

MONITORAMENTO DOS POMARES DE MAÇÃ EM SANTA CATARINA POR MEIO DE IMAGENS DE SATÉLITE

Kleber Trabaquini¹;

¹Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Florianópolis, SC.

<http://lattes.cnpq.br/5680348426925268>

Valci Francisco Vieira²;

²Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Florianópolis, SC.

<http://lattes.cnpq.br/8653195582443467>

Everton Vieira³;

³Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Florianópolis, SC.

<http://lattes.cnpq.br/9107556423588724>

Juliana Mio de Souza⁴;

⁴Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Florianópolis, SC.

<http://lattes.cnpq.br/8788297066328484>

Maêve Silveira Castelo Branco⁵;

⁵Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Estação Experimental de São Joaquim, São Joaquim-SC.

<http://lattes.cnpq.br/6222069160178631>

Marcelo Cruz de Liz⁶.

⁶Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Estação Experimental de São Joaquim, São Joaquim-SC.

<http://lattes.cnpq.br/0310867911612371>

RESUMO: No Brasil, a maleicultura ocupa cerca de 33,2 mil hectares de área cultivada, dos quais Santa Catarina representa aproximadamente 51%. Nesse contexto, o desenvolvimento de metodologias objetivas baseadas em sensoriamento remoto é essencial para o monitoramento da área plantada. Diante disso, este trabalho objetivou mapear, quantificar e espacializar a evolução dos pomares de maçã na região da Serra Catarinense entre 2020 e 2025, utilizando dados dos satélites Sentinel-2 (10 m) e CBERS-04A (2 m). A metodologia combinou a aplicação do algoritmo *Random Forest* em séries temporais Sentinel-2 com posterior refinamento visual e validação via imagens CBERS-04A. Os resultados indicaram uma expansão de 25,3% na área mapeada da região, saltando de 12.060 ha em 2020 para 15.110 ha em 2025. O município de São Joaquim consolidou-se como o principal polo produtivo, concentrando 72,2% da área total em 2025 (10.912 ha), seguido por Bom Jardim

da Serra (1.881 ha), Urubici (770 ha) e Urupema (761 ha). Em termos ambientais, verificou-se que 40% dos pomares estão alocados em declividades de 8% a 20% e 72% concentram-se em altitudes entre 1.100 e 1.400 metros. A integração multissensorial Sentinel-2 e CBERS-04A demonstrou elevada eficiência na identificação da cultura, atingindo uma acurácia global de 96%.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto. Fruticultura. Mapeamento.

APPLE ORCHARD MONITORING IN SANTA CATARINA USING SATELLITE IMAGES

ABSTRACT: In Brazil, apple farming occupies approximately 33.2 thousand hectares of cultivated area, with Santa Catarina accounting for roughly 51% of this total. In this context, developing objective methodologies based on remote sensing is essential for monitoring planted areas. Therefore, this study aimed to map, quantify, and spatialise the evolution of apple orchards in the Serra Catarinense region between 2020 and 2025 using data from the Sentinel-2 (10 m) and CBERS-04A (2 m) satellites. The methodology combined the Random Forest algorithm applied to Sentinel-2 time series with subsequent visual refinement and validation using CBERS-04A imagery. Results indicated a 25.3% expansion in the region's mapped area, increasing from 12,060 ha in 2020 to 15,110 ha in 2025. The municipality of São Joaquim consolidated its position as the main production hub, accounting for 72.2% of the total area in 2025 (10,912 ha), followed by Bom Jardim da Serra (1,881 ha), Urubici (770 ha), and Urupema (761 ha). Regarding environmental conditions, 40% of the orchards are located on slopes ranging from 8% to 20%, and 72% are concentrated at altitudes between 1,100 and 1,400 meters. The multisensor integration of Sentinel-2 and CBERS-04A demonstrated high efficiency in crop identification, achieving an overall accuracy of 96%.

