



ANAIS

GESTÃO DA INFORMAÇÃO NO INVENTÁRIO DE ÁRVORES POR SENSORIAMENTO REMOTO NA CITRICULTURA

ANA KAROLLINA MADEIRA NOVAES

a.novaes@unesp.br
UNESP FCAV

SHEILA FARIAS ALVES GARCIA

sheila.garcia@unesp.br
UNESP FCAV

RESUMO: A citricultura brasileira concentra-se no cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro, cuja estimativa anual de safra depende diretamente do inventário de árvores produtivas. O método setorial vigente, conduzido pelo Fundo de Defesa da Citricultura, baseia-se em amostragem estatística de talhões com extrapolação dos resultados para o conjunto do parque, e seu remapeamento georreferenciado completo ocorre em intervalos de aproximadamente três anos. Este relato técnico tem por objetivo descrever e analisar a adoção de uma solução de inventário de árvores baseada em veículos aéreos não tripulados (VANTS) em uma organização multinacional do setor citrícola, evidenciando como a transição de uma lógica de estimativa amostral para uma lógica de censo digital impacta a estratificação dos pomares e a precisão da estimativa de safra. Caracteriza-se como pesquisa aplicada, descritiva e de abordagem qualitativa, estruturada como estudo de caso único, com coleta baseada em pesquisa documental institucional, registros internos da organização e observação direta. A análise comparou os dois métodos a partir de seis critérios definidos previamente: método de levantamento, intervalo entre levantamentos completos, capacidade de subsidiar a estimativa de safra, digitalização do dado, monitoramento da saúde das plantas e mensuração de área e cubicagem por planta. Os resultados indicam que a solução censitária amplia a granularidade e a tempestividade da informação, viabilizando o acompanhamento individualizado de saúde, altura e volume de copa, atributos ausentes no método tradicional. Conclui-se que o problema enfrentado não era a inexistência de informação, mas a incompatibilidade entre sua escala de agregação e a unidade de decisão da organização. A contribuição gerencial reside no deslocamento do inventário de evento periódico para processo contínuo, com efeitos sobre planejamento de safra, fluxo de caixa e registro patrimonial de ativos biológicos.

PALAVRAS CHAVE: Citricultura. VANTS. Estimativa de Safra.

ABSTRACT: Brazilian citrus production is concentrated in the citrus belt of São Paulo and the Minas Gerais Triangle/Southwest, where the annual crop forecast depends directly on the inventory of productive trees. The prevailing sectoral method, conducted by the Fundecitrus, is based on statistical sampling of plots with extrapolation of the results to the park as a whole, and its complete georeferenced remapping occurs at intervals of approximately three years. This technical report aims to describe and analyze the adoption of a tree inventory solution based on unmanned aerial vehicles (UAVs) in a multinational organization of the citrus sector, showing how the transition from a sample-based estimation logic to a digital census logic affects orchard stratification and the accuracy of the crop forecast. It is characterized as applied, descriptive and qualitative research, structured as a single case study, with data collection based on institutional documentary research, internal organizational records and direct observation. The analysis compared the two methods against six previously defined criteria: survey method, interval between complete surveys, capacity to support the crop forecast, data digitalization, plant health monitoring, and per-plant area and volume measurement. The results indicate that the census-based solution increases the granularity and timeliness of information, enabling individualized monitoring of health, height and canopy volume, attributes absent from the traditional method. It is concluded that the problem faced was not the absence of information, but the mismatch between its scale of aggregation and the organization's unit of decision. The managerial contribution lies in shifting the tree inventory from a periodic event to a continuous process, with effects on crop planning, cash flow and the accounting record of biological assets.

KEY WORDS: Citriculture. VANTS. Crop forecasting.

1 INTRODUÇÃO

A citricultura é a atividade agrícola voltada ao cultivo de frutas cítricas, como laranja, limão, tangerina e pomelo, utilizadas tanto para consumo in natura quanto na cadeia de sucos e derivados (Fundecitrus, 2025b). O Brasil é um dos maiores produtores mundiais e tem na citricultura uma atividade fundamental para a economia, contribuindo para a geração de empregos e para a segurança alimentar. Em termos agronômicos, trata-se de uma cultura perene, sendo seu ativo biológico duradouro, como a laranjeira, cuja vida produtiva leva cerca de 20 anos.

Apesar da longevidade, as safras são anuais e, para estimar a produção a cada ciclo, é necessário considerar o volume de árvores existentes. No maior parque citrícola nacional, denominado cinturão citrícola, que contempla o estado de São Paulo e o Triângulo Mineiro, o método usual de inventário de árvores é estabelecido e executado pelo Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus, 2023).

A organização em que este relato foi desenvolvido é uma empresa multinacional do setor citrícola, com número de hectares ocultos para preservação da identidade, sendo responsável pela absorção de um extenso parque de pomares próprios e de fornecedores. Para além da realidade interna, existe demanda de tecnologias capazes de fornecer dados rápidos, precisos e em grande escala, neste contexto, a utilização de drones tem gerado insumos primários ao processo de estimativa de safra, que orienta decisões de planejamento industrial, comercial e agrícola.

