



Áreas prioritárias para o plantio e experimentação de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* no Paraná e Santa Catarina

Elenice Fritzsons^{1*}, Marcos Silveira Wrege¹, Ananda Virginia Aguiar¹, Jarbas Yukio Shimizu², Jorge Luis Monteiro de Matos³, Ivan Venson³

¹Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira, km 111, C.P. 319, CEP 83411-000, Colombo, PR, Brasil

²Consultor, Rua Costa Rica, 858, Apartamento 83-A, CEP 82510-180, Curitiba, PR, Brasil

³Universidade Federal do Paraná, Avenida Prefeito Lothário Meissner, 632 - Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba, PR, Brasil

*Autor correspondente:

elenice.fritzsons@embrapa.br

Termos para indexação:

Pinus híbrido

Zoneamento

Clima

Index terms:

Hybrid pine

Zoning

Climate

Histórico do artigo:

Recebido em 12/03/2025

Aprovado tecnicamente em 30/09/2025

Aprovação final em 10/12/2025

Publicado em 18/12/2025

Resumo - O cultivo do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PEE x PCH) representa uma alternativa promissora para elevar a produtividade florestal e ampliar a adaptabilidade das plantações à novas condições ambientais. Por ser um híbrido com características parentais recombinantes, estudos são necessários para a identificação de áreas mais apropriadas ao plantio. O objetivo deste trabalho foi identificar áreas aptas à experimentação e à produção do respectivo híbrido, nos estados de Santa Catarina e Paraná. A identificação das áreas foi conduzida através de informações sobre o sucesso dos plantios no Brasil, sendo as amplitudes destas variáveis climáticas tratadas pela análise multivariada e em sistemas de informações geográficas. Foram definidas três zonas de plantio/experimentação para Santa Catarina e duas para o Paraná. Esse resultado é relevante diante das mudanças climáticas, que impactam áreas agrícolas e florestais com eventos extremos, incluindo geadas e estiagens severas. O conhecimento sobre as áreas adequadas de experimentação e plantios, possibilitará a exploração do máximo potencial híbrido com respeito à produtividade e tolerância a possíveis estresses ambientais.

Priority areas for planting and experimentation of *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* in Paraná and Santa Catarina

Abstract - The cultivation of the hybrid *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PEE x PCH) represents a promising alternative for increasing forest productivity and expanding the adaptability of plantations to new and environmental conditions. Because it is a hybrid with recombinant parental traits, studies are needed to identify the areas most suitable for planting. The aim of this work was to identify suitable areas for experimentation and production of the respective hybrid in the states of Santa Catarina and Paraná. The identification of suitable areas was guided by information on the successful establishment and performance of plantations in Brazil, with the ranges of climatic variables analyzed through multivariate analysis and geographic information systems (GIS). As a result, three planting/experimentation zones were defined for Santa Catarina and two zones for Paraná. This result is relevant in the context of climate change, which impacts agricultural and forested areas with extreme events, including frosts and severe droughts. Knowledge about suitable areas for experimentation and planting will enable the exploration of the hybrid's maximum potential regarding productivity and tolerance to potential environmental stresses.

Introdução

A utilização de materiais genéticos híbridos, como o cruzamento de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PEE x PCH) pode ser considerada como uma boa opção para aumentar a produtividade florestal.

O híbrido PEE x PCH surgiu na Austrália, pouco antes de 1960 (Nikles, 1992), e ganhou espaço na silvicultura mundial, em especial na América do Sul, por diversas características favoráveis: são superiores aos materiais que o originaram tanto para a produção de madeira, quanto para a produção de painéis compensados, no uso para construção civil e na fabricação de móveis, embalagens e caixas (Nikles, 1991; Dieters & Brawner, 2007; Almeida & Dias, 2016). Apresenta alto incremento volumétrico, semelhante ao de *P. caribaea* var. *hondurensis*, e madeira com qualidades físicas e mecânicas semelhante à de *P. elliottii*, sendo que a produção de resina também pode ser incrementada com o híbrido (Shimizu & Sebbenn, 2008). Ainda comparado aos genitores, o híbrido apresenta crescimento mais rápido, maior densidade de madeira, forte resistência mecânica ao vento, melhor adaptabilidade à áreas úmidas, fuste mais retilíneo (Cappa et al., 2013; Nilsson et al., 2020) e com poucas ramificações, sendo a madeira mais uniforme (Shepherd et al., 2002), características desejáveis pela indústria. Em grande parte do Sudeste de Queensland (Austrália), este híbrido foi adotado para plantio operacional em larga escala e se revelou tão produtivo e, até mesmo, superior às espécies parentais (Nikles, 1991).

Apesar das inúmeras vantagens deste híbrido, uma desvantagem é a baixa viabilidade de sementes que, em parte, foi superada pelo autocruzamento da semente híbrida PEE x PCH F1, que gerou o híbrido PEE x PCH F2 (Nikles & Robinsons, 1989). Este híbrido F2 foi inicialmente implantado pela empresa Pinus Brasil por volta de 2013, no estado de São Paulo.