KEYWORDS: Remote sensing. Fruit growing. Mapping

INTRODUÇÃO

A maçã é uma das frutas mais produzidas no mundo, com a China sendo a maior produtora, cultivando aproximadamente 50% de toda maçã existente no mundo. Na safra de 2020 foram produzidas 44 milhões de toneladas contra 2,3 milhões em 1978 (CHEN et al., 2022).

Atualmente o Brasil representa 1,5% de toda área plantada no mundo, ou seja, 33 mil ha na safra 2023. Na Safra 1977/ 78, o Brasil importou 190.217 toneladas, pois contava com uma produção de apenas 14.218 toneladas. Na Safra 2022/23, a produção brasileira alcançou 1,2 milhão de toneladas e hoje o Brasil passou de importador à exportador de maçã, principalmente para países como Rússia, Bangladesh e Índia (IBGE, 2023).

A Serra Catarinense conta com cerca de 2.200 produtores, em sua maioria agricultores familiares, que desempenham um papel vital na economia local, gerando milhares de empregos diretos e indiretos, e impulsionando a economia da região. Segundo

dados da Associação Brasileira de Produtores de Maçã (ABPM) a região produz mais de 370 mil toneladas de maçãs. Na safra 2022/23 o volume produzido alcançou um Valor Bruto de Produção (VBP) de aproximadamente R\$740 milhões. Quando se considera a comercialização da fruta, o valor movimentado na região serrana chega a cerca de R\$ 1,5 bilhão por ano.

A importância econômica da cultura da maçã, associada à expansão e à especialização da produção agrícola, tem impulsionado mudanças nos padrões de uso e ocupação das áreas agrícolas em Santa Catarina. Nesse contexto, a identificação e a caracterização precisa da distribuição espacial dos pomares de maçã são fundamentais para quantificar a área cultivada, apoiar o planejamento e o manejo agrícola e subsidiar políticas de desenvolvimento do setor (Xu et al., 2024).

Diante deste exposto, este trabalho apresenta uma metodologia de mapeamento de pomares de maçã na Serra Catarinense da Epagri/Ciram (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina) e tem por objetivo aprimorar o levantamento de área da cultura da maçã no estado.

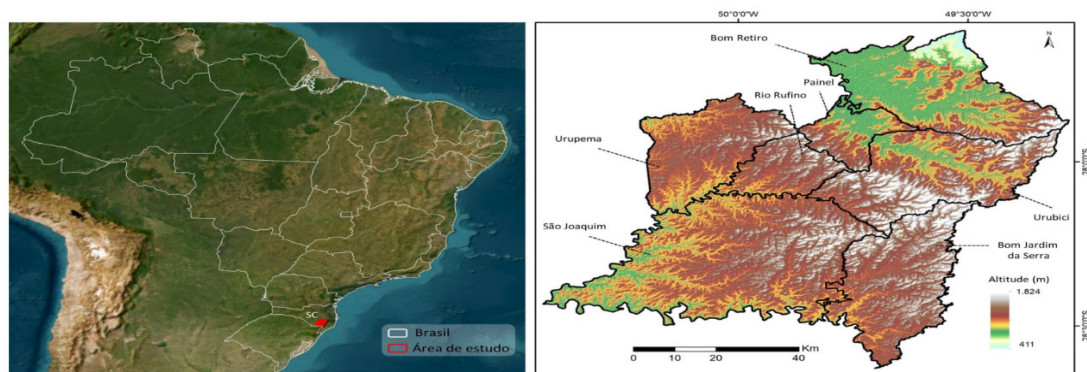
OBJETIVO

Diante desta problemática, o presente estudo tem como objetivo principal realizar o mapeamento dos pomares de maçã na região serrana de Santa Catarina utilizando dados multiespectrais do satélite Sentinel-2 e imagens de alta resolução do satélite CBERS-4A, no período de 2020 a 2025. Além disso, através de dados de relevo SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) foram analisadas as métricas de altitude, declividade e horas frio dos pomares mapeados na última safra.

