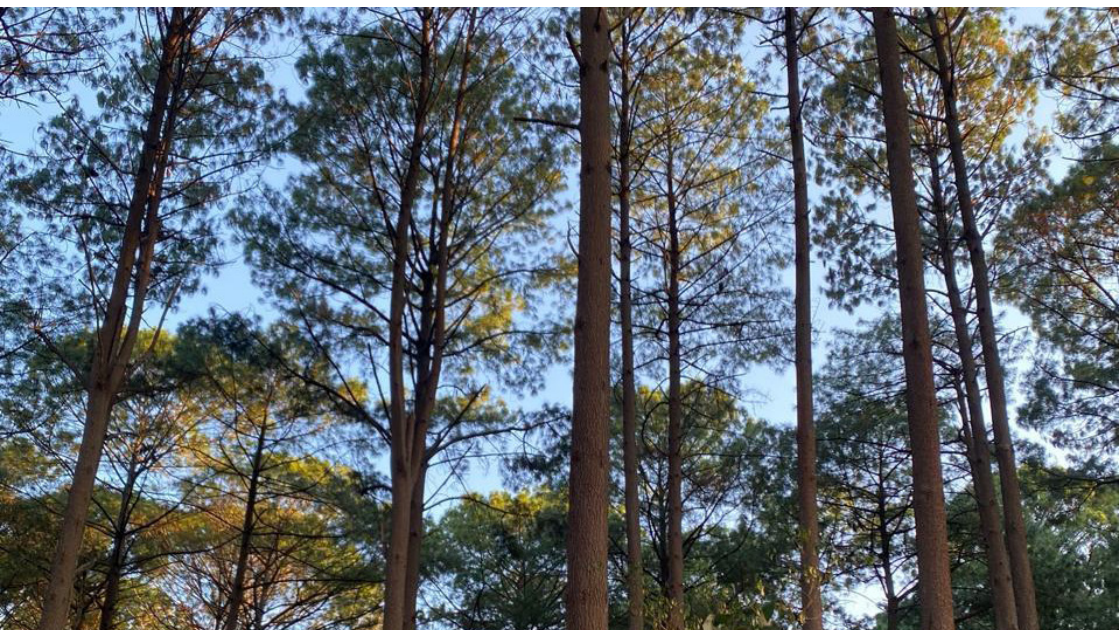


Colombo, PR / Setembro, 2025

Método para identificar áreas
favoráveis ao plantio de *Pinus*
maximinoi no Vale do Ribeira,
nos estados do Paraná e São Paulo

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura e Pecuária***

ISSN 1517-526X / e-ISSN 1980-3958

Documentos 403

Setembro, 2025

Método para identificar áreas
favoráveis ao plantio de *Pinus*
maximinoi no Vale do Ribeira, nos
estados do Paraná e São Paulo

*Elenice Fritzsons
Marcos Silveira Wrege
Ananda Virginia de Aguiar*

Embrapa Florestas
Colombo, PR
2025

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba
Caixa Postal 319
83411-000 Colombo, PR
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Patrícia Póvoa de Mattos

Vice-presidente

José Elidney Pinto Júnior

Secretária-executiva

Elisabete Marques Oaida

Membros

Annete Bonnet

Cristiane Aparecida Fioravante Reis

Elene Yamazaki Lau

Guilherme Schnell e Schühli

Luis Claudio Maranhão Froufe

Marina Moura Morales

Paulo Marcelo Veras de Paiva

Sandra Bos Mikich

Edição executiva e revisão de texto

José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica

Francisca Rasche

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Celso Alexandre de Oliveira Eduardo

Foto da capa

Ananda Virginia de Aguiar

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Fritzsons, Elenice

Método para identificar áreas favoráveis ao plantio de *Pinus maximinoi* no Vale do Ribeira, nos estados do Paraná e São Paulo. [recurso eletrônico] / Elenice Fritzsons, Marcos Silveira Wrege, Ananda Virginia Aguiar. - Colombo : Embrapa Floresta, 2025.

PDF (22 p.) : il. color. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1517-526X : e-ISSN 1980-3958 ; 403)

1. *Pinus maximinoi*. 2. Manejo florestal. 3. Plantio florestal. 4. Risco climático. 5. Geada. I. Título. II. Série.

