



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL**



**JOÃO VITOR COSTA MAZZI**

**EVOLUÇÃO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NO SETOR**  
**SUCROALCOOLEIRO NO ESTADO DE SÃO PAULO E A PERSPECTIVA DA**  
**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

ARARAS/SP

2024



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL**



**JOÃO VITOR COSTA MAZZI**

**EVOLUÇÃO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO NO SETOR  
SUCROALCOOLEIRO NO ESTADO DE SÃO PAULO E A PERSPECTIVA DA  
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**

Monografia apresentada ao Curso de  
Bacharelado em Agroecologia –  
CCA – UFSCar para obtenção do  
título de Agroecólogo

Orientador: Prof.º Dr.º Jeronimo Alves dos Santos

ARARAS/SP

2024

**Dedico ao meu pai, aos meus avós José e Sônia, a minha namorada e ao meu amigo Lucas Sgorlon Martinelli.**

## **Agradecimento**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a oportunidade de realizar este sonho.

Agradeço a minha família por todos os incentivos e apoio que me deram durante o período da graduação, assim como os meus amigos.

De forma especial agradeço todos os professores e a Universidade Federal de São Carlos campus Araras, que foram fundamentais com o meu desenvolvimento profissional, como também o grupo de estudo do agronegócio (GEAgro), especialmente ao Professor Doutor Jeronimo Alves dos Santos.

Agradeço também ao Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelas bolsas de iniciação científica concedidas. Ao Centro de Citricultura Sylvio Moreira (CCSM - IAC Cordeirópolis ) e principalmente ao Pesquisador Doutor Sérgio Alves de Carvalho. E a empresa Cropman Inovação Agrícola, a qual deu todo o suporte para que eu desenvolvesse a conexão da prática e teoria durante o estágio.

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível.”

São Francisco de Assis

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a evolução da Agricultura de Precisão (AP) no setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo e as perspectivas da inteligência artificial. Os objetivos específicos foram: realizar um levantamento dos principais instrumentos da AP utilizados no Setor sucroalcooleiro; analisar os principais desafios e vantagens da AP para o Setor sucroalcooleiro; identificar os ganhos na produtividade, os principais aspectos econômicos e ambientais com a AP; e analisar as perspectiva da inteligência artificial no setor. Foi utilizado o método de revisão bibliográfica para extrair dados em textos, artigos, jornais, revistas e base de dados oficiais na compilação das informações necessárias para responder ao problema e objetivos da pesquisa. Como resultado pode-se verificar que a AP e IA trazem relação adequada e vantajosa ao Setor, além de permitem uma comunicação direta entre aspectos produtivos, econômicos e ambientais.

**Palavras chave:** Rendimento; economia, ambiental, ferramentas.

## ABSTRACT

This study aimed to analyze the evolution of Precision Agriculture (PA) in the sugar-alcohol sector of the State of São Paulo and the prospects of artificial intelligence. The specific objectives were to: conduct a survey of the main PA tools used in the sugar-alcohol sector; analyze the key challenges and advantages of PA for the sector; identify productivity gains and the main economic and environmental aspects related to PA; and examine the prospects of artificial intelligence in the sector. A bibliographic review method was employed to extract data from texts, articles, newspapers, magazines, and official databases, compiling the necessary information to address the research problem and objectives. The results indicated that PA and AI create a beneficial and suitable relationship for the sector, facilitating direct communication between productive, economic, and environmental aspects.

**Keywords:** Performance; economy, environmental, tools.

## Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>8</b>
<b>2. Justificativa .....</b>	<b>12</b>
<b>3. Revisão de Literatura .....</b>	<b>12</b>
<b>4. Metodologia .....</b>	<b>15</b>
<b>5. Forma de análise dos resultados .....</b>	<b>16</b>
<b>6. Detalhamento de Processo e Resultados .....</b>	<b>16</b>
<b>6.1 Evolução da Agricultura .....</b>	<b>16</b>
<b>6.2 Instrumentos agrícolas, vantagens, desvantagens e desafios .....</b>	<b>19</b>
<b>6.3 Produtividade, Aspectos Econômicos e Ambientais .....</b>	<b>38</b>
<b>6.4 Inteligência Artificial .....</b>	<b>51</b>
<b>7. Conclusão .....</b>	<b>53</b>
<b>8. Referências .....</b>	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Agricultura de Precisão (AP) é definida como a aplicação de tecnologias e princípios para gerenciar a variabilidade espacial e temporal em todos os aspectos da produção agrícola, visando otimizar o desempenho das culturas e promover a sustentabilidade ambiental (PIERCE e NOWAK, 1999). Para alcançar esses objetivos, é essencial que todas as fases da cadeia produtiva estejam integradas, permitindo uma comunicação eficiente entre a gestão e a cadeia de suprimentos.

A desuniformidade das lavouras, tanto no espaço quanto ao longo do tempo, fundamentou o surgimento do termo Agricultura de Precisão. Isso demandou o desenvolvimento de estratégias para gerenciar os desafios decorrentes dessa desuniformidade, enfrentando variados níveis de complexidade (MOLIN, AMARAL, COLAÇO, 2015). Nesse contexto, considerando a heterogeneidade das lavouras, torna-se essencial que a produção agrícola seja orientada pelo uso de dados, com o manejo do solo ajustado às variações apresentadas por cada talhão de uma área específica. Além disso, é necessários o mapeamento e o monitoramento em tempo real, utilizando-se de acurácia apropriada. O maior avanço para a Agricultura de Precisão ocorreu com a introdução do GPS, e, com a disponibilidade de outros sistemas como o GLONASS (Rússia), o Galileo (União Europeia) e o Compass (China), surgiu a sigla GNSS, que se refere aos Sistemas de Navegação Global por Satélites (MAPA, 2013).

O sucesso da Agricultura de Precisão está diretamente relacionado à eficácia com que ela é aplicada para avaliar, gerenciar e monitorar a variabilidade espaço-temporal na produção agrícola (PIERCE e NOWAK, 1999). Segundo a Embrapa, a AP depende de instrumentos que auxiliam na aquisição, no tratamento e na transmissão dos dados nos campos agrícolas, uma vez que é com base nessas informações que se alcança um manejo adequado para a área em questão. Em resumo, o manejo deve ser orientado pelas informações obtidas.

As terras agrícolas ao redor do mundo estão se tornando cada vez mais inadequadas para a produção. Segundo estimativas, 25% de todas as terras agrícolas já são classificadas como altamente degradadas, enquanto outros 44% são moderadamente ou

ligeiramente degradadas (CLERCQ et al., 2018). De acordo com a teoria Malthusiana, a população cresce em progressão geométrica, enquanto a produtividade de alimentos aumenta em progressão aritmética, ou seja, em um ritmo mais lento. Outro fator preocupante é que a quantidade de terras disponíveis diminui ao longo do tempo, seja devido à expansão populacional ou à perda de fertilidade causada por manejos inadequados (MALTHUS, 1798).

Nesse cenário, torna-se cada vez mais crucial promover uma produção agrícola sustentável e de alta produtividade, com foco na manutenção das características químicas, físicas e biológicas do solo. A Agricultura de Precisão (AP), enfrentando seus desafios, se mostra alinhada a esses objetivos, integrando sustentabilidade e produtividade com fatores socioeconômicos e geográficos. Segundo a revista Fonte (2018), a AP pode aumentar a produtividade ao identificar problemas na plantação, localizar áreas afetadas, identificar tipos de pragas e aplicar tratamentos adequados. Em outras palavras, é possível aumentar a produtividade sem expandir a área de cultivo.

Além desses desafios, há a questão do acesso às tecnologias, essencial para a AP. Conforme o Censo Agropecuário de 2017, mais de 70% das propriedades rurais no Brasil ainda não possuem conexão à internet. Contudo, a AP vem ganhando espaço em setores como o da cana-de-açúcar, especialmente no estado de São Paulo, onde o plantio mecanizado cresceu significativamente nos últimos anos, atingindo cerca de 30% da área plantada na região centro-sul (IDEAONLINE, 2013).

O Proálcool programa governamental de 1975 criado para promover o uso do álcool como combustível, especialmente em resposta à crise do petróleo da década de 1970. O objetivo principal era reduzir a dependência do petróleo importado e incentivar a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar.

Durante a primeira década do Proálcool, o programa de álcool como combustível, os resultados foram bastante promissores. Os consumidores começaram a preferir veículos movidos a etanol, refletindo uma mudança significativa no mercado automotivo brasileiro. Em 1983, as vendas de automóveis a álcool atingiram um pico, dominando as preferências do público. Essa tendência continuou crescendo, e em 1991, aproximadamente 60% da frota nacional, equivalente a cerca de 6 milhões de veículos, era alimentada por essa fonte renovável de energia. Essa popularidade não só impulsionou

a indústria automobilística, mas também destacou o Brasil como um dos pioneiros no uso de biocombustíveis em larga escala. Em 2003, uma nova crise do petróleo revitalizou a produção de veículos a álcool no Brasil. Nesse cenário, as indústrias automobilísticas inovaram com a criação dos motores flex, que permitem aos consumidores alternar entre etanol e gasolina, proporcionando maior conveniência e eficiência (FRANCISCO)

Segundo a Embrapa (2006), a produção brasileira de álcool cresceu substancialmente a partir do Proálcool e da mistura obrigatória de 20% de álcool anidro na gasolina. Medidas como a obrigatoriedade do uso de 20% de álcool anidro na gasolina, a redução do IPVA para veículos a álcool e a redução do IPI para veículos a álcool e flex fuel foram fundamentais para o mercado brasileiro de álcool. Em 2005, cerca de 50% dos veículos leves no Brasil já eram flex fuel.

O Brasil tem tradição no setor sucroalcooleiro, sendo o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, açúcar e álcool. A região de Ribeirão Preto, por exemplo, responde por 29% da produção de álcool e 31% da produção de açúcar do país (Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, 2001). Em média, 50% da cana-de-açúcar brasileira é transformada em álcool e 50% em açúcar, enquanto em outros países produtores de cana, a totalidade é direcionada para a produção de açúcar (CARVALHO; OLIVEIRA, 2006).

Cabe ressaltar que o estado de São Paulo lidera a produção sucroalcooleira no Brasil, que é o maior produtor mundial. Nos primeiros sete meses de 2023, o setor se destacou nas exportações do agronegócio paulista, totalizando US\$ 4,85 bilhões, com o açúcar respondendo por 87% desse montante. Esse valor representa um aumento de US\$ 1,07 bilhão em relação ao mesmo período do ano anterior, quando as exportações somaram US\$ 3,78 bilhões. (Secretaria de Agricultura e Abastecimento, 2024).

A região centro-sul do Brasil é responsável por mais de 80% da produção do setor, com o estado de São Paulo se destacando como o principal produtor. A área plantada de cana-de-açúcar no estado passou de 1,08 milhão de hectares em 1988 para 2,29 milhões de hectares em 2003 (CRISCUOLO et al., 2005). De acordo com o IBGE (2016), São Paulo possui uma área plantada de 5,6 milhões de hectares. O estado é responsável por 55% da área plantada e da produção nacional, sendo o maior produtor mundial de etanol de cana-de-açúcar, o que contribui para que o Brasil seja o segundo maior produtor de etanol do mundo, atrás apenas dos EUA. Na safra 2017/2018, foram produzidos 13

bilhões de litros de etanol nas usinas paulistas, representando 47,14% da produção nacional (INVESTSP).

Com a evolução do setor canavieiro, os produtores passaram a ter uma crescente preocupação com o meio ambiente, sendo impulsionados pela necessidade de comprovar a viabilidade econômica e ambiental do etanol como uma fonte alternativa. Nesse contexto, a AP surge como uma ferramenta otimizada para o uso de insumos no setor, focando em aumentar a produtividade por área e reduzir os impactos ambientais.

A Indústria 4.0 marca a integração no controle de produção através da utilização de tecnologias que, por sua vez, permitem o uso da inteligência artificial (PALMA et al., 2017). Nesse contexto, a CNI (2016) relata que a integração e o controle da produção ocorrem por meio de sensores e equipamentos que interligam o real com o virtual, gerando sistemas ciberfísicos por meio da inteligência artificial e tendo como pilares a Internet das Coisas (IoT), o Big Data, a computação em nuvem e a inteligência artificial. Nessa perspectiva, a Agricultura de Precisão juntamente com a inteligência artificial são vetores para a detecção de pragas, doenças nas plantas e má nutrição das plantas.