METODOLOGIA

A área de estudo abrange a região da Serra Catarinense, no estado de Santa Catarina, sul do Brasil, cobrindo aproximadamente 12.000 km² ao longo dos municípios de São Joaquim, Bom Jardim da Serra, Urubici, Urupema, Rio Rufino, Bom Retiro e Paineira (Figura 1). A região é caracterizada por planaltos de alta altitude que variam de 900 a 1.400 m acima do nível do mar. O clima é classificado como Cfb (clima temperado) de acordo com o sistema Köppen, com temperaturas médias anuais de 13° a 15° e precipitação anual de 1.400 a 1.800 mm, distribuída de forma relativamente uniforme ao longo do ano.

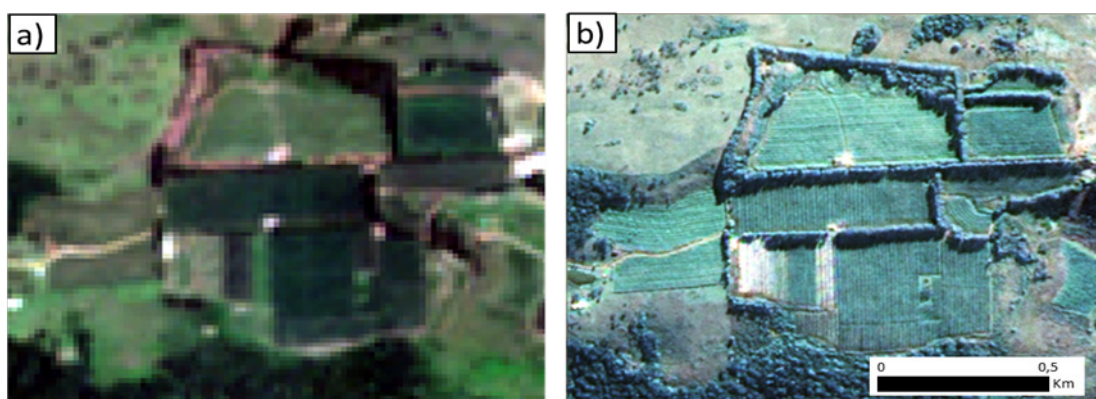
Figura 1. Localização da região produtora em Santa Catarina abrangendo os municípios de São Joaquim, Urupema, Bom Retiro, Urubici, Rio Rufino, Bom Jardim da Serra e Paineira.



Para o mapeamento dos pomares, a metodologia dividiu-se em duas etapas principais de classificação supervisionada e refinamento espacial. Na primeira, utilizaram-se imagens Sentinel-2 (setembro a abril, com cobertura de nuvens inferior a 20%) para a geração de imagens medianas mensais. Esse conjunto espectral, combinado a amostras de polígonos coletadas em campo via GPS, alimentou o algoritmo *Random Forest* para criar o modelo preditivo e a classificação inicial. Na etapa seguinte, dados de alta resolução do satélite CBERS-4A foram integrados para refinar os limites poligonais, mitigando efeitos de borda e dispersão espectral. Além do ganho espacial, a base do CBERS-4A serviu como verdade-terreno para a validação estatística e a verificação da convergência métrica em relação aos dados oficiais de área.

A estrutura fundiária da pomicultura em Santa Catarina é marcada por talhões agrícolas de dimensões reduzidas e contornos irregulares, o que impõe desafios específicos ao mapeamento por sensoriamento remoto. Desta forma, a combinação do satélite Sentinel-2, com 12 bandas espectrais e 10 m de resolução espacial e o satélite CBERS-4A, com 4 bandas espectrais e resolução espacial de 2 m, faz com que seja possível o mapeamento de culturas como a maçã, mesmo que em pequenas propriedades. Na Figura 2 é apresentada as imagens Sentinel-2 e CBERS-4A, onde é possível identificar os limites dos pomares em ambas imagens, porém com mais nitidez na imagem com resolução espacial de 2 m, CBERS-4A.