CDD (21. ed) 634.973766

Francisca Rasche (CRB-9/1204)

© 2025 Embrapa

Autores

Elenice Fritzsons

Engenheira-agrônoma, doutora em Engenharia Florestal,
pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Marcos Silveira Wrege

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da
Embrapa Florestas, Colombo, PR

Ananda Virginia de Aguiar

Engenheira-agrônoma, doutora em Genética e Melhoramento de
Plantas, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Apresentação

Este trabalho apresenta um método para identificar e classificar áreas favoráveis ao plantio de *Pinus maximinoi* no Vale do Ribeira, uma região entre os estados de São Paulo e Paraná. Por se tratar de uma espécie tropical de pínus, sendo sensível à geada, a escolha adequada de áreas para cultivo deste pínus deve considerar esse fator restritivo e limitante.

O método utiliza dados de latitude, longitude e um sistema de ponderação para gerar um índice comparável e classificável. Essa classificação subsidia empresas do setor florestal na escolha de suas áreas destinadas ao plantio comercial, experimental e na identificação de zonas restritivas, onde a ocorrência frequente de geada inviabiliza o cultivo sustentável.

Além disso, o método oferece uma ferramenta de apoio ao gerenciamento da propriedade rural para a escolha das glebas mais adequadas ao plantio da espécie, com base em características como topografia, exposição das encostas e época de plantio. Isto permite que o administrador rural construa um índice personalizado que auxilie no planejamento e na tomada de decisão na propriedade.

Embora desenvolvido especificamente para o Vale do Ribeira, devido às suas características microclimáticas singulares, o método pode ser adaptado a outras regiões e espécies florestais com sensibilidade à geada, como é o caso desta e das demais espécies e híbridos de pínus intermediários entre as espécies subtropicais e tropicais. Este trabalho apresenta aderência às diferentes metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), representando os ODS 12, 13 e 15, por ser direcionado à gestão sustentável e ao uso eficiente dos recursos florestais e ao aumento da capacidade de adaptação aos riscos climáticos.

Marcelo Francia Arco Verde

Chefe-Geral interino da Embrapa Florestas

Sumário

Introdução	7
Método desenvolvido para classificar as propriedades mais suscetíveis às geadas	8
Atribuição de pesos	9
Índice de risco climático	10
Resultados	10
Áreas do Vale do Ribeira mais vulneráveis ao risco de geada	10
Recomendação para plantio nas áreas experimentais	13
Escolha de locais de plantio na propriedade visando minimizar a incidência de geadas	14
Exposição	14
Relevo local e influência topoclimática	16
Época de plantio	16
Índice de vulnerabilidade local às geadas	17
Exemplos de cenários de plantio e gradação de risco climático	18
Considerações finais	18
Referências	19

Introdução

Pinus maximinoi H.E. Moore é uma espécie florestal nativa da região equatorial da América Central, abrangendo áreas das Caribe, México, Sul do Arizona e Novo México. Por estar adaptada às condições de clima tropical, demonstra sensibilidade sob baixas temperaturas e à ocorrência de geadas, sobretudo nas fases iniciais de desenvolvimento (Dvorak; Donahue, 1988). Assim, a definição de áreas aptas para o cultivo dessa espécie no Brasil deve considerar a ocorrência desses fatores de risco, especialmente frequentes nas regiões Sul e Sudeste do País. Para isso, o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) é fundamental, pois indica os locais mais favoráveis ao cultivo comercial, porém não existe um zoneamento deste tipo para a espécie em escala necessária, de semidetalhe (1:25.000). Assim, surgiu a iniciativa de desenvolver um método com vistas a orientar as empresas florestais para selecionarem as áreas de plantio com menores riscos climáticos ao cultivo comercial da espécie.

Os estados de São Paulo e Paraná situam-se na zona de transição do clima tropical para o temperado e o Vale do Ribeira está localizado no sul do estado de São Paulo e nordeste do estado do Paraná, abrangendo uma área de drenagem que segue o curso do rio Ribeira de Iguape. A altitude média é muito variável entre 0 (nível do mar, no litoral) até cerca de 1.000 metros (nas regiões de serra). Esta diferença altitudinal gera microclimas distintos e dificulta um zoneamento em nível de detalhe ou semidetalhe. Estudos já demonstraram (Fritzsons et al., 2008) que, para as latitudes médias do Paraná, a cada 126 metros de ascensão vertical ocorre uma redução na temperatura média de 1 °C, calculado para o mês de janeiro e considerando o conjunto das estações meteorológicas do estado, excluindo as do litoral e; a cada aumento de grau de latitude no sentido sul, ocorre redução da temperatura do ar de 0,54 a 1,17 °C, dependendo do local.