Definir áreas para os plantios que sejam favoráveis para produção desse híbrido é uma tarefa bastante complexa, pois os locais geográficos naturais onde evoluíram as espécies parentais do híbrido (PEE x PCH) são muito distintos (edafoclimaticamente) e distantes entre si. *P. caribaea* var. *hondurensis* tem origem tropical, enquanto *P. elliottii* var. *elliottii* é originário de uma região subtropical. Além disso, as diferentes procedências dos parentais podem gerar necessidades edafoclimáticas bastante variadas para esses híbridos, devido à segregação

genética que ocorre normalmente durante a formação das sementes.

Adicionalmente, em uma época de incertezas decorrentes das mudanças do clima, é importante considerar as opções de distintas áreas de plantio, bem como genótipos apropriados para estas áreas. A expectativa é que eventos climáticos extremos, como calor excessivo, redução da precipitação e geadas mais intensas e frequentes, se tornem cada vez mais comuns.

Para compreender as necessidades climáticas do híbrido é necessário conhecer as necessidades climáticas dos parentais *P. elliottii* var. *elliottii* e *P. caribaea* var. *hondurensis*. Assim, *P. caribaea* var. *hondurensis* é originário da América Central, e ocorre em uma ampla área de distribuição que vai desde o paralelo 13° até 16°N, onde o clima é tropical, com temperaturas médias anuais de 20 a 27 °C, máxima de 36 °C (González, 2013) e ausência de geadas. A altitude vai desde o nível do mar até 600 m, embora possa chegar até 800 m (Golfari, 1978).

Há grandes variações nas precipitações e no balanço hídrico em sua área de ocorrência natural, desde a precipitação de menos 1.000 mm até mais de 4.000 mm e o período seco que pode durar de dois a seis meses. Essa diversidade nas condições naturais representa uma vantagem para o melhoramento, pois a ampla variabilidade adaptativa proveniente de diferentes procedências pode ser explorada em distintos locais de plantio e experimentação. *P. caribaea* var. *hondurensis* está entre os mais plantados no mundo, sendo recomendado para toda a região tropical brasileira (Golfari, 1978; Shimizu & Sebbenn, 2008), especialmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, além de algumas áreas das regiões Norte e Nordeste, exceto no Semiárido, devido ao elevado risco de déficit hídrico. Entretanto, todas as regiões indicadas ao cultivo devem estar livres de geadas. Para Santa Catarina, é recomendado o plantio nas áreas do litoral (Carpanezzi et al., 1988). No Paraná, além da faixa litorânea, seu plantio é recomendado para a porção central e norte do estado e para o Vale do Ribeira (Carpanezzi, 1986). Estes são os locais mais quentes nos estados do Paraná e Santa Catarina. Castro et al. (2010) delimitaram as áreas apropriadas para o plantio no Estado do Espírito Santo e indicaram as zonas que apresentavam temperatura média anual entre 21 e 27 °C e déficit hídrico anual inferior a 200 mm.

P. elliottii var. *elliottii* ocorre naturalmente no Sul e Sudeste dos Estados Unidos, desde a planície costeira do Sul da Carolina do Sul até a região central da Flórida e, em direção a oeste, até a Louisiana. O clima predominante na região de ocorrência natural se caracteriza pelos verões chuvosos, com precipitação pluviométrica média anual em torno de 1.270 mm e temperatura média anual de 17 °C, ocorrendo, esporadicamente, temperaturas extremas de até 41 °C. Essa é uma das espécies de pinus com maior valor econômico devido à alta densidade da madeira, alta produção de resina e rápido crescimento, sendo amplamente cultivada no Brasil, África do Sul, Nova Zelândia e Austrália (Nunes et al., 2016). No Brasil, é plantada desde o Rio Grande do Sul, Santa Catarina até a região central do Paraná, além de áreas com altitudes elevadas mais ao norte do país, como nas serras da Mantiqueira, do Mar, Bocaina, dos Órgãos e Paranapiacaba. Necessita de chuvas bem distribuídas, características de climas subtropicais e serranos, e onde não há déficit hídrico. Além disso, tem preferência por invernos frios, com temperaturas mínimas próximas a zero grau (Golfari, 1978; Aguiar et al., 2014).

O plantio do *P. elliottii* var. *elliottii* é recomendado para todo o estado de Santa Catarina, exceto na região litorânea (Carpanezi et al, 1988). No Paraná, além da região litorânea, ele também não é recomendado para áreas do Norte e para as de baixa altitude no Centro do Estado (Carpanezi, 1986). Castro et al. (2010), ao comporem o zoneamento da variedade para o estado do Espírito Santo, delimitaram as áreas apropriadas com temperatura média anual entre 15 e 24 °C e déficit hídrico anual menor que 50 mm.

