



CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DAS COLEÇÕES DE GERMOPLASMA DE ERVA-MATE NO BRASIL COMO SUBSÍDIO AO DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAS DE USO, CONSERVAÇÃO E MELHORAMENTO GENÉTICO

ARTIGO ORIGINAL

WREGE, Marcos Silveira¹, SOUSA, Valderês Aparecida de², AGUIAR, Ananda Virginia de³, SOARES, Márcia Toffani Simão⁴, FRITZSONS, Elenice⁵

WREGE, Marcos Silveira. Et al. **Caracterização climática das coleções de germoplasma de erva-mate no Brasil como subsídio ao desenvolvimento de programas de uso, conservação e melhoramento genético.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 07, Vol. 03, pp. 69-96. Julho de 2022. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/agronomia/caracterizacao-climatica>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/agronomia/caracterizacao-climatica

RESUMO

A *Ilex paraguariensis* St. Hill é uma espécie arbórea nativa do Brasil, do Nordeste da Argentina e do Paraguai, que é utilizada principalmente no mate, bebida preparada pela infusão das folhas. Sendo assim, a espécie tem despertado interesse pelo potencial de ampliação de uso, capacidade nutracêutica e pela presença de compostos bioativos de uso farmacológico e cosmético. Nesse aspecto, a erva-mate distribui-se por uma ampla área com características climáticas distintas. Contudo, atualmente, os ervais têm entrado em declínio de produção e uma das demandas está na necessidade de desenvolver um efetivo programa de melhoramento genético para a espécie. Posto isso, para fundamentar esse artigo, adotou-se como questão norteadora: quais são as diferentes características climáticas da área de distribuição da erva-mate no Brasil? Tendo, portanto, como objetivo caracterizar as diferentes áreas de distribuição natural da espécie para dar subsídios aos programas de uso, conservação e melhoramento genético da espécie. A classificação destes ambientes permite identificar os diferentes materiais e facilitar a identificação das regiões mais adequadas para a coleta de materiais para uso nos programas de conservação ou melhoramento genético. Logo, para este fim, utilizou-se a técnica estatística de análise de agrupamento, onde, ao invés do uso de dendrogramas, os grupos gerados foram apresentados em camadas geradas em SIG, representados por pontos equidistantes a cada 0,05° de latitude e de longitude sobre a região de distribuição natural da



espécie. De acordo com as análises, foram obtidos quatro grupos, contendo as diferentes características climáticas na área da erva-mate. Diante disso, concluiu-se que as características climáticas na área de distribuição natural da erva-mate apresentaram algumas diferenças, o que evidenciou a plasticidade e a capacidade de adaptação desta espécie, sendo, então, necessário que as futuras coletas sejam feitas nas regiões representadas pelos quatro grupos apresentados nesta pesquisa para representar todas as condições de clima na zona de distribuição natural da espécie e, desta forma, garantir o uso e a conservação da espécie e a disponibilidade de material para uso em programas avançados de melhoramento genético da espécie.

Palavras-chave: Conservação genética, Mudanças climáticas globais, Predição de ocorrência, Modelos de nicho.

1. INTRODUÇÃO

A *Ilex paraguariensis* St. Hill, conhecida como “erva-mate” ou “yerba mate”, é nativa da região Centro-Sul do Brasil, do Nordeste da Argentina e do Paraguai, sendo amplamente encontrada junto à *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze., nos estratos inferior e médio da “Floresta com Araucária” (ou “Floresta Ombrófila Mista” - FOM). Sendo assim, suas folhas secas são utilizadas para a produção de chás e do “chimarrão”, bebida tradicional na América do Sul, principalmente na Argentina, Paraguai, Uruguai, Chile, Bolívia e Sul do Brasil, onde faz parte da tradição e cultura da região. A espécie tem grande potencial para diversos usos, com alto valor nutracêutico, e suas folhas concentram compostos bioativos de interesse farmacológico e cosmético, podendo ser adicionada em alimentos e em produtos medicinais, devido às propriedades bactericida e antioxidante, e ser utilizada em projetos de reflorestamentos, em ornamentação de jardins, fertilizantes naturais, entre outros (TETTO, 2008).

Além disso, tem grande importância econômica no Sul do Brasil, respondendo por 63,4% da produção global, o que torna o Brasil o maior produtor mundial de erva-mate (RESENDE, 2001). Todavia, embora conte com um mercado consistente de produção e comercialização no Brasil, na Argentina e no Paraguai, a produtividade dos ervais vem caindo em consequência da falta de qualidade das mudas produzidas, problemas fitossanitários, manejo inadequado, falta de um programa de melhoramento genético mais efetivo (GORENSTEIN *et al.*, 2007), entre outros.



Diante disso, os programas de melhoramento genético existentes, tanto em nível nacional como internacional, têm como finalidade principal o aumento da produção de biomassa foliar, considerando a ampla variabilidade genética existente entre populações de erva-mate. Para isto, é evidente a necessidade de estudos climáticos visando a identificação de diferentes sítios e o auxílio no planejamento de ensaios experimentais de melhoramento e de plantios comerciais.

Posto isso, este artigo oferece subsídios para o direcionamento das coletas de erva-mate no campo, visando auxiliar os programas avançados de uso, conservação e melhoramento genético, identificando o ambiente onde estão presentes as diversas populações da espécie dispersas por várias regiões do país, com características climáticas distintas e que, portanto, são capazes de atender aos mais diversos objetivos destes programas.

A distribuição natural da erva-mate tem estreita relação com o clima, apresentando uma faixa de temperaturas e de condições hídricas que oferecem condições favoráveis de sobrevivência à espécie. Essa faixa, que representa sua área de ocorrência, é de aproximadamente 540.000 km², situada na América do Sul entre as latitudes 22° S e 30° S, longitudes 48° 30' W e 56° 10' W e altitudes entre 500 e 1.500 metros, segundo Oliveira e Rotta (1985), Resende *et al.* (2000) e Groppo (2010). Assim sendo sua distribuição natural abrange várias formações ecológicas, desde a floresta tropical até o Cerrado, e confere à espécie alta plasticidade de adaptação às condições ambientais. Nestas fitofisionomias, a densidade populacional é muito variável, porém, a área mais favorável para a espécie encontra-se na Floresta Ombrófila Mista, de clima subtropical, onde atinge-se uma densidade populacional superior a 100 indivíduos/hectare (CARPANEZZI, 1995).

Entretanto, destaca-se que a conservação genética da espécie no Brasil tem preocupado os pesquisadores, visto que é típica do sub-bosque da Floresta Ombrófila Mista, formação florestal do bioma Mata Atlântica, que se encontra ameaçado devido às ações antrópicas, entre as quais mencionam-se: a mudança do uso da terra, envolvendo a substituição de floresta por agricultura; e as mudanças climáticas



globais, o que pode levar ao aumento da erosão genética de suas populações (SEOANE *et al.*, 2019).

Assim sendo, este trabalho buscou investigar: quais são as diferentes características climáticas da área de distribuição da erva-mate no Brasil? Tendo, portanto, como objetivo caracterizar as diferentes áreas de distribuição natural da espécie para dar subsídios aos programas de uso, conservação e melhoramento genético da espécie, incluindo a caracterização climática dos ambientes onde foram obtidas as amostras de material genético para a composição de bancos ativos de germoplasma (BAGs), pólen ou DNA.

Nesse contexto, a classificação dos grupos permite identificar áreas ideais para a coleta de amostras e de sementes, visando a conservação da espécie, e possibilita usar as informações geradas em benefício de programas de melhoramento genético, identificando para cada região os materiais existentes e os limites climáticos onde se desenvolvem. Assim, por exemplo, se para um programa de melhoramento genético se busca um material com maior tolerância ao calor e que seja mais resistente às estiagens, é possível escolher em qual região, entre os quatro grupos, se deve fazer a coleta deste material.

Além disto, com as informações obtidas neste trabalho, será possível avaliar se as amostragens de erva-mate feitas até o momento para coleção de germoplasma foram representativas de toda a área de distribuição natural da espécie, representando todas as diferenças climáticas existentes na área de seu domínio; avaliar se os grupos identificados pela análise de agrupamento podem ser usados de forma independente, visando a coleta de material genético para conservação *ex situ* (como por exemplo, coleção de germoplasma); e indicar procedências mais adequadas para o estabelecimento em cada região, conforme os grupos.



2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ABRANGÊNCIA TERRITORIAL DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreendeu as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Os pontos georreferenciados contendo as coordenadas geográficas das áreas de presença de erva-mate no Brasil foram inseridos no software ArcMap 10.1 para as análises espaciais.

2.2 DADOS DE OCORRÊNCIA DA ESPÉCIE

Foi analisada a completude e a consistência da série de dados, verificando os pontos de presença da erva-mate. Pontos considerados “outliers” foram eliminados, uma vez que não representavam com fidelidade a área de ocorrência natural da espécie. Sendo assim, os 933 pontos de presença de erva-mate no Brasil, representando a área de domínio da espécie, foram obtidos de diferentes fontes, utilizando inclusive dados coletados pelo Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (CNPQ) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Logo, para esta finalidade, foram feitas expedições às áreas conservadas (FLONAs) dos municípios de Machadinho (RS), Passo Fundo (RS), São Francisco de Paula (RS), Pelotas-Canguçu-Santana da Boa Vista (RS), Itatiaia (RJ), Quatro Barras (PR) e Laguna Carapã (MS).