Com base nessas informações e na localização geográfica das áreas operadas por empresas florestais, foram identificadas e delimitadas aquelas destinadas ao cultivo comercial e à experimentação com *P. maximinoi*. Assim, o objetivo do presente trabalho foi propor

um método para classificar essas áreas quanto ao risco climático, com ênfase na ocorrência de geada, para o Vale do Ribeira, nos estados de São Paulo e Paraná.

Método desenvolvido para classificar as propriedades mais suscetíveis às geadas

As propriedades rurais consideradas no estudo foram georreferenciadas e as altitudes correspondentes a essas coordenadas foram obtidas, sobrepondo-se a camada de coordenadas ao modelo numérico do terreno (MNT), em sistemas de informações geográficas (SIG). A partir dessas informações, elaborou-se uma planilha contendo os dados de latitude, longitude e altitude de cada ponto georreferenciado (Figura 1).

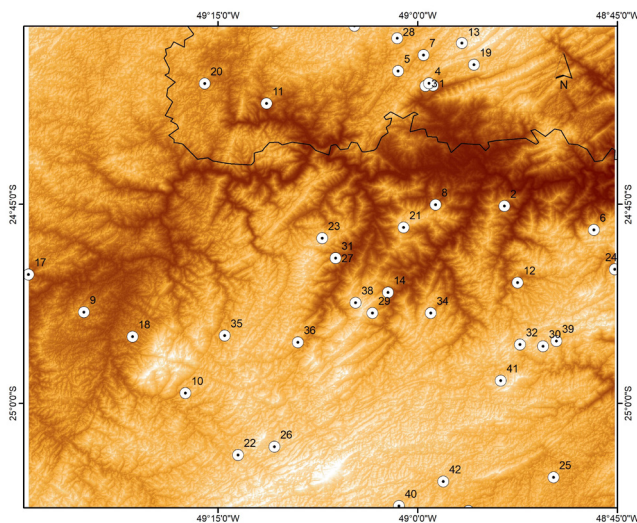


Figura 1. Localização das áreas de cultivo florestal a serem classificadas.

Atribuição de pesos

Foi criado um sistema de atribuição de pesos e de índices derivados, estruturados segundo os princípios da análise multicritério (MAM), baseados na integração de variáveis quantitativas e qualitativas de naturezas distintas. Pesos foram atribuídos conforme a importância relativa de cada variável (Borja Pimenta, 2019). O método envolveu a definição do problema, a seleção dos fatores relevantes e a aplicação de pesos que quantificassem as variáveis de maior relevância para o processo de tomada de decisão (Drobne; Lisec, 2009). Com isso, foi possível estabelecer uma ordem de critérios, de modo que os elementos com maior peso e significância assumissem prioridade no processo de tomada de decisão (Franco et al., 2013).

Foram atribuídos pesos maiores aos locais com altitudes e latitudes maiores, considerando-se que, quanto maiores esses valores, maior é o risco climático associado à ocorrência de geada, sendo desconsiderado o sinal negativo das latitudes por se referirem unicamente à posição hemisférica sul. Para cada ponto de localização foram definidos pesos distintos para altitude e latitude, os quais foram posteriormente multiplicados entre si, resultando em um índice específico por ponto, representativo das condições locais de risco.

A altitude variou entre 448 e 997 m, totalizando um desnível de 546 m, em curtas distâncias. As latitudes observaram variação de 24° 31' 55"S a 25° 08' 53"S - um intervalo de 29' 02", correspondente a, aproximadamente, 53 km em linha reta entre os extremos das propriedades analisadas.

Para fins de classificação, a variação da altitude foi subdividida em intervalos regulares de 100 m, em substituição ao valor de 126 m proposto por Fritzsons et al. (2008), visando simplificação e operacionalização dos cálculos. Assim, obtiveram-se seis faixas altimétricas, cada uma recebendo um peso específico. A latitude, por sua vez, foi agrupada em duas classes, sendo atribuída maior ponderação à faixa mais meridional, em razão da tendência à diminuição da temperatura média e, conseqüentemente, ao maior risco de geada.

Índice de risco climático

O índice de risco climático resultante, aqui chamado de índice de risco de ocorrência de geadas, foi obtido por meio da multiplicação entre os pesos atribuídos às classes de altitude e latitude correspondentes a cada ponto geográfico (Tabela 1).

