

DISCRIMINAÇÃO DE ÁREAS NATIVAS E PLANTADAS DE *ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA* NO SUL DO BRASIL COM USO DA ANÁLISE ESPACIAL

Claudia Giongo¹

Guilherme Bordignon Ceolin²

Fábio Marcelo Breunig³

RESUMO

A intensa exploração das Florestas com Araucária colocou em extremo risco um dos tipos vegetacionais mais singulares do *hotspot* Mata Atlântica. O objetivo do presente estudo foi estabelecer critérios para diferenciar ocorrências naturais de *Araucaria angustifolia* em Floresta Ombrófila Mista (FOM) daquelas deliberadamente plantadas. Foram eleitas três áreas de estudo localizadas nos estados da região Sul. Os indivíduos foram georreferenciados pontualmente com uso de dados de alta resolução espacial (imagens de satélite), em distintos agrupamentos. Para avaliar os padrões espaciais, foram utilizadas técnicas estatísticas clássicas e ferramentas de análise espacial. Os resultados indicaram que as metodologias desenvolvidas são capazes de evidenciar esta diferenciação em imagens de satélite a partir dos padrões de distribuição espacial encontrados, viabilizando maior acurácia na identificação dos remanescentes.

Palavras-chave: Georreferenciamento. Modelagem. Distribuição espacial. Cobertura florestal.

DISCRIMINATION OF NATIVE AND PLANTED AREAS OF *ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA* IN SOUTHERN BRAZIL USING SPATIAL ANALYSIS

ABSTRACT

Intense exploitation of Araucaria forests has put one of the most outstanding vegetation types of Atlantic Forest hotspot at extreme risk. The aim of our paper was to establish criteria to differentiate natural occurrences of *Araucaria angustifolia* in Mixed Ombrophilous Forest from those deliberately planted. We chose to investigate three areas located in the Brazilian southern states. The individuals were georeferenced using high spatial resolution data (satellite images) in distinct groupings. We used classical statistical techniques and spatial analysis tools to evaluate the spatial patterns. The results indicated that the methodologies developed are capable of evidencing this differentiation in satellite images based on the spatial distribution patterns found, enabling greater accuracy in the identification of the remnants.

Keywords: Georeferencing. Modeling. Spatial distribution. Forest cover.

¹Dra, Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS (Laranjeiras do Sul-PR), Email: claudia.giongo@uffs.edu.br

²Dr., Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (Frederico Westphalen-RS), Email: ceolimb@gmail.com

³Dr., Universidade Federal do Paraná – UFPR (Curtiba-PR), Email: fabiobreunig@gmail.com

DISCRIMINACIÓN DE ÁREAS NATIVAS Y PLANTADAS DE *ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA* EN EL SUR DE BRASIL USANDO ANÁLISIS ESPACIAL

RESUMEN

La explotación intensiva de los bosques de araucaria ha puesto en riesgo extremo uno de los tipos de vegetación más destacados del hotspot Atlántico. El objetivo de nuestro trabajo fue establecer criterios para diferenciar la presencia natural de *Araucaria angustifolia* en el Bosque Ombrófilo Mixto de la plantación deliberada. Decidimos investigar tres áreas ubicadas en los estados del sur de Brasil. Los individuos fueron georreferenciados mediante datos de alta resolución espacial (imágenes satelitales) en grupos diferenciados. Utilizamos técnicas estadísticas clásicas y herramientas de análisis espacial para evaluar los patrones espaciales. Los resultados indicaron que las metodologías desarrolladas son capaces de evidenciar esta diferenciación en imágenes satelitales con base en los patrones de distribución espacial encontrados, permitiendo una mayor precisión en la identificación de los remanentes.

Palabras clave: Georreferenciación. Modelización. Distribución espacial. Cubertura forestal

INTRODUÇÃO

A proposição do conceito de *hotspots* de diversidade chamou a atenção do mundo para a Floresta Atlântica brasileira (MYERS, 1988). Embora inicialmente apenas uma pequena parcela da floresta tenha sido considerada, as pesquisas e discussões conduzidas nas décadas seguintes ampliaram a compreensão sobre a importância e a delimitação destas áreas prioritárias. O *hotspot* Mata Atlântica, tal como é delimitado hoje, corresponde à vegetação que originalmente estendia-se em área contínua do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul, interiorizando-se e diferenciando-se em diversas fisionomias (MYERS *et al.* 2000, OLIVEIRA FILHO & FONTES, 2000; FONSECA *et al.*, 2004; IBGE/MMA, 2004; CUNHA *et al.*, 2019). A Floresta com Araucária atualmente é entendida como um dos tipos vegetacionais que compõem o Bioma Mata Atlântica e, portanto, integra o *hot spot* Floresta Atlântica (MITTERMEIER *et al.* 2004). Chamada em publicações mais antigas de Mata de Pinhal, Pinhal, Mata Preta, Pinheiral ou Floresta Pinatifoliada (HUECK, 1953; RAMBO, 1956; VELOSO, 1962; LEITE; KLEIN, 1990; IBGE/MPOG, 2004, BRASIL, 2006) na classificação atual, esta formação corresponde à denominação Floresta Ombrófila Mista - FOM (IBGE/MPOG, 2004).

A distribuição da Floresta com Araucária é fortemente associada ao Planalto Meridional Brasileiro, apresentando disjunções em áreas elevadas nas Serras do Mar e da Mantiqueira (LEITE; KLEIN, 1990; IBGE/MPOG, 2004). Contudo, mesmo antes do seu intenso desmatamento, seus limites de distribuição geravam discordância entre os naturalistas. Por exemplo, como limite setentrional, Hueck (1953) registra a ocorrência da *Araucaria angustifolia* e algumas espécies companheiras, como *Podocarpus lambertii* (Podocarpaceae) e *Dicksonia sellowiana* (Dicksoniaceae), até o Sul de Minas Gerais. Por sua vez, o mesmo autor define as encostas do Planalto Sul-Rio-Grandense como limite meridional para a FOM, embora existam diversos registros da ocorrência da Araucária e espécies companheiras na Serra do Sudeste, na parte Sul do Rio Grande do Sul (BACKES 1988;1999; GIONGO & WAECHTER, 2006; CARLUCCI *et al.* 2011).

Além disso, diversas outras incertezas existem sobre os padrões de distribuição espacial da Araucária. Por exemplo, embora alguns estudos assumam, com base em observações e coletas *in loco*, que a Araucária apresenta distribuição agregada dentro da floresta (SILVESTRE *et al.*, 2012), outros não demonstram a mesma clareza (ANJOS *et al.*, 2004; PALUDO *et al.*, 2009). Estas incertezas acentuam-se sobremaneira nas imagens de satélite e podem influenciar na precisão dos dados de cobertura remanescente.

Outro problema evidente na literatura é a escassez de estimativas objetivas sobre a área ainda existente da Floresta com Araucária. Neste contexto cabe destaque aos trabalhos de Ribeiro *et al.* (2009) e de Zorek *et al.* (2024). No primeiro os autores utilizaram mapas de cobertura florestal e imagens de satélite do ano de 2005 e esboçaram um cenário com cerca de 32.000 km² de floresta. Zorek *et al.* (2024), entretanto, encontraram resultados mais alarmantes, com a estimativa de que atualmente restam apenas 11.850 km² da Floresta com Araucária. Dois aspectos cruciais são destacados pelos autores: apenas 13,5% da área remanescente encontra-se dentro de áreas protegidas e 99% dos fragmentos apresentam dimensões inferiores a 50 ha, caracterizando intensa fragmentação e elevado risco de desaparecimento (ZOREK *et al.* 2024).

As consequências cada vez mais evidentes de mudanças climáticas têm levado a diversas discussões sobre o futuro da diversidade brasileira. Neste contexto as Florestas com Araucária têm inspirado a preocupação dos pesquisadores em função das suas especificidades ambientais, sua ocorrência restrita e quantidade de remanescentes protegidos (WREGE *et al.*

2016; WREGE *et al.* 2017; SARAIVA *et al.*, 2021). Desta forma, localizar e reconhecer com precisão os fragmentos ainda existentes é fundamental para a proteção desta fitofisionomia.