Como situação observada, o inventário de árvores setorial é obtido por método estatístico amostral, executado periodicamente pelo Fundo de Defesa da Citricultura, com sorteio de uma fração dos talhões e extrapolação dos resultados para o conjunto do parque, revisão por imagens satelitais e relatórios de expedição de mudas. Por depender de visitas presenciais e de padronização visual em campo, esse inventário tem ciclo longo de execução e produz um número estimado e não efetivo de árvores. Porém, tal fragilidade dentro de uma empresa, representa incerteza econômica quanto ao volume de safra e volume de ativo biológico.

Portanto, é expressiva a relevância do inventário de árvores, uma vez que a produção estimada resulta da multiplicação do número de árvores produtivas por indicadores de produtividade média, onde qualquer desvio na contagem propaga-se proporcionalmente para a estimativa final, afetando decisões de contratação de colheita, logística, contratos de fornecimento e programação industrial.

Diante desse contexto, a organização passou a avaliar alternativas tecnológicas capazes de substituir a lógica de estimativa amostral por uma lógica de censo. A intervenção relatada consiste na adoção de uma solução de sensoriamento remoto por veículos aéreos não tripulados (VANTs), fornecida por uma empresa especializada em inteligência para árvores, aqui denominada empresa parceira de tecnologia, que realiza o sobrevoo integral dos pomares e a identificação individualizada de cada planta.

O foco deste relato está em evidenciar os resultados da aplicação tecnológica na produção do inventário de árvores, avaliando como a utilização de drones, pela empresa estudada, na contagem dos ativos biológicos de forma precisa, com digitalização e uso de imagens, está beneficiando o cultivo de citros.

1.1 Objetivo

Este relato tem por objetivo descrever e analisar a adoção de uma solução de inventário de árvores baseada em VANTs em uma organização do setor citrícola, evidenciando como a transição do método de estimativa amostral para o censo digital impacta a estratificação dos pomares e, consequentemente, a precisão da estimativa de safra.



Como objetivos específicos, buscou-se: (i) diagnosticar as limitações do método tradicional de inventário no contexto da organização; (ii) descrever as etapas, os recursos e os participantes envolvidos na implantação da solução; e (iii) analisar os resultados e os impactos gerenciais decorrentes da intervenção.

1.2 Justificativa

A gestão da informação é condição para que decisões sejam tomadas com o melhor embasamento possível. No agronegócio, em que os ciclos produtivos são longos e as decisões de planejamento antecedem em meses a realização da receita, a qualidade do dado primário assume caráter estratégico. Este relato justifica-se por documentar, com rigor metodológico, uma experiência de digitalização de um processo crítico — o inventário de ativos biológicos — cujo desenho pode ser reaplicado por outras organizações de culturas perenes que convivem com o mesmo dilema entre custo de levantamento e precisão da informação.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 Citricultura e importância econômica

A citricultura é o ramo da agricultura dedicado ao cultivo de frutas cítricas, como laranjas, limões, tangerinas e pomelos. Este setor é de grande importância econômica, especialmente em regiões com clima subtropical e tropical, onde as condições são ideais para o crescimento dessas frutas. A citricultura é uma das atividades agrícolas mais relevantes no mundo, destacando-se entre as espécies frutíferas mais importantes. Além de fornecer alimentos ricos em vitamina C e outros nutrientes essenciais, a citricultura também desempenha papel crucial na indústria de sucos e produtos derivados.

A citricultura é uma atividade agrícola de grande importância econômica, especialmente no Brasil, que é o maior produtor mundial de laranjas e suco de laranja. O país se destaca por ser responsável por mais de 80% das exportações globais de suco de laranja e por cerca de 30% da produção mundial da fruta (CNA, 2024). A citricultura brasileira contribui significativamente para a balança comercial, gerando bilhões de dólares em receitas e promovendo o crescimento socioeconômico, além de ser uma importante fonte de emprego nas áreas rurais (Lopes et al., 2011). O suco de laranja concentrado e congelado (FCOJ) é uma commodity valiosa no mercado global, negociada principalmente na bolsa de futuros de Nova York. O FCOJ continua sendo uma referência para medir o preço do suco de laranja, apesar da crescente popularidade dos sucos não concentrados.

2.2 Estimativa de safra

A estimativa de safra é um processo essencial na agricultura, e suas metodologias variam entre culturas anuais, semiperenes e perenes. Para culturas anuais, as estimativas são baseadas em dados de plantio, condições climáticas e desenvolvimento das plantas ao longo de um ciclo inferior a doze meses, e são revisadas ao longo da temporada. O uso de dados de sensoriamento e de plataformas analíticas para esse tipo de previsão tem crescido de forma consistente na última década (Krisnawijaya et al., 2022).

Em contraste, as culturas semiperenes, como cana-de-açúcar e café, apresentam ciclo de vida mais longo, exigindo um processo de estimativa mais complexo. As previsões para essas culturas consideram não apenas as condições atuais, mas também o histórico de produção e a saúde das plantas ao longo dos vários ciclos de colheita (Barros; Barros; Cypriano, 2021). Isso demanda monitoramento contínuo e detalhado para ajustar as previsões conforme necessário (Barros; Barros; Cypriano, 2021).

Para culturas perenes, como laranjas e uvas, as estimativas de safra envolvem a análise

de dados de longo prazo, incluindo a idade das plantas, práticas de manejo e condições climáticas ao longo dos anos (Fundecitrus, 2024). Essas culturas requerem acompanhamento constante, pois fatores como poda, irrigação e controle de pragas têm impactos significativos na produção anual (Fundecitrus, 2024). A precisão das estimativas para culturas perenes é crucial para o planejamento de longo prazo e a sustentabilidade do setor agrícola (Fundecitrus, 2024).