Tabela 1. Pesos correspondentes às classes de altitude e de latitude representativas da região.

Altitude (m)	Peso para altitude	Latitude (coordenadas)	Peso para latitude
400 a 500	1	-24° 31' a 24° 49'	1
501 a 600	2	-24° 50' a 25° 08'	1,5
601 a 700	3		
701 a 800	4		
801 a 900	5		
901 a 1000	6		

Resultados

Áreas do Vale do Ribeira mais vulneráveis ao risco de geada

Os resultados obtidos foram organizados em ordem crescente de vulnerabilidade ao risco de ocorrência de geadas (Tabela 2). As menores classificações de risco (índices entre 1 e 1,5), associadas à menor probabilidade de incidência de geadas, correspondem às áreas situadas nos municípios de Ribeira (SP) e Adrianópolis (PR).

Por outro lado, os maiores valores (índices 10 e 12), indicativos de elevada vulnerabilidade climática, foram observados nos municípios de Bocaiúva do Sul (PR) e Tunas do Paraná (PR).

Embora todo o Vale do Ribeira esteja, em maior ou menor grau, exposto à possibilidade de geadas, a classificação proposta permite às empresas florestais identificar e priorizar áreas com menor risco para o estabelecimento de cultivos comerciais e experimentais de *P. maximinoi*, contribuindo para a redução de perdas e ao aumento da eficiência produtiva.

Tabela 2. Pesos atribuídos a cada área de cultivo em função da altitude e latitude e os resultados obtidos em ordem de classificação do índice de ocorrência de geadas.

Áreas (Fazendas)	UF	Município	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Peso altitude	Peso latitude	Índice de ocorrência de geadas
1	SP	Ribeira	-048° 58' 51.23"	-24° 36' 4.31"	448	1	1	1
2	PR	Adrianópolis	-048° 53' 28.91"	-24° 45' 8.17"	452	1	1	1
3	SP	Ribeira	-048° 59' 24.44"	-24° 36' 6.2"	457	1	1	1
4	SP	Ribeira	-048° 59' 8.33"	-24° 35' 53.76"	458	1	1	1
5	SP	Ribeira	-049° 01' 28.26"	-24° 34' 58.41"	474	1	1,5	1,5
6	PR	Adrianópolis	-048° 46' 45.65"	-24° 46' 56.46"	479	1	1,5	1,5
7	SP	Ribeira	-048° 59' 33.38"	-24° 33' 46.04"	569	1	1,5	1,5
8	PR	Adrianópolis	-048° 58' 39.11"	-24° 45' 1.91"	482	2	1	2
9	PR	Cerro Azul	-049° 25' 3.82"	-24° 53' 7.14"	574	3	1	3
10	PR	Cerro Azul	-049° 17' 26.39"	-24° 59' 12.77"	581	3	1	3
11	SP	Itapirapuã Paulista	-049° 11' 20.85"	-24° 37' 24.73"	626	3	1	3
12	PR	Tunas do Paraná	-048° 52' 29.29"	-24° 50' 53.78"	641	3	1	3
13	SP	Ribeira	-048° 56' 40.65"	-24° 32' 52.55"	676	2	1,5	3
14	PR	Adrianópolis	-049° 02' 13.99"	-24° 51' 39.13"	680	2	1,5	3
15	SP	Barra do Chapéu	-049° 04' 44.54"	-24° 31' 34.52"	648	4	1	4
16	SP	Itapirapuã Paulista	-049° 10' 43.82"	-24° 31' 22.55"	677	4	1	4
17	PR	Cerro Azul	-049° 29' 13.86"	-24° 50' 17.6"	693	3	1,5	4,5
18	PR	Cerro Azul	-049° 21' 25.2"	-24° 54' 58.62"	710	3	1,5	4,5
19	SP	Ribeira	-048° 55' 46.55"	-24° 34' 29.93"	738	3	1,5	4,5

Continua...

Continuação.