Diante da procura de material propagativo do híbrido de *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* e da necessidade de definir áreas para os plantios que sejam favoráveis para produção e para o desenvolvimento de programas de melhoramento, o objetivo deste trabalho foi indicar áreas para produção e experimentação, na Região Sul do Brasil, especificamente nos estados de Santa Catarina e Paraná.

Material e métodos

A identificação das áreas apropriadas para o plantio e experimentação do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

(PEE x PCH) foi realizada, inicialmente, por levantamento das necessidades climáticas do híbrido na literatura científica. Na sequência, foram analisadas as variáveis climáticas mais importantes para o desenvolvimento vegetal, tendo como base os 28 locais onde já há cultivos estabelecidos do híbrido PEE x PCH. Com a aplicação da estatística multivariada, as variáveis climáticas mais relevantes foram selecionadas, e foi feita uma análise de agrupamento com os dados dos 28 locais. Os grupos resultantes indicam as áreas mais adequadas para o cultivo com fins de produção ou experimentação. A seguir, será detalhado o método desenvolvido para este trabalho.

Características climáticas prioritárias

De acordo com a análise feita por literatura científica, as áreas indicadas para o plantio do híbrido (PEE x PCH) devem apresentar as seguintes características gerais: ausência de déficit hídrico ou um período curto de déficit hídrico anual (menor que 200 mm anuais, em média), associado a temperaturas médias a baixas, que são importantes para o desenvolvimento de *P. elliottii* var. *elliottii*. Além disso, as geadas não devem ser severas, atendendo à exigência climática do *P. caribaea* var. *hondurensis*.

No caso do Paraná e de Santa Catarina, não há registro de déficit hídrico capaz de limitar o desenvolvimento do híbrido e, de modo geral, as temperaturas nas regiões de cultivo de pinus nesses estados são baixas e se enquadram nas condições ideais para o híbrido (Wrege et al., 2018; Nitsche et al., 2019) de forma que esses parâmetros não serão utilizados. A restrição climática mais importante para o híbrido nestes estados é a ocorrência de geadas. Assim, áreas com alta ocorrência de geadas deverá ser restrita para o plantio comercial em larga escala, mas não para experimentação, devido ao fato de algum genótipo híbrido ter mais características voltadas para o *P. elliottii* var. *elliottii* e ser, portanto, mais resistente às geadas.

Utilização das informações climáticas dos locais de plantios já instalados

Foram obtidas as coordenadas geográficas de localização dos 28 plantios do híbrido em Santa Catarina e Paraná e duas em São Paulo. Estes locais de plantio pertencem às empresas que fazem parte do Projeto Cooperativo de Melhoramento de Pinus – PCMP (Figura 1). A partir das coordenadas desses plantios, foram obtidas as seguintes

variáveis climáticas: risco de geada (meses de maio a setembro), temperatura média das mínimas e temperatura mínima absoluta dos meses de outono, inverno, primavera e, especificamente, do mês de

julho. As variáveis climáticas escolhidas são as que mais se relacionam com o risco de ocorrência de geadas de maio a setembro (Wrege et al., 2018).

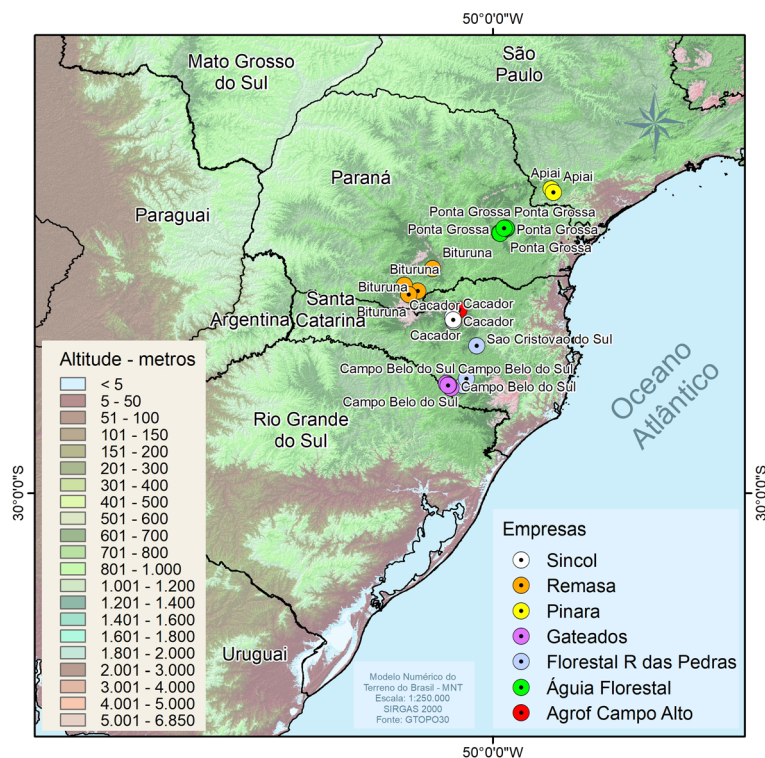


Figura 1. Indicação dos locais de plantio do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* das empresas de base florestal consideradas neste trabalho.