O processo de estimativa de safra na citricultura, por padrão, utiliza imagens de satélite de alta definição para identificar os pomares de citros e mapear as áreas de cultivo (Fundecitrus, 2024). Em seguida, agentes de pesquisa visitam as propriedades para coletar dados detalhados sobre o número de árvores produtivas e improdutivas, variedades cultivadas, idade das plantas, áreas irrigadas e novos plantios ou erradicações (Fundecitrus, 2024). Esses dados são analisados utilizando métodos estatísticos avançados, desenvolvidos em parceria com instituições acadêmicas. As estimativas são divulgadas anualmente, com reestimativas periódicas para acompanhar o desenvolvimento dos frutos e ajustar as previsões conforme necessário.

A produção estimada é obtida, de forma simplificada, pela expressão (1):

$$\text{Produção estimada} = [\text{Árvores produtivas} \times \text{Frutos por árvore} \times (1 - \text{Taxa de queda}) \times \text{FC}] \div \text{Frutos por caixa} \quad (1)$$

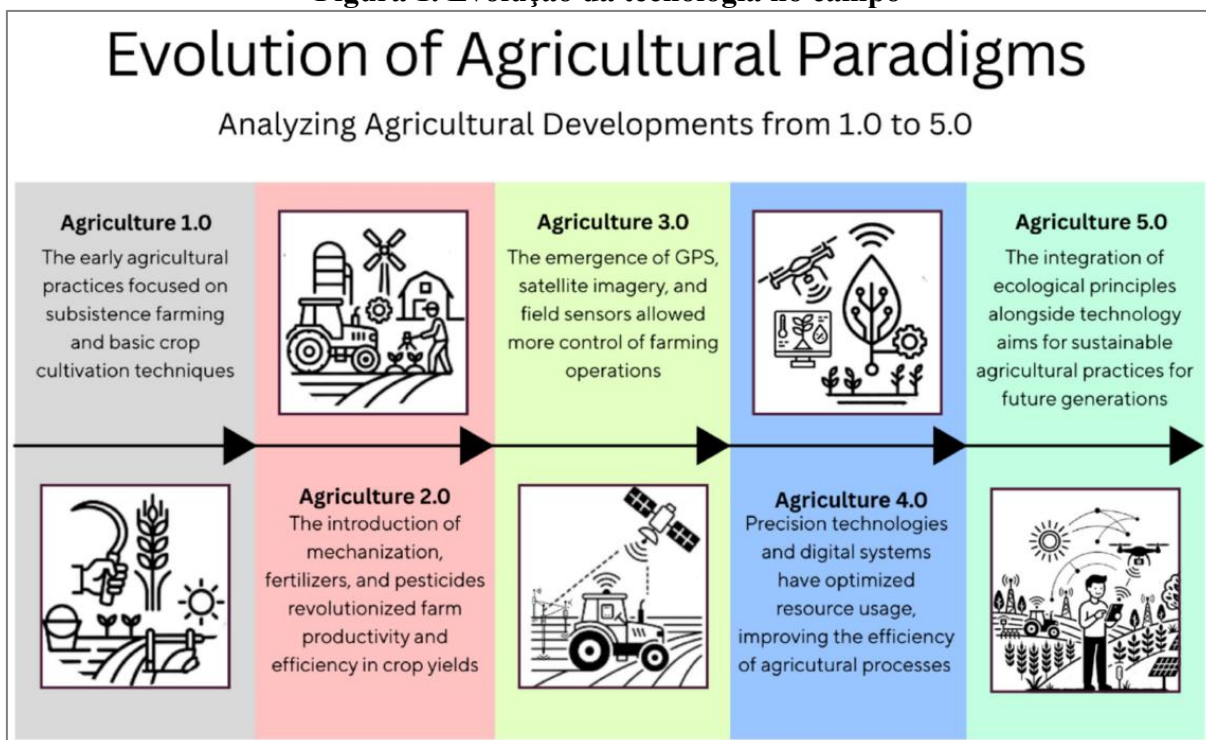
Observa-se, na expressão (1), que o número de árvores produtivas é fator multiplicativo direto do resultado e que o cálculo é realizado para cada classe da estratificação do pomar. Disso decorre a proposição que orienta este relato: erros na contagem de árvores não são absorvidos pelo modelo, sendo transferidos proporcionalmente à estimativa final, o que torna o inventário um elo sensível de toda a cadeia de informação. Essa sensibilidade da contagem de plantas como insumo primário de modelos preditivos é reconhecida na literatura de contagem automatizada em agricultura (Farjon; Huijun; Edan, 2023)

2.3 Gestão da informação com o uso de tecnologias na agricultura 4.0 e 5.0

A revolução tecnológica na agricultura, conhecida como Agricultura 4.0, trouxe uma transformação significativa ao setor, integrando tecnologias avançadas como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), análise de dados e automação. Essas inovações permitem o monitoramento remoto e a gestão eficiente das atividades no campo, otimizando o uso de recursos e aumentando a produtividade. Sensores espalhados pelo campo coletam dados em tempo real sobre o solo, clima e culturas, auxiliando na tomada de decisões estratégicas e reduzindo a necessidade de trabalho manual (Bacco et al., 2019; Krisnawijaya et al., 2022). A Agricultura 4.0 também promove práticas mais sustentáveis, diminuindo o consumo de água e fertilizantes e minimizando os impactos ambientais (Klerkx; Jakku; Labarthe, 2019).

