

# 2

## Zoneamento agrícola de espécies de eucalipto para municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina

*Marcos Silveira Wrege  
João Bosco Vasconcellos Gomes  
Itamar Antônio Bognola  
Wilson Anderson Holler  
Márcia Toffani Simão Soares  
Guilherme de Castro Andrade  
Pablo Ricardo Nietsche*



## Introdução

A combinação perfeita entre a espécie (ou clone), o sistema de manejo e os fatores pedoclimáticos é essencial para alavancar a produtividade dos plantios comerciais do eucalipto e colaborar para o desenvolvimento de programas de melhoramento genético.

O objetivo do trabalho apresentado neste capítulo foi o de realizar uma análise dos riscos climáticos para o desenvolvimento do eucalipto, em nível de espécie, nos municípios da Bacia do Paraná 3 (BP3), acrescidos de Palotina, que se localiza na porção noroeste da área de estudo. Características gerais da região são apresentadas por Gomes et al. (2020).

## Espécies comerciais de eucalipto de interesse à região

As florestas plantadas brasileiras apresentam os maiores índices de crescimento do mundo, alcançando para o cultivo do eucalipto um incremento médio anual de  $36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . De um total de 7,86 milhões de ha de plantações florestais do País, o eucalipto representa a maior área, com 5,7 milhões de ha, ou 72,5%, destacando-se a produção de celulose e papel e biomassa de madeira para energia. O estado do Paraná tem a sétima maior área plantada (3%), atrás de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (16%) (IBÁ, 2019).

As espécies do gênero *Eucalyptus* são cultivadas em mais de 100 países de clima subtropical e tropical. Quatro espécies de *Eucalyptus* se destacam comercialmente para cultivo no estado do Paraná: *Eucalyptus grandis*, o híbrido “urograndis”, *E. benthamii* e *E. dunnii*. A espécie mais plantada no Paraná e no Brasil é *E. grandis*, alcançando grande produtividade sob condições tropicais, sendo que o Brasil tem a maior área plantada do mundo dessa espécie, que também é muito cultivada em outros países da América, África e Ásia (Eldridge et al., 1994). O híbrido “urograndis” também é muito plantado. *E. benthamii* apresenta uma área menor de plantio, mas sua utilização tem sido estratégica em regiões mais frias. *E. benthamii*, como as outras espécies do gênero, é originário da Austrália, porém de regiões com clima subtropical e ocorrência de geadas (Higa; Wrege, 2010; Wrege et al., 2017).

## Riscos climáticos

Os riscos climáticos de um local qualquer dependem, principalmente, da altitude, da latitude e do comportamento das frentes frias. A variação de altitude tem forte correlação (inversa) com a temperatura do ar, decrescendo  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  a cada aumento de 100 m de altitude, considerando o gradiente adiabático do ar seco. Na região da BP3 e de Palotina, bem como para o restante do Paraná, ocorre, na prática, uma redução média de  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$  a cada 100 m de altitude (Maack, 1968; Ometto, 1981), considerando a umidade relativa do ar. Portanto, uma região de latitudes médias, como é o caso da área desse estudo, as diferenças de temperatura que ocorrem em pequenas distâncias são basicamente um efeito das variações de altitude (Ometto, 1981; Fritzsons et al., 2016). A BP3 possui um intervalo de altitude variando entre

pouco mais de 100 m e pouco menos de 900 m, o que representa uma diferença de aproximadamente 800 m entre as regiões de menor e de maior altitude. Isso acarreta variações da temperatura de 4 °C a 8 °C, favorecendo a existência de microclimas diferenciados entre as regiões da bacia (Wrege et al., 2018a).

A ocorrência de geada também tem correlação (inversa) com a temperatura mínima medida no abrigo meteorológico, isto é, quanto menor a temperatura, maior o risco de geada. O abrigo é situado a 1,5 m de altura, sendo que ocorre uma diferença de 3 °C entre o abrigo e a relva. Desse modo, quando a temperatura mínima no abrigo registra 3 °C, a temperatura na relva encontra-se a 0 °C, apresentando condições favoráveis à ocorrência de geada (Grodzki et al., 1996). Na área de estudo, a ocorrência de geada é comum, principalmente nas regiões de maior altitude, onde as temperaturas são menores (Wrege et al., 2018a, 2018b), como é o caso de Cascavel, município com a maior altitude da região. Nas regiões de menor altitude, as geadas são esporádicas, como nos municípios de Terra Roxa, Guaíra e Palotina. A geada representa um importante fator de restrição aos reflorestamentos com eucalipto, na região Sul do País, considerando a baixa disponibilidade de materiais comerciais para regiões frias, comparativamente àqueles para condição tropical (que não toleram geada) (Higa; Wrege, 2010). As principais opções de germoplasmas para regiões com risco de geada são das espécies *E. benthamii*, *E. dunnii*, *E. badjensis* e *E. viminalis*. Estas espécies vegetam bem nas regiões altas do sul do Brasil, sem, contudo, serem totalmente imunes aos efeitos das geadas. A produtividade dos reflorestamentos de eucalipto no sul do Brasil é muito afetada pela presença de geadas, sendo inapropriado a simples comparação dos germoplasmas utilizados nesses locais de elevado risco de geada com outros materiais utilizados em condições onde esse risco não ocorre. Um desafio importante diz respeito à recalcitrância dos germoplasmas subtropicais à propagação vegetativa, dificultando o surgimento de clones comerciais.

## **Zoneamento agrícola do eucalipto nos municípios da BP3 e Palotina**

O zoneamento agrícola é um instrumento que tem como objetivo orientar os produtores rurais quanto aos riscos climáticos de se plantar uma determinada espécie em uma área. As épocas de plantio mais favoráveis também são informadas, embora esse aspecto seja mais importante para os cultivos anuais (Assad et al., 2001). Os riscos podem ser bastante reduzidos se o plantio for realizado nas áreas e nas épocas de menor risco climático, de acordo com o indicado pelas análises do zoneamento, feito por cultura e por região.

A ocorrência de geada, de déficit hídrico e de temperaturas altas são os fatores que geram os maiores riscos climáticos na região do estudo e estão relacionados com a maioria dos sinistros agrícolas (Göpfert et al., 1993; Gonçalves et al., 2019). Dessa forma, esses três fatores foram utilizados para elaborar o zoneamento das principais espécies de eucalipto, no perímetro dos municípios da BP3 e Palotina, em uma escala de planejamento municipal (Wrege et al., 2011, 2018a, 2018b).

Além destes fatores, o risco de temperaturas elevadas no verão também foi considerado. Em muitos anos ocorre o fenômeno do veranico, onde a combinação de períodos sem chuva e temperaturas muito elevadas causam danos às mudas jovens colocadas no campo (as mudas “cozinham” de tanto calor). Por esta razão, nessas regiões de menor altitude, muitos produtores realizam o plantio, a partir de julho, mesmo sendo a época mais fria do ano e sujeita ao maior risco de geada. Nas regiões de maior altitude, essa estratégia é abandonada, em função dos maiores riscos de ocorrência de geada.