Figure 1. Indication of planting locations of the hybrid *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* of forestry companies considered in this study.

O risco de geadas foi estimado com base no número médio de ocorrências desse evento a cada dez anos, utilizando os dados de temperatura mínima registrados no abrigo meteorológico. Para isso, foram considerados os números de ocorrência de temperaturas mínimas inferiores a 3 °C a cada dez dias, aplicando-se a “regra de distribuição de extremos” (Wrege et al., 2018). Essa temperatura foi usada com base no conhecimento de que a diferença entre as temperaturas oficial, medida a 1,5 m de altura com termômetro protegido e da superfície do solo é de 3 a 4 °C (Grodzki et al., 1996). Assim, se o valor estimado for 0,5, isso indica que, em média, podem ocorrer cinco geadas a cada dez anos nesse local. Usando a mesma forma de análise, se um valor de risco de geada for igual a 1,2, significa que, em média, ocorrem 12 geadas a cada 10 anos.

Dados climáticos de cada área de plantio foram obtidos em ambiente digital de geoprocessamento,

cruzando-se a camada (*layer*) que contém as coordenadas geográficas dos plantios com as camadas de climáticas obtidas do Atlas Climático da região Sul do Brasil (Wrege et al., 2012). Isso resultou em uma tabela de atributos climáticos associados às coordenadas dos pontos. As altitudes de cada local foram estimadas ao cruzar a camada dos pontos com a camada do modelo numérico do terreno (MNT) do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e modelo digital de elevação (MDE) global (GTOPO30) (United States Geological Survey, 1999).

Estas variáveis numéricas obtidas foram organizadas em planilhas e, a partir delas, foi feita a análise de componentes principais (PCA) que permitiu que fossem identificadas as variáveis mais significativas, as quais foram submetidas à análise de agrupamento (método Ward, distância média de aglomeração) para formar os grupos. Dados dos grupos resultantes foram submetidos à análise de

variância para determinar o grau de significância estatística das diferenças entre esses e foi utilizado o método de teste de diferença de menor significativa (LSD) de Fisher, com nível de confiança de 95%, para compor o gráfico de médias. Metodologia semelhante a esta pode ser verificada em Fritzsons et al. (2012a, 2012b, 2022).

Resultados

Os valores climáticos da amplitude de cada grupo estão apresentados na Tabela 1. Aplicando-se estes valores de amplitude dos grupos A, B e C aos mapas de Santa Catarina e Paraná foram obtidos os zoneamentos apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

Para Santa Catarina, o grupo A (“mais quente”) localiza-se no Planalto Ocidental, onde predomina o clima Cfa da classificação de Köppen (subtropical úmido). O Grupo B está situado em áreas de serras, enquanto o Grupo C se encontra em regiões mais elevadas, também nas serras. Ambos, B e C, pertencem ao clima Cfb (Oceânico) da classificação

de Köppen (Subtropical úmido), como pode ser observado na Tabela 1 e na Figura 2. Vale ressaltar que as áreas mais altas das serras do estado, como àquelas de São Joaquim (acima de 1.300 m) não foram consideradas aptas devido ao frio excessivo.

Aplicando-se os mesmos limites (Tabela 1) para o Estado do Paraná, o grupo A, relativamente, “mais quente” que os demais e similar ao grupo A de Santa Catarina, se localiza na porção sul do Paraná, ao longo dos planaltos e apresenta clima Cfb; o grupo B se localiza nas regiões de Palmas, General Carneiro, Bituruna, Cruz Machado, Guarapuava e Clevelândia, que estão entre as regiões mais frias do Estado do Paraná e, também, pertencem ao clima Cfb (Figura 3). Nesta escala de trabalho, não foi observada paridade relacionada ao grupo C de Santa Catarina.