Dessa forma, nos mesmos locais em que foram obtidas as coordenadas, foram coletadas amostras de tecido vegetal (câmbio) para realizar a extração do DNA e compor um banco de DNA da espécie, contando com amostras de diferentes procedências e progênes. Além destes pontos, foram obtidos pontos de presença da espécie de fontes secundárias. Assim, os pontos de presença da espécie obtidos na literatura tiveram como fonte instituições, a saber: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ - USP), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Universidade Federal do Paraná (UFPR) e SpeciesLink, base de dados de coleções biológicas do Centro de Referência em Informações Ambientais (CRIA) (CRIA-BDT, 1999). SpeciesLink é um sistema de informação de espécies que identifica a fauna, flora e



microbiota e que reúne informações históricas de diversas fontes, principalmente de herbários brasileiros.

Nesse contexto, os pontos de presença georreferenciados foram reunidos em uma planilha eletrônica para processar o modelo de distribuição da espécie de acordo com os grupos formados na análise de agrupamento (também conhecida como análise de cluster).

2.3 MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE

Para modelar a distribuição da espécie por grupos formados pela análise de agrupamento, foi utilizado o algoritmo “Envelope Score”. O modelo baseia-se nos valores mínimos e máximos de cada variável ambiental para definir os envelopes bioclimáticos e, com isso, criar um mapa de distribuição da espécie. A probabilidade de ocorrência da espécie é determinada pelo número de variáveis ambientais que se enquadram dentro do intervalo entre os valores máximos e mínimos. Sendo assim, os dados dos conjuntos de pontos, onde se sabe que a espécie está presente, e do conjunto de camadas, contendo dados ambientais (clima, solo e condições geográficas), foram usados, representando os parâmetros que podem limitar a capacidade de sobrevivência da espécie. Diante disso, ressalta-se que este algoritmo foi escolhido, pois representa melhor as condições naturais para a ocorrência de erva-mate (modelo com melhor Área Sob Curva - AUC). Dessa forma, a representação esquemática é apresentada na Figura 1.

Figura 1. Representação da metodologia usada na caracterização de agrupamentos de populações de erva-mate



Fonte: Marcos Silveira Wrege

A Figura 1, portanto, ilustra a metodologia utilizada no trabalho, o que inclui a obtenção dos dados em campo e em fontes secundárias sobre a presença da espécie; a geração e o cruzamento dos dados obtidos com as camadas de clima; a análise do agrupamento propriamente dito; e a geração das camadas resultantes de todo esse processo para a classificação das zonas de ocorrência da espécie por grupos com características climáticas distintas.

Nesse aspecto, as análises foram executadas no programa openModeller (MUÑOZ *et al.*, 2009) e as camadas resultantes foram organizadas e editadas no programa ArcMap 10.1.

2.4 PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

A análise de agrupamento foi processada com os dados de clima, obtidos de camadas no formato “raster”, em sistemas de informações geográficas, baseadas no Atlas Climático da Região Sul do Brasil (WREGE *et al.*, 2011). Os dados foram obtidos cruzando-se a camada dos pontos de presença da erva-mate com as camadas de



clima, por meio da função do programa ArcMap “Extract Multi Values to Points”. Com isso, obteve-se uma tabela com as coordenadas geográficas dos pontos de presença da espécie e com os valores de clima correspondentes às camadas utilizadas no processamento da função. As camadas climáticas foram elaboradas em sistemas de informações geográficas (SIG), utilizando regressão linear múltipla, onde os dados climáticos originais das estações meteorológicas foram correlacionados com os modelos de Elevação Digital do terreno (DEM), considerando a latitude e a longitude (WEBER, HASENACK e FERREIRA, 2004; USGS, 2018) (Figura 2). Dessa forma, as camadas foram geradas na escala 1: 250.000, utilizando sistemas de coordenadas geográficas e Datum SIRGAS2000. O modelo esquemático desta técnica é apresentado na Figura 3. Logo, foram utilizadas 15 variáveis, descritas a seguir: temperaturas máxima, máxima absoluta, mínima e mínima absoluta do ar referentes ao ano, ao verão e ao inverno; precipitação e evapotranspiração potencial (ETP) acumulada no ano, no verão e no inverno; e altitude.

2.5 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

2.5.1 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS CLASSIFICATÓRIAS

A escolha das variáveis classificatórias reflete o julgamento do investigador sobre a relevância das variáveis climáticas, de acordo com os propósitos da pesquisa. Para as espécies florestais, a temperatura e a pluviosidade são as variáveis mais relevantes e estão relacionadas às questões de sobrevivência da espécie, ao seu nicho, nas escalas temporais mensal, estacional ou anual. A escala anual não reflete as flutuações sazonais que ocorrem ao longo do ano. Por essa razão, as variáveis classificatórias foram escolhidas de forma a captar as flutuações na escala estacional. Assim, foram calculados mensalmente os valores das variáveis climáticas utilizadas neste trabalho, de modo que em cada ponto de observação meteorológica fez-se a caracterização do perfil estatístico das variáveis ao longo de um ano.

2.5.2 DEFINIÇÃO DE MEDIDA DE SIMILARIDADE



Na análise de agrupamento, deve-se definir uma medida de similaridade ou de distância entre os grupos a serem formados (KELLER FILHO *et al.*, 2005). Neste caso, foi escolhida a medida métrica euclidiana, porque as variáveis classificatórias selecionadas basearam-se em medidas reais.

2.5.3 SELEÇÃO DO MÉTODO DE AGRUPAMENTO

Muitos métodos de agrupamento foram desenvolvidos com o avanço do uso da computação, dentre os quais destacam-se: os métodos hierárquicos e os métodos não-hierárquicos. Logo, tendo em vista que o número ideal de agrupamentos não pode ser estabelecido, em princípio, para os índices climáticos usados neste trabalho, optou-se, então, pelos métodos hierárquicos aglomerativos (KAUFMAN e ROUSSEAU, 1990). Sendo assim, entre as técnicas de agrupamento hierárquico destacam-se: ligação simples, ligação completa, método centróide, método da mediana, método das médias dos grupos e método da variância mínima (Ward's Method). Posto isso, para este trabalho, foi escolhida a técnica da variância mínima (WARD JR, 1963), recomendado por Edelbrock (1979).

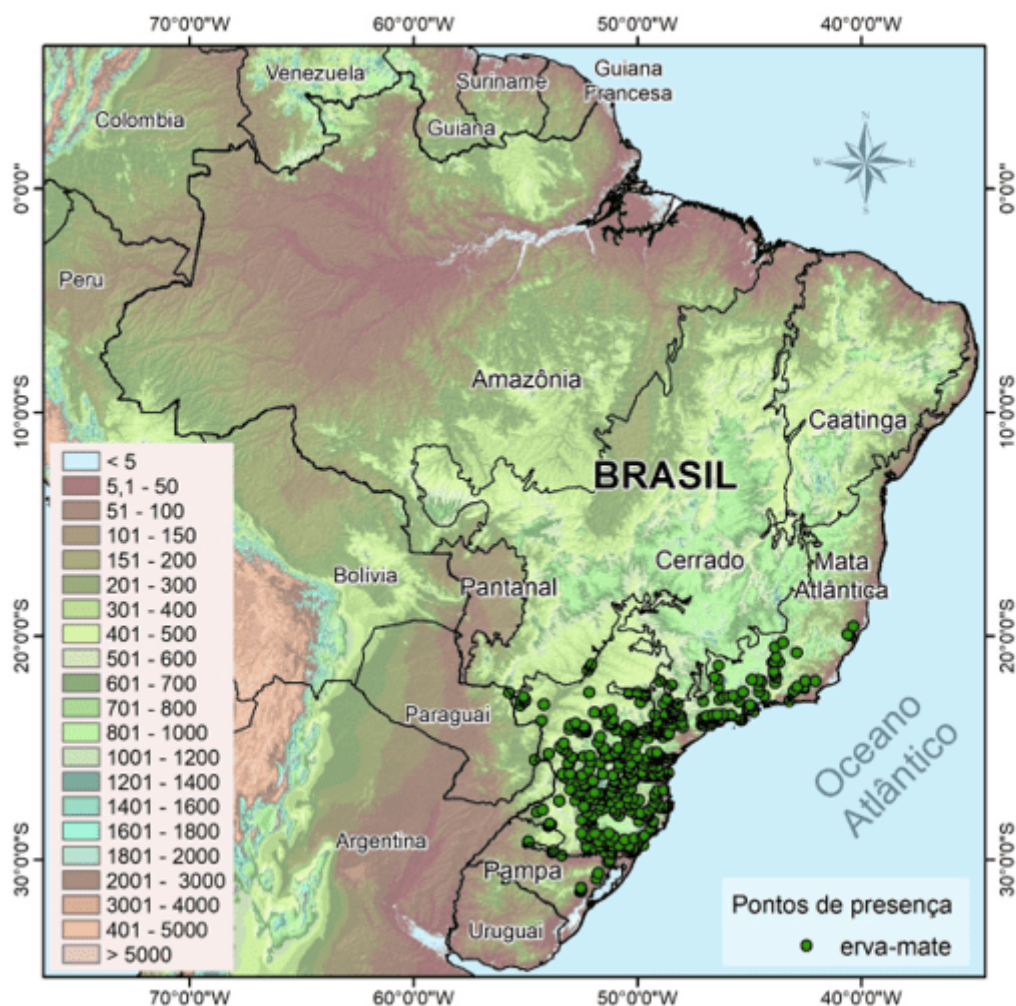
2.5.4 DEFINIÇÃO DO NÚMERO DE GRUPOS

A definição do número de grupos ocorreu pelo K médio, utilizando o programa suplementar do Excel "Action Stat". O método baseia-se no seguinte fato: à medida que aumenta o número de grupos, diminuem-se as diferenças entre eles e aumentam-se as diferenças entre os elementos pertencentes a um mesmo grupo. Por isso, o número de grupos ideal é aquele em que se encontra o equilíbrio das diferenças entre os grupos e a semelhança dos elementos de um mesmo grupo. Logo, para facilitar esta escolha, analisou-se o gráfico do dendograma e o gráfico da distância de aglomeração, de modo que, para os grupos formados, foi calculada a média dos valores das variáveis, utilizando as estações meteorológicas pertencentes ao mesmo agrupamento, apresentados em gráficos.