A Agricultura 5.0 é uma evolução natural dessa revolução, incorporando tecnologias ainda mais avançadas, como machine learning, big data e biotecnologia. Essa nova fase busca não apenas aumentar a eficiência e a produtividade, mas também personalizar a produção e integrar o conhecimento humano com inovações tecnológicas, com foco na sustentabilidade e no bem-estar das pessoas (Ingram et al., 2022).

Figura 1. Evolução da tecnologia no campo



Fonte: Dogan et al. (2026).

No Brasil, o uso dessas tecnologias tem sido fundamental para consolidar o país como um dos principais produtores e exportadores de alimentos do mundo. O agronegócio brasileiro destaca-se pelo protagonismo na segurança alimentar global, com exportações que atingiram US\$ 164,4 bilhões em 2024, representando 49% das exportações totais do país (MAPA, 2024).

A literatura sobre agricultura digital converge no ponto de que o gargalo da transformação não está na captura do dado, mas na sua integração aos processos decisórios da organização (Klerkx; Jakku; Labarthe, 2019; Ingram et al., 2022).

2.4 Drones na agricultura

O uso de drones na agricultura tem revolucionado o setor, proporcionando uma série de benefícios que vão desde a otimização do manejo das lavouras até a redução de custos operacionais. Equipados com câmeras multiespectrais e sensores de alta precisão, os drones permitem o monitoramento detalhado das culturas, identificando pragas, doenças e deficiências nutricionais com maior rapidez e eficiência (Embrapa, 2017).

Além disso, a tecnologia de drones facilita a pulverização de defensivos agrícolas e a irrigação de áreas específicas, promovendo uma agricultura mais sustentável e produtiva (Partel; Costa; Ampatzidis, 2021). A utilização de drones pode aumentar a produtividade e garantir a gestão da informação e dos recursos naturais, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e econômica (Zhang et al., 2021).

Na citricultura, a empresa estudada utiliza drones para inventariar os pomares e identificar doenças como o greening, permitindo intervenções rápidas e precisas para evitar a disseminação de problemas e melhorar a eficiência agrícola. No caso analisado neste relato, a tecnologia foi aplicada em parceria com uma organização citrícola de grande porte, cliente da empresa estudada (Abdulridha; Batuman; Ampatzidis, 2019).

Essa tendência é respaldada pela literatura internacional sobre sensoriamento remoto na citricultura. Pesquisas conduzidas com veículos aéreos não tripulados equipados com câmeras

multiespectrais e algoritmos de aprendizado de máquina têm alcançado alta precisão na detecção, contagem e geolocalização de árvores cítricas, bem como na estimativa do tamanho da copa e na identificação de falhas de plantio (Ampatzidis; Partel, 2019; Ampatzidis et al., 2019). Em contexto brasileiro, redes neurais convolucionais aplicadas a imagens multiespectrais de VANTs alcançaram acurácia elevada na contagem e geolocalização individual de laranjeiras (Osco et al., 2020), resultado posteriormente estendido para segmentação semântica do pomar inteiro (Osco et al., 2021). Abordagens equivalentes têm sido aplicadas para identificar árvores cítricas em ambientes de cultivo heterogêneos (Csillik et al., 2018), reforçando a viabilidade técnica do censo automatizado discutido neste relato.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este relato tecnológico caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, descritiva e de abordagem qualitativa, estruturada como um estudo de caso único (YIN, 2015), cujo propósito é descrever e analisar comparativamente duas abordagens de inventário de árvores utilizadas na citricultura: o método estatístico tradicional, conduzido periodicamente pelo Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus) no cinturão citrícola brasileiro, e o método de censo por sensoriamento remoto empregado pela empresa estudada.

A coleta de dados baseou-se em pesquisa documental e bibliográfica, reunindo:

- (i) Pesquisa documental institucional - Relatórios técnicos e metodológicos publicados pelo Fundecitrus sobre a Pesquisa de Estimativa de Safra (PES);
- (ii) Documentos e registros internos da organização - Material institucional e técnico relativo à tecnologia empregada pela empresa estudada, obtido pelos autores, cuja identificação não é referenciada nominalmente neste documento em atendimento ao processo de avaliação double-blind do evento;
- (iii) Observação direta e contato com envolvidos.

A análise dos dados foi conduzida por comparação sistemática entre os dois métodos de inventário, a partir de seis critérios definidos previamente com base na revisão teórica e na natureza da decisão que o inventário sustenta: método de levantamento, tempo de execução do ciclo, capacidade de subsidiar a estimativa de safra, digitalização do dado, monitoramento da saúde das plantas e mensuração de área e cubagem por planta. Cada critério foi classificado quanto à presença ou ausência da funcionalidade em cada método, conforme apresentado no Quadro 3 (seção 6).

