



**ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E
SUSTENTABILIDADE**

**O POTENCIAL DA AGRICULTURA REGENERATIVA PARA PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR**

Por

PEDRO HENRIQUE MARTELLO BUCHALA

SÃO PAULO

2024



**ESCOLA SUPERIOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E
SUSTENTABILIDADE**

**O POTENCIAL DA AGRICULTURA REGENERATIVA PARA PRODUÇÃO DE
CANA-DE-AÇÚCAR**

Por

PEDRO HENRIQUE MARTELLO BUCHALA

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO

PROF. DR. LEONARDO DE OLIVEIRA RESENDE

PROF. DR. LUIS FERNANDO GUEDES PINTO

PROF. DR. ALEXANDRIUS DE MORAES BARBOSA

**TRABALHO FINAL APRESENTADO AO PROGRAMA DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE**

IPÊ – INSTITUTO DE PESQUISAS ECOLÓGICAS

SÃO PAULO

2024

Ficha Catalográfica

Buchala, Pedro Martello

O potencial da agricultura regenerativa para produção de cana-de-açúcar, 2024. 81 pp.

Trabalho Final (mestrado): IPÊ – Instituto de Pesquisas ecológicas

Sustentabilidade

Setor sucroenergético

Mudanças climáticas

Escola Superior de Conservação Ambiental e Sustentabilidade, IPÊ

BANCA EXAMIDADORA

SÃO PAULO, 2024

Prof. Dr.

Prof. Dr.

Prof. Dr.

Aos meus pais e querida irmã, expresso minha profunda gratidão pelo apoio e todas as oportunidades que me fizeram chegar aqui.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto IPÊ, ESCAS, e a todos os colaboradores, cujo comprometimento proporcionou uma qualificação profissional excepcional e uma imersão em campo que enriqueceu profundamente meu aprendizado, proporcionando uma evolução pessoal e profissional.

Ao Prof. Dr. Leonardo de Oliveira Resende, meu orientador, dedico um agradecimento especial pela sua vasta experiência, disponibilidade e paciência ao compartilhar seu conhecimento valioso. Também estendo minha gratidão à sua esposa e filhos, que generosamente me acolheram de braços abertos.

Ao Prof. Dr. Luis Fernando Guedes Pinto, meu coorientador, expresso minha sincera apreciação por seus trabalhos pioneiros, por sua orientação precisa e valiosa contribuição ao meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Alexandrius, meu coorientador, referência no setor, agradeço por suas contribuições significativas com foco no sistema produtivo, essenciais para o progresso da minha pesquisa.

Ao Prof. Dr. Rafael Morais Chiaravalloti, cuja orientação e influência positiva foram fundamentais para minha incursão nesta área, especialmente por ter conhecido o IPÊ através de seu livro, fruto de seu mestrado na ESCAS.

Aos meus tios, Prof. Dra. Luciane Martello e Prof. Dr. Saulo da Luz e Silva, que têm sido meus professores desde os primeiros passos, agradeço por sua valiosa contribuição ao longo da minha jornada acadêmica.

Aos familiares, amigos e todos que desempenharam um papel fundamental em minha jornada até este momento significativo.

Aos colegas de mestrado, em especial ao Fabiano Porto, que se tornou não apenas um grande amigo, mas também um colega de trabalho para toda a vida, agradeço pela parceria e apoio ao longo desta jornada desafiadora.

À Rosângela Silva, expresso minha gratidão pela paciência e dedicação constantes em me acolher da melhor forma possível, tornando-se como uma segunda mãe durante nossos encontros presenciais.

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha estadia durante os módulos das aulas, desde o pessoal da cozinha, limpeza, coordenação até os professores, proporcionando momentos inesquecíveis.

Aos meus colegas de trabalho, agradeço pela compreensão e apoio nos momentos em que precisei me ausentar para dedicar-me ao mestrado. Sua compreensão foi fundamental para o sucesso desta jornada acadêmica e profissional.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE ABREVIACÕES	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVO	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
4.1 Manejo conservacionista do solo	30
4.2 Manejo Integrado de Pragas	35
4.3 Método Inter Rotacional Ocorrendo Simultaneamente (MEIOSI)	37
4.4 Rotação de culturas e adubação verde.....	39
4.5 Gestão de nutrientes	41
4.6 Fertirrigação	42
4.7 Sistemas Agroflorestais.....	47
4.8 Restauração de habitat natural.....	51
4.9 Desenvolvimento de habitat de polinizadores.....	55
5. EXPERIÊNCIA COMERCIAL EM ALTA ESCALA.....	57
5.1 Sustentabilidade certificada do campo a mesa do consumidor	57
5.2 Regeneração florestal: trazendo mais biodiversidade para o sistema produtivo.....	61
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
7. REFERÊNCIAS	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Plantio direto de soja em palhada de cana-de-açúcar, sem queima	26
Figura 2 – Rotação entre mandioca e cana-de-açúcar	33
Figura 3 – Adubação verde de soja palhada de cana-de-açúcar	33
Figura 4 – Biofertilizante	35
Figura 5 – Planta de biogás da Usina Tereos na unidade Cruz Alta, SP.....	37
Figura 6 – Aplicação de vinhaça localizada em canavial	38
Figura 7 – Transporte de vinhaça via canal em canavial	38
Figura 8 – Tecnologia para a contenção de água e controle de erosão do solo	39
Figura 9 – Mata ripária após restauração ecológica no Bioma Cerrado	45
Figura 10 – Corredor ecológico no Pontal do Paranapanema, SP	47
Figura 11 – Abelha nativa solitária polinizando as flores da castanha do Brasil	48
Figura 12 – Mapa dos Sonhos do IPÊ	56
Figura 13 – Gráfico da ocupação e uso do solo na região do Pontal do Paranapanema	57
Figura 14 – Gráfico da agropecuária na região do Pontal do Paranapanema	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Agricultura Regenerativa.....	23
Tabela 2 - Área em hectares por classes de ocupação em 2022.....	57

LISTA DE ABREVIACOES

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis	14
ESG - <i>Environmental, Social and Governance</i>	14
GEE - Gases de Efeito Estufa.....	15
CBios - Créditos de Descarbonização do RenovaBio	16
MIP - Manejo Integrado de Pragas	31

RESUMO

Resumo do Trabalho Final apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre

O POTENCIAL DA AGRICULTURA REGENERATIVA PARA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Por
Pedro Henrique Martello Buchala

Fevereiro, 2024

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Oliveira Resende

As condições edafoclimáticas propícias para o cultivo da cana-de-açúcar, posicionaram o Brasil como o principal produtor global dessa cultura e o segundo maior em termos de produção de etanol. Por outro lado, a crescente preocupação mundial sobre questões socioambientais tem aumentado a cobrança por parte da sociedade para que as empresas adotem medidas de mitigação dos impactos ambientais gerados por suas atividades. Além disso, é necessário um melhor uso da terra para atingir as metas do Acordo de Paris sobre o Clima (2015) e manter o aquecimento global abaixo de 2°C. A agricultura regenerativa é considerada uma das dez ações com potencial para obter mudanças efetivas nos setores de alimentação e uso da terra. O objetivo deste estudo é descrever sistemas de agricultura regenerativa estratégicos para incrementar a sustentabilidade na produção de cana-de-açúcar no Brasil. Este trabalho tem caráter descritivo, com propósito de acessar a literatura relevante sobre o tema e selecionar as características sustentáveis do setor sucroenergético, proporcionando uma visão atualizada da realidade, com as possíveis melhores práticas do cultivo de cana-de-açúcar. A pesquisa inclui artigos científicos, teses, dissertações, livros e matérias de veículos especializados sobre o tema, além de apresentar duas experiências comerciais em larga escala. O estudo realizado sinaliza que ao promover a integridade ecológica e a produção agrícola saudável, a agricultura regenerativa ajuda a garantir a sustentabilidade da produção agrícola a longo prazo, aumentando a resiliência dos sistemas produtivos diante de desafios como a instabilidade climática. O relato

das experiências em larga escala reforça a viabilidade de práticas regenerativas, sendo que seus benefícios transcendem às questões agrícolas ambientais, como a criação de elementos paisagísticos e habitats para a fauna e flora. Nesse sentido, essas práticas agrícolas consideram especialmente os microrganismos do solo, levando em consideração que o solo é vivo para proporcionar um ambiente em que a natureza consiga se recuperar e ao mesmo tempo proporcionar alta produtividade. A conservação da biodiversidade favorece a persistência da vegetação, já que os animais fazem um papel importante na reprodução de plantas, como por exemplo na polinização e dispersão de sementes. Porém, falta a devida atenção ao relevante papel que a biodiversidade faunística tem para a agricultura. Diante disso, uma abordagem para mudar o foco é passar a olhar o agroecossistema de forma holística e não apenas a área de cultivo de forma isolada.

PALAVRAS-CHAVE:

sustentabilidade; setor sucroenergético; mudanças climáticas.

ABSTRACT

Abstract do Trabalho Final apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre

EXPLORING THE POTENTIAL OF REGENERATIVE AGRICULTURE FOR SUGARCANE CULTIVATION

By
Pedro Henrique Martello Buchala

February, 2024

Advisor: Prof. Dr. Leonardo de Oliveira Resende

The edaphoclimatic conditions conducive to sugarcane cultivation have positioned Brazil as the leading global producer of this commodity and the second largest of ethanol production. Conversely, growing global concern about socio-environmental issues has increased societal pressure on companies to adopt measures to mitigate the environmental impacts generated by their activities. Additionally, better land use is needed to achieve the goals of the Paris Agreement on Climate (2015) and keep global warming below 2°C. Regenerative agriculture is considered one of the ten actions with the potential to effectively change the food and land-use sectors. This study aims to describe strategic regenerative agriculture systems to enhance sustainability in sugarcane production in Brazil. This descriptive study endeavours to comprehensively review pertinent literature on the subject, systematically identifying sustainable attributes within the sugarcane sector, providing an updated view of the reality with possible best practices for sugarcane cultivation. The research includes scientific articles, theses, dissertations, books, and materials from specialized sources, along with the presentation of two large-scale commercial experiences. The study indicates that by promoting ecological integrity and healthy agricultural production, regenerative agriculture helps ensure the long-term sustainability of agricultural production, enhancing the resilience of productive systems in the face of challenges such as climate instability. The accounts of large-scale experiences reinforce the viability of regenerative practices, with benefits extending beyond environmental agricultural issues to creating landscape elements and habitats for fauna and flora. In this

context, these agricultural practices particularly consider soil microorganisms, recognizing that the soil is a living entity that provides an environment where nature can recover while ensuring high productivity. Biodiversity conservation supports the persistence of vegetation, as animals play a crucial role in plant reproduction, such as in pollination and seed dispersal. However, there is a lack of attention to the significant role that faunal biodiversity plays in agriculture. Moreover, a holistic approach to the agroecosystem is suggested, moving away from concentrating on isolated crop areas, in order to redirect attention and rectify this oversight.

KEYWORDS:

sustainability; sugar-energy industry; climate change

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação mundial sobre questões socioambientais tem aumentado a cobrança da sociedade para as empresas adotarem medidas de mitigação dos impactos ambientais gerados por suas atividades. Temas como aquecimento global, qualidade da água e ar, manutenção da biodiversidade, segurança alimentar e qualidade de vida são discutidos há um bom tempo, mas ganharam maior atenção a partir da definição dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) pela Organização das Nações Unidas (ONU), que impulsionaram a compreensão das empresas e da sociedade sobre os impactos socioambientais gerados pelos padrões de consumo e de produção atuais (BISC, 2020). Segundo De Freitas et al. (2022), é necessário um melhor uso da terra para atingir as metas do Acordo de Paris sobre o Clima e manter o aquecimento global abaixo de 2°C. Uma possibilidade é investir em soluções baseadas na natureza (MAES et al., 2017). Portanto, a cada dia percebe-se um aumento da demanda por informações a respeito dos impactos que as atividades produtivas exercem nos âmbitos econômicos, sociais e ambientais.

No contexto dos sistemas produtivos e uso do solo, a expansão da agricultura muitas vezes é acompanhada pela diminuição da biodiversidade e por outros impactos nos recursos naturais, especialmente no solo e água (TEIXEIRA, 2001). Por outro lado, segundo a União Nacional de Bioenergia (2023), a cana-de-açúcar chama a atenção ao comparar o potencial que o etanol tem em substituir a queima de combustíveis fósseis, reduzindo em mais de 60% a emissão de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. O etanol se apresenta como um combustível com desempenho similar ao da gasolina. A substituição do uso da gasolina importada pelo etanol nacional também contribui para uma logística mais sustentável, uma vez que utiliza um insumo local. Assim, atribui ao Brasil um papel de liderança bioenergética, contribuindo para uma maior estabilidade do país, principalmente diante dos cenários de instabilidade mundial, como pode-se citar: pandemias, guerras, crises econômicas, disputa por petróleo com preços elevados, demanda cada vez maior por energia elétrica, entre outros.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2022), os dados mostram que, enquanto as fontes renováveis correspondem a apenas 15% da matriz energética mundial, a matriz energética do Brasil é significativamente diferente. O país utiliza fontes renováveis em maior proporção do que o resto do mundo, representando 48,4% da matriz energética brasileira, quase metade do total. Além disso, derivados de cana-de-açúcar representam 16,4% de toda a fonte de energia renovável do Brasil, o que reforça ainda mais a importância do setor sucroenergético para geração de energia para o país.

Devemos considerar que sua produção pode ser sustentável de várias maneiras, como utilizando a vinhaça como biofertilizante das lavouras, que é extraída no processamento da cana-de-açúcar para produzir etanol. De acordo com Sica et. al (2020), para cada litro de etanol produzido gera-se em torno de 10 a 15 litros de vinhaça. A vinhaça pode ser destinada para geração de biogás, que gera energia elétrica, ou biometano, para abastecer frotas de caminhões, por exemplo. Este processo não reduz a concentração de macronutrientes desejados pela cultura da cana, podendo ainda ser destinado posteriormente para o campo como biofertilizante. O bagaço de cana também serve como fonte de energia para as caldeiras das usinas, substituindo os combustíveis fósseis. Esta biomassa tem uma importância representativa na transição para uma matriz energética sustentável (BORDONAL et al., 2018). Quando se trata de geração de energia pelo bagaço da cana nas usinas, dados de 2018 do Ministério de Minas e Energia mostram que foram gerados 35.435 Terawatt-hora (TWh) de energia no ano (BRASIL, 2018). Desses, comercializou-se aproximadamente 60%, e o restante foi utilizado para consumo próprio das usinas, o que mostra a autossuficiência energética do setor.

Segundo o Instituto de Economia Agrícola, o Brasil é líder mundial na produção de cana-de-açúcar (IEA, 2021), sendo o segundo maior produtor de etanol do mundo e representando 27% da produção mundial (RFA, 2022). Para ressaltar a importância do etanol, ele é responsável por 90% dos combustíveis de fonte renovável utilizados em todo o mundo (NEVES, 2014). Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023), a safra 2022/23 encerrou em 610,1 milhões de toneladas processadas. A área colhida deve expandir, alcançando agora a estimativa de 8.352,1 mil hectares de cana-de-açúcar, com um rendimento médio de 81.129 kg/ha. Este aumento é impulsionado por condições climáticas ainda mais favoráveis do que na safra 2022/23. A maior produção de cana-de-açúcar resultará em um aumento na fabricação de açúcar e etanol. As projeções para safra 2023/24 indicam um crescimento de 10,9% na produção de cana-de-açúcar em comparação com a safra anterior, atingindo um total estimado de 677,6 milhões de toneladas. Dados da safra 2020/21 mostram que apenas no estado de São Paulo concentra-se 54,1% da quantidade produzida no país, sendo responsável por 48,4% da geração de etanol (14,3 bilhões de litros) e 63,2% de açúcar (26,0 milhões de toneladas) (NACHILUK, 2021).

Logo, é possível afirmar que o estado de São Paulo é o mais importante do país para a produção de cana-de-açúcar. Segundo Salgado Júnior et al. (2009), o estado de São Paulo apresenta as condições climáticas ideais para extração de cana com alto teor de sacarose, que é o composto desejado para geração de açúcar e etanol. A eficiência também depende das variáveis do clima, altitude e localização.

As consequências negativas do setor sucroenergético têm causado um impacto significativo nas áreas onde é implementada, devido às práticas associadas ao monocultivo, que exigem o uso intensivo de insumos químicos, como fertilizantes e pesticidas. Esses insumos são fontes de contaminação para lençóis freáticos, rios e solos. A queima da palha da cana, embora já abolida em alguns estados do país, mas muito comum no nordeste, também afeta a diversidade biológica e deteriora a qualidade do ar (GONÇALVES et al., 2008). Assim, é indubitável a necessidade de se utilizar abordagens mais sustentáveis, como é o caso das práticas regenerativas, que podem auxiliar no aprimoramento da produção de cana-de-açúcar e, ao mesmo tempo, garantir a proteção da fauna e flora, incluindo o ser humano. Neste contexto, a agricultura regenerativa pode ser uma excelente ferramenta para evolução do setor sucroenergético.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2005), o conceito foi criado por Robert Rodale, por volta de 1980, nos Estados Unidos, e trata-se de um modelo de perspectiva holística da paisagem que busca o equilíbrio dos ciclos de carbono, ciclo hídrico, dinâmica de nutrientes, macro e microbiologia, balanço de energia do sistema produtivo, conservação do solo, entre outros.

Pensando nisso, as práticas agrícolas consideram especialmente os microrganismos do solo, levando em consideração que o solo é vivo para proporcionar um ambiente em que a natureza consiga se recuperar e ao mesmo tempo proporcionar alta produtividade. Segundo Miranda et al. (2013), a conservação da biodiversidade favorece a persistência da vegetação, já que os animais fazem um papel importante na reprodução de plantas, como por exemplo na polinização e dispersão de sementes. Porém, falta a devida atenção ao relevante papel que a biodiversidade faunística tem para a agricultura.

Caso persistam as práticas atuais em nosso sistema de produção agropecuários (produção de biomassa, alimentos, fibras, biocombustíveis), envolvendo o uso de pesticidas sintéticos, fertilizantes artificiais, combustíveis fósseis e o desperdício de alimentos, é provável que ultrapassem a capacidade de suporte do nosso planeta. Adicionalmente, é preciso adotar uma abordagem mais equilibrada entre consumo e produção, onde a agricultura assume um papel crucial em um sistema alimentar global. Aperfeiçoar a agricultura e o sistema alimentar é reconhecido como um passo significativo rumo ao desenvolvimento sustentável (CAMPBELL et al., 2017). Tendo em vista o que foi mencionado, a agricultura regenerativa pode contribuir para o setor sucroalcooleiro?