2.5.5 PROCESSAMENTO DAS ANÁLISES

As análises estatísticas foram processadas no módulo do programa *ArcMap* “*Spatial Statistic Tools*” - “*Mapping Clusters*” - “*Grouping Analysis*”, utilizando a opção “*K - Nearest Neighbors*” (Vizinho Mais Próximo) - “*Euclidean Distance*” (Método de Distância Euclidiana). Diante disso, o número de vizinhos foi definido como 30, para um total de 933 pontos de presença utilizados (Figura 2).

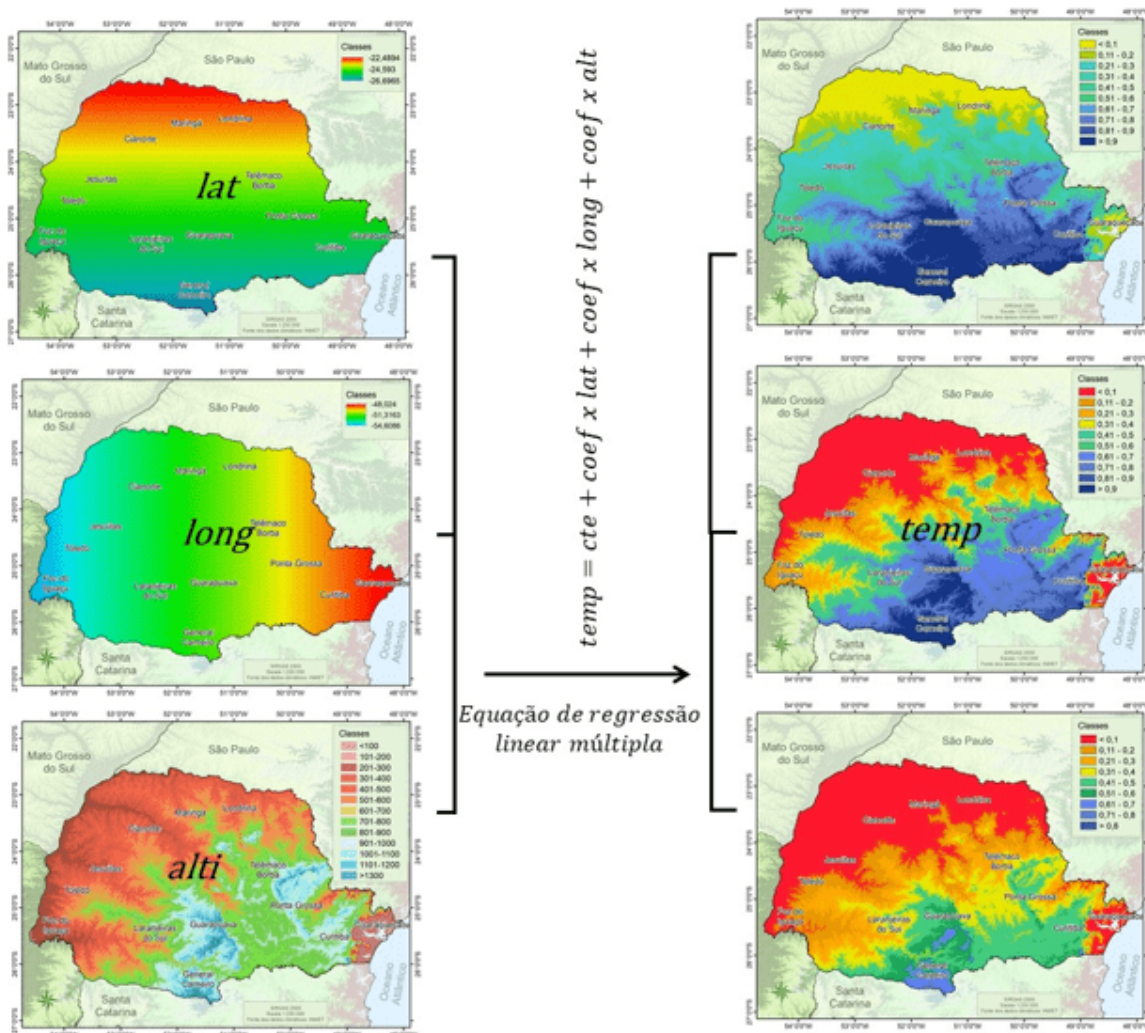
Figura 2. Ocorrência da erva-mate no Brasil sobre modelo numérico do terreno (Modelo Digital de Elevação - DEM) (WEBER, HASENACK e FERREIRA, 2004) adaptada de USGS (2018).



Fonte: Próprio autor

Na Figura 2, os pontos representados pela cor verde escura no mapa indicam onde a erva-mate está presente naturalmente. Dessa forma, pode-se observar que a erva-mate tem uma ampla faixa de distribuição na região sul do país, abrangendo parte da região sudeste e uma pequena área da região Centro-Oeste (sul do estado de Mato Grosso do Sul), demonstrando a sua alta plasticidade e capacidade de adaptação a diferentes ambientes, diferentemente da araucária, espécie correlata e que ocorre nas mesmas regiões, exceto no estado do Mato Grosso do Sul.

Figura 3. Representação do modelo de mapeamento por regressão linear múltipla



Fonte: Próprio autor



Na figura 3, “lat”, “long” e “alti” representam os modelos de latitude, de longitude e de altitude, respectivamente, e “temp” corresponde ao mapa resultante da equação de regressão, indicando, por exemplo, a temperatura do ar. Nesse aspecto, a equação foi resolvida em SIG na calculadora de raster (“raster calculator”) do ArcMap.

Diante disso, destaca-se que o método apresentado na Figura 3 é muito utilizado em sistemas de informações geográficas para gerar camadas de temperatura do ar e de índices relacionados a esta variável, uma vez que existe uma relação inversa entre temperatura e altitude, de modo que quanto maior a altitude, menor é a temperatura do ar.

Sendo assim, a mesma regra é válida para a latitude (desprezando o sinal negativo atribuído por convenção à latitude no hemisfério sul, utilizado como referência para diferenciar o hemisfério norte (+) do sul (-)). A geração de camadas de temperatura do ar, assim, se dá por uma equação matemática, onde a altitude e a latitude entram como variáveis independentes (usa-se também a longitude, mas a dependência da temperatura em relação a esta variável é bem menor).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados mostraram a existência de quatro diferentes grupos de populações de erva-mate, evidenciando a existência de quatro regiões de ocorrência natural da espécie com características climáticas distintas, conforme são apresentados nas figuras 4 a 11 e nas tabelas 1 a 4, onde foram analisadas 14 variáveis climáticas diferentes e a altitude, com diferentes graus de interferência na distribuição da espécie. Sendo assim, as características climáticas de cada grupo foram as seguintes:

Grupo 1: corresponde ao grupo central da região de distribuição da erva-mate (Figuras 4 a 6), situada em uma região bem característica da espécie, junto ao Grupo 3, apresentando clima com valores médios, se comparado aos outros grupos. Sua altitude varia entre 82 e 1.064 metros (Figura 11) e as temperaturas mínima absoluta e máxima absoluta variam entre - 4,3 e + 1,99 e 32,4 e 37,8 °C, respectivamente.



Ademais, o volume acumulado de chuvas varia entre 1.502 e 1.911 mm no ano, com variação entre 486 e 620 mm no verão e, no inverno, entre 238 e 411 mm. E a evapotranspiração potencial acumulada varia entre 764 e 947 mm no ano, sendo equivalente a 287 e 352 mm no verão e entre 109 e 136 mm no inverno.