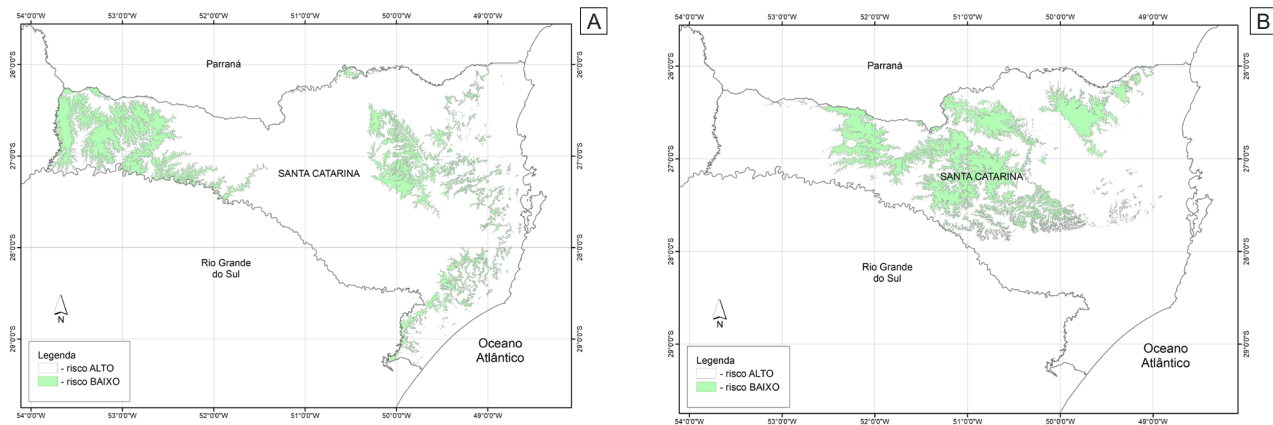
É importante observar que esses mapas estão em grande escala. Assim, para situações em que se exija mais detalhamentos, como em uma propriedade rural, é aconselhável consultar as informações contidas na Tabela 1.

Tabela 1. Grupos definidos para experimentação do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PEE x PCH).

Table 1. Groups considered for experimentation of the hybrid *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PEE x PCH).

Grupos	Inverno (°C)*	Julho (°C)*	Altitude (m)	Geada (%)
A	9,4 a 10,7	8,9 a 10	725 a 1.025	0,45 a 0,62
B	7,8 a 8,9	7,3 a 8,4	863 a 1.128	0,7 a 0,86
C	6,9 a 7,5	6,5 a 7,1	964 a 1.280	0,9 a 0,96

*Temperatura média das mínimas.



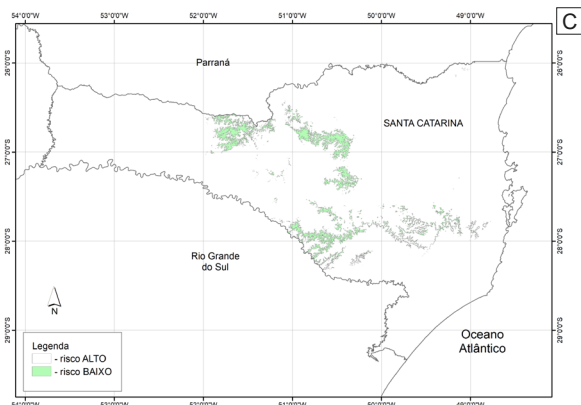


Figura 2. Zoneamento para o híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PCH x PEE) e os grupos climáticos A, B e C para o estado de Santa Catarina.

Figure 2. Zoning for the hybrid *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PCH x PEE) and climatic groups A, B, and C for the state of Santa Catarina, Brazil.

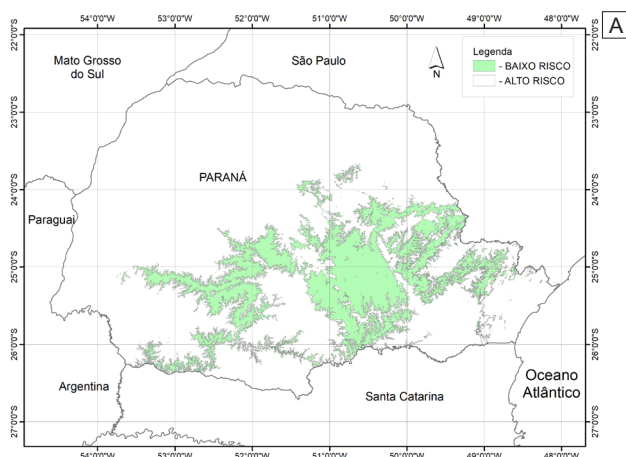


Figura 3. Zoneamento para o híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PCH x PEE) e os grupos climáticos A e B para o estado do Paraná.

Figure 3. Zoning for the hybrid *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PCH x PEE) and climatic groups A and B for the state of Paraná, Brazil.

Discussão

Atualmente, plantios experimentais do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* (PEE) x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PCH) têm ocorrido em caráter experimental, exploratório e comercial nos estados de São Paulo e, especialmente, no Paraná e em Santa Catarina, nas áreas de planalto. Observa-se variações das condições climáticas quanto à frequência de geadas, temperaturas mínimas do ar e altitude (Fritzsons et al., 2022).

Um bom desenvolvimento do híbrido foi observado em Telêmaco Borba, PR, que apresenta clima Cfa segundo a classificação de Köppen e Geiger, com temperatura média anual de 19 °C e pluviosidade média anual de 1.670 mm (Wrege & Fritzsons, 2015). Em comparação com clones

de outras espécies puras quanto ao potencial de crescimento, Almeida et al. (2021) verificaram que há superioridade do híbrido (PEE x PCH). Foi detectado que o mesmo se comportou como sendo 42% superior ao melhor clone de *Pinus maximinoi* e 94% superior em relação ao melhor clone de *Pinus taeda*. No entanto, os autores ressaltam que é necessário analisar outras questões antes de recomendar este material para plantios comerciais em larga escala, como a tolerância à geadas e características de qualidade da madeira para produção de celulose, papel e produtos sólidos.