Em conformidade com os dados citados, o objetivo central deste projeto é analisar a evolução da Agricultura de Precisão no setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo.

Os objetivos específicos são:

- a. Fazer um levantamento dos principais instrumentos da AP utilizados no Setor sucroalcooleiro.
- b. Analisar os principais desafios e vantagens da AP para o Setor sucroalcooleiro;
- c. Identificar os ganhos na produtividade, os principais aspectos econômicos e ambientais, com a AP.
- d. Analisar as perspectiva da Inteligência Artificial (IA) no Setor sucroalcooleiro.

## **2. JUSTIFICATIVA**

Em virtude dos resultados da revisão bibliográfica, os quais permeiam a análise da AP no setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo; a relação da AP nas fases do cultivo de cana de açúcar; as ações dos equipamentos tecnológicos como mecanismo de produção no setor sucroalcooleiro, a exemplo os Drones; a questão da geoestatística, da sustentabilidade aliada a uma produção mais tecnológica, a fertilidade dos solos. É possível identificar: as vantagens e desvantagens da AP no setor sucroalcooleiro; a evolução da AP no setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo; e quais são os instrumentos mais utilizados e atuação da inteligência artificial no setor.-

Nesse contexto, as vantagens da Agricultura de Precisão (AP) no setor sucroalcooleiro incluem diversos benefícios, como o aumento da fertilidade do solo e do teor de matéria orgânica, a aplicação mais precisa e reduzida de insumos, o conhecimento detalhado da produtividade por área delimitada, e o suporte na tomada de decisões. Além disso, a AP promove a adequação ambiental por meio da sustentabilidade, reduz os custos de produção e operacionais, otimiza o manejo e aumenta a produtividade. No entanto, é importante considerar as desvantagens, entre as quais se destacam o alto custo de aquisição, implantação e manutenção das tecnologias envolvidas.

Portanto, identificar os principais instrumentos utilizados na Agricultura de Precisão (AP) e a aplicação da inteligência artificial, além de apontar os principais desafios, e compreender os ganhos econômicos e ambientais, são fundamentais para estabelecer diretrizes de gestão e políticas de eficiência no setor sucroalcooleiro.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

Segundo a CONAB (2020), cuja finalidade é fornecer conhecimento, técnicas e compreensão abrangente das políticas agrícolas, bem como dados relacionados às fases industrial e agrícola do sistema de produção, é possível notar as consequências da aplicação de equipamentos e técnicas da Agricultura de Precisão (AP) no setor de cana-de-açúcar. Isso é realizado por meio de censos que coletam informações de todas as unidades de produção e analisam variáveis como: estimativa da área, produção de cana-

de-açúcar, produção de etanol, açúcar total recuperável, monitoramento agrícola, sistema de colheita, produtividade, exportações e importações de açúcar e etanol. Essas tecnologias resultam em benefícios como a redução no uso de água, diminuição no número de colhedoras devido ao avanço da mecanização, aumento da produtividade por meio do mapeamento, mitigação da emissão de gases de efeito estufa, aumento da fertilidade e do teor de matéria orgânica no solo, além da eliminação da necessidade de queima prévia e preservação do teor de sacarose.

O estudo de Luchetti (2019) analisou os impactos do uso de drones na cultura da cana-de-açúcar por meio de uma revisão bibliográfica qualitativa. Através do mapeamento, identificou várias funções dos drones nas produções, como: análise da plantação, demarcação do plantio, acompanhamento da safra, pulverização, monitoramento de campo, controle de desmatamento, abertura de estradas, vigilância, monitoramento de focos de incêndio, telemetria/topografia, localização de nascentes de água, fiscalização da falta de nitrogênio, presença de pragas e ervas daninhas, falhas no plantio, problemas de irrigação e compactação do solo. O uso de drones mostrou-se uma tecnologia mais sustentável e eficiente, oferecendo vantagens como a redução dos custos operacionais e o aumento da produtividade, embora algumas desvantagens incluam o alto custo de aquisição, implantação e manutenção.

Angeli (2006) apresentou casos de sucesso no uso de tecnologias de AP em usinas de cana-de-açúcar, utilizando uma metodologia baseada em análise de amostras, reamostragem do solo e cálculos. As variáveis analisadas incluíram correção de solo, necessidade de calcário, necessidade de fósforo e quantidade de insumos. A aplicação de dispositivos tecnológicos na produção de cana proporcionou uma menor e mais correta aplicação de insumos, uma produtividade mais elevada, homogeneização dos fatores de fertilidade do solo e uma maior viabilidade econômica, devido à precisão dos dados gerados, aplicabilidade de insumos localizados e uniformidade na produção.

Cerri (2005) buscou adquirir mapas de produtividade da cultura e correlacioná-los com os atributos físicos e químicos do solo. A metodologia incluiu amostragem, cálculos para a elaboração do mapa de produtividade, mapeamento das linhas de sulcação para identificar a trajetória das colhedoras, uso de GPS e geoestatística. Os resultados mostraram que a produção varia em algumas faixas, a declividade do terreno compromete a produtividade e a compactação do solo deve ser considerada. O uso de geoestatística

pode gerar mapas mais detalhados, identificando diferentes rendimentos da cultura na área avaliada.

Oliveira (2012) teve como objetivo analisar as tecnologias e os custos de produção de cana-de-açúcar em uma propriedade agrícola. A pesquisa quantificou insumos e despesas com a implantação e condução do canavial, sugerindo medidas para reduzir custos e identificando os itens que mais oneram a produção. As variáveis analisadas incluíram produtividade agrícola, custo de produção e de rebrotas, e resultado financeiro do sistema de produção. A utilização de tecnologia na cultura da cana resultou em maior eficiência dos insumos, redução dos custos de produção e aumento da produtividade da terra e da mão de obra, tornando o sistema produtivo mais lucrativo e sustentável.

Caraski e Mineotte (2015) realizaram uma revisão bibliográfica sobre a evolução do cultivo da cana-de-açúcar, com foco na redução de custos, aumento da produtividade, diminuição do uso de insumos e sustentabilidade. As variáveis estudadas incluíram avanços tecnológicos na amostragem de solo e aplicação de insumos, inovações tecnológicas no plantio e colheita mecanizada e precisão no plantio e colheita mecanizada. A AP foi identificada como uma ferramenta estratégica para reduzir insumos e impactos ambientais, além de proporcionar conhecimento e gerenciamento mais eficientes dos sistemas de produção agrícola. A mecanização é fundamental para aumentar a produtividade, reduzir custos de produção, auxiliar na tomada de decisões e promover a sustentabilidade agrícola.

Pereira, Rossini e Araujo (2010) realizaram uma análise documental exploratória, destacando a necessidade das empresas sucroalcooleiras paulistas em atender às exigências de sustentabilidade, qualidade, responsabilidade socioambiental e mercado consumidor. As variáveis analisadas incluíram contexto econômico, socioambiental e organizacional. Os resultados mostraram que 87% das empresas pesquisadas divulgam seus planos socioambientais, 70% possuem programas de qualidade voltados para o produto e processo produtivo, e 10% são certificadas para atender às especificações do mercado, especialmente internacional. As empresas buscam adaptar sua gestão organizacional para integrar interesses econômicos, ambientais e sociais.

Novaes e Santos (2017) exploraram o valor da tecnologia nas usinas para mantê-las competitivas no mercado. Utilizando métodos qualitativos, a pesquisa analisou

variáveis como GPS, GPRS, SGPA e computadores de bordo, destacando as vantagens do monitoramento veicular, como alarmes informativos, monitoramento em tempo real, trajetos feitos pelo equipamento e estatísticas de informações técnicas e operacionais. A tecnologia é essencial para qualificar o uso de recursos financeiros, investir em máquinas e manter sistemas computacionais nas empresas.

Cirani e Morais (2010) investigaram os processos de adoção e uso de tecnologias de AP pelas indústrias sucroalcooleiras no Estado de São Paulo. Utilizando o modelo logit, a pesquisa identificou que variáveis como origem do capital, grupo, exportação, gestão da empresa e capital próprio têm impacto positivo e significativo na adoção de AP. As tecnologias mais utilizadas pelas usinas e destilarias paulistas incluem imagens de satélite (76%), piloto automático (39%), fotografias aéreas (33%), amostragem de solo com GPS (31%) e aplicação em taxa variada (29%).

A pesquisa da Embrapa (2014) demonstrou as relações entre a tecnologia de AP e a cana-de-açúcar, aplicando-a em todas as fases do processo produtivo. A análise quantitativa revelou que a AP melhora a qualidade, reduz os custos de produção, otimiza o manejo, minimiza custos operacionais e promove a adequação ambiental.

Para Russo (2020) a Inteligência Artificial pode aumentar ainda mais os rendimentos, melhorar a eficiência da água, a monitorização dos solos, gerir doenças e pragas, e construir sustentabilidade e resiliência diante das mudanças e inevitáveis surpresas. Através das gestões de solo, cultura, água, ervas daninhas, doenças e pragas.

#### **4. METODOLOGIA**

A metodologia adotada neste trabalho baseia-se na revisão bibliográfica, em conformidade com os princípios estabelecidos por Lakatos e Marconi (1991). O estudo utiliza documentação indireta para investigar a evolução da agricultura de precisão no setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo, assim como as perspectivas oferecidas pela inteligência artificial.

Os principais focos de pesquisa incluem: os instrumentos tecnológicos utilizados, a produtividade, os aspectos econômicos e ambientais, além dos desafios e benefícios que a AP proporciona ao setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo.

A escolha pela revisão bibliográfica está intimamente relacionada ao objetivo do estudo. Conforme destaca Manzo (1971, p. 32), "A bibliografia pertinente oferece meios para definir e resolver não apenas problemas já conhecidos, mas também para explorar novas áreas em que os problemas ainda não estão suficientemente cristalizados [...]".

Dentro dessa abordagem, o objetivo deste trabalho é analisar e compreender os impactos da evolução da agricultura de precisão e da inteligência artificial no setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo.

## **5. FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Os dados foram levantados de maneira secundária, ambos referentes à evolução da AP no setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo e as perspectivas da Inteligência Artificial. Serão coletados dados sobre: os principais instrumentos utilizados, os desafios e vantagens; produtividade; aspectos econômicos; e aspectos ambientais.

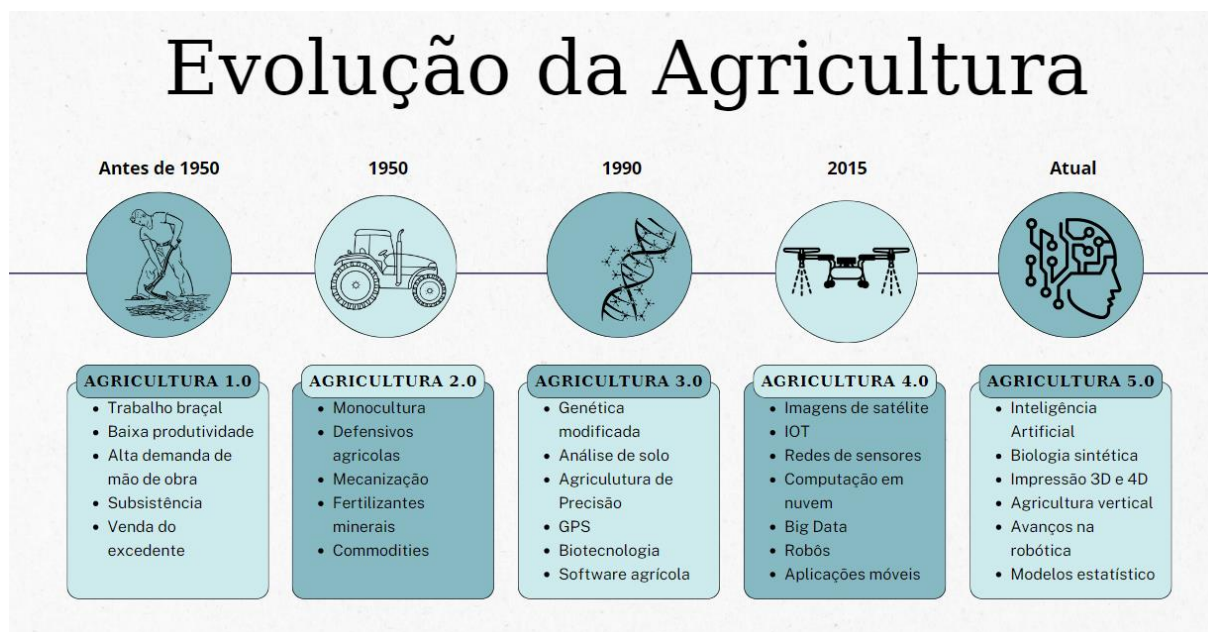
Dessa forma, a análise será qualitativa, visando a AP no setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo.