Grupo 2: possui maior ocorrência ao Oeste da distribuição natural da erva-mate (Figuras 4 a 6), que apresenta características climáticas diferentes dos demais grupos, assemelhando-se, em algumas características, ao Grupo 4. Dessa forma, nesse grupo são encontradas as menores altitudes, entre 252 e 780 metros. As temperaturas são baixas, mas encontram-se entre as maiores no comparativo entre grupos, ficando atrás apenas do Grupo 4. As mínimas absolutas variam entre 0,77 e 5,2 °C e as máximas absolutas entre 33,7 e 37,2 °C. Além disso, anualmente, a chuva varia entre 1.496 e 2.065 mm acumulados, com 181 a 439 mm no inverno e 460 a 595 mm no verão. E a perda de água pela evapotranspiração potencial é de 909 a 1.176 mm no ano, de 120 a 195 mm no inverno e de 343 a 400 mm no verão.

Grupo 3: possui maior ocorrência ao sul da distribuição natural da erva-mate (Figuras 4 a 6), com características climáticas bem típicas da região de distribuição da espécie, com os maiores valores de chuvas bem distribuídas ao longo do ano, variando entre 1.465 e 2.073 mm, e com as menores temperaturas (mínimas absolutas no inverno), variando entre - 8,5 e + 2,8 °C. E apresenta a menor evapotranspiração potencial, variando entre 630 e 982 mm acumulados no ano, com 93 a 135 mm no inverno e 305,3 a 387,2 mm no verão.

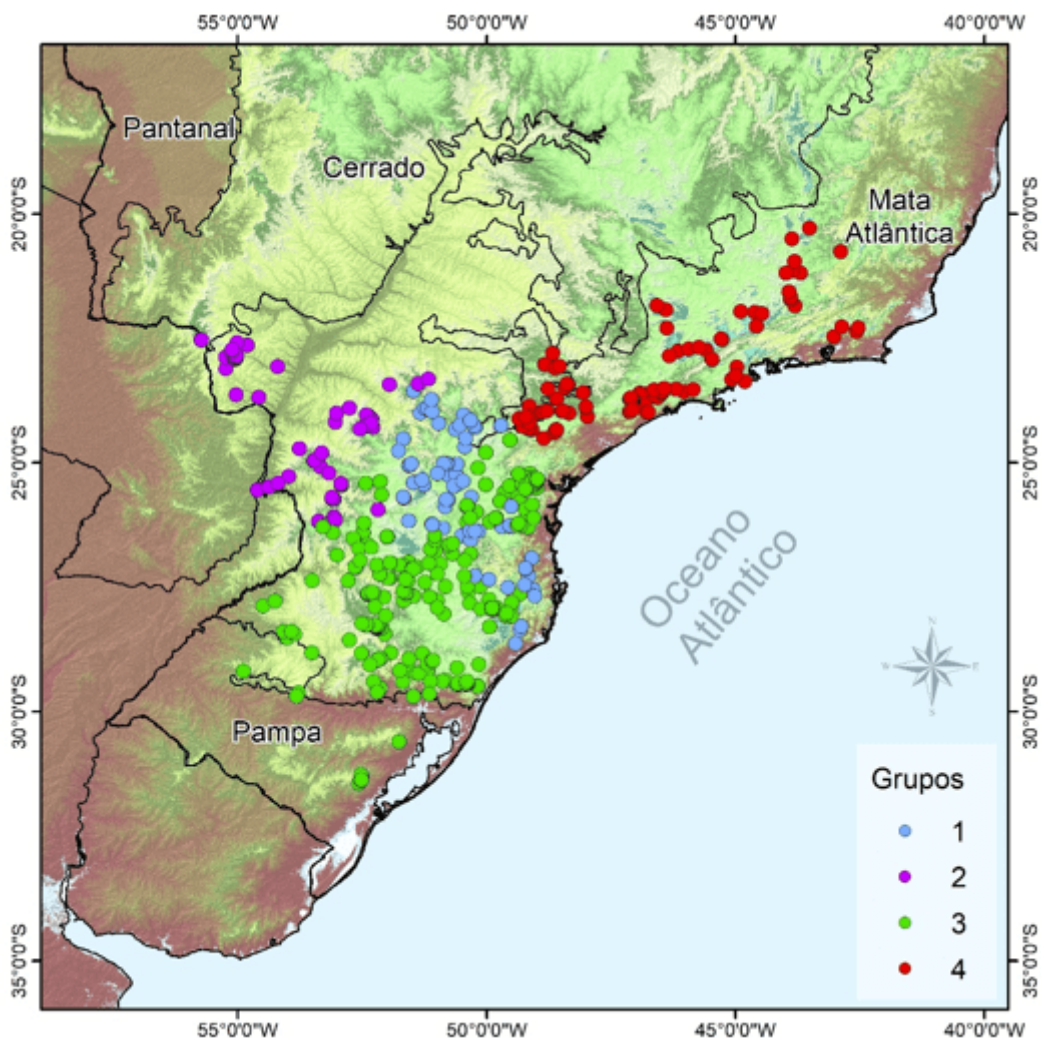
Grupo 4: possui maior ocorrência ao norte e ao nordeste da distribuição natural da erva-mate (Figuras 4 a 6), apresentando características climáticas bem diferentes dos demais grupos, onde a espécie se encontra de forma mais concentrada nas zonas de altitude da região, embora também ocorra em zonas de baixa altitude, entre 96 e 1.706 metros. Sendo assim, as temperaturas, embora sejam baixas, são as maiores entre os quatro grupos, variando as mínimas absolutas no inverno entre 5,1 e 9,9 °C e as máximas absolutas no verão entre 32,7 e 36,5 °C. O volume de chuva anual varia entre 1.333,3 e 1.850,9 mm, concentrando-se mais no verão com 540 a 829 mm e menos no inverno com 44,5 a 254,7 mm. E a perda de água pela evapotranspiração



potencial é de 800 a 1.220 mm por ano, com valores de 124 a 205 mm no inverno e de 269 a 419 mm no verão. Portanto, em comparação aos grupos, este apresenta as maiores temperaturas do ar e a maior variação de chuva (maior diferença de precipitação entre o verão e o inverno).

Fritzsons *et al.* (2020) identificaram a existência de quatro grupos na região Sul do Brasil e observou que, embora os grupos apresentassem continuidade espacial, a espécie ocorria em vários tipos de substratos litológicos e em diferentes ecossistemas (Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Densa Montana, Floresta Estacional Decidual e Semidecidual e os biomas Pampa e Mata Atlântica). Posto isso, a adaptação da espécie aos diferentes ambientes indica uma grande plasticidade adaptativa, superior à da araucária, espécie que ocorre junto à erva-mate nos ecossistemas citados anteriormente.

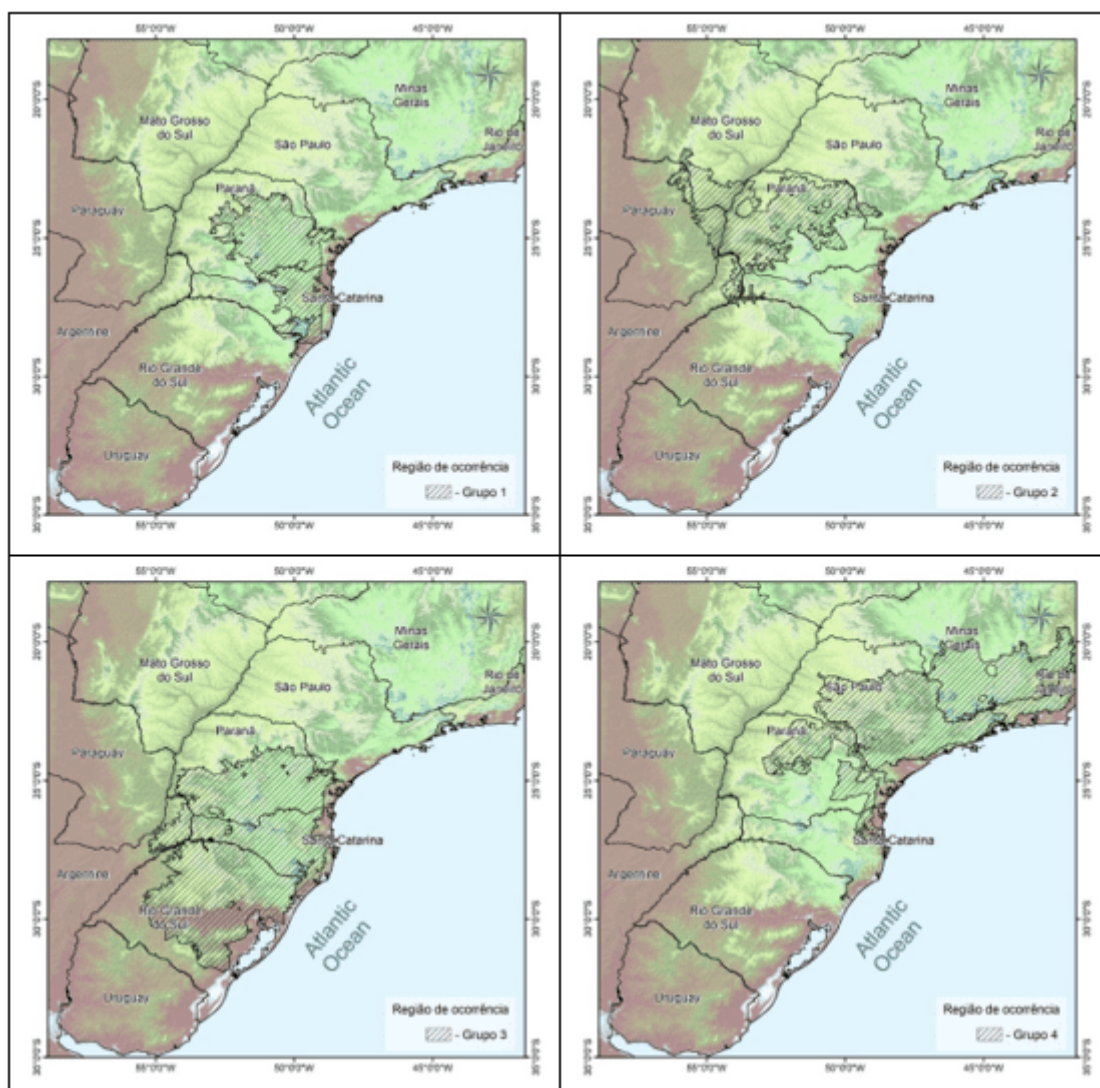
Figura 4. Representação dos quatro grupos de distribuição da erva-mate no Brasil, formados de acordo com as condições climáticas e a altitude