Embora a presença da *A. angustifolia* seja, obviamente, uma condição *sine qua non*, apenas a sua existência não é reconhecida como diagnóstico para a ocorrência da FOM, uma vez que a presença desta espécie pode ser resultado de plantio deliberado. De fato, povoamentos puros de araucária não costumam ser considerados como FOMs, dado que carecem da diversidade de elementos florísticos que as define, como a mistura de elementos tropicais da flora Afro-Brasileira com elementos temperados da flora Austro-Brasileira (IBGE/MPOG, 2004). Nesse contexto, a composição e a distribuição espacial das espécies na floresta parecem ser fundamentais para a compreensão desta fitofisionomia.

Desta forma, o presente estudo é motivado pelo desafio relacionado ao reconhecimento das áreas de Floresta Ombrófila Mista remanescentes e da dificuldade de diferenciá-las das áreas de plantios homogêneos em imagens de satélite utilizadas no mapeamento da ocorrência da Floresta. Assim, o objetivo proposto é o desenvolvimento de uma metodologia que permita a identificação de remanescentes de Floresta com Araucária, diferenciando-as de áreas de plantio a partir de imagens de satélite de livre acesso.

MATERIAL E MÉTODOS

Áreas de estudo

A escolha de áreas de estudo dentro de Unidades de Conservação (UCs) se deu principalmente em função do tipo de cobertura vegetal objeto de estudo. Como exposto acima, extensões relevantes de Floresta Ombrófila Mista bem preservada são raras.

Em relação aos plantios, eles existem e se destacam na paisagem nas imagens de satélite. Entretanto a maioria possui extensões muito reduzidas e é praticamente impossível, sem informações adicionais, como dados de campo (principalmente, de altura e diâmetro dos indivíduos) e imagens de veículos aéreos não tripulados (VANTs) com melhores resoluções, identificar com segurança se a mancha observada na imagem realmente corresponde a um plantio na região de ocorrência natural atribuída à Araucária ou mesmo fora dela.

As Florestas Nacionais (FLONAs), entretanto, possuem talhões de diversos tamanhos, a maioria puros de *A. angustifolia*, bem descritos e com idades avançadas (a maioria plantados entre as décadas de 1940 e 1960; SEMA, 2004; ICMBIO, 2011; ICMBIO, 2013; ICMBIO, 2016). Desta forma, optou-se neste estudo por pesquisar imagens de fragmentos de Araucária provenientes de Florestas Nacionais e Parques com histórico conhecido e já classificados *in situ* como Floresta com Araucária de ocorrência natural e como plantios pelos pesquisadores responsáveis pelos Planos de Manejo. Estas informações são fundamentais para contornar a dificuldade metodológica apontada mesmo na literatura recente (ZOREK *et al.* 2024) para se definir o que de fato é um remanescente de FOM e o que de fato é um plantio, sobretudo nas imagens de satélite.

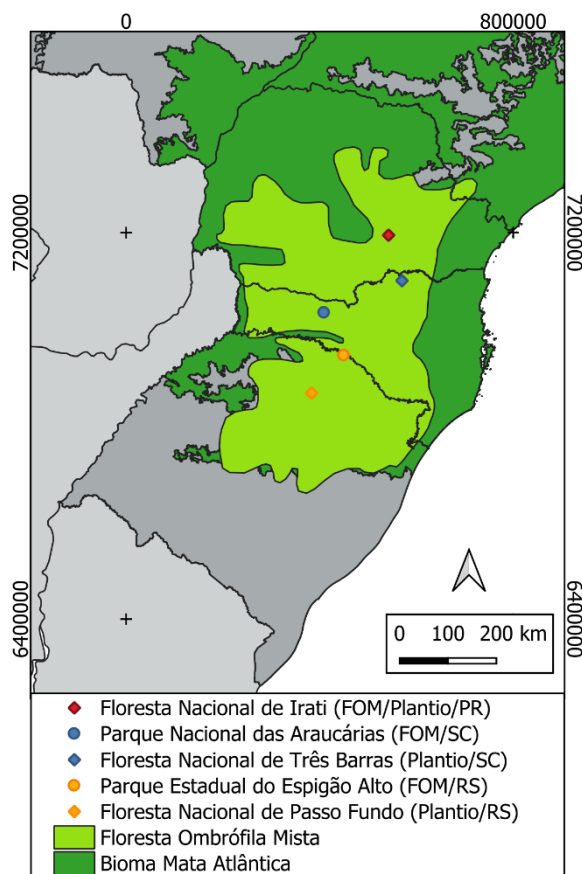
Para o presente estudo foram selecionadas quatro Unidades de Conservação (UC) federais e uma estadual, sendo uma no Paraná, duas em Santa Catarina e duas no Rio Grande do Sul (Tabela 1 e Figura 1, onde foram demarcas seis áreas de estudo). A UC Flona de Irati, no Paraná, foi a única que apresentou áreas adequadas tanto para o estudo da Floresta com Araucária como para os plantios. As informações sobre tamanho, conservação, manejo e zoneamento da vegetação e histórico foram compiladas a partir dos Planos de Manejo, artigos científicos, dissertações, teses e relatórios de acesso público.

Tabela 1: Unidades de Conservação amostradas na região de ocorrência natural da Floresta Ombrófila Mista, Unidade Federativa, Cobertura Vegetal amostrada e identificação adotada no presente trabalho.

UC	UC	Cobertura	Identificação
Floresta Nacional de Irati	PR	FOM	PR FOM
Floresta Nacional de Irati	PR	Plantio	PR PLT
Parque Nacional da Araucárias	SC	FOM	SC FOM
Floresta Nacional de Três Barras	SC	Plantio	SC PLT
Parque Estadual de Espigão Alto	RS	FOM	RS FOM
Floresta Nacional de Passo Fundo	RS	Plantio	RS PLT

Fonte: Autor

Figura 1: Localização das áreas amostradas na região de ocorrência natural da Floresta Ombrófila Mista



Fonte: Atlas Nacional Digital. Modificado pelo autor.

No Paraná, a Floresta Nacional de Irati, possui 1585,45 ha de floresta nativa e 454,37 ha de plantios de Araucária. Embora o Plano de Manejo mencione áreas de sucessão inicial, média e avançada, estas não estão distintas no mapa de uso e ocupação do solo. Assim as unidades amostrais em Floresta Ombrófila Mista foram demarcadas na parte oeste da UC, onde é mencionada a existência de áreas nativas anteriores ao decreto de criação da FLONA (ICMBIO, 2013).

Em Santa Catarina as áreas de plantio foram amostradas na Floresta Nacional de Três Barras, que possui 634,29 ha de Araucárias plantadas em talhões de diferentes formatos e tamanhos. Embora o Plano de Manejo desta FLONA registre 767,94 ha de FOM, estas áreas não integraram a presente amostragem devido ao histórico da região, que em 1911 recebeu as

instalações da maior serraria da América Latina, de propriedade da empresa *Southern Brazil Lumber & Colonization Company* (ICMBIO, 2016), podendo, desta forma, enviesar a análise. Assim, a área de Floresta com Araucária em Santa Catarina foi demarcada no Parque Nacional das Araucárias, que apesar da exploração ocorrida, ainda abriga remanescentes de Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Decidua e, em alguns locais, áreas de transição com a Estepe Gramíneo Lenhosa (ICMBIO, 2010).

No Rio Grande do Sul, os plantios foram amostrados na Floresta Nacional de Passo Fundo, situada no planalto médio do estado. A FLONA possui uma área de 1328 ha e, além de plantios de Araucária, Pinus, Eucalipto e Erva-Mate, abriga remanescentes de Floresta com Araucárias e Estepe Gramíneo-Lenhosa (ICMBIO, 2011).

