

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA
NÍVEL MESTRADO**

GABRIELA MORAIS OLMEDO

**SILVICULTURA DE *Araucaria angustifolia* NO RIO GRANDE DO SUL:
CERTIFICAÇÃO DE PLANTIOS, PERFIL DAS PROPRIEDADES E
CRESCIMENTO DAS ÁRVORES**

**São Leopoldo
2023**

GABRIELA MORAIS OLMEDO

**SILVICULTURA DE *Araucaria angustifolia* NO RIO GRANDE DO SUL:
CERTIFICAÇÃO DE PLANTIOS, PERFIL DAS PROPRIEDADES E
CRESCIMENTO DAS ÁRVORES**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biologia, pelo Programa de Pós-Graduação em Biologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador: Prof. Dr. Juliano Morales de Oliveira

São Leopoldo

2023

O51s Olmedo, Gabriela Morais.
Silvicultura de *Araucaria angustifolia* no Rio Grande do Sul : certificação de plantios, perfil das propriedades e crescimento das árvores / Gabriela Morais Olmedo. – 2023.
98 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Biologia, 2023.
“Orientador: Prof. Dr. Juliano Morales de Oliveira.”

1. Pinheiro-do-paraná. 2. Silvicultura tropical. 3. Uso para conservação. 4. Legislação ambiental. 5. Incremento diamétrico. 6. Modelagem de crescimento. I. Título.

CDU 573

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecária: Amanda Schuster – CRB 10/2517)

GABRIELA MORAIS OLMEDO

**SILVICULTURA DE *Araucaria angustifolia* NO RIO GRANDE DO SUL:
CERTIFICAÇÃO DE PLANTIOS, PERFIL DAS PROPRIEDADES E
CRESCIMENTO DAS ÁRVORES**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biologia, pelo Programa de Pós-Graduação em Biologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Aprovado em (dia) (mês) (ano)

BANCA EXAMINADORA

Dr. Juliano Morales de Oliveira – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Dr. Marcelo Callegari Scipioni – Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Maurício Sedrez dos Reis – Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS À CAPES

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*“Dedico essa dissertação à **Miguel Olmedo Netto** e **Márcia Regina Pazetto Moraes**, grandes inspirações na biologia e na vida.”*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, **Catia Cristina Moraes Olmedo** e **André Amândio Olmedo**, obrigada por sempre estarem ao meu lado, apoiando as minhas decisões e me incentivando a ir além. Vocês são essenciais para esta conquista e todas as outras que virão. Obrigada por compreenderem os momentos de ausência. Espero dar sempre orgulho a vocês. São minha base, amo vocês!

Ao **Rodrigo Meurer Romanini**, obrigada por estar ao meu lado, dando suporte e apoio. Obrigada por somar, me amar e embarcar comigo em tantos sonhos. Também agradeço por compreender os momentos em que estive ausente durante essa trajetória. És essencial!

Às amigas **Amanda Bauer**, **Andressa Adolfo**, **Caroline Bruckmann** e **Natascha Horn**, muito obrigada pela companhia e cafés diários. Vocês foram fundamentais durante este período, sobretudo nos últimos meses. Obrigada por estarem sempre presente e por fazerem eu ficar menos cinza. Compartilhar o dia a dia com vocês tem sido essencial e espero levar essa amizade para vida.

À minha família, em especial aos meus avós **Dario Moraes**, **Maria de Lourdes Amândio Olmedo**, **Miguel Olmedo Netto** (*in memoriam*) e **Nara Pazetto Moraes**, sou muito grata por tudo que aprendi e aprendo com vocês. Obrigada por também compreenderem os momentos em que estive ausente.

Aos amigos de longa data (e distância), **Marcela Marmitt**, **Rafaela Pavani**, **Santiago Noronha** e **Wesley Dias**, sou muito grata por estarem sempre presente quando necessário. Obrigada pelo suporte e apoio.

Agradeço aos **professores e ao Programa de Pós-Graduação em Biologia** da UNISINOS, por tornarem possível a realização desta defesa nesta data. Ao auxílio do **Lucas Silveira Kupssinsku**, que disponibilizou tempo para conversarmos sobre as análises realizadas nesta dissertação.

Ao **Dr. Leonardo Marques Urruth**, técnico da SEMA que auxiliou muito na realização deste trabalho. Obrigada por estar sempre disposto a compartilhar ideias e conversar sobre nossas dúvidas em relação ao procedimento.

Ao **Laboratório de Ecologia Vegetal** da UNISINOS e aos tantos colegas que tive o prazer de conviver durante minha caminhada neste local. Em especial, agradeço à amiga **Bruna Borne Arenhardt**, quem vem compartilhando comigo parte da graduação e o curso de Mestrado. Obrigada por todo o apoio, conversas, conselhos e risadas. Compartilhar todo esse período contigo fez toda a diferença. Espero levar tua amizade para a vida.

Por fim e em especial, sou muito grata ao meu orientador, **Dr. Juliano Morales de Oliveira**. Muito obrigada por esses quase oito anos de parceria e amizade. Sou muito grata por todas as oportunidades e confiança depositada em mim desde o início de minha caminhada no laboratório. Obrigada por todo o apoio e tempo despendido para realização desta dissertação e de tantos outros projetos que participamos juntos. Aprendo e me inspiro muito em ti. Obrigada por me apresentar e me ensinar sobre ecologia vegetal e a dendrocronologia, áreas que desejo seguir daqui em diante. Espero, e desejo, que possamos continuar trabalhando juntos nos próximos anos.

RESUMO

Modelos de agricultura e silvicultura convencionais vêm impactando fortemente a biodiversidade em nível global. O Brasil é um dos principais representantes destes setores, que devem buscar modelos mais sustentáveis. Plantações florestais com espécies nativas têm se mostrado alternativas para promoção da produção socioeconômica e da conservação da biodiversidade. Entretanto essas abordagens “*bottom-up*” de conservação, ou seja, incorporando os interesses da população local, são pouco incentivadas no país. *Araucaria angustifolia* é uma conífera nativa, com potencial madeireiro já conhecido. Sua madeira foi explorada de forma intensiva até a década de 1970, o que influenciou para que fosse classificada como ameaçada de extinção. Embora seu extrativismo seja proibido, o comércio madeireiro ainda ocorre e é sustentado por meios ilegais, ou por plantios privados licenciados. Assim, devido a sua madeira de alta qualidade e sua importância para biodiversidade nativa, plantios silviculturais com essa espécie podem ser estratégia de uso para conservação. O objetivo desta dissertação foi caracterizar os plantios silviculturais de *A. angustifolia* no Rio Grande do Sul (RS), visando fundamentar o desenvolvimento sustentável do setor. A Secretaria do Meio Ambiente do RS permite a realização de plantios silviculturais desta espécie, mediante emissão do Certificado de Identificação de Floresta Plantada com Espécie Nativa. Assim, como base desta pesquisa, foram utilizadas as informações de todos os processos de CIFPEN abertos de janeiro de 2017 a maio de 2021. Ao total, foram estudados 640 processos. As propriedades com plantios de *A. angustifolia* no RS estão concentradas em dois polos no RS. Proprietários apresentaram pouco interesse em novos plantios de espécies nativas. Propriedades com plantio de *A. angustifolia* possuem diferença quanto a aspectos fundiários e ambientais em relação a propriedades com silvicultura de espécies nativa e sem silvicultura. De modo geral, essas características indicam que a silvicultura de *A. angustifolia* está associada com melhores condições de ecossistemas nativos, além de promover a conservação da própria espécie. Em relação ao incremento diamétrico médio anual, este é influenciado, principalmente, pelo fator idade, com maiores taxas ocorrendo até os 40 anos do plantio, aproximadamente. Acima desta faixa etária, os melhores resultados de incremento são encontrados em regiões com outono úmido, em solos profundos com alto teor de matéria orgânica e, ainda, com verões abaixo de 142 mm de precipitação, características concentradas em uma grande região à norte

do estado do RS e em manchas à oeste. Ainda, é importante considerar que outras variáveis não analisadas neste estudo podem ter influência no crescimento da espécie, tais como, fatores genéticos e manejo. Conclui-se que para expandir o CIFPEN, é essencial que este seja mais bem traduzido e divulgado à população, sobretudo em relação a aspectos legais. Ainda, esta pesquisa reflexões visando a ampliação da silvicultura de *A. angustifolia* no RS, a partir da análise de dados advindos de órgão ambiental público.

Palavras-chave: pinheiro-do-paraná; silvicultura tropical; uso para conservação; legislação ambiental; incremento diamétrico; modelagem de crescimento.

ABSTRACT

Conventional agriculture and silviculture strongly impact biodiversity on worldwide scale. Brazil is one of the main representants of these sectors, which must look for more sustainable models. Forest plantations with native species are alternatives to develop socioeconomic production with biodiversity conservation. However, such "bottom-up" approaches to conservation, incorporating the interests of the local population, are little encouraged in the country. *Araucaria angustifolia* is a native conifer with high timber and non-timber values. Its was intensively harvested until the 1970s, which influenced its classification as endangered to extinction. Although cutting *A. angustifolia* is prohibited, the timber trade still occurs and is sustained by illegal means, or by licensed private plantations. Thus, because of its high-quality timber and its importance for native biodiversity, silvicultural plantings with this species can be a strategy for conservation use. The aim of this dissertation was to characterize the silvicultural plantations of *A. angustifolia* in Rio Grande do Sul (RS), in order to support the sustainable development of the sector. The Secretary of Environment of Rio Grande do Sul allows the silvicultural planting of this species, by issuing the Certificate of Identification of Forest Planted with Native Species. Thus, information from all open CIFPEN processes from January 2017 to May 2021 was used as the basis of this research. In total, 640 processes were studied. The properties with *A. angustifolia* plantations in RS are concentrated in two centers in RS. Landowners showed little interest in new planting of native species. Properties with plantations of *A. angustifolia* are different in terms of land tenure and environmental aspects compared to properties with silviculture of native species and without silviculture. In summary, these characteristics indicate that the silviculture of *A. angustifolia* is associated with improved conditions of native ecosystems, besides promoting the conservation of the species itself. The average annual diametric increment is influenced mainly by the age factor, with higher rates occurring up to 40 years of planting, approximately. Above this age range, the best increment results are found in regions with humid autumn, in deep soils with high organic matter content, and also with summers below 142mm of precipitation, characteristics concentrated in a large region in the north of the state of RS and in spots to the west. Still, it is important to consider that other variables not analyzed in this study may have an influence on the growth of the species, such as genetic factors and management. We conclude that to extend the CIFPEN, it is

essential that it be better translated and disseminated to the population, especially in relation to legal aspects. Furthermore, this research reflections aimed at expanding the silviculture of *A. angustifolia* in RS, from the analysis of data from the public environmental agency.

Key-words: paraná-pine; tropical silviculture; conservation by use; environmental law; diametric increase; growth modeling.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
Objetivo	16
Referências	17
PLANTIOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> NO RIO GRANDE DO SUL (BRASIL): CERTIFICAÇÃO LEGAL E PERFIL FUNDIÁRIO E AMBIENTAL DAS PROPRIEDADES	23
Resumo	23
Introdução	25
Material e métodos	29
Resultados	32
Discussão	46
Conclusão	52
Referências	53
Anexos	62
VARIABILIDADE REGIONAL E DETERMINANTES DO CRESCIMENTO DE <i>Araucaria angustifolia</i> EM PLANTIOS NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL	63
Resumo	63
Introdução	64
Materiais e métodos	66
Resultados	74
Discussão	83
Conclusão	87
Referências	88
CONSIDERAÇÕES FINAIS	97

INTRODUÇÃO

O aumento populacional, e a conseqüente necessidade por mais matéria prima, vêm causando um fenômeno global de conversão do uso da terra, caracterizado por ocorrer em alta magnitude e velocidade (MEYER; TURNER, 1992). A produção agrícola monocultural vem apresentando-se como um dos principais motores para este processo, afetando a biodiversidade, os recursos hídricos e as condições climáticas (ZHAO; PITMAN; CHASE, 2001; ORTIZ et al., 2021; HOEKSTRA; MEKONNEN, 2012). Além deste, o cultivo monoespecífico de espécies invasoras em plantios silviculturais também é forte ameaça (VILÀ et al., 2011; GALLARDO et al. 2017; CASTRO-DIEZ et al., 2019; PYSEK et al., 2020; HELSEN et al., 2021). Espécies exóticas invasoras caracterizam-se por apresentarem ampla dispersão (GALLARDO; VILA, 2019; GUREVITCH; PADILLA, 2004; MACK et al., 2000), dessa forma, seu cultivo em larga escala promove a ampliação da área de invasão destas espécies, as quais competem com as espécies nativas por recursos, influenciando negativamente a riqueza de espécies e os serviços ecossistêmicos (CASTRO-DIEZ et al., 2019; PYSEK et al., 2020; HELSEN et al., 2021; PIÑA-RODRIGUES; SILVA, 2021).

O Brasil tem forte representatividade em seu setor primário, sendo destaque tanto na agricultura, como no plantio de árvores exóticas. Aproximadamente 25% do Produto Interno Bruto (PIB) do país corresponde ao setor do agronegócio (MARTINELLI et al., 2010). Tal modalidade de cultivo ocupa 30% da cobertura territorial do país e vem sofrendo significativo aumento em área desde 1980, o qual é concomitante com o desmatamento de florestas nativas (MARTINELLI et al., 2010). Em relação as florestas plantadas, a silvicultura de espécies exóticas representa, aproximadamente, 98% da área total de árvores plantadas em território brasileiro (BROCKERHOFF et al., 2008; FEARNSIDE, 1998; IBA, 2017). Destacam-se os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, que juntos correspondem a pouco mais de 93% desta área (VALVERDE, 2012). Uma projeção realizada por Fearnside (1998) indica que, até 2050, essas áreas possam sofrer um aumento de 3,2 vezes em relação a 1991. Ainda, os Estados do Sul e do Sudeste apresentam as maiores porções de área ocupada por plantações silviculturais com espécies exóticas (BROCKERHOFF et al., 2008; FEARNSIDE, 1998; VALVERDE, 2012).

Diante desse cenário, promover a sustentabilidade do setor agrícola é essencial, especialmente no Brasil (MARTINELLI et al., 2010). O desenvolvimento de modelos de produção que possam minimizar os danos ambientais e que, ao mesmo tempo, sejam capazes de cumprir o papel socioeconômico têm sido abordados na literatura (MARTINELLI et al., 2010; PINTO et al., 2014; GENNARO; FORLEO, 2019; TUBENCHLAK et al., 2021). Somado a isso, abordagens de conservação *top-down*, ou seja, excluindo a população local do processo de tomada de decisão, vem sendo criticadas, especialmente em ecossistemas fragmentados (RODRIGUES; CAZALIS, 2020; TAGLIARI et al., 2021). Ao optar por estratégias incluindo os interesses da população local (*bottom-up*) no processo de conservação, há tendência em fortalecer o sistema socioecológico e a resiliência do ecossistema (BENNETT et al., 2016; TAGLIARI et al., 2021).

Plantações florestais com espécies nativas têm se mostrado uma alternativa *bottom-up* em potencial para promoção de recursos e conservação da biodiversidade (BROCKERHOFF et al., 2008). O manejo das espécies nativas plantadas promove recursos florestais madeireiros e não-madeireiros, desempenhando importante papel social e econômico (LAMB, 2014; PIÑA-RODRIGUES; SILVA, 2021; ROLIM; PIOTTO, 2018). Ao mesmo tempo, representam uma matriz de baixo contraste, podendo fornecer habitat complementares e serviços ecossistêmicos, além de aumentar a conectividade entre ambientes, promover a manutenção da biodiversidade e a conservação e recuperação de áreas degradadas (BROCKERHOFF et al., 2008; LAMB, 2014). No entanto, as duas espécies nativas mais plantadas no Brasil para uso da madeira em monocultivos, o paricá (*Schizolobium amazonicum*) e a araucária (*Araucaria angustifolia*), somam apenas 1,27% da área total de silvicultura no país (IBA, 2017). Diante desse contexto, a adoção de espécies nativas para prática silvicultural no Brasil é reduzida e carece de programas e apoio por partes dos órgãos governamentais, tanto para pesquisas como para incentivar produtores rurais (LAMB, 2014; ROLIM; PIOTTO, 2018).

A. angustifolia é uma gimnosperma nativa da Mata Atlântica, com ocorrência abundante na fitofisionomia Floresta Ombrófila Mista (FOM - VELOSO et al., 1991). A espécie oferta valiosos recursos madeireiros (LORENZI, 1992; CARVALHO, 2003) e não madeireiros, sobretudo com sua semente, o pinhão, que possui excelente valor nutricional (MANTOVANI et al., 2004; PERALTA et al., 2016). Dessa forma, a FOM é considerada um sistema socioecológico, uma vez que apresenta integração da população residente com os recursos promovidos por sua espécie arbórea dominante, principalmente (TAGLIARI et al., 2021).

Essa interação é histórica, sobretudo do ponto de vista de sua madeira. Inicialmente, a exploração madeireira da *A. angustifolia* teve como objetivo apenas o mercado local, porém a partir de 1910 a importação de produtos madeireiros ficou impossibilitada devido a I Guerra Mundial, o que refletiu na expansão da indústria madeireira de *A. angustifolia* no país (CARVALHO; NODARIA, 2010). Com a ampliação do desmatamento, houve a criação do código florestal, em 1934, na tentativa de conservar as matas, contudo havia brechas legais para o desmatamento, o qual era somado a falta de fiscalização. Neste cenário, o Instituto Nacional do Pinho (INP) foi criado em 1941, visando controlar a produção e promover o reflorestamento de áreas florestadas. No entanto, devido ao esgotamento da FOM, plantios de *Pinus* spp. começaram a crescer e a *A. angustifolia* passou a não ser mais espécie considerada adequada para exploração madeireira. Nesse sentido, em 1950 o INP já plantava mais mudas de *Pinus* spp. do que *A. angustifolia* (CARVALHO; NODARIA, 2010).

Assim, devido à extensiva exploração madeireira entre os anos de 1870 a 1970, a área original de *A. angustifolia* foi reduzida para menos de 4% (NODARI et al. 2018). O declínio da floresta de *A. angustifolia* é também reflexo da transformação das florestas nativas em pastagens e em plantios de espécies exóticas (BITTENCOURT, 2007; CARVALHO; NODARIA, 2010). Esse cenário fez com que a espécie fosse classificada como ameaçada de extinção, em nível global como Criticamente Ameaçada (THOMAS, 2013), e no Brasil como Em Perigo (MMA, 2014). Ainda, existem poucos planos de manejo eficazes que possam contribuir com a expansão da distribuição da espécie frente ao cenário expressivo de conversão de terras (BITTENCOURT, 2007).

O extrativismo comercial da *A. angustifolia* é vedado (BRASIL, 2006). Contudo, Brandes et al. (2020) identifica que a espécie está entre as três com maior volume de madeira transportada e comercializada, de acordo com dados do Documento de Origem Florestal (DOF), licença obrigatória para transporte e armazenamento de produtos de origem florestal nativa, dessa forma, conclui-se que, mesmo ameaçada de extinção, a espécie é comercialmente explorada. Portanto, é possível concluir que o mercado madeireiro de *A. angustifolia* ainda ocorre e é sustentado por extrativismo ilegal e/ou por plantios privados licenciados, este último em menor escala (BRANDES et al., 2020). Ainda, Marchioro et al. (2020) demonstraram que a conversão da FOM em outros usos de terra, sobretudo plantações de espécies exóticas, vem ocorrendo e pode ocasionar em redução drástica do habitat natural da espécie.

Nesse sentido, o desenvolvimento de novas abordagens de conservação para a espécie é essencial (MARCHIORO et al., 2020). Estudos realizados em plantios de *A. angustifolia* no sul do Brasil recomendam a prática silvicultural com essa espécie, tanto em termos econômicos, relacionados a custos e produção madeireira (EISFELD et al., 2020; FILHO et al., 2017), como ecológicos, sobretudo pelo seu papel no processo de regeneração natural (FILHO et al., 2017; HUSS et al., 2020; SILVA et al., 2012). No Rio Grande do Sul (RS) a exploração de florestas plantadas com espécies nativas é permitida, sendo necessária a emissão do Certificado de Identificação de Floresta Plantada com Espécie Nativa (CIFPEN) (RIO GRANDE DO SUL, 2018; RIO GRANDE DO SUL, 2022). Este documento está disponível pela Secretaria do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (SEMA) desde a década de 1990 e é considerado importante incentivo ao uso de espécies nativas e, conseqüentemente, para políticas de repovoamento (URRUTH, 2018).