2. OBJETIVO

Descrever sistemas de agricultura regenerativa estratégicos para incrementar a sustentabilidade na produção de cana-de-açúcar no Brasil.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho tem caráter descritivo, com propósito de acessar a literatura relevante sobre o tema e descrever as características sustentáveis do setor sucroenergético, proporcionando visão atualizada da realidade, com as possíveis melhores práticas do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil. A pesquisa inclui artigos científicos, teses, dissertações, livros e matérias de veículos especializados. As palavras-chaves foram pesquisadas em português e inglês: “cana-de-açúcar sustentável”, “produção de cana orgânica”, “agricultura regenerativa”, “agropecuária sustentável”, “recarga hídrica do solo”, “proteção da biodiversidade”, “sistemas agroflorestais”, “sistemas agropecuários sustentáveis”, “técnicas de agricultura regenerativa”, “rotação de culturas”, “sistemas agroflorestais”, “plantio direto”, “gestão de nutrientes”, “restauração ecológica”, “fertilizantes orgânicos”, “eficiência de irrigação”, “gestão de água”, “manejo integrado de pragas”, “habitat de polinizadores”, “energias renováveis”, “ciclos de carbono”, “ciclo hídrico”, “dinâmica de nutrientes”, “macro e microbiologia”, “balanço de energia”, entre outros. As pesquisas foram realizadas através de plataformas como Google Acadêmico, SciELO, Educational Resources Information Center (ERIC), Scencedirect, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, Scopus e Google.

Para selecionar os sistemas de agricultura regenerativa com potencial para o desenvolvimento sustentável na produção de cana-de-açúcar, foram combinadas as palavras-chaves. Na sequência, foram selecionados os artigos que tinham maior aderência com o tema da pesquisa e que eram mais citados e publicados em veículos renomados. Este trabalho explora diversas práticas regenerativas, apresentando-as em duas perspectivas distintas. Os itens de 4.1 a 4.7 abordam o manejo ecológico do sistema produtivo, com ênfase nas práticas agrícolas. Já os itens 4.8 e 4.9 tratam do manejo ecológico que transcende a área cultivada, concentrando-se nas práticas de regeneração da natureza e nos benefícios socioambientais associados. A pesquisa também apresenta duas experiências em larga escala na seção 5.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No início dos anos 80, emergiram as preocupações com questões ambientais e de qualidade de vida da população mundial, como aquecimento global, desmatamento e destruição das florestas, gases do efeito estufa que geram a destruição da camada de ozônio, entre outros. As empresas e sociedade passaram a olhar para estes problemas de maneira a buscar soluções e garantir recursos para as gerações futuras, o que levou ao surgimento do termo desenvolvimento sustentável (EHLERS, 2017).

Esse desenvolvimento de forma sustentável está ligado a três pilares importantes: bem-estar social, preservação da natureza (recursos naturais) e desenvolvimento econômico. A partir disso, no contexto da produção de alimentos, iniciou-se a busca por técnicas mais sustentáveis, levando em conta os seguintes aspectos: a) manutenção a longo prazo dos recursos naturais com baixo impacto na produção agrícola, b) otimização da produção com baixo uso de insumos químicos, c) atendimento às necessidades sociais das comunidades e d) suprimento de alimentos para a crescente população mundial de forma responsável, possibilitando a produção de alimentos e, ao mesmo tempo, propiciando condições para a natureza se recuperar (COSTA, 2010).

De acordo com Li et al., (2021), o ano de 2020 foi marcado por eventos que despertaram mais ainda essas preocupações globais, como a disseminação global da COVID-19, colapsos no mercado de ações, a praga de gafanhotos na África, entre outras questões socioambientais e de governança. O tema do desenvolvimento sustentável tornou-se, novamente, assunto de debate em todo o planeta. Diante dos desafios e cenários cada vez mais sérios relacionados ao progresso sustentável no âmbito ambiental, social e financeiro, entidades globais e nações têm proposto estratégias de intervenção para fomentar o desenvolvimento sustentável. A perspectiva ESG (*Environmental, Social and Governance*) surge como uma abordagem destinada a estabelecer um arcabouço abrangente e sustentável para o progresso da sociedade humana. Esse princípio, abreviação para os fatores ambientais (E), sociais (S) e de governança (G), constitui um sistema estrutural fundamental nesse contexto.

A expressão ESG teve sua origem inicialmente em um documento divulgado em 2004 pela Organização das Nações Unidas (ONU), chamado *Who Cares Win*. De acordo com o Sebrae (2022), além de serem consideradas uma tendência, as práticas relacionadas ao ESG são elementos que impulsionam a competitividade no cenário empresarial de maneira abrangente. Empresas que adotam iniciativas de ESG e demonstram preocupação com as dimensões ambientais, sociais e de governança são valorizadas positivamente tanto pela sociedade quanto pelo mercado. Para além de promover destaque na concorrência e atrair investidores para o empreendimento, a adoção de práticas ESG oferece diversas vantagens. Empresas engajadas nessas ações enfrentam menos riscos legais, trabalhistas e de fraudes, e há uma redução nos custos operacionais, aumentando sua eficiência, juntamente com a fidelização de clientes que valorizam produtos e serviços sustentáveis. A reputação da marca também é aprimorada. Além disso, as empresas ganham acesso a linhas de crédito verdes, com taxas mais atrativas.

Li et al. (2021) destaca que no âmbito ambiental (E) incluem-se fatores como emissões de gases de efeito estufa (GEE), eficiência energética, poluentes atmosféricos, gestão do uso e reciclagem de água, produção e manejo de resíduos, impacto e dependência da biodiversidade, e inovação em produtos e serviços ecologicamente sustentáveis. No contexto social (S), abordam-se temas como a liberdade de associação dos trabalhadores, trabalho infantil e/ou compulsório, saúde e segurança do trabalho, discriminação, diversidade, igualdade de oportunidades, impacto na comunidade e gestão da cadeia de suprimentos. No âmbito da governança (G), estão incluídos tópicos como códigos de conduta e princípios comerciais, responsabilidade, transparência e divulgação, remuneração, estrutura do conselho, corrupção, e engajamento das partes interessadas.

Diante deste cenário, o papel do governo para desenvolver políticas públicas que favorecem o desenvolvimento sustentável é primordial, que é o caso da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), Lei nº 13.576/17 (BRASIL, 2017), programa do governo para impulsionar a produção de biocombustíveis no país de forma consciente e ambientalmente positiva e considerado o maior programa de descarbonização do planeta. O RenovaBio tem o compromisso de reduzir as emissões de gases poluentes relacionados à mudança climática e contribuir no cumprimento das metas do Acordo de Paris, fomentando a transição para uma matriz energética sustentável ao impulsionar o uso de biocombustíveis e evitar a emissão de mais de 600 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera ao longo dos próximos 10 anos (UNICA, 2023).

O programa foi introduzido pelo Ministério de Minas e Energia (MME) em dezembro de 2016, com o objetivo de expandir a produção de biocombustíveis com foco na previsibilidade e sustentabilidade ambiental, econômica e social, induzindo ganhos de eficiência energética e na diminuição das emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa na fabricação, distribuição e uso de biocombustíveis. A iniciativa busca aprimorar políticas e regulamentações para superar desafios técnicos e econômicos, com diretrizes estabelecidas em quatro eixos: papel dos biocombustíveis na matriz energética, busca pelo equilíbrio econômico, definição de normas de comercialização e estímulo aos biocombustíveis inovadores (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022).

Além de incentivar a adoção de biocombustíveis, o RenovaBio também premia a eficiência na produção de etanol através da emissão de Créditos de Descarbonização (CBios). A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) valida a eficiência das unidades produtoras, gerando títulos que são negociados na Bolsa de Valores. No primeiro ano de implementação, 2019/2020, foram gerados 18,5 milhões de CBios, com mais de 14,5 milhões comercializados, alcançando 97,6% da meta estabelecida pelo governo. Cada CBio representa uma tonelada de CO₂ equivalente que deixou de ser emitida. Sua negociação na bolsa de valores abre caminho para investimentos em novas tecnologias e eficiência, marcando um avanço significativo na consolidação da matriz energética sustentável do país (UNICA, 2023). Assim, o estímulo à produção sustentável não apenas contribui para a preservação ambiental, mas também favorece o agricultor, que receberá apoio tecnológico e orientação para cultivar de maneira sustentável (SABONARO et al., 2019).

Outro papel do governo importante de ser mencionado é o 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), sendo uma estratégia fundamental da política agrícola brasileira, que visa promover a sustentabilidade na agricultura ao abordar a redução de emissões de gases de efeito estufa e enfrentar os impactos das mudanças climáticas. Criado em 2010 em conformidade com a legislação nacional, o plano resultou de uma colaboração entre diversos órgãos governamentais. Seu objetivo é alinhar o desenvolvimento sustentável com medidas de mitigação e adaptação no setor agrícola, incentivando práticas e tecnologias para reduzir as emissões e fortalecer a resiliência do sistema. Essa iniciativa foi crucial para que o Brasil cumprisse suas metas voluntárias de redução de emissões até 2020, estabelecidas em conferência internacional, envolvendo mais de 100 participantes de diversas instituições (MAPA, 2023).

O plano ABC delinea um conjunto abrangente de ações para impulsionar a sustentabilidade no setor agrícola, com foco na recuperação de pastagens degradadas, expansão de sistemas de integração, adoção de práticas ambientalmente amigáveis, como o Sistema Plantio Direto e a Fixação Biológica de Nitrogênio, e a promoção do plantio de florestas. Alinhado aos princípios da Política Nacional sobre Mudanças do Clima, o plano abrange desde campanhas publicitárias e capacitação até pesquisa e desenvolvimento, visando não apenas mitigar emissões de gases de efeito estufa, mas também promover o desenvolvimento sustentável (MAPA, 2023). Aliado ao Plano ABC, o Plano Safra estimula o aprimoramento de sistemas de produção ambientalmente responsáveis, oferecendo taxas de juros reduzidas para a revitalização de pastagens e recompensando os agricultores que incorporam práticas agropecuárias reconhecidas por sua sustentabilidade. Para o Plano Safra 2023/24 o governo disponibilizou R\$364,22 bilhões para apoiar a produção agrícola até junho de 2024 (MAPA, 2023).

Segundo Neves et al. (2014), a expansão da produção de cana-de-açúcar foi associada à melhoria nos indicadores econômicos, sociais e ambientais regionais. A instalação das usinas, além de gerar renda para o setor sucroalcooleiro, também contribuiu para o aumento de empresas prestadoras de serviços, contribuindo para maior distribuição de renda para a população, aumentando o fluxo de pessoas em outros setores, como hotéis, academias, restaurantes, entre outros. A transformação da mão de obra do setor está diretamente relacionada à proibição da queima de cana, o que acelerou a mecanização da colheita e, conseqüentemente, impactou o número de empregados nas frentes agrícolas dos canaviais, passando para uma mão de obra mais qualificada e mudando o perfil do trabalhador. Segundo Moraes (2007), a mecanização abriu espaço para empregos de condutores de tratores, colheitadeiras, técnicos, entre outros, e reduziu drasticamente a demanda por trabalhadores de baixa escolaridade, exigindo uma qualificação da mão de obra, com treinamentos e alfabetização. Para cada hora trabalhada, uma colhedora pode substituir aproximadamente 67 cortadores manuais (VIEIRA, 2003).

Se por um lado a maior demanda por mão de obra proporciona uma evolução dos benefícios trabalhistas (maior oferta de emprego formal, acesso a planos de saúde, entre outros), por outro lado, a maior arrecadação do município através dos impostos cria a oportunidade de potencializar as ações socioambientais realizadas pelas prefeituras por meio de políticas públicas. É este desenvolvimento que reflete na arrecadação tributária por parte do setor público, como é o caso do Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS), que tem sua verba destinada muitas vezes para educação, saúde e infraestrutura, refletindo diretamente na qualidade de vida da população (NEVES, 2014).

Por outro lado, o rápido avanço citado no exemplo acima pode trazer consequências negativas, principalmente quando realizada em larga escala e sem o uso de práticas sustentáveis. Elas podem causar a supressão de áreas de alto valor de conservação com danos à biodiversidade local, uso intensivo de defensivos agrícolas, contaminação dos recursos hídricos, descarbonização do solo, diminuição dos microrganismos responsáveis pela decomposição e fixação de nutrientes no solo, presença de processo erosivos e compactação do solo, prejudicando a recarga hídrica. Em alguns casos, pode-se notar até uma perda na esfera social por meio do agravamento das condições de trabalho (GOLDEMBERG et al., 2008).

Conforme publicado pela The Food and Land Use Coalition (2019), uma das dez mudanças críticas que devem ocorrer no mundo para transformar de maneira significativa os setores de alimentação e uso da terra é a adoção de práticas de agricultura regenerativa. A etimologia da palavra regeneração significa "renascimento", "trazer vida novamente" ou "incluindo desenvolvimentos ambientalmente conscientes" (CAMBRIDGE DICTIONARY, 2023). O conceito de agricultura regenerativa tem suas raízes na agroecologia e no movimento de agricultura sustentável, mas se desenvolveu como uma abordagem mais holística para a produção de alimentos e a gestão de sistemas agroecológicos. A agricultura regenerativa enfatiza a importância de se trabalhar com os processos naturais do ecossistema e prioriza a regeneração do solo, o balanço de energia, a dinâmica dos nutrientes, o ciclo do carbono, macro e microbiologia, os recursos hídricos e a resiliência do sistema agrícola. O termo "regenerativo" foi cunhado por agricultores e ativistas ambientais que buscavam criar sistemas agrícolas mais sustentáveis e regenerativos do que aqueles baseados na agricultura convencional (EHLERS, 1994).

A seguir, a tabela 01, traz um histórico de publicações sobre como a agricultura regenerativa é abordada por diferentes autores a partir de 2017:

Tabela 1: Agricultura Regenerativa

Autor	Definição
Rhodes, 2017	<p>A agricultura regenerativa busca aprimorar a vitalidade do solo e revitalizar terras altamente degradadas, promovendo a melhoria da qualidade da água, do ecossistema vegetal e da produtividade do solo.</p> <p>Ao adotar práticas regenerativas que promovem o consórcio de diferentes culturas e até mesmo animais, aumenta-se a presença de carbono orgânico nos solos existentes e contribuem para criação de novos solos. Isso resulta na retirada de carbono da atmosfera, simultaneamente aprimorando a estrutura, saúde e fertilidade do solo, aumentando os rendimentos das colheitas, além de favorecer a recarga dos aquíferos.</p>
California State University and The Carbon Underground, 2017	<p>As estratégias agrícolas regenerativas têm como metas primordiais a contribuição para a formação, desenvolvimento, fertilidade e saúde dos solos. Além disso, buscam intensificar a retenção hídrica e o direcionamento do escoamento de água de forma segura para o meio ambiente. Adicionalmente, almejam potencializar a biodiversidade e promover a saúde e resiliência do ecossistema. Além disso, essa estratégia visa reverter as emissões de gases de efeito estufa associadas à agricultura convencional, funcionando como um importante reservatório de carbono. Esses objetivos refletem a abordagem abrangente e multifacetada da agricultura regenerativa, destacando sua contribuição significativa para a sustentabilidade ambiental e a mitigação dos impactos negativos da agricultura convencional.</p>

The Food and Land Use Coalition, 2019	Assegurar que a prática agrícola exerça um impacto positivo no meio ambiente, ao mesmo tempo em que mantém níveis elevados de produtividade. Promovem a renovação do solo, diminuindo, embora não completamente eliminando, o uso de pesticidas e fertilizantes sintéticos.
Oberč and Arroyo Schnel, 2020	Seu escopo é amplo, pois além de considerar culturas, também pode incluir a pecuária com a combinação de cultivos e criação de animais para impulsionar ainda mais a fertilidade do solo. Assim, visa aumentar os rendimentos agrícolas e a resiliência diante da instabilidade climática, apresentando benefícios econômicos potenciais para o empreendimento dessa abordagem.
LAL, 2020	Conjunto de práticas que podem proteger o meio ambiente, preservar recursos naturais, construir a saúde e fertilidade do solo, melhorar a saúde da bacia hidrográfica, sequestrar carbono, reduzir emissões, melhorar os meios de subsistência dos agricultores e garantir a sustentabilidade da cultura a longo prazo.
Schreefel et. al, 2020	Conjunto de práticas e abordagens que visam maximizar a produtividade agrícola de forma ambientalmente responsável e socialmente justa, ao regenerar os ecossistemas agrícolas e equilibrar a produção de alimentos com a conservação dos recursos naturais, a proteção da biodiversidade e o bem-estar das comunidades rurais. O solo é considerado um recurso vital, e é tratado como um organismo vivo que precisa ser nutrido e protegido. Além disso, a gestão responsável da água, através do uso eficiente da irrigação e da proteção de fontes hídricas, também é fundamental para a sustentabilidade do sistema de produção agrícola. Essas práticas também levam em consideração a dimensão social da agricultura, buscando promover a inclusão e o bem-estar das comunidades rurais,

	<p>valorizando o conhecimento tradicional e as práticas de agricultores familiares com a equidade de gênero, justiça social e a segurança no trabalho agrícola, garantindo condições dignas de trabalho para todos os envolvidos na produção de alimentos e promovendo um desenvolvimento agrícola sustentável. Sendo assim, contribuem para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, sendo eles serviços de provisão (segurança alimentar), regulação (clima), suporte (estruturas de formação do solo e ciclo de nutrientes) e cultural (dimensão socioeconômica).</p>
<p>GILLER, 2021</p>	<p>Uma perspectiva imersa no uso das ciências de plantas, solo, ecologia e sistemas para apoiar a produção de alimentos, ração e fibras de maneira sustentável. Inclui a redução do uso de agroquímicos, como pesticidas e fertilizantes sintéticos, e a promoção de práticas de controle biológico de pragas e doenças, a adoção de técnicas de manejo integrado de culturas, que buscam equilibrar a utilização de diferentes espécies vegetais e animais, contribuem para a redução da dependência de insumos externos.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Diante do que foi exposto na tabela acima, a agricultura regenerativa está intrinsecamente relacionada à sintropia e conservação de energia, pois refere-se à organização e cooperação entre elementos de um sistema, promovendo a sinergia e a eficiência energética, por meio das interações positivas entre plantas, animais e microrganismos, e utilizando técnicas como rotação de culturas e agrofloresta. Ao integrar diferentes componentes em um sistema agrícola, a sintropia favorece ciclos naturais e contribui para a sustentabilidade. Além disso, a conservação de energia é promovida através da redução do uso de insumos externos, como fertilizantes sintéticos e pesticidas, e pela maximização dos processos naturais como a fotossíntese e a ciclagem de nutrientes.