As áreas de Floresta Ombrófila Mista, entretanto, foram amostradas na única UC deste trabalho que é gerida na esfera estadual, o Parque Estadual do Espigão Alto. O parque localiza-se no norte do Rio Grande do Sul, possui área de 1325,4 ha, e abriga áreas de Floresta com Araucária e Floresta Ombrófila Densa (SEMA-RS, 2004).

Metodologias de amostragem

O presente estudo foi baseado em imagens de satélite das bases *Google Satellite* e o *Bing Satellite*, ambas acessadas a partir do *software* QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2024) através do plugin Quick Map Service (QMS). As imagens utilizadas do repositório do *Google Satellite* são originadas da coleção de satélites WorldView, Geoeye e o Pleiades, em parceria com empresas como DigitalGlobe e Airbus. As imagens do *Bing Satellite* não têm a divulgação dos sensores utilizados na composição e se destaca por apresentar uma data para as distintas áreas. O produto do *Google Satellite* permite avaliar dados temporalmente (base histórica) contudo, devido ao uso do Plugin QMS, apenas a última imagem (mais atual) foi considerada para cada área de estudo. Ambas as bases apresentam contrastes pré-aplicados e que foram ajustados por cena e por área de estudo para ressaltar as copas das árvores de interesse. A qualidade posicional e disponibilidade dos dados é satisfatória, apesar de variar bastante de acordo com a localidade (LESIV *et al.*, 2018; KILIÇ & GÜLGEN, 2020).

A qualidade radiométrica dessas imagens disponibilizadas em ambos os repositórios não pode ser considerada, visto que distintos algoritmos de realce são aplicados, e sendo os dados

apenas divulgados em distintos níveis de cinza. Ainda, para esses dados apenas uma composição RGB pode ser acessada, apesar de o produto original, por exemplo, WorldView, permitir adquirir dados em mais bandas fora do espectro do visível. Essas bandas não são disponibilizadas e as informações de correção não puderam ser aplicadas. Nesse sentido, recomenda-se futuros estudos utilizando dados brutos e devidamente corrigidos dos efeitos atmosféricos, topográficos e bidirecionais.

Primeiramente, as áreas de estudo foram localizadas no QGIS 3.4, na sequência os remanescentes e plantios foram delimitados e as unidades amostrais foram demarcadas. O tamanho das áreas de estudo permitiu definir dois desenhos amostrais para testagem quanto a sua aplicabilidade e eficácia. A área total de amostragem nos dois delineamentos e em todas as seis áreas foi mantida em 18 ha, para garantir comparações mais adequadas:

Delineamento 1: Delimitação de 18 unidades amostrais quadradas (100 x 100 m) de 1 ha, não contíguas, totalizando 18 ha por área de estudo. Sempre que possível, as unidades amostrais de 1 ha foram demarcadas a uma distância igual ou superior a 100 m da borda do fragmento e entre si, dispondo-as de forma a cobrir toda a área de vegetação alvo disponível em cada UC. Após a distribuição das unidades amostrais sobre as áreas de interesse, um ponto cardeal foi sorteado para definir a unidade amostral de início (UA 1), a segunda unidade era definida pela maior distância da primeira e assim sucessivamente.

Delineamento 2: Delimitação de 2 unidades amostrais quadradas (300 x 300 m) de 9ha, não contíguas, totalizando 18 ha por área de estudo. Da mesma forma, sempre que possível, as unidades amostrais de 9 ha foram alocadas a uma distância igual ou superior a 100 m da borda da vegetação e umas das outras, dispondo-as de forma a cobrir toda a área disponível em cada UC com o maior número possível de unidades amostrais. No intuito de abranger maior heterogeneidade ambiental, aplicou-se o critério de não amostrar unidades vizinhas.

Um aspecto que se mostrou muito importante nos dois delineamentos, mas mais acentuadamente no uso de unidades de 1 ha, foi a qualidade da imagem. Eventualmente algumas unidades foram demarcadas sobre regiões da imagem que não possuíam nitidez suficiente para permitir a individualização e reconhecimento das Araucárias em toda a sua extensão ou na maior parte dela. Nestes casos as unidades amostrais foram ignoradas.

Para todas as avaliações, a identificação das Araucárias foi realizada a partir da interpretação visual das imagens RGB cor verdadeira dos produtos Google e Bing mais atuais disponíveis. O mesmo operador realizou todas as delimitações, definindo um marcador pontual para cada árvore identificada. Nesta etapa do trabalho, optou-se pela identificação dos indivíduos da Araucária por análise visual ao invés da utilização direta de algum software de inteligência artificial. Esta análise visual preliminar serviu, principalmente, para verificar se os indivíduos de araucária possuíam padrões morfológicos discerníveis dos de outras espécies, mesmo em imagens com menor resolução (LU & WENG, 2007). Entendeu-se que o estabelecimento dos critérios de reconhecimento visual para os indivíduos de Araucária, neste primeiro momento, deveria ser feito de maneira individualizada e não automatizada, uma vez que, além da simples forma morfológica, características tais como textura, densidade relativa, forma de agrupamento e contexto espacial mostraram-se importantes para se diferenciar as Araucárias de outras espécies, especialmente em florestas não plantadas. Em resumo, o objetivo desta primeira etapa ser feita exclusivamente através de interpretação visual foi estabelecer uma linha de base qualitativa para ser comparada vis-à-vis o desempenho dos métodos automatizados a serem implementados no futuro (CONGALTON & GREEN, 2009).

Análise de distribuição espacial

Em ambos os delineamentos, todas as Araucárias identificadas dentro das unidades amostrais foram marcadas no mapa de trabalho no QGIS, a fim de se obter o par de coordenadas geográficas correspondente à posição de cada indivíduo. Os dados provenientes do Delineamento Amstral 1 foram analisados no *software* PAST 4.03 (HAMMER *et al.*, 2001). Inicialmente foi verificada a normalidade dos dados de densidade por unidades amostrais via teste de Shapiro-Wilk. Em seguida foi executada a Análise de Padrão de Pontos pelo método do vizinho mais próximo para todas as amostras. O gráfico de dispersão dos pontos do conjunto de dados de todas as áreas foi produzido após aleatorização das unidades amostrais e a Análise de Agrupamento foi realizada por grupos pareados utilizando distância euclidiana como índice de similaridade. A significância da diferença entre os grupos evidenciados na dispersão e na análise de agrupamento foi testada via Test *t*, comparando os pares de Floresta Ombrófila Mista e plantio geograficamente mais próximos, a fim de minimizar os efeitos das variações ambientais e condições de contorno.

A densidade de indivíduos foi testada quanto a autocorrelação espacial nas seis amostras do Delineamento 1 utilizando o *software* GeoDa (ANSELIN *et al.*, 2006). A fim de se verificar a influência da proximidade entre as unidades amostrais foi calculado para cada uma das áreas estudadas o Índice Global de Associação Espacial de Moran (I). Para avaliar a formação de *clusters* entre unidades próximas aplicou-se aos dados de cada área o Índice Local de Associação Espacial de Moran (LISA/Ii). Por limitação do programa, no caso de ocorrência de valores idênticos para a variável na mesma amostra, uma das unidades amostrais foi excluída por sorteio.

A matriz de pesos foi construída a partir da distância euclidiana mínima necessária para que todas as unidades fossem comparadas a pelo menos um vizinho. Devido à irregularidade na disposição das unidades amostrais, bem como às diferenças de tamanho entre as áreas amostradas, uma segunda análise local foi efetuada ampliando a distância de banda, visando aumentar o número de comparações entre as unidades amostrais.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Metodologias de amostragem

A aplicação das duas metodologias testadas na região de ocorrência natural da Floresta Ombrófila Mista resultou na amostragem de uma área total de 216 ha. No Delineamento 1 foram amostrados 54 ha em 54 unidades amostrais de 1 ha de Floresta Ombrófila Mista, contabilizando 4.041 árvores, e 54 ha em 54 unidades amostrais de 1 ha de plantios puros de *A. angustifolia*, registrando 11.233 indivíduos. No Delineamento 2 foram amostrados 54 ha em seis unidades amostrais de 9 ha de FOM, contando 2.417 árvores, e 54 ha amostrados em seis unidades amostrais de 9 ha de plantio, contabilizando 7.863 indivíduos (Tabela 2).