Áreas (Fazendas)	UF	Município	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Peso altitude	Peso latitude	Índice de ocorrência de geadas
20	SP	Itapirapuã Paulista	-049° 15' 59.32"	-24° 35' 54.85"	739	3	1,5	4,5
21	PR	Adrianópolis	-049° 01' 3.65"	-24° 46' 44.9"	693	5	1	5
22	PR	Cerro Azul	-049° 13' 29.64"	-25° 03' 52.81"	742	4	1,5	6
23	PR	Tunas do Paraná	-049° 07' 9.81"	-24° 47' 33.83"	752	4	1,5	6
24	PR	Adrianópolis	-048° 45' 11.43"	-24° 49' 54.09"	756	4	1,5	6
25	PR	Bocaiuva do Sul	-048° 49' 47.85"	-25° 05' 34.08"	768	4	1,5	6
26	PR	Cerro Azul	-049° 10' 45.06"	-25° 03' 15.0"	786	5	1,5	7,5
27	PR	Tunas do Paraná	-049° 06' 9.52"	-24° 49' 3.94"	792	5	1,5	7,5
28	SP	Barra do Chapéu	-049° 01' 32.41"	-24° 32' 30.46"	800	5	1,5	7,5
29	PR	Adrianópolis	-049° 03' 23.72"	-24° 53' 11.37"	808	5	1,5	7,5
30	PR	Cerro Azul	-048° 50' 34.44"	-24° 55' 41.32"	816	5	1,5	7,5
31	PR	Tunas do Paraná	-049° 06' 9.52"	-24° 49' 3.94"	827	5	1,5	7,5
32	PR	Tunas do Paraná	-048° 52' 18.42"	-24° 55' 34.28"	859	4	2	8
33	PR	Bocaiuva do Sul	-048° 56' 10.88"	-25° 08' 5.53"	862	4	2	8
34	PR	Adrianópolis	-048° 59' 0.84"	-24° 53' 11.87"	911	4	2	8
35	PR	Cerro Azul	-049° 14' 29.99"	-24° 54' 52.87"	859	6	1,5	9
36	PR	Cerro Azul	-049° 08' 59.74"	-24° 55' 23.6"	860	6	1,5	9
37	PR	Bocaiuva do Sul	-048° 56' 10.88"	-25° 08' 5.53"	862	6	1,5	9
38	PR	Tunas do Paraná	-049° 04' 39.67"	-24° 52' 24.77"	903	6	1,5	9
39	PR	Tunas do Paraná	-048° 49' 35.07"	-24° 55' 18.27"	930	5	2	10
40	PR	Bocaiuva do Sul	-049° 01' 24.32"	-25° 07' 43.45"	983	5	2	10
41	PR	Tunas do Paraná	-048° 53' 45.29"	-24° 58' 17.22"	996	6	2	12
42	PR	Bocaiuva do Sul	-048° 58' 4.22"	-25° 05' 52.54"	997	6	2	12

Assim, com base na classificação obtida, torna-se possível identificar áreas prioritárias para a instalação de plantios experimentais e isto é importante, especialmente para *P. maximinoi*. Essa espécie apresenta diferentes procedências, oriundas de regiões com ampla variação de altitude em seus ambientes de origem, o que representa um potencial significativo para programas de melhoramento genético.

Estudos realizados na África do Sul demonstraram elevada herdabilidade genética para características relacionadas à resistência ao congelamento (Dias et al., 2024). De forma similar, Mitchell et al. (2013) evidenciaram que a suscetibilidade à geada está sob forte controle genético, podendo ser significativamente reduzida por meio da seleção de procedências e progênies mais tolerantes.

Além disso, a produção de híbridos interespecíficos com resistência ao frio surge como alternativa promissora, conforme recomendado por Klock et al. (2004). Entre os cruzamentos potenciais, destacam-se *P. maximinoi* × *P. taeda*, *P. elliottii*, *P. patula*, entre outras espécies adaptadas aos climas temperados.

Recomendação para plantio nas áreas experimentais

Seguem, adiante, algumas recomendações para fins de melhoramento das espécies florestais:

- a. Instalar parcelas experimentais em gradientes de altitude distintos, considerando diferentes microclimas e épocas de plantio, com o objetivo de monitorar o desempenho da espécie e estabelecer parâmetros para subsidiar futuros estudos de zoneamento agrícola de riscos climáticos;
- b. Acompanhar indicadores como mortalidade, crescimento, sanidade, além da resposta ao estresse hídrico e térmico;
- c. Avaliar e selecionar procedências e genótipos com maior tolerância ao frio;
- d. Implantar estações meteorológicas simplificadas nas propriedades, viabilizando o monitoramento climático contínuo e fornecendo suporte à seleção de materiais genéticos mais adaptados ao longo do tempo.