Registram-se, três limitações metodológicas. Trata-se de estudo de caso único, o que restringe a generalização estatística dos achados, ainda que permita generalização analítica para contextos semelhantes (Yin, 2015). A comparação entre métodos é de natureza qualitativa e documental, não tendo sido realizado experimento controlado com contagem simultânea pelas duas abordagens em uma mesma área e período. E por fim, os autores mantiveram proximidade com o objeto estudado, o que favorece o acesso a dados, mas exige vigilância quanto ao viés de confirmação.

4 DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO-PROBLEMA

4.1 O método tradicional de inventário e sua mecânica

Segundo a Pesquisa de Estimativa de Safra (PES) do Fundecitrus (2024), o inventário de safra é obtido da seguinte forma: para gerar o inventário de árvores, 5% dos talhões da base primária (2022) são sorteados para serem visitados, com o objetivo de classificar e quantificar as covas. Nos inventários de 2015 e 2016, a contagem das covas foi estratificada em quatro categorias: árvores produtivas, não produtivas, mortas e falhas. A partir de 2017, essa categorização foi refinada, passando a incluir quatro categorias de idade: zero (até 2 anos), um (de 3 a 5 anos), dois (de 6 a 10 anos) e três (mais de 10 anos), além das categorias de árvores

mortas e falhas. Essa alteração permite uma contagem mais precisa das árvores em cada faixa etária.

Os agentes de pesquisa coletam informações dos produtores sobre replantios e visitam os talhões para definir o padrão visual das árvores em cada faixa etária, considerando evidências como circunferência do tronco, altura e formato da copa. O padrão visual é específico de cada talhão, uma vez que o desenvolvimento das plantas varia conforme o manejo, a variedade, a genética, a irrigação e as condições edafoclimáticas. Dessa forma, a contagem reflete uma aproximação da idade das árvores, em vez da idade cronológica exata.

Nos casos em que talhões erradicados ou abandonados são encontrados, suas áreas são utilizadas para calcular a taxa de erradicação ou abandono, aplicada à base primária para estimar a área ocupada por pomares na safra atual. A nova área é multiplicada pela densidade de árvores da base primária para atualizar a quantidade de covas, corrigida pelo índice gerado a partir da comparação entre a quantidade de covas encontradas na amostra e na base primária. Esses índices são fundamentais para determinar o novo inventário de árvores.

Nos anos sem mapeamento, como em 2024, é realizada uma estimativa dos plantios ocorridos desde o último mapeamento. Em todas as propriedades visitadas, verifica-se a existência de pomares plantados após a última visita do agente de pesquisa. Para estimar o número de árvores plantadas, são usados dados da Coordenadoria de Defesa Agropecuária do Estado de São Paulo (CDA-SP) sobre mudas cítricas comercializadas com Permissão de Trânsito Vegetal (PTV).

Nos estratos em que a pesquisa de campo indica mais árvores do que os dados da CDA-SP, são considerados os dados da pesquisa de campo, incluindo mudas produzidas pelos citricultores para consumo próprio. A densidade média estratificada por variedade e região é utilizada para estimar a área dos novos pomares. A quantidade de mudas plantadas é ajustada, subtraindo as mudas utilizadas para replantio, e a estimativa final do número de árvores plantadas é obtida. Auditorias são realizadas para garantir a qualidade dos dados coletados.

Cabe distinguir dois ciclos na metodologia setorial. A atualização amostral do inventário é anual: todos os anos os agentes de pesquisa visitam propriedades do cinturão para coletar dados sobre árvores produtivas e improdutivas, áreas irrigadas, variedades, idade das plantas, novos plantios e erradicações (Fundecitrus, 2025b). O remapeamento georreferenciado completo, entretanto, combina a varredura de todo o cinturão com novas imagens de satélite e visitas in loco a todos os talhões de citros, ocorre em intervalos de aproximadamente três anos: as edições foram concluídas em 2015, 2018, 2022 e 2025 (Fundecitrus, 2025a). Nos anos intermediários, o número de árvores por talhão é atualizado por índices aplicados sobre a base primária, e não por contagem direta. Decorre daí que, entre dois mapeamentos completos, a base cadastral de referência do setor pode acumular até 36 meses de defasagem em relação à configuração física dos pomares.

4.2 Causas identificadas e evidências do problema

A descrição acima permite identificar que as limitações percebidas na organização não decorrem de falha de execução do método setorial, que é tecnicamente robusto e auditado, e sim de características estruturais do próprio desenho amostral quando aplicado à necessidade de gestão de operações específicas. Foram identificadas quatro causas principais, sintetizadas no Quadro 1.

QUADRO 1. Síntese do diagnóstico: causas, evidências e impactos

Causa identificada	Evidência analisada	Impacto na organização	Afetados
Natureza amostral do	Documentação	Número de árvores por talhão	Planejamento

levantamento (5% dos talhões)	metodológica da PES; comparação com o cadastro interno de talhões	é extrapolado, não efetivo, gerando desvio na base da estimativa	agrícola e industrial
Ciclo longo entre levantamentos completos	Periodicidade documentada do mapeamento e do inventário	Defasagem do cadastro frente a replantios, erradicações e falhas ocorridas no intervalo	Equipes agrícolas e de cadastro
Classificação por padrão visual em campo	Descrição do procedimento de estratificação etária	Aproximação da idade das árvores e variabilidade entre avaliadores	Estratificação e ponderação da safra
Ausência de dado individualizado por planta	Escopo de variáveis coletadas pelo método tradicional	Impossibilidade de acompanhar saúde, copa e volume por árvore para decisões de manejo	Operações agrícolas e manejo fitossanitário

Fonte: Elaborado pelos autores, com base na documentação metodológica analisada e nos registros internos da organização.