## **6. DETALHAMENTO DO PROCESSO E RESULTADOS**

### **6.1 A EVOLUÇÃO DA AGRICULTURA**

Segundo Esperidião (et al., 2019) a agricultura começou a ter grande evolução a partir do século XX, surgiu a Agricultura 1.0 a qual utilizava tração animal, mão-de-obra

familiar; em 1950 surgiu Agricultura 2.0 marcada pelo início da mecanização, utilização de defensivos; na década de 90 Agricultura 3.0 com o desenvolvimento do sistema de posicionamento global (GPS); posteriormente Agricultura 4.0 que revolucionou com a incorporação, conectividade e automação, por meio de Drones, robôs, sensores; atualmente está ocorrendo a Agricultura 5.0 a qual é marcada pela inteligência artificial. A imagem 1 aborda a evolução da agricultura.



**FIGURA 1:** Evolução da Agricultura

**FONTE:** Adaptado de Pillon (2017), Mendes (2020), com base Cema (2017), Melgar (2018), e Massruhá et al (2020).

A prática agrícola tem se modificado e evoluído ao longo do tempo. Seu surgimento remonta ao período neolítico, quando o ser humano começou a cultivar plantas e domesticar animais, transformando ecossistemas naturais em ecossistemas cultivados (MAZOYER E ROUDART, 2010).

No Brasil, a agricultura data de 1500, com a chegada dos portugueses. O país passou por diversos ciclos econômicos e produtivos, como o ciclo da cana-de-açúcar, que ocorreu de 1534 a 1702 e foi o principal suporte financeiro da nação. A produção de cana-de-açúcar foi considerada a primeira grande riqueza agrícola e industrial do Brasil (MACEDO, 2019).

Durante os séculos XVIII e XIX, ocorreu a Revolução Agrícola Contemporânea, que foi crucial para o desenvolvimento da agricultura, pois visava aumentar a produtividade por meio da incorporação de novas tecnologias às técnicas agrícolas

existentes. A Revolução Agrícola foi, de fato, uma das principais causas da Revolução Industrial (RIPOLI, 2020).

No Brasil, em 1857, durante o reinado de Dom Pedro II, foi elaborado um programa de modernização da produção de açúcar, resultando na criação dos Engenhos Centrais, que se dedicavam exclusivamente à moagem da cana e ao processamento do açúcar, deixando o cultivo a cargo dos fornecedores (MACHADO, 2003).

No século XX, o mundo enfrentou seu maior conflito até então, a Primeira Guerra Mundial. Este conflito devastou áreas produtivas na Europa, gerando sérios problemas financeiros para os países europeus. Com isso, os produtos europeus se tornaram mais caros, incentivando outros países a produzirem esses bens. A indústria do açúcar europeia, em particular, foi gravemente afetada, o que levou ao aumento do preço do açúcar no mercado mundial e estimulou a construção de novas usinas no Brasil, especialmente em São Paulo (MACHADO, 2003).

Em 1933, foi criado o Instituto de Açúcar e Alcool (IAA), cujo objetivo era defender as empresas do setor sucroalcooleiro por meio de uma série de medidas, como o controle de preços e da comercialização, e o estabelecimento de quotas de produção para garantir o equilíbrio interno entre as safras anuais de cana-de-açúcar e o consumo de seus principais produtos (LIMA, 1992).

Segundo Guitarrara, a Revolução Verde, ocorrida no Brasil na década de 1960, trouxe diversas inovações para a produção agrícola, incluindo a introdução de máquinas, o uso de adubos, fertilizantes e defensivos, e a modernização dos sistemas de irrigação. Tecnologias como o piloto automático (1960) e a colhedora (1965) foram exemplos dessas inovações.

Em 1975, a produção de cana-de-açúcar expandiu-se significativamente com a criação do Proálcool (Embrapa, 2006), que tinha como objetivo estimular a produção de álcool para atender às necessidades dos mercados interno e externo, além de atender à política de combustíveis automotivos (BIODIESELBR, 2006).

Foi através dessas revoluções e inovações que surgiu a Agricultura de Precisão (AP), que aplica tecnologias e princípios para gerenciar a variabilidade espacial e temporal em todos os aspectos da produção agrícola, com o objetivo de melhorar o

desempenho das culturas e a qualidade ambiental (PIERCE & NOWAK, 1999).

A AP começou a se desenvolver na década de 1980 nos EUA e na Europa, e chegou ao Brasil em 1995. O desenvolvimento de microcomputadores, sensores e softwares tornou a Agricultura de Precisão viável para os produtores (LAMPARELLI). Na Europa, foi criado o primeiro mapa de produtividade, enquanto nos EUA foi realizada a primeira adubação com doses variáveis (MOLIN, 2015). No Brasil, a AP se difundiu principalmente por meio da importação de equipamentos, especialmente colhedoras equipadas com monitores de produtividade (MOLIN, 2015).

Com a utilização da AP, a agricultura passou a incorporar tecnologias como o monitor de colheita (1991), colhedoras e mapeamento da produção (1996), e o GPS (1997), que contribuíram para o uso de outras ferramentas e equipamentos no setor sucroalcooleiro.

Em 2012, foi criada a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP), com o objetivo de promover e incentivar o uso de ferramentas de AP, visando o desenvolvimento sustentável e social, além de aumentar a competitividade do agronegócio em benefício da sociedade (MAPA, 2017).

## **6.2 INSTRUMENTOS AGRÍCOLAS, VANTAGENS, DESVANTAGENS E DESAFIOS**

Foi realizado um levantamento dos principais instrumentos da Agricultura de Precisão (AP) e da aplicação da inteligência artificial no setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo. O estudo abordou as características, vantagens, desvantagens e desafios de cada instrumento, além dos ganhos em produtividade e dos principais aspectos econômicos e ambientais. Cada equipamento e maquinário foi analisado conforme sua importância em cada fase da produção, considerando que todas essas fases estão interligadas. Isso é uma das marcas da AP, onde a análise do solo, a preparação, o cultivo, a irrigação, o manejo, a colheita, o transporte e a agroindústria operam de forma integrada.

A partir da revisão bibliográfica, foram identificados os principais instrumentos de AP utilizados no setor sucroalcooleiro paulista, destacando suas características,

vantagens, desvantagens e desafios específicos para a região. Com base nesses dados, as características, vantagens, desvantagens e desafios de cada implemento serão descritos nos quadros I e II.

Quadro I - Características dos Instrumentos

(Continua)

<b>Instrumentos</b>	<b>Autor (ano) / Site</b>	<b>Característica do Equipamento</b>
Amostrador de Solo	ANGELI (2006)	Detecta a variabilidade dos atributos do solo, que consiste no georreferenciamento através do uso do GPS.

(continua)

Instrumentos	Autor (ano) / Site	Característica do Equipamento
Sensores ópticos	FRASSON (2007)	Medir as características do solo/orientação/delimitação.
Sensores térmicos	SCHISSL (2018)	Utilizados para identificar diversos tipos de radiação no âmbito dos raios infravermelhos
Sensores elétricos	ADAMCHUK et al. (2004)	Medem a resistividade/condutividade elétrica, capacitância ou indutância afetada pela composição dos solos testados
Sensores Mecânicos	ADAMCHUK et al. (2004)	Medem a força resultante de uma ferramenta envolvida com o solo.
Sensores pneumáticos	ADAMCHUK et al. (2004)	Capacidade de injetar ar no solo

(continua)

<b>Instrumentos</b>	<b>Autor (ano) / Site</b>	<b>Característica do Equipamento</b>
Adubadora	MOLIN (2015)	Aplicação localizada de fertilizantes e corretivos.
Plantadeira (PA)	Roque et al. (2010)	No sistema de plantio mecanizado da cana-de-açúcar são utilizados conjuntos, trator e plantadeira, que realizam o plantio em uma ou duas linhas e a colheita é realizada, normalmente, em linha única acompanhada do trator ou caminhão com transbordo
Irrigação por gotejamento	PEDROSO (2015)	Fornecimento de água e nutrientes em todo o ciclo da cultura. Além da possibilidade de aplicação de material orgânico líquidos (vinhaça e ácidos húmicos) e a aplicação de defensivos (quimigação)
DGPS	SILVA (2010)	Sistema de Posicionamento Global Diferencial.

(continua)

Instrumentos	Autor (ano) / Site	Característica do Equipamento
GPS	SILVA (2010)	Trabalham em posicionamento absoluto, e a correção se dá pela diminuição da dispersão dos erros, alcançando maior precisão, o que permite que o sistema seja usado com sistemas de piloto automático
RTK	Revista Cultivar 21/09/2020 POZZUTO	Utiliza uma antena móvel , colocada em coordenadas conhecidas , a qual sintoniza os mesmos satélites do receptor e compara as coordenadas conhecidas com as calculadas pelo GNSS
Sistemas embarcados	SANTIAGO (2020)	Controlado por software
Drones	SINDAG (2018)	Usos dos drones na agricultura nos últimos anos estão relacionados à topografia, mapeamento e pulverização.

(conclusão)

Instrumentos	Autor (ano) / Site	Característica do Equipamento
Piloto automático	SHOCKLEY & DILLON (2008)	Piloto automático reduz sobreposições e falhas na aplicação, pode elevar a velocidade operacional, possibilita maior acurácia na aplicação de insumos e eleva o tempo disponível para a operação
Barra de Luz	OLIVEIRA (2009)	Auxilia no alinhamento da cultura.
Colhedora (PA)	RIPOLI (2014)	Aumentar a produtividade, além de oferecer custo de operação e manutenção reduzidos aos agricultores.

Fonte: Elaboração Própria

Lepsch (1987) destaca a importância de conhecer as características do solo para avaliar o potencial dos ambientes de produção. Nesse sentido, a análise de solo é essencial para determinar sua fertilidade, permitindo um manejo químico mais eficiente e

econômico (CARASKI E MINGOTTE, 2015). A Agricultura de Precisão (AP) tem como objetivo, por meio de seus equipamentos e maquinários, como o amostrador de solo, otimizar o tempo, os produtos e a mão de obra, além de aplicar insumos na dosagem e nas áreas corretas. Por exemplo, distribuidores de fertilizantes e corretivos realizam a regulagem e a dosagem automática conforme a necessidade de cada local do campo (BAIO, 2007).

Angeli (2006) observa que o amostrador de solo detecta a variabilidade dos atributos do solo, realizando o georreferenciamento das amostras por meio de GPS. Esse equipamento se mostra eficiente tanto na aplicação quanto economicamente, mas apresenta desafios como o alto custo de aquisição e a necessidade de profissionais qualificados.

A tecnologia do SoilXplorer é uma alternativa versátil para identificar as características do solo e dividir a área de produção em zonas de manejo, melhorando a eficiência operacional e aumentando a produtividade, ao mesmo tempo que reduz custos e oferece uma alternativa sustentável. Além disso, o SoilXplorer gera mapas de aplicação personalizados para cada zona de manejo.

Santiago e Rossetto apontam que a alta produtividade e longevidade dos canaviais estão diretamente ligadas ao sucesso no preparo do solo. A divisão de uma área em subáreas homogêneas é uma técnica que visa maior eficiência na condução da lavoura e na aplicação de insumos (LUCHIARI et al., 2001). Molin (2002) afirma que zonas de manejo podem ser definidas com base nos mapas de produtividade. Sensores proximais de atributos do solo são ferramentas que medem propriedades físicas, químicas, eletromagnéticas e mecânicas do solo.