Uma vez que abordagens *bottom-up* têm potencial para contribuir com o sistema socioecológico da FOM e, conseqüentemente, com a conservação da *A. angustifolia*, estratégias de uso para conservação neste ecossistema são recomendadas (MARCHIORO et al., 2020; TAGLIARI et al., 2021). Ainda, a promoção de florestas plantadas com esta espécie pode ser alternativa econômica, sobretudo, para pequenos produtores (PERALTA et al., 2016; ORELLANA; VANCLAY, 2018). No entanto, dentre as modalidades de uso sustentável da flora nativa propostos pela SEMA, apenas 4% dos certificados emitidos para o período de 2017 a 2019 foram de CIFPEN, representando pouco interesse dos requerentes no plantio silvicultura de *A. angustifolia* (DELAZERI, 2021). Esse cenário é pouco explorado e pode ser explicado tanto pelo interesse prévio dos produtores rurais em cultivos agrícolas tradicionais (DELAZERI, 2021), como na falta de informações referente as melhores condições abióticas para o maior retorno econômico do plantio.

Objetivo

O objetivo desta dissertação é caracterizar plantios silviculturais de *A. angustifolia* no Estado do Rio Grande do Sul, visando fundamentar o desenvolvimento sustentável do setor em que se insere. Com isso, espera-se fornecer ao órgão ambiental evidências para incentivar as certificações e prospectar avanços desse procedimento.

Objetivos específicos

- a) Analisar o processo de Certificação de Florestas Nativas Plantadas (CIFPEN) no Rio Grande do Sul;
- b) Descrever o perfil fundiário e ambiental de propriedades com plantios de *A. angustifolia*, em contraste com propriedades sem silvicultura de nativas;
- c) Descrever o crescimento das árvores de *A. angustifolia* em plantios, e analisar a influência de preditores ambientais e silviculturais;
- d) Identificar regiões do Estado com melhor potencial de crescimento de *A. angustifolia* em plantios.

Referências

BENNETT, Elena M.; et al. Bright spots: seeds of a good Anthropocene. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 14, n. 8, p. 441-448, 2016.

BITTENCOURT, Juliana V.M. ***Araucaria Angustifolia: Its Geography and Ecology***. UK: University of Reading, 2007.

BRANDES, Arno F.N., NOVELLO, Bruno Q., DOMINGUES, Gustavo A.F., BARROS, Claudia F., TAMAIO, Neusa. Endangered species account for 10% of Brazil's documented timber trade. **Journal for Nature Conservation**, v. 5, p. 1-6, 2020.

BRASIL. **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. Brasília: Palácio do Planalto, 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm. Acesso em: 03 janeiro 2023.

BROCKERHOFF, Eckehard; JACTEL, Hervé; PARROTTA, John A.; QUINE, Christopher P.; SAYER, Jeffrey. Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? **Biodiversity and Conservation**, v. 17, p. 925-951, 2008.

CARVALHO, Miguel M.X.; NODARI, Eunice S. As fases da exploração madeireira na floresta com Araucária e os progressivos avanços da indústria madeireira sobre as florestas primárias (1870–1970). **Anais do Simpósio Internacional de História Ambiental e Migrações**, p. 707-726, 2010.

CARVALHO, Paulo Ernani R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003.

CASTRO-DIEZ, Pilar; et al. Global effects of non-native tree species on multiple ecosystem services. **Biological Reviews**, v. 94, n. 4, p. 1477-1501, 2019.

DELAZERI, Natália R. **Uso sustentável da Flora Nativa**: a experiência do Rio Grande do Sul na instituição de procedimentos de regulação. 2021. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Sustentabilidade) – Curso de Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, São Francisco de Paula, 2021.

EISFELD, Rozane L.; ARCE, Julio Eduardo; SANQUETTA, Carlos Roberto; BRAZ, Evaldo Muñoz. É economicamente viável o plantio de araucária? Uma análise entre a espécie e seu principal substituto, o pinus. **Scientia forestalis**, v. 48, n. 128, p. 1-12, 2020.

FEARNSIDE, Philip M. Plantation forestry in Brazil: Projections to 2050. **Biomass and bioenergy**, v. 15, n. 6, p. 437-450, 1998.

FILHO, Afonso F.; RETSLAFF, Franciéle S.; RETSLAFF, Fabiane S.; LONGHI-SANTOS, Tomaz; STPEKA, Thiago Floriani. Crescimento e Idade de Espécies Nativas Regenerantes Sob Plantio de *Araucaria angustifolia* no Paraná. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-9, 2017.

GALLARDO, Belinda; ALDRIDGE, David C.; GONZÁLEZ-MORENO, Pablo; PERGL, Jan; PIZARRO, Manuel; PYSEK, Petr; THUILLER, Wilfried; YESSON, Christopher; VILÀ, Montserrat. Protected areas offer refuge from invasive species spreading under climate change. **Global Change Biology**, v. 23, n. 2, p. 5331-5343, 2017.

GALLARDO, Belinda; VILA, Montserrat. La influencia humana, clave para entender la biogeografía de especies invasoras en el Antropoceno. **Cuadernos de Investigacion Geografica**, v. 45, n. 1, p. 61-86, 2019.

GENNARO, Bernardo C.; FORLEO, Maria B. Sustainability perspectives in agricultural economics research and policy agenda. **Agricultural and Food Economics**, v.7, n. 17, p. 7-17, 2019.

GUREVITCH, Jessica; PADILLA, Dianna K. Are invasive species a major cause of extinctions? **Trends in Ecology and Evolution**, v. 19, n. 9, p. 470-474, 2004.

HELSEN, Kenny; MATSUSHIMA, Hajime; SOMERS, Ben; HONNAY, Olivier. A trait-based approach across the native and invaded range to understand plant invasiveness and community impact. **Oikos**, v. 130, n. 6, p. 1001-1013, 2021.

HOEKSTRA, Arjen Y.; MEKONNEN, Mesfin M. The water footprint of humanity. **Environmental Science**, v. 109, n. 9, p. 3232-3237, 2011.

HUSS, Juergen; DOBNER JR, Mário; PAIXÃO, Crysttian A.; CATEN, Alexandre ten; SIMINSKI, Alexandre. Regeneration of *Araucaria angustifolia* in pine plantations in the South of Brazil – a silvicultural approach. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 127, p. 1-14, 2020.

IBA, Indústria Brasileira de Árvore. **Relatório 2017**. São Paulo: Studio 113, 2017.

LAMB David. **Large-scale forest restoration**. London: Routledge, Taylor & Francis Group, 2014.

LORENZI, Harri. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1992.

MACK, Richard N.; SIMBERLOFF, Daniel; LONSDALE, Mark; EVANS, Harry; CLOUT, Michael; BAZZAZ, Fakhri A. Biotic Invasions: Causes, Epidemiology, Global Consequences and Control. **Ecological Applications**, v. 10, n. 3, p. 689-710, 2000.

MANTOVANI, Adelar; MORELLATO, Patrícia C.; REIS, Maurício S. Fenologia reprodutiva e produção de sementes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 4, p. 787-796, 2004.

MARCHIORO, Cesar A.; SANTOS, Karine L.; SIMISKI A. Present and future of the critically endangered *Araucaria angustifolia* due to climate change and habitat loss. **Forestry**, v. 93, n. 3., 2020.

MARTINELLI, Luiz A.; NAYLOR, Rosamond; VITOUSEK, Peter M.; MOUTINHO, Paulo. Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 2, p. 4331-438, 2010.

MEYER, William B.; TURNER, Billie L. Human population growth and global land-use/cover change. **Annual review of Ecology and Systematics**, v. 23, p. 39-61, 1992.

MMA – Ministério do Meio Ambiental. (2014). **Portaria N. 433, de 17 de Dezembro de 2014**. Reconhece as espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2014. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/PT0443-171214.pdf>. Acesso em: 27 dezembro 2022.

NODARI, E.S., CARVALHO, M.M.X., ZARTH, P.A.. Fronteiras fluidas: Florestas com Araucárias na América Meridional. Oikos, São Leopoldo, pp. 291, 2018.

ORELLANA, Enrique; VANCLAY, Jerome K. Could native Araucaria forests be managed for timber production on small farms in southern Brazil? **Forest Ecology and Management**, v. 430, p. 1-9, 2018.

ORTIZ, Andrea M.; OUTHWAITE, Charlotte L.; DALIN, Carole; NEWBOLD, Tim. A review of the interactions between biodiversity, agriculture, climate change, and international trade: research and policy priorities. **One Earth**, v. 4, n. 1, p. 88-101, 2021.

PERALTA, Rosane M.; KOEHNLEIN, Eloá A.; OLIVEIRA, Roselene F.; CORREA, Vanesa G.; CORRÊA, Rubia C.G.; BERTONHA, Leonardo; BRACHT, Adelar; FERREIRA, Isabel C.F.R. Biological activities and chemical constituents of *Araucaria angustifolia*: An effort to recover a species threatened by extinction. **Trends in food science & technology**, v. 4, p. 85-93, 2016.

PIÑA-RODRIGUES, Fatima C.M.; SILVA, José Mauro S. **Silvicultura tropical: o potencial madeireiro e não madeireiro das espécies tropicais**. Sorocaba, SP: Ed. dos Autores, 2021.

PINTO, Severino R.; MELO, Felipe; TABARELLI, Marcelo; PADOVESI, Aurélio; MESQUITA, Carlos A.; SCARAMUZZA, Carlos Alberto M.; CASTRO, Pedro; CARRASCOSA, Helena; CALMON, Miguel; RODRIGUES, Ricardo; CÉSAR, Ricardo Gomes; BRANCALION, Pedro H.S. Governing and Delivering a Biome-Wide Restoration Initiative: The Case of Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. **Forests**, v. 5, n. 9, p. 2212-2229, 2014.

PYSEK, Petr; et al. Scientists' warning on invasive alien species. **Biological Reviews**, v. 95, n. 6, p. 1511-1534, 2020.

RIO GRANDE DO SUL. **Resolução CONSEMA N° 383 de 11 de Outubro de 2018**. Dispõe sobre os procedimentos e critérios para certificação e exploração de florestas plantadas com espécies nativas desenvolvidas no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Palácio Piratini, 2018. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201810/24163723-383-2018-criterios-e-procedimentos-para-certificacao-e-exploracao-de-florestas-plantadas-com-especies-nativas.pdf>. Acesso em: 27 dezembro 2022.

RIO GRANDE DO SUL. **Resolução CONSEMA N° 465 de 19 de Maio de 2022**. Altera a Resolução 383/2018 que dispõe sobre os procedimentos e critérios para certificação e exploração de florestas plantadas com espécies nativas desenvolvidas no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Palácio Piratini, 2022. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202206/15143328-465-2022-alteracao-da-resolucao-383-2018-cifpen.pdf>. Acesso em: 27 dezembro 2022.

RODRIGUES, Ana S.L.; CAZALIS, Victor. The multifaceted challenge of evaluating protected area effectiveness. **Nature communications**, v. 11, n. 5147, p. 1-4, 2020.

ROLIM, Samir .G., PIOTTO, Daniel. **Silvicultura e Tecnologia de Espécies da Mata Atlântica**. Belo Horizonte: Editora Rona, 2018.

SILVA, Gisele S.; LIMA, Camila S.; SILVA, Cristine S.S.; FORNECK, Eduardo D. Levantamento fitossociológico do estrato arbustivo regenerante em silvicultura de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na Floresta Estacional de São Francisco de Paulo, RS, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 113–127, 2012.

TAGLIARI, Mario M.; LEVIS, Carolina; FLORES, Bernardo M.; BLANCO, Graziela D.; FREITAS, Carolina T.; BOGONI, Juliano A.; VIEILLEDENT, Ghislain; PERONI, Nivaldo. Collaborative management as a way to enhance Araucaria Forest resilience. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 2, p. 131-142, 2021.

THOMAS, P. ***Araucaria angustifolia***. In.: The IUCN Red List of Threatened Species. 2022. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-.RLTS.T32975A2829141.en>. Acesso em: 27 dezembro 2022.

TUBENCHLAK, Fernanda; BADARI, Carolina G.; STRAUCH, Guilherme F.; MORAES, Luiz Fernando D. Changing the Agriculture Paradigm in the Brazilian Atlantic Forest: The Importance of Agroforestry. In.: MARQUES, Márcia C.M.; GRELE, Carlos E.V. **The Atlantic Forest**. Suíça: Springer Cham, 2021. p. 369-388.

URRUTH, Leonardo M. Certificação para o uso sustentável de flora nativa do RS. In.: III Seminário Sul-Brasileiro sobre a Sustentabilidade da Araucária, 2018. Passo Fundo. **Anais do III Seminário Sul-Brasileiro sobre a Sustentabilidade da Araucária**. Passo Fundo: Tapera, 2018.

VALVERDE, Sebastião R. **Silvicultura brasileira: oportunidades e desafios da economia verde**. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2012.

VELOSO, Henrique P.; FILHO, Antônio Lourenço R.; LIMA, Jorge Carlos A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991.

VILÀ, Montserrat; ESPINAR, José L.; HEJDA, Martin; HULME, Philip E.; JAROSIK, Vojtech; MARON, John L.; PERGL, Jan; SCHAFFNER, Urs; SUN, Yan; PYSEK, Petr. Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. **Ecology Letters**, v. 14, n. 7, p. 702-708, 2019.

ZHAO, Mysis; PITMAN, Andrew J.; CHASE, Thomas N. The impact of land cover change on the atmospheric circulation. **Climate Dynamics**, v. 17, p. 467-477, 2001.

PLANTIOS DE *Araucaria angustifolia* NO RIO GRANDE DO SUL (BRASIL): CERTIFICAÇÃO LEGAL E PERFIL FUNDIÁRIO E AMBIENTAL DAS PROPRIEDADES

Artigo formatado de acordo com as normas da revista **Land Use Policy**.

Resumo

Países que têm o setor primário como alicerce econômico enfrentam o dilema da exploração versus conservação dos recursos naturais. O Brasil é protagonista em atividades como agricultura convencional e silvicultura de espécies exóticas. Contudo, apesar de enorme diversidade de sua flora, a silvicultura com espécies nativas é pouco desenvolvida. Plantações comerciais de árvores nativas podem conciliar atividades econômicas com conservação. *Araucaria angustifolia* é uma espécie madeireira importante, estando ameaçada de extinção. A legislação ambiental visa sua conservação e, ao mesmo tempo, permite seu uso para conservação em plantios devidamente certificados, conforme adotado em alguns Estados. O objetivo deste trabalho foi analisar o processo de Certificação de Florestas Plantadas com Espécies Nativas (CIFPEN) no Rio Grande do Sul (RS) e descrever o perfil fundiário e ambiental destas propriedades, em contraste com propriedades vizinhas que não realizam silvicultura de nativas. Foram utilizados dados de CIFPEN do órgão ambiental do RS, protocolados entre janeiro de 2017 e maio de 2021. Ao total, haviam 640 processos, dos quais 274 haviam sido deferidos, 3 arquivados e 220 indeferidos e 143 ainda em análise. Foi constatado que as propriedades com atividade silvicultural de *A. angustifolia* estão concentradas em dois polos no Estado. A maioria é caracterizada por possuir uso de solo composto por floresta nativa, lavoura temporária e, principalmente, soja. De modo geral, proprietários com esta atividade tem pouco interesse em realizar o plantio de espécies nativas novamente, sendo seu maior interesse relacionado à agricultura. Foi constatado que existe diferença no perfil fundiário entre propriedades com silvicultura (nativas e/ou exóticas) e sem silvicultura; e, para o perfil ambiental, há diferença entre as propriedades avaliadas, com características mais regulares e ambientalmente mais conservadas em propriedades com silvicultura, especialmente com *A. angustifolia*. Os resultados deste estudo reforçam o potencial dos plantios de *A. angustifolia* em contribuir com a conservação

da espécie e da biodiversidade associada. Além disso, é importante que o órgão ambiental realize uma melhor divulgação dos critérios legais exigidos no processo de certificação, visando o maior alcance desta atividade que promove a conservação pelo uso desta importante e ameaçada espécie arbórea.

Palavras-chave: silvicultura tropical; pinheiro-do-paraná; uso para conservação; legislação ambiental.

Introdução

A conversão de ecossistemas naturais em monoculturas é uma das principais causas da crise ambiental, que envolve mudanças climáticas, escassez hídrica e extinção de espécies (ZHAO et al. 2001; HOEKSTRA & MEKONNEN 2012; FALKENMARK 2013; ORTIZ et al. 2021). Este cenário é agravado pelo cultivo de espécies invasoras, que afetam os ecossistemas naturais remanescentes, intensificando a perda de biodiversidade, e consequentemente a provisão de serviços ecossistêmicos (VILÀ et al. 2011; GALLARDO et al. 2017; CASTRO-DÍEZ et al. 2019; PYŠEK et al. 2020; HELSEN et al. 2021). A sustentabilidade do setor agrícola (incluindo pecuária e silvicultura) está alinhada com o desenvolvimento e adoção de modelos de produção que minimizem os impactos negativos aos ecossistemas naturais, mas capazes de cumprir o papel socioeconômico dos modelos convencionais (MARTINELLI et al. 2010; PINTO et al. 2014; GENNARO & FORLEO 2019; TUBENCHLAK et al. 2021).

A silvicultura de espécies nativas é um modelo de produção relevante para a sustentabilidade do setor agrícola, pois além dos benefícios diretos sobre as espécies cultivadas, seus talhões contribuem para a conectividade dos ecossistemas naturais na paisagem, compondo uma matriz de baixo contraste e/ou fornecendo habitat complementar para outras espécies (BROCKERHOFF et al. 2008). O uso de espécies nativas na silvicultura tropical é pouco desenvolvido (CARVALHO 2003b; ROLIM & PIOTTO 2018), embora estudos apontem espécies e formas de manejo com potencial para produção de madeira e/ou de recursos não madeireiros (ROLIM & PIOTTO 2018; PIÑA-RODRIGUES & SILVA 2021). A reduzida importância da silvicultura com nativas nos trópicos contrasta com a megadiversidade de árvores em suas florestas e bosques (BRUMMITT et al. 2020; RAVEN et al. 2020), e com o elevado grau de ameaça que sofrem esses ecossistemas (MYERS 1988; HARVEY et al. 2020).

Esse cenário geral representa bastante bem a realidade do Brasil, um dos mais extensos países dos trópicos. O setor agrícola brasileiro é destacado no cenário internacional (CHADDAD & JANK 2006), e corresponde a uma fração significativa da sua economia e do seu território, às custas de uma histórica e acelerada taxa de conversão de ecossistemas naturais (MARTINELLI et al. 2010; IBGE 2017; FEIX et al. 2022). Especificamente no âmbito da silvicultura, o Brasil também tem representatividade em nível global, sobretudo pelo cultivo de espécies exóticas, que representam a quase totalidade da área de floretas plantadas do país (FEARNSIDE 1998; BROCKERHOFF et al. 2008; VALVERDE 2012; IBA 2017). Dessa forma, desenvolver modelos alternativos aos cultivos de agricultura e silvicultura convencionais é importante para a sustentabilidade desse setor, contudo o Brasil carece de programas e apoio por partes dos órgãos governamentais, tanto para pesquisas, como para a aplicação de modelos mais sustentáveis pelos produtores rurais (CUBBAGE et al. 2007; LAMB 2014; ROLIM & PIOTTO, 2018).

Em relação à pequena área de silvicultura não ocupada por espécies exóticas de *Eucalyptus* spp. (eucaliptos) e *Pinus* spp. (pinheiros) no Brasil (1,27%), merecem destaque as espécies nativas *Schizolobium amazonicum* (paricá), com 90.047 ha, e *Araucaria angustifolia* (araucária), com 11.114 ha (IBA 2017). A pequena área de *A. angustifolia*, espécie de conífera de porte gigante (SCIPIONI et al. 2022), que caracteriza uma das tipologias do Sul do Bioma Mata Atlântica (Floresta Ombrófila Mista) (VELOSO et al. 1991), e que oferta valiosos recursos madeireiros (LORENZI 1992; CARVALHO 2003a) e não madeireiros (MANTOVANI et al. 2004; PERALTA et al. 2016), contrapõem-se à extensa área (1.403.000 ha) de cultivo *Pinus* spp. no Sul do Brasil (IBA 2017), principal grupo de espécies de árvores exóticas invasoras no hemisfério Sul (RICHARDSON & REJMÁNEK 2011).