Fonte: Próprio autor

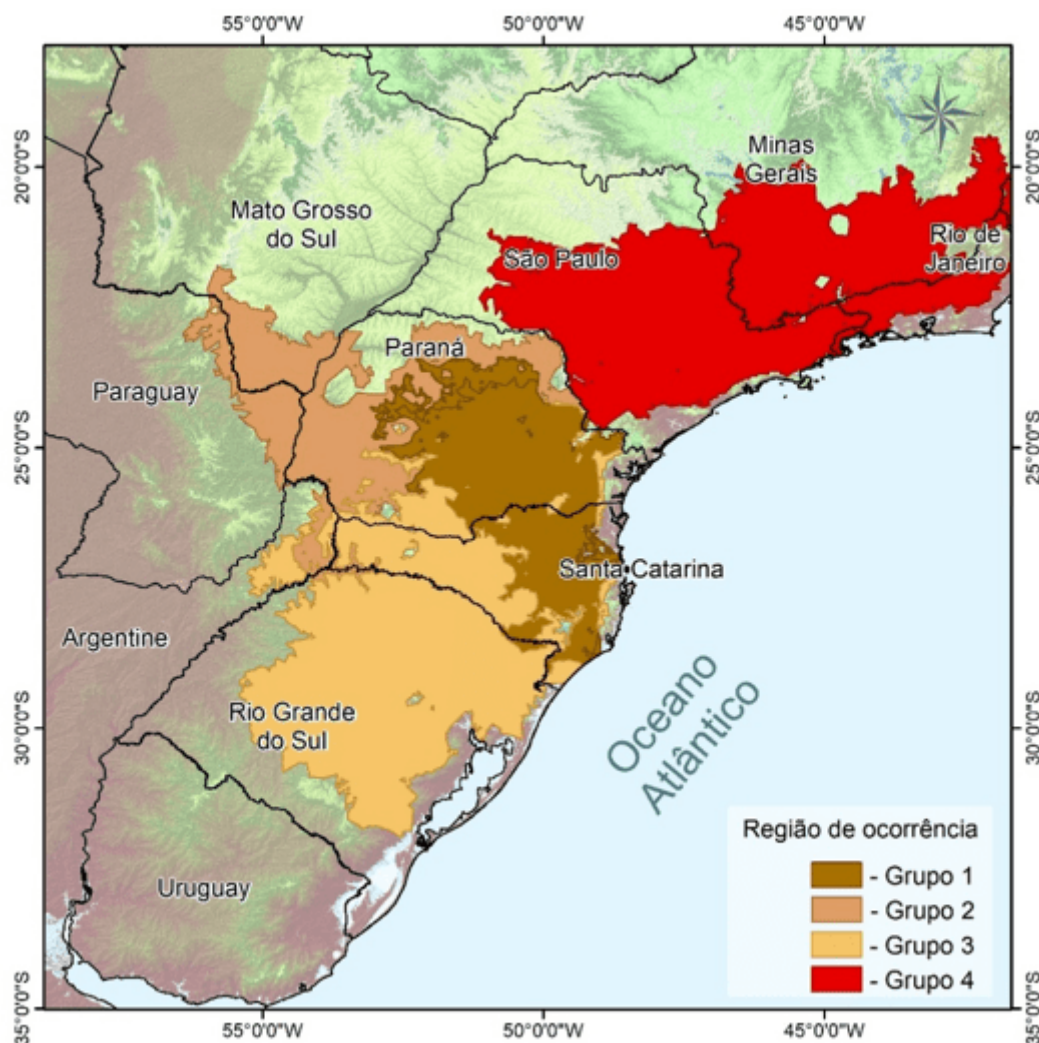
Na Figura 4, observa-se a existência de quatro grupos para a erva-mate nas quatro zonas em que é registrada sua ocorrência, onde as características climáticas são diferentes. Com isso, é possível observar que a espécie é capaz de sobreviver em diferentes ambientes e comprovar sua ampla plasticidade e capacidade adaptativa.

Figura 5. Regiões de ocorrência de erva-mate referentes aos Grupos 1, 2, 3 e 4



Fonte: Próprio autor

Figura 6. Combinação das quatro regiões de ocorrência da erva-mate no Brasil



Fonte: Próprio autor

3.1 CARACTERÍSTICAS DO CLIMA NAS DIFERENTES REGIÕES DE OCORRÊNCIA DA ESPÉCIE

De modo geral, as regiões Centro-Oeste e Sudeste são distintas da região Sul, área de predominância da erva-mate, apresentando temperaturas maiores e menor volume de chuva, principalmente no inverno. Na região Sul, as temperaturas são menores e a chuva é mais bem distribuída, com maior volume acumulado. Assim sendo, diferentemente do que é descrito na literatura, que relata que a espécie ocorre a partir dos 500 até 1.500 metros de altitude (OLIVEIRA e ROTTA, 1985; RESENDE *et al.*,



2000; GROPPPO, 2010), nos levantamentos feitos foi constatada a presença da espécie desde 67 até 1.706 metros de altitude (Figura 11), demonstrando que, de modo geral, a espécie ocorre em altitudes menores nas regiões de maior latitude, como nos municípios de Pelotas, Canguçu e Santana da Boa Vista (RS), onde existe o efeito de compensação da altitude pela latitude.

3.2 COLETA DE MATERIAL GENÉTICO PARA COMPOSIÇÃO DE COLEÇÃO DE GERMOPLASMA

Foram feitas coletas de tecido cambial para extração do DNA das ervas-mate nas regiões representadas pelos quatro grupos (Figuras 4 a 6). Dessa forma, as amostras de tecidos foram utilizadas para estabelecer um banco de DNA da espécie na coleção base da Embrapa em Brasília. Portanto, as coletas foram feitas nos estados do Paraná (Grupo 1), do Mato Grosso do Sul (Grupo 2), do Rio Grande do Sul (Grupo 3) e do Rio de Janeiro – Minas Gerais (região entre divisa de estados) (Grupo 4), sendo representativas das diferentes regiões em que a erva-mate ocorre naturalmente.

3.3 ÁREA DE DISTRIBUIÇÃO NATURAL DA ESPÉCIE

Na Floresta Ombrófila Mista, a erva-mate é uma espécie correlata à araucária, coincidindo grande parte do seu habitat natural, sendo que apresenta uma área um pouco mais ampla, estendendo-se desde o Sul do Rio Grande do Sul ao Mato Grosso do Sul (Região Centro-Oeste). Porém, ocorre em diferentes densidades populacionais. Por isso, as regiões climáticas observadas no presente trabalho coincidem com os resultados das análises genéticas feitas para a araucária, indicando a existência de populações distintas que são correspondentes às zonas climáticas (STEFENON *et al.*, 2019; DE SOUSA *et al.*, 2020).

Assim, futuramente, trabalhos de caracterização genética, juntamente com os resultados obtidos com a caracterização climática da área de ocorrência da espécie, poderão corroborar com os resultados obtidos para a erva-mate neste trabalho. Análises populacionais feitas anteriormente para erva-mate demonstraram a mesma tendência apresentada pela araucária (WENDT *et al.*, 2003), constatando nítida



diferenciação genética entre as populações situadas no Rio Grande do Sul, em relação a populações situadas no Paraná.

Nesse contexto, as regiões Centro-Oeste e Sudeste distinguem-se também, sob o ponto de vista climático, da região de predominância da erva-mate (Sul do Brasil). Posto isso, as tabelas 1 a 4 e as figuras 7 a 10 apresentam as diferentes características climáticas, considerando as 14 variáveis climáticas e a altitude utilizada dos quatro grupos na área de distribuição de erva-mate no Brasil.