Por se tratar do cultivo de plantas para atender às necessidades da população mundial em diferentes regiões, o produtor que adota práticas regenerativas deve levar em consideração

as condições edafoclimáticas e socioeconômicas, que são diversificadas ao longo do tempo e nas diferentes regiões para determinar quais são as melhores práticas para cada caso (PATERNIANI, 2001). Os sistemas de agricultura moderna caminham no sentido contrário ao impor a utilização de defensivos agrícolas químicos e a agressão mecânica do solo, que podem ser vistos como retrocessos, nesta perspectiva, resultando na degradação do meio ambiente e no empobrecimento da biodiversidade (LUTZENBERGER, 2001).

A produção de cana-de-açúcar é impactada diretamente pelas condições climáticas e negativamente pelos eventos extremos causados pelas mudanças climáticas, como precipitação e temperatura (ZHAO, 2015), já que depende de muitos recursos como água, terra e energia. Por isso, é importante utilizar práticas agrícolas que permitam produzir etanol ou açúcar de forma eficiente e responsável.

Segundo Oberč & Arroyo Schnel (2020), entre os maiores desafios da agricultura regenerativa pode-se considerar que a escolha por não realizar o revolvimento do solo (“aração”) dificulta a descompactação da camada arável do solo a curto prazo, resultando na diminuição da infiltração de água e prejudicando o desenvolvimento das raízes. No entanto, é possível vencer estes obstáculos e minimizar o impacto, já que ao adotar uma perspectiva de longo prazo a preservação da cobertura do solo viabiliza as colheitas com menor dependência de insumos externos. Se por um lado esta abordagem demanda maior intensidade de trabalho nesses aspectos, por outro observa-se que a exigência e os custos associados a insumos externos, tais como fertilizantes sintéticos e pesticidas, são substancialmente reduzidos.

Nesse sentido, esta seção apresenta uma série de práticas regenerativas que serão apresentadas em duas abordagens. Do item 4.1 a 4.7 se referem ao manejo ecológico do sistema produtivo, com olhar para as práticas agrícolas. Os itens 4.8 e 4.9 se referem ao manejo ecológico além da área cultivada, com olhar para as práticas de regeneração da natureza e seus benefícios socioambientais.

4.1 Manejo conservacionista do solo

Dentre as práticas de manejo conservacionista do solo, destaca-se o Sistema de Plantio Direto (SPD). Segundo Silva et al. (2009), esse sistema teve seu início no Brasil em meados dos anos 70 com a intenção de minimizar os impactos ambientais dos sistemas convencionais, e passou a ser uma alternativa para controle da erosão e garantia da fertilidade do solo. É considerado um sistema de plantio que conserva potencialmente os recursos de solo, água e

energia, principalmente por meio da redução da intensidade do arado, revolvimento do solo e retenção de resíduos vegetais (PATERNIANI, 2001). Em comparação com o sistema de cultivo convencional, onde o solo é arado e revirado regularmente, o plantio direto permite que o solo fique mais protegido e preservado. Os exemplos incluem: a) nenhum revolvimento, eliminando o arado, ou b) revolvimento reduzido de profundidade máxima de até 10-12 cm. Isso resulta em melhor preservação da estrutura do solo, aumento da retenção de água e redução da erosão do solo.

O fato de manter as raízes deixadas abaixo do solo (sem arado pós-colheita), em que as culturas são cortadas enquanto as raízes são deixadas no solo, permite também que o ciclo do carbono continue abaixo da superfície, tornando o solo mais rico em carbono e processos biológicos. Além disso, o plantio direto também pode ajudar a promover a biodiversidade do solo, pois as condições mais estáveis permitem que as raízes das plantas e os organismos prosperem. Isso pode resultar em uma maior quantidade de matéria orgânica, aumentando a fertilidade e a capacidade de suporte à produção agrícola (JÚNIOR et al., 2015). Sendo assim, o plantio direto se assemelha às condições de uma floresta, onde há uma grande quantidade de matéria orgânica e pouco movimento de solo, ao plantar a semente diretamente sobre a palha, como pode ser observado na figura 1.

Figura 1 - Plantio direto de soja em palhada de cana-de-açúcar, sem queima.



Fonte: EMPRAPA, 2017.

Paterniani (2001) avaliou a perda de água em latossolo roxo, entre sistemas de plantio convencional e direto, e observou que as diferenças foram substanciais (700 m³/ha *versus* 33

m³/ha, respectivamente). No entanto, deve-se ressaltar que esse dado pode variar de acordo com a região, devido às particularidades de cada solo e clima.

O autor também elencou os principais benefícios do plantio direto, incluindo a prevenção da erosão e compactação do solo, maior disponibilidade de água e matéria orgânica do solo, além de promover o aumento de minhocas e microrganismos, disponibilidade de nutrientes e a redução de toxicidade de substâncias como Al, Mn, Cd e pesticidas. Além disso, o plantio direto permite semeaduras mais oportunas, reduz custos de produção, contribui para o sequestro de carbono e evita o assoreamento de represas e cursos d'água. Já Bayer et al. (2004) constatou em um estudo em latossolo vermelho argiloso, que o plantio direto aumentou a reserva de carbono orgânico nas camadas superficiais do solo, dependendo do tipo de cultura escolhida.

Segundo ARF (2018), ao fazer o plantio direto em uma cultura de milho, com características similares a cana, houve um aumento de aproximadamente 100% na concentração de N, P e K na palhada, quando consorciada com alguma leguminosa e gramínea. No entanto, a produtividade do milho foi afetada negativamente.

A prática supracitada pode trazer os mesmos benefícios para outras culturas, como é o caso da cana-de-açúcar, porém a transição da agricultura convencional para o plantio direto na cultura de cana-de-açúcar pode introduzir desafios no manejo de pragas do solo. Isso ocorre devido à falta de revolvimento do solo, que pode criar um ambiente propício para pragas como as larvas de besouros. No SPD, a destruição das soqueiras não é realizada - prática usual para reduzir essas pragas - e partes do sistema radicular das plantas permanecem no solo durante a renovação do canavial. Além disso, podem favorecer pragas como a cigarrinha-das-raízes da cana, que se beneficiam da estabilidade do solo. Entretanto, o manejo das pragas do solo pode ser viabilizado por meio de estratégias de controle biológico, incluindo o uso de fungos entomopatogênicos aliados à aplicação de defensivos de forma equilibrada. Estas medidas podem ajudar a controlar as pragas e minimizar os impactos negativos. As pragas que afetam a parte aérea da cana não devem ser afetadas pela transição para o plantio direto, mas a implementação de estratégias alternativas, como o uso de nematoides entomopatogênicos e feromônios, pode ser considerada como parte do manejo integrado de pragas na cultura (JÚNIOR et al., 2015).

Outro ponto significativo pela qual sistemas de revolvimento mínimo de solo são benéficos ao meio ambiente é que compensam emissões, envolvendo a minimização da energia empregada para a realização desta atividade. Isso resulta na redução do consumo de

combustível pelos equipamentos durante as atividades, além de mitigar a oxidação do solo quando esse é exposto ao ar ao ser fragmentado (TEMPLE, 2019).

Sendo assim, apesar de todos os benefícios citados, o sistema de plantio direto na cana dificulta o controle de pragas do solo e plantas daninhas, consequentemente aumentando a introdução de herbicidas e defensivos químicos. Como solução deve-se investir em tecnologia e controle biológico, que já apresenta resultados positivos significativos como será demonstrado a seguir.

Em outra perspectiva de manejo do solo, a gestão da água na agricultura faz parte do manejo conservacionista e é importante para minimizar os impactos ambientais negativos e melhorar a qualidade da água. A corrente de água em processo erosivo pode conter fertilizantes, herbicidas, pesticidas e outros contaminantes que podem prejudicar o meio ambiente se não forem gerenciados adequadamente. Algumas das técnicas conservacionistas utilizam estruturas de controle para gerir a velocidade, tempo e limitar a quantidade de descargas de água para os sistemas de drenagem agrícola, reduzindo a perda de solo e nutrientes (VERDUM et al., 2016).

Ainda segundo os autores, existe uma relação entre a intensidade e a duração da chuva, e a probabilidade de saturação do solo, podendo, consequentemente, desencadear os escoamentos superficiais. O potencial erosivo está ligado a uma série de variáveis, sendo elas: a) frequência e intensidade das chuvas, b) características topográficas e relevo, como a inclinação de encostas, o tipo de solo e sua suscetibilidade à erosão, c) cobertura vegetal e d) as práticas de manejo do solo, entre outros. A sistematização e proteção da área são um conjunto de práticas que pode controlar esses processos erosivos por meio de barreiras físicas (figura 7) e/ou vegetais, como estruturação do escoamento superficial e o direcionamento da água proveniente das enxurradas, ou plantações de cercas vivas e barreiras de árvores quebra-ventos.

Figura 8 - Tecnologia para a contenção de água e controle de erosão do solo



Fonte: Elaboração própria, 2023.

De acordo com Rodrigues et al. (2020), a erosão é um processo natural que consiste na perda de partículas e nutrientes do solo por meio da remoção das camadas superficiais do solo, que é a camada mais fértil do solo, provocando assoreamento de corpos d'água e queda na produtividade agrícola. Esse processo pode ser causado por vento, chuva, entre outros fatores e potencializada pelas ações antrópicas de interferência humana, sendo elas práticas agrícolas e supressão de vegetação nativa.

Scarpinella et al. (2013) demonstrou que os canaviais também estão sujeitos a esses processos erosivos, sendo que nas áreas de cultivo tiveram uma perda de solo de 12,4 toneladas por hectare por ano, enquanto em áreas de reflorestamento tiveram 0,9 toneladas de solo perdidas. Já Rossetto (2010) demonstrou em seu estudo que essa perda pode apresentar uma faixa que varia de 6,5 toneladas por hectare por ano, quando há cobertura de palha na superfície do solo, até 108,6 toneladas em áreas de cultivo sem a palha. Sendo assim, pode-se concluir que práticas de conservação do solo fazem grande diferença para mitigar a intensidade das perdas por erosão.

4.2 Manejo Integrado de Pragas

O Manejo Integrado de Pragas (MIP) utiliza ferramentas biológicas, físicas, químicas e culturais para identificar, gerir e reduzir o risco de pragas, evitando a sobreutilização de pesticidas por meio de ferramentas de estratégias de gestão de pragas para minimizar os riscos econômicos, sanitários e ambientais. No âmbito do MIP, são tomadas medidas para controlar as pragas apenas quando o seu número é suscetível de exceder os níveis aceitáveis. Qualquer ação tomada é concebida para visar a praga problemática e limitar o impacto sobre outros organismos e o ambiente (GRAVENA, 1992).

A aplicação de pesticidas em culturas, animais, edifícios ou paisagens numa base de rotina, independentemente da necessidade, não é uma prática do MIP. A aplicação de pesticidas é sempre o último recurso de um sistema deste tipo (PATERNIANI, 2001). O controle biológico é uma prática do MIP e é um processo intrínseco à dinâmica dos ecossistemas, cuja essência reside na regulação das populações de flora e fauna por meio de antagonistas naturais, que desempenham um papel crucial na redução das taxas de mortalidade biótica. Em decorrência desse fenômeno, todas as espécies vegetais e animais coexistem com adversários naturais que atuam em diversos estágios do ciclo de vida. Entre estes inimigos naturais, observamos uma

grande diversidade de grupos, abrangendo insetos, vírus, fungos, bactérias e nematóides (PARRA et al. 2002). A escolha das técnicas adequadas depende da intensidade da infestação, das condições locais e outros fatores.

O controle biológico é uma alternativa promissora ao uso de pesticidas químicos no controle de pragas no plantio de cana-de-açúcar. Segundo Parra (2014), aproximadamente metade da cana-de-açúcar plantada no Brasil tem alguma forma de aplicação de inimigos naturais, como insetos ou agentes biológicos patogênicos. Sendo este o grande desafio do país: implementar essas práticas em larga escala, ao contrário de outros países que aplicam apenas em pequenas áreas.

A broca (*Diatraea saccharalis*) é a praga mais comum na cana-de-açúcar. Anteriormente, moscas nativas, como *Metagonistylum minense* e *Paratheresia claripalpis*, foram usadas no controle da praga, mas foram substituídas pelo parasita *Cortesia flavipes*, originário de Trinidad Tobago, que se mostrou muito mais eficiente e é amplamente utilizado (MACEDO et al., 1993).

Segundo Smaniotto (2019), a cana-de-açúcar é afetada por cerca de 80 espécies de insetos que podem ser prejudiciais à produtividade. Entre elas, destaca-se o *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae), que é considerado a principal praga do solo e pode ser devastador. Um fungo chamado *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae) tem se destacado como favorável para o controle dessa praga. No entanto, é importante considerar os fatores externos, como a radiação UV, que pode reduzir sua eficácia quando aplicado em campo.

Outro fungo promissor é o *Metarhizium anisopliae* no controle de *Mahanarva fimbriolata* (cigarrinha-da-raiz) em cana-de-açúcar. Um estudo demonstrou o alto potencial desse fungo no controle biológico da cigarrinha no Estado de São Paulo, sendo considerado viável para o controle dessa praga (FILHO et al., 2003).

Também é possível realizar o plantio de variedades melhoradas, com a utilização de plantas mais resistentes a doenças e pragas, como as secas ou que requerem menos insumos para produzir resultados semelhantes. O manejo varietal é uma oportunidade de cultivar a variedade mais apropriada para determinado local (SILVA et al. 2008). Se por um lado a escolha de variedades melhoradas pode representar uma oportunidade para determinado local, por outro, esta especialização pode levar a uma diminuição da biodiversidade no ecossistema produtivo, conforme destacado a seguir.

De acordo com Barbosa (2019), busca-se uma maior estabilidade por meio do manejo de variedades, potencializando a produtividade em ambientes desfavoráveis à produção de cana. Como um dos aspectos importantes para a produtividade é a resiliência perante as pragas, não é recomendado que uma mesma variedade ocupe mais do que 20% da plantação. Destaca-se também que a produtividade é altamente influenciada pela capacidade das variedades em acumular sacarose (açúcar), sendo algumas precoces, quando conseguem realizar esse processo de maneira mais rápida, e outras tardias, quando levam mais tempo para atingir níveis adequados de concentração de açúcar. A recomendação é alocar 40% de variedades das precoces, 30% de variedades das médias e 30% de variedades das tardias. Essa estratégia de plantio visa não apenas maximizar a produção de açúcar, mas também assegurar que a colheita seja realizada durante o período de maior riqueza da cana, resultando em um rendimento eficaz e otimizado.

Ainda segundo o autor, existem outros aspectos que influenciam, embora tenham um impacto menor em comparação aos mencionados anteriormente. Pode-se citar como exemplo a sensibilidade a herbicidas e a adequação à colheita mecanizada.

4.3 Método Inter Rotacional Ocorrendo Simultaneamente (MEIOSI)

O Método Inter Rotacional Ocorrendo Simultaneamente (MEIOSI) é uma abordagem de rotação de cultura que permite que a cana-de-açúcar e as culturas intercalares sejam cultivadas simultaneamente em áreas adjacentes. Esse método foi desenvolvido nos anos 80 como alternativa para produção de mudas de cana-de-açúcar na própria área de plantio, facilitando a implantação do canavial e gerando mudas saudáveis adaptadas ao local (BARCELOS, 1984). Inclui o cultivo de plantas de cobertura, como leguminosas fixadoras de nutrientes, e a gestão de resíduos de culturas (prática de deixar resíduos de culturas nos campos para reduzir a erosão do solo), manejando os restos das plantas que sobram após a colheita ou a poda.

Atualmente, com os equipamentos de GPS (Sistemas de Posicionamento Global) acoplados aos implementos agrícolas e utilização de mudas pré-brotadas, esse método ganhou forças e ressurgiu como solução para principalmente redução de custos de implantação (por questão de logística e utilização de fertilizantes naturais), renda extra com as culturas intercalares, qualidade do solo e controle de doenças por meio da diversificação (CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA, 2019).

De acordo com Bossler et. al (2023), diversas vantagens são proporcionadas pelo sistema MEIOSI. Em primeiro lugar, destaca-se a redução nos custos relacionados à aquisição de mudas, uma vez que o sistema permite o aproveitamento dos toletes produzidos pelas linhas-mãe, resultando em uma menor necessidade de estrutura operacional (maquinário agrícola) e menos investimentos em transporte, carregamento e produção de mudas. Além disso, o sistema viabiliza o plantio de mudas saudáveis e mais resistentes aos patógenos locais, e contribui para a proteção do solo e diminuição da erosão. A inclusão de culturas intercalares melhora as condições físicas, químicas e a microbiota do solo. A fixação de nitrogênio no solo é incrementada com o uso dessas culturas intercalares que possuem essa capacidade, como a soja, por exemplo.

Contudo, a implementação bem-sucedida dessa inovadora tecnologia enfrenta um desafio significativo: a necessidade de manter um nível de umidade do solo elevado, principalmente durante o período inicial após o plantio. Nesse contexto, a torta de filtro, um subproduto derivado do processo de filtração do caldo de cana, que já tem sido amplamente utilizado no plantio convencional de inverno, emerge como uma alternativa viável para favorecer a adoção dessa tecnologia. A torta de filtro apresenta uma concentração de fósforo (P) entre 1,2% e 1,8%, e mantém uma umidade de aproximadamente 70%, características essenciais para estimular a brotação da cana-de-açúcar em plantios realizados durante as estações de inverno nas regiões sul e sudeste. Além disso, ela contém um teor elevado de cálcio (Ca) e quantidades substanciais de micronutrientes como boro (B), zinco (Zn), molibdênio (Mo), manganês (Mn) e cobalto (Co), todos contribuindo para potencializar o desenvolvimento da cana-de-açúcar. Assim, percebe-se que a torta de filtro é uma fonte de adubo orgânico altamente benéfica para a agricultura (AQUINO et al., 2018).