Ambos os delineamentos forneceram dados que permitiram o reconhecimento de padrões de distribuição distintos para os indivíduos de *A. angustifolia* nos remanescentes de floresta e nos plantios. Entretanto, foram constatadas importantes diferenças relacionadas à aplicabilidade dos métodos, considerando os dados obtidos e o esforço amostral.

Unidades amostrais menores podem ser utilizadas mesmo em fragmentos com área reduzida, sendo este um achado importante para validação deste tipo de amostragem, uma vez

que fragmentos pequenos são a realidade da maioria dos remanescentes de Floresta Ombrófila Mista (RIBEIRO *et al.* 2009; ZOREK *et al.* 2024). O mesmo vale para as áreas de plantio, pois mesmo dentro de uma mesma UC, o formato e o tamanho dos talhões podem ser muito variáveis (ICMBIO, 2011; ICMBIO, 2013; ICMBIO, 2016), limitando o estabelecimento de parcelas. As unidades amostrais menores podem ser distribuídas nos recortes e contornos irregulares dos fragmentos de floresta e dos talhões, de forma a abranger de forma mais eficiente toda a área de cobertura vegetal disponível.

Tabela 2: Número de árvores de *A. angustifolia* registradas nas áreas amostradas nos dois delineamentos amostrais testados para a região de ocorrência natural da espécie no Sul do Brasil.

Vegetação Delineamento	FOM				Plantios			
	UAs 1 ha		UA s 9 ha		UAs 1 ha		UA s 9 ha	
	ind.	ind./ha	ind.	ind./ha	ind.	ind./ha	ind.	ind./ha
PR	1314	73,00	715	39,72	3018	167,67	2352	130,67
SC	1168	64,89	475	26,39	4083	226,83	2207	122,61
RS	1559	86,61	1227	68,17	4132	229,56	3304	183,56
Total	4041		2417		11233		7863	

Fonte: Autor

Outro ponto importante a ser destacado sobre o uso de unidades de 1 ha é que nos remanescentes maiores é possível realizar grande número de réplicas, fornecendo repetições adequadas às análises estatísticas (GOTELLI & ELLISON, 2010). Além disso, um número ampliado de unidades amostrais menores viabiliza o descarte de unidades pouco informativas (aquelas com baixa qualidade de imagem) sem comprometer o tamanho amostral.

Por outro lado, requer atenção o fato que unidades amostrais de 1 ha podem conter baixa heterogeneidade ambiental e variância espacial. Desta forma, não só o número de réplicas é importante, como também o distanciamento entre elas, visando incluir na amostragem as diferentes situações ambientais existentes no fragmento. Esta observação baseia-se em estudos que mostram que a composição florística e estrutural do componente arbóreo das Florestas Ombrófilas Mistas varia significativamente em função da variação das condições ambientais (LONGHI *et al.*, 2010; HIGUCHI *et al.*, 2012; ANSOLIN *et al.* 2016). Neste contexto, pensando-se em uma futura utilização de algoritmos de inteligência artificial para o

reconhecimento dos padrões espaciais de Araucária, a seleção adequada de amostras de treinamento é fundamental para a implementação destes modelos (LARY *et al.*, 2016) e para a assertividade na detecção de espécimes de araucárias, conforme já explicitado na seção Material e Métodos.

Neste sentido, uma das vantagens de se utilizar unidades amostrais de 9 ha é a sua heterogeneidade ambiental interna. De fato, os padrões encontrados no presente estudo em 18 unidades amostrais de 1 ha em cada área de amostragem foram praticamente os mesmos daqueles encontrados em duas 2 unidades amostrais de 9 ha. Entretanto, se considerarmos que o esforço amostral é praticamente o mesmo nos dois casos, as unidades amostrais de 1 ha são preferíveis, pois com esforços amostrais equivalentes obtém-se um número muito maior de réplicas, o que permite uma ampla gama de análises e testes estatísticos, conferindo robustez aos resultados encontrados.

Análise de Distribuição Espacial

O arranjo dos indivíduos dentro das unidades amostrais submetido à análise de padrão de pontos pelo vizinho mais próximo realizada para todas as amostras de ambos os delineamentos mostrou que as unidades amostrais provenientes de FOM apresentaram maior variação entre os padrões aleatório, disperso e agregado. Já as unidades amostrais em plantios foram consistentemente classificadas como de padrão disperso (Quadro 1 e Tabela 3).

A falta de um padrão predominante entre as amostras de FOM provenientes do Delineamento 1 pode ser explicada pela imprevisibilidade na distribuição dos indivíduos, o que é condizente com os processos estocásticos aos quais ambientes naturais estão sujeitos (GOTELLI, 2007). Anjos *et al.* (2004) estudando fragmentos de Floresta Ombrófila Mista com diferentes composições florísticas e contextos fitogeográficos em Santa Catarina encontraram alta variação na distribuição espacial para a Araucária. Embora os autores não tenham testado, este resultado sugere a influência da distribuição de outras espécies sobre a distribuição de *A. angustifolia*. Outra questão aberta neste estudo foi o papel da distribuição dos indivíduos femininos e masculinos. Paludo *et al.* (2009), também em Santa Catarina, investigaram o padrão espacial de regenerantes e adultos masculinos e femininos, encontrando o padrão agregado com tendência a um espaçamento uniforme influenciado pela distância, sem evidência de relação

entre a distribuição de adultos e regenerantes. Estes dois estudos ilustram a complexidade das relações ecológicas que regem os padrões e processos em ambientes naturais.

Quadro 1: Análise de padrão de pontos pelo vizinho mais próximo para as seis áreas amostradas na região de ocorrência natural da Floresta Ombrófila Densa no Sul do Brasil, pelo Delineamento 1 e pelo Delineamento 2.

Delineamento 1						
UAS	PR FOM	PR PLT	SC FOM	SC PLT	RS FOM	RS PLT
1	agregado	disperso	disperso	disperso	disperso	disperso
2	aleatório	disperso	aleatório	disperso	disperso	disperso
3	aleatório	disperso	disperso	disperso	aleatório	disperso
4	disperso	disperso	disperso	disperso	aleatório	disperso
5	aleatório	disperso	aleatório	disperso	aleatório	disperso
6	aleatório	disperso	aleatório	disperso	disperso	disperso
7	disperso	disperso	aleatório	disperso	aleatório	disperso
8	aleatório	disperso	aleatório	disperso	aleatório	disperso
9	aleatório	disperso	aleatório	disperso	aleatório	disperso
10	aleatório	disperso	aleatório	disperso	aleatório	disperso
11	disperso	disperso	agregado	disperso	aleatório	disperso
12	disperso	disperso	agregado	disperso	disperso	disperso
13	disperso	disperso	aleatório	disperso	disperso	disperso
14	aleatório	disperso	aleatório	disperso	aleatório	disperso
15	disperso	disperso	disperso	disperso	disperso	disperso
16	disperso	disperso	aleatório	disperso	disperso	disperso
17	disperso	disperso	aleatório	disperso	aleatório	disperso
18	disperso	disperso	aleatório	disperso	disperso	disperso
Delineamento 2						
UAS	PR FOM	PR PLT	SC FOM	SC PLT	RS FOM	RS PLT
1	aleatório	disperso	disperso	disperso	disperso	disperso
2	aleatório	disperso	disperso	disperso	aleatório	disperso

Fonte: Autor

Nas unidades amostrais de plantio, ao contrário, 100% das unidades amostrais apresentaram o padrão disperso, o que remete aos esforços de manejo de plantio, nos quais o objetivo é proporcionar espaço adequado para o desenvolvimento dos indivíduos (SILVA, 2017). Embora os plantios apresentem variações entre si em função dos diferentes históricos e tipos de manejo, todos passaram por processos semelhantes, especialmente nos estágios iniciais. Os plantios foram feitos a partir de sementes com diferentes densidades de povoamento (1 m a 10 m de distância entre as covas), havendo capinas e/ou roçadas nos primeiros anos de desenvolvimento das mudas e raleamentos nos anos seguintes (ICMBIO, 2011; ICMBIO, 2013;

ICMBIO, 2016). O crescimento da Araucária depende, além do seu potencial genético e das condições ambientais relacionadas ao solo e ao clima, de condições de luminosidade e espaçamento, sendo papel do manejo garantir o espaço vital para os indivíduos em plantios (SILVA, 2017; MATTOS *et al.*, 2021). Os resultados sugerem que estes cuidados direcionaram as áreas de plantio para um distanciamento relativamente homogêneo entre os indivíduos dos talhões, embora este distanciamento seja variável em função das decisões de cada manejo.