A presença de geadas fortes pode ser um fator limitante para o plantio do híbrido, principalmente se, para esse caráter, os indivíduos tiverem herdado mais as características da espécie *P. caribaea* var. *hondurensis*. Contudo, há casos de sucesso em

regiões de geadas severas, como em Colombo, PR e Telêmaco Borba, PR, Almeida et al. (2021) e em Caçador, Irani, Campina da Alegria, Campo Belo do Sul em Santa Catarina, principalmente para os materiais procedentes da Austrália, Argentina e Brasil. Porém, muitas empresas ressaltam perdas de plantios de híbridos procedentes de outras fontes. Portanto, acredita-se que se os genitores das duas espécies forem procedentes de regiões mais frias, isso poderá colaborar para o sucesso do híbrido.

Na Argentina, a área plantada com o híbrido interespecífico F1 vem aumentando consideravelmente, chegando a 21.000 ha (Belaber et al., 2018). Este híbrido se tornou uma das três coníferas mais utilizadas no nordeste argentino, substituindo o PEE em muitas áreas, sendo também o híbrido/espécie mais recomendado para o sistema silvipastoril. O híbrido tem se desenvolvido muito bem na região da Mesopotâmia argentina, especialmente em Misiones e Corrientes, onde ocorre clima subtropical úmido (Classificação climática de Köppen-Geiger - Cfa), temperatura média anual de 21,5 °C, com verões quentes (temperaturas acima de 30 °C) e precipitação anual entre 1.560 a 1.829 mm.

Em 2021, foi lançado o F1 de PEE x PCH denominado de INTA-PINDO, desenvolvido pela equipe de pesquisa do INTA Montecarlo - Misiones em parceria com a empresa florestal Pindó (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2021). Este híbrido se destaca pelo crescimento, uniformidade e rendimento em plantações florestais comerciais e sistemas silvopastoris. Nos estádios iniciais, apresenta uma maior resistência a baixas temperaturas e ventos, além de uma melhor adaptação a local com drenagem inadequada, em comparação ao *P. taeda*. Em Colombo, PR, o híbrido F1 da Austrália também apresentou comportamento semelhante ao da Argentina em sítios alagados.

Além da América do Sul, o híbrido PEE x PCH também se mostrou excelente em crescimento e qualidade da madeira no Zimbábue (Gwaze, 1999), nos Estados Unidos (Rockwood & Nikles, 2000) e China (Zheng, 2000).

Na África (Gwaze, 1999), o híbrido tem sido bem-sucedido em plantio sob clima subtropical úmido/subtropical oceânico de terras altas (Classificação climática de Köppen-Geiger – Cwb), onde a temperatura média anual é de 19 °C e a precipitação anual de 818 mm. Na China também há relato de plantio em área com clima subtropical úmido (Cfa),

com temperatura média de 22,4 °C e pluviosidade média anual de 2.123 mm (Zheng, 2000).

Sobre indicação das áreas de plantio, com base nas exigências climáticas dos parentais, pode-se estimar que, de um modo geral, as áreas indicadas para o plantio do híbrido (PCH x PEE) devem apresentar as seguintes características: ausência de déficit hídrico ou um período curto de déficit hídrico anual (menos de 200 mm), associado a baixas temperaturas do ar, que são necessárias para boa produtividade de *P. elliottii* var. *elliottii*, e onde as geadas não sejam severas, atendendo assim à exigência climática do *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Além destas exigências climáticas gerais, é importante considerar que há diferentes procedências dos parentais, que surgem na recombinação que ocorre a partir do cruzamento das espécies e que resulta em genótipos distintos para cada semente híbrida, devido à segregação independente dos alelos. Isso gera genótipos com variações genéticas para diferentes caracteres. Como exemplo, Tambarussi et al. (2018) observaram, em um teste de progênie híbrida, altos níveis de variação genética para diâmetro e altura aos quatro e oito anos de idade, o que indica a possibilidade de ganhos com a seleção de materiais genéticos. Estas variações genéticas, além de resultar em ganhos genéticos com a seleção, podem contribuir para o sucesso em adaptações locais em diferentes climas.

Em todos os locais incluídos neste estudo, o híbrido *P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* está sujeito a danos pelas geadas. Portanto, na escolha do local para o seu plantio, deve-se dar prioridade às áreas onde as geadas não ocorram ou ocorram com a menor frequência e intensidade possíveis.