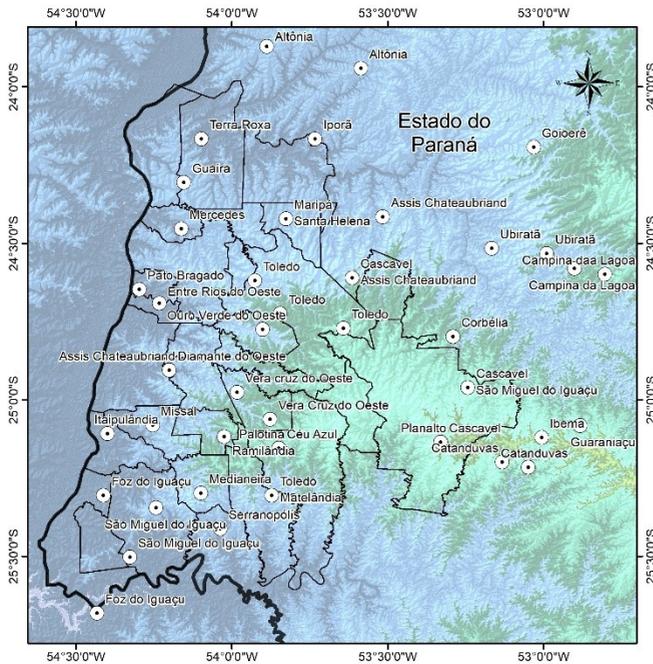
## **Metodologia**

Foram elaborados zoneamentos agrícolas de risco climático para três espécies de eucalipto cultivadas na região. Nestes zoneamentos, foram considerados risco de geada, déficit hídrico e temperaturas elevadas, os quais são condicionantes de quebra de safras do cultivo do eucalipto (Gonçalves et al., 2019).

## **Base de dados climáticos**

O trabalho utilizou três redes de estações meteorológicas englobando o perímetro de estudo e áreas contíguas (Figura 1 e Tabela 1): i) Rede do Iapar (atual IDR-PR), com quatro estações, compreendendo o período base de 1981 a 2010; ii) Rede do Sistema Meteorológico do Paraná - Simepar, com quatro estações; e iii) Rede do Instituto das Águas do Paraná, com 31 estações. As três redes somam 39 estações meteorológicas. As estações localizadas em áreas contíguas do perímetro de abrangência do estudo têm a finalidade de melhorar a interpolação dos dados nas áreas limítrofes desse mesmo perímetro.

Municípios formadores da Bacia do Paraná 3 e Palotina:  
estudos de clima, solos e aptidão das terras para o cultivo do eucalipto



**Figura 1.** Localização das estações meteorológicas utilizadas no zoneamento de risco climático dos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina. Alguns municípios apresentam até três estações meteorológicas, pertencentes às diferentes redes - Iapar, Simepar e Instituto das Águas do Paraná).

**Tabela 1.** Estações meteorológicas e coordenadas geográficas utilizadas no zoneamento de risco climático dos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina.

Estação meteorológica	Instituição	Latitude °S	Longitude °O	Altitude (m)
Assis Chateaubriand	Instituto das Águas	-24,61	-53,61	501
Assis Chateaubriand	Simepar	-24,91	-54,20	248
Cascavel - Rio do Salto	Instituto das Águas	-25,14	-53,33	633
Cascavel - São João do Oeste	Instituto das Águas	-24,96	-53,24	662
Cascavel	Iapar	-24,61	-53,61	501
Catanduvas	Instituto das Águas	-25,20	-53,13	650
Catanduvas - Torre Alta	Instituto das Águas	-25,22	-53,05	600
Céu Azul	Instituto das Águas	-25,16	-53,85	650
Corbélia	Instituto das Águas	-24,80	-53,29	696
Diamante do Oeste - Ponte Queimada	Instituto das Águas	-24,91	-54,20	248
Entre Rios do Oeste	Instituto das Águas	-24,69	-54,23	239
Foz do Iguaçu - CACIC	Instituto das Águas	-25,31	-54,41	245
Foz do Iguaçu - Salto Cataratas	Instituto das Águas	-25,68	-54,43	152
Foz do Iguaçu	Simepar	-25,31	-54,41	245
Guairá - Rancho Alegre	Instituto das Águas	-24,31	-54,15	340
Iporã	Instituto das Águas	-24,17	-53,73	270
Itaipulândia	Instituto das Águas	-25,11	-54,40	244
Maripá - Vila Maripá	Instituto das Águas	-24,42	-53,83	394

Continua...

**Tabela 1.** Continuação...

Estação meteorológica	Instituição	Latitude °S	Longitude °O	Altitude (m)
Matelândia - Floriano	Instituto das Águas	-25,31	-53,87	458
Medianeira - Colégio Medianeira	Instituto das Águas	-25,30	-54,10	402
Mercedes - Nova Mercedes	Instituto das Águas	-24,45	-54,16	407
Missal	Instituto das Águas	-25,08	-54,25	316
Ouro Verde do Oeste	Instituto das Águas	-24,78	-53,90	528
Palotina	Iapar	-25,16	-53,85	650
Pato Bragado - Porto Britânia	Instituto das Águas	-24,65	-54,30	253
Planalto	Iapar	-25,14	-53,33	633
Ramilândia - Fazenda Rami	Instituto das Águas	-25,12	-54,03	586
Santa Helena	Simepar	-24,42	-53,83	394
São Miguel do Iguaçu	Instituto das Águas	-25,35	-54,24	287
São Miguel do Iguaçu - Santa Eliza	Instituto das Águas	-25,50	-54,33	297
São Miguel do Iguaçu	Iapar	-24,96	-53,24	662
Serranópolis do Iguaçu - Jardinópolis	Instituto das Águas	-25,41	-54,04	279
Terra Roxa - Terra Roxa do Oeste	Instituto das Águas	-24,17	-54,10	378
Toledo - Bom Princípio	Instituto das Águas	-24,77	-53,64	618
Toledo - Dois Irmãos	Instituto das Águas	-24,62	-53,93	519
Toledo - Nova Concórdia	Instituto das Águas	-24,73	-53,85	513
Toledo	Simepar	-25,31	-53,87	458
Vera Cruz do Oeste	Instituto das Águas	-25,06	-53,88	642
Vera Cruz do Oeste - São Sebastião do Oeste	Instituto das Águas	-24,98	-53,98	545

## Risco de ocorrência de geada

O risco de geada é, sem dúvida, o principal fator condicionante de quebra de safra do Sul do País. No caso do eucalipto, dependendo da força do evento de geada, do grau de sensibilidade do material genético e da condição do plantio, principalmente de sua idade, pode ocorrer mortalidade de plantas no campo.

O risco de geada foi calculado por meio da “distribuição de valores extremos”, conhecida também como “distribuição Gumbel”. Para o cálculo dessa distribuição utilizou-se a série de dados com temperaturas mínimas absolutas mensais de uma rede de 39 estações meteorológicas já mencionadas.

Segundo Thom (1966), a função de densidade de probabilidade de “distribuição de valores extremos” é dada por:

$$f(x) = \left(\frac{1}{\beta}\right) \exp \left[-\left(\frac{x - \infty}{\beta}\right) - \exp\left(-\left(\frac{x - \infty}{\beta}\right)\right)\right] - \infty < x < \infty \quad (\text{Equação 1})$$

em que  $\alpha$  e  $\beta$  são os parâmetros da distribuição.

A probabilidade (P) de que a temperatura mínima (T) seja inferior a um valor x é:

$$P(T \leq x) = \beta \int_{-\infty}^x \exp\left[-\left(\frac{x - \alpha}{\beta}\right) - \exp\left[\exp\left(-\frac{x - \alpha}{\beta}\right)\right]\right] dy \quad (\text{Equação 2})$$

Assim, desenvolvendo a Equação 2, tem-se a seguinte equação simplificada:

$$P(T \leq x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x - \alpha}{\beta}\right)\right] \quad (\text{Equação 3})$$

O cálculo dos parâmetros de distribuição  $\alpha$  e  $\beta$ , como estimados pelo método de “Lieblein” (Thom, 1966), foi baseado nas variâncias mínimas, na qual dividiu-se a série de dados climáticos em subgrupos. Cada subgrupo foi ordenado na ordem crescente e, posteriormente, reagrupado, unindo os menores valores em um novo subgrupo e, assim por diante, até unir os maiores valores em um último subgrupo. A somatória de cada subgrupo foi multiplicada pelos valores  $a_j$  e  $b_j$  (valores tabelados) para o cálculo de  $\alpha$  e  $\beta$  (Astolpho, 2003). Os cálculos probabilísticos foram feitos para a temperatura mínima de 3 °C.