Tabela 3: Representatividade dos padrões de pontos pelo vizinho mais próximo para as seis áreas amostradas na região de ocorrência natural da Floresta Ombrófila Densa no Sul do Brasil, pelo Delineamento 1 e pelo Delineamento 2.

Áreas	PR FOM		PR PLT		SC FOM		SC PLT		RS FOM		RS PLT	
	1 ha	9 ha	1 ha	9 ha	1 ha	9 ha	1 ha	9 ha	1 ha	9 ha	1 ha	9 ha
Padrões	(%)											
Disperso	50,0	0,0	100,0	100,0	22,2	0,0	100,0	100,0	44,4	50,0	100,0	100,0
Aleatório	44,4	100,0	0,0	0,0	66,7	100,0	0,0	0,0	55,6	50,0	0,0	0,0
Agregado	5,6	0,0	0,0	0,0	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

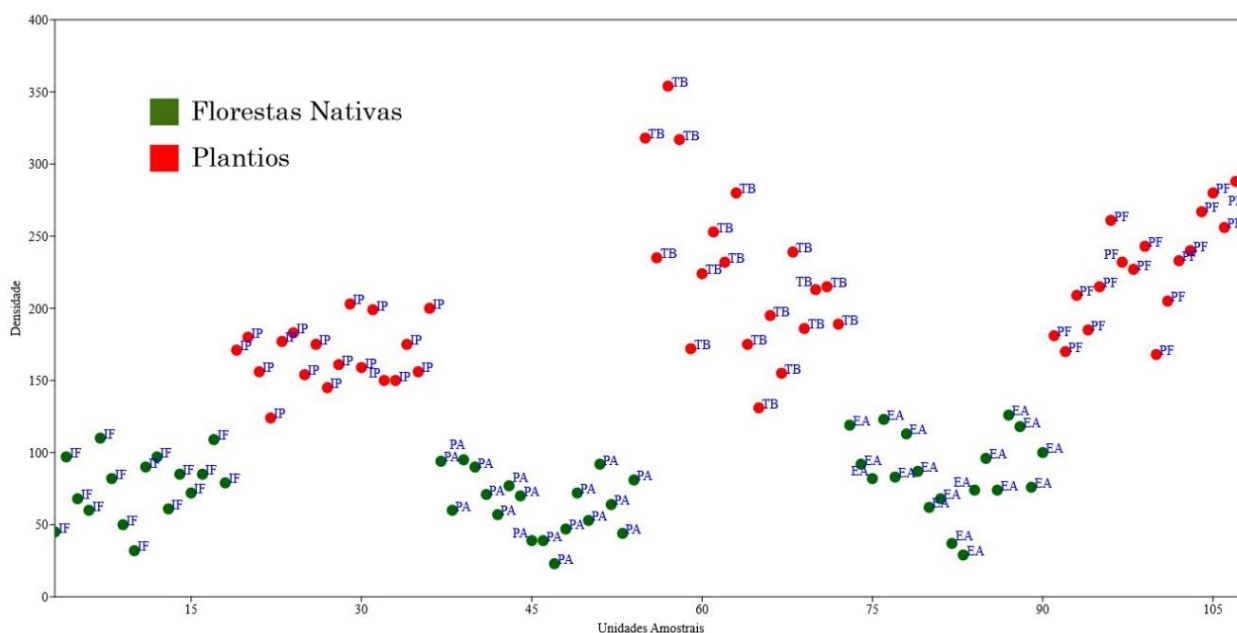
Fonte: Autor

O conjunto de dados obtidos pelo Delineamento 2 apresentou resultados semelhantes. O padrão aleatório foi observado em todas as unidades amostrais de FOM, com exceção da amostra do Rio Grande do Sul, que apresentou uma unidade amostral com padrão aleatório e uma com padrão disperso. Por sua vez, o padrão disperso foi novamente evidenciado em todas as unidades de plantio.

Os dados coletados no Delineamento 1 permitiram a realização de análises estatísticas que evidenciaram diferenças significativas entre a densidade de indivíduos de *A. angustifolia* nos remanescentes de floresta daquele encontrado nos plantios. O gráfico de dispersão das unidades amostrais pela densidade caracterizou duas camadas bem definidas com apenas dois pontos de FOM posicionando-se acima 120 ind/ha (123 e 126 indivíduos em RS FOM) e nenhum ponto de plantio posicionando-se abaixo deste limiar (Figura 2). A densidade de Araucárias nas unidades amostrais de plantio variou de 124 a 354 ind/ha, apresentando médias de 167,67 ind/ha, 226,83 ind/ha e 229,59 ind/ha, respectivamente para PR PLT, SC PLT e RS PLT. As densidades registradas, entretanto, correspondem às Araucárias identificadas nas imagens de satélite, e não necessariamente a todas as árvores de fato existentes nas áreas, uma

vez que a individualização das copas é em parte limitada pela sobreposição das copas maiores e mais altas em relação às copas menores e mais baixas. Assim, devido a limitações associadas às imagens, os estratos inferiores tendem a ser subestimados.

Figura 2: Dispersão das unidades amostrais pela densidade (indivíduos/hectare) para as seis áreas amostradas na região de ocorrência natural da Floresta Ombrófila Mista no Sul do Brasil, pelo Delineamento 1 (u.a. de 1 ha).



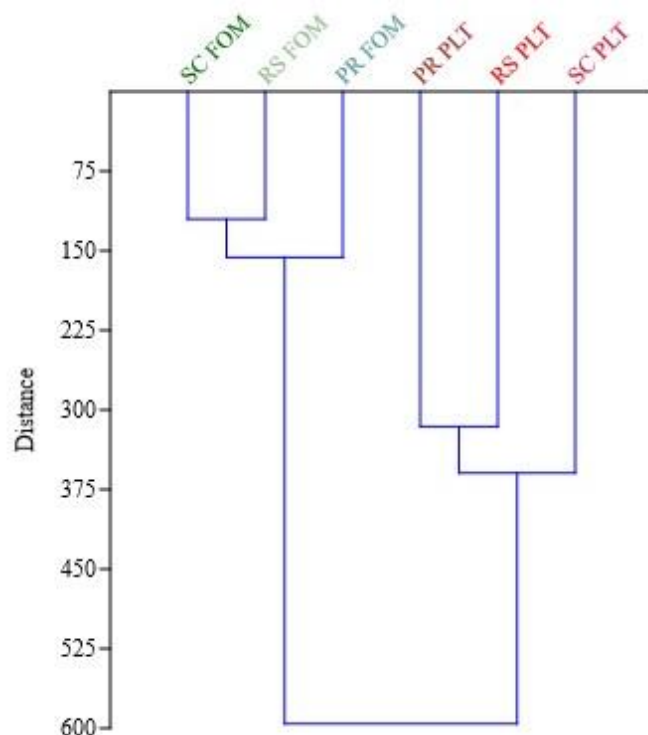
Fonte: Autor

A Figura 2 mostra que a densidade de indivíduos dentro da mesma área é bastante variável, mas segue um padrão para a floresta natural e outro para o plantio dentro da amostragem total. De forma concordante, a análise de agrupamento realizada com os dados do Delineamento 1 (Figura 3) evidenciou a separação bem pronunciada de dois grupos, um formado pelas amostras de FOM e outro pelas amostras de plantio. O que é condizente com a análise de padrão de pontos apresentada anteriormente.

