2000 a 2020. Embrapa. 2021

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROppo, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. Biogeosciences, v. 10, n. 10, p. 6141-6160, 2013

ASSAD, Eduardo Delgado et al. Potencial de mitigação da emissão de gases de efeito estufa por meio da adoção da estratégia de integração lavoura-pecuária-floresta. Embrapa Gado de Corte-Capítulo em livro científico (ALICE), 2015.

ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; CORDEIRO, L. A. M.; EVANGELISTA, B. A. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Ed.). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 11. p. 153-167.

Assis, C. P.; Jucksch, I.; Mendonça, E. S.; Neves, J. C. L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, p.1541-1550, 2006.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. P.; MORAES, A. G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, n. 10, p. i-xii, out. 2011.

BALBINO L, C.; N, KICHEL A; J, BUNGENSTAB D; et al. Sistemas de integração: o que são, suas vantagens e limitações. Embrapa.br, 2017. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/938882?mode=simple>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

BALSAN, R. Impactos decorrentes da modernização da agricultura Brasileira. Campo - Território: Revista De Geografia Agrária, v. 1, n. 2, p. 123–151, 2006

BRASIL. Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação da Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – PLANO ABC. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Brasília - DF, Brasil:

BRASIL. Lei No 12.805 de 29 de Abril de 2013 - Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Brasília - DF, Brasil, 2013.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento sustentável (2020-2030) : visão estratégica para um novo ciclo / Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. – Brasília : MAPA, 2021.

BERNOUX, M. et al. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 26, p. 1-8, 2006.

BUNGENSTAB, D. J. (Ed.). *Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta : a produção sustentável*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

CALONEGO, J. C. et al. ESTOQUES DE CARBONO E PROPRIEDADES FÍSICAS DE SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO 1. *Revista Caatinga*, v. 25, n. 2, p. 128–135, 2012

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, L.M.N.; MELLO, C.R. de; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.277-289, 2010^a

CARVALHO, J. et al. Crop-pasture rotation: A strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 183, p. 167–175, 15 jan. 2014

CERRI, C. E. P.; FEIGL, B.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. SANTOS, G. de A.; SILVA, LS da; CANELLAS, LP, p. 325–358, 2008.

CIDIN, Ana Carolina Martins *Estoque de Carbono em solos brasileiros e potencial de contribuição para mitigação de emissões de gases de efeito estufa / Ana Carolina Martins Cidin*. -- São Carlos : UFSCar, 2016.

CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological applications*, v. 11, n. 2, p. 343–355, 2001.

CONCEIÇÃO, Júnia Cristina Péres Rodrigues da. NT - 36 - Dirur - Principais conquistas do Plano ABC e desafios do Plano ABC+. *Notas Técnicas*, p. 1–14, 2022.

COSTA, F de S, Gomes J, Bayer C, Mielniczuk J. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. *Cienc Rural*

- DUBE, F.; COUTO, L.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; GARCÍA, R.; ARAUJO, G. A. A simulation model for evaluating technical and economic aspects of an industrial eucalyptus-based agroforestry system in Minas Gerais, Brazil. *Agrofor. Syst.*, u. 55, n. 1, p. 73-80; 2002.
- DURIGAN, M. R. et al. Soil Organic Matter Responses to Anthropogenic Forest Disturbance and Land Use Change in the Eastern Brazilian Amazon. *Sustainability*, v. 9, n. 3, p. 379, 2017.
- EMBRAPA. *Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira*. Brasília, DF, 2018. 212 p.
- EMBRAPA; REDE ILPF. *ILPF em Números*. Disponível em: . Acesso em: 10 fev. 2023.
- Embrapa (2017) *Manual de métodos de análise de solo*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, pp 574. ISBN 978-85-7035-771-7
- EMISSÕES do setor de agropecuária: período 1970-2015. [S. l.]: SEEG:Imaflora, 2016. 92 p. Disponível em: .
- ESWARAN, H., VAN DEN BERG, E.; REICH, P. Organic carbon in soils of the world. *Soil Science of America Journal*, v.57, p.192–194, 1993.
- FIGUEIREDO, Eduardo Barretto et al. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 420-431, 2017
- FREITAS, P. L.; MARTIN NETO, L.; MANZATTO, C. V. Solos: além de tudo sequestror do carbono. *Agroanalysis*, v. 27, n. 4, p. e15-e16, 2007. Caderno especial.
- FUJISAKI, K. et al. From forest to cropland and pasture systems: a critical review of soil organic carbon stocks changes in Amazonia. *Global change biology*, v. 21, n. 7, p. 2773–2786, 2015
- IPAM AMAZÔNIA. *CO2 equivalente (CO2e)*. IPAM Amazônia, 2015. Disponível em: <https://ipam.org.br/glossario/co2-equivalente-co2e/>
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. 2013

KICHEL, A. N.; et al.; SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (ILPF)- EXPERIÊNCIAS NO BRASIL. 2014. Disponível em: < <http://revistas.bvs-vet.org.br/bia/article/viewFile/22761/23567>> Acesso em: 05/02/23.