Araucaria angustifolia está ameaçada extinção, constando em nível global como Criticamente Ameaçada (THOMAS 2013). No Brasil, a espécie consta como Em Perigo, na Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção, o que veda seu extrativismo em florestas nativas (MMA 2014). Entre as espécies nativas, *Araucaria angustifolia* tem o maior volume de registros no sistema Documento de Origem Florestal (BRANDES et al. 2020), valores que não estão em conformidade com a escala dos plantios, lançando forte suspeita de exploração ilegal em populações remanescentes. Contudo, a exploração de *A. angustifolia* (e demais espécies nativas) em plantios devidamente licenciados é possível, e regulamentada em nível federal (MMA 2014; BRASIL 2012a), podendo envolver etapas de certificação por órgãos ambientais estaduais.

No Rio Grande do Sul (RS), o Certificado de Identificação de Floresta Plantada com Espécies Nativas (CIFPEN) é o documento emitido pela Secretaria Estadual de Meio-Ambiente e Infraestrutura (SEMA) que atesta a existência de área de silvicultura com espécies nativas em uma propriedade. O processo para obtenção de CIFPEN, instituído na década de 1990 (RIO GRANDE DO SUL 1998), foi instrumentado via plataforma on-line em 2017, e recentemente atualizado (RIO GRANDE DO SUL 2018; 2022). O CIFPEN destina-se à plantios com até quatro anos de idade, mas plantios mais antigos podem ser regularizados, se forem certificados até outubro de 2023. Para solicitar o CIFPEN, o proprietário deve protocolar documentos de propriedade e dados sobre a localização, ano de implantação, dendrometria e manejo do plantio. Com base nessas informações e vistorias a campo, o corpo técnico da SEMA delibera sobre o pedido, emitindo o certificado se julgar que área corresponde a um plantio de até duas espécies, com características equianas que se enquadram equitativamente nos critérios dendrométricos e de distribuição. A emissão do CIFPEN é mandatória, mas não suficiente para a autorização de exploração do plantio, que envolve outras etapas de licenciamento pelo órgão ambiental.

A legislação voltada à conservação de *A. angustifolia* no Brasil tem sido questionada, uma vez que, ao restringir sua exploração em florestas nativas e burocratizar sua silvicultura, iniciativas que possam melhor promover a conservação pelo uso da espécie acabam sendo desfavorecidas (EISFELD et al. 2019; TAGLIARI et al. 2021). Por outro lado, bases de dados oriundas de licenciamentos ambientais podem prover informações relevantes para embasar leis e políticas voltadas ao desenvolvimento sustentável (URRUTH et al. 2022). Assim, este estudo investiga a silvicultura de *A. angustifolia* no escopo do processo de certificação pelo órgão ambiental do RS. De forma específica, pretende-se analisar o processo de CIPEN, quanto ao status e distribuição (espacial e temporal) dos plantios, ao interesse dos requerentes em realizar novos plantios, os descritores silviculturais informados dentre os processos deferidos e as justificativas do corpo técnico para os indeferimentos. Além disso, buscou-se também descrever o perfil fundiário e ambiental das propriedades com plantios certificados, contrastando-os com propriedades vizinhas que não realizam silvicultura de nativas.

Material e métodos

O processo de CIFPEN

Foram compiladas as informações disponibilizadas nos processos de solicitação de CIFPEN para plantios de *A. angustifolia*, protocolados no Sistema Online de Licenciamento do Governo do Estado do RS (<https://secweb.procergs.com.br/sra/>) entre de janeiro de 2017 a maio de 2021, com os quais foram analisados os processos quanto ao status e tempo de conclusão, à distribuição espacial e temporal, à destinação futura da área do plantio e ao interesse em realizar novo plantio com árvores nativas. Também foram analisadas a responsividade sobre descritores silviculturais importantes, considerando o conjunto de processos deferidos, enquanto para o conjunto dos processos indeferidos, foram analisadas as justificativas dadas pelo corpo técnico.

Descrição do perfil fundiário e ambiental

Para as descrições dos perfis fundiário e ambiental das propriedades com silvicultura de *A. angustifolia*, foram selecionados apenas os processos deferidos, excluindo-se indeferidos, arquivados ou em análise, visando maior acurácia de informações levantadas. Além disso, dentre os processos deferidos, foram considerados apenas aqueles em que constavam os polígonos da área do plantio, informação necessárias para as análises subsequentes.

Para descrever o perfil fundiário, primeiramente, foram identificadas em quais propriedades estavam localizados os plantios, a partir da base de dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR; <https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>). O CAR é um registro autodeclaratório, público e obrigatório para todos os imóveis rurais no Brasil, que contém informações georreferenciadas dos limites das propriedades e de suas Reserva Legal (RL) e Área de Preservação Permanente (APP), respectivamente, definidas como áreas dedicadas ao manejo sustentável e à preservação ambiental (BRASIL 2012ab). Relacionando a base do CAR com a localização dos polígonos dos plantios, foi identificada a que propriedade pertencia cada plantio, bem como os limites das suas RL e APP.

Cruzando os limites das propriedades com a base de dados TOPODATA/STRM, com resolução espacial de 1 segundo (VALERIANO & ROSSETTI 2012), foram obtidos valores médios de declividade (°) e altitude (m) para cada propriedade. De forma similar, foi utilizada a plataforma GeoInfo (SANTOS et al. 2011) para obter o tipo de solo de cada propriedade, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, na escala 1:5.000.000 (SANTOS et al. 2011).

A partir dos dados do CAR, foi obtida a área total de cada propriedade, e as classificamos quanto a categorias de tamanho do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, a partir da quantidade de módulos fiscais do município a que pertencem (BRASIL 2022); também, foi calculado o percentual da RL em cada propriedade, dividindo a área de RL pela área total da propriedade. Foram utilizados dados de uso e cobertura do solo da plataforma MapBiomas v.5 (SOUZA et al., 2020) para obter os percentuais de cobertura de vegetação nativa na RL e na APP de cada propriedade, pelo somatório da cobertura de classes de vegetação nativa dentro das áreas. Também, foi calculado para cada propriedade o percentual de cobertura das classes de uso em relação à área total da propriedade, corrigindo valores de classes que estivessem sobrepostos aos polígonos de plantios de *A. angustifolia*.

Todas as análises descritas nessa sessão foram realizadas por meio do software ArcGIS (v. 10.6.1).

Contraste do perfil das propriedades com silvicultura de A. angustifolia

Para contrastar o perfil fundiário e ambiental das propriedades com silvicultura de *A. angustifolia*, foi realizada uma comparação com propriedades vizinhas que não realizam esta atividade. Para isso, foram selecionadas aleatoriamente 50 propriedades com silvicultura de *A. angustifolia*, dentre as descritas anteriormente. Para cada uma destas, com base na classificação de uso de solo do MapBiomas e nos dados de propriedades rurais do CAR, foram selecionadas duas propriedades de referência: com silvicultura de exóticas (e sem silvicultura de *A. angustifolia*) e sem silvicultura (de qualquer tipo), compondo 50 blocos com os três tipos propriedades. Em cada bloco, as propriedades de referência foram escolhidas pela maior proximidade com a propriedade alvo, num raio de até 1 Km desta.

Como descritores fundiários e ambientais, foram utilizados os mesmos parâmetros da análise descritiva das propriedades com *A. angustifolia*. O percentual das classes de cobertura do solo (SOUZA et al. 2022) por propriedade foi usada como matriz de variáveis ambientais, enquanto a matriz de variáveis fundiárias foi composta pela área da propriedade (ha), altitude (m), declividade ($^{\circ}$), percentual de RL na propriedade, percentuais de vegetação nativa na RL e na APP. Para cada uma dessas matrizes, foi aplicada uma Análise de Variância Multivariada com Teste de Aleatorização (PILLAR & ORLÓCI 1996; PILLAR 2013), para testar a hipótese nula de que as diferenças no perfil ambiental e/ou no perfil fundiário entre as propriedades com silvicultura de *A. angustifolia* para com as propriedades de referência em cada bloco não é maior do que esperado ao acaso.

A partição da soma de quadrados foi realizada com base distância Euclidiana entre propriedades (unidades amostrais), com dados previamente centralizados e normalizados dentro de variáveis. Foi utilizada a soma de quadrados entre grupos (Qb) como critério para o teste, as probabilidades foram obtidas em 1000 iterações de permutação restritas dentro de cada bloco, e a significância da hipótese nula foi avaliada para um limite de tolerância $\alpha = 0,05$. Para auxiliar na interpretação dos resultados das análises de variância, foram realizadas análises ordenação com dados previamente centralizados dentro de blocos, para enfatizar a variabilidade entre tipos de propriedades vizinhas (removendo a variabilidade entre blocos).

As análises de variância e de ordenação foram realizadas no software Multiv v. 385 (PILLAR 2006).

Resultados

O processo de CIFPEN

De janeiro de 2017 a maio de 2021 haviam sido protocolados 640 processos de CIFPEN, provenientes de 151 municípios do RS, concentrados nas mesoregiões Noroeste e Nordeste. Destacam-se pela quantidade de processos os municípios de Erechim (24), Getúlio Vargas (17), Barão de Cotegipe (15), Gaurama (15) e Três Arroios (15), todos da mesorregião Noroeste. Apenas um processo foi aberto em 2017, nove em 2018, 280 em 2019, 298 em 2020 e 52 até maio de 2021. A distribuição espacial e temporal dos processos não indicou relação com o status de análise dos processos (Figura 1).

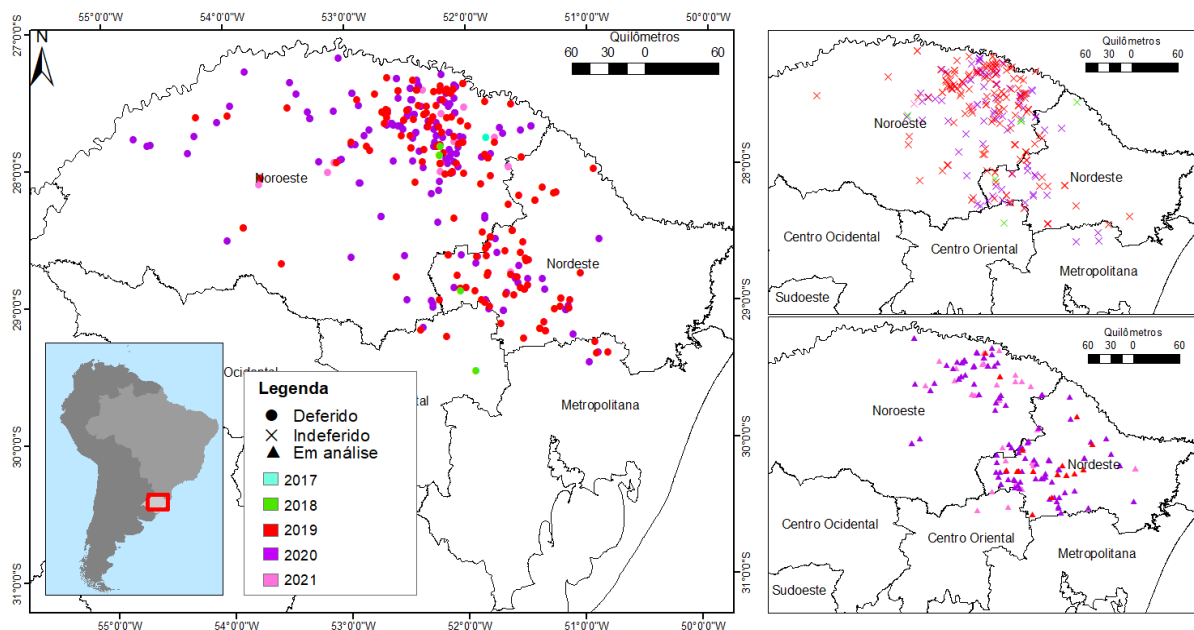


Figura 1: Localização dos 640 processos de CIFPEN protocolados entre janeiro de 2017 e maio de 2021, de acordo com o ano de protocolo e status de análise em maio de 2021.

Em maio de 2021, 274 processos haviam sido deferidos, tendo o plantio devidamente documentado com a emissão de CIFPEN. Dos demais processos, 143 constavam como em análise, 220 haviam sido indeferidos e 3 arquivados. Dentre 274 processos deferidos, pouquíssimos haviam informado sobre técnicas de manejo (6), predominando relatos sobre controle de pragas. Informação sobre o espaçamento das mudas estavam presentes em 122 processos. Processos com dados dendrométricos (diâmetro do tronco e/ou altura) médios (182) foram mais comuns do que com dados individuais (121). Para a grande maioria dos processos havia informação sobre ano do plantio (265), número de árvores (270) e limites geográficos do plantio (247). Entre os 223 processos indeferidos (ou arquivados), destaca-se como principal justificava o não atendimento dos requerentes quanto às informações solicitadas (104). Áreas de pretense do plantio em remanescente de vegetação nativa, integrando RL ou APP foram motivo de indeferimento em 51 processos; dúvidas sobre a origem silvicultural das árvores resultaram no indeferimento de 47 processos; outros motivos foram dados para indeferimento dos demais 24 processos. A figura 2 ilustra esses dados, com valores percentuais.

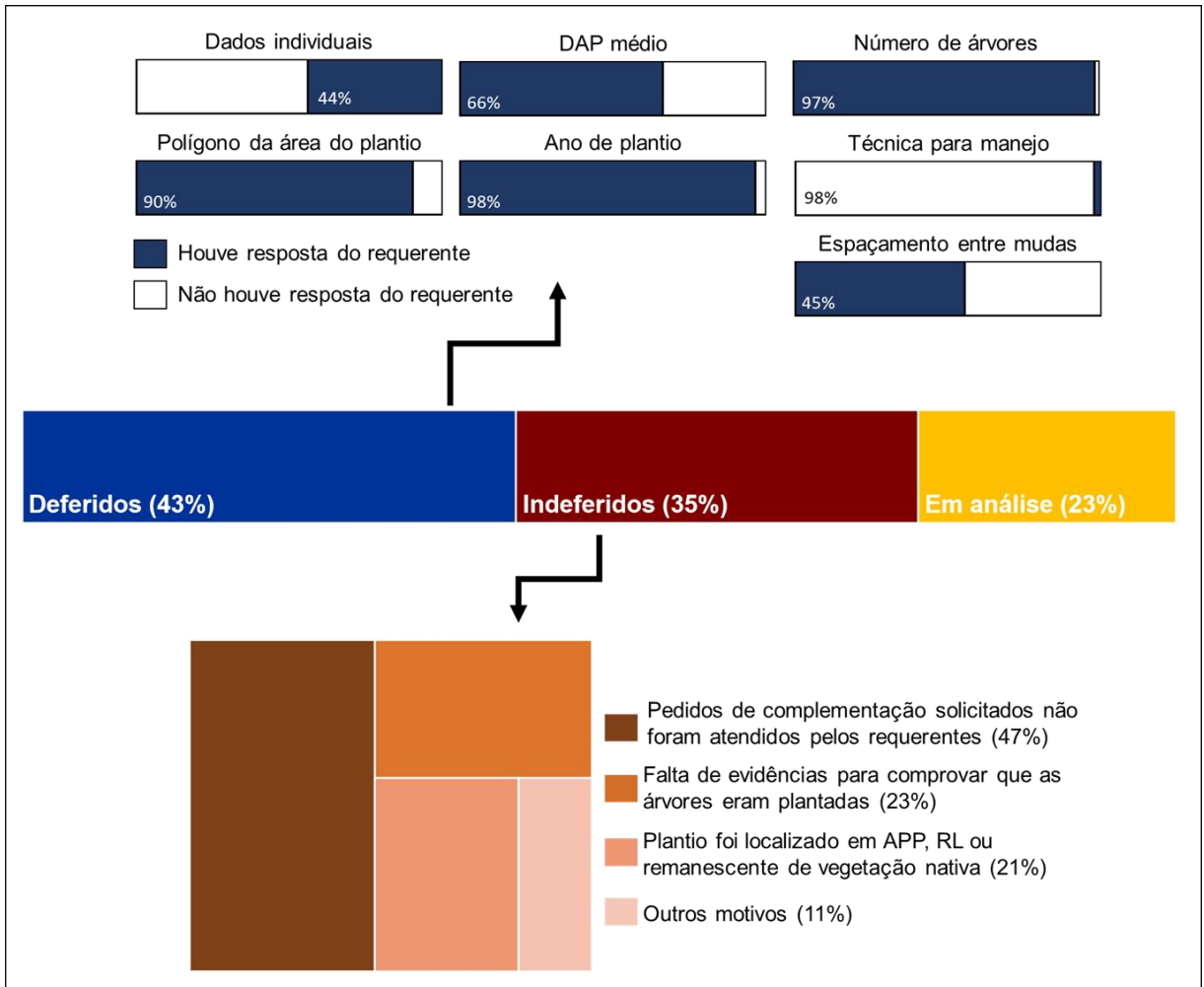


Figura 2: Status da análise (em maio de 2021) dos 640 processos de CIPEN protocolados entre janeiro de 2017 e maio de 2021, responsividade sobre informações relevantes à silvicultura para os processos deferidos ($n = 274$) e justificativas dadas aos processos indeferidos ou arquivados ($n = 223$).

O tempo de finalização dos processos foi similar entre o grupo de deferidos e indeferidos, com cerca da metade dos processos sendo concluídos no mesmo ano em que foram protocolados, e no máximo em dois anos após o ano de início do processo; dos processos em análise, cerca de dois terços haviam sido protocolados a menos de um ano (Figura 3A). A maioria dos processos concluídos não respondeu sobre interesse em realizar nova área de silvicultura de nativas na propriedade, havendo maior percentual de responsividade deste item para o grupo de processos em análise (Figura 3B). Para os 251 processos que responderam, entre deferidos, indeferidos e em análise, a maioria indicou não ter interesse em realizar nova área de silvicultura de nativas (Figura 3B), sendo os principais motivos alegados para isso, o foco da propriedade em agropecuária (69 processos) e a burocracia do processo de certificação (22 processos). Para os 48 processos (entre deferidos, indeferidos e em análise) que responderam sim a esse item, apenas seis detalharam sobre espécies de interesse, em nenhum destes casos *A. angustifolia* foi indicada. Também sobre interesse de uso futuro para a área de plantio, a maioria dos processos concluídos não respondeu ao item, havendo maior percentual de responsividade para o grupo de processos em análise (Figura 3C). Dos 249 processos que responderam (entre deferidos, indeferidos e em análise), a maioria pretende usar a área do plantio para lavoura (129) ou para outros usos (107); apenas 13 processos indicaram que pretendem realizar novo plantio de árvores nativas na área (Figura 3C), dos quais seis com *A. angustifolia*.