Dentro do grupo formado pelas amostras de FOM, os remanescentes de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul foram mais similares entre si do que com as amostras do Paraná. Esta maior similaridade pode ser devida à presença de outros tipos de vegetação presentes nas UCs,

conferindo um caráter mais ecotonal às florestas. De acordo com os Planos de Manejo, o Parque Nacional das Araucárias (SC FOM), possui remanescentes de Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Decidual e em alguns locais ocorre áreas de transição com a Estepe Gramíneo Lenhosa (ICMBIO, 2010) enquanto o Parque Estadual do Espigão Alto (RS FOM) possui remanescente de Floresta com Araucária e Floresta Ombrófila Densa (SEMA-RS, 2004). Já a vegetação da Floresta Nacional de Irati (PR FOM) é descrita apenas como Floresta com Araucária, em diferentes estágios de sucessão.

Figura 3: Análise de agrupamento das seis áreas amostradas na região de ocorrência natural da Floresta Ombrófila Mista no Sul do Brasil, pelo Delineamento 1 (u.a. de 1 ha).



Fonte: Autor

Dentro do grupo formado pelas amostras de plantio, as áreas do Paraná e do Rio Grande do Sul foram mais similares, considerando as métricas derivadas dos dados pontuais associados aos indivíduos (Figura 3).

A significância da diferenciação entre remanescentes de florestas e plantios evidenciada nas Figuras 2 e 3 foi testada via Teste *t*. Dada a enorme variação ambiental inerente à ampla área de distribuição natural da Floresta Ombrófila Mista, as amostras de florestas nativas e de plantio foram comparadas aos pares pertencentes ao mesmo estado, por estas serem mais próximas geograficamente (Tabela 4).

Tabela 4: Variação das médias e probabilidade de semelhança entre floresta e plantio obtidas pelo Teste *t* para os pares de áreas dos três estados de ocorrência natural da Floresta Ombrófila Mista no Sul do Brasil, pelo Delineamento 1 (u.a. de 1 ha)

Fonte: Autor

	PR		SC		RS	
Teste <i>t</i>	FOM	PLT	FOM	PLT	FOM	PLT
Média	73,00	167,67	64,89	226,83	86,61	229,56
<i>P</i>		0,001		0,0001		0,0001

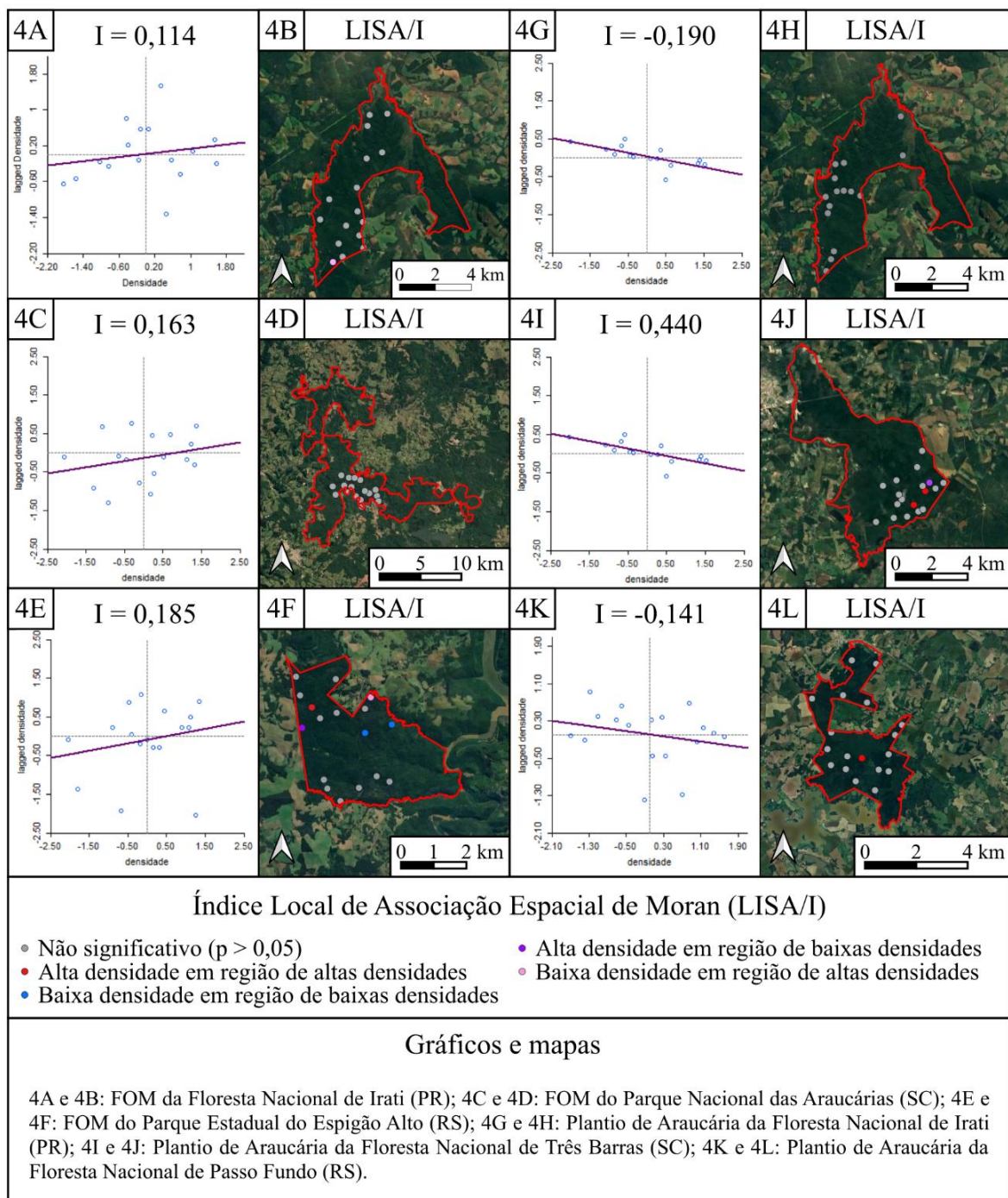
Os resultados indicaram que as amostras foram suficientes para distinguir o padrão de distribuição apresentado pela *A. angustifolia* nos remanescentes daquele encontrado nos plantios, sendo a diferença fortemente significativa para todos os pares de amostras testados.

Análise de Autocorrelação Espacial

Os resultados das análises de autocorrelação espacial global e local efetuadas a partir da matriz de pesos por distância utilizando a distância mínima (Figura 4) não evidenciaram uma forte influência da proximidade sobre a densidade de indivíduos para o conjunto de dados de nenhuma das áreas de FOM e para duas áreas de plantio, todas com menos de quatro unidades amostrais com significância no LISA. Somente a amostra da FLONA de Três Barras (SC PLT) apresentou autocorrelação positiva mais acentuada ($I = 0,440$) e cinco unidades amostrais com significância para a formação de *clusters* locais. Este resultado, entretanto, não se manteve quando a distância utilizada para a construção da matriz de pesos foi ampliada, visando aumentar o número de comparações (Tabela 5).

Figura 4: Índice Global de Associação Espacial de Moran (*I*) e Índice Local de Associação Espacial de Moran (LISA/*I*_i) para a variável densidade nas unidades

amostrais das áreas de floresta e de plantio estudadas na região de ocorrência natural da
Floresta Ombrófila Mista no Sul do Brasil, pelo Delineamento 1 (u.a. de 1 ha).