Ainda em relação à produção de mudas e sementes, segundo apurado pelo Jornal da Cana (2023), o Centro de Tecnologia Canaveira (CTC) tem dedicado mais de uma década ao desenvolvimento da cana semente, uma inovação que promete transformar o cultivo de cana-de-açúcar. Atualmente, o ciclo de plantio envolve a cana planta, seguida pela cana soca, resultando em perdas progressivas de produtividade até a renovação do canavial. A revolução proposta pela cana semente, que é uma técnica de cultura de tecidos, busca eliminar esse ciclo, mantendo a produtividade do broto original e permitindo a renovação do canavial a cada safra. Projeções indicam um aumento de 30% na oferta de cana na mesma área com o plantio por meio de sementes artificiais. Isso representa uma mudança significativa em relação ao tradicional processo de plantio com "toletes" (pedaços de cana), onde 1 hectare requer 15 a 18

toneladas de cana em tolete, enquanto o plantio com sementes utilizará apenas meia tonelada por hectare. Porém, essa é uma tecnologia promissora que ainda carece de validação.

Por fim, o sistema MEIOSI reduz as falhas no plantio, otimizando a produção agrícola, e tem potencial de produzir energia e alimento ao mesmo tempo por meio da rotação de cana-de-açúcar, mandioca, soja, milho, entre outras culturas.

4.4 Rotação de culturas e adubação verde

A rotação de culturas é uma forma de evitar a especialização do ambiente, introduzindo uma diversidade de espécies de plantas no sistema, o que reflete diretamente na diversidade de vida abaixo e acima do solo. Em estudo realizado por BOLONHEZI e PEREIRA (1999), divulgado pela EMBRAPA, quando um canavial é reformado (depois de 4 a 6 colheitas) pode-se optar pelo plantio de outras culturas com intuito de revitalizar o solo e a área, conforme é possível observar na figura 2. As principais culturas que se relacionam bem em consórcio com a cana-de-açúcar são crotalária, soja e amendoim. A escolha entre elas depende da disponibilidade de recursos, declividade da área, pragas e outros aspectos de particularidades. Estas plantas também são utilizadas como adubação verde fixadora de nutrientes no solo.

Segundo Christoffoleti et. al, (2007), o impacto esperado é de melhorar a saúde do solo, otimizar os nutrientes disponíveis, combater a pressão das pragas e das ervas daninhas, reduzir a erosão, aumentar a disponibilidade de água e aumentar a biodiversidade. Nos casos em que uma cultura fixadora de nutrientes é semeada, pode-se aumentar a produtividade das plantas, disponibilizando nitrogênio para a cultura seguinte. Alternativamente, quando são semeadas culturas de raízes profundas, podem ser obtidos diferentes benefícios, como penetrar camadas de solo compactadas e aumentar a aeração do solo e a infiltração de água. Também podem servir como culturas de cobertura, incluindo as fixadoras de nutrientes que cobrem o solo entre dois ciclos de cultura, e, ao se decompor, os seus resíduos vegetais alteram os atributos do solo e melhoram o desempenho da cultura posterior (MARCELO et al., 2009). Essa prática, associada à fertirrigação, tem o potencial de reduzir o uso de adubos químicos e viabilizar a recuperação de áreas degradadas (FERRAZ et al., 1999)

Estudos têm mostrado que a adubação verde pode aumentar a produtividade da cana-de-açúcar e reduzir a aplicação de fertilizantes nitrogenados. Segundo Venzon et al. (2019), os adubos verdes têm uma ampla utilização com o objetivo de melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, além de desempenharem um papel na redução de pragas. Isso ocorre

devido ao fato de que o guandu (*Cajanus cajan*) e a crotalária (*Crotalaria spp.*) produzem pólen que é adequado em termos nutricionais para o predador generalista *C. externa* (*Neuroptera: Chrysopidae*), um organismo presente em diversos agroecossistemas.

Já no experimento de Duarte Júnior et. al. (2008), avaliou-se o efeito da adubação verde com diferentes espécies de leguminosas e mostrou-se que a crotalária e o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) acumularam 66% mais fósforo (P) do que a mucuna-preta. Sendo a crotalária a planta que apresentou maior cobertura de solo em comparação às outras duas plantas. Os resultados mostraram também que a adubação verde aumentou a produtividade da cana-de-açúcar em até 37% em relação à testemunha sem adubação verde, e melhorou a fertilidade do solo, aumentando a concentração de nutrientes e a atividade microbiana.

Figura 2 - Rotação entre mandioca e cana-de-açúcar.



Fonte: BRASIL ESCOLA, [2024]

Figura 3 – Adubação verde de soja sobre palhada de cana-de-açúcar



Fonte: BOLONHEZI e PEREIRA, 1999.

4.5 Gestão de nutrientes

De acordo com Vitti et al. (2016), a gestão da aplicação de fertilizantes, estrume e produtos orgânicos em terras agrícolas ocorre de acordo com a seguinte abordagem:

- a) Origem certa: adequando o tipo de fertilizante às necessidades das culturas. Incide na utilização de misturas de nitrogênio controladas, de liberação lenta ou estabilizada, na aplicação de micronutrientes secundários e micronutrientes com base no solo e tipos de tecidos.
- b) Taxa certa: adequação da quantidade de tipo de fertilizante às necessidades das culturas, por exemplo, utilizando a amostragem do solo para determinar as taxas de fertilização, ou utilizando aplicações de taxa variável.
- c) Momento certo: disponibilizar nutrientes quando as culturas necessitam deles e a temperatura do solo esteja favorável.
- d) Lugar certo: manter os nutrientes onde as culturas os possam utilizar. Inclui a utilização de tecnologia de orientação precisa para uma aplicação precisa, gestão de campos com base em mapas de zona, e utilização do método apropriado para aplicação.

Também conhecida em inglês como "*4R Nutrient Management*", resumidamente é uma estratégia de gestão de nutrientes utilizada na agricultura regenerativa por meio da agricultura

de precisão. A abordagem mencionada concentra-se em quatro principais aspectos: a escolha certa dos nutrientes (*right source*), na quantidade certa (*right rate*), no momento certo (*right time*) e no local certo (*right place*). Busca maximizar a eficiência dos nutrientes, reduzir a perda de nutrientes do solo por lixiviação, e melhorar a qualidade do solo, promovendo maior desenvolvimento radicular e crescimento das plantas, e conseqüentemente aumento da produção agrícola. Viabiliza a absorção de nutrientes e água pela planta, a preservação dos recursos hídricos e a minimização do impacto ambiental negativo. Além disso, a gestão eficiente dos nutrientes maximiza o potencial produtivo (rentabilidade agrícola) (MARTINS e JORGE, 2021).

Podemos observar dois eixos na gestão de nutrientes. Um deles dá prioridade para a economia circular e a ciclagem de nutrientes, ou seja, utilizando os subprodutos da cana: torta de filtro, vinhaça, cinzas e enxofre (subproduto do biogás da vinhaça). O outro deles foca na relação com os insumos externos que precisam ser comprados e devem ser aplicados de forma eficiente por meio de agricultura de precisão, gerando economia e menor impacto ambiental.

4.6 Fertilirrigação

O uso de fertilizantes orgânicos (figura 4) é uma prática de manejo de solo que envolve a utilização de materiais orgânicos, como compostos, esterco, resíduos vegetais, entre outros, para melhorar a fertilidade do solo e a produtividade das culturas agrícolas. Fertilizante orgânico é qualquer material orgânico de origem natural que é adicionado a um solo para fornecer elementos essenciais para o crescimento das plantas, sendo uma alternativa aos fertilizantes sintéticos, que podem ser prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana. (DE MEDEIROS et al., 2006).

Além disso, há a vantagem de contribuírem para a melhoria da qualidade do solo, ao aumentar a matéria orgânica e a atividade biológica, e de serem menos suscetíveis a perdas por lixiviação. Esses microrganismos ajudam a melhorar a estrutura do solo, aumentam sua capacidade de retenção de água, promovem a ciclagem de nutrientes e tornam os nutrientes presentes no solo mais acessíveis para as plantas. Entre os fertilizantes orgânicos simples, os esterco animais merecem destaque devido à sua maior disponibilidade, mas também as palhadas de milho e soja, serragem de madeira, casca de pinus e eucalipto, a casca de café e arroz, além de bagaço, torta de filtro e vinhaça da cana (TRANI et al., 2013). A cama de frango é um tipo de fertilizante orgânico, ou composto, por se tratar de uma mistura, que também pode

ser introduzido no cultivo de cana. Quando utilizada na cana, foram observados aumentos de P, K, Ca e Mg (GUIMARÃES et al., 2016). Também é possível a adubação por um composto orgânico de torta de filtro e cinzas, subprodutos do processo industrial da cana, já que o fósforo é um fator limitante na produtividade e na atividade microbiota do solo. Sendo este composto uma alternativa capaz de aumentar a produtividade (SILVA, 2018).

Figura 4 – Biofertilizante



Fonte: EMBRAPA, 2015.

A implementação de sistemas de fertirrigação com vinhaça é o mais frequente na produção de cana-de-açúcar, e por esse motivo recebeu destaque neste subitem. A vinhaça desempenha um papel crucial ao atender às demandas hídricas e de nutrientes dessa cultura, sendo sua aplicação uma prática comum na agricultura brasileira. A vinhaça é um subproduto da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar e é rica em nutrientes, como o potássio, que são importantes para o desenvolvimento das plantas. A aplicação da vinhaça no solo pode melhorar sua fertilidade e aumentar a produtividade da cultura, desde que realizada dentro de limites adequados de quantidade e frequência de aplicação. No entanto, a aplicação excessiva pode levar a problemas ambientais, como a contaminação do solo e da água subterrânea. Por isso, é importante seguir as recomendações técnicas e legais para o uso desse subproduto (Sanches, 2021)

Ainda segundo o autor, existem diversos exemplos práticos da aplicação de vinhaça na produção de cana-de-açúcar no Brasil. Em algumas regiões do país, a vinhaça é aplicada em sulcos abertos entre as fileiras de plantas, ou em sistemas de irrigação por aspersão. A fertirrigação consiste em aplicar o subproduto diretamente na lavoura junto com a água de irrigação. Nesse caso, a vinhaça é diluída em água para evitar a concentração excessiva de nutrientes no solo. Adicionalmente, armazenar o principal subproduto das usinas (vinhaça) não

se mostra viável do ponto de vista econômico. Nesse contexto, a aplicação da vinhaça em áreas agrícolas representa a solução mais apropriada, trazendo consigo a vantagem de incrementar a produtividade da cultura e promover a ciclagem de nutrientes no solo.

Segundo Christofolletti et al. (2013), a vinhaça é o subproduto final da destilação de biomassa, especialmente na produção de etanol a partir de culturas como beterraba e cana-de-açúcar. Devido às grandes quantidades geradas, buscou-se por alternativas para sua aplicação e reciclagem na fermentação, fertirrigação, concentração por evaporação, produção de leveduras e energia (figura 5) foram desenvolvidas. Porém, características deste subproduto podem impactar negativamente solos, rios e lagos com descargas frequentes, afetando também a agricultura e a biodiversidade.

Figura 5 - Planta de biogás da Usina Tereos na unidade Cruz Alta, SP.



Fonte: Revista Canavieiros, 2022.

Esse resíduo é composto essencialmente por água (93%) e sólidos orgânicos e minerais (7%), sendo visualmente de coloração escura. Embora contenha níveis elevados de matéria orgânica, sua concentração de N e P é baixa. O componente principal da vinhaça consiste em matéria orgânica na forma de ácidos orgânicos e cátions como K, Ca e Mg. No entanto, em termos gerais, a vinhaça é conhecida por ser uma fonte rica em potássio. A concentração de potássio na vinhaça geralmente varia de 2% a 4% e é um insumo que o país é dependente de fontes externas, sendo o nutriente que a cana mais consome (LAIME et al., 2011).

Segundo Anselmi (2008), para cada hectare de plantação de cana em que se aplicou vinhaça, componente rico em potássio, tem-se um rendimento superior de cinco toneladas do que quando comparado com um local onde foi aplicado potássio proveniente de adubo químico, já que a vinhaça proporciona um melhor condicionamento da superfície do solo e promove a

fertilidade. Conforme dito anteriormente, é importante ajustar as quantidades aplicadas com base nas particularidades de cada solo, pois a vinhaça pode apresentar desequilíbrios nos níveis de elementos minerais e matéria orgânica. Isso é fundamental para evitar a lixiviação, especialmente de compostos como nitrato e potássio (SILVA et al., 2007).

A fertirrigação, que envolve o uso não tratado da vinhaça de cana-de-açúcar como fertilizante, destaca-se como uma opção promissora para a reutilização desse resíduo. No entanto, os elementos presentes na vinhaça, como baixo pH e condutividade elétrica, podem impactar negativamente a qualidade do solo e água ao longo do tempo. Isso ressalta a necessidade de explorar alternativas tecnológicas, como geração de energia e produção de leveduras. Essas opções refletem os esforços em curso para gerenciar adequadamente o volume considerável de vinhaça gerado, buscando equilíbrio entre produção e considerações ambientais (Christofolletti et al., 2013).

É importante salientar que o uso de fertilizantes orgânicos pode ser combinado com outras práticas de manejo, como o controle de pragas e doenças e a rotação de culturas, para maximizar seus benefícios.

Figura 6 - Aplicação de vinhaça localizada em canavial



Fonte: UNICA, 2020.

Figura 7 - Transporte de vinhaça via canal em canavial



Fonte: Elaboração própria, 2023.

4.7 Sistemas Agroflorestais

Segundo Sanchez (1995), os sistemas agroflorestais (SAFs) são uma alternativa para a agricultura convencional, onde plantas lenhosas perenes ou frutíferas, nativas ou exóticas, são deliberadamente utilizadas na mesma área que as culturas agrícolas e/ou animais. Dessa forma, árvores, arbustos, culturas agrícolas e/ou animais são manejados de forma integrada em uma mesma área, buscando combinar benefícios econômicos, sociais e ambientais. Os sistemas agroflorestais podem incluir uma grande variedade de espécies vegetais e animais, e sua estrutura pode ser planejada de acordo com os objetivos de produção e as condições locais.

No Brasil, um dos pioneiros é Ernst Götsch, agricultor e pesquisador suíço conhecido por desenvolver e promover o conceito de "agricultura sintrópica", uma forma de agrofloresta que imita ecossistemas florestais naturais para criar sistemas alimentares diversificados e sustentáveis. Isso envolve o plantio de uma mistura de árvores frutíferas e de nozes, vegetais, e culturas de maneira que maximize a luz solar e a ciclagem de nutrientes, minimizando a necessidade de insumos externos. Dentre as técnicas estão o consórcio de variadas espécies,

plantio adensado, capina seletiva, poda drástica, recobrimento do solo com matéria orgânica, entre outros (LEEUWEN, 2013).

Esses sistemas produtivos têm a capacidade de oferecer refúgio para fauna e flora, com oportunidades de dispersão, e ampliam os recursos alimentares disponíveis para todos os seres vivos, incluindo os humanos. Eles não apenas servem como habitat para a biodiversidade, mas também facilitam o deslocamento de organismos florestais entre áreas de vegetação natural (PERFECTO & VANDERMEER, 2008).

As interações entre os diferentes componentes desse sistema trazem diversos benefícios ao explorar suas potencialidades. As interações e seus efeitos são interdependentes e uma das principais características desejadas é a complementaridade da exigência por recursos. O aumento da produtividade ocorre por conta da diversidade de espécies que permite um uso mais eficiente dos recursos, como água e nutrientes, e proporciona maior resistência a pragas e doenças. A melhoria da qualidade do solo e melhor aproveitamento dos nutrientes presentes no solo resultam em maior fertilidade. Além disso, os sistemas agroflorestais promovem a conservação e aumento da biodiversidade, fornecendo habitat para animais selvagens e insetos polinizadores. Assim, gera diminuição do impacto ambiental ao reduzir a erosão do solo, a contaminação da água e a emissão de gases de efeito estufa, tornando a produção agrícola mais sustentável. Outro ponto a ser considerado é a diversificação da produção, com a possibilidade de produzir não só alimentos, mas também madeira, plantas medicinais, mel, entre outros produtos, promovendo a sustentabilidade e a resiliência do sistema produtivo (NAIR, 1993).

Pesquisas já realizadas têm explorado a possibilidade de integração da cana-de-açúcar em sistemas agroflorestais, visando a diversificação de produtos agrícolas, a redução da erosão do solo e o aumento da biodiversidade. No entanto, a aplicação prática desses sistemas ainda é limitada e requer mais estudos e experiências para determinar sua viabilidade em diferentes contextos agrícolas.

Segundo Pinto (2003), em um estudo realizado na região de Piracicaba (estado de São Paulo) com o intuito de avaliar a viabilidade da implementação de SAFs para o cultivo de cana-de-açúcar, foi observado que algumas espécies arbóreas têm potencial de cultivo em sistemas agroflorestais de aléias em contorno, principalmente nas áreas de maior declive que impedem a mecanização, já que os principais benefícios de um SAF em aléias é o controle de erosão pela fixação do solo com as raízes e maior infiltração, resultando em um menor escoamento, sendo mais adequados para propriedades pequenas e agricultura familiar.

Os critérios para selecionar as espécies foram a) adaptação às condições edafoclimáticas locais; b) potencial para contribuir para conservação do solo; c) potencial de geração de renda; d) potencial de aceitação e uso pelos agricultores da região, e) possibilidade de processamento e comercialização locais e f) contribuição à biodiversidade local.

As quatro espécies arbóreas exóticas selecionadas foram: eucalipto, seringueira, coco-anão-verde e palmeira pupunheira. Todas as exóticas examinadas tiveram um desempenho econômico comparável ou elevado ao da cana-de-açúcar, mas nenhuma delas favorece a biodiversidade local, por se tratar de espécies exóticas.

Sendo assim, também foram selecionadas espécies nativas da região já adaptadas ao clima, temperatura, solo, entre outras características edafoclimáticas. As onze espécies selecionadas foram: duas variedades de Jequitibá (*Cariniana excelsa* Casar e *Cariniana legalis* Mart. Kuntze), Araribá (*Centrolobium tomentosum* Benth), Louro-pardo (*Cordia trichotoma*), Mandiocão (*Didymopanax morototonii*), Palmeira Jussara (*Euterpe eduli*), Canafístula (*Peltophorum dubium*), Pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), Jatobá (*Hymenaea courbaril* var *stilbocarpa*) e Ipê-felpudo (*Zeyheria tuberculosa*).

As espécies nativas desempenham um papel significativo na preservação da biodiversidade e, tanto exótica como nativa, contribuem para a conservação do solo devido às características já descritas anteriormente. No entanto, as espécies exóticas apresentam vantagens como previsibilidade e acesso a mercados estabelecidos. Também, o retorno financeiro proveniente de plantações de madeira nativa geralmente leva mais tempo em comparação com o das espécies exóticas, e as valiosas vantagens e serviços ecossistêmicos oriundos da biodiversidade ainda não são devidamente recompensados economicamente para os agricultores.