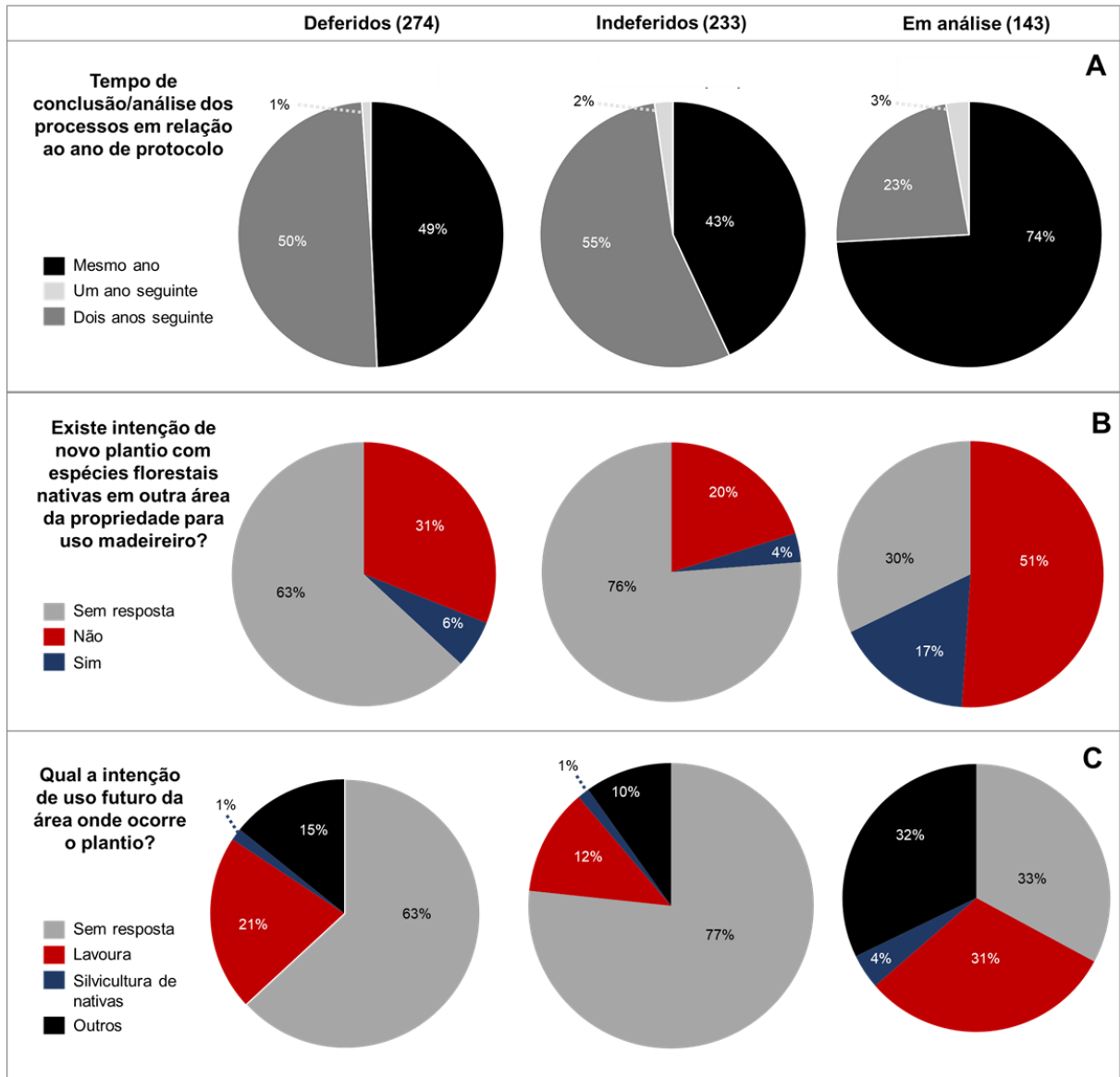


Figura 3: Tempo de conclusão ou análise (A) e intenções futuras sobre a silvicultura de nativas (B e C), para os 640 processos de CIPEN deferidos, indeferidos (e arquivados) e em análise, protocolados entre janeiro de 2017 e maio de 2021.

Descrição do perfil fundiário e ambiental

Dos 274 processos deferidos, apenas 247 continham localização dos limites dos plantios, podendo ser utilizados na descrição do perfil das propriedades com silvicultura de *A. angustifolia*. No conjunto, estas propriedades abrangeram grande amplitude de declividade (2° a 55°) e de altitude (58m a 934m), com medianas de 14° de declividade e de 625m de altitude (Figuras 4 e 5). Foram identificadas seis classes de solo relacionadas aos plantios, sendo Latossolo e Cambissolo os tipos mais frequentes (Figura 6).

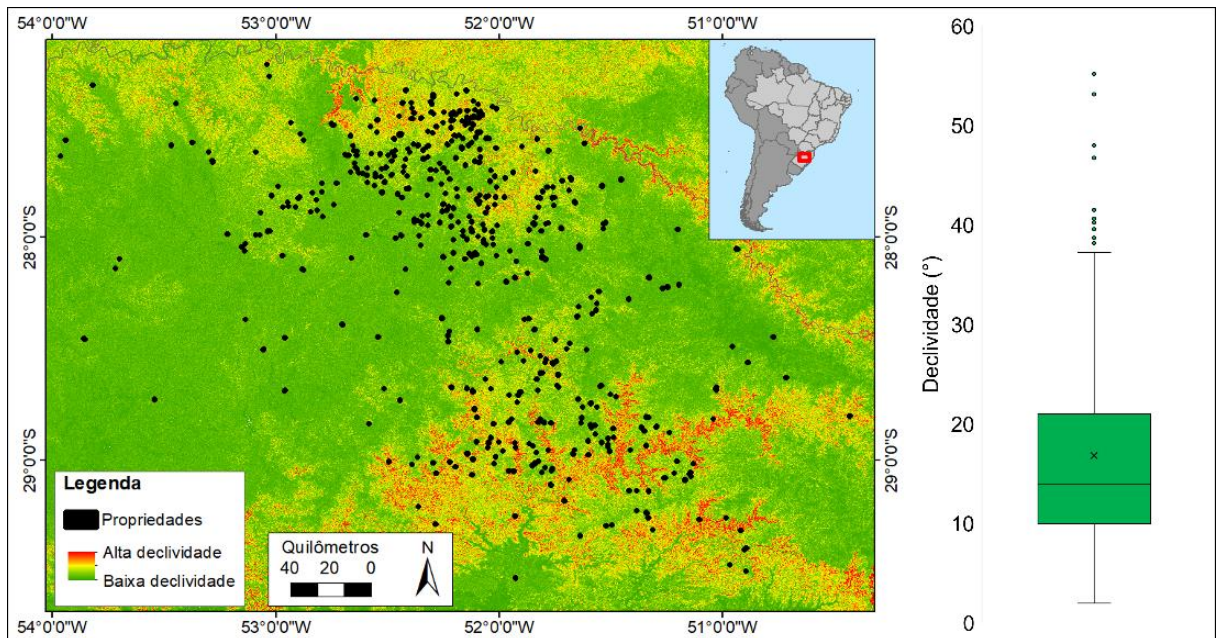


Figura 4: Declividade do terreno (VALERIANO & ROSSETTI 2012) de propriedades com plantios de *Araucaria angustifolia* no RS (n = 247). O gráfico ilustra a variação dos valores observados.

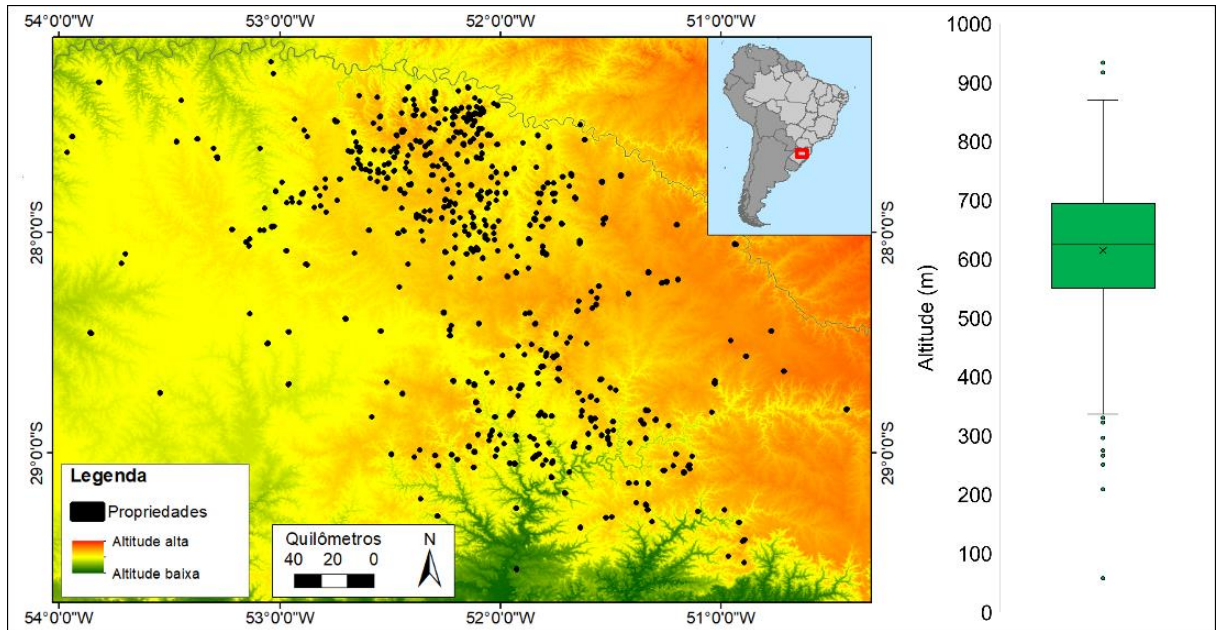


Figura 5: Altitude (VALERIANO & ROSSETTI 2012) de propriedades com plantios de *Araucaria angustifolia* no RS (n = 247). O gráfico ilustra a variação dos valores observados.

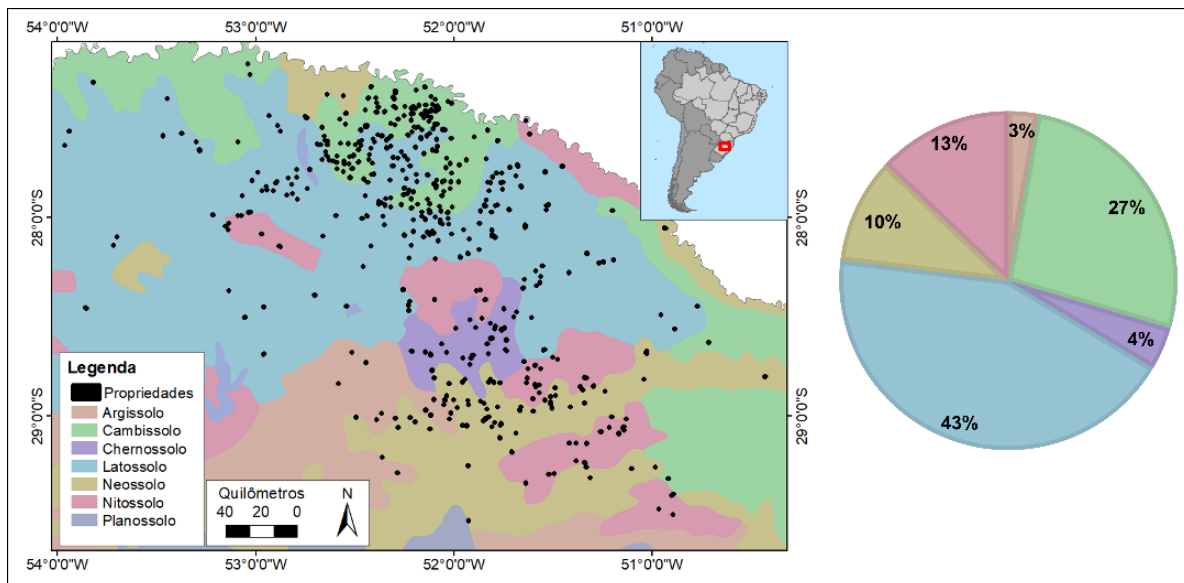


Figura 6: Tipos de solo (SANTOS et al. 2011) de propriedades com plantio de *Araucaria angustifolia* no RS (n = 247). O gráfico ilustra a proporção dos plantios por classe de solo.

A área das propriedades com silvicultura de *A. angustifolia* apresentou amplitude de 0,04ha a 654ha, com mediana de 20ha (Figura 7A). Segundo os critérios do INCRA, a grande maioria foram classificadas como propriedades pequenas (90%) em relação à área e perfil de uso do município a que pertencem (Figura 7B). Em relação às métricas de regularização ambiental, 56% das propriedades apresentaram área de RL inferior a 20% da área total, valor mínimo previsto em lei para propriedades no Bioma Mata Atlântica; a mediana do percentual de cobertura de vegetação foi de 68% na RL e de 37% na APP, com ampla dispersão de valores em ambas (Figura 8).

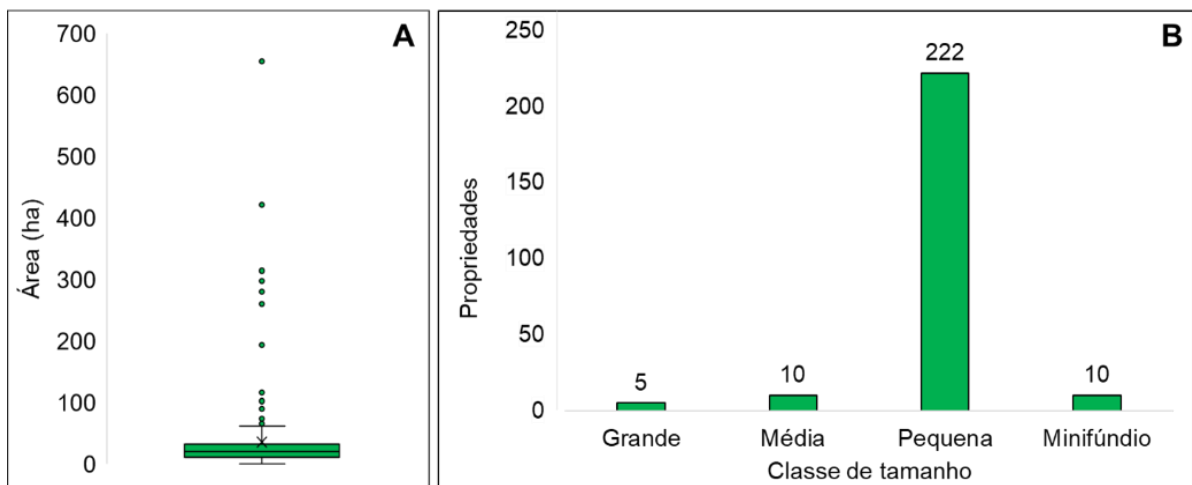


Figura 7: Tamanho de propriedades com silvicultura de *Araucaria angustifolia* no RS (n = 247). Variabilidade em área absoluta (A) e quantidade propriedades por classe de tamanho (B).

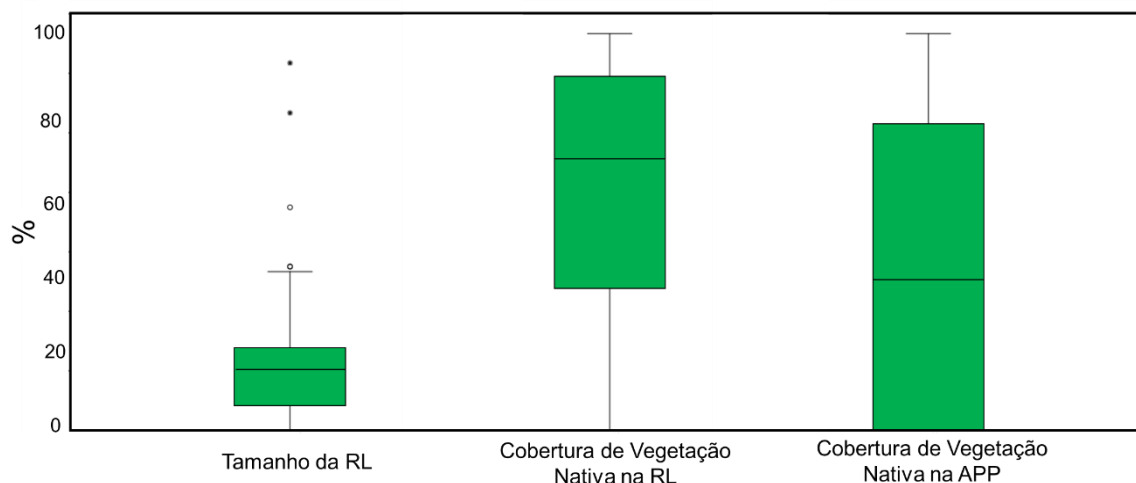


Figura 8: Indicadores de regularidade ambiental de propriedades com silvicultura de *Araucaria angustifolia* no RS (n = 247). Percentual de cobertura da Reserva Legal (RL) na propriedade, percentuais de cobertura de vegetação nativa na RL e na Área de Preservação Permanente (APP).

Em relação ao uso do solo nas propriedades com silvicultura de *A. angustifolia*, foram identificadas 11 classes distintas (Figura 9; Anexo 1). Além da classe trivial (silvicultura de *A. angustifolia*), as mais frequentes foram floresta nativa (em 92% das propriedades), outras lavouras temporárias (85%), mosaico de agricultura e pastagem (80%) e soja (73%). Silvicultura de *A. angustifolia* cobria um percentual pequeno das propriedades, com mediana de 1,36% e amplitude entre 0,04% e 50,83%. Entre as classes mais frequentes, destacaram-se também pela elevada cobertura: soja (mediana de 47%), floresta nativa (21%), outras lavoura temporárias (15%) e mosaico de agricultura e pastagem (13%). Silvicultura de exóticas esteve presente em 56 propriedades, com cobertura mediana de 4% e amplitude entre 0,00001% e 72%.

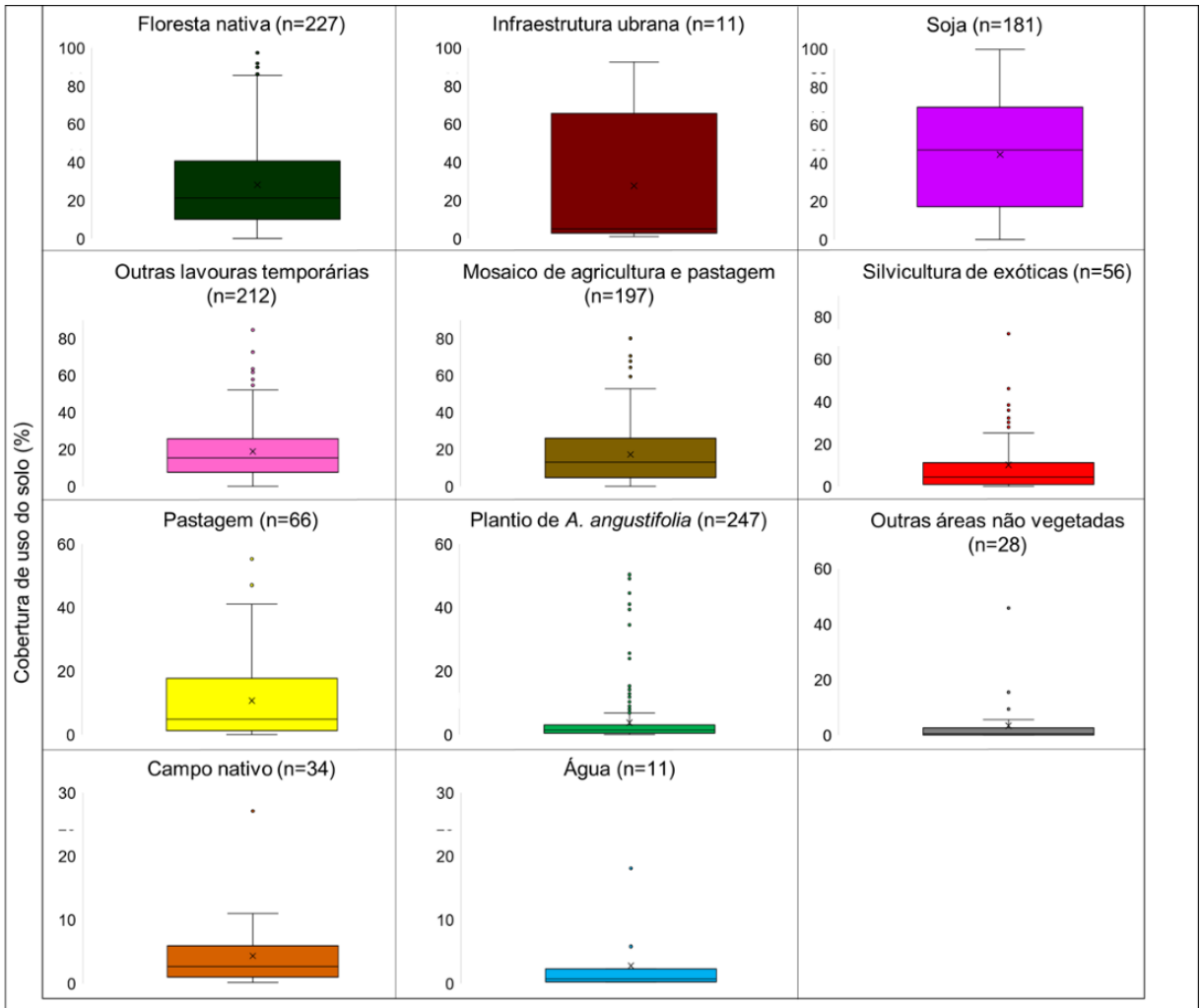


Figura 9: Incidência e cobertura relativa das classes de uso do solo (SOUZA et al. 2020) em propriedades com plantio de *A. angustifolia* no RS (n = 247).