Para analisar o ajuste entre as frequências das temperaturas mínimas absolutas e as estimadas pelo método da “distribuição de valores extremos”, utilizou-se o método de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade, conforme Camargo et al. (1993).

Além do critério da “distribuição de valores extremos”, a ocorrência de geadas é influenciada por aspectos das paisagens locais para uma escala micro (local), envolvendo posições de baixada e voltadas para a face sul, além daquelas paisagens expostas aos corredores de ventos frios, aspectos não considerados em função da escala regional do trabalho.

## Risco de ocorrência de déficit hídrico

A região do estudo apresenta um regime pluvial regular ao longo do ano, com alto volume de chuvas (1.600 mm a 2.000 mm), sendo que, no estado do Paraná, só perde em volume para o Litoral (Wrege et al., 2011). Como consequência disso, o grau de risco representado pelo déficit hídrico na região muito dificilmente será a causa de sinistros agrícolas, principalmente de espécies perenes que possuem sistema radicular profundo, como é o caso do eucalipto. A possibilidade ainda existe se forem considerados sítios de solos muito rasos, principalmente aqueles com contato lítico do tipo não fragmentário (Bognola et al., 2020). A redução do crescimento das árvores de eucalipto nos anos mais secos é o dano mais comum de ocorrer.

O risco de déficit hídrico é estimado mediante balanço hídrico (Equação 4) que, por sua vez, é calculado pelo armazenamento resultante do balanço de entradas e saídas de água no solo. O cálculo do balanço hídrico foi realizado a cada decêndio do ano. Quando o armazenamento resultante é baixo, inferior a um limite crítico (valor dependente do tipo de solo), é assumido como risco, seguindo-se os cálculos conforme as expressões apresentadas a seguir:

$$\text{Balanço hídrico} = P - \text{ETP} + \text{ARM} \quad (\text{Equação 4})$$

em que:

$P$  = precipitação pluviométrica total (mm).

$\text{ETP}$  = evapotranspiração potencial (mm).

$\text{ARM}$  = armazenamento de água pelos solos (mm), de acordo com o balanço entre  $P$  e  $\text{ETP}$  e a capacidade de água disponível (CAD) de cada tipo de solo.

Do total de 39 estações meteorológicas, oito tinham dados completos (além de pluviosidade, temperatura do ar, umidade relativa do ar etc.) para o cálculo da  $\text{ETP}$  local, sendo que todas possuíam dados de pluviosidade. A  $\text{ETP}$  foi calculada para as oito estações conforme as Equações 5 a 8:

$$\text{ETP} = f \times 16 \times \left(10 \times \frac{\text{tmed}}{I}\right)^a \quad (\text{Equação 5})$$

$$f = [0,006 \times (-1) \times \text{latitude} + 1,01] \quad (\text{Equação 6})$$

$$I = \sum_{n=1}^{12} (\text{tmed}/5)^{1,514} \quad (\text{Equação 7})$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 0,01791 \times I + 0,492 \quad (\text{Equação 8})$$

em que:

$f$  = representa a função de ajuste do modelo para cada local, considerando-se que a equação é dada para calcular a  $\text{ETP}$  em um período de 12 horas de brilho solar, o que não ocorre em todas as regiões.

$I$  = é o índice anual de calor.

$a$  = é a função cúbica do índice anual de calor.

$\text{tmed}$  = é a temperatura média do ar nos meses de janeiro a dezembro, em °C.

$\sum_{n=1}^{12}$  = é o somatório das temperaturas médias do ar de janeiro a dezembro, em °C.

latitude: em graus decimais negativos (calibra os valores de  $\text{ETP}$  para cada local).

Os dados das 8 estações meteorológicas com dados completos e para as quais foram calculados os valores de  $\text{ETP}$  serviram para gerar equações de regressão linear para cada decêndio de cada estação meteorológica, conforme a Equação 9:

$$\text{ETP} = \text{constante} + \alpha \times \text{longitude} + \beta \times \text{latitude} + \chi \times \text{altitude} \quad (\text{Equação 9})$$

Resumindo, oito estações meteorológicas tiveram a ETP calculada para cada decêndio do ano (1-10/janeiro, 11-20/janeiro, ..., 21-31/dezembro), utilizando as Equações 5 a 8, e 31 estações apenas com dados pluviométricas tiveram a ETP estimada para cada decêndio do ano pela Equação 9, utilizando as coordenadas e a altitude de cada estação.

O déficit hídrico de cada local é formado pelo somatório dos valores negativos do balanço hídrico realizado. Além disso, em cada decêndio, foram verificados quantos dias apresentaram valores negativos dessa equação e, portanto, representam uma condição de risco, conforme a Equação 10:

$$\text{Risco de déficit hídrico (\%)} = (\text{dias com déficit hídrico} \div 10) \times 100 \quad (\text{Equação 10})$$

Assim, para cada decêndio, foi calculado o risco de ocorrência de déficit hídrico (%) para valores de 15 mm, 70 mm, 100 mm, 150 mm e 180 mm de CAD e, finalmente, foram calculadas as médias de risco para todos os decêndios do ano (1-10/01, 11-20/01; 21-31/01; 01-10/02 e assim por diante). Esses valores de CAD foram escolhidos de acordo com os tipos de solos predominantes na região.

Em sequência foram feitos os mapeamentos do risco de déficit hídrico para todos os decêndios do ano em função dos valores de CAD já citados, por meio da técnica de *krigagem* ordinária. Foram também, calculadas as médias para as estações do ano e feitos os mapas correspondentes, visando simplificar sua apresentação e a discussão dos resultados. Neste caso, os mapas foram feitos para dois valores de CAD, de 15 mm e de 70 mm, escolhidos por representarem a realidade de boa parte dos solos da área de estudo. O primeiro é o mais restritivo e de maior risco, por representar os solos com menor CAD e o segundo representa uma condição mais comum da Bacia, de acordo com os tipos de solos predominantes.

## Procedimentos para o mapeamento das variáveis climáticas

Os dados climáticos de temperatura e de precipitação pluvial foram organizados e analisados quanto aos erros, completude e consistência. Foram corrigidos e preparados em planilha eletrônica, para cálculo dos riscos e formação de camadas em sistema de informações geográficas (SIG).

A altitude, a latitude e a continentalidade são fatores condicionantes do clima de um local e podem ser utilizados para gerar modelos espaciais de variáveis climáticas. No presente trabalho eles permitiram a elaboração das camadas, em SIG, de temperatura e risco de geada por meio de regressões lineares múltiplas, estabelecendo uma relação direta entre essas duas variáveis em função da altitude, latitude e longitude (representando a continentalidade) (Tabelas 2 e 3). Para o mapeamento da altitude (m) em formato *raster* foi utilizado um modelo numérico de superfície realizado a partir de cartas topográficas com curvas de nível de 10 m em 10 m da região. O plano de coordenadas geográficas (altitude e latitude) também foi convertido para o formato *raster*, com os valores em graus decimais. Assim, as regressões lineares múltiplas definiram as variáveis dependentes temperatura e risco de geada em função das variáveis independentes altitude, latitude e longitude, conforme o modelo da Equação 11:

$$Y = a + b \times \text{altitude} + c \times \text{latitude} + d \times \text{longitude} \quad (\text{Equação 11})$$

em que:

Y = temperatura do ar (°C) ou risco de geada (%).

a = constante.

b = coeficiente da altitude (m).

c = coeficiente da latitude (graus decimais).

d = coeficiente da longitude (graus decimais).

Na função calculadora “raster calculator” do programa ArcGIS foram inseridas as equações de regressão linear conforme o modelo da Equação 11, sendo obtidos os planos de informação de temperatura e risco de geada como função da altitude, latitude e longitude. Os coeficientes das equações de regressão referentes às temperaturas (média, máxima e mínima) e à geada são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 2 e 3 (Wrege et al., 2016).

**Tabela 2.** Coeficientes das equações de regressão das temperaturas média, média das máximas e média das mínimas do ar (°C) em um ano, no estado do Paraná, para o período base de 1981-2010.