Figura 2. Imagem Sentinel-2 de 10 m (a) e CBERS-4A de 2 m (b).



Após o mapeamento, foi realizada uma análise da distribuição dos pomares diante do relevo, como a declividade (%), altimetria (m) e horas de frio (hs). As **horas de frio** são a soma do tempo em que a temperatura do ar fica igual ou abaixo de 7,2°C. Essa contagem é muito usada na agricultura de clima temperado (como maçã, pêssego e uva) e na maçã é um parâmetro que normalmente atinge entre 600 e 800 horas. Todas as variáveis foram calculadas utilizando dados do SRTM, com 30 m de resolução.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 evidencia a evolução temporal e a distribuição espacial da pomicultura na Serra Catarinense entre os anos de 2020 e 2025. No cômputo geral, observou-se uma expansão contínua da atividade, com o incremento de 3.050 hectares na área total mapeada (+25,29%), saltando de 12.060 ha para 15.110 ha.

O município de São Joaquim consolida-se como o núcleo central da produção regional, sendo responsável por mais de 72% da área total mapeada em 2025 (10.912 ha) e por cerca de 72,8% do aumento absoluto de área no período estudado. Bom Jardim da Serra destaca-se como o segundo maior polo, apresentando uma expressiva taxa de crescimento de 40,27%, alcançando 1.881 ha em 2025.

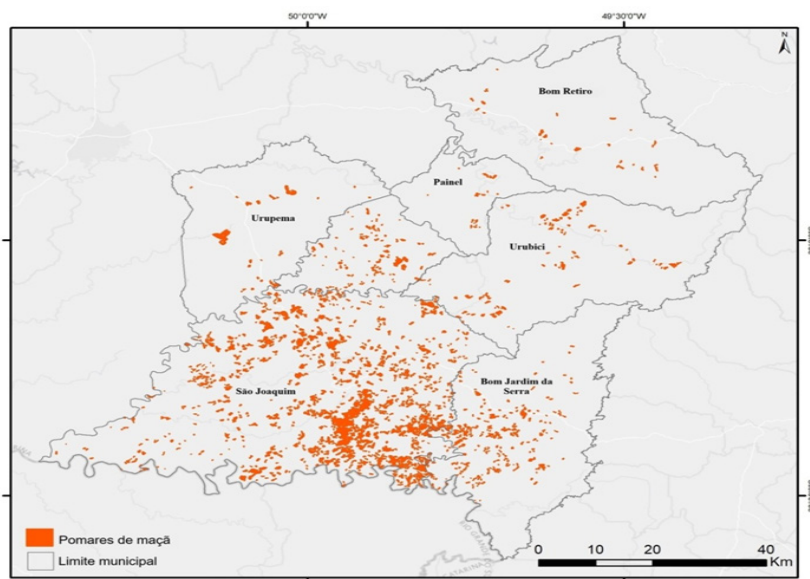
Em contrapartida, observa-se uma dinâmica divergente entre os demais municípios: enquanto Urubici, Urupema e Rio Rufino registraram acréscimos na área cultivada, o município de Bom Retiro apresentou uma retração contínua, reduzindo sua área de 208 ha (2020) para 155 ha (2025).

Tabela 1. Área mapeada (ha) de pomares de maçã dos municípios que compõe a serra Catarinense.

Município	2020	2023	2025
São Joaquim	8.692	10.023	10.912
Bom Jardim da Serra	1.341	1.650	1.881
Urubici	632	832	770
Urupema	604	762	761
Painel	485	487	500
Bom Retiro	208	188	155
Rio Rufino	98	84	131
TOTAL	12.060	14.026	15.110

Em síntese, a consolidação dos dados de mapeamento para o ano de 2025 quantifica uma área total de 15.110 hectares destinados à pomicultura na Serra Catarinense. A análise da distribuição espacial evidencia uma acentuada disparidade territorial: o município de São Joaquim estabelece-se como o polo da cultura na região, concentrando mais de 72% de toda a área mapeada (10.912 hectares) (Figura 3).