Contraste do perfil das propriedades com silvicultura de A. angustifolia

Segundo a análise de variância da matriz de variáveis fundiárias, houve diferença significativa ($p = 0,013$) entre propriedades vizinhas com ou sem silvicultura de *A. angustifolia*. Contudo, o tamanho do efeito foi pequeno, correspondendo a 3,9% da variação total e 9,5% da variação dentro de blocos. Propriedades com silvicultura de *A. angustifolia* diferiram de propriedades sem silvicultura ($p = 0,012$), mas não diferiram de propriedades com silvicultura apenas de exóticas ($p = 0,917$), as quais diferiram de propriedades sem silvicultura ($p = 0,033$). Os três principais eixos da ordenação dessa matriz, explicaram 67% da variação dos dados (Figura 10). O primeiro eixo (29%) separou propriedades sem silvicultura das demais, onde as propriedades com silvicultura (de *A. angustifolia* ou de exóticas) tenderam a uma maior porcentagem de vegetação nativa em APP e RL, além de maior tamanho de RL. O segundo eixo (20%) e demonstrou divergência entre propriedades sem silvicultura e com silvicultura de espécies exóticas, que tenderam ser de tamanho menor, em áreas mais declivosas e de maior altitude. De forma similar, o terceiro eixo (18%) mostrou diferenças das propriedades sem silvicultura em relação às com silvicultura de *A. angustifolia*, que tenderam ser de tamanho menor, em altitudes mais baixas e declivosas.

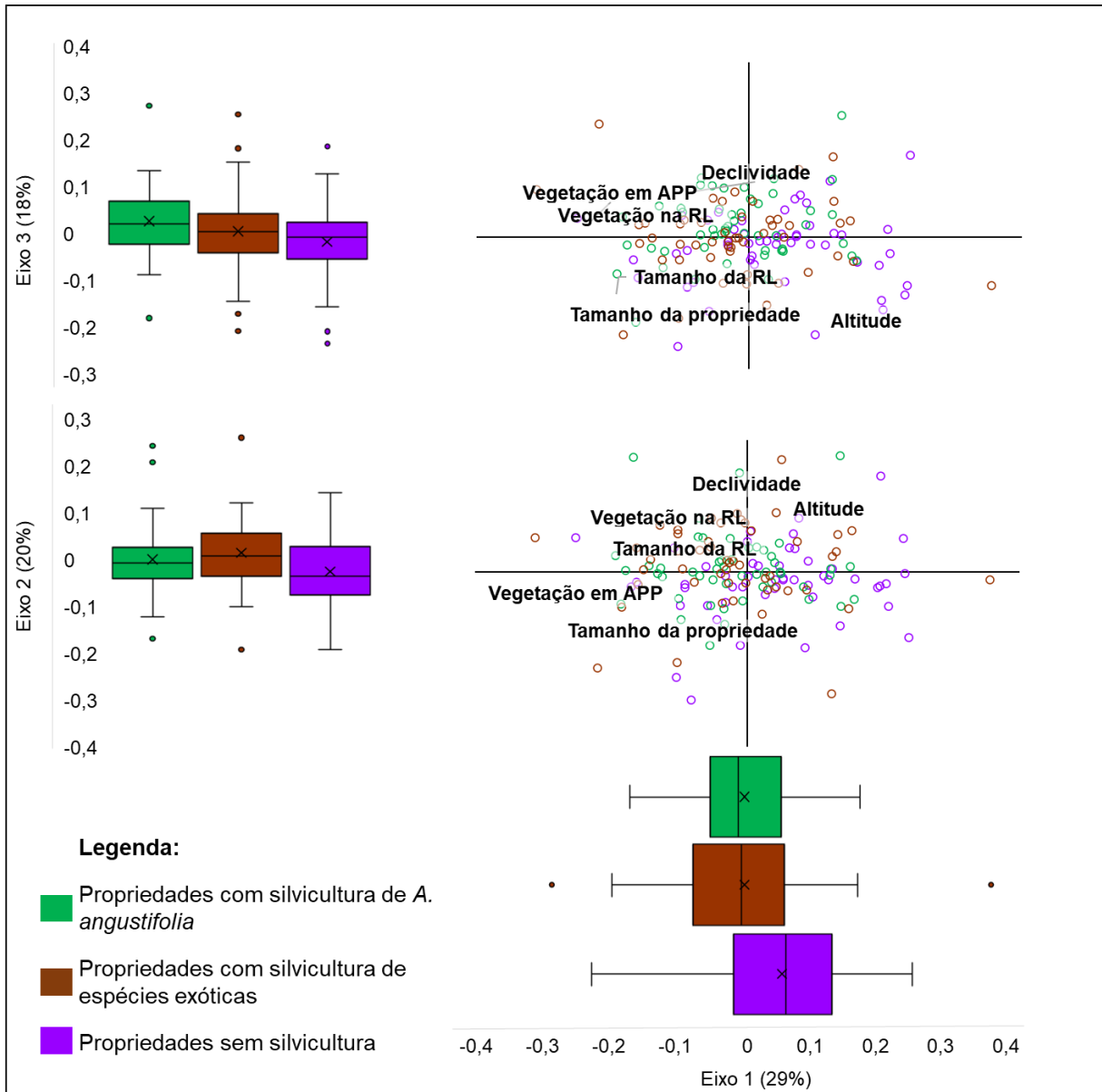


Figura 10: Análise de Componentes Principais de propriedades com silvicultura de *Araucaria angustifolia* (verde) e propriedades vizinhas com silvicultura apenas de espécies exóticas (marrom) e sem silvicultura (roxo), baseada na correlação de Pearson entre descritores de perfil fundiário. As propriedades estão distribuídas em 50 blocos amostrais, os valores foram previamente centralizados dentro de blocos para enfatizar a diferença entre os tipos de propriedades.

Segundo a análise de variância da matriz de variáveis ambientais, houve diferença significativa ($p = 0,001$) entre propriedades vizinhas com ou sem silvicultura de *A. angustifolia*. O efeito foi pequeno, correspondendo a 8,6% da variação total e 17,5% da variação dentro de blocos. Propriedades com silvicultura de *A. angustifolia* diferiram de propriedades com silvicultura de espécies exóticas ($p = 0,001$) e de propriedades sem silvicultura ($p = 0,001$), as quais também diferiram das propriedades com silvicultura de espécies exóticas ($p = 0,001$). Os três principais eixos da ordenação dessa matriz explicaram 80% da variação dos dados (Figura 11). O primeiro eixo (48%) separou propriedades sem silvicultura das demais, onde as propriedades com silvicultura (de *A. angustifolia* ou de exóticas) tenderam a uma maior cobertura de floresta nativa e de silvicultura de espécies exóticas, em contraste com as sem silvicultura que se destacaram por possuir predomínio de plantações de soja. O segundo eixo (21%) separou as demais propriedades das com silvicultura de espécies exóticas, caracterizadas pela maior cobertura desta própria classe, em contraste com as outras propriedades, em que o uso do solo foi mais diverso. O terceiro eixo (14%) separou as propriedades com silvicultura de *A. angustifolia*, que demonstraram maior cobertura de floresta nativa em relação às propriedades com silvicultura de exóticas ou sem silvicultura.

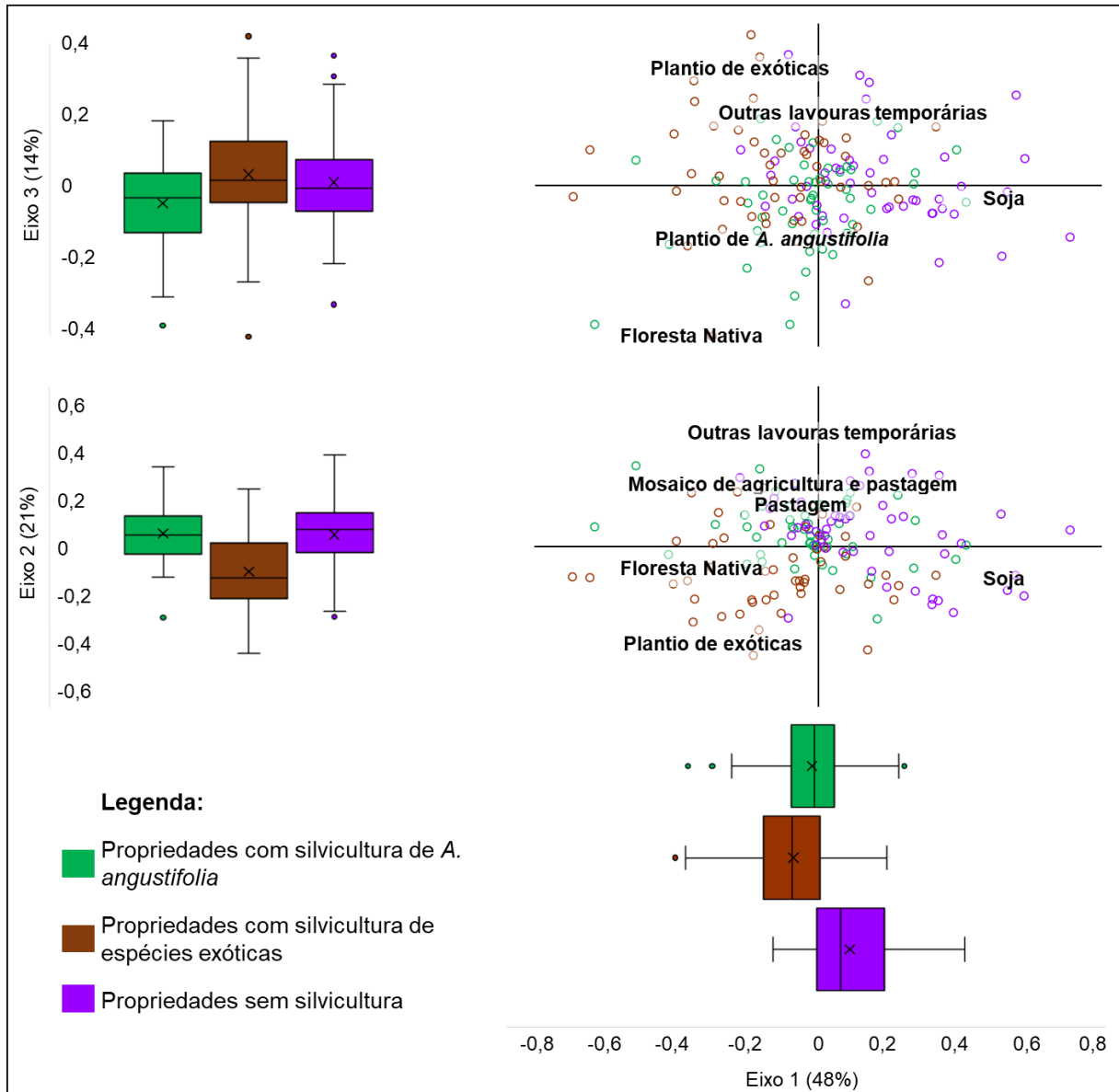


Figura 11: Análise de Coordenadas Principais de propriedades com silvicultura de *Araucaria angustifolia* (verde) e propriedades vizinhas com silvicultura apenas de espécies exóticas (marrom) e sem silvicultura (roxo), baseada na distância Euclidiana entre propriedades. As propriedades estão distribuídas em 50 blocos amostrais, e os valores foram previamente centralizados dentro de blocos para enfatizar a diferença entre os tipos de propriedades. Estão identificadas nos diagramas as variáveis cuja correlação com ao menos um dos eixos foi $r \geq |0,10|$.

Discussão

O processo de CIFPEN

Promover a sustentabilidade do setor agrícola é um grande desafio, sobretudo visando conciliar preservação ambiental com geração de renda e emprego (MARTINELLI et al. 2010). Nesse sentido, são essenciais pesquisas que contribuam com bases teóricas para o desenvolvimento de estratégias voltadas a estes objetivos, tais como sistemas agroflorestais (TUBENCHLAK et al. 2021; URRUTH et al. 2022) e silvicultura de espécies nativas (BROCKERHOFF et al. 2008). Para esta última, os estudos avaliando o potencial de espécies para compor esse sistema de produção são escassos e concentram-se nas regiões nordeste e norte do país (ROLIM & PIOTTO 2018; PIÑA-RODRIGUES & SILVA 2021). Assim, esta pesquisa, realizada utilizando como base os dados advindos de um órgão ambiental público, apresenta dados e informações importantes para promover estratégias que possam ampliar a silvicultura de *A. angustifolia* no Sul do Brasil, em especial no RS.

Inicialmente foi possível constatar que as propriedades com silvicultura de *A. angustifolia* estão concentradas, sobretudo, em dois polos, localizados nas regiões Noroeste (NO) e Nordeste (NE) do Estado. A alta densidade de plantios nessas regiões pode ser explicada pela predominância da área original de Floresta Ombrófila Mista nessas regiões (VELOSO et al. 1991). Historicamente, essa área vem sendo convertida em plantios de lavouras, atividade econômica lucrativa na região (FEIX et al. 2022) e evidenciada neste estudo como uso do solo abundante nas propriedades com silvicultura de *A. angustifolia*. Dessa forma, os produtores de lavouras podem ter se interessado em realizar plantios de árvores para obtenção de madeira (e/ou pinhão) e, assim, optaram pelo plantio de *A. angustifolia*, uma vez que já reconheceriam a aptidão desta espécie por sua presença marcante nos remanescentes florestais locais. Assim, pode ser importante promover as políticas públicas nas regiões além a estes polos com o objetivo de ampliar as áreas dos plantios de *A. angustifolia*.

Conforme apresentado nesta pesquisa, apenas 7% dos requerentes que realizaram o processo de certificação tem interesse em realizar um novo plantio com espécies nativas. Dentre os principais motivos para o baixo interesse, os proprietários citam a alta burocracia do processo, somado ao pouco rendimento econômico dos plantios em comparação com a atividade agropecuária. Em relação a outros países, o Brasil tem um dos maiores números de leis e exigências para realização de plantios com florestas nativas (CUBBAGE et al. 2007). Apesar de necessária, essa situação acaba fortalecendo uma ideia de que o manejo da *A. angustifolia* não é permitido (EISFELD et al. 2019). Portanto, pode existir dificuldade em subsidiar programas de governo para difundir essas práticas de manejo sustentável e tornar a atividade menos burocrática. Nesse sentido, embora seja permitido o manejo da espécie de acordo com a legislação, devido à falta de informações quanto essas permissões, o aumento das áreas de florestas nativas plantadas é dificultado e os ambientes nativos tendem a sofrer com o crescente avanço das áreas agrícolas (BRAGA et al. 2018).

Cabe ressaltar também os dois principais motivos de indeferimento dos processos no órgão ambiental: não atendimento às complementações e localização dos plantios em áreas irregulares, estes possivelmente relacionados a lacuna de informações do proprietário quanto ao processo. Silva et al. (2014), em estudo sobre o processo de certificação de florestas plantadas no Nordeste brasileiro, reforça sobre a importância de um canal oficial de informação sobre o procedimento que seja mais acessível aos proprietários. Dessa forma, sugere-se que as informações relacionadas ao procedimento de certificação, sobretudo do ponto de vista das restrições e permissões na legislação, devam ser mais bem traduzidas e divulgadas à população (SILVA et al. 2014). Embora o passo a passo para requerimento do CIFPEN esteja disponibilizado no site oficial da SEMA (<https://www.rs.gov.br/carta-de-servicos/servicos?servico=1574>), constam poucas informações referente as restrições e permissões legais. Além disso, é pouco claro os benefícios que a atividade pode refletir ao produtor rural, sobretudo em relação a fatores econômicos e sociais. Recomenda-se, além da inserção de mais informações no canal oficial, a realização de cartilhas para divulgação da atividade, em que possam ser citados exemplos de plantios para incentivar a prática entre os agricultores, como já é realizado para sistemas agroflorestais no estado (LONGHI 2020).

Outro motivo relacionado aos indeferimentos foi a dificuldade dos técnicos ambientais em concluir se as árvores em questão eram, de fato, provenientes de plantio. Dentre os critérios utilizados, os principais são o alinhamento das árvores e o tamanho similar entre os indivíduos para caracterizar o plantio. Contudo, é sabido que indivíduos de *A. angustifolia* podem apresentar taxas de crescimento localmente variadas, resultando em indivíduos com idades similares e tamanhos bastante discrepantes (HESS et al. 2009). Sendo assim, como alternativa para auxiliar os técnicos, cita-se a amostragem do lenho das árvores com trado de incremento, no sentido casca-medula, em que será possível visualizar os anéis de crescimento e concluir sobre a idade dos indivíduos, bem como sobre o ano do plantio, de acordo com a primeira camada de crescimento da planta (STOKES & SMILEY 1968). Estudos dendrocronológicos vêm sendo amplamente realizados com esta espécie (OLIVEIRA et al. 2010; OLIVEIRA & SACARIOT 2010; CATTANEO et al. 2013; LORENSI & PRESTES 2016; OLIVEIRA et al. 2017; ALBIERO-JUNIOR et al. 2020; BRANDES et al. 2021; SCIPIONI et al. 2021). Dessa forma, o treinamento em técnicas dendrocronológicas para os técnicos da SEMA poderia trazer benefícios tanto ao melhoramento do processo de certificação, como também a uma melhor comunicação entre o órgão ambiental e a esfera acadêmica.

Perfil fundiário e ambiental

Em relação a regularização ambiental, as áreas de RL das propriedades com silvicultura de *A. angustifolia* apresentaram em média 56% de sua área com cobertura preservada. Contudo, mais da metade das propriedades (72%) apresentaram RL inferior ao mínimo exigido, estando em débito com a legislação ambiental. Por lei, é permitido o manejo sustentável das áreas de RL (BRASIL 2012a), dessa forma os baixos valores de cobertura preservada podem ser explicados pelo uso dessas áreas de proteção para benefícios econômicos dos proprietários. No entanto, existe inconformidade desta legislação federal com as Resoluções Estaduais nº383/2018 e nº 465/2022, que regulamentam o CIFPEN. Nestas, plantios de *A. angustifolia* localizados em RL não podem ser certificados. No entanto, uma vez que a própria legislação ambiental federal regulamenta as áreas de RL para manejo sustentável da flora, a realização de plantios nestas áreas de proteção é contraditória. A permissão da realização destes plantios e respectivos manejo de *A. angustifolia* nas áreas de RL pode ser uma solução a fim de aumentar essas áreas de proteção nas propriedades rurais, bem como, difundir o procedimento para mais agricultores que poderão vir a se interessar por essa modalidade de manejo sustentável.

Foi constatado que as propriedades sem atividade silvicultural possuem menor porcentagem de vegetação nativa nas áreas de APP e RL e menor cobertura de RL na propriedade. Dessa forma, o plantio de árvores, sejam elas nativas ou exóticas, nas propriedades está associado com melhor regularidade ambiental, de modo que propriedades que não praticam esse plantio estão em maior débito com a legislação ambiental. O setor agroindustrial vem criticando a legislação ambiental pelo limite de 20% ser muito restritivo (METZGER et al. 2019). Pesquisas em outros estados também vêm evidenciando irregularidades na legislação ambiental em propriedades rurais, tanto para áreas de RL como para APP, especialmente com cultivos agrícolas (SPAROVEK et al. 2010). Essa situação pode estar relacionada com baixo retorno econômico nas áreas preservadas, custos com regularização para restauração das terras, bem como, dificuldade na fiscalização por parte do órgão ambiental (PACHECO et al. 2017). Deste modo, incentivar o manejo sustentável nessas áreas, sobretudo com o plantio de espécies nativas, pode ocasionar melhora desses índices de regularidade ambiental, bem como no perfil ambiental, especialmente em propriedades atualmente sem plantios de árvores.

Ainda em relação ao perfil fundiário, foi constatado que áreas sem silvicultura tem maior tamanho do que áreas com qualquer plantio silvicultural. De acordo com o CENSO agrícola do IBGE (2017), culturas de lavoura temporária e permanente representaram os maiores valores de produção no território brasileiro, com 90% do total para a produção vegetal, por outro lado, silvicultura representou apenas 5,7% deste total. Dessa forma, possivelmente, o maior tamanho das propriedades pode estar relacionado com o maior rendimento econômico das áreas com agricultura tradicional e sua conseqüente maior importância no território (MARTINELLI et al. 2010). Especificamente para propriedades com silvicultura de *A. angustifolia*, estas estão, em sua maioria, classificadas como pequena propriedade, corroborando com os dados do RS de que a maior parte das propriedades de menor tamanho concentra-se na região noroeste, onde são encontrados a maioria dos processos de CIFPEN (FEIX et al. 2022).