3.4 INTERAÇÃO ENTRE CLIMA E CONSERVAÇÃO GENÉTICA

Nas expedições a campo, tem-se constatado que as populações presentes nos diferentes estados apresentam-se com pequena variação genética entre os indivíduos de uma mesma população e entre as populações. Em um estudo realizado no Paraná, duas populações distintas apresentaram diferenças genéticas estatisticamente não significativas. Assim, Seoane *et al.* (2019) apontaram que as coletas de sementes voltadas ao uso em programas de conservação e/ou de melhoramento genético devem ser realizadas em locais distantes a um raio mínimo de 57 metros, com vistas a evitar a coleta de sementes com algum grau de parentesco. Além disso, os autores observaram que os indivíduos aparentados foram observados a distâncias maiores do que as citadas anteriormente, indicando que a fertilização pode ocorrer até mesmo nos indivíduos mais distantes, o que demonstra a grande plasticidade das populações de erva-mate e um menor nível de endemismo.

Logo, observa-se que avanços no conhecimento a este respeito contribuiriam para aperfeiçoar o planejamento das amostragens de populações no campo e a coleta de sementes para uso nos programas de conservação e melhoramento genético.

3.5 ORIENTAÇÕES SOBRE LOCAIS PARA COLETA DE GERMOPLASMA DE ERVA-MATE

Para orientar as coletas de germoplasma da espécie, é interessante considerar os grupos climáticos encontrados neste trabalho, enquanto não se dispõe de dados

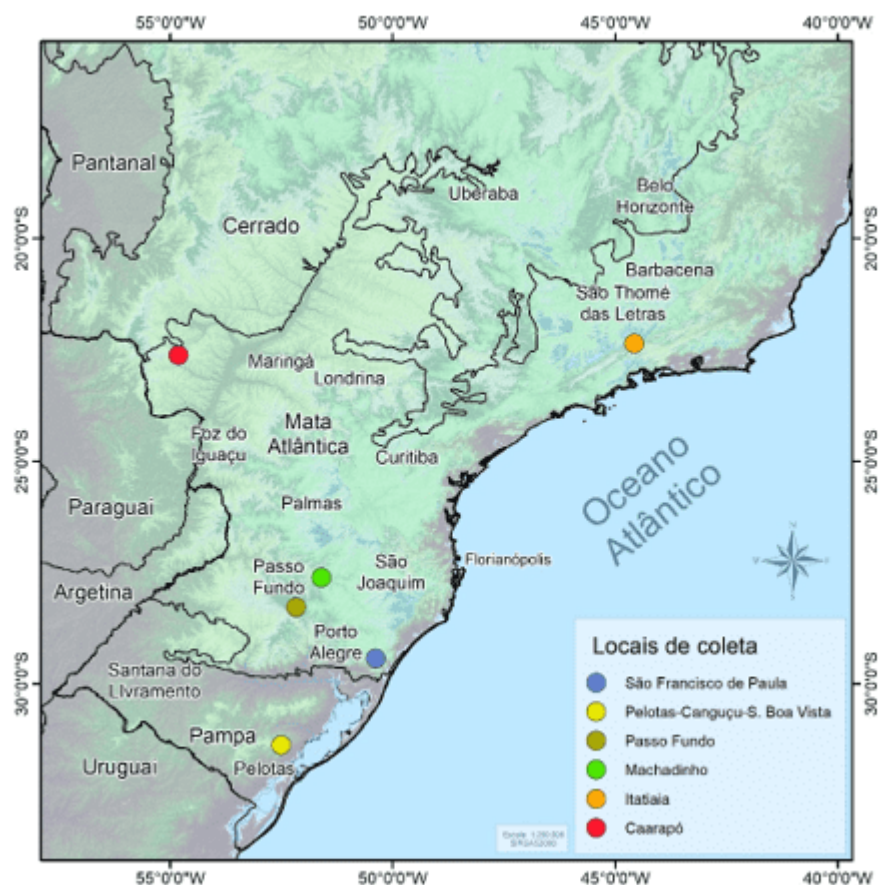


genéticos suficientes para este fim. Assim, será possível conservar maior diversidade genética da espécie.

A conservação *in situ* das populações naturais ou *ex situ* da diversidade genética da erva-mate, a partir de sementes, propágulos, DNA, pólen e plantas (coleções ativas de germoplasma), contribuirá para evitar a erosão genética das populações naturais e para manter os programas de melhoramento genético a médio e longo prazo e, conseqüentemente, as atividades de ervateira (exploração comercial de erva-mate) no Brasil.

Estudos multidisciplinares referentes à ecologia, clima, genética, solos, dendrocronologia, entre outros, e a aplicação de ferramentas genômicas que contribuam para a identificação das populações ou dos fragmentos mais estratégicos para conservação *in situ* e *ex situ*, serão fundamentais para manutenção da diversidade genética da espécie.

Figura 7. Localização das regiões onde foram coletadas amostras de material de erva-mate para genotipagem

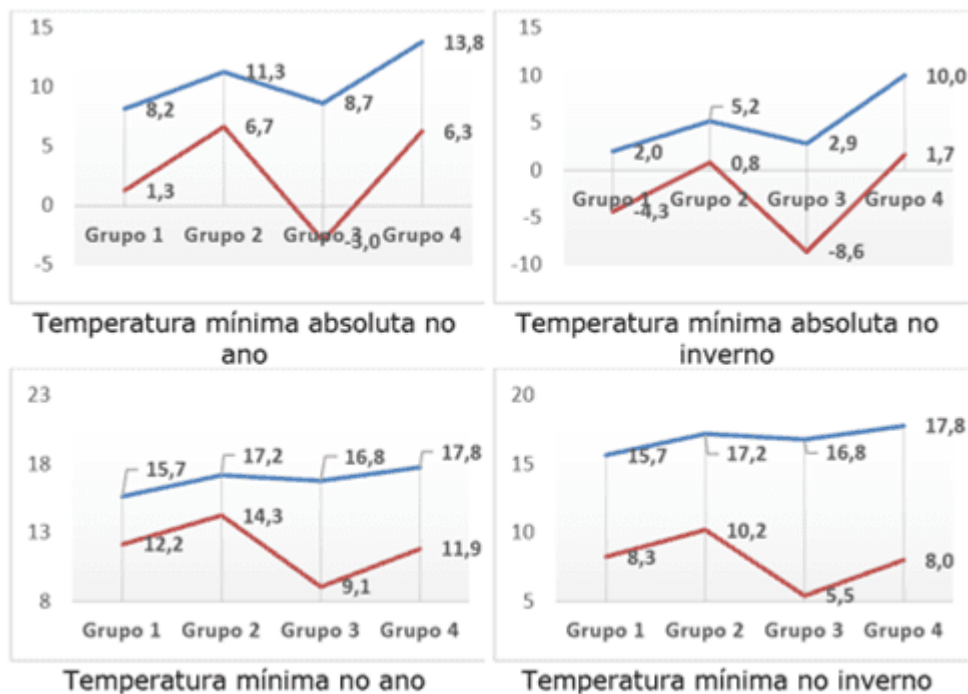


Fonte: Próprio autor

Na Figura 7, pode-se observar que as coletas de amostras de erva-mate concentraram-se nas zonas de transição climática, ou seja, nas zonas limítrofes de sua ocorrência, onde há maior diversidade genética e riqueza de materiais devido à adaptação a uma nova condição climática, e onde, portanto, devem ser concentradas as coletas de amostras e de sementes visando à conservação da espécie.

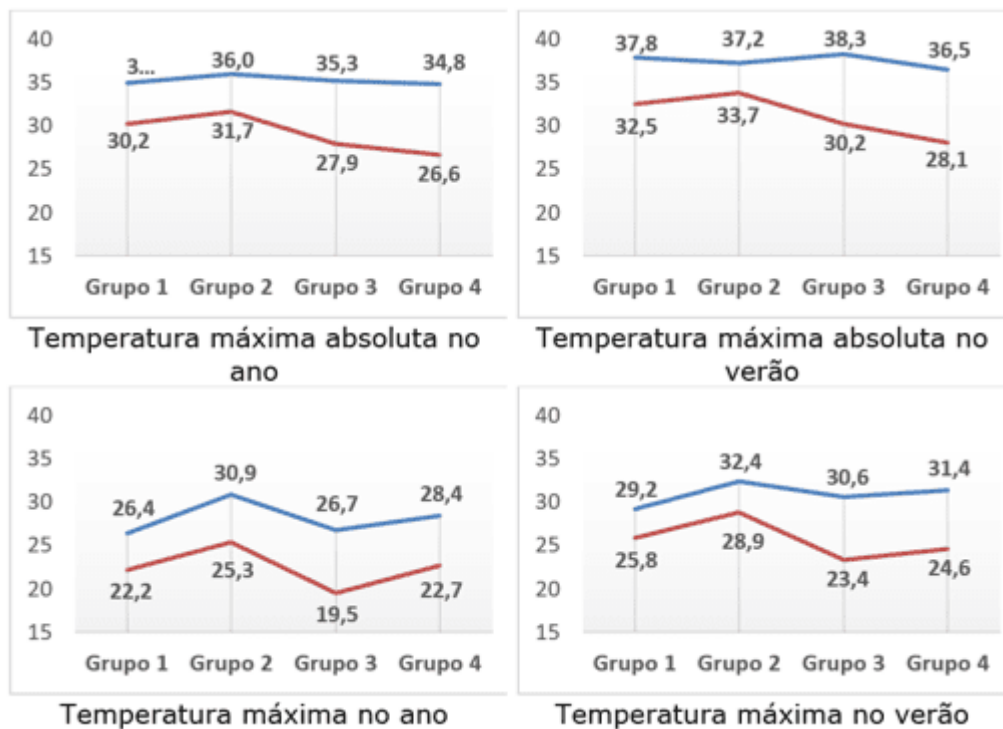
Sendo assim, para adaptação às mudanças climáticas, torna-se interessante a coleta de amostras e de sementes nas zonas com características mais próximas dos cenários futuros em que a espécie precisará sobreviver, isto é, em zonas com temperaturas altas e em que a estiagem seja mais comum.