A abordagem sugerida é começar o plantio com as espécies exóticas e, em seguida, introduzir gradualmente árvores nativas, levando em consideração suas necessidades específicas. Posteriormente, as árvores nativas devem ser introduzidas gradualmente, levando em consideração suas especificidades, especialmente em relação ao uso da luz. Para promover o crescimento das espécies tolerantes à sombra, é recomendado o plantio no sub-bosque das aléias, desfrutando das alterações microclimáticas que proporcionam condições favoráveis ao seu desenvolvimento. É importante ressaltar que tanto as espécies exóticas quanto as nativas proporcionam produtos valiosos, como madeira, frutas, látex, folhas e palmito, que podem ser beneficiados ou comercializados.

Ao analisar a declividade do terreno, o que impacta negativamente a possibilidade de mecanização, fica evidenciado que os SAFs têm maior potencial de serem implementados em pequena escala e em áreas não-contínuas.

Outra publicação de Pinto (2005) comparou a produção de cana-de-açúcar com eucalipto e da cana-de-açúcar com seringueira, e concluiu que no caso do eucalipto a concorrência com a cana é menor do que comparado a seringueira, já que sua copa é menos densa e proporciona maior disponibilidade de luz. Os cortes do eucalipto e seus novos ciclos reduzem as interações e competitividade tanto abaixo como acima do solo. Além disso, ao comparar o SAF de eucalipto, observou-se que a produção foi semelhante ao monocultivo. A luz é o maior limitante na concorrência entre eucalipto e a cultura de cana. Já para a seringueira, tanto água como luz foram fatores significativamente limitantes. Concluiu-se que ambas as culturas são viáveis para plantio em SAFs em aléias. No entanto, os SAFs são uma alternativa mais viável para áreas com restrição à colheita mecanizada.

Em outro estudo (PEREIRA, 2013) ao longo de três anos com plantio de guapuruvu (*Schizolobium parahyba* Vell.), ipê amarelo (*Handroanthus* spp.) e cedro (*Cedrela fissilis* Vell.), a implantação dessas estratégias sustentáveis incorporou uma maior biodiversidade na produção da cana-de-açúcar, minimizando os impactos ambientais, sem interferir nos resultados agronômicos obtidos atualmente pelo sistema convencional de produção. A pesquisa também examinou o cultivo de cana-de-açúcar junto com árvores em um sistema de aléias. Foi observado que algumas árvores se desenvolveram bem, especialmente o guapuruvu, que teve boa produção de madeira. Isso ajudou a fixar carbono no ambiente, contribuindo para o meio ambiente. O guapuruvu destacou-se pelos melhores resultados em produtividade silvicultural e aumento da diversidade de aves, apesar de ter a maior taxa de mortalidade. O ipê atingiu índices satisfatórios nos indicadores ecológicos, mas teve baixo desempenho em produtividade silvicultural e desenvolvimento. O cedro mostrou ser a espécie que teve melhor desempenho no sistema, com baixa taxa de mortalidade e bom desenvolvimento. O resultado sugere que há compatibilidade biológica na implantação do sistema agroflorestal de árvore-cana.

O mesmo autor afirma que a presença das árvores atraiu uma variedade de pássaros, indicando que o sistema pode ser benéfico para a biodiversidade. A avifauna foi considerada um indicador consistente, com o guapuruvu sendo crucial para aumentar a diversidade de aves. É possível implementar esse sistema sem prejudicar a produção de cana-de-açúcar, destacando a importância de escolher as árvores certas e cuidar bem delas.

Esse tipo de abordagem pode contribuir para uma produção de cana-de-açúcar mais amigável ao meio ambiente, atendendo à demanda por produtos sustentáveis. Sendo assim, o cultivo de cana-de-açúcar em sistema de aléias pode ser uma solução eficaz para mitigar as emissões de gases de efeito estufa. Essa prática oferece benefícios sociais ao fornecer emprego na entressafra para a manutenção das aléias. Além disso, há vantagens econômicas, como a comercialização de créditos de carbono ou da madeira cultivada e no valor agregado do produto final sustentável (PEREIRA, 2013).

Contudo, a depender da espécie arbórea em questão, a presença de árvores pode criar sombreamento e reduzir a disponibilidade de luz solar necessária para o desenvolvimento adequado da cultura, reduzir a disponibilidade de recursos e assim afetar negativamente seu desempenho. Os sistemas agroflorestais com cana-de-açúcar têm pouca ocorrência quando comparados a outras culturas agrícolas. A cana é tradicionalmente cultivada em grandes monoculturas, onde as plantas são densamente plantadas em grandes extensões de terra. Algumas razões para a baixa incidência de sistemas agroflorestais com cana-de-açúcar são desde falta de pesquisa e desenvolvimento no tema, até questões do sistema de produção que já está consolidado. O manejo da colheita acaba sendo um desafio, pois a colheita mecanizada da cana-de-açúcar pode ser complicada em sistemas agroflorestais devido à presença de árvores e a necessidade de espaço para a movimentação de equipamentos. Isso dificulta a eficiência e a viabilidade econômica da colheita. Para isso, pesquisas e desenvolvimentos de novas tecnologias e implementos agrícolas adaptados a estes tipos de sistemas densos de produção devem ser levadas em consideração.

4.8 Restauração de habitat natural

A restauração de habitats naturais é o processo de recuperar áreas degradadas ou danificadas para seu estado natural original, a fim de melhorar a biodiversidade, a saúde do ecossistema e a qualidade de vida das espécies que dependem daquele habitat. A restauração pode incluir a remoção de espécies invasoras, plantação de espécies nativas, restauração de corpos d'água, construção de estruturas para ajudar a conservar a vida selvagem e o manejo apropriado do solo e da água, ou seja, nem sempre requer o plantio de mudas, se forem criadas condições para a natureza se regenerar e forma natural. (FERRETTI, 2002).

Figura 9 - Mata ripária após restauração ecológica no Bioma Cerrado.



Fonte: EMBRAPA, 2014.

Atingir a sustentabilidade no uso da terra segue um processo gradual. O estabelecimento de paisagens sustentáveis demanda uma colaboração coordenada que percorre diferentes fases de atividade e gestão adaptativa, com a participação de diversos grupos de atores e partes interessadas que compartilham dos benefícios obtidos. Em um cenário ideal, a paisagem proporciona alimentos e meios de subsistência significativos para as comunidades locais, enquanto também serve de abrigo e apoio para a fauna e diversas formas de biodiversidade em ambientes variados e em constante mudança (CHAZDON et al., 2020).

Introduzir ações sustentáveis em paisagens representa um desafio complexo, necessitando de fatores facilitadores que podem demandar décadas para serem efetivados. A restauração florestal e de paisagens destaca-se como uma ação baseada em paisagens, com o objetivo de harmonizar diversos usos do solo de modo a recuperar funções e vantagens ecológicas e sociais em paisagens situadas em biomas florestais que sofreram desmatamento e degradação (MANSOURIAN et al., 2019).

No cenário de uma paisagem, é possível a coexistência de variados tipos de utilização da terra, abrangendo práticas agrícolas de maneira combinada com estratégias voltadas à conservação e restauração de ecossistemas florestais nativos. Essa abordagem busca alcançar um equilíbrio mais sustentável, propiciando a subsistência e promovendo resultados sociais e ecológicos mais favoráveis (PADUA et al, 2002). O desenvolvimento dessas abordagens de paisagem evolui ao longo do tempo, geralmente demandando uma mudança significativa em relação às práticas anteriores, tanto na ocupação e uso da terra quanto nas instituições tradicionais (SAYER et al., 2017).

Normalmente essa mudança de abordagem se inicia com algum projeto ou programa, encontrando dificuldades que podem desencadear conflitos relacionados ao uso da terra e aos

direitos de propriedade. Abordar esses desafios de maneira adaptativa, inclusiva e inovadora pode resultar em uma transformação significativa para a paisagem, fundamentada em um novo paradigma (CHAZDON et al., 2020). É o caso dos corredores ecológicos do Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ) no Pontal do Paranapanema, estado de São Paulo, que será aprofundado na seção 6.

Segundo o Instituto, os corredores ecológicos são faixas de habitat natural que conectam áreas protegidas, permitindo que as espécies se movam livremente entre elas e reduzindo o isolamento das populações. Esses corredores são importantes para a manutenção da variabilidade genética de uma população, pois permitem que indivíduos de diferentes áreas se misturem e se reproduzam, aumentando a diversidade genética da população como um todo e que as espécies possam resistir a eventos extremos, como secas ou surtos de doenças, e tenham maior chance de sucesso na seleção natural. Também, ajudam a promover a recolonização dessas áreas por indivíduos de outras áreas protegidas, evitando a extinção local, e sendo uma estratégia importante para a conservação da biodiversidade que oferece serviços ecossistêmicos, incluindo benefícios para a biodiversidade, sequestro de carbono, qualidade do solo e da água.

Serviços ecossistêmicos são os benefícios diretos e indiretos que os seres humanos obtêm dos ecossistemas naturais (COSTANZA et al 1997). Eles são essenciais para a sobrevivência e o bem-estar da humanidade, fornecendo uma ampla gama de recursos e serviços vitais. Esses serviços incluem desde o fornecimento de alimentos, água limpa e ar puro, até a regulação do clima, polinização de culturas, controle de doenças, entre outros (RHODES, 2017).

Pode-se citar como exemplo os serviços de provisão que fornecem diretamente bens e recursos, como alimentos, água, madeira, fibras, combustíveis e medicamentos. Além disso, tem-se os serviços de regulação, que ajudam a regular processos ambientais, como a qualidade do ar e da água, o clima, o controle de doenças, a polinização e a regulação de pragas. Os serviços de suporte, por sua vez, sustentam os ecossistemas e possibilitam os demais serviços ecossistêmicos. Eles incluem processos como a formação do solo, a ciclagem de nutrientes, a polinização e a decomposição. Esses serviços são fundamentais para a produtividade e a resiliência dos ecossistemas. Já os serviços culturais são os benefícios não-materiais que as pessoas obtêm dos ecossistemas, como a beleza cênica, lazer, recreação, turismo, valor espiritual e bem-estar mental. Os espaços como parques, reservas naturais e praias oferecem

oportunidades para as pessoas se conectarem com a natureza, relaxarem e desfrutarem de atividades recreativas (MA, 2005).

Figura 10 - Corredor ecológico no Pontal do Paranapanema, SP.



Fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS ECOLÓGICAS, [2024]

Ainda segundo o Instituto, o processo de restauração do ambiente começa com a identificação e mapeamento da área. Depois de realizar o diagnóstico ambiental, o solo é preparado e a infraestrutura necessária para o armazenamento de mudas é estabelecida. Então, o plantio e a irrigação das mudas ocorrem, seguidos por uma fase de manutenção e controle de plantas e insetos indesejáveis por aproximadamente três anos até que a fauna e flora local comecem a se estabelecer.

Além de recuperar e preservar matas e florestas, é importante ressaltar a manutenção e o manejo de áreas abertas, além das áreas cultivadas, como áreas de pousio e zonas de transição entre a vegetação nativa e as plantações, sendo cruciais devido à sua capacidade de servir como abrigo e habitat de inimigos naturais. Pesquisas anteriores revelaram que esses ambientes apresentam uma maior semelhança na fauna de predadores naturais em práticas agrícolas em comparação com áreas mais densas, como florestas e matas fechadas. Além disso, ao preservar e gerenciar essas áreas, aumenta-se a diversidade regional de espécies (VENZON et al., 2019).

Esta abordagem enfatiza que a preservação e restauração de áreas naturais, incluindo florestas, corpos d'água e outros habitats, pode incluir a criação de corredores ecológicos e a proteção de áreas de preservação permanente, sendo uma estratégia importante na agricultura regenerativa.

A restauração de habitat natural desempenha um papel fundamental na sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar. Conforme estabelecido na Lei 12.651/2012, é imperativo que

toda propriedade rural reserve uma parcela de sua extensão para a preservação de vegetação nativa, designada como Reserva Legal. Esta área, localizada dentro dos limites do imóvel rural, tem como objetivo primordial garantir a utilização sustentável dos recursos naturais da propriedade, contribuir para a manutenção e regeneração dos processos ecológicos, salvaguardar a diversidade biológica e servir como habitat para a vida selvagem e a flora nativa. O tamanho mínimo da Reserva Legal, expresso como uma proporção da área total do imóvel, varia de acordo com a localização geográfica, por exemplo 20% do total da área do imóvel destinado à reserva legal e proíbe o cultivo (EMBRAPA, 2024). Nesse contexto a legislação brasileira é muito mais rigorosa do que a dos outros países produtores, proporcionando assim a restauração de habitats naturais nessas áreas designadas não apenas atende às exigências legais. Portanto, a restauração de habitats naturais nessas áreas designadas não apenas atende às exigências legais, mas também contribui significativamente para a conservação da biodiversidade e a manutenção dos serviços ecossistêmicos vitais, incluindo a polinização. Ao estabelecer e manter essas áreas de restauração, os produtores de cana-de-açúcar podem promover a saúde dos ecossistemas locais, aumentar a resiliência das plantações e garantir a continuidade de um sistema agrícola sustentável a longo prazo.

4.9 Desenvolvimento de habitat de polinizadores

O desenvolvimento de habitats para polinizadores é importante para garantir os serviços ecossistêmicos (previamente abordados neste trabalho) e consequentemente assegurar a produção de alimentos. Muitas espécies de insetos, pássaros e outros animais atuam como polinizadores, ajudando a transferir o pólen entre as flores de plantas e permitindo a produção de frutos e sementes, como pode ser observado na figura 11 (OLIVEIRA e COSTA, 2013).

Figura 11 - Abelha nativa solitária polinizando as flores da castanha do Brasil



Fonte: EMBRAPA, 2014.

Segundo Wratten et al. (2012), algumas maneiras de desenvolver habitats para polinizadores incluem: a) plantar uma variedade de espécies de plantas que floresçam em diferentes épocas do ano para fornecer alimento aos polinizadores durante todo o ano; b) prover fontes de água para os polinizadores, como poças ou banquinhos de água; c) deixar áreas com cobertura vegetal, como cercas vivas, para que os polinizadores possam se abrigar; d) reduzir o uso de pesticidas, pois muitos deles podem prejudicar a saúde dos polinizadores; e) criar jardins de polinização, com uma variedade de espécies de plantas que atraem polinizadores, como abelhas, mariposas, borboletas e besouros; f) desenvolver programas de educação para conscientizar as pessoas sobre a importância dos polinizadores e como protegê-los.

Ainda segundo o autor, as medidas de proteção dos polinizadores não só protegem seus habitats como favorecem a proteção geral da biodiversidade, o controle natural das pragas e uma melhor qualidade do solo e da água, além do bem-estar por conta de uma melhor paisagem rural.

Em 2011, Ollerton et al. contribuiu de forma significativa para a compreensão da interação entre plantas e polinizadores por meio de um estudo de grande relevância e analisou a polinização de plantas por animais em escala global. De acordo com os autores, cerca de 87,5% das plantas com flores dependem da polinização por algum tipo de polinizador, sendo as florestas tropicais um exemplo notável, com uma dependência de aproximadamente 94%.

Tais constatações destacam a importância crítica dos polinizadores na manutenção da biodiversidade, perpetuação das espécies vegetais e equilíbrio dos ecossistemas. Sendo assim, o desenvolvimento de habitats para polinizadores também pode ajudar a restaurar áreas degradadas e aumentar a resiliência dos ecossistemas. Polinização, não é um serviço específico

para cana, mas sim para seu entorno, bordaduras e integrações de cultura. A criação de habitats favoráveis para esses polinizadores, como a preservação de áreas naturais próximas aos campos de cana-de-açúcar ou a implementação de práticas agrícolas sustentáveis que promovam a biodiversidade, é essencial para garantir a saúde e a sustentabilidade tanto dos ecossistemas como da produção agrícola.

5. EXPERIÊNCIA COMERCIAL EM ALTA ESCALA

Nos dois cenários apresentados a seguir, observa-se uma distinção marcante entre as estratégias adotadas. A Usina São Francisco destaca-se pelo seu posicionamento estratégico desde o início à etapa final da cadeia, incorporando a agricultura regenerativa no seu sistema produtivo, enquanto a Atvos concentra seus esforços no alcance de metas ambientais, compensação de carbono, posicionamento institucional e impacto reputacional, que também são objetivos já alcançados pela Usina São Francisco.

5.1 Sustentabilidade certificada do campo a mesa do consumidor

Há mais de duas décadas, a Usina São Francisco iniciou processos de restauração ecológica nas Áreas de Proteção Permanente e outros ambientes próximos às áreas de plantio de cana-de-açúcar em sistema de produção orgânico, com foco na preservação dos remanescentes. O aumento significativo da biodiversidade ao longo dos anos foi resultado do crescimento da vegetação e da complexidade das áreas restauradas (NATIVE ALIMENTOS, 2023).

Segundo o Grupo Econômico Balbo (2023), detentor da Usina São Francisco, adquirida em 1956 e situada em Sertãozinho/SP, atualmente a sua capacidade de moagem é de 1,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por safra. A planta industrial produz açúcar VHP, açúcar orgânico, etanol hidratado, etanol neutro orgânico e etanol neutro de forma pioneira em escala industrial. A planta opera de forma 100% automatizada. Na safra 22/23, a produção alcançou 90.775,00 toneladas de açúcar, 49.823,31 m³ de etanol, e a geração de 87.749,93 MW/h de energia, em uma área estimada de colheita de 9.941 hectares.

A trajetória da família Balbo no setor teve início em 1903. Na década de 40, foi estabelecida a Usina Santo Antônio (USA). A família realizou aquisições significativas, incorporando a Usina São Francisco (UFRA) e a Usina Santana, ambas localizadas em Sertãozinho, além da Usina Perdigão em Ribeirão Preto. Em 2008, fruto de uma parceria entre o Grupo Balbo e outros conglomerados, foi inaugurada a Usina Uberaba. Todas as unidades são autossuficientes em energia, gerada pela queima do bagaço da cana (CONSECANA, 2023).