Para topografia, propriedades com silvicultura estão localizadas em terrenos com maior declive em relação as sem silvicultura, ou seja, estas estão predominantemente em terrenos mais planos. Mengue et al. (2020), evidenciaram a declividade como um dos fatores limitantes para o plantio de soja, sendo que os autores demonstraram expansão de silvicultura em regiões com declives mais acentuados, enquanto, para soja, a declividade foi negativamente relacionada, corroborando com os resultados deste estudo. Ainda, especificamente para propriedades com silvicultura de *A. angustifolia*, Reis et al. (2021) indicam que áreas com maior declividade tem mais potencial para conservação e plantio dessa espécie, uma vez que essas condições favorecem a drenagem, pelo maior acúmulo de água, e proporciona maior profundidade para desenvolvimento radicular (ABRÃO et al. 2017).

Além do perfil fundiário, foi identificado também que existe diferença no uso do solo entre propriedades sem silvicultura, com silvicultura de *A. angustifolia* e com silvicultura de espécies exóticas. Propriedades sem silvicultura tem tendência a serem predominantes pelo monocultivo de soja. De acordo com dados do CENSO de produção agrícola do IBGE, o RS é o segundo estado brasileiro que mais possui área plantada deste grão no território, sendo que, desde 2009, a área plantada de soja no estado já aumentou mais de 2.000.000ha (IBGE 2022a). Cabe ressaltar que a soja ocupa o primeiro lugar no ranking de valor de produção para a agricultura no RS (IBGE 2022b), justificando o predomínio desta modalidade de produção em propriedades com agricultura convencional. O predomínio de um tipo de uso do solo também foi identificado para as propriedades com silvicultura de espécies exóticas, nesse caso relacionado com plantação de árvores exóticas.

Ainda em relação ao uso do solo, também foi identificado que propriedades com silvicultura de *A. angustifolia* estão relacionadas à maior cobertura de vegetação nativa, em contraste com propriedades caracterizadas por possuírem silvicultura de espécies exóticas ou nenhum tipo de silvicultura. Medina et al. (2020), em plantios de *A. angustifolia* localizados na região de Misiones (Argentina), concluiu que estes contribuem com o aumento da riqueza de árvores nativas. Outros trabalhos com plantio de espécies nativas vêm fortalecendo a ideia de que estes modelos silviculturais favorecem a conectividade da paisagem, contribuindo para manutenção da biodiversidade e conservação de espécies ameaçadas (BROCKERHOFF et al. 2008; LAMB 2014). Dessa forma, os resultados encontrados no presente estudo estão de acordo com a bibliografia disponível e reforçam a importância desse sistema de produção como alternativa à restauração e conservação de florestas nativas.

Por fim, ressalta-se que as informações que constam na legislação, sobretudo as que sofreram modificações entre as resoluções, devem ser mais bem especificadas aos requerentes. Não há lei que proíba o manejo de plantios de *A. angustifolia*, contudo, existe um “preconceito” nesta atividade devido ao histórico de exploração, assim, é essencial, além da melhor divulgação, uma nova formação de consciência por parte do governo para as pessoas (EISFELD et al. 2019). Dessa forma, será possível o alcance dessas informações para mais pessoas, ampliando o processo de certificação no Estado e contribuindo para iniciativas de uso e conservação da flora nativa, as quais devem incluir a população na tomada de decisões (TAGLIARI et al. 2021).

Conclusão

Os resultados desta pesquisa, realizada tendo como base as certificações advindas do órgão ambiental, auxiliam na ampliação de conhecimentos relacionados aos plantios de *A. angustifolia* no RS. Propriedades com silvicultura de *A. angustifolia* são distintas das propriedades sem silvicultura em relação ao perfil fundiário e ambiental, uma vez que tem tendência em apresentar maior cobertura vegetal nativa na propriedade e nas áreas de APP e de RL, bem como maior tamanho de RL e localização em áreas com maior declive e menor altitude. Em relação as propriedades com silvicultura, mas composta por espécies exóticas, a diferença se dá apenas em relação ao perfil ambiental, em que há maior cobertura de vegetação nativa nas propriedades com silvicultura de *A. angustifolia* e predominância de uso de solo composto por plantio de espécies exóticas nas com silvicultura de exóticas.

Especificamente sobre o processo de CIFPEN, foi constatado pouco interesse dos proprietários em realizar novamente a certificação, sobretudo devido às propriedades dos requerentes terem como predomínio o cultivo agrícola, mas também devido ao entendimento equivocado de que a legislação não permite o manejo de *A. angustifolia*. Somado este último motivo ao alto número de processos indeferidos devido aos requerentes não enviarem complementações exigidas pelo órgão, torna-se importante que as informações necessárias para a certificação sejam mais bem divulgadas para a população, especialmente quanto às permissões da legislação ambiental em relação ao procedimento.

Referências

Abrão S.F., Rizzi N.E., Pelissari A.L., Machado S. do A. (2017). Influência das condições ambientais no crescimento de dois grupos arbóreos em floresta com araucária. *Biofix*, [dx.doi.org/10.5380/biofix.v2i2.53634](https://doi.org/10.5380/biofix.v2i2.53634).

Albiero-Júnior A., Venegas-Gonzales A., Rodriguez-Caton M., Oliveira J.M., Longhi-Santos T., Galvão F., Temponi L.G., Botosso P.C. (2020). Edge effects modify the growth dynamics and climate sensitivity of *Araucaria angustifolia* trees. *Tree-Ring Research*, <https://doi.org/10.3959/TRR2018-9>.

Braga W.R.O., Scalco A.R., Pigatto G. (2018). Certificação florestal: acesso a mercado ou mercado de acesso? *Desenvolvimento Regional em Debate*, <https://doi.org/10.24302/drd.v8i1.1559>.

Brandes A.F. das N., Albuquerque R.P., Lisi C.S., Lemos D.N. de, Nicola L.R.M., Melo A.L.F., Barros C.F. (2021). The growth responses of *Araucaria angustifolia* to climate are adjusted both spatially and temporally at its northern distribution limit. *Forest Ecology and Management*, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119024>.

Brandes, A.F.N., Novello, B.Q., Domingues, G.A.F., Barros, C.F., Tamaio, N. (2020). Endangered species account for 10% of Brazil's documented timber trade. *Journal for Nature Conservation*, <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125821>.

Brasil (2012)a. Lei N° 12.651 de 25 de Maio de 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Accessed: 27 Dec 2022.

Brasil (2012)b. Decreto N° 7.830 de 17 de Outubro de 2012. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=7830&ano=2012&ato=e6dEzZq10MVpWT5fd>. Accessed: 27 Dec. Dez. 2022.

Brasil (2022). Instrução Especial N° 5 de 29 Julho de 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/web/dou/-/instrucao-especial-n-5-de-29-de-julho-de-2022-418986404>. Accessed: 27 Dec. 2022.

Brockerhoff E.G., Jactel H., Parrotta J.A., Quine C. P., Sayer J. (2008). Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? *Biodiversity and Conservation*, 10.1007/s10531-008-9380-x.

Brummitt N., Araújo A.C., Harris T. (2020). Areas of plant diversity – What do we know? *Plants People Planet*, <https://doi.org/10.1002/ppp3.10110>.

Carvalho P.E.R. (2003)a. *Espécies arbóreas brasileiras*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 1044p.

Carvalho P.E.R. (2003)b. *Espécies arbóreas nativas: silvicultura e usos*. Embrapa Florestas: I Semana do Estudante Universitário, 6p.

Castro-Diez P., et al. (2019). Global effects of non-native tree species on multiple ecosystem services. *Biological Reviews*, 10.1111/brv.12511.

Cattaneo N., Pahr N., Fassola H., Leporati J., Bogino S. (2013). Sex-related, growth–climate association of *Araucaria angustifolia* in the neotropical ombrophilous woodlands of Argentina. *Dendrochronologia*, <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2013.01.005>.

Chaddad F.R., Jank M.S. (2006). The evolution of Agricultural Policies and Agribusiness Development in Brazil. *Choices*, v. 21, n. 2, p. 85-90.

Cubbage F. et al. (2006). Timber investment returns for selected plantations and native forests in South America and the Southern United States. *New Forests*, v. 33, p. 237-255.

Eisfeld R. de L., Arce J.E., Sanquetta C.R., Braz E.M. (2019). Is it forbidden the wood use of *Araucaria angustifolia*? An analysis on the current legal budget. *Floresta*, 10.5380/rf.v50i1.60023.

Falkenmark M. (2013). Growing water scarcity in agriculture: future challenge to global water security. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2012.0410>.

Fearnside P.M. (1998). Plantation forestry in Brazil: Projections to 2050. *Biomass and bioenergy*, v. 15, n. 6, p. 437 – 450.

Feix R.D., Leusin Junior S., Borges B.K., Pessoa M.L. (2022). Painel do agronegócio do Rio Grande do Sul – 2022. Porto Alegre: SPGG, 80p.

Gallardo B., Aldridge D.C., González-Moreno P., Pergl J., Pizarro M., Pysek P., Thuiller W., Yesson C., Vilà M. (2017). Protected areas offer refuge from invasive species spreading under climate change. *Global Change Biology*, 10.1111/gcb.13798.

Gennaro B.C., Forleo M.B. (2019). Sustainability perspectives in agricultural economics research and policy agenda. *Agricultural and Food Economics*, <https://doi.org/10.1186/s40100-019-0134-8>.

Harvey M.G. et al. (2020). The evolution of a tropical biodiversity hotspot. *Science*, 10.1126/science.aaz6970.

Helsen K., Mutsushima H., Somers B., Honnay O. (2021). A trait-based approach across the native and invaded range to understand plant invasiveness and community impact. *Oikos*, 10.1111/oik.08034.

Hess A.F., Schneider P.R., Finger C.A.G. (2009). Diameter growth in function of the age of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze in three regions of Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, v. 19, n. 1, p. 7-22.

Hoekstra A.Y., Mekonnen M.M. (2012). The water footprint of humanity. *Environmental Sciences*, <https://doi.org/10.1073/pnas.1109936109>.

Iba, Indústria Brasileira de Árvores. (2017). Relatório 2017 - Indústria Brasileira de Árvores. São Paulo: Studio 113, 80p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017). Censo Agropecuário 2017. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf. Accessed: 27 Dec. 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2009). Mesorregiões e microrregiões geográficas Rio Grande do Sul. Disponível em: http://mapas.fee.tche.br/wp-content/uploads/2009/08/micro_mesorregioes_rs_2009.pdf. Accessed: 27 Dec. 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022)a. Produção Agrícola – Lavoura temporária. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pesquisa/14/10193?tipo=ranking&indicador=10370&ano=2015>. Accessed: 15 Sep. 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022)b. Produção Agropecuária. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/rs>. Accessed: 15 Sep. 2022.

Lamb D. (2014). Large-scale forest restoration. London: Routledge, Taylor & Francis Group, 320p.

Longhi A. (2020). Agroflorestas: plantando possibilidades, restabelecendo laços e cultivando a vida. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202103/15170450-cartilha-sistematizacao-safs-sema-rge-2020.pdf>. Accessed: 02 Jan. 2023.

Lorensi C., Prestes A. (2016). Dendroclimatological reconstruction of spring-summer precipitation for Fazenda Rio Grande, PR, with samples of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Revista árvore, v. 40, p. 1-8.

Lorenzi H. (1992). Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum.

Mantovani, Adelar; Morellato, Patrícia C.; Reis, Maurício S. (2004). Fenologia reprodutiva e produção de sementes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. Revista Brasileira de Botânica, v. 27, n. 4, p. 787-796.

Martinelli L.A., Naylor R., Vitousek P.M., Moutinho P. (2010). Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. Current Opinion in Environmental Sustainability, 10.1016/j.cosust.2010.09.008.

Medina M., Flores M.P., Goya J.F., Campanello P.I., Pinazo M.A., Ritter L.J., Arturi M.F. (2020). Native tree regeneration in native tree plantations: understanding the contribution of *Araucaria angustifolia* to biodiversity conservation in the threatened Atlantic Forest in Argentina. Austral Ecology, 10.1111/aec.12850.

Mengue V.P., Freitas M.W.D. de, Silva T.S. da, Fontana D.C., Scottá F.C. (2020). LAND-USE and land-cover change processes in Pampa biome and relation with environmental and socioeconomic data. *Applied Geography*, <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102342>.

Metzger J.P., et al. (2019). Why Brazil needs its Legal Reserves. *Perspectives in Ecology and Conservation*, <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.07.002>.

MMA – Ministério do Meio Ambiental. (2014). Portaria N. 433 de 17 de Dezembro de 2014. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/PT0443-171214.pdf>. Accessed: 27 Dec. 2022.

Myers N. (1988). Threatened biotas: "Hot spots" in tropical forests. *Environmentalist*, v. 8, p. 187-208.

Oliveira J.M., Roig F.A., Pillar V.P. (2010). Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* in the southern Brazilian highlands. *Austral Ecology*, <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2009.02018.x>.

Oliveira L.F., Elbl P., Navarro B.V., Macedo A.F., Santos A.L.W., Floh E.L.S., Cooke J. (2017). Elucidation of the polyamine biosynthesis pathway during Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*) seed development. *Tree Physiology*, <https://doi.org/10.1093/treephys/tpw107>.

Oliveira W.L., Scariot A. (2010). Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do pequi. . Accessed: 02 Jan. 2023.

Ortiz A.M.D., Outhwaite C.L., Dalin C., Newbold T. (2021). A review of the interactions between biodiversity, agriculture, climate change, and international trade: research and policy priorities. *One Earth*.

Pacheco R., Rajão R., Soares-Filho B., Hoff R.V.D. (2017). Regularization of legal reserve debts: perceptions of rural producers in the state of Pará and Mato Grosso in Brazil. *Ambiental Society*, <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC0012R1V2022017>.

Peralta R.M., Koehnlein E.A., Oliveira R.F., Correa V.G., Correa R.C.G., Bertonha L., Bracht A., Ferreira I.C.F.R. (2016). Biological activities and chemical constituents of

Araucaria angustifolia: An effort to recover a species threatened by extinction. Trends in food science & technology, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.05.013>.

Pillar V. de P. (2006). MULTIV: Multivariate Exploratory Analysis, Randomization Testing and Bootstrap Resampling. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, User's Guide v. 2.4.

Pillar V. de P. (2013). How accurate and powerful are randomization tests in multivariate analysis of variance? Community Ecology, <https://doi.org/10.1556/comec.14.2013.2.5>.

Pillar V. de P., Orlóci L. (1996). On randomization testing in vegetation science: multifactor comparisons of relevé groups. Journal of Vegetation Science, v. 7, p. 585-592.

Piña-Rodrigues F.C.M., Silva J.M.S. (2021). Silvicultura tropical: o potencial madeireiro e não madeireiro das espécies tropicais. Sorocaba: Edição dos autores, 596p.

Pinto S.R., Melo F., Tabarelli M., Padovesi A., Mesquita C.A., Scaramuzza C.A. de M., Castro P., Carrascosa H., Calmon M., Rodrigues R., César R.G., Brancalion P.H.S. (2014). Governing and Delivering a Biome-Wide Restoration Initiative: The Case of Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. Forests, <https://doi.org/10.3390/f5092212>.

Pyšek P., et al. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. Biological Reviews, [10.1111/brv.12627](https://doi.org/10.1111/brv.12627).

Ratuchne L.C., Brustolim J.C., Koehler H.S., Watzlawick L.F., Sanquetta C.R., Schamne P.A. (2015). Quantificação de carbono florestal em povoamentos de *Araucaria angustifolia* no sudoeste do estado do Paraná, [10.5935/ambiencia.2015.02.04](https://doi.org/10.5935/ambiencia.2015.02.04).

Raven P.H., Gereau R.E., Phillipson P.B., Chatelain C., Jenkins C.N., Ulloa C.U. (2020). The distribution of biodiversity richness in the tropics. Science, [10.1126/sciadv.abc6228](https://doi.org/10.1126/sciadv.abc6228).

Reis A. R. N dos, Biondi D., Júnior S. I., Viezzer J., Kovalsky B., Oliveira J. Dias de (2021). Potential occurrence of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze in the urban forest of Curitiba, Paraná, Brazil. *Dyna*, <http://doi.org/10.15446/dyna.v88n217.88869>.

Richardson D.M., Rejmánek M. (2011). Trees and shrubs as invasive alien species – a global review. *Diversity and Distributions*, 10.1111/j.1472-4642.2011.00782.x.

Reis M.S. dos, Ladio A., Peroni N. (2014). Landscapes with *Araucaria* in South America: evidence for a cultural dimension. *Ecology and Society*, <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06163-190243>.

Rio Grande do Sul (1998). Decreto N° 38.355 de 01 de Abril de 1998. Disponível em: http://www.al.rs.gov.br/legis/m010/M0100099.asp?Hid_Tipo=TEXT0&Hid_TodasNormas=6791&hTexto=&Hid_IDNorma=6791. Acesso em 27 Dez. 2022.

Rio Grande do Sul (2022). Resolução CONSEMA N° 465 de 19 de Maio de 2022. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202206/15143328-465-2022-alteracao-da-resolucao-383-2018-cifpen.pdf>. Acesso em: 27 Dez. 2022.

Rio Grande do Sul. (2018). Resolução CONSEMA N° 383 de 11 de Outubro de 2018. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201810/24163723-383-2018-criterios-e-procedimentos-para-certificacao-e-exploracao-de-florestas-plantadas-com-especies-nativas.pdf>. Acesso em: 27 Dez. 2022.

Rolim S.G., Piotto D. (2018). *Silvicultura e Tecnologia de Espécies da Mata Atlântica*. Belo Horizonte: Editora Rona, 165p.

Santos H.G. dos, Júnior W. de C., Dart R. de O., Ágilo M.L.D., Sousa J.S. de, Pares J.G., Fontana A., Martins A.L. da S., Oliveira A. P. de (2011). *O Novo Mapa de Solos do Brasil: Legenda Atualizada*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 67p.

Scipioni M.C., Fontana C., Oliveira J.M., Santini-Junior L., Roig F.A., Tomazello-Filho M. (2021). Effects of cold conditions on the growth rates of a subtropical conifer. *Dendrochronologia*, <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125858>.

Scipioni M.C., Higuchi P., Fockink G.D., Allen C.D. (2022). Old-growth structural attributes associated with the last giant subtropical conifers in South America. *Austral Ecology*, .

Silva D.M., Araújo M.C., Silva V.F., Bernard E. (2014). Contradições no comércio de madeira certificada em uma região metropolitana do Nordeste do Brasil. *Floresta*, v. 44, n.3, p. 403-410.

Souza et. al. (2020) - Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine - Remote Sensing, 10.3390/rs12172735.

Souza T., Dobner Jr. M., Schmitt D.E., Silva L.J.R., Schneider K. (2022). Soil biotic and abiotic traits as driven factors for site quality of *Araucaria angustifolia* plantations. *Biologia*, v. 77, p. 1219-1230.

Sparovek G., Berndes G., Klug I.L.F., Barretto A.G.O. (2010). Brazilian Agriculture and Environmental Legislation: Status and Future Challenges. *Environmental Science & Technology*, 10.1021/es1007824.

Stefenon V.M., Gailing O., Finkeldey R. (2008). Genetic structure of plantations and the conservation of genetic resources of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*). *Forest Ecology and Management*, 10.1016/j.foreco.2008.01.036.

Stokes M.A., Smiley T.L. (1996). An introduction to Tree-Ring Dating. Arizona: University of Arizona Press, 73p.

Tagliari M.M., Levis C., Flores B.M., Blanco G.D., Freitas C.T., Bogoni J.A., Vielledent G., Peroni N. (2021). Collaborative management as a way to enhance *Araucaria* Forest resilience. *Perspectives in Ecology and Conservation*, <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.03.002>.

Thomas P. (2013). *Araucaria angustifolia*. The IUCN Red List of Threatened Species. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-.RLTS.T32975A2829141.en>. Acesso em: 27 Dez. 2022.

Tubenchlak F., Badari C., Strauch G.F. de, Moraes L. (2021). Changing the Agriculture Paradigm in the Brazilian Atlantic Forest: The Importance of Agroforestry. *The Atlantic Forest, History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-diverse Forest*, 10.1007/978-3-030-55322-7_17.