Figura 8. Gráfico dos valores mínimos (vermelho) e máximos (azul) das temperaturas mínimas e mínimas absolutas nas quatro regiões distintas de presença natural da erva-mate no Brasil



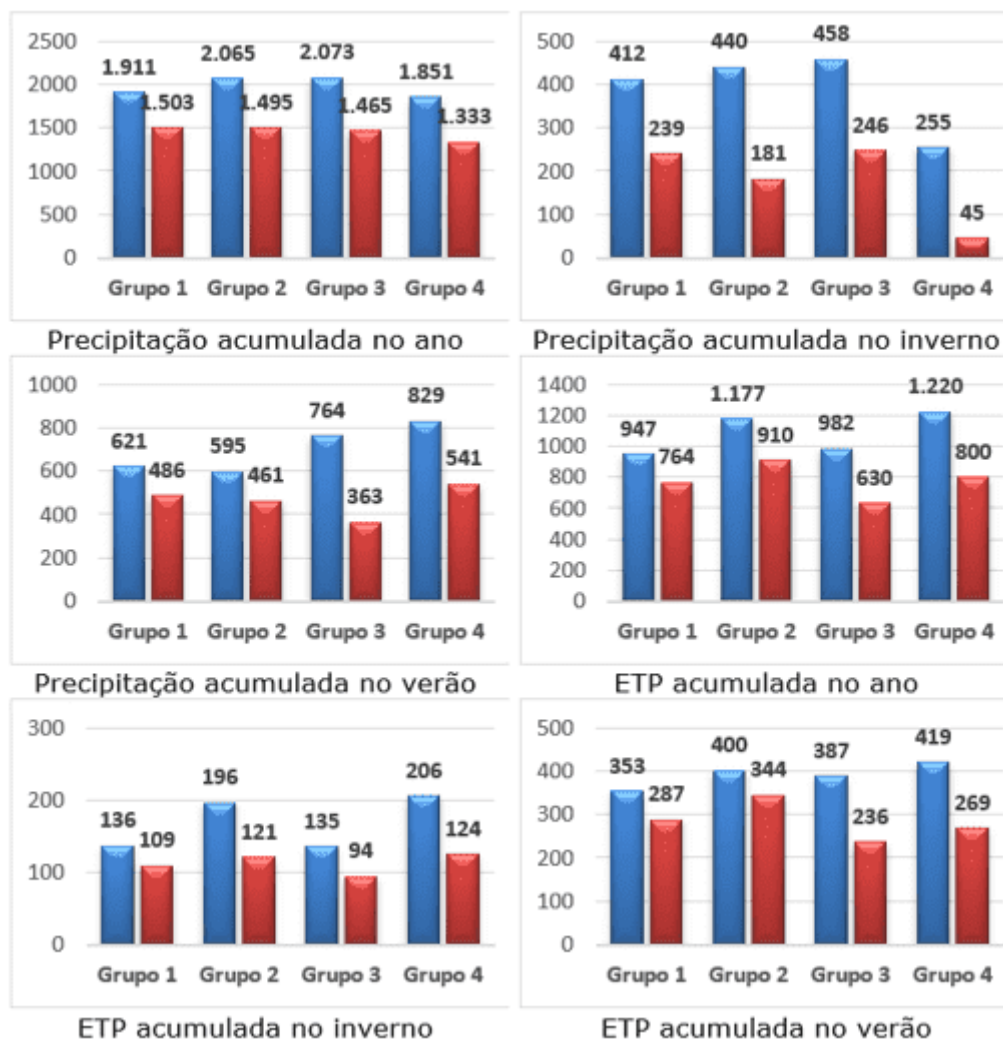
Fonte: Marcos Silveira Wrege

Figura 9. Gráfico dos valores mínimos (vermelho) e máximos (azul) das temperaturas máximas e máximas absolutas nas quatro regiões distintas de presença natural da erva-mate no Brasil



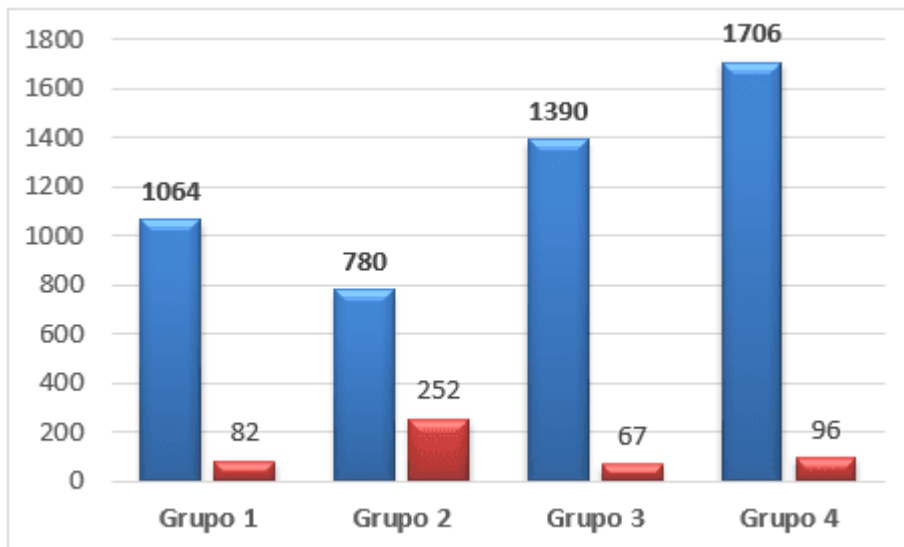
Fonte: Marcos Silveira Wrege

Figura 10. Gráfico dos valores mínimos (vermelho) e máximos (azul) da precipitação pluviométrica e da evapotranspiração potencial (ETP) nas quatro regiões distintas de presença natural da erva-mate no Brasil



Fonte: Próprio autor

Figura 11. Gráfico dos valores mínimos (vermelho) e máximos (azul) de altitude nas quatro regiões distintas de presença natural da erva-mate no Brasil



Fonte: Próprio autor

Tabela 1. Temperaturas mínima absoluta (°C), mínima, máxima absoluta e máxima nas quatro regiões distintas de presença natural da erva-mate no Brasil

Variável	Grupos	Média	Min	Max	Desv. pad.
Temperatura mínima absoluta no inverno	1	-1,1	-4,3	1,99	1,15
	2	3,16	0,77	5,23	1,24
	3	-2,76	-8,57	2,87	1,81
	4	5,18	1,7	9,97	1,4
Temperatura mínima absoluta no ano	1	4,83	1,27	8,19	1,24
	2	9,33	6,72	11,31	1,31
	3	2,97	-2,95	8,69	1,88
	4	9,74	6,27	13,82	1,14
Temperatura mínima no inverno	1	9,81	8,27	11,53	0,71
	2	11,79	10,22	13,16	0,85
	3	8,69	5,46	12,61	1,06
	4	11,13	8,01	14,38	0,89
Temperatura mínima no ano	1	13,63	12,19	15,67	0,73
	2	15,81	14,27	17,22	0,87



	3	12,63	9,12	16,77	1,07
	4	14,87	11,87	17,81	0,83
Temperatura máxima absoluta no verão	1	33,92	32,45	37,81	0,99
	2	35,54	33,73	37,21	0,92
	3	33,67	30,24	38,31	1,11
	4	32,71	28,08	36,51	1,32
Temperatura máxima no ano	1	24,34	22,17	26,43	0,78
	2	27,56	25,31	30,87	1,79
	3	23,08	19,54	26,69	1,15
	4	25,93	22,67	28,38	0,97
Temperatura máxima no verão	1	27,52	25,8	29,18	0,62
	2	30,42	28,86	32,35	1,03
	3	26,8	23,35	30,58	1,12
	4	28,32	24,57	31,35	1,07

Fonte: Próprio autor

As tabelas 1 a 4 apresentam o envelope climático, correspondendo aos limites em que a espécie é capaz de se desenvolver nas diferentes regiões do Brasil, mostrando sua ampla faixa de limites e, portanto, sua grande capacidade de adaptação às mudanças climáticas.