KLUTHCOUSKI, J.; et al.; Integração lavoura - pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas plantio direto e convencional. 2000.

LAL, R. Carbon sequestration. Philosophical Transactions of The Royal Society B. London, v. 363, p. 815- 830, 2008.

MAIA, S. M. F. et al. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. Geoderma, v. 149, n. 1, p. 84–91, 2009.

MAPA. Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC). Brasília, DF: MAPA, 2012. 176 p. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/download.pdf>.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBP). Disponível em: . Acesso em: 20 fev. 2023.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. Observatório para impulsionar redução nas emissões de metano é lançado. Nações Unidas Brasil. 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/156667-observatorio-para-impulsionar-reducao-nasemissoes-de-metano-e-lancado>.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G.; ARAUJO, A. R. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: ENCONTRO DE ADUBAÇÃO DE PASTAGENS DA SCOT CONSULTORIA, 1., 2013, Ribeirão Preto, SP. Anais... Bebedouro: Scot Consultoria, 2013. p. 158-181.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. Química Nova, v.28, n.2, p. 329-334, 2005

MANZATTO. C. V.; SPINELLI-ARAUJO. L.; VICENTE. L. E.; VICENTE. A. K.; PEROSA, B. Plataforma ABC: monitoramento da mitigação das emissões de carbono na agropecuária. Agroanalysis, v. 38, n. 3, p. 26-29, 2018.

MARTINEZ G. B.; BOTELHO, B.; BENDAHAN A; et al. Sistemas ILPF e transferência de tecnologia nos Estados do Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia e Roraima. Embrapa.br, 2020. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1118776>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

NETO, M, M, G.; VIANA, M, C, M.; ALVARENGA, R, C.; SANTOS, A.; SIMÃO, E, P.; CAMPANHA, M, M. Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta em Minas Gerais. (2014). Disponível em: Acesso em: 05/02/2023.

OBSERVATORIO ABC. Análise dos Recursos do Programa ABC Safra 2016/2017. São Paulo - SP, Brasil: [s.n.].

OLIVEIRA, Daniele Costa de. Potencial de sequestro de carbono no solo e dinâmica da matéria orgânica em pastagens degradadas no Brasil / Daniele Costa de Oliveira. Piracicaba, 2018.

OLIVEIRA, Patrícia Perondi Anção et al. Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.). Palestras: intensificação com sustentabilidade. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 23–32. ISBN 978-85-99584-10-1.

PACHECO, A. R. et al. Uma década de inovação tecnológica em integração lavourapecuária-floresta na Fazenda Boa Vereda. Embrapa Florestas-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2016

PAN, Y. et al. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, v. 333, n. 6045, p. 988-993, 2011;

PAUSTIAN, K. et al. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry*, v.48, p.147-163, 2000.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. A integração “lavoura-pecuária-floresta” como proposta de mudança do uso da terra. In: FERNANDES, E. N.; MARTIN, P. do C.; MOREIRA, M. S. de P.;

ARCURI, P. B. (Ed.). Novos desafios para o leite no Brasil. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2007.

PORFÍRIO-da-SILVA, V. Ideótipo de espécie arbórea para sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso. In: SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 10 ANOS DE PESQUISA, 2013, Campo Grande. Anais...[Campo Grande, MS: sn, 2013].

PORTAL DBO. Estudo mostra a interferência das árvores em sistemas ILPF • portal DBO. Portal DBO. Disponível em: <<https://www.portaldbo.com.br/estudo-mostra-a-interferencia-das-arvores-em-sistemas-ilpf/>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

PEZZOPANE, J. R. M; BOSI, C; BERNARDI,; et al. Biomassa e estoque de carbono em árvores de eucalipto em sistemas integrados de produção pecuária. Embrapa.br, 2020. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1131370>>. Acesso em: 4 abr. 2023.

Projeto MapBiomass – Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra do Brasil - Coleção 6, acessado em 03/03/23 através do link: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact_Sheet_PASTAGEM_13.10.2021_ok_ALTA.pdf

PULROLNIK, K.; VILELA, L.; FERREIRA, I. C.; SOUZA, K. W. Estoques de Carbono e Nitrogênio no Solo e Biomassa Florestal em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Cerrado. Embrapa Cerrados, 2021. 23 p.

PULROLNIK, K.; VILELA, L.; NIVA, C. C. O estoque de carbono no solo em floresta de eucalipto. Opiniões, v. 13, n. 43, p. 16-17, mar-mai 2016.