Coeficiente	Temperatura (°C)		
	Média	Média das máximas	Média das mínimas
Constante	18,7254	26,5170	20,8696
Latitude (graus decimais)	0,6836	0,8212	0,57180
Longitude (graus decimais)	-0,4024	-0,4384	-0,2275
Altitude (m)	-0,0045	-0,0043	-0,0053
r <sup>2</sup>	0,82	0,89	0,82

Fonte: Wrege et al. (2016).

**Tabela 3.** Coeficientes das equações de regressão do risco de geada (%) em maio, junho, julho e agosto no estado do Paraná, para o período base de 1976-2015.

Coeficiente	Risco de geada			
	Maior	Junho	Julho	Agosto
Constante	-2,558628	-3,224801	-1,954851	-1,982653
latitude	-0,098275	-0,113316	-0,099093	-0,107578
longitude	-0,001297	-0,009141	0,008907	0,015524
altitude	0,000554	0,000546	0,000554	0,000510
r <sup>2</sup>	0,81	0,80	0,72	0,64

Fonte: Wrege et al. (2018a).

No caso do risco de déficit hídrico, foram gerados dois índices estacionais, um correspondente ao período de maior risco, mas também de repouso da planta, no inverno, e outro correspondente ao período de maior crescimento, compreendendo primavera, verão e outono. Os dois índices foram calculados pelo somatório dos riscos de déficit hídrico dos decêndios de cada um destes períodos.

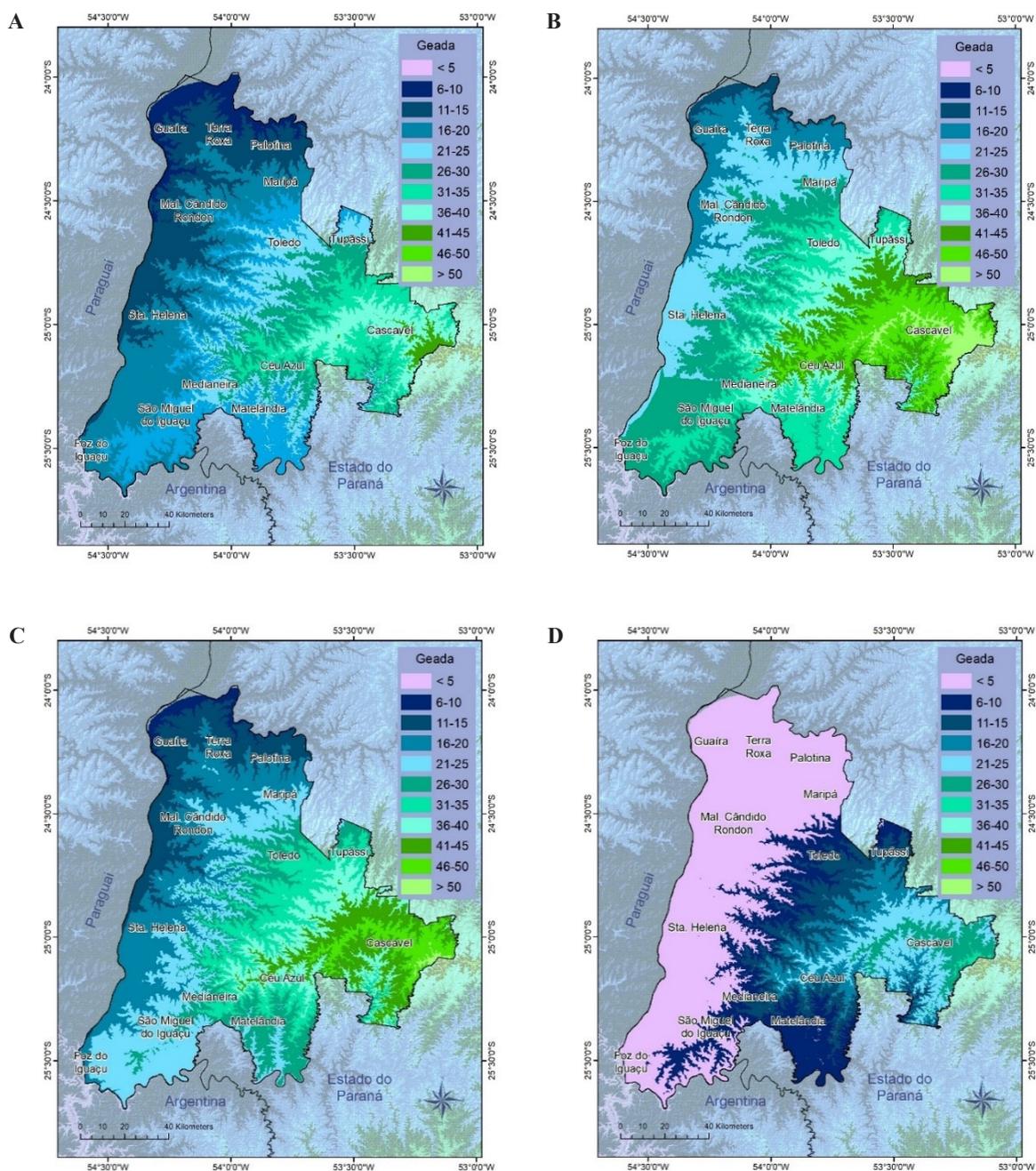
Na última etapa, foram gerados os zoneamentos agrícolas de três espécies de eucalipto (*E. grandis*, o híbrido “urograndis” e *E. benthamii*), que são compostos pela combinação dos riscos de valores

extremos de temperatura (geada e calor excessivo) e de déficit hídrico. O fator risco de geada sobrepõe os outros dois fatores, pelo potencial que apresenta de causar a morte de plantas no campo pela sua simples ocorrência, por vezes atingindo árvores já estabelecidas (plantios com mais de 2 anos). O déficit hídrico, assim como as temperaturas altas, restringe o crescimento das plantas, mas dificilmente constitui um fator causador de sua morte. A geada pode causar a morte das mudas no campo e, por este motivo, foi usada como uma camada-base, gerada em SIG, para a classificação das zonas de risco. Foram definidas três classes de zonas para *E. grandis*, o híbrido “urograndis” e *E. benthamii*, conforme os seguintes critérios: risco de geada < 20% (risco baixo); risco de geada entre 21% e 40% (risco intermediário) e risco de geada > 40% (risco alto). Os riscos de geada, déficit hídrico e temperaturas altas foram utilizados para definir as melhores épocas do plantio de mudas no campo (janela de tempo favorável), conforme a espécie de eucalipto selecionada.

## Resultados

### Risco de geada

O risco de geada na BP3 varia entre 5% e 50% no perímetro do estudo (Figura 2), sendo menor que 20% na sua maior parte e, portanto, permitindo o cultivo de espécies de eucalipto pouco tolerantes à geada. As áreas com risco de geada menor que 20% se concentram no noroeste da região, principalmente na divisa com a Bacia do Piquiri. Nessas áreas com menor risco de geada, pode-se utilizar sem restrições materiais comerciais de *E. grandis* e do híbrido “urograndis”. Áreas com risco de geada maior que 20% se concentram no leste da região, em paisagens com altitudes maiores que 500-600 metros, principalmente no município de Cascavel. Nessas áreas, em função do maior risco de geada, deve-se dar preferência para o plantio de *E. benthamii*.



**Figura 2.** Risco de ocorrência de geada nos meses de maio (A), junho (B), julho (C) e agosto (D), nos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina.

Fonte: Wrege et al. (2016).