Escolha de locais de plantio na propriedade visando minimizar a incidência de geadas

Além da seleção das áreas de plantio com base em características regionais, como altitude e latitude, é possível otimizar o uso da área selecionando, dentro das propriedades, os locais mais adequados ao cultivo de espécies sensíveis à geada. Para isso, é fundamental considerar, por exemplo, elementos físicos do relevo e a exposição solar local.

No contexto da bacia hidrográfica do Vale do Ribeira, o relevo é caracterizado por um conjunto de serras e vales profundos, apresentando uma topografia acidentada com acentuada variação altimétrica em distâncias relativamente curtas. Essa heterogeneidade espacial favorece a ocorrência de microclimas diferenciados, que influenciam diretamente nas variáveis ambientais como temperatura, radiação solar incidente, regime de ventos e níveis de umidade do ar.

Tais variações microclimáticas devem ser analisadas com atenção, uma vez que áreas em fundos de vale, por exemplo, tendem a acumular ar frio durante a noite, aumentando o risco de geada, enquanto encostas expostas ao norte (no Hemisfério Sul) são, em geral, menos propensas a esse fenômeno devido à maior incidência solar.

Exposição

O relevo dissecado do Vale do Ribeira contribui para múltiplas exposições de face do terreno à radiação solar, gerando variações térmicas significativas. Na região Sul do Brasil, observa-se um acentuado gradiente de temperatura entre as vertentes voltadas para os quadrantes norte/noroeste e sul/sudeste. Esse fenômeno decorre da latitude relativamente elevada e da inclinação do eixo terrestre, que modifica o ângulo de incidência solar ao longo do ano. Durante o inverno, a incidência dos raios solares torna-se mais oblíqua, intensificando as diferenças entre as vertentes.

No Hemisfério Sul, as faces voltadas para o norte recebem maior intensidade de radiação solar ao longo do ano, resultando em maior carga térmica. Em ordem decrescente de recepção de energia, seguem-se as faces oeste, leste e sul, sendo esta última a que menos absorve radiação. Tal distribuição de radiação resulta em microclimas contrastantes: as vertentes voltadas para o norte apresentam temperatura mais elevadas, maior taxa de evaporação e menor umidade do solo, enquanto as vertentes sul tendem a registrar menor temperatura, menor taxa de evaporação, maior umidade do solo e maior suscetibilidade à ocorrência de geada.

A importância dessas diferenças é evidenciada, por exemplo, pela orientação dos coletores solares no Sul do Brasil, que são sistematicamente voltados para o norte com o objetivo de maximizar a captação de energia. A insolação, definida como a quantidade de energia solar incidente por unidade de área em determinado intervalo de tempo, é expressa em quilowatt-hora por metro quadrado (kWh/m²) e representa um fator crítico tanto para o manejo florestal quanto para o planejamento agrícola.

Em localidades situadas acima da latitude de 23°27'S (Trópico de Capricórnio), mesmo durante o verão, a face sul não recebe radiação solar direta, o que implica temperaturas mais amenas e menor risco de estresse térmico, embora também se reduza a eficiência fotossintética. Em contrapartida, a maior insolação sobre vertentes voltadas ao norte pode favorecer a propagação de incêndios florestais, conforme demonstrado por Torres et al. (2016), que identificaram maior frequência de incêndios em vertentes voltadas para o norte e, em menor grau, para o oeste, na região de Juiz de Fora (MG).

A influência da exposição solar também é reconhecida em outras culturas perenes. Ferreira et al. (2012), ao estudarem o cultivo do cafeeiro em áreas montanhosas, reforçam a importância de considerar não apenas as características do cultivar, mas também as variáveis ambientais locais, como altitude, ventos, temperatura e precipitação pluvial, na definição do quadrante mais adequado para a implantação das lavouras, a fim de maximizar o desempenho produtivo das plantas.

A extensão *Spatial Analyst* do software ArcGIS permite a modelagem espacial da radiação solar sobre áreas geográficas específicas, considerando distintos períodos. Essa ferramenta incorpora variáveis atmosféricas, latitude, altitude, declividade, orientação das vertentes, variações diárias e sazonais do ângulo solar, além dos efeitos de sombreamento gerados pela topografia local. Os resultados gerados podem ser integrados a outros dados de sistemas de informação geográfica (SIG), viabilizando a simulação de processos físicos e biológicos influenciados pela radiação solar.