RANGEL, J. H. A.; MUNIZ, E. N.; SÁ, J. L.; SÁ, C. O.; Implantação e manejo de sistema integração Lavoura/Pecuária/Floresta com *Gliricidia sepium*. 2010.

SÁ, J. C. M.; SANTOS, J. B. dos; LAL, R.; MORAES, A. de; TIVET, F.; SÁ, M. F. M.; BRIEDIS, C.; FERREIRA, A. de O.; FARIAS, G. E. A.; FRIEDRICH, T. Soil-specific Inventories of Landscape Carbon and Nitrogen Stocks under No-Till and Native Vegetation to Estimate Carbon Offset in a Subtropical Ecosystem. Soil Science Society of America Journal, v. 77, n. 6, p. 2094-2110, 2013

SA, C. P. de; OLIVEIRA, T. K. de; BAYMA, M. M. A. Análise econômica da produção de milho no estabelecimento de um sistema agrossilvipastoril no Acre. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2013. 7 p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 184).

SALTON, J. C. et al. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 190, n. January 2013, p. 70–79, 2014.

SEEG; **Análise das Emissões Brasileira de Gases de Efeito Estufa**: e suas implicações para as metas climáticas do Brasil. São Paulo: Seeg, 2021. 55 p. Disponível em: https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_9/OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf.

SERAFIM, Jéssica Stéfane Vasconcelos. Comportamento silvicultural e da qualidade da madeira de eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistemas integrados. 2018. 69f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2018.

SCHUMER, Clea; BOEHM, Sophie; FRANSEN, Taryn; *et al.* 6 conclusões do relatório do IPCC de 2022 sobre mitigação das mudanças climáticas. WRI Brasil. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/6-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-de-2022-sobre-mitigacao-das-mudancas-climaticas>>. Acesso em: 7 mar. 2023.

SHARPENSEEL, H. Preface to workshop “Management of carbon in tropical soils under global change: science, practice and policy”. *Geoderma*, v.79, p. 18, 1997.

SKORUPA, L.; MANZATTO, C. V. Avaliação da adoção de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Brasil. In: SKORUPA, L.; MANZATTO, C. V. (Ed.). *Sistemas de integração lavoura-pecuária-florestas no Brasil: estratégias regionais de transferência de tecnologias, avaliação da adoção e de impactos*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019. p. 340-379

SKORUPA, Ladislau. A integração lavoura-pecuária-floresta está revolucionando a agropecuária do Brasil. *Revista Globo Rural*. 2021. Disponível em:

<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Opinio/VozesdoAgro/noticia/2021/06/integracao-lavoura-pecuaria-floresta-esta-revolucionandoagropecuaria-do-brasil.htm>

STRASSBURG, B. B. N.; LATAWIEC, A. E.; BARIONI, L. G.; NOBRE, C. A.; SILVA, V. P. da; VALENTIM, J. F.; VIANNA, M.; ASSAD, E. D. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Global Environmental Change*, v. 28. p. 84-97, 2014.

Telles, Tiago Santos; Vieira Filho, José Eustáquio Ribeiro; Righetto, Ana Julia; Ribeir, Marina Ronchesel (2021) : Desenvolvimento da agricultura de baixo carbono no Brasil, Texto para Discussão, No. 2638, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília

TEIXEIRA, L. B.; BASTOS, J. B. Matéria orgânica nos ecossistemas de floresta primária e pastagem na Amazônia central. Belém: EMBRAPACPATU, 1989. 26 p. (Boletim de pesquisa, 99).

Tonucci RG, Nair PK, Nair VD, Garcia R, Bernardino FS. Armazenamento de carbono no solo em silvopastura e sistemas relacionados de uso da terra no cerrado brasileiro. *J Environ Qual* 2011;40:833-41

USDA. Livestock and Poultry: World Markets and Trade, 2018. Disponível em: . Acesso em: 03 dez. 2018.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHAO, R. L.; GUIMARAES JUNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, out. 2011.

Vinholis, M. M. B., Carrer, M. J., Souza Filho, H. M., & Bernardo, R. (2022). Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Estado de São Paulo: estudo multicasos com adotantes pioneiros. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60(1), e234057.

XAVIER, A. P. P. Avaliação do acúmulo e emissão de carbono do solo sob sistemas produtivos de pastagem. 2014. 101 p. Dissertação (mestrado). Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

ZANATTA, J. A.; ALVES, B. J. R.; BAYER, C.; TOMAZI, M.; FERNANDES, A. H. B. M.; COSTA, F. de S.; CARVALHO, A. M. de. Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do solo. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 53 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/123470/1/Doc.-265-Protocolo-Josileia.pdf>