Oliveira (2019) destaca que a AP, no manejo da fertilidade do solo, utiliza informações exatas e precisas para aumentar a eficiência. Campbell (1987) define o sensoriamento remoto como a ciência que obtém informações da superfície terrestre a partir de imagens obtidas à distância, utilizando sensores ópticos, térmicos, elétricos, mecânicos e pneumáticos.

Frasson (2007) observa que os sensores ópticos têm grande potencial para contribuir na gestão da adubação nitrogenada, permitindo medições precisas das características do solo. Amaral (2010) acrescenta que esses sensores podem recomendar

doses de nitrogênio ajustadas às condições específicas de cada área.

Inamasu et al. (2006) destacam como vantagem dos sensores ópticos a recomendação de adubação em tempo real, mas o alto custo e a necessidade de profissionais qualificados são desafios. Taubinger (2010) observa que os sensores permitem adubação em taxa variável, otimizando a aplicação e reduzindo impactos ambientais.

Schiessl (2018) comenta que sensores térmicos podem analisar e prever o estado de desenvolvimento das culturas, além de estimar a produtividade. Esses sensores identificam radiação infravermelha, auxiliando na análise da saúde da planta.

Sensores elétricos são usados para caracterizar as propriedades físicas e químicas do solo. Valores de condutividade ou resistividade elétrica, por exemplo, indicam a heterogeneidade do solo e são afetados por características como textura, salinidade, matéria orgânica e umidade (MUELLER et al., 2003).

Adamchuk et al. (2004) afirmam que sensores mecânicos medem a força aplicada ao solo e podem mensurar sua compactação, sendo úteis para medições em tempo real das propriedades físico-mecânicas do solo (SANCHES et al., 2011).

Sanches et al. (2011) destacam que sensores pneumáticos têm potencial para distinguir tipos de solo e medir níveis de umidade e compactação. Esses sensores trazem como vantagem a identificação precoce de problemas na produção, permitindo ações corretivas no momento certo. Entretanto, seu alto custo e a necessidade de profissionais qualificados são desafios, além de exigirem mais pesquisa e desenvolvimento.

Carneiro (2015) relaciona a produtividade dos canaviais diretamente à adubação, enfatizando a importância de aplicar fertilizantes na quantidade correta com base na análise do solo. Distribuidores de fertilizantes regulam e dosam automaticamente conforme a necessidade de cada área (BAIO, 2007). No entanto, a distribuição inadequada, causada por falta de precisão nos mecanismos dosadores ou desconhecimento das características dos fertilizantes, pode afetar a produtividade (BAIO; MOLIN; LEAL, 2012). Além disso, o tráfego de máquinas como as adubadoras pode compactar o solo, representando um desafio.

Orlando Filho (1994) destaca que a produtividade da cana-de-açúcar está

relacionada a vários fatores, incluindo planta, solo, clima, práticas culturais, controle de doenças e pragas, e colheita. Entre as práticas culturais, o plantio é crucial, pois interfere na longevidade dos canaviais e está diretamente ligado ao custo de produção (BEAUCLAIR E SCARPARI, 2006). Plantadeiras modernas minimizam falhas e aumentam o número de perfilhos, melhorando a longevidade e reduzindo custos. Contudo, o tráfego de plantadeiras pode compactar o solo, afetando negativamente a longevidade da cultura e a qualidade do solo (ROQUE et al., 2010).

Matioli et al. (1996) apontam que a irrigação na cultura da cana-de-açúcar traz benefícios diretos, como maior produtividade e longevidade das soqueiras, e benefícios indiretos, como redução dos custos de produção. Barbosa (2010) explica que a irrigação por gotejamento aplica água diretamente no sistema radicular, mantendo o solo próximo da capacidade de campo e aumentando a eficiência no uso da água. A irrigação por gotejamento enterrado oferece ainda mais vantagens, como a redução do uso de herbicidas devido à menor germinação de plantas daninhas e a possibilidade de aplicação de material orgânico líquido.

Apesar dos benefícios, a irrigação por gotejamento tem desafios, como o alto custo de aquisição e o risco de danos ambientais causados por subprodutos da cana-de-açúcar. A vinhaça, por exemplo, utilizada no gotejamento enterrado, não altera a qualidade tecnológica da cana (BARBOSA, 2010).

No setor sucroalcooleiro, a AP visa aumentar a eficiência dos insumos, reduzir custos, aumentar a produtividade e maximizar a sustentabilidade (OLIVEIRA, 2012). Para isso, todas as fases de produção, da análise do solo à agroindústria, devem estar integradas. O uso de drones, por exemplo, auxilia na análise, monitoramento e mapeamento da produção, contribuindo para uma gestão mais eficiente e limpa (Luchetti, 2015). Todavia, o alto custo e a necessidade de maior acessibilidade representam desafios.

Sistemas de auto direcionamento por satélites, como GPS, DGPS e RTK, oferecem vantagens como a redução de custos e aumento de produtividade, especialmente em culturas como a cana-de-açúcar (SHIRAISHI, 2013). No entanto, o alto custo de implantação e a necessidade de profissionais qualificados são desafios. Stabilei e Balastreire (2006) observam que o custo do GPS tem limitado o avanço da AP.

As barras de luz, que auxiliam no alinhamento das culturas, também são

importantes, oferecendo melhor desempenho na manutenção do alinhamento. Contudo, o alto custo de aquisição e a necessidade de profissionais qualificados são desafios (OLIVEIRA, 2019).

A AP, como tecnologia emergente, permite aos agricultores acompanhar melhor as variações espaciais e temporais dos fatores que limitam a produção agrícola (SCHIEDEL; FERREIRA, 2002). Sistemas embarcados, por exemplo, podem identificar espécies invasoras e aplicar defensivos de forma localizada, reduzindo custos e aumentando a eficiência (SANTIAGO, 2020). Entretanto, o tráfego desses equipamentos pode compactar o solo, representando mais um desafio a ser enfrentado.

Além disso, o uso do piloto automático contribui para reduzir sobreposições e falhas na aplicação, aumentar a velocidade operacional, melhorar a precisão na aplicação de insumos e maximizar o tempo disponível para a operação (SHOCKLEY E DILLON, 2008). Cirani e Moraes (2010) identificaram em suas pesquisas que o piloto automático é o segundo implemento tecnológico mais adotado nas usinas e destilarias do estado de São Paulo.

De acordo com Taubinger (2012), a colheita da cana-de-açúcar, que visa o corte para posterior moagem na indústria, busca alcançar um desempenho operacional e industrial eficiente, minimizando perdas e impurezas. A colheita mecanizada não apenas torna as lavouras de cana-de-açúcar mais competitivas (Ripoli, 2014), mas também desempenha um papel importante na preservação ambiental (MASIERO, 2013).

Por outro lado, a colheita mecanizada enfrenta o desafio de desenvolver softwares de gestão agrícola capazes de garantir que os dados coletados durante o trabalho das frotas cheguem ao escritório diariamente, mesmo em áreas sem cobertura de sinal GPRS no campo (RIPOLI, 2014).

Quadro II - Vantagens, desvantagens e desafios dos instrumentos da AP no Setor Sucroalcooleiro

(continua)

<b>Equipamentos</b>	<b>Autor(ano)</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>	<b>Desafios</b>
Amostrador de Solo	CARASKI; MINGOTTE (2015)  Lucas Miguel Altarugio, L.M.; GUERINI, F.; MELLO, A.C.; – Revista Campo & Negócios – Julho / 2017	A análise de solo é essencial para avaliar sua fertilidade, permitindo que, com a interpretação dos resultados, o manejo químico do solo seja realizado de forma eficiente e econômica.	Alto custo de aquisição.	Alto custo de aquisição e profissionais qualificados.
Sensores ópticos	INAMASU et al (2006)	Verifica o potencial de uso em recomendações de adubação nitrogenada em tempo real.	Alto custo de aquisição e implantação.	Alto preço aquisitivo, além necessidade de profissionais qualificados.

(continua)

<b>Equipamentos</b>	<b>Autor(ano)</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>	<b>Desafios</b>
Sensores térmicos	INAMASU et al (2006)	Identificar problemas ainda no início para que as ações de remediação possam ser tomadas no momento certo, visando à produtividade e qualidade da safra	Alto custo de aquisição e implantação.	Aquisição devido ao preço, como também a necessidade de profissionais qualificados.
Sensores elétricos	INAMASU et al (2006)	Identificar problemas ainda no início para que as ações de remediação possam ser tomadas no momento certo, visando à produtividade e qualidade.	Alto custo de aquisição e implantação.	Aquisição devido ao alto preço aquisitivo, como também a necessidade de profissionais qualificados.

(continua)

<b>Equipamentos</b>	<b>Autor(ano)</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>	<b>Desafios</b>
Sensores Mecânicos	INAMASU et al (2006)	Identificar problemas ainda no início para que as ações de remediação possam ser tomadas no momento certo, visando à produtividade e qualidade da safra	Alto custo de aquisição e implantação.	Aquisição devido ao alto preço aquisitivo, como também a necessidade de profissionais qualificados.
Sensores pneumáticos	INAMASU et al (2006)	Identificar problemas ainda no início para que as ações de remediação possam ser tomadas no momento certo, visando à produtividade e qualidade.	Alto custo de aquisição e implantação.	Aquisição devido ao alto preço aquisitivo, como também a necessidade de profissionais qualificados.

(continua)

Equipamentos	Autor(ano)	Vantagens	Desvantagens	Desafios
Adubadora	BAIO (2007)	Faz a regulagem e a dosagem automaticamente de fertilizantes e corretivos, de acordo com a necessidade ou recomendação para cada local do campo	Compactação do solo.	Diminuir o tráfego de máquinas agrícolas.
Plantadeira (PA)	JANINI (2007) Roque et al. (2010)	Menor número de falhas e maior número de perfilhos.	Grande nível de impactos na qualidade física do solo, caracterizando a necessidade de renovação do canavial após algumas safras	Diminuir o tráfego de máquinas agrícolas.

(continua)

<b>Equipamentos</b>	<b>Autor(ano)</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>	<b>Desafios</b>
Irrigação por gotejamento	PEDROSO (2015)	Aumento da longevidade do canavial e aumento de produtividade.	Alto custo de aquisição.	Utilização de subprodutos oriundos da cana-de-açúcar sem que haja danos ambientais.
DGPS	BAIO e MORATELLI (2011)	O uso de sistemas de orientação por satélites pode auxiliar na otimização do parque de máquinas pela redução de conjuntos mecanizados para uma determinada operação.	O custo de implantação do sistema, adequação do maquinário da propriedade e a falta de profissionais qualificados para a interpretação dos dados podem ser considerados como desvantagens.	Alto custo de aquisição e profissionais qualificados para a interpretação dos dados.

(continua)

Equipamentos	Autor(ano)	Vantagens	Desvantagens	Desafios
GPS	SHIRAISHI (2013)  STABILEI & BALASTREI RE (2006)	Pode propiciar a redução dos custos e o aumento de produtividade das culturas, principalmente quando aplicada a culturas economicamente expressivas, como a cana-de-açúcar	O custo de implantação do sistema, a adequação do maquinário da propriedade e a falta de profissionais qualificados para a interpretação dos dados podem ser considerados como desvantagens.	Alto custo de aquisição do GPS tem detido um pleno avanço da Agricultura de Precisão no Brasil
RTK	BAIO (2007)	Maior acurácia	Alto custo de aquisição.	Alto custo de aquisição e profissionais qualificados para a interpretação dos dados.

(continua)

<b>Equipamentos</b>	<b>Autor(ano)</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>	<b>Desafios</b>
Sistemas embarcados	SANTIAGO (2020)	Identificação de identifições em tempo real, a exemplo a identificação de plantas invasoras.	Compactação do solo.	Diminuir o tráfego das máquinas.
Drones	LUCHETTI (2019)	Torna as lavouras mais eficientes, aumentando em alguns aspectos sua produção, e também é uma tecnologia mais sustentável, relacionada à aspectos de produção mais limpa.	Seu alto custo, outro impacto negativo do uso dos mesmos ainda é sua acessibilidade, que se torna em alguns momentos inviável para pequenos produtores.	Maior acessibilidade.