Em estudo de caso publicado por Moraes (2011), apesar do sucesso, a mudança na produção não se deu devido ao êxito, mas sim às adversidades enfrentadas, como os altos custos dos insumos agrícolas, as oscilações nos preços internacionais do açúcar e a falta de

regularização do Estado. Leontino Balbo Jr., neto de um dos fundadores do empreendimento, propôs a conversão para a produção orgânica quando assumiu como gerente agrícola, buscando enfrentar o contexto econômico desafiador. A iniciativa de colher a cana *in natura* e abandonar a queimada foi impulsionada por estudos que indicavam redução nos custos com a mecanização da colheita. O Grupo investiu em pesquisa e parcerias internacionais, resultando na criação de uma máquina pela Santal em 1989, capaz de colher, cortar e depositar a cana, ao mesmo tempo em que espalhava as folhas sobre o solo para preservar a umidade. O sucesso da transição para a produção orgânica na Usina São Francisco atraiu o mercado externo. Diante do significativo investimento em inovação e nas medidas adotadas em todas as etapas da produção de açúcar e álcool em uma das principais usinas, o grupo sentiu a necessidade de criar uma marca para comunicar a diferenciação de seus produtos orgânicos ao mercado: a Native.

Ainda de acordo com o Grupo Econômico Balbo (2023), em 1986 iniciaram um plano de reflorestamento dedicado a espécies nativas, com propósito central na formação de áreas de biodiversidade integradas às zonas de cultivo, a salvaguarda dos recursos hídricos e a promoção de ambientes propícios à proliferação segura da vida selvagem. Eles foram precursores nessa iniciativa, participando ativamente na comercialização de créditos de carbono em 2002. Neste ano, as emissões de gases causadores do efeito estufa, provenientes de suas atividades, foram completamente compensadas por meio de créditos de carbono, decorrentes do uso de combustíveis renováveis e da geração de energia elétrica. A trajetória de êxito teve início em 1987 com a implementação do Projeto Cana Verde, um empreendimento que demandou um aporte inicial de US\$ 25 milhões. Essa iniciativa transformadora revolucionou os métodos de produção canavieira, abrangendo desde a preparação do solo até o desenvolvimento de embalagens exclusivas para a comercialização dos produtos.

Ao superar o desafio de realizar uma produção em larga escala sem recorrer a insumos químicos sintéticos e adotar a reutilização dos nutrientes gerados no processo produtivo, a marca Native foi lançada em março de 2000. Rapidamente, ela se consolidou como uma referência no mercado de orgânicos. Atualmente, com presença em cerca de 60 países, abrangendo todos os continentes, a empresa possui uma infraestrutura completa para atender aos mercados nacional e internacional e é reconhecida como a maior produtora global de açúcar e álcool orgânicos (GRUPO ECONÔMICO BALBO, 2023).

O Projeto Cana Verde da Usina São Francisco incorpora práticas agronômicas inovadoras e adota uma abordagem diferenciada, fundamentada em diretrizes da agricultura orgânica. Seu principal objetivo era criar um sistema de produção, colheita e processamento de

cana-de-açúcar mais sustentável, distanciando-se das práticas convencionais do setor. Essa abordagem pioneira resultou na obtenção do certificado de produtor orgânico já em 1997. O manejo dos recursos naturais nas áreas de cultivo envolve uma série de medidas integradas, visando a sustentabilidade ambiental, conservação e regeneração dos recursos naturais (JÚNIOR et al., 2013).

Ainda segundo os autores, o conjunto de iniciativas abrange diversas ações, como a preparação do solo e adoção do plantio direto de cana, tratos culturais que eliminam por completo a queimada, manejo integrado da estrutura física do solo, reciclagem de efluentes orgânicos, rotação de culturas (como a leguminosa crotalária) e o manejo integrado da nutrição do solo, além da produção de mudas e a colheita da cana crua. Outras práticas incluem a cobertura do solo com material orgânico, controle biológico (manejo integrado de pragas, patógenos e plantas espontâneas), um programa de reflorestamento e preservação da vida selvagem. A incorporação de fontes alternativas de energia, a conservação da natureza e o compromisso com a qualidade dos alimentos completam esse amplo conjunto de medidas sustentáveis.

Como visto anteriormente neste trabalho, a introdução dessas práticas realizadas pela Usina São Francisco tem diversos benefícios, como o manejo do solo, que ao favorecer o aumento da biodiversidade, desencadeia uma série de efeitos positivos, tornando-se um catalisador para diversos serviços ecossistêmicos. Este processo contribui para o incremento do carbono no solo, promovendo maior fertilidade e fortalecendo as interações na cadeia de nutrientes, sendo uma importante alternativa para mitigação das mudanças climáticas. Além disso, a promoção de sistemas radiculares mais saudáveis e profundos resulta em benefícios como a conservação da água e a umidade no sistema produtivo. Vale destacar que esse manejo ecológico não apenas gera benefícios ambientais, mas também tem impactos socioeconômicos positivos, criando nichos de mercado onde os produtos são vendidos.

De acordo com Miranda et al. (2013), um estudo de longo prazo fez o monitoramento da biodiversidade de vertebrados terrestres nestas fazendas de cana-de-açúcar na região de Ribeirão Preto, no estado de São Paulo. A área de estudo incluiu várias fazendas com um total de 7.868 hectares, sendo cerca de 80% de cana-de-açúcar. Ao analisar a diversidade de vertebrados selvagens em uma propriedade de cultivo de cana-de-açúcar e nos ambientes adjacentes relacionados ao manejo ecológico, o estudo prestou atenção especial às espécies de vertebrados selvagens consideradas em risco ou ameaçadas de extinção no estado de São Paulo.

Foram utilizados diferentes métodos ao longo dos anos para o monitoramento, incluindo observação e registro visual e auditivo, busca com veículo, encontros ocasionais e armadilhas fotográficas. Esses métodos combinados foram aplicados nas áreas que cortavam e cercavam os ambientes disponíveis para a fauna selvagem nas áreas agrícolas da Usina São Francisco e arredores, durante todos os períodos do dia. Dada a variabilidade das condições ecológicas ao longo das diferentes estações do ano, foram realizadas campanhas regulares para monitorar a fauna de vertebrados terrestres ao longo dos anos, entre 2002 e 2013, em diferentes ambientes no canavial e entorno das áreas produtivas e industriais, como, por exemplo, matas nativas, várzeas, campos, valetas de drenagem, entre outros (MIRANDA et al., 2013)

Como resultado da amostragem deste estudo, foram registradas e identificadas 340 espécies de vertebrados selvagens (27 anfíbios, 25 répteis, 246 aves e 42 mamíferos), das quais 49 espécies são consideradas em risco ou ameaçadas de extinção no estado de São Paulo. Exemplos dessas espécies ameaçadas incluem onça-parda, jaguatirica, lobo-guará, veado-mateiro, tamanduá-bandeira, entre outros. Cerca de cem espécies de vertebrados selvagens foram registradas dentro dos canaviais, o que se deve ao fato de que a colheita é feita sem queimadas, sendo colhida crua e sem a utilização de agroquímicos, entre outros fatores relacionados ao cultivo orgânico e ao manejo ecológico. Além disso, após a colheita, uma biomassa vegetal de cerca de 20 toneladas por hectare/ano permanece no solo e é decomposta. Estes decompositores formam a base da cadeia alimentar e fornecem recursos alimentares para vários vertebrados.

O incremento notável da biodiversidade ao longo do tempo é resultado da expansão espacial da flora e da estrutura da vegetação recuperada nas Áreas de Preservação Permanente (APPs). Estas áreas encontram-se distribuídas ao longo dos cursos d'água, nos trechos remanescentes de floresta nativa ou nas áreas implantadas com o objetivo de conectar diferentes tipos de ambientes naturais. Os métodos de agricultura orgânica, sob gestão ecológica, já demonstram sua colaboração efetiva com as Políticas Públicas voltadas para a conservação. Esses resultados iniciais evidenciam interações progressivamente mais harmoniosas entre a preservação da fauna silvestre e os sistemas de produção (MIRANDA et al., 2013).

As espécies registradas servem como indicadores ecológicos da qualidade dos recursos naturais nesse sistema agrícola. A continuidade das práticas adotadas pela Usina São Francisco é fundamental para a conservação da biodiversidade. Atualmente, cerca de 16% dos canaviais estão em formação anualmente e não são colhidos, desempenhando um papel importante como refúgio para a fauna durante o período de manejo e corte do canavial. A diversidade biológica

encontrada nos canaviais analisados é 23 vezes maior do que a encontrada em canaviais convencionais na mesma região. Durante a pesquisa, diversas espécies novas foram observadas, indicando um estabelecimento bem-sucedido das populações de fauna (MIRANDA et al., 2013).

Em agroecossistemas, as perturbações frequentes e intensas prejudicam a manutenção da diversidade, enfraquecendo as interações entre espécies e causando instabilidade ecológica. Apesar disso, é possível gerenciar eficientemente as complexas interações. O sistema analisado, com práticas distintas, está em conformidade com legislações de produção orgânica, diferindo dos métodos convencionais marcados por degradação ambiental, tornando-se mais sustentável em vários aspectos (JÚNIOR et al., 2013). Este modelo demonstra a viabilidade da produção em larga escala de cana-de-açúcar com estratégias regenerativas adaptadas, preservando eficazmente a fauna e flora associadas, resultando em uma produção responsável e mais sustentável em todos os âmbitos.

O conjunto dessas iniciativas fez com que a Native conquistasse a posição de ser a primeira empresa alimentícia no Brasil a obter a certificação internacional ROC - Regenerative Organic Certified®. Esta certificação, estabelecida em 2017, valida organizações atuantes nos setores de alimentos, têxteis e matérias-primas, reconhecendo seu compromisso com a sustentabilidade, considerando a saúde do solo, bem-estar animal e dignidade para o trabalhador rural, ao produzir e simultaneamente se dedicar à regeneração da natureza (NATIVE ALIMENTOS, 2023).

5.2 Regeneração florestal: trazendo mais biodiversidade para o sistema produtivo

Um exemplo de participação de todos os setores em um projeto de recuperação de paisagens florestais é o caso do Instituto de Pesquisas Ecológicas (IPÊ) no Pontal do Paranapanema, estado de São Paulo, onde houve uma evolução ao longo de 35 anos das ações que converteram um projeto de pesquisa inicialmente direcionado à conservação para um grande empreendimento de restauração em larga escala, produzindo diversos impactos sociais e ecológicos. O projeto teve início na ecologia da conservação do mico-leão-preto (*Leontopithecus chrysopygus*) e passou por transformações diante dos desafios que foram enfrentados ao longo do percurso. Diante das dificuldades, o escopo do projeto foi se expandindo para participação em programas e envolvimento com a comunidade. Essas

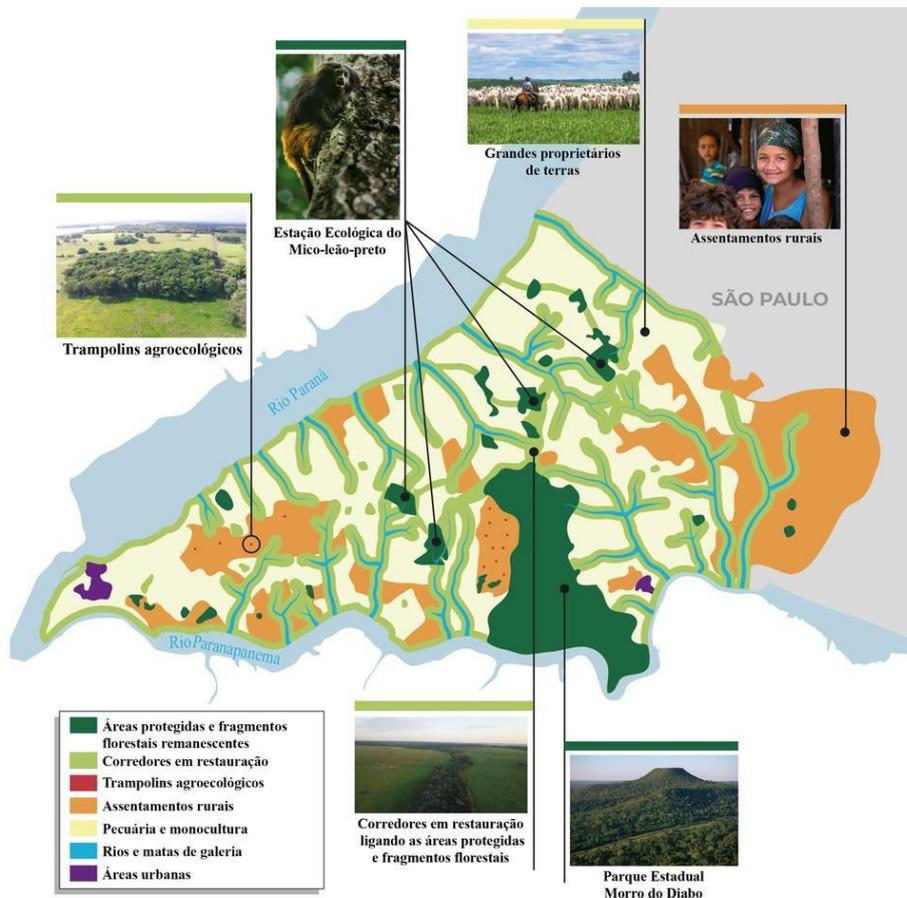
mudanças resultaram em novas oportunidades e impactos socioambientais mais abrangentes (PADUA, 2010).

Esse processo demanda tempo e envolvimento ativo da comunidade e instituições, permitindo que as pessoas se integrem harmoniosamente à paisagem, compartilhando espaços com fragmentos florestais e animais selvagens. Empresas internacionais e organizações estão envolvidas em projetos de créditos de compensação de carbono, convertendo pastagens em florestas para absorver carbono e cumprir compromissos climáticos. Os corredores reflorestados neutralizam as emissões de carbono equivalente na atmosfera ao se comparar com a paisagem inicial das pastagens locais - onde a restauração é realizada. Os deslocamentos de vida selvagem foram registrados usando armadilhas fotográficas dentro desses corredores (CHAZDON et al., 2020).

Neste sentido, houve o envolvimento da Usina Atvos, uma das maiores produtoras de etanol do país, que em parceria com o IPÊ trabalharam juntos para preservar o meio ambiente. A organização está presente nos estados de São Paulo, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, somando oito unidades agroindustriais. Uma delas é a Unidade Conquista do Pontal, localizada no Pontal do Paranapanema, que produz etanol e opera a maior fábrica de açúcar da empresa, e seus canais fazem interface com o projeto do IPÊ. No ano de 2022, plantaram-se 279 mil mudas da Mata Atlântica no projeto de Corredor Ecológico na região do Pontal do Paranapanema, o maior empreendimento desse tipo de parceria entre primeiro e terceiro setor no interior de São Paulo, em uma área de 181 hectares.

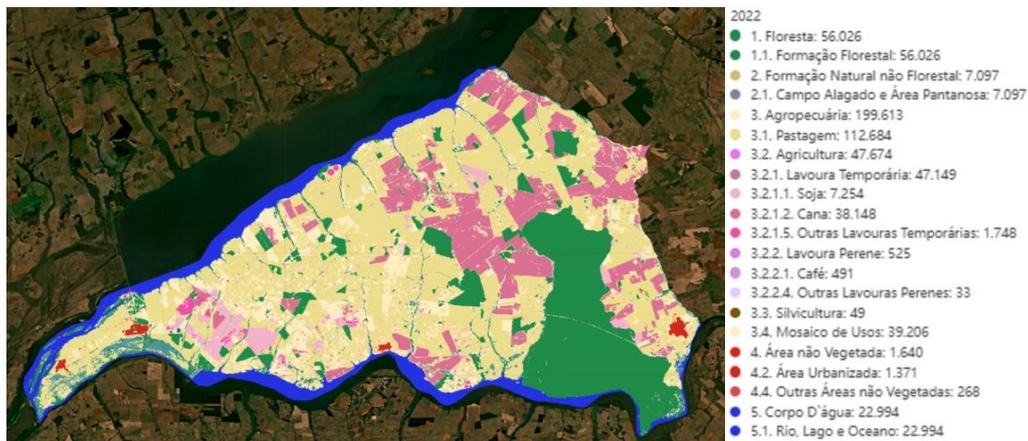
O modelo desenvolvido pelo IPÊ para planejamento do reflorestamento da Mata Atlântica em larga escala ganhou um meio visual desenvolvido ao longo de 10 anos: o Mapa dos Sonhos. Neste mapa conceitual (figura 12) constam dados sobre o uso da terra na região, como propriedades rurais, remanescentes florestais existentes, assentamentos rurais etc. O mapa representa uma estratégia de planejamento de paisagem desenvolvida pelo IPÊ e discutida com diversos atores envolvidos na região, visando maximizar esforços na definição de locais estratégicos para o plantio de árvores. Isso facilita a compreensão, aceitação e engajamento social em questões ambientais, guiando a criação do maior sistema de corredores de reflorestamento do Brasil, que conecta a Estação Ecológica do Mico-leão-preto e o Parque Estadual Morro do Diabo (CHAZDON et al., 2020). Com base no mapa dos sonhos, é possível ver que grande parte do uso do solo da área é da pecuária e da monocultura, sendo a cana-de-açúcar uma delas, e, portanto, ressalta-se a importância do envolvimento de todos os setores, como é o caso da usina sucroenergética Unidade Conquista do Pontal da Atvos.

Figura 12 - Mapa dos Sonhos do IPÊ



Fonte: IPE (2023).

Figura 13 - Gráfico da ocupação e uso do solo região do Pontal do Paranapanema



Fonte: Adaptado de MapBiomias, 2022.

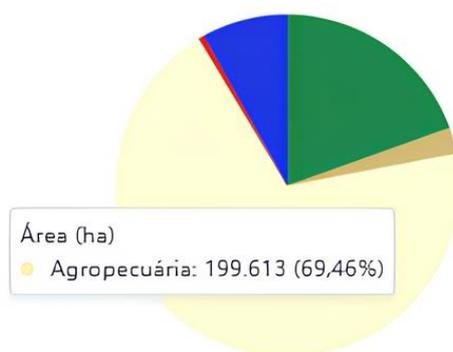
Tabela 2: Área em hectares por classes de ocupação em 2022

Classes	Área (ha)
1. Floresta	56.026
2. Formação Natural não Florestal	7.097
3. Agropecuária	199.613
4. Área não Vegetada	1.640
5. Corpo D'água	22.994
Total	287.370
Cana-de-açúcar	38.148
Área total de cana	13,27%
Área de cana na agropecuária	19,11%

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do MapBiomias (2022).

Com base na interpretação das figuras e tabelas acima com dados do MapBiomias (2022), observa-se que a área de cana-de-açúcar que faz interface com o mapa dos sonhos do IPÊ é de 38.148 hectares, 13,27% do total da área, representando 19,11% do total da área coberta por agropecuária. A agropecuária representa 69,46% de toda a área, conforme gráfico abaixo.