Cabe destacar que o diagnóstico aqui apresentado não se sustenta apenas na percepção dos envolvidos, mas na confrontação entre a metodologia tradicional e os registros internos da organização, por exemplo, a divergência entre a velocidade para compor o número de árvores do inventário sem o uso interno da tecnologia para o levantamento com imagens.

Em síntese, o problema diagnosticado não é a inexistência de informação, mas sua granularidade e sua atualidade insuficientes para o nível de decisão exigido pela operação: a organização dispunha de uma estimativa setorial confiável em nível agregado, porém não de um retrato individualizado e tempestivo de seus próprios ativos biológicos.

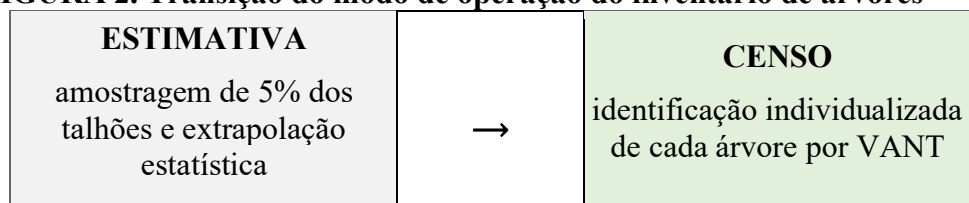
5 ANÁLISE E PROGNÓSTICO

5.1 Descrição da solução

A solução adotada consistiu na contratação de plataforma de inteligência para árvores, fornecida por empresa parceira de tecnologia especializada em agricultura de precisão. A tecnologia combina sobrevoo com VANTs, processamento de imagens por algoritmos de visão computacional e cruzamento dos resultados com o cadastro de talhões da organização, incluindo variedade e ano de plantio.

A mudança essencial promovida pela intervenção é, além de instrumental, de natureza metodológica: substitui-se a lógica de estimativa amostral pela lógica de censo, conforme representado na Figura 2. Em vez de inferir o número de árvores a partir de uma fração sorteada dos talhões, passa-se a identificar e contabilizar individualmente cada planta do pomar, associando a ela atributos como altura, área de copa, volume e condição de saúde. A extração de atributos morfológicos individualizados a partir de imagens de VANT — altura, área de copa e volume — está consolidada na literatura de agricultura de precisão aplicada a pomares (Zhang et al., 2021; Costa et al., 2022)

FIGURA 2. Transição do modo de operação do inventário de árvores



Fonte: Elaborado pelos autores.

5.2 Etapas da implementação

A implantação foi conduzida em etapas sucessivas, descritas no Quadro 2.

QUADRO 2. Etapas da intervenção

Etapa	Descrição das atividades
1. Diagnóstico e definição de escopo	Levantamento da situação do cadastro de talhões, definição das áreas piloto e dos indicadores a serem acompanhados.
2. Levantamento da base cadastral	Variedade, ano de plantio, área, etc., para permitir o cruzamento com os dados aéreos.
3. Planejamento e execução dos voos	Definição do plano de voo, autorizações, sobrevoo integral das áreas e captura das imagens.
4. Processamento e classificação	Processamento das imagens pela plataforma, detecção e geolocalização individual das árvores e classificação por condição e porte.
5. Validação em campo	Conferência amostral dos resultados por equipes agrícolas para verificação da acurácia da contagem e da classificação.
6. Integração e uso gerencial	Disponibilização dos resultados às áreas usuárias e incorporação do inventário ao processo de estimativa de safra.

Fonte: Elaborado pelos autores.

5.3 Recursos, ferramentas e participantes

A execução da intervenção mobilizou recursos tecnológicos, humanos e organizacionais. Do lado da empresa parceira de tecnologia, foram empregados VANTs equipados com sensores de imageamento, infraestrutura de processamento em nuvem e algoritmos de visão computacional para detecção individualizada das plantas. Do lado da organização, foram mobilizados setores que constituem e suportam a estrutura agrícola, como planejamento, financeiro e unidades agrícola produtivas.

A validação dos resultados foi realizada de forma conjunta entre as equipes, como a conferência em talhões selecionados e comparação com o levantamento tradicional. Esse desenho de validação cruzada é relevante para o rigor do relato, pois é dele que decorre a confiabilidade atribuída aos resultados apresentados na seção seguinte. Procedimentos de validação amostral em campo contra a saída do modelo são prática recomendada em estudos de contagem automatizada, dado que a acurácia varia com densidade de plantio, idade das plantas e sobreposição de copas (Farjon; Huijun; Edan, 2023). Entre as dificuldades enfrentadas na implantação, cabe registrar aquelas de natureza organizacional, frequentemente subestimadas em projetos dessa natureza; como adaptação ao processo quanto a curva de aprendizado e restrições operacionais de voo.

6 RESULTADOS E CONTRIBUIÇÕES

Comparando o método convencional com o implantado pela empresa estudada, pode-se destacar que a entrada dessa tecnologia trouxe avanços importantes para a agricultura, uma vez que, além de otimizar a captação de dados, trouxe recursos novos de monitoramento, como a saúde da planta e a área cúbica que ela ocupa.