É importante considerar que as condições diferenciadas de microclima local podem afetar a ocorrência de geadas, tanto positiva quanto negativamente. Assim, a seleção dos locais de plantios dentro de um terreno também é crucial, uma vez que as geadas tendem a ocorrer com maior frequência e intensidade em áreas de menor altitude no relevo, onde ocorre o acúmulo de ar frio e, também, nas vertentes voltadas para o sul. Tais condições microclimáticas podem ser mapeadas localmente utilizando um modelo numérico de elevação do terreno na escala 1: 10.000 ou maior, gerando camadas de classes de risco de ocorrência de geada em nível de propriedade.

As áreas de litoral ou do Baixo Vale do Itajaí, bem como àquelas do Vale do Ribeira não foram consideradas neste trabalho, mas elas devem ser utilizadas para experimentação com grandes chances de sucesso. Para outros Estados, é importante que novos estudos sejam desenvolvidos para o estabelecimento de zonas de produção e de melhoramento.

Conclusões

Foram definidas três zonas de plantio/experimentação para Santa Catarina e duas zonas de plantio/experimentação para o Paraná para o híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PEE x PCH). Além das exigências climáticas gerais, é importante considerar que há diferentes procedências dos parentais, que afetam a recombinação que ocorre a partir do cruzamento das espécies e que resulta em genótipos distintos para cada semente híbrida, devido à segregação independente dos alelos.

O estabelecimento de testes de genéticos de híbridos nas diferentes zonas abrangidas por este estudo é uma das medidas para promover o melhoramento específico em áreas climáticas distintas. Para este estudo, a fim de testar materiais genéticos resistentes à ocorrência de geada, cada empresa do Projeto Cooperativo de Melhoramento de Pinus (PCMP) que opera nas regiões categorizadas como grupo A e/ou B, pode contribuir estabelecendo plantios experimentais ou de validação de material genético, além de compartilhar dados dos resultados de produção. Isso permitirá estabelecer uma rede experimental e de comprovação que fortalecerão a base de informações tão necessária para o êxito dos plantios comerciais de pinus híbrido no Brasil.

Essa abordagem é especialmente relevante diante das mudanças climáticas, que já estão impactando as áreas agrícolas com eventos extremos, incluindo geadas, estiagens e secas.

Conflito de interesses

Os autores não têm conflito de interesse a declarar.

Contribuição de autoria

Elenice Fritzsons: análise formal, metodologia, escrita - primeira redação, escrita - revisão & edição.
Marcos Silveira Wrege: análise formal, metodologia,

escrita - primeira redação, escrita - revisão & edição.
Ananda Virginia Aguiar: conceitualização, supervisão, escrita - primeira redação, escrita - revisão & edição.
Jarbas Shimizu: conceitualização. **Jorge Matos:** conceitualização. **Ivan Venson:** conceitualização.

Referências

- Aguiar, A. V. de (ed.). **Cultivo de pinus**. 2. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 73 p. (Embrapa Florestas. Sistemas de produção, 5). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1155568/1/EmbrapaCultivoDePinus2014.pdf>.
- Almeida, A. E. et al. A. **Potencial de crescimento de clones de *Pinus* spp., na região de Telêmaco Borba – PR**. Disponível em http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Poster_04.pdf. Acesso em: 24 maio 2021.
- Almeida, D. H. & Dias, A. A. Comparison between test methods to determine wood embedment strength parallel to the grain. **Revista Árvore**, v. 40, n. 4, p. 741-748, 2016
- Belaber, E. et al. Genetic parameters for growth, stem straightness, and branch quality for *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* F1 Hybrid in Argentina. **Forest Science**, v. 64, n. 6, p. 595-608, 2018. <https://doi.org/10.1093/forsci/fxy021>.
- Cappa, E. P. et al. Performance of *Pinus elliottii*, *Pinus caribaea*, their F1, F2 and backcross hybrids and *Pinus taeda* to 10 years in the Mesopotamia region, Argentina. **New Forests**, v. 44, p. 197-218, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9311-2>.
- Carpanezzi, A. A. (coord.) **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná**. Brasília, DF: EMBRAPA-DDT; Curitiba: EMBRAPA-CNPf, 1986. 89 p. (EMBRAPA-CNPf. Documentos, 17). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/293499/1/doc17.pdf>.
- Carpanezzi, A. A. et al. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina**. Curitiba: EMBRAPA-CNPf, 1988. 113 p. (EMBRAPA-CNPf. Documentos, 21). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/294054/1/doc21.pdf>.
- Castro, F. da S. et al. Zoneamento agroclimático para espécies do gênero *Pinus* no estado do Espírito Santo. **Floresta**, v. 40, n. 1, 2010. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v40i1.17114>.
- Dieters, M. & Brawnner, J. Productivity of *Pinus elliottii*, *P. caribaea* and their F1 and F2 hybrids to 15 years in Queensland, Australia. **Annals of Forest Science**, v. 64, p. 691-698, 2007. <https://doi.org/10.1051/forest:2007049>.
- Fritzsons, E. et al. **Método para definir áreas para plantios de espécies florestais suscetíveis a geadas no Sul e Sudeste do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2022. 22 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 369). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1143859/1/EmbrapaFlorestas-2022-Documentos369.pdf>.