(continua)

Equipamentos	Autor(ano)	Vantagens	Desvantagens	Desafios
Piloto automático	BAIO e MORATELLI (2011)  Revista Cultivar	O grande benefício dos pilotos automáticos é a redução de erros entre as passadas pela substituição do operador no direcionamento durante as operações mecanizadas.	Pode provocar perturbações como a compactação do solo, dificultando o crescimento radicular, a infiltração de água, causando empoçamento e, conseqüentemente, a erosão	Diminuição no tráfego das máquinas.
Barra de Luz	OLIVEIRA (2009)	Melhor desempenho na manutenção do alinhamento e propagação de erro na larguras da faixas	Alto custo de aquisição e implantação.	Aquisição devido ao alto preço aquisitivo, como também a necessidade de profissionais qualificados.

(conclusão)

Equipamentos	Autor(ano)	Vantagens	Desvantagens	Desafios
Colhedora (PA)	RIPOLI (2014)  MASIERO (2013)	Reduz o custo da colheita e torna as lavouras de cana-de-açúcar mais competitivas. Além de melhorar a preservação do meio ambiente.	Compactação do solo.	Desenvolvimento de softwares de gerenciamento agrícola que tenha a garantia de que dados do trabalho das frotas cheguem até o escritório diariamente, mesmo quando não há cobertura de sinal GPRS no campo. E diminuição do tráfego de máquinas agrícolas.

**Fonte:** Elaboração Própria

### **6.3 PRODUTIVIDADE, ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS**

A análise dos instrumentos da Agricultura de Precisão (AP) no setor sucroalcooleiro, como apresentada no Quadro III, destaca os ganhos de produtividade, bem como os principais aspectos econômicos e ambientais envolvidos. Conforme apontado por Grego et al. (2014), a AP desempenha um papel crucial na melhoria da produtividade no setor sucroalcooleiro. Isso ocorre tanto em resposta ao aumento da demanda interna e externa por álcool e açúcar quanto na redução dos impactos ambientais, além de possibilitar uma expansão na produtividade. Além disso, esses autores concluem que as técnicas de AP são especialmente eficazes para aumentar a produtividade em áreas próximas a plantas industriais já existentes e para a instalação de usinas em regiões paulistas menos favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar, onde as técnicas de AP são ainda mais essenciais para obter ganhos de produtividade e melhorias econômicas e ambientais.

Cirani e Moraes (2011) afirmam que a adoção de novas tecnologias pela AP no setor sucroalcooleiro paulista está relacionada à elevação da produtividade, à melhoria dos produtos e métodos de gestão, e à contribuição para a preservação ambiental. O setor tem adotado amplamente as tecnologias da AP, uma vez que a utilização de práticas menos impactantes ao meio ambiente e destinadas a elevar a produtividade e a rentabilidade do solo está se tornando uma ferramenta indispensável para as agroindústrias sucroalcooleiras em São Paulo e no Brasil.

De acordo com Souza et al. (2010), uma alternativa eficaz para reduzir custos no setor sucroalcooleiro é a adoção da Agricultura de Precisão. Essa prática permite o conhecimento detalhado da variabilidade dos solos, conhecimento que pode ser obtido, por exemplo, com o uso de amostradores de solo. Esse processo gera a detecção da variabilidade dos atributos do solo, trazendo benefícios econômicos e de eficiência (Angeli, 2006). Ademais, o conhecimento das condições favoráveis em toda a área de produção possibilita a aplicação de insumos nas dosagens e áreas corretas, o que está diretamente ligado à preservação ambiental e à redução de custos (BAIO, 2007).

Leda, Gonçalves e Lima (2019) destacam que para alcançar sucesso, qualidade e alta produtividade na produção canavieira, é fundamental estabelecer uma relação adequada entre fatores como solo, clima, variedade de cana, controle de plantas invasoras,

doenças, pragas e manejo de nutrientes. A estimativa de produção, nesse contexto, é um dado crucial para o planejamento do setor, e o monitoramento das áreas agrícolas, juntamente com estimativas de produção e produtividade realizadas com o uso de geotecnologias e sensoriamento remoto, tende a colaborar significativamente para alcançar métodos eficazes e de baixo custo.

Os sensores ópticos, térmicos, elétricos, mecânicos e pneumáticos, além de contribuírem para a produtividade, trazem vantagens econômicas e ambientais para o setor sucroalcooleiro. Conforme Molin (2010), os sensores ópticos proporcionam retorno econômico ao permitir a aplicação localizada de insumos em tempo real, de acordo com as necessidades específicas de cada lavoura, resultando na diminuição de impactos ambientais associados à adubação nitrogenada em cana-de-açúcar, ao evitar a pulverização desnecessária.

Schiessl (2018) aponta que os sensores térmicos são capazes de analisar, calcular e prever o desenvolvimento e a produtividade, permitindo a redução na aplicação de insumos e, conseqüentemente, a diminuição dos custos de produção e dos impactos ambientais. Além disso, os sensores elétricos, como descrito por Mueller et al. (2003), caracterizam e analisam as propriedades físicas e químicas do solo, sendo uma ferramenta importante tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Da mesma forma, os sensores mecânicos podem medir a compactação do solo e são úteis para medições em tempo real das propriedades físico-mecânicas dos solos. Já os sensores pneumáticos, segundo Sanches et al. (2011), têm o potencial de distinguir diferentes tipos de solo, níveis de umidade e estrutura/compactação do solo.

A Agricultura de Precisão, portanto, se configura como um vetor para o uso eficiente de fertilizantes, considerando a diversidade do solo e da lavoura, e busca a distribuição dos fertilizantes com maior exatidão, aplicando-os de forma adequada, com economia e maior preocupação com o meio ambiente (MOTOMIYA et al., 2011). O sensoriamento remoto utilizado na AP visa à distribuição adequada e precisa, conforme a dosagem recomendada (MOLIN et al., 2010). Um dos principais problemas relacionados à aplicação excessiva de fertilizantes é o impacto ambiental, incluindo perdas por lixiviação e volatilização (CARNEIRO, 2015). Nesse sentido, as adubadoras realizam a aplicação localizada e correta de fertilizantes e corretivos (MOLIN, 2015).

A utilização de plantadeiras na cultura da cana-de-açúcar traz benefícios produtivos, como a redução de falhas no plantio e o aumento do número de perfilhos (Janini, 2007), bem como vantagens econômicas, como o aumento da longevidade dos canaviais e a redução de custos (ROQUE et al., 2010). Segundo Duarte Júnior et al. (2008), o ciclo de produção da cana-de-açúcar deve ser completamente mecanizado, mas é essencial o uso de equipamentos agrícolas com regulagens adequadas, pois isso reduz o tempo de trabalho, aumenta a eficiência, diminui custos e proporciona um maior retorno econômico.

A irrigação por gotejamento na produção de cana-de-açúcar, conforme Schiavinatto (2020), promove o gerenciamento eficiente de efluentes e resíduos, racionalizando o uso de recursos hídricos, priorizando a redução e reutilização de água/efluentes, e resultando em economia de recursos hídricos, menor impacto ambiental e transformação de efluentes em adubos orgânicos. Este sistema de irrigação é uma via para obter ganhos produtivos, econômicos e ambientais na produção de cana-de-açúcar.

Bongiovanni e Lowenberg-Deboer (2004) associam a sustentabilidade ao uso do GPS, pois os sistemas de direcionamento automático por satélite, como GPS, RTK e DGPS, são ferramentas eficazes na redução de custos e no aumento da produtividade (Shiraishi, 2013). A AP abrange o uso de inteligência embarcada, automação e redes de sensores locais para o mapeamento de solos, práticas que tornam a produção mais precisa e automatizada (OMEGA AGROSCIENCE, 2016).

Os sistemas embarcados também proporcionam ganhos no escoamento e benefícios econômicos para a produção de cana-de-açúcar (FERNANDES, 2007), embora possam ocasionar efeitos prejudiciais ao meio ambiente, como a compactação do solo (SANTIAGO, 2020). A compactação do solo, definida como a compressão do solo não saturado que provoca uma reorganização estrutural das partículas e agregados, leva ao aumento da densidade do solo e à redução da macroporosidade, sendo prejudicial à cultura por restringir o crescimento radicular, interferindo no crescimento da planta e na produção de biomassa (STONE et al., 2002; ZOBIOLE et al., 2007).

O uso de drones na agricultura, como relatado pelo SINDAG (2018), tem se expandido nos últimos anos, sendo utilizados para topografia, mapeamento e pulverização. Basto (2015) menciona que os drones desempenham diversas funções,

incluindo análise de plantação, demarcação de plantio, acompanhamento da safra e do campo, pulverização, monitoramento do desmatamento, nascentes de água, abertura de estradas, vigilância, controle de focos de incêndio e telemetria/topografia. Essas funções tornam os drones uma ferramenta valiosa para uma produção canavieira mais sustentável, ao analisar e identificar ações de desmatamento, danos às nascentes hídricas, focos de incêndio e a abertura de estradas em áreas adequadas. Do ponto de vista econômico, os drones podem detectar problemas e atuar nas causas, o que reduz as perdas e aumenta os ganhos na produção (LUCCHETTI, 2019), com rápido retorno sobre o investimento (GOMES, 2018).

Estudos indicam que o uso de piloto automático na abertura de sulcos no plantio de cana-de-açúcar proporciona um desempenho superior tanto em percursos retos quanto em curvos, o que tem levado à sua adoção no setor sucroalcooleiro (OLIVEIRA, 2009). Vale ressaltar que a tecnologia de piloto automático é a segunda mais utilizada em usinas e destilarias paulistas, sendo adotada por cerca de 39% delas (CIRANI e MORAES, 2010). A implementação de barras de luz na produção canavieira também reduz a sobreposição entre passadas consecutivas e otimiza a eficiência da operação agrícola (BAIO, 2001).

A mecanização da colheita da cana-de-açúcar trouxe significativos benefícios em termos de produtividade, economia e meio ambiente, aumentando a produtividade, reduzindo custos, diminuindo o tempo de colheita e minimizando impactos ambientais, especialmente ao dispensar a queima de resíduos (ABREU et al., 2009).

Quadro III - Equipamentos: Produtividade, Aspectos Econômicos e Aspectos Ambientais.

(continua)

<b>Equipamentos</b>	<b>Autor(ano)</b>	<b>Produtividade</b>	<b>Aspectos Econômicos</b>	<b>Aspectos Ambientais</b>
Amostrador de Solo	VIEIRA (2011) ANGALI (2006) BAIO (2007) MENEGATTI ET AL (2006)	Pode gerar benefícios à cultura, principalmente pela possibilidade de maior expressão do potencial genético, não somente em determinadas áreas da lavoura com condições mais favoráveis, mas sim, em toda área cultivada.	É um implemento economicamente eficiente.  Algumas usinas no Brasil têm utilizado a agricultura de precisão como ferramenta para racionalização do uso de insumos e corretivos com resultados relevantes. Dessa maneira ocorre redução do valor do investimento aplicando localizadamente	Aplicação de insumo na dosagem e área correta está ligado diretamente ao meio ambiente.  A aplicação na dosagem e área correta diminui os danos ambientais.

(continua)

<b>Equipamentos</b>	<b>Autor(ano)</b>	<b>Produtividade</b>	<b>Aspectos Econômicos</b>	<b>Aspectos Ambientais</b>
Sensores ópticos	MOLIN 2010	Capaz de diferenciar as doses de N aplicadas, correlacionando-se positivamente com a produtividade final de colmos obtida.	Aplicação localizada de insumos de acordo com as necessidades específicas dentro de cada lavoura, podem refletir melhoria no retorno econômico.	Resulta na diminuição de impactos ambientais associados à adubação nitrogenada em cana-de-açúcar.
Sensores térmicos	SANCHES et al (2011) TAUBINGER (2010) CAMPBELL (1987) SCHIESSL (2018)	Tem a capacidade de identificar os problemas no início da produção, com o intuito de corrigi-los no momento correto, visando à produtividade e à qualidade da safra.	Otimização na aplicação pois permitem analisar, calcular e prever questões como estado de desenvolvimento da cultura, como também, estimar produtividade.	Diminuição de impactos ambientais. Uma vez que o sensoriamento remoto obtém informações da superfície terrestre.