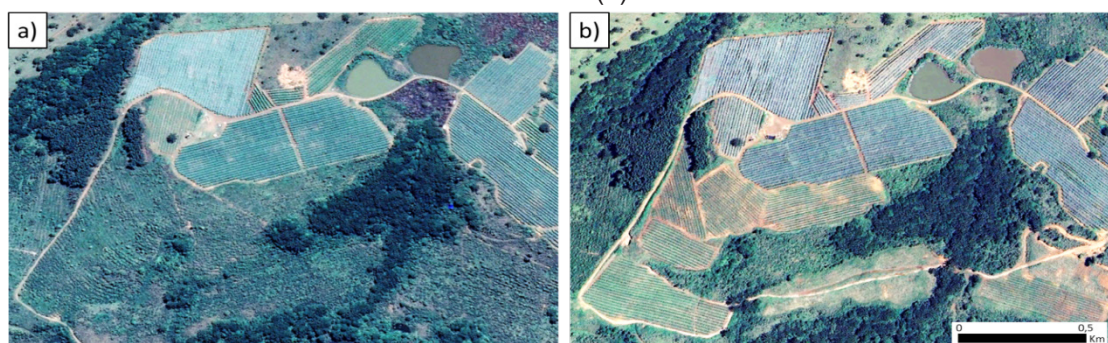
Figura 3. Distribuição dos pomares de maçã na Serra Catarinense.



Para ilustrar a dinâmica temporal de expansão da pomicultura, é apresentada as imagens obtidas pelo satélite CBERS-4A entre os anos de 2020 (Figura 4a) e 2025 (Figura 4b).

Na imagem de 2020, observam-se os pomares consolidados concentrados no setor superior. Já em 2023, fica evidente a conversão do uso do solo no setor central da área, onde vegetações campestres deram lugar à implantação de novos pomares.

Figura 4. Imagens CBERS-4A com destaque para os pomares existentes em 2020 (a) e os novos pomares em 2025 (b).

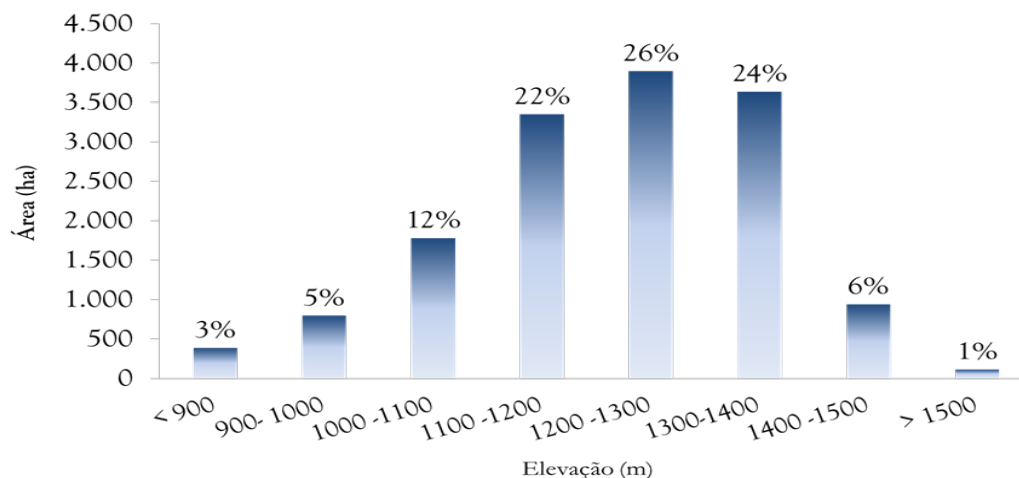


Nota-se que a alta resolução espacial do CBERS-4 permite delimitar com precisão o padrão geométrico das linhas de plantio, os carregadores de acesso e a estrutura dos talhões recém-implantados. Esse resultado comprova a acurácia do sensor para o monitoramento da dinâmica de expansão e para o refinamento da classificação.