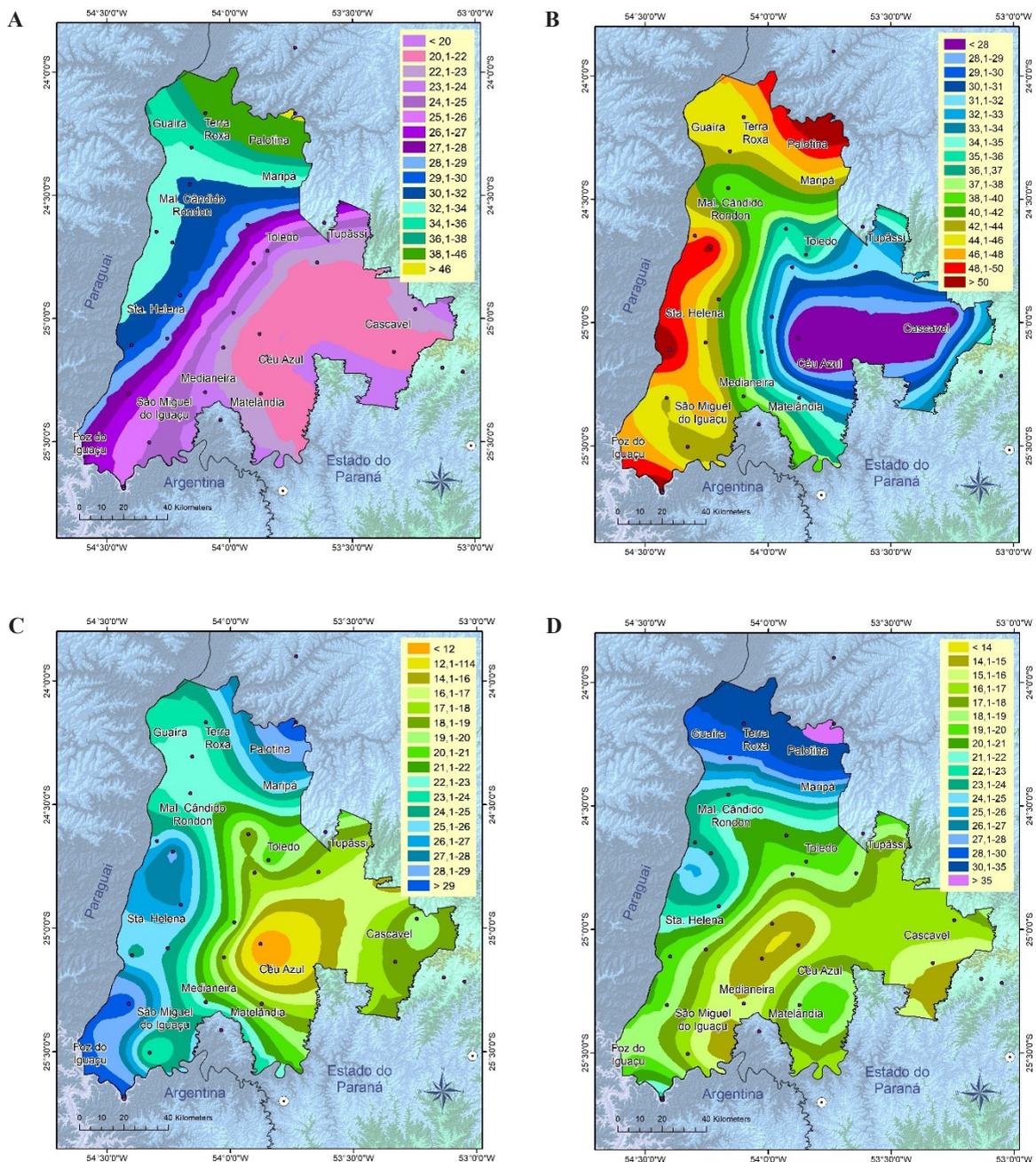
## Déficit hídrico

O déficit hídrico foi simulado para dois valores de CAD, um extremamente baixo, de 15 mm, uma realidade de solos rasos, e uma CAD de 70 mm para solos mais profundos.

Solos rasos somam 1.578,1 km<sup>2</sup> ou aproximadamente 10% das terras da região (Bognola et al., 2020). Esses solos, nas condições de clima da área de estudo e representados pela CAD de 15 mm, apresentam risco de déficit hídrico variando entre 12% e 50% (Figura 3), sendo menor que 20% em praticamente metade da região, o que em boa parte coincide com áreas onde o risco de geada é maior (no leste da região) e onde é possível plantar materiais de eucalipto tolerantes à geada. Na outra metade da região, onde o risco de déficit hídrico é maior que 20% para uma CAD de 15 mm, o risco de geada é menor e é possível plantar materiais de eucalipto mais produtivos, principalmente no norte da área, na divisa com a Bacia do Piquiri.

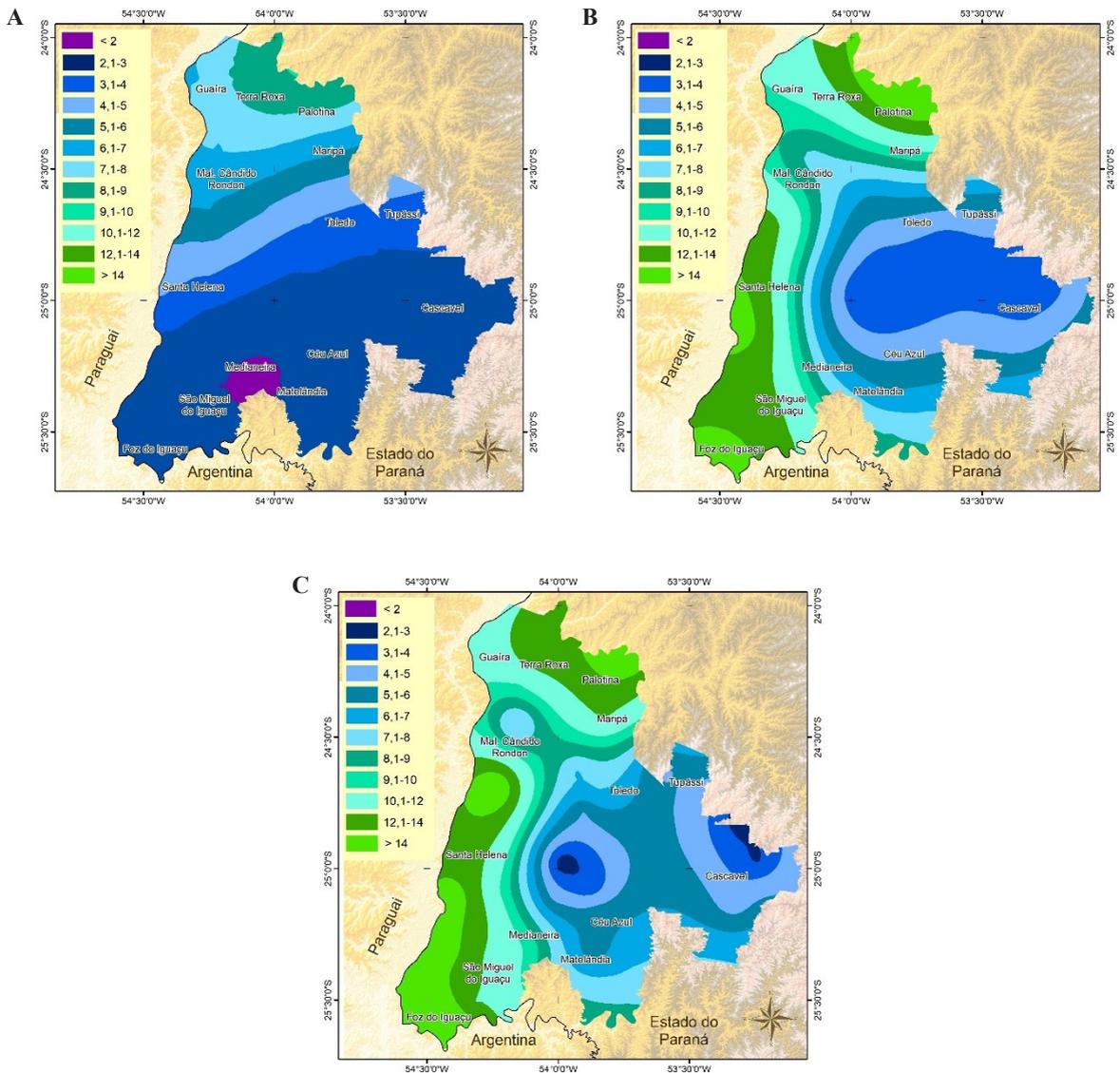
Para a CAD de 70 mm, que representa a realidade da maior parte dos solos da região, o risco máximo de déficit hídrico é de 21% (Figuras 4 e 5). Esse baixo nível de déficit hídrico garante, para anos normais, uma ótima oferta hídrica para o cultivo do eucalipto.