- Fritzsos, et al. Zoneamento climático para plantio experimental de *Pinus maximinoi* no Estado de São Paulo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 69, p. 79-92, 2012a. <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.69.79>.
- Fritzsos, E. et al. Zoneamento climático de *Pinus tecunumanii* para fins de plantio experimental no estado de São Paulo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 341-354, 2012b. <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.72.341>.
- Golfari, L. et al. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil (2a aproximação)**. Belo Horizonte: PRODEPEF, 1978. 66 p. (PRODEPEF. Série técnica, 11).
- González, A. D. V. **Dendrocronologia de árvores de *Tectona grandis* L. e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf de plantação da Mata de Pedreira, Campus da ESALQ-USP, Piracicaba, SP**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Gwaze, D. P. Performance of some interspecific F¹, pine hybrids in Zimbabwe **Forest Genetics**, v. 6, n. 4, p. 283-289, 1999.
- Grodzki, L. et al. Risco de ocorrência de geada no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 1, p. 93-99, 1996.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina). **INTA informa**: Notícias e biotecnologia. 22 dic. 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=YBNSOv7KGs>. Acesso em: 5 out. 2023.
- Nikles, D. G. Increasing the value of future plantations in Argentina and southern Brazil using slash x caribbean pine hybrids developed in Queensland. In: Jornada sobre *Pinus caribaea*, 1991, El Dorado. [**Proceedings...**]. El Dorado: [s.n.], 1991. p. 93-102.
- Nikles, D. G. Hybrids of forest trees: the bases of hybrid superiority and a discussion of breeding methods. The use and importance of hybrid intensive forestry in South Africa. In: IUFRO Conference: Resolving Tropical Forest resource Concerns Through Tree Improvement, Gene Conservation and Domestication of New Species, Cartagena and Cali. [**Proceedings...**]. Colombia: [s.n.], 1992. p. 333-347.
- Nikles, D. G. & Robinson, M. J. The development of *Pinus* hybrids for operational use in Queensland. In: Gibson, G. L. et al. (ed.). **Proceedings of a Conference on Breeding Tropical Trees**: population structure and genetic improvement strategies in clonal and seedling forestry. [Pattaya, Thailand: Iufro Working Parties], 1989. p. 272-282.
- Nilsson, O. et al. Growth and modulus of elasticity of pine species and hybrids three years after planting in South Africa. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 82, n. 4, p. 367-376, 2020. <https://doi.org/10.2989/20702620.2020.1733769>.
- Nunes, S. et al. Physiological characterization and true-to-typeness evaluation of in vitro and ex vitro seedlings of *Pinus elliottii*: A contribution to breeding programs. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 107, p. 222-227, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.039>.
- Rockwood, D. L. & Nikles, D. G. Performance of slash pine x Caribbean pine hybrids in southern Florida USA. In: Dungey, H. S. et al. (ed.). **Hybrid breeding and genetics of forest trees**: proceedings of QFRI/CRC-SPF Symposium, 9-14 April 2000, Noosa Queensland, Australia. Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 114-119.
- Shepherd, M. et al. Branch architecture QTL for *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* hybrids. **Annals of Forest Science**, v. 59, n. 5-6, p. 617-625, 2002. <https://doi.org/10.1051/forest:2002047>.
- Shimizu, J. Y. & Sebbenn, A. M. Espécies de pinus na silvicultura brasileira. In: Shimizu, J. Y. (ed.). **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p. 49-74.
- Tambarussi, E. et al. Análise dialélica na avaliação do potencial de híbridos de *Pinus elliottii* x *Pinus caribaea* para a formação de populações de melhoramento. **Scientia Forestalis**, v. 46, n. 119, p. 395-403, 2018. <https://doi.org/10.18671/scifor.v46n119.07>.
- United States Geological Survey. **GTOPO30**: Global 30-Arc-Second Elevation [base de dados digital]. Sioux Falls: EROS Data Center, 1996. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-global-30-arc-second-elevation-gtopo30>. Acesso em: 09 out. 2025.
- Wrege, M. S. & Fritzsos, E. **Dados climáticos dos municípios da região Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. 439 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 290). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1039914/1/Doc.290DadosClimaticosM.Wrege.pdf>.
- Wrege, M. S. et al. Risco de ocorrência de geada na região centro-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 524-553, 2018. <https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.57306>.
- Wrege, M. S. et al. **Atlas Climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. 2. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 333 p.
- Zheng, Y. Hybrid breeding of *Pinus caribaea* in China. In: Dungey, H. S. (ed.). **Proceedings of QFRI/CRC-SPF symposium, hybrid breeding and genetics of forest trees**. Queensland: Department of Primary Industries, 2000.