Em relação ao relevo, análise da distribuição hipsométrica da pomicultura revela uma clara tendência agroclimática induzida pelo relevo. Observa-se um padrão de distribuição, em que 72% da área mapeada encontra-se concentrada entre 1.100 e 1.400 metros, com

ápice na classe de 1.200 a 1.300 metros, respondendo por 26% da área total (Figura 5).

Figura 5. Distribuição dos pomares de maçã da Serra Catarinense em relação à elevação (m).

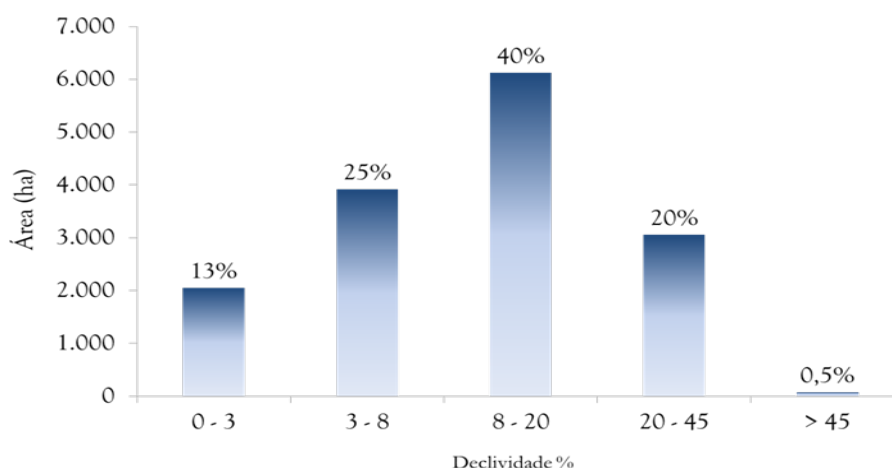


Fisiologicamente, essa amplitude altimétrica representa a zona de máxima aptidão bioclimática para as cultivares predominantemente exploradas na região. Ela assegura o cômputo de horas de frio necessário à quebra da dormência, otimizando floração e a produção de frutos.

Por outro lado, o decréscimo expressivo das áreas nas cotas inferiores a 1.000 metros e superiores a 1.400 metros evidencia, respectivamente, as restrições por insuficiência de frio e os limites impostos pelo risco de geada tardia e amplitude orográfica.

A distribuição da pomicultura em função da declividade revela um direcionamento prioritário para classes de relevo suave-ondulado a ondulado. Notadamente, a classe de 8% a 20% estabelece-se como o domínio de maior expressão, alocando 40% da área cultivada, seguida pela faixa de 3% a 8%, com 25% (Figura 6).

Figura 6. Distribuição dos pomares de maçã da Serra Catarinense em relação à declividade (%).