Figura 14 - Gráfico da agropecuária da região do Pontal do Paranapanema



Fonte: MapBiomias, 2022.

Segundo a Atvos (2021), o projeto que faz parte do Mapa dos Sonhos delinea regiões estratégicas para o plantio de árvores, visando restabelecer a conectividade entre as florestas e

proteger espécies ameaçadas de extinção, como o mico-leão-preto e a anta brasileira. A usina investiu R\$2 milhões em mudas de árvores nativas para apoiar na criação dos corredores ecológicos. A participação da usina também conta com a disponibilização de 619 hectares para esse reflorestamento, que será transformado em área de conservação para integrar a Estação Ecológica Mico-leão-preto.

Neste caso do Pontal, a transformação fundamental ocorreu ao perceber que a ação conservacionista para o mico-leão-preto deveria abranger toda a paisagem. Isso incluía a proteção da espécie no Parque Estadual Morro do Diabo, mas também o trabalho fora do parque, para criar corredores ecológicos conectando fragmentos florestais. Em áreas fora do parque, a participação dos agricultores e comunidades tornou-se crucial na formação desses corredores. O programa, voltado para fornecer educação ambiental à população da região, teve êxito ao despertar a conscientização ambiental nas pessoas. Além disso, buscou criar alternativas sustentáveis de subsistência para pequenos proprietários de terras, incluindo treinamento em estabelecimento de viveiros, métodos de plantio, sistemas agroflorestais e artesanato. O Instituto IPÊ, uma das maiores ONGs ambientais no Brasil, surgiu como resultado desse processo, trazendo benefícios para a natureza, incluindo os humanos. O sucesso desse modelo está profundamente vinculado ao envolvimento contínuo a longo prazo, sendo um exemplo de referência global na transformação bem-sucedida e duradoura de um programa de restauração florestal e de paisagens. Este caso evidencia como a partilha de terras e a recuperação das funções florestais dentro de uma matriz agrícola originaram novas perspectivas para a comunidade e para o meio ambiente (CHAZDON et al., 2020).

Com o programa, os comunitários adquiriram conhecimentos sobre a identificação e delimitação de árvores que produzem sementes, além da elaboração de programas para coleta e preservação dessas sementes de forma adequada para fomentar os viveiros (CULLEN et al., 2005). A geração de aproximadamente US\$ 367.000 de renda local entre 2016 e 2019, proveniente de acordos de produção com associações locais e famílias responsáveis pelas operações dos viveiros, possibilitou que as comunidades locais obtivessem mais renda e desenvolvessem capacidade para criar novos meios de subsistência, além de ampliar a conscientização sobre o manejo ambiental de fragmentos florestais e florestas ripárias, diminuindo também a utilização de pesticidas químicos. Todos esses aspectos contribuíram para a preservação do parque e dos fragmentos que compõem a Estação Ecológica do Mico-leão-preto (CHAZDON et al., 2020).

Parte da transformação foi a implantação de sistemas agroflorestais em produtores rurais locais e comunidades de assentamentos. Esses sistemas agroflorestais fomentam saberes tradicionais locais, adaptando-se às mudanças nos mercados regionais. Eles funcionam também como ilhas ao longo de corredores que conectam fragmentos florestais ao parque, beneficiando a vida selvagem e permitindo a movimentação dos animais entre a paisagem. O desenho dos sistemas, planejado para facilitar o movimento da fauna, inclui ilhas agroflorestais baseadas na produção de café orgânico. Cada plantação, formando pequenos pomares, contribui para a geração de renda e serve como *stepping stones* natural para a fauna. Os *stepping stones* funcionam como abrigos de passagem na paisagem, permitindo que aves e insetos se movimentem nas áreas entre fragmentos florestais e o Parque. As famílias comprometeram-se a adotar práticas orgânicas, cultivando alimentos de subsistência entre árvores e cafezais à sombra (CHAZDON et al., 2020). Foi constatado que essas áreas agroflorestais no Pontal fornecem recursos importantes para aves frugívoras, como tucanos e araras (GOULART et al., 2011).

O plano inicial concentrou-se na criação de corredores de reflorestamento mapeados com base nos movimentos da vida selvagem ameaçada, incluindo onças, antas e os micos-leões-pretos endêmicos da região. Essas evidências destacaram a importância de aumentar a conexão da paisagem para a conservação dessas espécies. A implementação do plano, que envolveu o plantio anual de 200 hectares de corredores usando uma mistura de 100 espécies nativas, começou em 2010. Mais de 40.000 hectares de terra foram reflorestados, conectando fragmentos isolados de floresta e proporcionando sustento para mais de 1000 famílias. Essa iniciativa, cobrindo 1300 hectares de terras privadas com o plantio de 3 milhões de árvores (figura 9), já está facilitando o deslocamento da vida selvagem ameaçada entre zonas centrais de floresta (CHAZDON et al., 2020). Também há um projeto de regeneração natural assistida em uma área de 200 hectares, proporcionando sustentabilidade econômica para comunidades locais por meio de atividades como o controle de plantas invasoras, formigas cortadeiras e cercamento. Essa abordagem menos intensiva e mais econômica inclui 50 espécies de regeneração natural, sendo 14 delas não plantadas ativamente (BADARI et al., 2020)

Ainda segundo os autores, as lições aprendidas destacam a viabilidade do planejamento de paisagens em escala regional com a participação ativa das comunidades locais. A sinergia entre moradores, suas propriedades e autoridades públicas, como o Ministério Público, é fundamental para o sucesso desse processo. Além disso, a promoção da agroecologia, gestão adaptativa e políticas adequadas desempenha um papel crucial na integração de indivíduos e

grupos para priorizar medidas benéficas tanto para a vida humana quanto para a selvagem, contribuindo para reduzir a pressão sobre a fauna e flora em fragmentos florestais.

Diante disso, percebe-se que os programas abrangentes e contínuos de educação comunitária, com o envolvimento de pesquisadores comprometidos, desempenham um papel crucial ao auxiliar agricultores, organizações privadas e o público em geral a compreender o valor da conservação da biodiversidade e o potencial da agrofloresta para aprimorar sua qualidade de vida.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada sinaliza um bom potencial da agricultura regenerativa para a produção de cana-de-açúcar, com destaque para a mitigação das mudanças climáticas, saúde do solo, otimização da gestão de recursos, ciclo de nutrientes, bem como da qualidade e disponibilidade de água, contribuindo para a produção de alimentos com segurança alimentar, a manutenção de serviços ecossistêmicos, e pode ajudar o país a manter seu posto em relação à produtividade, com o potencial de ser mais vantajoso financeiramente e para o meio ambiente. Essas práticas aumentam a resiliência frente a eventos climáticos extremos e pragas agrícolas.

As condições edafoclimáticas propícias para o cultivo da cana-de-açúcar posicionaram o Brasil como o principal produtor global dessa cultura e o segundo maior em termos de produção de etanol. A cana-de-açúcar é uma cultura que permite práticas agrícolas e industriais sustentáveis, com aproveitamento de praticamente toda a matéria-prima, como a geração de energia limpa a partir dos resíduos (bagaço e vinhaça), e aproveitamento da vinhaça como biofertilizante no canavial, ou seja, as características da cana-de-açúcar permitem um meio de produção baseado na economia circular.

Esta pesquisa abordou o potencial da agricultura regenerativa, investigando tanto em escala de fazenda quanto em escala industrial singular, destacando projetos de 9.941 hectares e 38.148 hectares, respectivamente. No entanto, é crucial que futuras investigações expandam sua abordagem para contemplar escalas regional, nacional e global, visando compreender mais profundamente o impacto e as oportunidades dessa prática agrícola inovadora em diferentes ecorregiões. A transição para métodos agrícolas regenerativos muitas vezes requer investimentos iniciais substanciais, como mudanças na infraestrutura e na aquisição de novas tecnologias. Devido a carência de avaliações e dados econômicos sobre a produção de cana regenerativa, a avaliação de rentabilidade econômica merece ser melhor aprofundada em futuros trabalhos.

A possibilidade de se trabalhar em uma economia circular dentro da usina gera renda e benefícios ao meio ambiente. Quando circulam os subprodutos, o sistema torna-se altamente regenerativo e lucrativo por conta da não necessidade de insumos externos. Práticas como controle biológico tem potencial de viabilizar outras práticas como o plantio direto. Conclui-se também que essas práticas são vistas como uma alternativa mais sustentável à agricultura convencional, que é frequentemente criticada por sua dependência excessiva de insumos químicos, erosão do solo e impacto negativo na biodiversidade. Ao promover a integridade

ecológica e a produção agrícola saudável, a agricultura regenerativa ajuda a garantir a sustentabilidade da produção agrícola a longo prazo. Os benefícios da agricultura regenerativa transcendem às questões agrícolas ambientais importantes, como a criação de elementos paisagísticos e habitats para a fauna e flora. Os ecossistemas naturais, como florestas, rios, pântano e oceanos desempenham um papel fundamental na produção e no fornecimento de recursos naturais e serviços ecossistêmicos essenciais. Em vez de se concentrar apenas na maximização da produção agrícola, a agricultura regenerativa promove a integridade ecológica, a produção de alimentos saudáveis e o bem-estar dos agricultores e da comunidade.

É necessário investir em ciência para aprimorar o controle biológico, pois a implementação de métodos mais eficazes e sustentáveis de controle de pragas e doenças pode contribuir significativamente para o aumento da produtividade e a redução do uso de pesticidas. Além disso, o impacto socioeconômico da produção, incluindo emprego e distribuição de renda, deve ser objeto de estudo para garantir responsabilidade social e é um fator importante, que não foi o foco principal desta pesquisa e deve ter sua devida atenção, incluindo a gestão da mão de obra com foco na otimização das condições de trabalho e eficiência laboral. A frequência de implementação das práticas regenerativas em campo no atual cenário do setor e se estão sendo aplicadas na mesma área não foi abordada neste trabalho, e podem ser uma oportunidade de pesquisa. Dentre as práticas, a agrofloresta destaca-se como uma oportunidade promissora de novas pesquisas por ser uma alternativa para que a cana-de-açúcar se beneficie no contexto de temperaturas extremas, estudos sobre a sistematização de talhões de cana com árvores em aleias devem ser incentivados. Essas áreas oferecem oportunidades significativas para pesquisas futuras, visando melhorar a sustentabilidade e eficiência na produção.

Diante do caso do IPÊ no Pontal do Paranapanema, percebe-se que os programas abrangentes e contínuos de educação comunitária, com o envolvimento de pesquisadores comprometidos, desempenham um papel crucial ao auxiliar agricultores e o público em geral a compreender o valor da conservação e o potencial da agrofloresta para aprimorar sua qualidade de vida. Já o caso da Usina São Francisco evidencia que a agricultura regenerativa é um instrumento efetivo em um processo de transição para modelos mais sustentáveis e que minimiza impactos socioambientais negativos e passa a olhar para o agroecossistema como um todo. Porém, mesmo nos dias de hoje, ainda é necessário entender a verdadeira importância do papel dos agroecossistemas para a manutenção da vida terrestre.

Muitos habitats estão sendo destruídos ou danificados devido às atividades humanas. Isso leva à perda de espécies, redução da biodiversidade e mudanças climáticas. A restauração

de habitats naturais ajuda a reverter esses impactos negativos e aumentar a resiliência dos ecossistemas para lidar com os desafios futuros. Corredores ecológicos são importantes para a conservação da biodiversidade, pois eles conectam áreas naturais fragmentadas, permitindo a movimentação de animais e a dispersão de sementes, mitigando os efeitos negativos da fragmentação de habitats, como a perda de diversidade genética e o aumento da vulnerabilidade de populações isoladas. Sendo assim, proporcionam serviços ecossistêmicos, como a regulação do clima e do fluxo de água, além de benefícios recreativos e educacionais para as comunidades locais.

Diante disso, uma abordagem sugerida para mudar o foco é passar a olhar o agroecossistema de forma holística, regenerativa, e não apenas a área de cultivo de forma isolada.

7. REFERÊNCIAS

ANSELMINI, R. **Alta de fertilizantes abre canal à vinhaça**. Jornalcana - Tecnologia Agrícola. Ed.4. Campinas, 2008.

AQUINO, G. S. de, Santos, J. G. S. dos, Diniz, T. G., Medina, C. de C., Rosseto, R., & Moreira, A. **Desenvolvimento de mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar sob diferentes quantidades de torta de filtro e modos de aplicação**. *Semina: Ciências Agrárias*, 39(5), 1899–1908, 2018.

ARF, O.; MEIRELES, F.; PORTUGAL, J.; BUZETTI, S.; SÁ, M.; RODRIGUES, R. **Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na produtividade em sistema plantio direto**. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.17, n.3, p. 431-444, 2018.

ATVOS. **Corredor Ecológico de Mata Atlântica na região do Pontal do Paranapanema ganhará mais 118 mil mudas até 2022**. 2021. Disponível em: <https://atvos.com/corredor-ecologico-de-mata-atlantica-na-regiao-do-pontal-do-paranapanema-ganhara-mais-118-mil-mudas-ate-2022/>. Acesso em: 14 fev. 2023.

BADARI, C.G., BERNARDINI, L.E., DE ALMEIDA, D.R., BRANCALION, P.H., CESAR, R.G., GUTIERREZ, V., CHAZDON, R.L., GOMES, H.B., VIANI, R.A. **Ecological outcomes of agroforests and restoration 15 years after planting**. *Restoration Ecol.* 28, 1135–1144. 2020.

BARBOSA, A. de M. **Manejo varietal em cana-de-açúcar**. 2019. Disponível em: <https://alexandriusmb.blogspot.com/2019/02/manejo-varietal-em-cana-de-acucar.html>. Acesso em: 14 fev. 2023.

BARCELOS, J.E.T. **MEIOSI – Cana e alimentos- Método Inter-rotacional ocorrendo simultaneamente**. *Saccharum*, v.31, p.10-18, 1984.

BAYER, C.; MARTIN, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. **Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto**. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.7, p.677-683. 2004.

BISC - BENCHMARK DO INVESTIMENTO SOCIAL CORPORATIVO. **Relatório 2020**. Comunistas, São Paulo. 2020. Disponível em: <<https://bisc.org.br/conteudo-dados/>>. Acesso em: 20 out. 2022.

BOERINGA, R. **Alternative methods of agriculture. Agriculture and environment (Special Issue)**. Wageningen: Elsevier Scientific Publishing Company, v. 5, 1980

BOLONHEZI, D.; PEREIRA, J. C. V. N. A. **Plantio direto na Alta Mogiana**. *O Agrônomo*, Campinas, v. 51, p. 12-15, 1999.

BORDONAL, R. A. et al. **Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review**. Volume 38, article number 13, 2018. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-018-0490-x>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

BOSSLER, D. B. **Sistema Meiosi na produção de mudas de cana-de-açúcar**. *Administração, Ciências Agrárias*, 2023. Disponível em: <<https://revistaft.com.br/sistema-meiosi-na-producao-de-mudas-de-cana-de-acucar/>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira: exercício de 2018**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2019.

CALIFORNIA STATE UNIVERSITY. **What is Regenerative Agriculture?**. Regenerative Agriculture Initiative, The Carbon Underground, 2017. Disponível em: <<https://2igmzc48tf4q88z3o24qjfl8-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/02/Regen-AgDefinition-2.23.17-1.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Manual técnico de plantio de cana-de-açúcar em MEIOSI (Método Interrotacional Ocorrendo Simultaneamente)**. 2019.

Disponível em: <https://ctc.com.br/produtos/wp-content/uploads/2018/09/Manual-de-Boas-Pr%C3%A1ticas-Meiosi-FEV2019- V5.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2023.

CEPAL/FES (Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe)/(Fundação Friedrich Ebert Stiftung). **Big Push Ambiental: Investimentos coordenados para um estilo de desenvolvimento sustentável**. Perspectivas, N.20, (LC/BRS/TS.2019/1 e LC/TS.2019/14), São Paulo, 2019.

CHAZDON, R.L., CULLEN, Jr. L., PADUA, S.M., PADUA, C.V. **People, primates and predators in the Pontal: from endangered species conservation to forest and landscape restoration in Brazil's Atlantic Forest**. 2020.

CHRISTOFFOLETI, P. J., DE CARVALHO, S. J. P., LÓPEZ-OVEJERO, R. F., NICOLAI, M., HIDALGO, E., DA SILVA, J. E. **Conservation of natural resources in Brazilian agriculture: implication on weed biology and management**. Crop Protection, v. 26, p. 383-389. 2007.

CHRISTOFFOLETTI, C. A., ESCHER, J. P., CORREIA, J. E., MARINHO, J. F. U., FONTANETTI, C. S. **Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use**. Waste Management, Volume 33, Issue 12, Pages 2752-2761, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1300408X>>. Acesso em 14 fev. 2023.

COELHO, Ana Moraes. **Produtos Orgânicos Como Segmento De Mercado: Análise Do Cenário E Contribuições Para Sua Expansão Como Negócio Sustentável**. Escola Superior De Conservação Ambiental E Sustentabilidade - Ipê, Nazaré Paulista, 2011.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da Safra de Cana-de-Açúcar, Safra 2020/2021**, v. 7, n. 2, 2020.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar**. 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da safra de cana-de-açúcar**. Safra 2023/2024. 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em 14 fev. 2023.

COSTA, Ana Alexandra Vilela Marta Rio. **Agricultura sustentável I: conceitos**. Revista de Ciências Agrárias, v. 33, n. 2, p. 61-74, 2010. Disponível em: <<https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/15872/13812> . Acesso em: 14 fev. 2023.

COSTANZA, R., D'ARGE, R., GROST, R., NAEEM, S., O'NELL, R.V., PARUELO, J., RASQUIN, R.G., SUTTON, P., BELT, M.D.V. **The value of the world's ecosystems services and natural capital**. Nature. 387: 253-260, 2007.

CULLEN, Jr. L., ALGER, K., RAMBALDI, D.M. **Land reform and biodiversity conservation in Brazil in the 1990s: conflict and the articulation of mutual interests**. Conserv. Biol. 19, 747–755. 2005.

DE MEDEIROS, Marcos Barros; DA SILVA LOPES, Juliano. **Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola**. Bahia Agrícola. Salvador, v. 7, 2006.

DUARTE JÚNIOR, J. B.; COELHO, F. C. **Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto**. Bragantia, v. 67, p. 723–732, 2008.

EHLERS, Eduardo. **O que é agricultura sustentável**. São Paulo: Brasiliense, 2017.