Relevo local e influência topoclimática

O relevo exerce papel determinante na configuração do microclima e na frequência de ocorrência de geada. O ar frio, por ser mais denso que o ar quente, tende a se acumular nas porções mais baixas da paisagem, como fundos de vale e áreas de baixada, aumentando significativamente o risco de geada nesses locais por processos de convecção e inversão térmica. Por outro lado, vertentes, especialmente aquelas com exposição para o norte, apresentam menor propensão à ocorrência do fenômeno, devido à maior incidência solar. Os platôs, por serem áreas elevadas e planas, estão mais expostos à ação de ventos e à perda de calor por irradiação noturna, o que pode favorecer a ocorrência de geada. No entanto, esse tipo de relevo é pouco representativo na área de estudo.

Época de plantio

Além da consideração quanto à topografia e exposição solar, a definição da época de plantio constitui um fator crítico na mitigação dos efeitos das geadas. Essa decisão é estratégica, uma vez que o investimento realizado no cultivo florestal somente será revertido no longo prazo, exigindo maximização da sobrevivência e qualidade das plantas.

As árvores são particularmente suscetíveis aos danos por geadas nos dois primeiros anos após o plantio. Geadas severas podem provocar a morte das mudas, enquanto geadas leves, embora menos impactantes, podem comprometer a formação da copa e fuste reto por meio da queima de ramos apicais e terminais, reduzindo o valor comercial da madeira (Trianoski, 2009). Considerando esse contexto, plantios realizados em períodos mais tardios tendem a reduzir os danos causados às mudas pela exposição às temperaturas críticas do outono e inverno, pois estas estarão mais desenvolvidas e mais resistentes quando chegar a época das geadas.

No estado do Paraná, há registros consolidados das datas médias de ocorrência da primeira geada no outono e da última geada na primavera (Wrege et al., 2004, 2018), os quais podem subsidiar o planejamento operacional do plantio

Índice de vulnerabilidade local às geadas

De forma complementar ao índice anteriormente proposto, baseado na latitude e altitude, foi desenvolvido um novo índice também de vulnerabilidade à geada, porém, em escala local, considerando três variáveis: exposição do terreno, relevo e época de plantio. Após consultados especialistas nas áreas de agrometeorologia, ecologia e manejo florestal, foram atribuídos pesos para cada uma dessas variáveis (Tabela 3). À semelhança do método anterior, quanto maior o valor do peso, maior a vulnerabilidade potencial das mudas à ocorrência de geada.

Tabela 3. Pesos atribuídos à exposição do terreno, relevo e época de plantio.

Exposição	Pesos	Relevo	Pesos	Época de plantio	Índice de vulnerabilidade local às geadas
Norte	1	Vertente	1	Outubro a março	1
Oeste	2	Fundo de vale	3	Abril a maio	2
Leste	2,5			Junho e julho	3
Sul	3			Agosto e setembro	2,5

Exemplos de cenários de plantio e gradação de risco climático

Com base nos pesos atribuídos aos fatores locais (exposição solar, forma do relevo e época de plantio), é possível estimar o nível de vulnerabilidade à ocorrência de geadas em diferentes situações. Dois cenários contrastantes são exemplificados adiante:

- Exposição norte, plantio em vertente, em outubro. O cálculo teria como resultado o valor 1 ($1 \times 1 \times 1$), apresentando menor risco.
- Exposição sul, em fundo de vale, com plantio realizado em junho. O cálculo teria como resultado o valor 27 ($3 \times 3 \times 3$) apresentando maior risco.

Assim, a situação mais favorável ao plantio ocorre em vertentes voltadas ao norte, com plantio em período menos suscetível à geada (ex.: primavera), enquanto as condições mais críticas envolvem áreas de baixada expostas ao sul e plantios realizados no início do inverno.

Esses exemplos ilustram como a combinação de fatores físicos e de manejo pode influenciar significativamente o risco climático associado ao plantio de espécies sensíveis à geada.

Para áreas com classificações intermediárias de vulnerabilidade, recomenda-se a instalação de ensaios experimentais que permitam avaliar, em condições reais de campo, o desempenho das espécies e genótipos selecionados, contribuindo para o aprimoramento do zoneamento local e a mitigação de perdas.