Urruth L.M., Bassi J.B., Chemello D. (2022). Policies to encourage agroforestry in the Southern Atlantic Forest. *Land Use Policy*, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105802>.

Valeriano M. de M., Rosseti D. de F. (2012). Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography*, [10.1016/j.apgeog.2011.05.004](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.05.004).

Valverde S. R. (2012). *Silvicultura brasileira: oportunidades e desafios da economia verde*. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 39p.

Veloso H.P., Filho A.L.R.R., Lima J.C.A. (1991). *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 124p.

Vilà M., Espinar J.L., Hejda M., Hulme P.H., Jarosik V., Maron J.L., Pergl J., Schaffner U., Sun Y., Pysek P. (2011). Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology Letters*, [10.1111/j.1461-0248.2011.01628](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01628).

Zhao M., Pitman A.J., Chase T. (2001). The impact of land cover change on the atmospheric circulation. *Climate Dynamics*, <https://doi.org/10.1007/PL00013740>.

Anexos

	n	Mínimo	1Q	2Q	3Q	Máximo
Topografia						
Altitude (m)	247	57,75	551	625	639,95	934
Declividade (°)	247	2	10	14	21	55,2
Área (ha)	247	0,04	11,53	20,48	31,87	654,74
Uso do solo (%)						
Floresta Nativa	227	0,008	10,23	21,34	40,32	97,42
Infraestrutura Urbana	11	1,02	2,95	5,18	56,90	92,78
Soja	181	0,004	17,44	46,99	69,56	99,68
Outras Lavouras Temporárias	212	0,0002	7,71	15,34	25,49	84,65
Mosaico de Agricultura e Pastagem	197	0,007	4,67	13,12	25,48	80,12
Plantio de Exóticas	56	0,00001	0,92	4,08	10,54	72,12
Pastagem	66	0,00004	1,26	4,91	16,22	55,32
Plantio de <i>A. angustifolia</i>	247	0,04	0,56	1,36	3,10	50,38
Outras Áreas Não Vegetadas	28	0,0006	0,10	0,51	2,31	45,89
Formação Campestre	34	0,17	1,14	2,66	5,74	27,11
Água	11	0,22	0,25	0,73	1,85	18,15

Anexo 1: Descrição da variação de altitude, declividade, tamanho e classes de uso de solo das propriedades com plantio de araucária deferido pelo órgão ambiental do Rio Grande do Sul, Brasil. (n = número de plantios em que a variável ocorre; mínimo = valor mínimo registrado; 1Q = 1° quartil; 2Q = mediana; 3Q = 3° quartil; máximo = valor máximo registrado)

VARIABILIDADE REGIONAL E DETERMINANTES DO CRESCIMENTO DE *Araucaria angustifolia* EM PLANTIOS NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

Artigo formatado de acordo com as normas da revista **Forest Ecology and Management**.

Resumo

Diante da necessidade de unificar a ganhos econômicos e ambientais na silvicultura, plantações de espécies nativas apresentam-se como solução em potencial. Dentre as poucas espécies exploradas, no sul do Brasil, *Araucaria angustifolia* é uma conífera com expressivo potencial madeireiro e não madeireiro, tendo sido sobre-explorada, levando à ameaça de extinção. Embora proibida, sua exploração comercial ainda é muito visada, contudo, pouco se sabe sobre sua variabilidade e taxas de crescimento anuais em plantios, bem como sobre quais fatores influenciam nestes valores. Assim, o objetivo desta pesquisa foi descrever a variabilidade e o crescimento de plantios silviculturais de *A. angustifolia* no Rio Grande do Sul e determinar preditores ambientais e silviculturais que influenciam nestas taxas, visando identificar regiões do estado com potencial para realização deste modelo de produção. A partir da análise de processos legais de certificação pelo órgão ambiental do Estado, foram selecionados 107 plantios, totalizando 6280 árvores, distribuídos no Estado. O Incremento Diamétrico Médio Anual dos plantios foi de 0,97 cm/ano. Constatou-se que a espécie possui considerável variabilidade nas taxas de crescimento dentro e entre os plantios avaliados, sendo que essas são influenciadas sobretudo pela idade do plantio. Variáveis ambientais influenciaram, principalmente, árvores de crescimento rápido. Recomenda-se que os plantios sejam realizados em áreas com outono úmido, nos tipos de solo chernossolo, latossolo e nitossolo e, ainda, com verões abaixo de 142 mm de precipitação. Tais características são concentradas em uma grande região à norte do Estado e em manchas à oeste.

Palavras-chave: silvicultura tropical; pinheiro-do-paraná; incremento diamétrico; modelagem de crescimento.

Introdução

Modelos silviculturais tradicionais vêm sendo compostos por árvores de crescimento rápido e caracterizando ecossistemas de baixa diversidade biológica (BAUHHUS & SCHMERBECK 2010). No Brasil este setor silvicultural destaca-se em nível global, sendo composto de forma predominante pelo plantio de espécies exóticas, que representam, aproximadamente, 98% da área total de árvores plantadas no país (FEARNSIDE 1998; BROCKERHOFF et al. 2008; VALVERDE 2012; IBA 2017). Fearnside (1998) estima que até 2050, essas áreas poderão sofrer um aumento de 3,2 vezes em relação a 1991.

Visando unificar a promoção econômica e ambiental de plantios florestais com espécies nativas, estes têm se mostrado alternativa para produção e conservação da biodiversidade, uma vez que representam uma matriz de baixo contraste, podendo fornecer habitat complementar e aumentando a conectividade entre ambientes (BROCKERHOFF et al. 2008). Contudo, no Brasil apenas duas espécies nativas destacam-se quanto as suas plantações para extração de madeira: o paricá (*Schizolobium amazonicum*) e a araucária (*Araucaria angustifolia*), as quais somam apenas 1,27% da área total de florestas plantadas no Brasil (VALVERDE 2012; IBA 2017).

A. angustifolia é uma conífera nativa da Mata Atlântica, sendo a espécie que caracteriza a fitofisionomia da Floresta Ombrófila Mista, localizada predominantemente na região do planalto do sul do Brasil (MACHADO & SIQUEIRA 1980). Sua madeira possui boas características físicas e mecânica, sendo indicada para diversos usos (CARVALHO 2002). Devido a essa importância, houve extensiva exploração de sua madeira, sobretudo entre os anos de 1870 e 1970, em que sua área original foi reduzida para menos de 4% (NODARI et al. 2018). Na tentativa de controlar a exploração, a espécie foi classificada como Criticamente Ameaçada de extinção em nível global (THOMAS 2013) e como Em Perigo em nível federal (MMA 2014), o que veda seu extrativismo em florestas nativas (BRASIL 2006). Embora atualmente o extrativismo comercial da espécie seja vedado, este mercado madeireiro ainda ocorre e é sustentado por meio do extrativismo ilegal e/ou por plantios privados licenciados (BRANDES et al. 2020).

Devido ao evidente interesse madeireiro, estudos têm recomendado o plantio da espécie para fins silviculturais, devido aos aspectos econômicos e, sobretudo, por sua qualidade da madeira (EISFELD et al., 2020; FILHO et al., 2017). Além disso, a espécie representa um recurso natural valioso e fundamental para a biodiversidade nativa (KLEIN 1960). Dessa forma, o incentivo para a realização de plantios com *A. angustifolia* apresenta-se como potencial ecológico somado ao econômico, contribuindo até mesmo para processos de regeneração natural (FILHO et al. 2017; HUSS et al. 2020; SILVA et al. 2012).

Diante do potencial em realizar silvicultura com espécies nativas com *A. angustifolia*, torna-se fundamental conhecer sobre a taxa de crescimento da espécie, bem como, compreender quais os possíveis descritores desta variação (BRAZ et al. 2013). Existem estudos avaliando o incremento diamétrico de *A. angustifolia*, contudo estes são mais comuns para ambientes de florestas naturais (MATTOS et al. 2007; HESS et al. 2010; STEPKA et al. 2012; RICKEN et al. 2018). Tanto nestes, como nos estudos que tratam sobre taxas de incremento para plantios de *A. angustifolia* (CARVALHO 2002; ROLIM & PIOTTO 2008; CARDOSO et al. 2017), a abrangência espacial das amostragens é pequena, com árvores provenientes de uma ou poucas localidades, e ademais, pouco descritivos sobre a variabilidade entre árvores. Entretanto, estudos de dendrocronologia vêm explorando sobre os preditores de crescimento, sendo estes estudos focados, principalmente, na influência de variáveis climáticas (OLIVEIRA et al. 2010; OLIVEIRA & SACARIOT 2010; CATTANEO et al. 2013; LORENSI & PRESTES 2016; OLIVEIRA et al. 2017; ALBIERO-JUNIOR et al. 2020; BRANDES et al. 2021; SCIPIONI et al. 2021).

Atualmente, o extrativismo da madeira de *A. angustifolia* em plantios é permitido no Estado do Rio Grande do Sul (RS), mediante certificação e autorização emitida pelo órgão ambiental estadual, que tem como objetivo comprovar a origem da madeira nativa para exploração comercial futura. Levando em consideração a importância da espécie em termos ecológicos para o mercado madeireiro, são fundamentais estudos que possibilitem explorar o melhor potencial da espécie para fins silviculturais. Dessa forma, objetivo desta pesquisa foi descrever o crescimento das árvores de *A. angustifolia* em plantios silviculturais no Rio Grande do Sul. Além disso, buscou-se descrever o crescimento quanto a preditores ambientais e silviculturais, visando identificar regiões do estado com potencial para realização deste modelo de produção.

Materiais e métodos

Plantios de Araucaria angustifolia

Foram utilizados dados referentes a plantios de *A. angustifolia* no Rio Grande do Sul, disponíveis nos processos de Certificado de Identificação de Floresta Plantada com Espécie Nativa (CIFPEN), documento necessário para a exploração das florestas plantadas com espécies nativas no Estado, de acordo com as resoluções do Conselho Estadual do Meio Ambiente n° 383 de outubro de 2018, modificada pela resolução n° 465 de maio de 2022 (RIO GRANDE DO SUL 2018; RIO GRANDE DO SUL 2022). Para solicitar o CIFPEN, o proprietário do plantio deve protocolar um pedido junto à Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul (SEMA), informando dados do plantio, tais como: ano de implantação, área (ha), número de árvores, altura e diâmetro a altura do peito (DAP, em cm) de cada árvore e/ou valores médios de altura e DAP das árvores, descrições sobre tratamentos silviculturais, entre outros. Baseado nos dados informados pelo proprietário e vistorias a campo, o corpo técnico da SEMA aceita o pedido de CIFPEN se identificar evidências de que as árvores são oriundas de plantio e que estão em áreas passíveis de manejo, ou opta pela rejeição do pedido.

Para este estudo foram utilizados dados dos pedidos de CIFPEN disponíveis no Sistema On-line de Licenciamento (<https://secweb.procergs.com.br/sra/>), protocolados entre janeiro de 2017 e maio de 2020. De um total de 640 processos, selecionamos apenas aqueles que haviam sido deferidos pela SEMA (274), e entre estes os que informavam as medidas individuais de DAP das árvores, o ano de implantação, a área plantada e sua localização geográfica, totalizando 111 plantios e 6.435 árvores. Os plantios selecionados estavam localizados no Norte do Estado, distribuídos principalmente na região de ocorrência da Floresta Ombrófila Mista (75), e transições com a Floresta Estacional Decidual (14) e o Campo do Pampa (18) (Figura 1), e representam condições variadas de clima, relevo e solos, como detalhado a seguir.

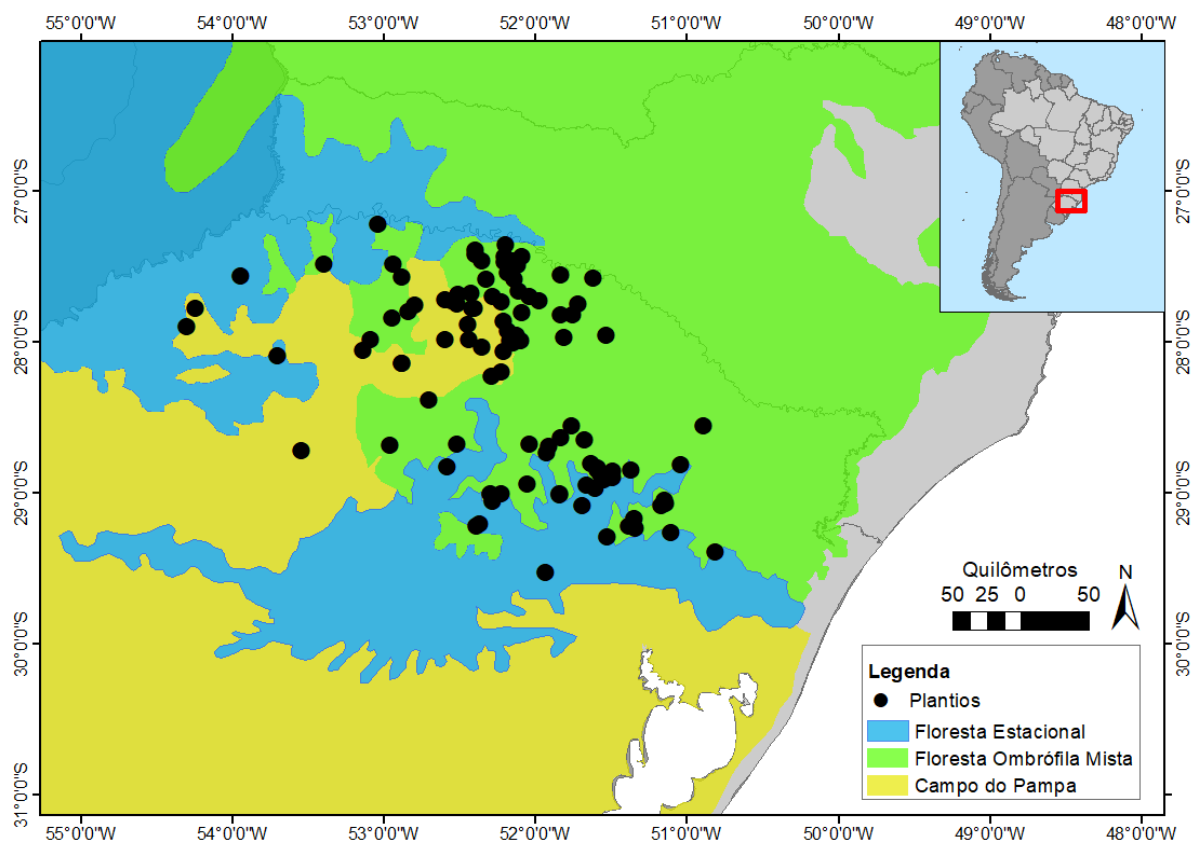


Figura 1: Localização dos 111 plantios de *Araucaria angustifolia* no Rio Grande do Sul, Brasil, em relação à região de ocorrência da Floresta Ombrófila Mista e fitofisionomias associadas (adaptado de IBGE 2012).

Incremento diamétrico médio anual

O Incremento Diamétrico Médio Anual (IDMA; cm/ano) foi estimado para cada uma das 6.435 árvores, dividindo seu DAP (em centímetros) pela idade do plantio a que pertence (em anos). A idade do plantio foi considerada como a diferença entre o ano de abertura do processo de CIFPEN e o ano de implantação do plantio.

Para verificar a existência e remover valores atípicos, potencialmente relacionados a erros de medição nos processos, realizamos uma análise de quartis dos valores de IDMA de todas as árvores em conjunto, considerando atípicos os valores maiores que $3Q + 1,5 \times (3Q - 1Q)$ ou menores que $1Q - 1,5 \times (3Q - 1Q)$. Plantios em que mais 25% das árvores tiveram valores atípicos foram desconsiderados. Em seguida, repetiu-se o processo realizando análise de quartis dos valores de IDMA dentro de cada plantio, eliminando das análises as árvores identificadas com valores atípicos, segundo o mesmo critério. Esse processo resultou na identificação e filtragem de quatro plantios e 155 árvores atípicas, restando para as análises subsequentes um total de 6.280 árvores distribuídas em 107 plantios (Anexo 1).

Após a filtragem de valores atípicos, foi realizada nova análise de quartis entre as árvores de cada plantio para obter estimativas de IDMA que representassem árvores de crescimento lento (1Q), de crescimento moderado (2Q) e de crescimento rápido (3Q). Então, para cada categoria de velocidade de crescimento aplicou-se uma Árvore de Regressão para investigar como a variabilidade de IDMA entre os plantios é explicada por variáveis silviculturais e ambientais, conforme detalhado a seguir.

Preditores do crescimento

Para descrever o tratamento silvicultural nas análises, foram utilizados os valores de densidade e idade do plantio. A densidade corresponde ao número de árvores dividido pela área (em hectare) do plantio. Nos plantios ocorreu densidade entre 7 e 3.400 indivíduos/ha, sendo que a mediana destes valores foi de 120 árvores/ha. Por outro lado, para a idade, considerou-se o ano de abertura do processo, subtraído pelo ano informado pelo proprietário como ano de plantio das árvores. Neste caso, os plantios apresentaram entre 25 e 82 anos, sendo a mediana de 42 anos. Informações mais detalhadas sobre manejo não foram utilizadas, pois não constavam na maioria dos documentos analisados.

Como descritores ambientais, foram utilizadas variáveis climáticas (temperatura média, precipitação anual e radiação solar), topográficas (declividade) e edáficas (tipologia de solo). De acordo com a classificação climática de Koppen (ALVARES et al. 2014), os plantios ocorrem nas classes de clima Subtropical Úmido (Cfa) e Oceânico Temperado (Cfb) (Figura 2). O primeiro caracteriza-se por ter pelo menos um mês com temperatura média acima de 22°C e, por outro lado, no segundo todos os meses têm temperatura média abaixo de 22°C. Em ambos, não ocorre diferença na precipitação entre as estações do ano. As variáveis climáticas foram obtidas por meio da plataforma WorldClim (FICK & HIJMANS 2017), base de dados climáticos globais de alta resolução espacial. Foram obtidos dados climáticos históricos mensais para as variáveis de precipitação (mm) e temperatura (°C), correspondentes aos anos de 1960 – 2018, com resolução de 2,5 minutos (aproximadamente 21km²). Por outro lado, para radiação solar, foi obtido o resultado médio anual correspondendo ao período de 1970 – 2000, com resolução de 30 segundos (aproximadamente 1km²). Os dados foram exportados da plataforma por meio de arquivos em GeoTiff. No software ArcGIS (v. 10.6) foram obtidos os valores das variáveis climáticas correspondentes a localização geográfica de cada plantio. Ainda, para temperatura e precipitação, foram considerados dados médios por estação do ano.

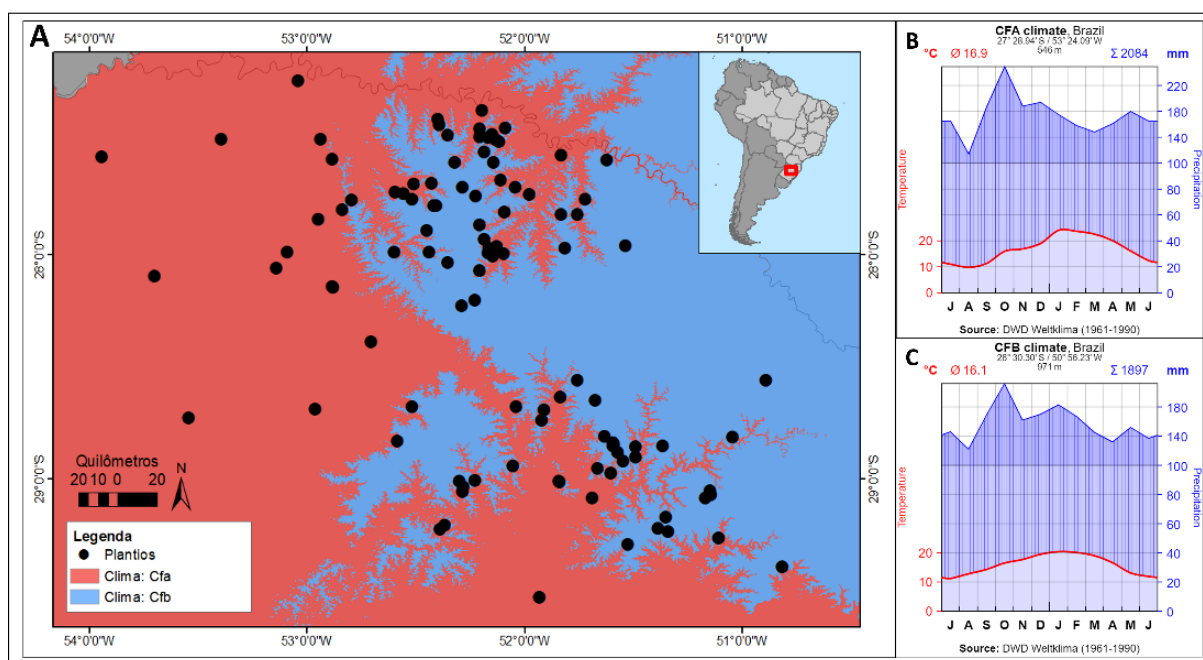


Figura 2: Distribuição dos 107 plantios de *Araucaria angustifolia* no Rio Grande do Sul em relação aos tipos de climáticos de Koppen (A); Climatogramas de cidades com clima Cfa (Seberi - B) e Cfb (Vacaria - C) (Fonte: DWD Weltklima).