O risco de déficit hídrico na região pode, para algumas situações (principalmente para solos de CAD mais baixas), prejudicar a produtividade do eucalipto, mas não chega a constituir causa de sinistro agrícola.

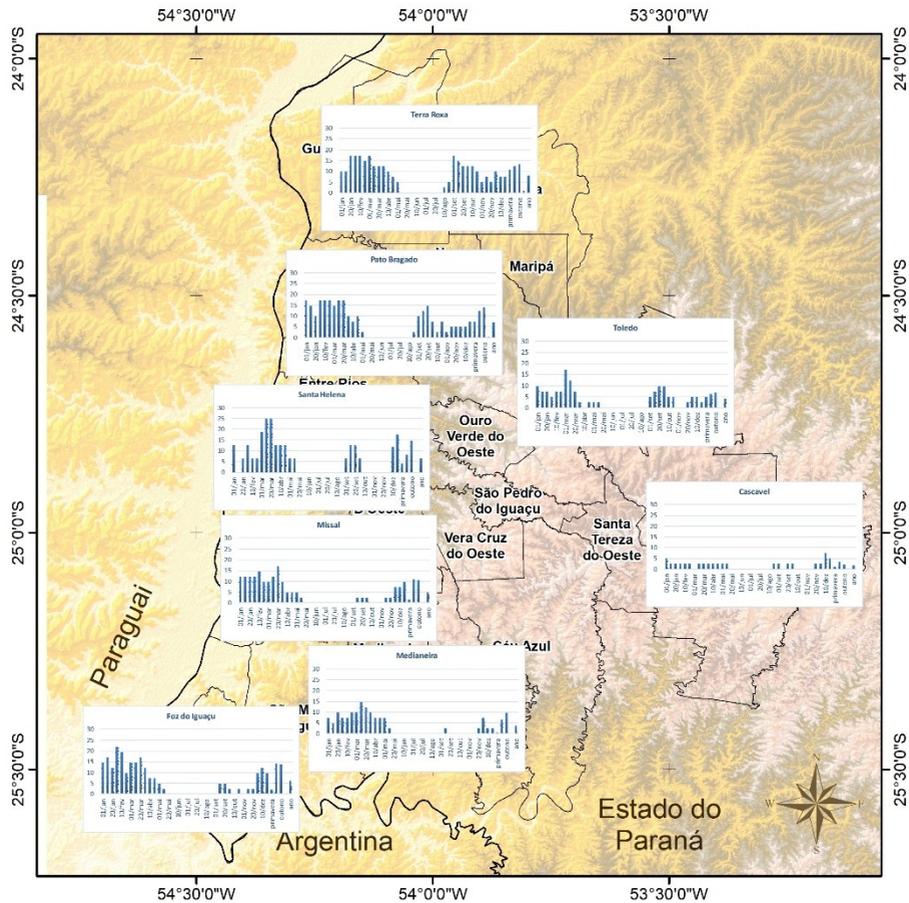


**Figura 3.** Risco de ocorrência de déficit hídrico para eucalipto nos municípios da da Bacia do Paraná 3 e Palotina, utilizando uma capacidade de armazenamento de água no solo de 15 mm – primavera (A), verão (B), outono (C) e inverno (D).

Municípios formadores da Bacia do Paraná 3 e Palotina:  
estudos de clima, solos e aptidão das terras para o cultivo do eucalipto



**Figura 4.** Risco de ocorrência de déficit hídrico para eucalipto nos municípios da da Bacia do Paraná 3 e Palotina, utilizando uma capacidade de armazenamento de água no solo de 70 mm – primavera (A), verão (B) e outono (C). O risco é inexistente no inverno.

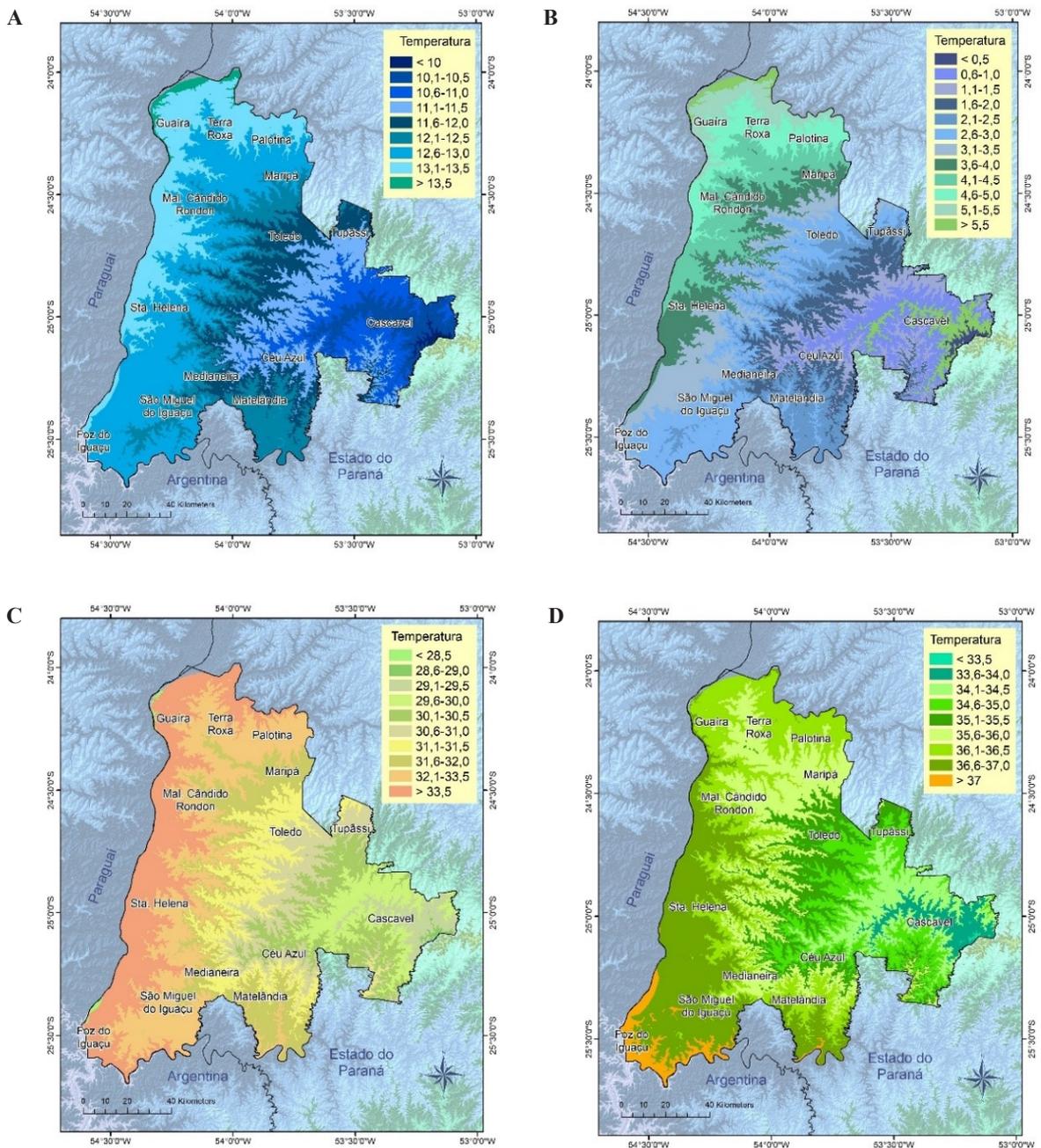


**Figura 5.** Mapa pictográfico da tendência de risco de déficit hídrico para eucalipto ao longo do ano, nos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina, utilizando uma capacidade de armazenamento de água no solo de 70 mm.