(continua)

<b>Equipamentos</b>	<b>Autor(ano)</b>	<b>Produtividade</b>	<b>Aspectos Econômicos</b>	<b>Aspectos Ambientais</b>
Sensores elétricos	SANCHES et al (2011) TAUBINGER (2010) CAMPBELL (1987) MUELLER et al. (2003)	Tem a capacidade de identificar os problemas no início da produção, com o intuito de corrigi-los no momento correto, visando à produtividade e à qualidade da safra.	Otimização na aplicação. Uma vez que o sensoriamento remoto obtém informações da superfície terrestre.	Diminuição de impactos ambientais, pois os sensores elétricos tem por finalidade caracterizar e analisar as propriedades físicas e químicas do solo.
Sensores Mecânicos	SANCHES et al (2011) TAUBINGER (2010) CAMPBELL (1987) SANCHES et al (2011)	Tem a capacidade de identificar os problemas no início da produção, para corrigir no momento correto, visando à produtividade e à qualidade.	Otimização na aplicação. Uma vez que o sensoriamento remoto obtém informações da superfície terrestre.	Diminuição de impactos ambientais, pois, mensurar a compactação do solo o que é uma boa opção para medições das propriedades físico-mecânicas dos solos.

(continua)

<b>Equipamentos</b>	<b>Autor(ano)</b>	<b>Produtividade</b>	<b>Aspectos Econômicos</b>	<b>Aspectos Ambientais</b>
Sensores pneumáticos	SANCHES et al (2011) TAUBINGER (2010) CAMPBELL (1987) SANCHES et al (2011)	Tem a capacidade de identificar os problemas no início da produção, com o intuito de corrigi-los no momento correto, visando à produtividade e à qualidade.	Otimização na aplicação. Uma vez que o sensoriamento remoto obtém informações da superfície terrestre.	Diminuição de impactos ambientais, pois tem o potencial de distinguir vários tipos de solo, níveis de umidade e estrutura/compactação do solo.
Adubadora	BAIO (2007) Menegatti et al (2006)	A adubadora distribui fertilizantes e corretivos de acordo com a necessidade ou recomendação de cada local da produção.	Distribui fertilizantes e corretivos na quantidade correta e no local exato. Ou seja, diminuição do desperdício dos insumos.	Pode ocasionar compactação do solo. Contudo, realiza a aplicação de insumo na dosagem e a área correta diminuindo os impactos no mesmo.

(continua)

<b>Equipamentos</b>	<b>Autor(ano)</b>	<b>Produtividade</b>	<b>Aspectos Econômicos</b>	<b>Aspectos Ambientais</b>
Plantadeira (PA)	JANINI (2007) SÁ e SANTOS (2005)	Aumenta a longevidade dos canaviais.	Aumenta a longevidade dos canaviais e reduz os custos de produção.	Pode ocasionar compactação do solo o que afeta o crescimento radicular, como aeração, retenção de água, resistência à penetração de.
Irrigação por gotejamento	BARBOSA (2010) MATIOLI et al (1996)	A irrigação por gotejamento nos canaviais melhora o desenvolvimento aumenta a produção de colmo e rendimento de açúcar teórico recuperável.	Dentre os benefícios está a diminuição dos custos. Uma vez que diminui a perda de água.	Aumenta a eficiência do uso da água e diminui as perdas por evaporação e escoamento superficial.

(continua)

Equipamentos	Autor(ano)	Produtividade	Aspectos Econômicos	Aspectos Ambientais
DGPS	SHIRAISHI (2013) BONGIOVANI e LOWENBERG-DEBOER, (2004)	Ocasionalmente aumento de produtividade.	Reduz os custos produtivos, além de poderem trazer como vantagens o aumento de produtividade das culturas.	Vislumbra benefícios ao meio ambiente, pois estão relacionados a outros equipamentos, e fazendo que estes sejam mais eficientes.
GPS	SHIRAISHI (2013) BONGIOVANI e LOWENBERG-DEBOER, (2004)	O uso de GPS no setor condiciona o aumento produtivo, visto que a cana-de-açúcar é uma cultura economicamente expressiva.	Pode propiciar redução dos custos de produção, além de poderem trazer como vantagens o aumento de produtividade das culturas.	Vislumbra benefícios ao meio ambiente, pois estão relacionados a outros equipamentos, e fazendo que estes sejam mais eficientes.

(continua)

Equipamentos	Autor(ano)	Produtividade	Aspectos Econômicos	Aspectos Ambientais
RTK	MAZZONETTO (2021); Revista RPA News (1 de junho de 2019) BONGIOVANNI e LOWENBERG-DEBOER, (2004)	Gera informações que contribuíram para o aumento de produtividade e qualidade nas operações de colheita.	Trás maior autonomia, praticidade, segurança, economia, tomada de decisões estratégicas e assertivas na produção.	Vislumbra benefícios ao meio ambiente, pois estão relacionados a outros equipamentos, e fazendo que estes sejam mais eficientes.
Sistemas embarcados	SANTIAGO (2020) FERNANDES (2017)	Como identificar em tempo real acarreta tomada de decisão mais rápida	Gera ganho no escoamento e diminuição de risco.	Pode ocasionar compactação do solo.

(continua)

<b>Equipamentos</b>	<b>Autor(ano)</b>	<b>Produtividade</b>	<b>Aspectos Econômicos</b>	<b>Aspectos Ambientais</b>
Drones	LUCHETTI (2019) ASSAIANTE e CAVICHIOLI (2020)	Torna as lavouras mais eficientes e aumenta em alguns aspectos a produção do setor sucroalcooleiro.	Reduz gastos com insumos agrícolas.	A aplicação de drones está ligada a uma produção mais limpa, por sua vez se torna mais sustentável.
Piloto automático	Blog CHBAGRO 17/12/2020 CIRANI et al (2010)	Maior rendimento operacional e ganhos em produtividade, melhor aproveitamento de cada metro quadrado da lavoura.	Rendimento maior, redução na fadiga do operador, e redução no consumo de combustível.	Permite o controle de tráfego e redução da compactação do solo, além de reduzir o consumo de combustível.

(conclusão)

<b>Equipamentos</b>	<b>Autor(ano)</b>	<b>Produtividade</b>	<b>Aspectos Econômicos</b>	<b>Aspectos Ambientais</b>
Barra de Luz	BAIO et al. (2001)	Diminui a sobreposição entre passadas consecutivas e otimiza a eficiência da operação agrícola.	Diminuição da sobreposição entre passadas consecutivas e gerar redução do custo da aplicação.	Diminui a sobreposição, que por sua vez diminui a contaminação do meio ambiente.
Colhedora (PA)	GIACHINI et al. (2016) ABREU et al (2008)	Alta produtividade, oferecendo redução de perdas no campo e promovendo qualidade da matéria prima encaminhada à indústria.	Além das vantagens econômicas, ambientais a colheita mecanizada oferece o efetivo cumprimento das normas regulamentadoras do mercado .	A colheita mecanizada possibilita menor agressão ao ambiente, pois dispensa a queima de resíduos.

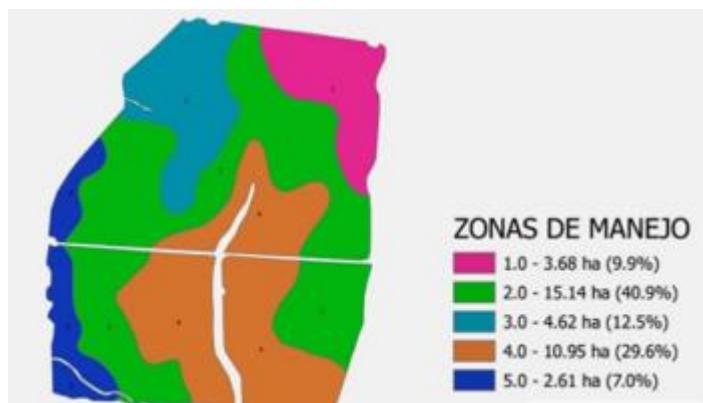
Fonte: Elaboração Própria

## 6.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A inteligência artificial na agricultura cada vez mais está voltada para a área de qualidade e diminuição de custo (KUMAR, 2018). Cabe ressaltar que a aplicação da inteligência artificial ocorre principalmente no setor de maquinários e implementos agrícolas, isto faz com que tenha autonomia na tomada de decisão, além de que o produtor possa acompanhar de forma remota, como também gera redução de desperdício e simplificação do sistema agrícola (SOAM e RAGHUPHATI, 2018).

A inteligência artificial (IA) tem se tornado uma aliada crucial no setor canavieiro, revolucionando práticas agrícolas e otimizando a produção de cana-de-açúcar. Com o uso de algoritmos avançados, é possível prever condições climáticas, identificar previsões e doenças com maior precisão e otimização do uso de insumos, como água e fertilizantes. Além disso, a IA permite a análise de grandes volumes de dados, facilitando a tomada de decisões mais assertivas e a maximização do rendimento das safras (FREITAS, 2016). A automação de processos e o monitoramento em tempo real das plantações também são recomendados para uma gestão mais eficiente, reduzindo custos e aumentando a sustentabilidade da produção.

Para Vieira e Lima (2001), a linguística computacional teve seu impulso desenvolvimento de programas na área da Inteligência Artificial. Nesse sentido é que se encontra as linguagens computacionais, tal tal como a linguagem Python, a qual é eficaz no desenvolvimento de scripts, estes têm por função realizar análises espaciais, gerenciamento e conversão de dados, o que gera automação e produção de mapas (ESRI, 2018). A figura 2 é a representação de um mapa gerado a partir de scripts da linguagem Python, a qual está representando a criação de zonas de manejo, que é caracterizada por áreas do terreno que apresentam os mesmos potenciais de produção, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental.



**Figura 2:** Zona Permanente de Manejo (fonte própria).

Em seu trabalho Vieira (2021), demonstra que a inteligência artificial traz ganhos na produtividade, redução de custos e produção mais sustentável. Uma vez que há utilização da inteligência artificial reduz o uso de agrotóxico aplicado no cultivo de cana de açúcar. Nesse contexto, IA permitr detreminar a aplicação de defensivos agrícolas, fertilizantes e sementes na quantidade localidade correta, como está na figura 3.



**Figura 3:** Apresenta mapas de herbicida, de semente e de calcário por zona de manejo permanente.

**Fonte:** Cropman Inovação Agrícola

As perspectivas para a aplicação de IA no setor sucroalcooleiro são promissoras e abrangem diversas áreas, desde o plantio até colheita, o que gera otimização dos processos industriais. A IA permite uma análise preditiva de dados, facilitando uma tomada de decisões mais assertivas em relação ao manejo das plantações, previsão de produtividade e controle de previsão. Além disso, a IA associada aos instrumentos da agricultura de precisão como drones e sensores automatizados é fundamental para o setor sucroalcooleiro pois faz o monitoramento das plantações em tempo real, melhorando a eficiência do uso de recursos naturais e redução de custos operacionais. A tendência é que a IA continue a expandir sua aplicação no setor, pois a IA busca a redução de custos, melhor qualidade, maior produtividade nas propriedades rurais, diminuindo o impacto no meio ambiente.

## 7. CONCLUSÃO

A partir da revisão bibliográfica sobre a evolução da Agricultura de Precisão (AP) no setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo e as perspectivas da inteligência artificial (IA), este estudo analisa e identifica as vantagens, desvantagens, desafios, e os aspectos produtivos, econômicos e ambientais que a AP e a IA trazem para o setor. Também destaca os principais equipamentos e tecnologias adotados na indústria sucroalcooleira.

Neste contexto, foram analisados diversos equipamentos e maquinários, incluindo amostradores de solo, sensores ópticos, sensores térmicos, sensores elétricos, sensores mecânicos, sensores pneumáticos, adubadoras, plantadeiras, sistemas de irrigação por gotejamento, DGPS, GPS, RTK, sistemas embarcados, drones, piloto automático, barras de luz e colhedoras. Além desses instrumentos agrícolas, as linguagens computacionais desempenham um papel fundamental na produção de mapas, essenciais para a redução de custos, a produção mais sustentável e o aumento da produtividade. Vale ressaltar que a AP prioriza a integração de todas as fases da produção—análise do solo, preparação do solo, cultivo da cultura, irrigação, acompanhamento/manejo, colheita, transporte e agroindústria—assegurando uma comunicação eficaz entre elas.