Considerações finais

Este estudo propõe um método de classificação de áreas destinadas ao cultivo de pinus, aplicado à espécie *P. maximinoi* no Vale do Ribeira. Esse é fundamentado na construção de um índice de

vulnerabilidade das áreas à ocorrência de geadas. A partir dessa abordagem, espera-se que as empresas florestais possam identificar, com maior segurança, no conjunto de suas áreas de plantio, aquelas aptas ao plantio comercial, as indicadas para experimentação e as consideradas restritivas, nas quais o cultivo da espécie não é recomendado devido à elevada frequência de geadas.

Contudo, destaca-se que todo o Vale do Ribeira apresenta potencial para registros de geada, que podem comprometer o desempenho de espécies florestais sensíveis, como *P. maximinoi*, sobretudo em fases iniciais de desenvolvimento.

Adicionalmente, o trabalho apresenta um método auxiliar para a tomada de decisão, em escala de propriedade, permitindo que os produtores identifiquem glebas mais favoráveis ao cultivo de espécies suscetíveis, por meio da construção de um índice local baseado em variáveis como exposição solar, relevo e época de plantio.

Ressalta-se que os índices desenvolvidos são específicos para as condições do Vale do Ribeira. Portanto, sua aplicação em outras regiões requer adaptações, considerando particularidades edafoclimáticas e geográficas locais.

Referências

BORJA PIMENTA, L.; BELTRÃO, N. E. S.; GEMAQUE, A. M. da S.; AMADOR TAVARES, P. Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. **Interações**, v. 20, n. 2, p. 407-420, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20435/inter.v20i2.1856>.

DIAS, C. R. G.; GUACHA, L. A.; MBANZE, A. A. Growth and adaptability of provenances and progenies of *Pinus maximinoi* HE Moore in northern Mozambique. **Southern Forests: Journal of Forest Science**, v. 86, n. 2, p. 90-101, 2024.

DROBNE, S.; LISEC, A. Multi-attribute decision analysis in GIS: weighted linear combination and ordered weighted averaging. **Informatica**, v. 33, n. 4, p. 459-74, 2009.

DVORAK, W. S.; DONAHUE, J. K. ***Pinus maximinoi* seed collections in Mexico and Central America**. North Carolina: CAMCORE, 1988. 47 p. (CAMCORE. Bulletin on Tropical Forestry, 4).

FERREIRA, W. P. M.; RIBEIRO, M. de F.; FERNANDES FILHO, E. I.; SOUZA, C. de F.; CASTRO, C. C. R. de. **As características térmicas das faces noruega e soalheira como fatores determinantes do clima para a cafeicultura de montanha**. Brasília, DF: Embrapa Café, 2012 34 p. (Embrapa Café. Documentos, 10). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/963026/1/Caracteristicastermicasdasfaces.pdf>.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; MORAES, J. F. L. O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu-PR. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: INPE, 2013.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; AGUIAR, A. V. de. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 49-64, 2008. DOI: <https://doi.org/10.7867/1983-1501.2008v10n1p49-64>.

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. de; BITTENCOURT, E.; MOCELIN, E. Z.; CREPALDI, C. Kraft paper properties from *Pinus maximinoi* H.E. Moore and *Pinus taeda* L. juvenile wood. **Floresta**, v. 34, n. 1, p. 33-43, 2004.

MITCHELL, R. G.; WINGFIELD, M. J.; HODGE, G. R.; DVORAK, W. S.; COUTINHO, T. A. Susceptibility of provenances and families of *Pinus maximinoi* and *Pinus tecunumanii* to frost in South Africa. **New Forests**, v. 44, n. 1, p. 135-146, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9306-z>.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A. MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. Influência do relevo nos incêndios em vegetação em Juiz de Fora (MG).

GEOgraphia, v. 18, n. 36, p. 170-182, 2016. DOI: <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2016.1836.a13748>.

TRIANOSKI, R. **Caracterização tecnológica de espécies de pinus tropicais provenientes de plantios experimentais no Brasil**. 2009. 127 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

WREGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, A. C. A.; BERTONHA, A.; CAVIGLIONE, J. H.; FARIA, R. T. de; FERREIRA, R. C.; FREITAS, P. S. L. de; GONÇALVES, S. L. Ocorrência da primeira geada de outono e última de primavera no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 12, n. 1, p. 143-150, 2004.

WREGE, M. S.; FRITZSON, E.; SOARES, M. T. S.; PRELA-PÂNTANO, A.; STEINMETZ, S.; CARAMORI, P. H.; RADIN, B.; PANDOLFO, C. Risco de ocorrência de geada na região centro-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 524-553, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.57306>.