Como visto no Quadro 3, existem consideráveis vantagens no uso dessa tecnologia.

Quadro 3. Comparativo entre o método padrão e a tecnologia empregada pela empresa estudada

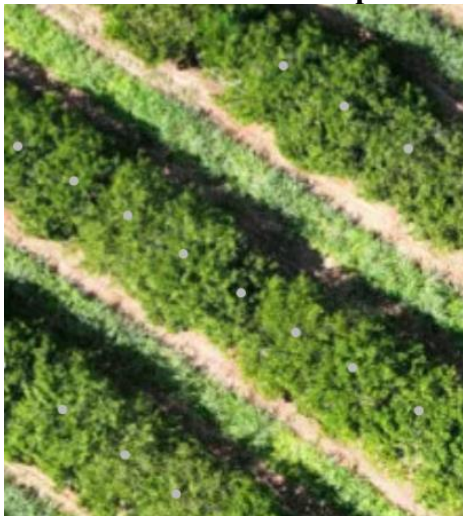
	Padrão	Empresa estudada
Método	Estatística	Censo
Intervalo entre levantamentos completos (meses)	36	2
Estimativa de safra	Sim	Sim
Digitalização	Não	Sim
Saúde da planta	Não	Sim
Falha de plantio	Sim	Sim
Área e cubicagem por planta	Não	Sim

Fonte: Elaborado pelos autores.

A mudança do método para censo, aliada à digitalização, reduz as incertezas dos dados e os torna mais palpáveis para estudo e para a realização de projeções de plantio. Os ganhos de granularidade observados são consistentes com os reportados na literatura, em que abordagens de detecção individualizada por VANT registram acurácia superior a 95% na contagem de laranjeiras em pomares comerciais (Osco et al., 2020).

Sua execução mais rápida torna possível um monitoramento dinâmico dos pomares, viabilizando funcionalidades como cubicagem por planta e avaliação da saúde desta, extremamente úteis para a gestão das operações agrícolas e para a saúde e produtividade das áreas cultiváveis, como ilustrado na Figura 3 e Figura 4.

Figura 3. Demonstrativo do rastreamento das plantas por drone



Fonte: Acervo da organização estudada.

Figura 4. Demonstrativo do layout de visualização dos outputs

Painel ilustrativo de métricas por talhão (exemplo esquemático)	
Área (m²)	
Área (ha)	
Total de árvores	
Árvores produtivas	
Árvores saudáveis (%)	
Árvores fracas (%)	
Árvores mortas (%)	
Árvores jovens (%)	
Altura média (m)	
Área de copa média (m²)	
Volume médio (m³)	

Fonte: Elaborado pelos autores.

A captura de tela original do painel de métricas do software da empresa estudada foi substituída por uma ilustração esquemática de autoria própria, com os mesmos tipos de informação (área, total de árvores, saúde, altura, volume etc.), porém em layout e estilo visual distintos dos do sistema real — o que evita a identificação da empresa. Consta imagem aérea capturada durante o estudo e ilustração esquemática elaborada pelos autores para representar os tipos de métrica geradas pela tecnologia.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relato teve como objetivo evidenciar como o uso de drones pode aprimorar a estratificação de pomares de laranja e, por consequência, a estimativa de safra na citricultura. A partir da comparação qualitativa entre o método estatístico tradicional e o método de censo por sensoriamento remoto empregado pela empresa estudada, observou-se que a tecnologia analisada contribui para a gestão da informação ao proporcionar maior agilidade, digitalização e granularidade dos dados, viabilizando o acompanhamento individualizado da saúde e da

produtividade das árvores.

Os resultados sugerem que a mudança de uma lógica de estimativa amostral para uma lógica de censo tende a reduzir a incerteza da contagem de árvores e a tornar a estimativa de safra mais aderente à realidade de cada talhão. Contudo, como discutido na seção de procedimentos metodológicos, essas conclusões baseiam-se em uma análise qualitativa e documental, sem validação estatística direta entre os dois métodos sobre a mesma área e período; assim, os ganhos de precisão relatados devem ser interpretados como indicativos.

Entre os principais aprendizados da experiência, destaca-se que o problema enfrentado não decorria da ausência de informação, mas da escala em que ela era produzida: um levantamento tradicional pode ser insuficiente, especialmente no quesito tempo, para decisões operacionais. Verificou-se, ainda, que a adoção da tecnologia não tornou o método tradicional obsoleto — este permaneceu como referência de calibração e referência para o cinturão citrícola, sendo justamente a validação cruzada entre as duas fontes que conferiu confiabilidade aos resultados.

Em termos de contribuições gerenciais, a experiência evidencia que a aporte de tecnologias que ajudem a refinar o número de ativos biológicos trazem benefícios com efeito em decisões que levem em conta a produção anual, e, conseqüentemente, fluxo de caixa, e também balanço patrimonial, pela precisão no levantamento dos ativos. Além disso, a digitalização de tais informações proporcionam ambiente favorável ao desenvolvimento de dados para outras análises.