Tabela 2. Precipitação pluviométrica (mm) nas quatro regiões distintas de presença natural da erva-mate no Brasil

Precipitação pluviométrica	Grupos	Média	Min	Max	Desvio padrão
Inverno	1	326,9	238,9	411,5	47,3
	2	304,7	181,5	439,5	80,5
	3	381,8	246,4	457,9	56,3
	4	184,0	44,5	254,8	56,9
Verão	1	538,5	486,5	620,8	30,7
	2	536,6	460,5	595,0	44,2
	3	523,9	363,0	763,9	95,0
	4	648,9	540,5	829,5	68,2



Ano	1	1701,6	1502,8	1911,3	97,2
	2	1779,7	1495,3	2065,4	185,5
	3	1766,2	1465,5	2073,3	162,4
	4	1545,7	1333,3	1850,9	113,5

Fonte: Próprio autor

Tabela 3. Evapotranspiração potencial (mm) nas quatro regiões distintas de presença natural da erva-mate no Brasil

Evapotranspiração potencial	Grupos	Média	Min	Max	Desvio padrão
Ano	1	855,7	764,1	947,3	34,9
	2	1012,2	909,8	1176,9	85,3
	3	806,0	630,3	982,3	54,2
	4	1013,3	800,5	1220,4	59,2
Inverno	1	122,6	109,1	136,1	5,8
	2	145,6	120,7	195,5	26,2
	3	111,7	93,7	135,5	9,3
	4	158,6	124,4	205,5	12,7
Verão	1	314,0	287,1	352,9	12,2
	2	366,3	343,5	400,0	13,9
	3	305,4	235,5	387,2	24,6
	4	347,9	269,1	419,1	22,0

Fonte: Próprio autor

Tabela 4. Altitude (m) nas quatro regiões distintas de presença natural da erva-mate no Brasil

Variável	Grupos	Média	Min	Max	Desvio padrão
Altitude	1	828	82	1064	172
	2	522	252	780	124
	3	805	67	1390	230
	4	858	96	1706	234

Fonte: Próprio autor



Diferentemente do que é relatado na literatura, a Tabela 4 evidencia que não existem limites de altitude para o desenvolvimento da erva-mate, estando presente praticamente desde o nível do mar (67 metros) até zonas serranas e de altitude elevada (1706 metros), mais uma vez demonstrando sua plasticidade e capacidade de adaptação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem diferenças regionais das características climáticas na área de distribuição natural da erva-mate, demonstrando a plasticidade e a capacidade de adaptação desta espécie. Assim, nestas regiões existem materiais com características genéticas distintas, em função da adaptação da espécie ao ambiente local.

Tendo isso em vista, o presente artigo buscou investigar: quais são as diferentes características climáticas da área de distribuição da erva-mate no Brasil? Para tanto, teve-se como objetivo caracterizar as diferentes áreas de distribuição natural da espécie para dar subsídios aos programas de uso, conservação e melhoramento genético da espécie.

Dessa forma, conclui-se que futuras coletas para composição de coleção de germoplasma de erva-mate devem ser feitas nas regiões representadas pelos quatro grupos apresentados neste trabalho, para representar todas as condições de clima na zona de distribuição natural da espécie e, desta forma, garantir o uso e a conservação da espécie e a disponibilidade de material para uso em programas avançados de melhoramento genético da espécie.

Para programas de uso, conservação ou melhoramento genético da erva-mate, pode-se coletar material nos quatro grupos, sendo que a coleta pode ser direcionada prioritariamente para populações pertencentes a um dos grupos, de acordo com a finalidade dos programas a ser atingida e as características climáticas do grupo.

Nesse contexto, as coletas já realizadas para formação de um banco de DNA e posterior composição de BAGS de erva-mate foram localizadas adequadamente, representando as quatro regiões de ocorrência natural da espécie. Pode-se,



entretanto, incrementar as amostragens, para torná-las mais representativas no Grupo 1, onde foi feita apenas uma expedição de coleta no município de Quatro Barras, estado do Paraná, e no Grupo 2, com apenas uma coleta na região do município de Laguna Carapã, estado do Mato Grosso do Sul.

REFERÊNCIAS

CARPANEZZI A. A. *Yerba mate culture in Brazil: conflicts and gaps*. In: WINGE, H. et al. (eds.) **Yerba mate: biology and culture in the Southern Cone**. Porto Alegre, UFRGS, p. 43-46. 1995.

CRIA-BDT, IC/Unicamp - Centro de Referência em Informação Ambiental - BDT e Instituto de Computação – Unicamp. **SinBiota - Sistema de Informação Ambiental do Programa Biota/FAPESP**. CRIA-BDT, IC/Unicamp, 1999.

DE SOUSA, V. A. et al. *Genetic diversity and biogeographic determinants of population structure in Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Conservation Genetics**, p. 1-13, 2020. DOI: 10.1007/s10592-019-01242-9. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10592-019-01242-9>. Acesso em: 21 jun. 2022.

EDELBROCK, C. Comparing the accuracy of hierarchical clustering algorithms: The problem of classifying everybody. **Multivariate Behavioral Research**, v.14, p.367-384, 1979.

FRITZSONS, E. et al. Proposta metodológica para subsidiar conservação e melhoramento genético da erva mate no sul do Brasil, baseada em grupos climáticos. **Scientia Forestalis**, v. 48, n.128, e3267, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n128.22>. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1128106>. Acesso em: 21 jun. 2022.

GORENSTEIN, M. R. et al. Evolução da cultura de erva-mate no Brasil durante o período de 1995 a 2005. **Revista científica eletrônica de Agronomia**, São Paulo, Ano 6, n. 11, 2007. Disponível em:



http://www.faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/dX9jToE1GfIL4Cy_2013-5-3-11-35-42.pdf. Acesso em: 06 jul. 2022.

GROPPO, M. Aquifoliaceae. In: **Lista de espécies da flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB004904>. Acesso em: 06 jul. 2022.

KAUFMAN, L.; ROUSSEAU, W. ***Finding groups in data: an introduction to cluster analysis***. New York: John Willey & Son, 1990.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E.D.; LIMA, P.R.S. de R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.311-322, 2005.

MUÑOZ, M. E. S. *et al.* ***OpenModeller: a generic approach to species potential distribution modelling***. **Geoinformatica**, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10707-009-0090-7>. Acesso em: 7 ago. 2021.

OLIVEIRA, Y. M. M.; ROTTA, E. **Área de distribuição natural da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill)**. Sistemas de produção Embrapa Florestas, 1985. 20 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/300244/1/AreaDistribuicao.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2022.

RESENDE, M. D. V. de. *et al.* **Programa de melhoramento da erva-mate coordenado pela Embrapa: resultados da avaliação genética de populações, progênies, indivíduos e clones**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/306094/1/doc62.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2022.

RESENDE, M. D. V. de. **Workshop sobre melhoramento de espécies florestais e palmáceas no Brasil**. Colombo, Embrapa, 2001. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/doc62.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2022.



SEOANE, C. *et al.* The Neotropical tree *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (Aquifoliaceae): pollen and seed dispersal in a fragmented landscape. **Annals of Forest Research**, v. 62, n. 2, 157-171, 2019. DOI: 10.15287/afr.2019.1427. Disponível em: <https://www.afrjournal.org/index.php/afr/article/view/1427>. Acesso em: 21 jun. 2022.

STEFENON, V. M. *et al.* Phylogeography of plastid DNA sequences suggests post-glacial southward demographic expansion and the existence of several glacial refugia for *Araucaria angustifolia*. **Scientific reports**, v. 9, n.1, p. 1-13, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-39308-w>. Acesso em: 21 jun. 2022.

TETTO, A. F. Paraná é o maior produtor de erva-mate do País, diz IBGE. **Agrolink**, 2008. Disponível em: <http://www.agrosoft.org.br/agropag/103461.htm>. Acesso em: 8 set. 2010.

USGS. *USGS EROS Archive - Digital Elevation - Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30)*. **USGS**, 2018. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-global-30-arc-second-elevation-gtopo30>. Acesso em: 21 jun. 2022.

WARD JR, J. H. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. **Journal of the American Statistical Association**, v.58, p.236-244, 1963.

WEBER, E; HASENACK, H.; FERREIRA, C. J. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação**. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. 2004. Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>. Acesso em: 06 jun. 2022.

WENDT, S. N. *et al.* Caracterização genética de populações naturais de *Ilex paraguariensis* St. Hil. In: **Congresso sul-americano da erva-mate**, Anais. [Chapecó]: Epagri, 2003. p. 3-5.

WREGGE, M. S. *et al.* **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. 336 p. Disponível em:



<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/143521/1/Atlas-climatico-da-regiao-Sul-do-Brasil.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2022.

Enviado: Março, 2021.

Aprovado: Julho, 2022.

¹ Doutor em Agronomia (Produção Vegetal) pela UEM; Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem) pela Unesp de Botucatu; Graduado em Agronomia pela Unesp de Botucatu.

² Pós-Doutor em Genética de Populações no National Center for Genetic Resources Preservation (NCGRP) do Agricultural Research Service (ARS)/United States Department of Agriculture (USDA); Doutor em Ciências Florestais pela Georg August Universitaet Goettingen (GAUG); Mestre em Ciências Florestais pela Universidade de São Paulo (USP); Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade de São Paulo (USP).

³ Pós-Doutor em Genômica Florestal pela University of Florida; Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade de Goiás (UFG); Graduado em Agronomia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

⁴ Doutor em Agronomia pela Universidade de São Paulo (USP); Mestre em Agronomia pela Universidade de São Paulo (USP); Graduado em Agronomia pela Universidade de São Paulo (USP).

⁵ Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (UFPR); Mestre em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (UFPR); Graduado em Agronomia pela Universidade de São Paulo (USP).