Fonte: Autor

De modo geral as amostras apresentaram baixa correlação espacial global, variando entre valores positivos e negativos e poucas unidades amostrais (menos de 30%) significativamente relacionadas a *clusters* locais (Figura 4 e Tabela 5). Estes resultados indicam que, embora não se possa rejeitar a influência da distância, tanto nas amostras de floresta nativa quanto nas de plantio, as unidades amostrais apresentaram baixa dependência da sua localização no espaço em relação as suas vizinhas. Portanto, as diferenças de densidade observadas deverão ser mais bem exploradas para que outros fatores de explicação sejam extraídos, possivelmente relacionados à heterogeneidade ambiental, no caso das florestas, e ao manejo, no caso dos plantios.

Tabela 5: Índice Global de Associação Espacial de Moran (I) e unidades amostrais com associação espacial local significante ($p < 0,05$) pelo Índice Local de Associação Espacial de Moran (LISA/Ii) para a variável densidade nas unidades amostrais das áreas de floresta e de plantio estudadas na região de ocorrência natural da Floresta Ombrófila Mista no Sul do Brasil, pelo Delineamento 1 (u.a. de 1 ha).

Área	Distância	I	UAs significantes	
			n ^o .	%*
PR FOM	Mínima	0,114	1	6,25
	Ampliada	-0,174	2	12,50
SC FOM	Mínima	0,163	0	0,00
	Ampliada	0,018	1	5,85
RS FOM	Mínima	0,185	5	29,41
	Ampliada	0,028	4	23,53
PR PLT	Mínima	-0,190	0	0,00
	Ampliada	-0,146	0	0,00
SC PLT	Mínima	0,440	3	16,67
	Ampliada	0,020	5	27,78
RS PLT	Mínima	-0,141	1	5,56
	Ampliada	-0,085	2	11,11

* calculada sobre o número total de unidades amostrais consideradas na análise

Fonte: Autor

CONCLUSÃO

A intensa exploração da floresta com Araucária ocorrida principalmente durante o século XX reduziu a formação da Floresta Ombrófila Mista a fragmentos altamente ameaçados de desaparecimento. Dentre os diversos esforços de conservação da floresta, o presente estudo traz uma importante contribuição, apresentando uma metodologia que possibilita a identificação de áreas remanescentes de Floresta com Araucária, diferenciando-as de áreas de plantio a partir de dados simples de serem extraídos de imagens de satélite de livre acesso. Estes dados são, principalmente, densidade de indivíduos (significativamente maior em áreas plantadas) e padrões de distribuição espacial (sempre disperso em florestas plantadas e misto em florestas de ocorrência natural).

O maior refinamento trazido por estas análises na definição de áreas de ocorrência das florestas de Araucária tem o potencial de impactar diretamente a precisão dos limites abrangidos pelas FOM e, conseqüentemente, a abrangência da cobertura deste tipo de fisionomia representada, por exemplo, em mapas fitogeográficos. O fato de determinada área possuir indivíduos de Araucária que se estabeleceram e se mantêm de forma espontânea sugere pelo menos que o local possui viabilidade ambiental para sustentar tal arranjo florestal. Isso tem reflexos diretos nas estimativas de cobertura florestal remanescente, essenciais para a definição de estratégias e políticas de preservação ambiental, podendo agilizar o processo de reconhecimento e seleção de áreas prioritárias para conservação diante da iminente perda de nicho ambiental causado pelas mudanças climáticas em curso.

É imperativo enfatizar que, dado que este estudo logrou relativo êxito em identificar padrões de distribuição espacial que permitiram diferenciar significativamente se uma população de *Araucaria angustifolia* era de ocorrência natural ou plantada, os próximos estudos neste tema terão por objetivo testar a automatização deste processo a partir de algoritmos de inteligência artificial para tornar o reconhecimento destes padrões mais rápido e objetivo.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal da Fronteira Sul, pela concessão do afastamento para capacitação à primeira autora. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria, Campus Frederico Westphalen, por propiciar as condições para que a presente pesquisa fosse desenvolvida. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo 305452/2023-1) pelo auxílio no projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, A., MAZZA, M.C.M., SANTOS, A.C.M.C., DELFINI, L.T. Análise do padrão de distribuição espacial da araucária (*Araucariaangustifolia*) em algumas áreas do estado do Paraná, utilizando a função K de Ripley. **Scientia Forestalis** 66: 38-45. 2004. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr66/cap03.pdf>. Acesso em: 14 mar 2025
- ANSELIN, L., SYABRI, I & KHO, Y. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. **Geographical Analysis** 38(1):5-22. 2006. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-03647-7_5. Acesso em: 10 fev 2025
- ANSOLIN, R.D., SILVA, A.C, HIGUCHI, P., KÜSTER, L.C, FERREIRA, T.S., BUZZI JÚNIOR, F., BENTO, M.A, AGUIAR, M.D., CRUZ, A.P. Heterogeneidade ambiental e variação florístico-estrutural em umfragmento de floresta com Araucária na Coxilha Rica – SC. **Ciência Florestal** 26(4):1201-1210. 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509825111>.
- BACKES, A. Condicionamento climático e distribuição geográfica de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no Brasil. **Pesquisas, Botânica**, 39:5-39. 1988.
- BACKES, A. Condicionamento climático e distribuição geográfica de *Araucariaangustifolia* (Bertol.) Kuntze noBrasil – II. **Pesquisas, Botânica**, 49:31-51.1999.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Lei n. 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF, 2006. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm. Acesso em: 09 mar 2025.
- CARLUCCI, M.B., JARENKOW, J.A., DUARTE, L.S. & PILLAR, V.P. Conservação da Floresta com Araucária no Extremo Sul do Brasil. **Natureza & Conservação** 9(1):111-114. 2011. doi: 10.4322/natcon.2011.015
- CONGALTON, R. G. & GREEN, K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Londres: CRC press. 2009.

CUNHA, A.A., CRUZ, C.B.M. & FONSECA, G.A.B. Mata Atlântica Legal: integrando as visões da biogeografia às políticas públicas para conservação de um *hotspot* de biodiversidade. **Sustainability in Debate** 10(3): 337-353. 2019. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/issue/view/1942> . Acesso em: 22 nov 2024.

FONSECA, G.A.B., RYLANDS, A., PAGLIA, A. & MITTERMEIER, R. Atlantic Forest. In: MITTERMEIER, R.A., GIL, P.R., HOFFMANN, M., PILGRIM, J., BROOKS, T., MITTERMEIER, C.G., LAMOREAUX, J., DA FONSECA, G.A.B., eds. 2004. **Hotspots Revisited. Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. Mexico City: CEMEX/Agrupacion Sierra Madre. p 392. 2004.

GIONGO, C. & WAECHTER, J. L. Composição florística e espectro de dispersão das espécies arbóreas de uma Floresta Mista com Podocarpus, Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Biociências** 5(2):333-335. 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042004000300015>

GOTELLI, N.J. & ELLISON, A.M. **Princípios de estatística em ecologia**. Porto Alegre: ArtMed. 2010.

GOTELLI, N.J. **Ecologia**. Londrina: Editora Planta. 2007.

HAMMER, Ø., HARPER, D. A. T., & RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, 4, 9 p. 2001
Disponível em: <http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm> Acesso em: 28 dez 2024.

HIGUCHI, P., SILVA, A.C, FERREIRA, T.S., SOUZA, S.T., GOMES, J.P., SILVA, K.M., SANTOS, K.F., LINKE, C. & PAULINO, P.S. Influência de variáveis ambientais sobre o padrão estrutural e florístico do componente arbóreo em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana, em Lages, SC. **Ciência Florestal** 22(1):79-90. 2012. <https://doi.org/10.5902/198050985081>

HUECK, K. Distribuição e habitat natural do pinheiro do paraná (Araucaria angustifolia). **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras**, Universidade de São Paulo. Botânica, v. 10, p. 5-24. 1953.