## Temperatura

As temperaturas da área de estudo (Figura 6), de modo geral, são altas, com as máximas e as máximas absolutas do mês mais quente do ano (janeiro) oscilando, respectivamente, entre 28,5 °C - 33,5 °C e 33,5 °C - 37 °C. Muitos produtores realizam o plantio do eucalipto fora desse período de altas temperaturas, quando mesmo pequenos veranicos podem trazer a morte de mudas no campo e gerar operações de replantio. Além disso, a antecipação do plantio para o período entre maio e agosto reduz os danos por “cozimento” das mudas no campo, típico efeito de dias muito quentes. Os períodos de temperaturas mais amenas acabam gerando maior disponibilidade de água no solo (Figuras 3, 4 e 5). Essa prática, do plantio avançar no inverno, é mais segura no norte e no oeste da área de estudo, onde o risco de geada é baixo (menor que 20% em julho e menor que 5% em agosto). As temperaturas mínima e mínima absoluta são altas, respectivamente entre 10 °C - 13,5 °C e 0,5 °C - 5,5 °C, todas superiores a 0 °C.

Municípios formadores da Bacia do Paraná 3 e Palotina:  
estudos de clima, solos e aptidão das terras para o cultivo do eucalipto



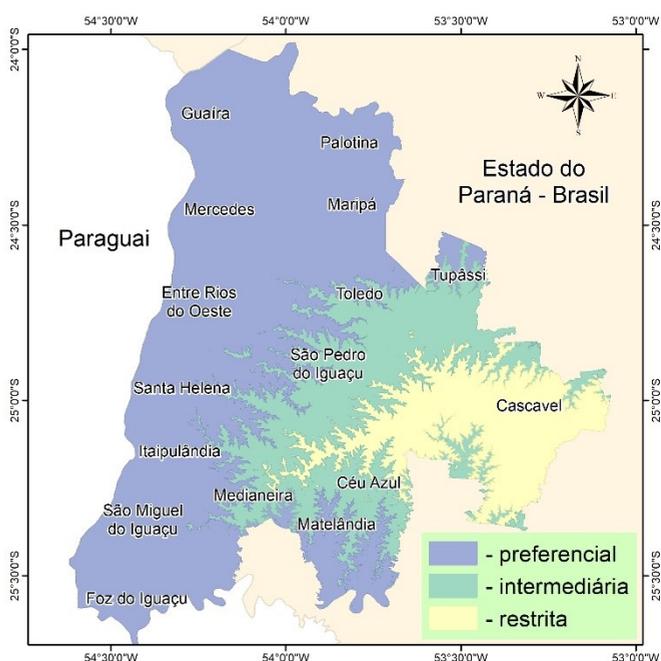
**Figura 6.** Classes de temperatura mínima (A) e mínima absoluta (B) para julho (mês mais frio do ano); e máxima (C) e máxima absoluta (D) para janeiro (mês mais quente do ano), nos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina.

Fonte: Wrege et al. (2018a).

Nas zonas mais frias, principalmente nas terras situadas na parte leste da região, com altitudes maiores que 500 m, o maior risco de geada ( $> 20\%$  em julho, em torno de  $20\%$  em agosto e  $< 20\%$  a partir de setembro) exige que o plantio do eucalipto ocorra a partir de setembro. Além disso, essas terras apresentam um verão mais ameno (temperatura máxima menor que  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e valores de déficit hídrico baixos durante todo o ano, inclusive no verão (menor que  $20\%$  na maior parte da área, não passando de  $30\%$ ). Se o maior risco de geada já era uma razão forte para se evitar o plantio em períodos de temperaturas mais amenas, as justificativas que existiam para o plantio “antecipado” (veranicos e “cozimento” de mudas no campo) também desaparecem.

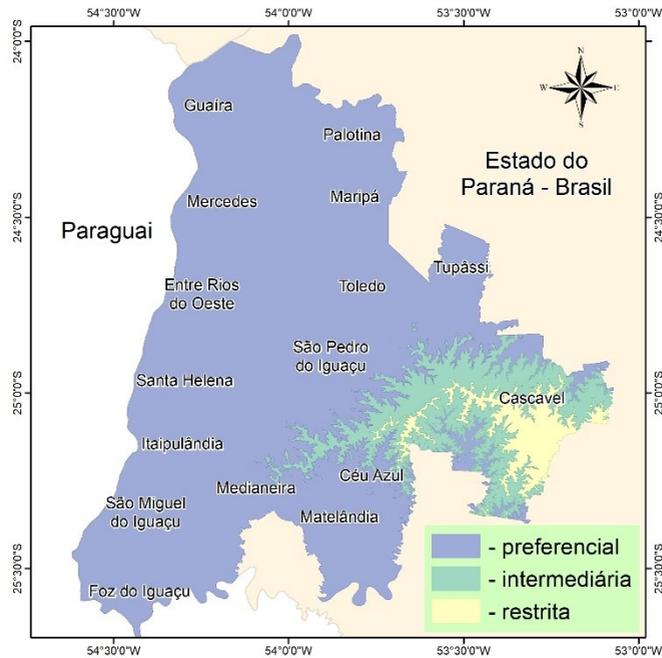
## Zoneamento agrícola

A elevada produção de grãos do oeste do Paraná exige um forte investimento no plantio do eucalipto para fins energéticos, visando atender a demanda agroindustrial da região. Como a região não tem tradição na produção de eucalipto, o zoneamento agrícola de riscos climáticos é uma ferramenta fundamental para auxiliar o planejamento das atividades de plantio, indicando quais são as áreas de menor risco climático para o plantio comercial das espécies de eucalipto indicadas para a região. As Figuras 7, 8 e 9 apresentam os zoneamentos agrícolas de *E. grandis*, o híbrido “urograndis” e *E. benthamii*, respectivamente, nos municípios da BP3 e Palotina. Os riscos referem-se à geada, ao déficit hídrico e às temperaturas elevadas na primavera-verão. Os resultados indicam que agosto é o melhor mês para o plantio de mudas no campo, no caso de *E. grandis* e o híbrido “urograndis”. Para *E. benthamii* o plantio pode ser realizado a partir de setembro, quando diminuem os riscos de geada e, ainda, existem condições hídricas e temperaturas amenas favoráveis ao desenvolvimento das mudas no campo.

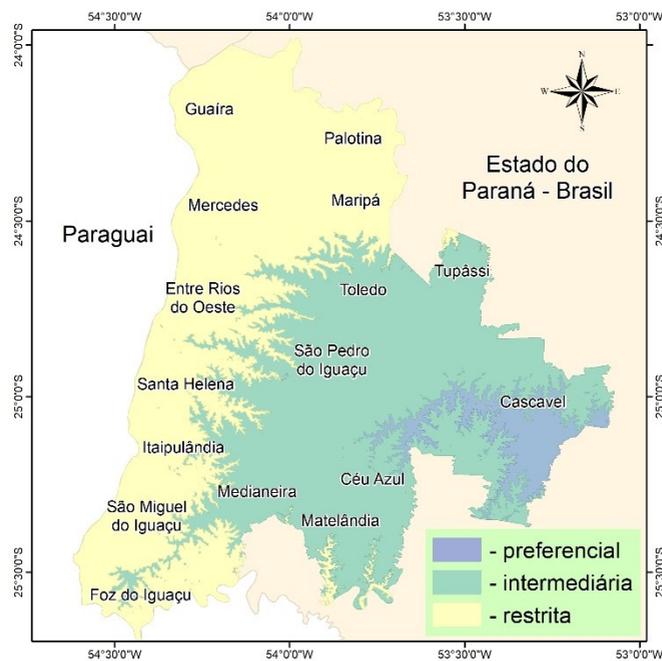


**Figura 7.** Zoneamento agrícola para o plantio comercial de *Eucalyptus grandis* nos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina.