Recomenda-se, para pesquisas futuras, a investigação da aplicabilidade da tecnologia a outras culturas perenes com dinâmica de manejo semelhante à citricultura, como a cafeicultura e a fruticultura de mesa, para assim ser capaz de expandir os benefícios observados para o conjunto do agronegócio.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULRIDHA, J.; BATUMAN, O.; AMPATZIDIS, Y.. UAV-based remote sensing technique to detect citrus canker disease utilizing hyperspectral imaging and machine learning. **Remote Sensing**, v. 11, n. 11, art. 1373, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11111373>.
- AMPATZIDIS, Y.; PARTEL, V. UAV-based high throughput phenotyping in citrus utilizing multispectral imaging and artificial intelligence. **Remote Sensing**, v. 11, n. 4, p. 410, 2019.
- AMPATZIDIS, Y.; PARTEL, V.; MEYERING, B.; ALBRECHT, U. Citrus rootstock evaluation utilizing UAV-based remote sensing and artificial intelligence. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 164, p. 104900, 2019.
- BACCO, M.; BARSOCCHI, P.; FERRO, E.; GOTTA, A.; RUGGERI, M.. The digitisation of agriculture: a survey of research activities on smart farming. **Array**, v. 3-4, art. 100009, 2019.
- BARROS, J. R. M. de; BARROS, A. L. M.; CYPRIANO, M. P. **O mercado da citricultura no Brasil e as suas novas perspectivas**. São Paulo: CitrusBR, 2021.
- CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). A importância da citricultura nacional. Brasília: CNA, 2024.
- COSTA, L. et al. Determining leaf nutrient concentrations in citrus trees using UAV imagery and machine learning. **Precision Agriculture**, v. 23, 2022.
- CSILLIK, O.; CHERBINI, J.; JOHNSON, R.; LYONS, A.; KELLY, M. Identification of citrus trees from unmanned aerial vehicle imagery using convolutional neural networks. **Drones**, v. 2, n. 4, p. 39, 2018.
- DOĞAN, Y. L.; RABHI, M. L.; TAHA, T. H.; CHAUDHARY, A. A.; BENDIF, H. "Evolution of agricultural paradigms: conceptual, technological, and sustainability perspectives from



Agriculture 1.0 to 5.0". *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 10, 2026. DOI: 10.3389/fsufs.2026.1803360

EMBRAPA. Utilização de drones e suas funcionalidades na agricultura de precisão. Portal Embrapa, 2017.

FARJON, G.; HUIJUN, L.; EDAN, Y.. Deep-learning-based counting methods, datasets, and applications in agriculture: a review. *Precision Agriculture*, v. 24, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-023-10034-8>.

FUNDECITRUS – Fundo de Defesa da Citricultura. **Relatório de inventário de árvores no cinturão citrícola**. São Paulo: Fundecitrus, 2023.

FUNDECITRUS. **Pesquisa de Estimativa de Safra na citricultura completa dez anos**. Araraquara: Fundecitrus, 2024.

FUNDECITRUS. **Inventário de Árvores e Estimativa de Safra de Laranja do Cinturão Citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro 2025/2026**. Araraquara: Fundecitrus, 2025a.

FUNDECITRUS. **Sobre a citricultura brasileira**. Araraquara: Fundecitrus, 2025b.

INGRAM, J.; MAYE, D.; BAILYE, C. What are the priority research questions for digital agriculture? *Land Use Policy*, v. 114, art. 105962, 2022.

KLERKX, L.; JAKKU, E.; LABARTHE, P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: new contributions and a future research agenda. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*, v. 90-91, art. 100315, 2019.

KRISNAWIJAYA, N. N. K.; TEKINERDOGAN, B.; CATAL, C.; TOL, R. van der. Data analytics platforms for agricultural systems: a systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 195, art. 106813, 2022.

LOPES, J. M. S.; DÉO, T. F. G.; ANDRADE, B. J. M.; GIROTO, M.; FELIPE, A. L. S.; JUNIOR, C. E. I.; BUENO, C. E. M. S.; SILVA, T. F.; LIMA, F. C. C. Importância econômica do citros no Brasil. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v. 10, n. 20, p. 1-10, 2011.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Exportações do agronegócio brasileiro de 2024**. Brasília: MAPA, 2024.

OSCO, L. P.; ARRUDA, M. dos S. de; MARCATO JUNIOR, J.; SILVA, N. B. da; RAMOS, A. P. M.; MORYIA, É. A. S.; IMAI, N. N.; PEREIRA, D. R.; CRESTE, J. E.; MATSUBARA, E. T.; LI, J.; GONÇALVES, W. N. A convolutional neural network approach for counting and geolocating citrus-trees in UAV multispectral imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 160, p. 97-106, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.12.010>.

OSCO, L. P.; NOGUEIRA, K.; RAMOS, A. P. M.; PINHEIRO, M. M. F.; FURUYA, D. E. G.; GONÇALVES, W. N.; JORGE, L. A. de C.; MARCATO JUNIOR, J.; SANTOS, J. A. dos. Semantic segmentation of citrus-orchard using deep neural networks and multispectral UAV-based imagery. *Precision Agriculture*, v. 22, p. 1171-1188, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09777-5>.

PARTEL, V.; COSTA, L.; AMPATZIDIS, Y. Smart tree crop sprayer utilizing sensor fusion and artificial intelligence. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 191, art. 106556, 2021.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZHANG, C.; VALENTE, J.; KOOISTRA, L.; GUO, L.; WANG, W.. Orchard management with small unmanned aerial vehicles: a survey of sensing and analysis approaches. *Precision Agriculture*, v. 22, n. 6, p. 2007-2052, 2021.