IBGE/MMA. **Mapa de Biomas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE. 2024. Disponível em: https://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomas/mapas/SistCos_tMar_AmAz_2024_15M.pdf. Acesso em: 09 mar 2025.

IBGE/MPOG. **Mapa de Vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE. 2004. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/10872-vegetacao.html>. Acesso em: 09 mar 2025.

ICMBIO. **Plano de Manejo do Parque Nacional das Araucárias**. Volume I. Brasília: IBGE. 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de->

[conservacao/unidades-de-biomas/mata-atlantica/lista-de-ucs/parna-das-araucarias](#). Acesso em 15 mar 2025.

ICMBIO. **Plano de Manejo Floresta Nacional de Irati**. Volume I. Fernandes Pinheiro. IBGE. 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/mata-atlantica/lista-de-ucs/flona-de-irati/flona-de-irati>. Acesso em 15 mar 2025.

ICMBIO. **Plano de Manejo Floresta Nacional de Passo Fundo**. Florianópolis. IBGE: 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/mata-atlantica/lista-de-ucs/flona-de-passo-fundo/flona-de-passo-fundo>. Acesso em 15 mar 2025.

ICMBIO. **Plano de Manejo Floresta Nacional de Três Barras**. Volume I. Brasília: IBGE. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/mata-atlantica/lista-de-ucs/flona-de-tres-barras/flona-de-tres-barras>. Acesso em 15 mar 2025.

KILIÇ, B. GÜLGEN, F.. Accuracy and Similarity Aspects in Online Geocoding Services: A Comparative Evaluation for Google and Bing Maps. **International Journal of Engineering and Geosciences**, v. 5, p. 109–19. 2020. <https://doi.org/10.26833/ijeg.629381>

LARY, D.J., ALAVI, A.H., GANDOMI, A.H. & WALKER, A.L. 2016. “Machine Learning in Geosciences and Remote Sensing.” *Geoscience Frontiers* 7(1):3–10. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.07.003>

LEITE, P.F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: **Geografia do Brasil - Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE. 419p. 1990.

LESIV, M., SEE, SEE, L.M., BAYAS, J.C.L., STURN, T., SCHEPASCHENKO, D., KARNER, M., MOORTHY, I., MCCALLUM, I.M., & FRITZ, S. 2018. Characterizing the Spatial and Temporal Availability of Very High Resolution Satellite Imagery in Google Earth and Microsoft Bing Maps as a Source of Reference Data. **Land** 7(4):118. <https://doi.org/10.3390/land7040118>

LONGHI, S.J., BRENA, D.A., RIBEIRO, S.B., GRACIOLI, C.R.M, LONGHI, R.V., MASTELLA, T. Fatores ecológicos determinantes na ocorrência de *Araucaria angustifolia* e *Podocarpus lambertii*, na Floresta Ombrófila Mista da FLONA de São Francisco de Paula, RS, Brasil. **Ciência Rural** 40(1). 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000220>.

LU, D., & WENG, Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. **International Journal of Remote Sensing** 28 (5): 823–870. 2007. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01431160600746456>. Acesso em 02 Set 2025.

MATTOS, P.P., BRAZ, E.M., CANETTI, A., RODRIGUES, A.L., CURTO, R. A.C., STEPKA, T.F., FIGUEIREDO FILHO, A., DALLA CORTE, A.P., SANQUETTA, C.R., MACHADO, S.A., PELLICO NETTO, S. Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia*

em florestas naturais e em plantios estabelecidos na região Sul do Brasil. In: **Araucária: pesquisa e desenvolvimento no Brasil**. SOUSA, V. A., FRITZSON, E., PINTO JUNIOR, J. E. & AGUIAR, A. V. (eds.) Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 229-248. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1137523>. Acesso em: 08 mar 2025.

MITTERMEIER, R.A., GIL, P.R., HOFFMANN, M., PILGRIM, J., BROOKS, T., MITTERMEIER, C.G., LAMOREAUX, J., DA FONSECA, G.A.B., eds. 2004. **Hotspots Revisited. Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. Mexico City: CEMEX/Agrupacion Sierra Madre. p 392. 2004.

MYERS, N. Threatened Biotas: 'Hotspots' in Tropical Forests. **The Environmentalist** 8:1-20. 1988. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02240252>. Acesso em 15 mar 2025.

MYERS, N., R.A. MITTERMEIER, C.G. MITTERMEIER, G.A.B. DA FONSECA, and J. KENT. Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities. **Nature** 403:853-858. 2000. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/35002501>. Acesso em 15 mar 2025.

OLIVEIRA-FILHO, A.T. & FONTES, M.A.L. Patterns of Floristic Differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the Influence of Climate. 2000. **Biotropica** 32(4b): 793-810. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00619.x>

PALUDO, G.F., MANTOVANI, A., KLAUBERG, C., REIS, M.S. Estrutura demográfica e padrão espacial de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), na Reserva Genética Florestal de Caçador, Estado de Santa Catarina. **Revista Árvore** 33(6)1109-1121. 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/488/48815855013.pdf> Acesso em: 20 dez 2024.

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. 2024. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org> Acesso em: 20 out 2024.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**. 3a. ed, 2a. reimpressão. Unisinos. São Leopoldo. 1956.

RIBEIRO, M.C., METZGER, J.P., MARTENSEN, A.C., PONZONI, F.J., HIROTA, M.M. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation** 142 (6): 1141–1153. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>

SARAIVA, D.D., ESSER, L.F., GRASEL, D. & JARENKOW, J.A. Distribution shifts, potential refugia, and the performance of protected areas under climate change in the Araucaria moist forests ecoregion. **Applied Vegetation Science**, 2021. 24, e12628. <https://doi.org/10.1111/avsc.12628>

SEMA-RS. **Plano de Manejo do Parque Estadual do Espigão Alto**. Porto Alegre. 127p.2004. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201611/16153327-plano-de-manejo-pe-espigao-alto-parte1-compressed.pdf>. Acesso em 08 mar 2025.

- SILVA, F. A., FORTES, F.O., RIVA, D. & SCHORR, L.P.B. Caracterização de índices morfométricos para *Araucaria angustifolia* plantada na Região Norte do Rio Grande do Sul. **Advances in Forestry Science**, v.4, n.3, p.143-146, 2017. <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v4i3.5111>
- SILVESTRE, R., KOEHLER, H.S., MACHADO, S.A., BALBINO, R. & WATZLAWICK, L.F. Análise estrutural e distribuição espacial em remanescente de Floresta Ombrófila Mista, Guarapuava (PR). **Revista Ambiência** 8(2):259-274. 2012. <http://dx.doi.org/10.5777/ambiencia>
- VELOSO, H.P. Os grandes climaxes do Brasil: I – Considerações sobre os tipos vegetativos da região sul. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz** 60(2):175-194. 1962.
- WREGE, M. S. SOUSA, V.A., FRITZSON, E., SOARES, M.T.S., AGUIAR, A.V. Predicting Current and future geographical distribution of *Araucaria* niche modeling. **Environmental and Ecology Research**. v. 4, p. 269-279. 2016. DOI: 10.13189/eer.2016.040506. Disponível em: <https://pfb.sede.embrapa.br/pfb/article/view/1413> Acesso em 21 out 2024.
- WREGE, M. S.; FRITZSON, E.; SOARES, M. T. S.; BOGNOLA, I. A.; SOUSA, V. A. de; SOUSA, L. P. de. Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 37, n. 91, p. 331-346. 2017. DOI: 10.4336/2017.pfb.37.91.1413. Disponível em: https://www.hrpublish.org/journals/article_info.php?aid=5182 Acesso em out 2024.
- ZOREK, E.B., BISWAS, B., BRUM, F.T., LEIMGRUBER, P., CARLUCCI, M.B. How much *Araucaria* Mixed Forest remains? Novel perspectives on conservation status based on satellite imagery and policy review. **Biological Conservation**, v. 296, p. 11072. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110723>