Municípios formadores da Bacia do Paraná 3 e Palotina:  
estudos de clima, solos e aptidão das terras para o cultivo do eucalipto



**Figura 8.** Zoneamento agrícola para o plantio comercial do híbrido "urograndis" nos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina.



**Figura 9.** Zoneamento agrícola para plantio comercial de *Eucalyptus benthamii* nos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina.

Para a região, sem tradição no plantio do eucalipto, é importante o teste de novos materiais comerciais, considerando a demanda do mercado local, que é a produção do eucalipto para fins energéticos. Além desse mercado já estabelecido, pode-se vislumbrar que o custo do frete para trazer a madeira de outras regiões torne competitivo o plantio do eucalipto para outros usos, tais como para a construção de cercas e galpões de propriedades rurais.

A Tabela 4 mostra grandes extensões de áreas favoráveis (com baixo risco climático) ao plantio de eucalipto nos municípios da BP3 e Palotina. O híbrido “urograndis” e *E. grandis* têm as maiores áreas com baixo risco, com 1.251.591 ha e 902.950 ha, respectivamente. *E. benthamii* tem uma área bem menor na classe favorável, de pouco mais de 82.298 hectares. Embora apresente produtividade relativamente menor, *E. benthamii* consegue ser cultivada nas áreas que são inaptas, por conta do risco de geada para *E. grandis* e o híbrido “urograndis”.

**Tabela 4.** Quantitativos de área (ha) das classes de risco para o cultivo comercial do eucalipto nos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina. Classe Favorável (risco climático < 20%; Intermediária (risco climático de 21% a 40%); e Desfavorável (risco climático > 40%).

Classe de risco climático	Espécie		
	<i>E. grandis</i>	Híbrido “urograndis”	<i>E. benthamii</i>
	..... ha .....		
Favorável	902.950,27	1.251.591,84	82.298,70
Intermediário	567.803,11	158.868,71	686.157,27
Desfavorável	219.181,47	60.305,91	702.342,55
Totais	1.689.934,85	1.470.766,46	1.470.798,52

## Considerações finais

As áreas do norte e noroeste dos municípios da BP3 e Palotina permitem a antecipação do plantio do eucalipto para os meses de abril a agosto (principalmente agosto), considerando o pequeno risco de geada. A vantagem deste procedimento é o de proporcionar maior tempo para o estabelecimento das plantas de eucalipto no campo, antes do início da fase de crescimento mais acelerado, a partir da primavera. Assim, caso ocorram veranicos a partir de setembro (quando as taxas de evapotranspiração já estão mais altas), as plantas já apresentam sistemas radiculares mais robustos para suportar períodos de déficits hídricos e de temperaturas elevadas.

Áreas dos municípios da BP3 e Palotina com maior risco de geada, principalmente aquelas com altitudes maiores do que 500 m, não permitem a antecipação do plantio, que idealmente deve ser feito a partir de setembro. Nestas regiões (Cascavel e municípios vizinhos) a ocorrência de veranicos é mais rara, compensando em parte a janela de plantio mais estreita.

Ao mosaico de condições climáticas dos municípios da BP3 e Palotina definidos aqui, incluindo o zoneamento de três espécies de eucalipto, ainda devem ser consideradas as diferenças de solos e das paisagens locais. Para toda essa variação de condições existem vários materiais comerciais de eucalipto,

alguns já testados e muitos ainda por serem testados. Estes testes de novos materiais são essenciais para o aperfeiçoamento da eucaliptocultura na região.

## Referências

- ASSAD, E. D.; MACEDO, M. A.; CÂMARA, G.; OLIVEIRA, J. C. de; BARBOSA, A. M. Avaliação de métodos para espacialização de índices de necessidade hídrica das culturas e sua aplicação em zoneamento agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 581-587, 2001.
- ASTOLPHO, F. **Estimativa e mapeamento da probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas do ar adversas à agricultura paulista**. 2003. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas.
- BOGNOLA, I. A.; GOMES, J. B. V.; HOLLER, W. A.; CURCIO, G. R.; RAUEN, M. J.; CARVALHO, A. P.; PÖTTER, R. O.; CARDOSO, A. **Atualização do levantamento de reconhecimento de solos dos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina**. Brasília, DF: Embrapa, 2020.
- CAMARGO, M. B. P.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; ALFONSI, R. R.; ORTOLANI, A. A.; BRUNINI, O. Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas mensais e anual no estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 52, n. 2, p. 161-168, 1993.
- ELDRIDGE, K. G.; DAVIDSON, J.; HARWOOD, C. E.; WYK, G. van. **Eucalypt Domestication and Breeding**. Oxford: Clarendon Press, 1994. 288 p.
- FRITZSONS, E.; WREGE, M. S.; MANTOVANI, L. E. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v18i0.39471>.
- GOMES, J. B. V.; WREGE, M. S.; HOLLER, W. A.; BOGNOLA, I. A. Características gerais dos municípios da Bacia do Paraná 3 e Palotina. In: GOMES, J. B. V.; WREGE, M. S. (ed.). **Municípios formadores da Bacia do Paraná 3 e Palotina: estudos de clima, solos e aptidão das terras para o cultivo do eucalipto**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 11-16.
- GONÇALVES, S. L.; FARIA, J. R. B.; SIBALDELLI, R. N. R. **Eventos climáticos adversos e seus impactos para as culturas de soja, milho e trigo no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 48 p.
- GÖPFERT, H.; ROSSETTI, L. A.; SOUZA, J. **Eventos generalizados e seguridade agrícola**. Brasília, DF: IPEA, 1993. 65 p.
- GRODZKI, L.; CARAMORI, P. H.; BOOTSMA, A.; OLIVEIRA, D.; GOMES, J. Risco de ocorrência de geada no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 1, p. 93-99, 1996.
- HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S. **Zoneamento climático de *Eucalyptus grandis* para a região Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. (Embrapa Florestas. Documentos, 209). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/39479/1/Doc209.pdf>.
- IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. Florestas plantadas. In: IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2019**. Brasília, DF, 2020. p. 33-42. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2020.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: IBPT, 1968. 350 p.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. p. 129-132.
- THOM, H. C. S. **Some methods of climatological analysis**. Geneva: World Meteorological Organization, 1966. 53 p. (Technical note, 81).

- WREGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; FRITZSONS, E.; PARTALA, A.; CHRISTENSEN, G. L. Agroclimatic zoning for eucalyptus in the state of Paraná and the new scenarios defined by global climate change. **Geama**, v. 3, p. 216-228, 2017.
- WREGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; GARRASTAZU, M. C.; FRITZSONS, E.; PARTALA, A.; CHRISTENSEN, G. L. Plantios florestais com Pinus no estado do Paraná e os novos cenários definidos pelas mudanças climáticas globais. **Revista do Instituto Florestal**, v. 28, p. 159-175, 2016.
- WREGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; NITSCHKE, P.; FRITZSONS, E.; BOGNOLA, I. A.; SOARES, M. T. S.; GOMES, J. B. V.; HOLLER, W. A. **Cartas climáticas dos municípios da Bacia do Paraná 3**. Colombo: Embrapa Florestas, 2018a. (Embrapa Florestas. Documentos, 314). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/176417/1/Livro-Doc-314-1536-final-corrigido-7mai18.pdf>.
- WREGE, M. S.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; PANTANO, A. P.; 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, 2018b.
- WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JR, C.; ALMEIDA, I. R. de. **Atlas Climático da Região Sul do Brasil**: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011, v. 1, 332 p.