EHLERS, Eduardo. **A Agricultura Alternativa: Uma Visão Histórica**. Est. Econ., São Paulo, v. 24, p. 231-262, 1994.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Agricultura orgânica e agroecologia: questões conceituais e processo de conversão**. Renato Linhares de Assis. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Área de Reserva Legal (ARL)**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/area-de-reserva-legal-arl>. Acesso em: 10 fev. 2024..

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz Energética e Elétrica**. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#:~:text=A%20matriz%20el%C3%A9trica%20brasileira%20%C3%A9,em%20sua%20maior%20parte%2C%20renov%C3%A1vel>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

FERRAZ, J. M. G et al. **Certificação Socioambiental do setor sucroalcooleiro**. 1999. Disponível em : <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/149961/1/2008OL-09.pdf>>. Acesso em 14 fev. 2023.

FERRETTI, A. R. **Fundamentos ecológicos para o planejamento da restauração florestal. A restauração da mata atlântica em áreas de sua primitiva ocorrência natural**. Colombo: Embrapa Florestas, p. 21-26, 2002.

FILHO, A. BATISTA et al. **Eficiência de isolados de Metarhizium anisopliae no controle de cigarrinha-da-raiz da cana-de-açúcar Mahanarva fimbriolata (Hom.: Cercopidae)**. Arq. Inst. Biol., São Paulo, v. 70, n. 3, p. 309-314, 2003.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO - FAPESP. **Brasil líder mundial em conhecimento e tecnologia de cana e etanol**. 2007. Disponível em: https://fapesp.br/publicacoes/livro_etanol.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.

GOLDEMBERG, J.; Coelho, S. T., & GUARDABASSI, P. **The sustainability of ethanol production from sugarcane**. Energy Policy, 36, 86-97, 2008.

GOULART, F.F., VANDERMEER, J., PERFECTO, I., DA MATTA-MACHADO, R.P. **Frugivory by five bird species in agroforest home gardens of Pontal do Paranapanema, Brazil**. Agroforestry syst. 82, 239. 2011.

GRAVENA, S. **Controle biológico no manejo integrado de pragas**. Pesq. Agrop. Bras., Brasília, 27, 1992. Disponível em : <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/20662/1/pab24_abresp_92.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2023.

GRUPO ECONÔMICO BALBO. **Native**. 2023. Disponível em: <https://www.canaverde.com.br/native/>. Acesso em: 14 fev. 2023.

GRUPO ECONÔMICO BALBO. **Sustentabilidade**. 2023. Disponível em: <https://www.canaverde.com.br/responsabilidade-social-2-2/>. Acesso em: 14 fev. 2023.

GRUPO ECONÔMICO BALBO. **Usina São Francisco**. 2023. Disponível em: <https://www.canaverde.com.br/ufra-usina-sao-francisco/>. Acesso em: 14 fev. 2023.

GUIMARAES, G. et al. **Produção de cana-de-açúcar adubada com cama de frango**. 2016. Disponível em : <<https://www.scielo.br/j/rbspa/a/8f7t4HhkkH8XnGvLTxLHzvw/>>. Acesso em 14 fev. 2014.

IEA – INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Alta na Produção e nas Exportações de Açúcar Marca a Safra 2020/21 de Cana**. Governo do Estado de São Paulo, 2021. Disponível em:

<<http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20maior,de%20litros%20de%20etanol1.>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

INSTITUTO DE PESQUISAS ECOLÓGICAS (IPÊ). **Corredores da Mata Atlântica**. 2023. Disponível em: <<https://ipe.org.br/corredores-da-mata-atlantica/>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

IPE. **Transformando o Mapa dos Sonhos em realidade: trabalho apresentado no Congresso Mundial IUCN**. 2023. Disponível em: <https://ipe.org.br/noticias/transformando-o-mapa-dos-sonhos-em-realidade-trabalho-apresentado-no-congresso-mundial-iucn/>. Acesso em: 14 fev. 2023.

JORNAL DA CANA. **Semente sintética promete mudar dinâmica do plantio de cana**. 2023. Disponível em: <https://jornalcana.com.br/semente-sintetica-promete-mudar-dinamica-do-plantio-de-cana/>. Acesso em: 14 fev. 2023.

JUNIOR, J. D. G dos S. et al. **Sistema Plantio Direto de Cana-de-Açúcar no Cerrado**. Embrapa. Planaltina, DF, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131276/1/cirtec-30.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2023.

LAIME, E..M.O., FERNANDES, P.D., OLIVEIRA, D.C.S., FREIRE, E.A. **Possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça: uma revisão**. R. Trop. Ci. Agr. Biol. 5, 16–29. 2011. Disponível em: <https://cajapio.ufma.br/index.php/ccaatropica/article/view/260>. Acesso em 14 fev. 2023.

LAL, R. **Regenerative agriculture for food and climate**. Journal of Soil and Water Conservation September 2020, 75 (5) 123A-124A, 2020. Disponível em: <https://www.jswconline.org/content/75/5/123A.full>. Acesso em: 14 fev. 2023.

LEEUWEN, Johannes van. **Sistemas agroflorestais: Capítulo 2c: Doutrinas Agroflorestais: Enst Götsch e outros**. Capítulo 2c, 2013. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/39085/1/2c%20Doutrinas%20agroflorestais%20Ernst%20G%C3%B6tsch%20etc.pdf>. Acesso em 14 fev. 2023.

LUTZENBERGER, J. A. **O absurdo da agricultura**. Estudos Avançados 15 (43), 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/Zt6P3Mw3T4YRcqCrDbKk6Hn/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 14 fev. 2023.

MA (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT). **Ecosystems and human well-being: synthesis**. Island Press, Washington, 2005.

MACEDO, N.; ARAÚJO, J.R. & BOTELHO, P.S.M. **Sixteen years of biological control of *Diatraea saccharalis***. Anais da Soc. Entomológica do Brasil, São Paulo, v. 22, p. 441-448, 1993.

MANSOURIAN, S. et al. **Putting the pieces together: integration for forest landscape restoration implementation**. Land Degrad. Dev. 31, 419–429. 2019.

MAPBIOMAS. **Recorte territorial selecionado pelo autor**. 2022. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 14 fev. 2023.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C.; MARTINS, M. R.; JORGE, R. F. **Crop Sequences in no-tillage system: Effects on soil fertility and soybean, maize and rice yield**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v. 33, p. 417-428, 2009.

MARTINS, B. N. M., JORGE, L. G. 2021. **Correção e adubação do solo para a cultura da cana-de-açúcar**. Cana-de-açúcar : manejo, ecologia e biomassa. Ebook organizado por Meire Cristina Andrade Cassimiro da Silva – Bauru, SP : Spessotto, 2021. Disponível em: <https://faculdadegalileu.com.br/ebook_cana.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2023.

MIRANDA, José Roberto. **Cultivo orgânico da cana-de-açúcar, manejo ecológico e biodiversidade faunística associada**. - Portal Embrapa. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1028199/cultivo-organico-da-cana-de-acucar-manejo-ecologico-e-biodiversidade-faunistica-associada>>. Acesso em: 02 maio. 2023.

MORAES, Márcia. **O mercado de trabalho da agroindústria canavieira: desafios e oportunidades**. Debates. Econ. Apl. 11 (4), Dez, 2007.

NACHILUK, K. **Alta na Produção e Exportações de Açúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana. Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 16, n. 6, p. 1-5, 2021. Disponível em:

<<http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=15925#:~:text=O%20Brasil%20%C3%A9%20o%20maior,de%20litros%20de%20etanol1>>. Acesso em: 20 out. 2022.

NAIR, P. K. R. **An introduction to Agroforestry**. The Netherlands, Kluwer Academic Publishers with ICRAF, p. 496, 1993.

NEVES, M.F . **Caminhos da Cana**. Sertãozinho, SP: Canaoeste, 2014. Disponível em: <<https://unica.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Caminhos-da-Cana.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2022.

OBERČ, B. P. & SCHNEL, A. **Approaches to sustainable agriculture: Exploring the pathways towards the future of farming**. 2020. Disponível em: <<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-017-En.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

OLIVEIRA, F. L.; COSTA, C. C. A. **Polinização serviços ecossistêmicos e o seu uso na agricultura**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, ISSN-e 1981-8203, Vol. 8, Nº. 3, 2013. Disponível em : <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7397581>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

OLLERTON J., WINFREE R., TARRANT S. **How many Flowering plants are pollinated By animals**. Oikos. 120: 321-326, 2011.

ONU (Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (A/ RES/70/1)**, Nova York, Publicação das Nações Unidas, 2015.

PADUA, S.M. **Primate conservation: integrating communities through environmental education programs**. Am. J. Primatol. 72, 450–453. 2010.

PARRA, J. R. P. at al. **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores**. São Paulo: Ed. Manole, 2002. Disponível em : <<https://repositorio.usp.br/item/001247137>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

PARRA, J. R. P. **Biological Control in Brazil: an overview**. *Scientia Agricola*, v. 71, n. 5, p. 420–429, out. 2014.

PATERNIANI, Ernesto. **Agricultura sustentável nos trópicos**. *Estudos Avançados, [S. l.]*, v. 15, n. 43, p. 303-326, 2001. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/9839>. Acesso em: 14 fev. 2023.

PEREIRA, V. A. **Sugarcane farming in alley cropping system: agroforestry productivity and influences in the agroecosystem**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

PERFECTO, I. & VANDERMEER, J. **Biodiversity Conservation in Tropical Agroecosystems**. University of Michigan. 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/5290721_Biodiversity_Conservation_in_Tropical_Agroecosystems. Acesso em 14 fev. 2023.

PINTO, L. F. G.; PRADA, L. DE S. **Fundamentos da certificação. Cap. 1. In: Certificação Socioambiental para a Agricultura: Desafios para o Setor Sucroalcooleiro**. Organizadores: Francisco Alves, José Maria Gusman Ferraz, Luís Fernando Guedes Pinto e Tamás Szmrecsányi. Piracicaba: Imaflora; São Carlos: EdUFSCar, 2008.

PINTO, L. F. G.; BERNARDES, M. S.; SPAROVEK, G. **Feasibility of cultivation of sugarcane in agroforestry systems**. *Scientia Agricola*, v. 60, n. 3, p. 489–493, 2003.

PINTO, L.F.G.; BERNARDES, M.S.; STAPE, J.L.; PEREIRA, A.R.. **Growth, yield and system performance simulation of a sugarcane–eucalyptus interface in a sub-tropical region of Brazil**. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 105, n. 1-2, p. 77–86, 2005.

PINTO, L.F.G.; BERNARDES, M.S.; VAN NOORDWIJK M.; PEREIRA, A.R.; LUSIANA, B. & MULIA, R., **Simulation of agroforestry systems with sugarcane in Piracicaba, Brazil**. *Agricultural Systems*, 86, issue 3, p. 275-292, 2005.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano ABC - Agricultura de Baixa Emissão de Carbono. Histórico**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt->

br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/plano-abc/historico#sdfootnote1sym. Acesso em: 10 jan. 2024.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Presidente anuncia Plano Safra 2023/2024**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/presidente-anuncia-plano-safra-2023-2024>. Acesso em: 08 jan. 2024.

RESENDE, L.O.; FELIPE GUANAES REGO, L.; AFONSO NOBRE, C.; SEGER PEREIRA MERCEDES, S. . **Origem, Evolução E Sustentabilidade Da Paisagem Dos Mares De Morros**. Revista Ciência Geográfica, [S. l.], v. 26, n. 01, p. 454-472, 2022. DOI: 10.18817/26755122.26.01.2022.2900. Disponível em: <<https://www.ppg.revistas.uema.br/index.php/cienciageografica/article/view/2900>>. Acesso em: 23 out. 2022.

RESENDE, L.O.; MÜLLER, M.D.; KOHMANN, M.M. *et al.* **Silvopastoral management of beef cattle production for neutralizing the environmental impact of enteric methane emission**. *Agroforest Syst* 94, 893–903, 2020.

RESENDE, L. DE O.; PINTO, L. F. G.; LETA, F. F. B. **A pecuária regenerativa no contexto brasileiro**. *AgroANALYSIS*, v. 41, n. 1, p. 24–25, 2021.

RFA – Renewable Fuels Association. **Annual Ethanol Production - U.S. and World Ethanol Production**. 2022. Disponível em: < <https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production>>. Acesso em: 26 mai. 2023.

RHODES, C. J. **The imperative for regenerative agriculture**. *Science Progress*, 2017. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/epdf/10.3184/003685017X14876775256165>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

RIBEIRO, H. P. et al. **Distribuição de potássio aplicado via vinhaça em lactossolo vermelho amarelo e nitossolo vermelho.** Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 8, Fortaleza, Ceará, INOVAGRI, 2014. Disponível em: <https://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/257/pdf_191>. Acesso em: 14 fev. 2023.

RODRIGUES, G.S.S.C., and ROSS, J.L.S. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental [online].** Uberlândia: EDUFU, 2020.

ROSSETTO, R. et al. **Fertility maintenance and soil recovery in sugarcane crops.** Sugarcane Bioethanol R&D for Productivity and Sustainability.(381-403). São Paulo, 2010.

SALGADO JUNIOR, A. P.; BONACIM, C. A. G., & PACAGNELLA JUNIOR, A. P.. **Aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliação de eficiência de usinas de açúcar e álcool da região nordeste do estado de São Paulo.** Organizações Rurais e Agroindustriais, 11(3), 1-20, 2009.

SANCHES, L. V. C. **Métodos de irrigação/fertirrigação na cultura da cana-de-açúcar.** Cana-de-açúcar : manejo, ecologia e biomassa. Ebook organizado por Meire Cristina Andrade Cassimiro da Silva – Bauru, SP : Spessotto, 2021. Disponível em: <https://faculdadegalileu.com.br/ebook_cana.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2023.

SANCHEZ, P.A. **Science in agroforestry.** Agroforestry Systems, v.30, p.5-55, 1995.

SCARPINELLA, G. D.; MIRANDA, R. B.; MAUAD, F. F. **Carreadores da cultura da cana-de-açúcar: vantagens e desvantagens do tratamento do subleito.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais, Rio de Janeiro, n. 29. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013.

SCHREEFEL, L. **Regenerative agriculture – the soil is the base.** Global Food Security, Volume 26, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211912420300584>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

SICA, P.; CARVALHO, R.; DAS, K.C.; BAPTISTA, A.S. **Biogas and biofertilizer from vinasse: making sugarcane ethanol even more sustainable.** Journal of Material Cycles and Waste Management, v. 22 , p.1427–1433, 2020.

SILVA, A. A. et al. **Sistema de Plantio Direto na Palhada e seu impacto na agricultura brasileira.** Revista Ceres, vol. 56, núm. 4, julho-agosto, 2009. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/3052/305226808017.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

SILVA, A. M. M.. **Aumento da produtividade e mudanças na microbiota do solo em cultivo de cana-de-açúcar com aplicação de composto e inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato.** Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.11, n.1, p. 108- 114, 2007.

SILVA, M. DE A. et al.. **Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. Rev. bras. eng. agríc. ambient., 2014 18(3), mar. 2014.

SILVA, M. A.; SILVA, J. A. G.; ENCISO, J. SHARMA, V. **Yield componentes ad indicators of drought tolerance of sugarcane.** Scientia Agricola, v.65, p.620-927, 2008.

SMANIOTTO, G. **Compatibilidade com inseticidas químicos e encapsulamento de *Beauveria Bassiana* para controle de *Sphenophorus Levis*.** Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/191357/smaniotto_g_dr_jabo.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 10 abril. 2023.

TEMPLE, J. **Carbon farming is the hot (and overhyped) tool to fight climate change.** MIT Technology Review. [online periodical], 2019. Disponível em:

<<https://www.technologyreview.com/s/613850/carbon-farming-is-the-hot-and-overhyped-tool-tofight-climate-change/>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

THE FOOD AND LAND USE COALITION (FOLU). **Growing Better: Ten Critical Transitions to Transform Food and Land Use.** The Global Consultation Report of the Food and Land Use Coalition. FOLU, 2019. Disponível em: <<https://www.foodandlandusecoalition.org/wpcontent/uploads/2019/09/FOLU-GrowingBetterGlobalReport.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

TRANI, Paulo E. et al. **Adubação orgânica de hortaliças e frutíferas.** Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2013.

UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA (UDOP). **Atvos planta cerca de 280 mil mudas no maior corredor ecológico da Mata Atlântica.** Disponível em: <<https://www.udop.com.br/noticia/2022/05/18/atvos-planta-cerca-de-280-mil-mudas-no-maior-corredor-ecologico-da-mata-atlantica.html>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

UNIÃO NACIONAL DE BIOENERGIA. **Comparativo de emissões de CO2 confirma vantagens do etanol para uma mobilidade mais sustentável.** 2023. Disponível em: <<https://www.udop.com.br/noticia/2023/04/03/comparativo-de-emissoes-de-co2-confirma-vantagens-do-etanol-para-uma-mobilidade-mais-sustentavel.html>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

VALLADARES PADUA, C., PADUA, S.M., CULLEN, Jr. L. **Within and surrounding the Morro do Diabo State Park: biological value, conflicts, mitigation and sustainable development alternatives.** Environ. Sci. Policy 5, 69–78. 2002.

VENZON, M.; TOGNI, P. H. B.; CHIGUACHI, J. A. M.; PANTOJA, G. M.; DA SILVA BRITO, E. A.; SUJII, E. R. **Agrobiodiversidade como estratégia de manejo de pragas.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 40, n. 305, p. 21-29, 2019.

VERDUM, Roberto; VIEIRA, Carmem Lucas; CANEPPELE, Jean Carlo Gessi. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo.** 2016.

VIEIRA, G. **Avaliação do custo, produtividade e geração de emprego no corte de cana-de-açúcar, manual e mecanizado, com e sem queima prévia.** 2003. Dissertação (Mestra-do) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Unesp, Botucatu, 2003.

VITTI, G. C.; LUZ, P.H.C.; ALTRAN, W.S. **Nutrição e adubação.** In: SANTOS, F.; BORÉM. Cana-de-açúcar do plantio à colheita. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2016.

XAVIER, Rogério Pontes. **Contribuição da fixação biológica de nitrogênio na produção sustentável da cultura de cana-de-açúcar.** Tese (Doutorado em Agronomia, Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

WRATTEN, Stephen D. et al. **Pollinator habitat enhancement: benefits to other ecosystem services.** Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 159, p. 112-122, 2012.

ZHAO, D. **Climate Change and Sugarcane Production: Potential Impact and Mitigation Strategies.** International Journal of Agronomy, 2015. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/ija/2015/547386/>>. Acesso em: 14 fev. 2023.