De modo geral, o uso dessas tecnologias oferece benefícios produtivos, econômicos e ambientais, como o monitoramento em tempo real e a tomada de decisões mais ágeis, além de práticas de manejo aprimoradas para cada talhão, com aplicação precisa de fertilizantes, corretivos e defensivos agrícolas. No entanto, existem desvantagens, como o alto custo de implantação do sistema, a necessidade de maquinário compatível e a falta de profissionais qualificados para interpretar os dados.

Os desafios incluem a redução do tráfego de maquinários, a utilização de subprodutos da cana-de-açúcar sem causar danos ambientais, o desenvolvimento de softwares de gerenciamento agrícola que garantam a transmissão diária dos dados das frotas para o escritório, mesmo sem cobertura de sinal GPRS no campo, e o alto custo de aquisição, além da necessidade de profissionais capacitados.

A AP e a IA proporcionam uma relação adequada entre fatores como solo, clima, variedade de cana, plantas invasoras, doenças, pragas e nutrientes, resultando em ganhos produtivos, econômicos e ambientais. Além disso, essas tecnologias permitem uma comunicação direta entre aspectos produtivos, econômicos e ambientais, como a aplicação precisa e na área correta, a redução do tempo de produção e da tomada de decisão, o uso eficiente de água e outros recursos, a diminuição da sobreposição das linhas e o aumento da longevidade dos canaviais, impactando diretamente essas três áreas.

Espera-se que o trabalho seja um vetor de aplicação e/ou desenvolvimento da AP para o Setor Sucroalcooleiro paulista, pois traz as vantagens, desvantagens e desafios de cada equipamento, bem como as perspectivas da inteligência artificial. Contudo, torna-se necessário relatar a importância de se realizar outros levantamentos bibliográficos do assunto, bem como, analisar o uso de outras tecnologias tanto dentro do Estado de SP quanto em outros lugares, pois a AP, e seus equipamentos estão sempre evoluindo. Nesse sentido, espera-se que o material seja um veículo de estudo e que sirva para a implementação da AP e da IA no Setor Sucroalcooleiro paulista.

## 8. REFERÊNCIAS

ABREU, D.; MORAES, L. A.; NASCIMENTO, E. N.; OLIVEIRA, R. A. **Impacto social da mecanização da colheita de cana-de-açúcar**. Rev Bras Med Trab. São Paulo. Vols. 4, 5 e 6. Número Especial. Julho de 2009. Disponível em: <http://www.rbmt.org.br/details/147/pt-BR/impacto-social-da-mecanizacao-da-colheita-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2022.

ADAMCHUK, V.I., HUMMEL, J.W., MORGAN, M.T., UPADHYAYA, S.K., 2004. **On-the-go soil sensors for precision agriculture**. Comput. Electron. Agric. 44 (1), 71–91.

**Agricultura de precisão**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília : Mapa/ACS, 2009. 31 p.

AGROLINE. **Agricultura de Precisão em Cana de Açúcar: Mapeamento de Plantas**

**Daninhas.** Youtube, 20 de out. de 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=iKHOHT73Z8U&t=2s>> Acesso em: 28 set. 2020.

AMARAL, L.R. **Sensor óptico no auxílio à recomendação de nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar.** 2011. 81 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

ASSAIANTE, B. A. S.; CAVICHIOLI, F. A. **A utilização de veículos aéreos não tripulados (vant) na cultura da cana-de-açúcar.** Interface Tecnológica-v. 17 n. 1 (2020).

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Contribuição ao setor sucroalcooleiro:** Opinião. São Paulo, 2001.

BAIO, F. H. R.; BALASTREIRE, L. A.; TORRES, F.; RIBEIRO, A. C. F. **Avaliação da acurácia de uma barra de luz utilizada na agricultura de precisão, em relação ao marcador de espuma.** Rev. bras. eng. agríc. ambient. 5 . Maio 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000200031>>. Acesso em: 2022-03-30.

BAIO, F. H. R. **Aplicação de AP no Plantio.** In: RIPOLI, M. L. C.; CASGRANDI, D. V.; IDE, B. Y. (Org.). Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte. 2. ed. Piracicaba: T. C. C. Ripoli, 2007, v. 1, p 92-101.

BAIO, F. H. R.; MOLIN, J. P.; LEAL, A. J. F. **Avaliação comparativa da distribuição transversal de adubos sólidos aplicados em culturas anuais.** Bioscience Journal, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 527-536, 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13441>> Acesso em: 27 set. 2021.

BARBOSA, E. A. A. **Fertirrigação e aplicação de vinhaça via gotejamento subsuperficial na produção de cana-de-açúcar.** 2010. 91 fls. Trabalho de Curso (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical, Área de Concentração em Tecnologia de Produção Agrícola) - INSTITUTO AGRONÔMICO, Campinas, 2010.

BASTOS, 2015. **Usos de drones na agricultura e pecuária.** Disponível em:<<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Pesquisa-e-Tecnologia/noticia/2015/05/15-usos-de-drones-na-agricultura-e-na-pecuaria.html>>

Acesso em: 2022-03-30.

BIODIESELBR. **PróAlcool- Programa brasileiro de Álcool**, 2006. Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool/programa-etanol#:~:text=O%20Programa%20Nacional%20do%20%20C3%81lcool,da%20pol%C3%ADtica%20de%20combust%C3%ADveis%20automotivos.>> Acesso em: 04/11/2020.

BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. Precision agriculture and sustainability. **Precision Agriculture**, v. 5, p. 359-387, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agricultura Digital e de Precisão, Brasília 2017.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. New York: Virginia Polytechnic Institute, The Guilford Press, 1987.551.p

CARPANEZZI, L.; LEARDINI, O.; SILVA, C. G.C.; ZANARDI, R. **História e evolução da mecanização**. REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE AGRONOMIA – ISSN: 1677-0293, n.31. Junho de 2017. Disponível em: <[http://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/pw03uDqmAOcir5d\\_2018-1-25-14-44-5.pdf](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/pw03uDqmAOcir5d_2018-1-25-14-44-5.pdf)> Acesso em: 05 abr. 2022.

CARASKI, B. G.; MINGOTTE, F. L. C. AGRICULTURA DE PRECISÃO NO CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR. **SIMTEC - Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga**, v. 3, n. 1, p. 10, 24 set. 2017.

CARNEIRO, F. M. **Aplicação mecanizada de N-P-K individualizada na cultura da cana-de-açúcar**. 2015. vii, 86 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/128017>>. Acesso em: 2022-03-14

CARVALHO, G. R. ; OLIVEIRA, C. O setor sucroalcooleiro em perspectiva. **Circular Técnica**, Campinas, V. 1, n. 1, p. 1-18, 2006.

CERRI, D. **Agricultura de precisão em cana-de-açúcar**: Instrumentação de uma colhedora, mapeamento da produtividade e de atributos do solo (Doutorado em

Engenharia Agrícola)-Departamento de Máquinas Agrícolas. São Paulo: FEAGRI/UNICAMP, 2005.

CIRANI,C.B.; MORAIS,M.A.F.D. ; **Inovação na indústria sucroalcooleira paulista:** os determinantes da adoção das tecnologias de agricultura de precisão. RESR, Piracicaba, SP, vol. 48, Nº 4, p. 543-565, out/dez 2010 – Impressa em Março 2011.

CLERCQ, M.; VATS, A.; BIEL, A. **Agriculture 4.0:** the future of farming technology, 2018.

GRUPO IDEA. Ribeirão Preto, 2020. Disponível em:

<<http://www.ideaonline.com.br/conteudo/cana-de-acucar-a-volta-do-plantio-manual.html>> Acesso em: 04/11/2020.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Agricultura 4.0:** O mundo digital revoluciona o campo. Belo Horizonte, MG: Fonte, 2018.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acomp. safra bras. cana**, v. 7 - Safra 2019/20, n. 1 - Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-62 maio de 2020.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acomp. safra bras. cana**, v. 7 - Safra 2019/20, n. 2 - Segundo levantamento, Brasília, p. 1-64, agosto de 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil** / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2016.

CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO ESALQ/USP; 2.; 2006, São Pedro.

CRISCUOLO, C.; QUARTAROLI, C. F.; MIRANDA, E. E. de; GUIMARÃES, M.; HOTT,

M. C. Dinâmica de uso e cobertura das terras na Região Nordeste do Estado de São Paulo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, dez. 2005. 65 p. (Documentos, 45). Disponível

em:

<[http://www.cnpm.embrapa.br/publica/download/doc45\\_solsNESP.pdf](http://www.cnpm.embrapa.br/publica/download/doc45_solsNESP.pdf)>. Acesso em: 04/11/2020.

Embrapa, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **O setor sucroalcooleiro em perspectiva**. Campinas; 2006.

Embrapa, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Agricultura de Precisão em cana-de-açúcar**. Brasília, 2014.

ESRI. Python For ArcGIS. 2018. Disponível em: <<https://pro.arcgis.com/en/proapp/arcpy/get-started/installing-python-for-arcgis-pro.htm>> . Acesso em: 20 de junho de 2024.

FRANCISCO, Wagner de Cerqueira e. "Proálcool". Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/proalcool.htm>. Acesso em: 26 set. 2024.

FRASSON, F.R.; MOLIN, J.P.; SALVI, J.V.; POVH, F.P.; GARCIA, M.A.L. **Utilização de sensor ótico ativo no diagnóstico de falhas de plantio em cana-de-açúcar**. STAB. Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, v. 26, p. 34-37, 2007.

FREITAS, L. F. **Elaboração de um plano de manutenção em uma pequena empresa do setor metal-mecânica de Juiz de Fora com base nos conceitos da Manutenção Preventiva e Preditiva**. 2016. 96f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

GIACHINI, C. F.; RAMOS, C. R. G.; LYRA, G. A.; GAMERO, C. A.; LANÇAS, K. P. **Consumo de combustível e perdas de cana-de-açúcar durante a colheita diurna e noturna**. Revista Energia na Agricultura, v. 31, n. 1, 2016. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/864>>. Acessado em: 14 de fevereiro de 2022.

GOMES, 2018. **Drones na agricultura: tudo sobre a tecnologia que está mudando o setor**. Disponível em: <<https://www.pixforce.com.br/post/drones-na-agricultura-tudo-sobre-a-tecnologia-que-est%C3%A1-mudando-o-setor>>. Acesso em: 2022-03-30.

InvesteSP, AGÊNCIA PAULISTA DE PROMOÇÃO DE INVESTIMENTOS E COMPETITIVIDADE. **Cana-de-açúcar: Setores de negócios**. São Paulo.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C. **Agricultura de Precisão**. Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP, 2014. Disponível em:

<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1003476/1/cap1.pdf>> Acesso em: 04 abr. 2022.

INAMASU, R. Y.; SOUSA, R. V.; PORTO, A. J. V.; FORTES, C.; LUCHIARI, A.; SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J. F.; FRANCIS, D. D. **Acesso ao estado nutricional da cana-de-açúcar por meio de sensor ativo de refletância**. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2., 2006, São Pedro. Anais ... São Pedro: ESALQ/USP, 2006. CD Rom.

JANINI, D. A. **Análise operacional e econômica do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2007. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. doi:10.11606/D.11.2007.tde-30102007-113443. Acesso em: 12 fev. 2022.

KUMAR, S. **Reinventing Agri-produce quality testing using AI. National Workshop on Artificial Intelligence in Agriculture**. Indian Council of Agricultural Research. New Delhi. p.44-45. 2018.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do trabalho científico**. 3ª ed. São Paulo: Atlas S.A., 1991.

LEDA, V. C.; GOLÇALVES, A. K.; LIMA, N. S. **Sensoriamento remoto aplicado a modelagem de produtividade da cultura da cana-de-açúcar**. Energia na Agricultura, Botucatu, v. 34, n. 2, p.263-270, abril - junho, 2019.