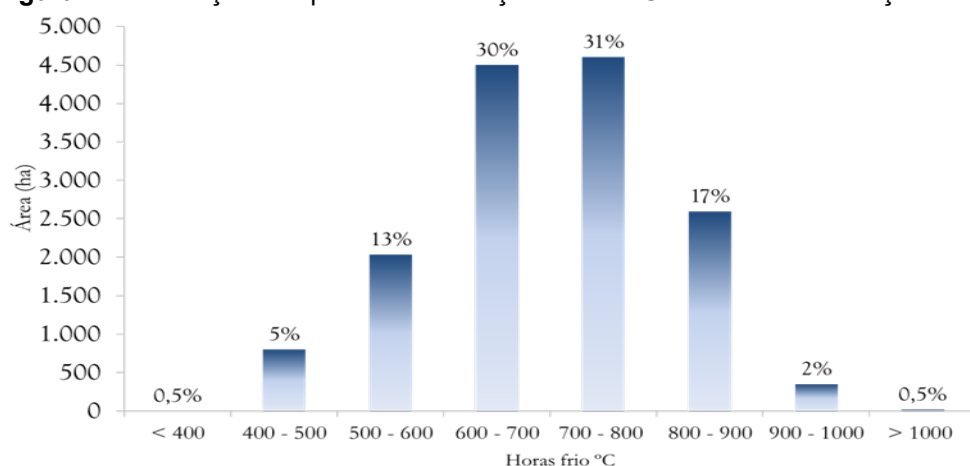


Esse padrão reflete a busca pelo equilíbrio entre a trafegabilidade mecanizada — essencial para tratamentos fitossanitários e a eficiência no manejo do perfil hídrico do solo, minimizando os riscos de encharcamento radicular frequentes em áreas com declividade inferior a 3%, que respondem por apenas 13% do mapeamento.

A reduzida representatividade em vertentes com declividade superior a 20% — e a ausência em declividades acima de 45%, limitadas a 0,5% evidenciando as limitações operacionais impostas pelo relevo acentuado, caracterizados pelo alto risco de erosão laminar e pelas restrições à mecanização.

E por fim, a análise da distribuição espacial dos pomares em relação a horas frio ($T < 7,2^{\circ}\text{C}$) revela que a macieira está fortemente concentrada em regiões com acúmulo intermediário de horas de frio. A faixa ideal compreendida entre 600 e 800 horas concentra 61% da área total mapeada (~9.100 ha). Ampliando o intervalo para 500 a 900 horas, o índice atinge 91% da área cultivada. Zonas de aptidão marginal, com menos de 500 ou mais de 900 horas de frio, representam juntas menos de 10% do total da área monitorada

Figura 7. Distribuição dos pomares de maçã da Serra Catarinense em relação a horas frio (%).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que a integração de dados multissensoriais dos satélites Sentinel-2 e CBERS-04A, aliada ao algoritmo de aprendizado de máquina *Random Forest*, constitui uma metodologia robusta e altamente eficiente para o mapeamento e o monitoramento contínuo da maleicultura. A acurácia global alcançada de 96% valida a abordagem para a identificação dos pomares, superando limitações tradicionais de levantamentos exclusivamente de campo e fornecendo dados estatísticos objetivos para a região da Serra Catarinense.

Destaca-se que o mapeamento não diferenciou variedades de maçã (como ‘Fuji’ e ‘Gala’) e não aplicou métricas para discriminar o estágio de desenvolvimento dos pomares. Ou seja, a área total estimada engloba indistintamente diferentes cultivares e abrange tanto pomares adultos em fase produtiva quanto áreas de implantação recente que ainda não atingiram a maturidade fisiológica para frutificação. Portanto, Aponta-se como limitação

do estudo a não distinção entre variedades comerciais (como ‘Gala’ e ‘Fuji’) e a falta de diferenciação entre pomares consolidados e áreas jovens em fase pré-produtiva.

REFERÊNCIAS

CHEN, R.; C. ZHANG.; B. XU.; Y. ZHU.; F. ZHAO.; S. HAN.; G. YANG.; H. YANG. Predicting individual apple tree yield using UAV multi-source remote sensing data and ensemble learning. Comput. Electron. Agric.(2022).

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Quantidade produzida e rendimento médio de maçã. 2016.** Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>: Acesso em: 24 jan. 2026.

XU, W.; LI, Z.; LIN, H.; SHAO, G.; ZHAO, F.; WANG, H.; CHENG, J.; LEI, L.; CHEN, R.; HAN, S.; et al. Mapping Fruit-Tree Plantation Using Sentinel-1/2 Time Series Images with Multi-Index Entropy Weighting Dynamic Time Warping Method. Remote Sens. 2024, 16, 3390.