LEPSCH, I. F. **Influência dos fatores edáficos na produção**. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T.; (Coord.). Ecofisiologia da produção. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do fosfato (POTAFOS), 1987.p.83-97.

LIMA, J. C. S. A intervenção governamental no setor açucareiro: ênfase à problemática do subsídio de equalização. São Paulo: FENUSP, 1992. 118p. (Tese de Doutorado).

LUCTTI, A. **Utilização de drones na agricultura: Impactos no setor sucroalcooleiro**. Palhoça, 2019.

MACEDO, M. Ciclo da Cana de açúcar. Educamais Brasil. 23 dez 2019. Disponível em: <<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/historia/ciclo-da-cana-de-acucar>> Acesso

em: 04 abr. 2022.

MALTHUS, T. **Ensaio sobre a População**. [S.I.] . Virtual eBook, 2017. Disponível em:  
< <https://www.amazon.com.br/Malthus-Popula%C3%A7%C3%A3o-Cole%C3%A7%C3%A3o-Economia-Pol%C3%ADtica-ebook/dp/B074KNS78N>  
>. Acesso em: 01/10/2020

MANZO, A. J. **Manual para la preparación de monografías**: una guía para presentar informes y tesis. Buenos Aires: Humanistas, 1971.

MASIERO, F. C. **Produtividade e compactação do solo em diferentes ciclos anuais da cultura de cana-de-açúcar**. Tese (Doutor em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP. Botucatu-SP, p. 96. 2013.

MATIOLI, C.S.; PERES, F.C.; FRIZZONE, J.A. **Análise de decisão sobre a viabilidade da irrigação suplementar de cana-de-açúcar colhida no mês de julho na região de Ribeirão Preto - SP**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 2., 1996, Bauru. Resumos... Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996. p.386.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, p.569, 2010. Disponível em:  
<<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/19849/CDBR17079098p.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 04 abr. 2022.

MAZZONETTO, A. W.; GONÇALVES, E. P.; SOARES, S. S. **O impacto da tecnologia aplicada ao processo de colheita de cana-de-açúcar na eficiência do setor sucroenergético em uma empresa paulista**. Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol.11, n. 1, jan./jun. 2021. P. 09-29. Disponível em:  
<<http://www.fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/view/420/373808>>. Acesso em: 14 fev. 2022.

MOLIN, J. P. ; AMARAL, L. R. ; COLAÇO, A. F. Introdução. In: **Agricultura de Precisão**. São Paulo: Oficina de textos, 2015.p.9-15.

MOLIN, J. P.; FRASSON, F. R.; AMARAL, L. R.; POVH, F. P.; SALVI, J. V. **Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.14, n.12, p.1345–1349, 2010.

MOTOMIYA, A. V. de A.; MOTOMIYA, W. R.; MOLIN, J. P.; LIRA, A.; OLIVEIRA, J. R. G. Di; BISCARO, G. A. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produtividade do algodoeiro**. Revista Agrarian, Dourados, v.4, n.11, p.1-9, 2011.

MUELLER, T.G., HARTSOCK, N.J., STOMBAUGH, T.S., SHEARER, S.A., CORNELIUS, P.L., BARNHISEL, R.I., 2003. **Soil electrical conductivity map variability in limestone soils overlain by loess**. Agronomy Journal 96, 496– 507.

NEUFELD, J.; DAVISON, J.; STEVENSON, T. **Subsurface drip irrigation**. Disponível em: <[www.unce.unr.edu/publications/files/ag/olher/fs9713.pdf](http://www.unce.unr.edu/publications/files/ag/olher/fs9713.pdf)> Acesso em: 10 set. 2021.

NOVAES, A.L.; SANTOS, L.C. **Sistema de monitoramento veicular – setores sucroalcooleiros: A tecnologia da informação a serviço da gestão empresarial**, Colloquium Agrariae, Presidente Prudente-SP, vol. 13, n. Especial, Jul–Dez, p. 262-267, 2017.

OLIVEIRA, T. Tecnologia e custos de produção de cana-de-açúcar: um estudo de caso em uma propriedade agrícola. **Latin American Journal of businessmanagement**, v. 3, n. 1, p. 150-172, 2012.

PALMA, J. M. B.; BUENO, U. S.; STOROLLI, W. G.; SCHIAVUZZO, P. L.; CESAR, F. I. G.; MAKIYA, I. K. **Os princípios da Indústria 4.0 e os impactos na sustentabilidade da cadeia de valor empresarial**. 6º Internaticonal Workshop Advances in Cleaner Production, São Paulo, 2017. Disponível em:<[http://www.advancesincleanerproduction.net/sixth/files/sessoes/6B/4/palma\\_jmb\\_et\\_a\\_l\\_academic.pdf](http://www.advancesincleanerproduction.net/sixth/files/sessoes/6B/4/palma_jmb_et_a_l_academic.pdf)>. Acesso em: 20 de novembro de 2023.

OMEGA AGROSCIENCE, 2016. **Agricultura de Precisão: ferramentas, benefícios e vantagens**. Disponível em: <<http://www.omegaagro.com.br/2016/06/02/agricultura-de-precisaoferramentas-beneficios-e-vantagens/>>. Acesso em 2022-03-29.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. Seja o doutor do seu canavial. **Informações Agronômicas**, n. 67, set. 1994. Disponível em: <[https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3142/\\$File/Seja%20Canavial.pdf](https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3142/$File/Seja%20Canavial.pdf)> Acesso em: 27 set. 2021.

PEREIRA, M. A.; ROSSINI, C.M.; ARAUJO, C. F. **A questão da sustentabilidade voltada ao desempenho organizacional**: uma análise exploratória em empresas do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo *Exacta*, vol. 8, núm. 3, 2010, pp. 269- 278 Universidade Nove de Julho, São Paulo, Brasil.

PIERCE, F.J.; NOWAK, P. **Aspects of precision agriculture**. *Adv. Agronomy*, v. 67, p.1-85, 1999.

QUINTELA, A.C.R.; ANDRADE, L.A.B.; CARVALHO, G.J.; BOCARDO, M.R. Efeito do Plantio de cana inteira, com e sem desponte, e da compactação pós-cobertura, em duas variedades de cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 3, p. 22-24, jan./fev. 1997.

RIPOLI, M. L. C; CASGRANDI, D. V. (Org.). **Plantio de cana-de-açúcar**: estado da arte. Piracicaba: Livroceres, 2006. v.1, p. 80-90.

RIPOLI, M. L. C. O desenvolvimento tecnológico na mecanização da colheita da cana-de-açúcar, **Nova Cana**, São Paulo, 21 de ago. de 2014. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/cana/maquina-agricola/tecnologia-mecanizacao-colheita-cana-210814>> Acesso em: 02 set. 2021.

ROQUE, A. A. O.; SOUZA, Z. M.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. **Controle de tráfego agrícola e atributos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.45, n.7, p.744-750, 2010.

SÁ, M., A., C.; SANTOS, J., D., G., J. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 26p.

Revolução Verde. Brasil Escola . Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/revolucao-verde.htm>> acesso 04 abr. 2022.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. Adubação Verde. *Árvore do conhecimento de Cana-*

de-Açúcar. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)**. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_20\\_711200516716.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_20_711200516716.html)> Acesso em: 09 set. 2021.

SÃO PAULO. **São Paulo lidera a produção de açúcar no Brasil**. Disponível em: <https://www.agricultura.sp.gov.br/pt/b/sp-expande-productividade-da-cana-de-acucar-com-tecnologia-pesquisa-e-clima-favoravel-1#:~:text=S%C3%A3o%20Paulo%20lidera%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o,%C3%A9%20o%20maior%20produtor%20mundial>. Acesso em: 26 set. 2024.

Schiavinatto, Wilton **Análise das ações de sustentabilidade de agroindústrias paulistas cítricas e sucroalcooleiras**. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2020. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/214801>>. Acesso em: 2022-03-2022.

SCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. **Introdução à agricultura de precisão: Conceitos e vantagens**, Ciência Rural, Santa Maria, RS, v. 32, n. 1, p.159-163, fev. 2002.

SCHIESSL, M. Sensores na Agricultura: 8 maneiras de deixar sua lavoura mais inteligente utilizando sensores no campo. Aegro, 2018. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/sensores-na-agricultura/>> Acesso em: 28 set. 2021.

SHIRAISHI, Marcelo Riyudi. **Levantamento de oportunidades da aplicação das ferramentas Lean em Agricultura de Precisão: propostas dentro do setor sucroalcooleiro**. 2013. 94 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2013.

SHOCKLEY, J.M.; DILLON, C.R. Cost savings for multiple inputs with swath control and auto guidance technologies. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 9., 2008, Denver. *Proceedings...* Denver: Colorado State University, 2008. 1 CD-ROM.

SILVA, C.B.; MORAES, M.A.F.D.; MOLIN, J.P. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. *Precision Agriculture*, v.12, n.1., p.67-81, 2011.

SINDAG, 2018. **Uso de drones na agricultura brasileira**. Disponível em:

<http://sindag.org.br/uso-de-drones-na-agricultura-brasileira/>. Acesso em: 2022-03-30.

SOAM, S. K.; RAGHUPHATI, B. **Artificial Intelligence in Agriculture: Global Status**. National Workshop on Artificial Intelligence in Agriculture. Indian Council of Agricultural Research. New Delhi. P.1-7. 2018.

SOUZA, Z. M.; CERRI, G. P.; COLET, M. J.; RODRIGUES, L. H. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; MANDONI, R. J. A. **Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geostatística e árvore de decisão**. Ciência Rural, Santa Maria, v.40, n.4, p.840-847, abr, 2010.

STABILE, M.C.C.; BALASTREIRE, L.A. **Comparação de três receptores GPS para uso em agricultura de precisão**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26, n.1, p.215-223, 2006.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. **Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I. efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo**. R. Bras. Eng. Agric. Amb., v. 6, n. 2, p. 207-212, 2002.

TAUBINGER, L.; MOLIN, J. P. **Adequação da Metodologia de uso de um sensor ótico ativo na cultura cana-de-açúcar**. In: CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTIFICO E TECNOLÓGICO – CNPQ, 2010, Piracicaba: ESALQ, 2010. Disponível em: [http://www.ler.esalq.usp.br/download/gmap/iniciacao/Leandro\\_Taubinger.pdf](http://www.ler.esalq.usp.br/download/gmap/iniciacao/Leandro_Taubinger.pdf)  
Acesso em: 16 fev. 2022.

TAUBINGER, L.; MOLIN, J. P. **Atividades desenvolvidas no setor agrícola do Grupo Noble Bioenergia, unidade de Catanduva, com ênfase em Agricultura de Precisão**, Piracicaba: ESALQ, 2012. Disponível em: <http://www.ler.esalq.usp.br/download/gmap/estagio/LeandroTaubingerEstProfissionalizante.pdf>  
Acesso em: 28 set. 2021.

USO DE SENSORES NO COMBATE ÀS PRAGAS NO CAMPO. **Estadão**, São Paulo, 30 de maio de 2020. Disponível em: <https://summitagro.estadao.com.br/tendencias-e-tecnologia/sensores-combate-pragas-campo/>  
Acesso em: 20 set. 2021.

VIEIRA, Lucas Augusto. **REDUÇÃO DE USO DE AGROTÓXICOS POR MEIO**

**DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.** 2021. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2021.

VIEIRA, R.; LIMA, V. L. S. **Linguística computacional: princípios e aplicações.** In: Anais do XXI Congresso da SBC. I Jornada de Atualização em Inteligência Artificial. sn, 2001. p. 47-86.

VIEIRA, L. P.; MOLIN, J. P. Atividades **desenvolvidas no setor agrícola do grupo noble bioenergia, unidade de catanduva, com ênfase em agricultura de precisão.** 2011. 40 fls. Relatório (Estágio Profissionalizante em Engenharia Agrônômica). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

ZOBIOLE, L.H.S., OLIVEIRA JR., R.S.; TORMENA, C.A.; CONSTANTIN, J. ; CAVALIERI, S.D.; ALONSO, D.G.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. **Efeito da compactação do solo e do sulfentrazone sobre a cultura da soja em duas condições de água no solo.** Planta Daninha, Viçosa-MG, v.25, n. 3, p. 537-545, 2007.