As variáveis topográficas foram obtidas por meio da base de dados TOPODATA/STRM (VALERIANO & ROSSETTI 2012), projeto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) realizado com base nas informações STRM, obtidas pelo National Imagery and Mapping Agency (NIMA) e pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) durante o ano 2000. Os dados são fornecidos por meio de quadrículas de 1 segundo (aproximadamente 30m). As quadrículas que estiveram sobrepostas aos polígonos de cada plantio foram usadas para estimar sua declividade, medida por meio da análise dos desníveis entre pixels vizinhos nos Modelos Digitais de Elevação (MDE), variando de 0° a 90°. Dessa forma, foram obtidos os valores de declividade para cada plantio por meio do software ArcGIS versão 10.6. Nos plantios, a declividade média foi de 17°, sendo que o menor valor de declividade foi de 2° e maior de 57° (Figura 3).

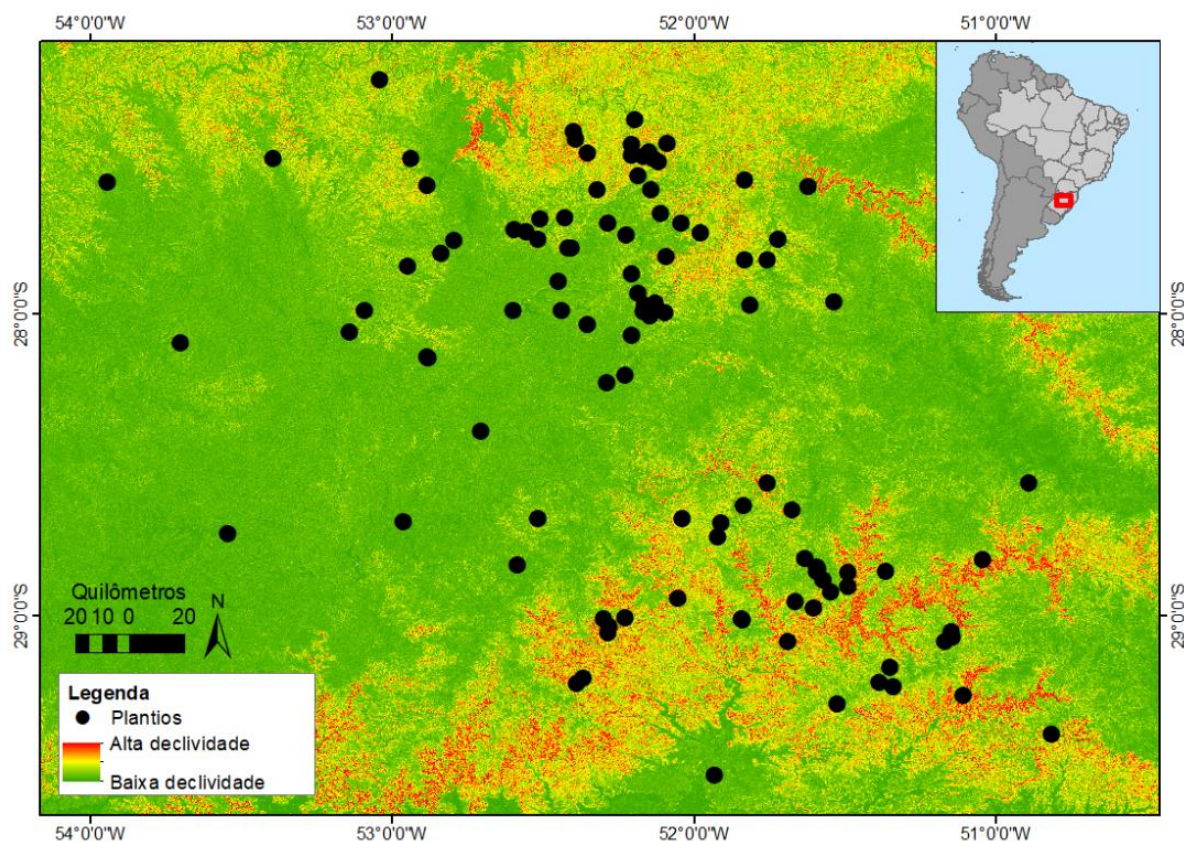


Figura 3: Distribuição dos 107 plantios de *Araucaria angustifolia* no Rio Grande do Sul em relação à declividade do terreno.

Por fim, os dados relacionados a distribuição geográfica dos solos foram obtidos por meio do GeInfo (SANTOS et al. 2011), plataforma vinculada a infraestrutura de dados espaciais da EMBRAPA. A classificação foi realizada de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2006), na escala 1:5.000.000 e os dados foram exportados por meio de arquivos shapefile (.shp). A classificação considerada nas análises foi a relacionada a primeira ordem dos solos, as quais foram obtidas para cada plantio (Figura 4), por meio do software ArcGIS (v. 10.6). A maioria dos plantios foi classificado como Latossolo (117), seguido de Cambissolo (69), Nitossolo (38), Neossolo (34) e Argissolo (8).

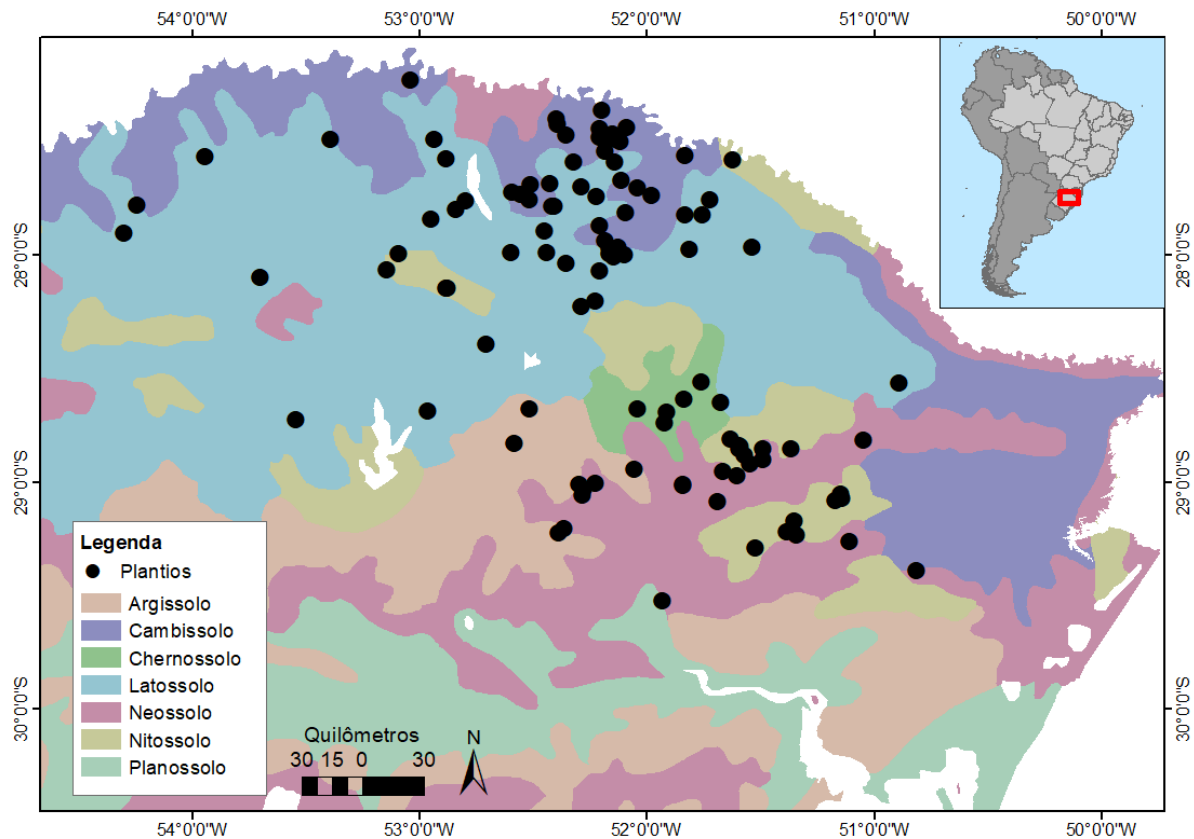


Figura 4: Distribuição dos 107 plantios de *Araucaria angustifolia* no Rio Grande do Sul em relação aos tipos de solo.

Regression Trees

Para modelar a influência dos descritores silviculturas e ambientais no crescimento de *A. angustifolia*, foram ajustados modelos de *Regression Trees* aos conjuntos de dados de IDMA, descrevendo o crescimento de árvores com taxas de incremento lento, moderado e rápido. Métodos de *Machine Learning* (ML), como esse, têm sido frequentemente utilizados para gerar modelos precisos com dados não lineares (OLDEN et al. 2008; YANG et al. 2017). As *Regression Trees* seguem uma abordagem “*top-down*”, em que são realizadas partições binárias que iniciam no topo da árvore, região em que todas as observações estão disponíveis. A partir desta, os dados são subdivididos de acordo com classificações das variáveis preditoras sobre as preditas. O valor obtido no término dos nós é o valor médio das observações (YANG et al. 2017).

Em um primeiro momento, o conjunto de dados foi dividido da seguinte forma: 70% dos dados foram classificados aleatoriamente como treinamento e o restante (30%) como teste. O conjunto de dados classificado como treinamento foi utilizado na análise, em que, por meio de reamostragens repetidas e aleatórias dos dados, foram desenvolvidas diferentes árvores de regressão de acordo com as variáveis preditoras, desse modo, permitiu-se interações não lineares com número ilimitado de preditores. As árvores foram testadas em amostragens de validação independentes sendo que a escolhida foi a com menor erro de predição. Este foi calculado mediante a eficácia preditiva para os dados teste e representado pelo índice Root Mean Squared Error (RMSE) e pelo valor de r^2 (BREIMAN 2001; YANG et al. 2017). Após a produção da árvore final, foi realizado um modelo de relação linear entre os valores reais e preditos para o conjunto de dados, com o objetivo de avaliar a efetividade da predição.

As análises foram realizadas no software RStudio (v. 4.3), com os pacotes broom (ROBINSON et al. 2015), sigr (MOUNT et al. 2021) e ggplot2 (WICKHAM 2016).

Resultados

A variação do IDMA dos plantios de *A. angustifolia* analisados apresentou média de 0,97 cm/ano (desvio padrão = 0,28 cm/ano), com valores entre 0,28 e o maior de 1,96 (Figura 5). As árvores de crescimento lento apresentaram valor médio de 0,78 cm/ano entre os plantios (mín.: 0,2; máx.: 1,52), as de crescimento moderado 0,97 cm/ano (mín.: 0,28; máx.: 1,89), e as de crescimento rápido 1,14 cm/ano (mín.: 0,34; máx.: 2). Esses valores ilustram grande variabilidade dentro e entre os plantios.

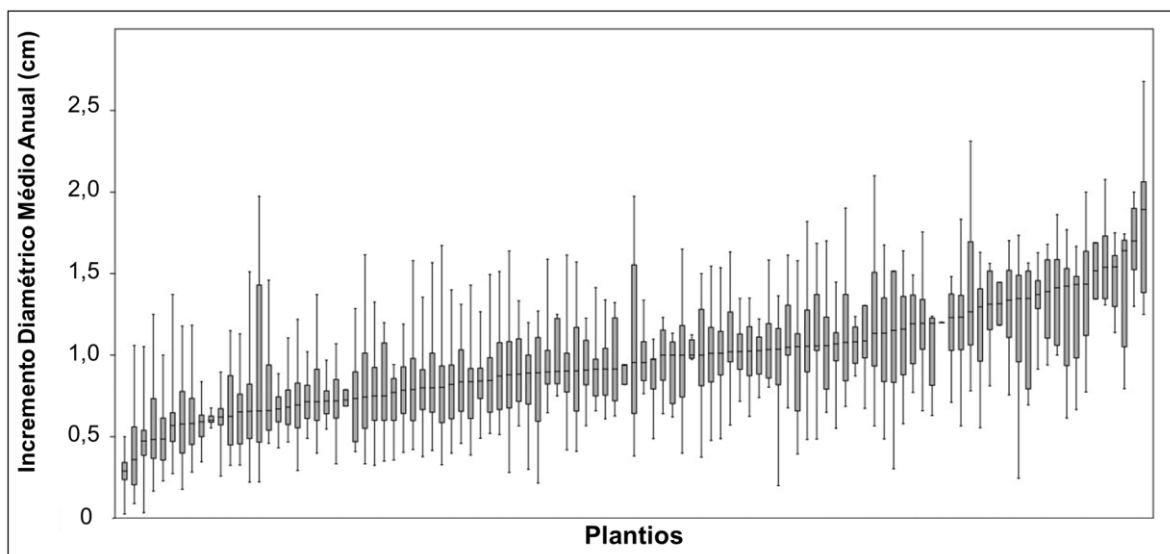


Figura 5: Variação do Incremento Diamétrico Médio Anual das árvores de *Araucaria angustifolia* em 107 plantios no Rio Grande do Sul, Brasil.

Para as árvores de crescimento lento, a árvore de regressão foi significativa ($p = 0,000126$), contudo, com baixo poder preditivo, segundo aponta a relação entre dados reais e preditos pela análise ($r^2 = 0,3863$) (Figura 6). As variáveis que determinaram as influências para árvores de crescimento lento foram, portanto, idade, densidade e precipitação do inverno. A árvore de regressão para este conjunto de dados (Figura 6), teve idade de 38 anos como primeira divisão dos subgrupos, sendo que plantios mais jovens (23% das unidades amostrais) apresentaram os índices mais altos de incremento do conjunto de dados. O segundo subgrupo, com valores mais altos de incremento está relacionado a plantios mais antigos que 38 anos e com densidade inferior a, aproximadamente, 80 indivíduos/ha (25% das unidades amostrais). Por fim, os demais subgrupos estiveram relacionados a precipitação do inverno e, ainda, cabe ressaltar que plantios em regiões com precipitação do inverno inferior a 154 mm apresentaram os mais baixos valores de IDMA (15% da amostragem).

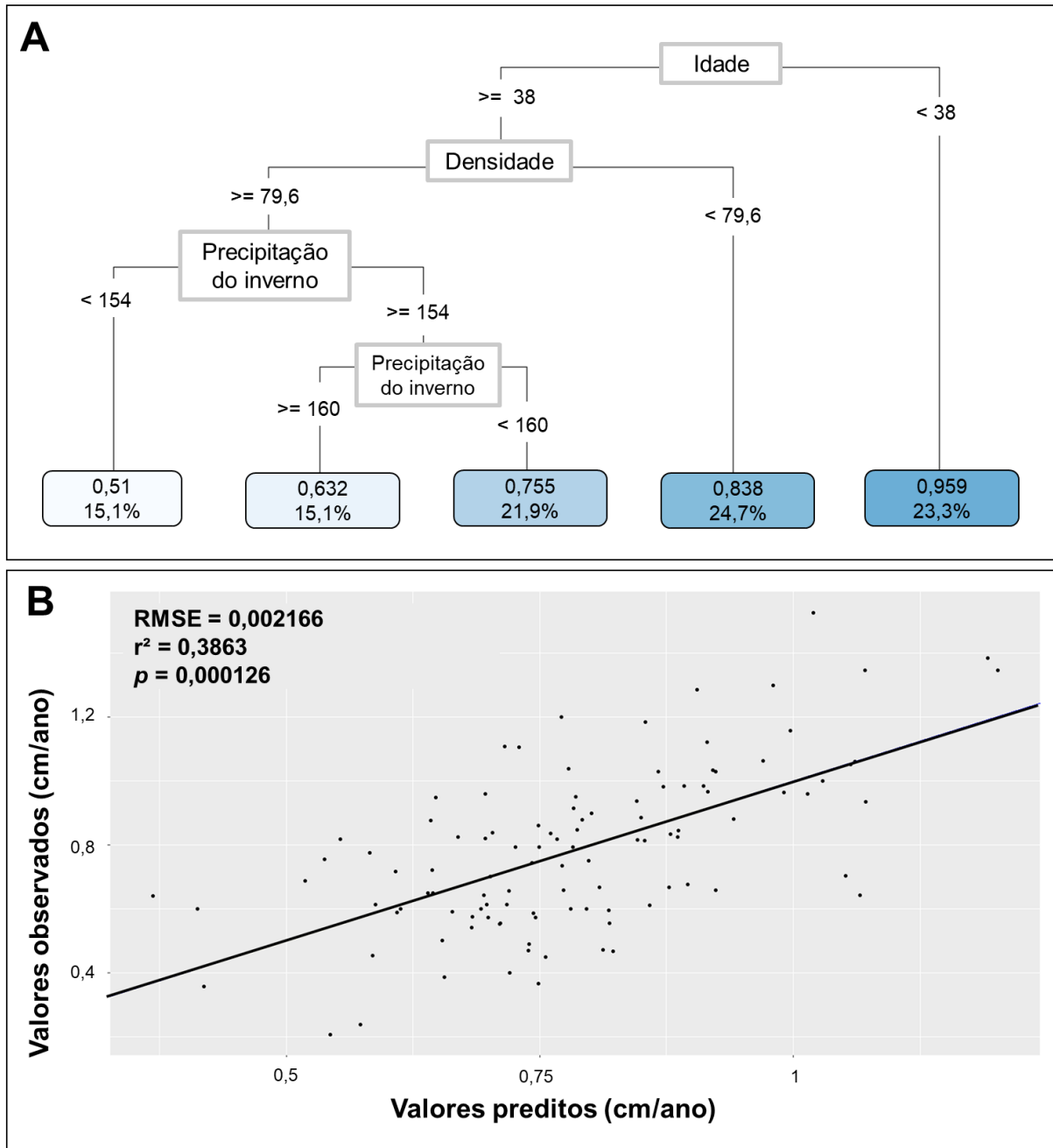


Figura 6: Árvore de regressão descrevendo a variabilidade do Incremento Diamétrico Médio Anual (IDMA; cm/ano) para árvores de *Araucaria angustifolia* de crescimento lento, em 107 plantios no Rio Grande do Sul, Brasil. Em A, dendrograma ilustrando as partições do subconjunto dados de treinamento (66 plantios) e seus fatores determinantes; idade (anos) e densidade do plantio (indivíduos/ha), e precipitação média nos meses de inverno (mm/mês); valores nas caixas em azul indicam o percentual dos plantios e valores médios de IDMA na partição final. Em B, relação linear dos valores observados e preditos segundo o modelo, para o subconjunto de dados de validação (41 plantios).

Para as árvores de crescimento moderado, a análise foi significativa ($p = 0,002334$) e com poder preditivo razoável, conforme demonstra a relação valores preditos e observados ($r^2 = 0,4862$) (Figura 7). As variáveis que determinaram a estrutura dessa árvore foram idade, precipitação do outono, declividade e densidade (Figura 7). Esta também apresentou idade como primeiro fator de divisão entre os subgrupos, porém, com o intervalo de 34 anos. Plantios com idade inferior a 34 anos apresentaram os maiores valores de IDMA (21% das unidades amostrais). A segunda subdivisão foi relacionada a precipitação do outono, em que plantios em regiões com precipitação neste período inferior a 127 mm têm os valores mais baixos de incremento (24% das unidades amostrais). Ainda, plantios em regiões com precipitação do outono igual ou superior a 127 mm e com declividade abaixo de 13° apresentaram o segundo resultado mais alto de incremento (27% das unidades amostrais).

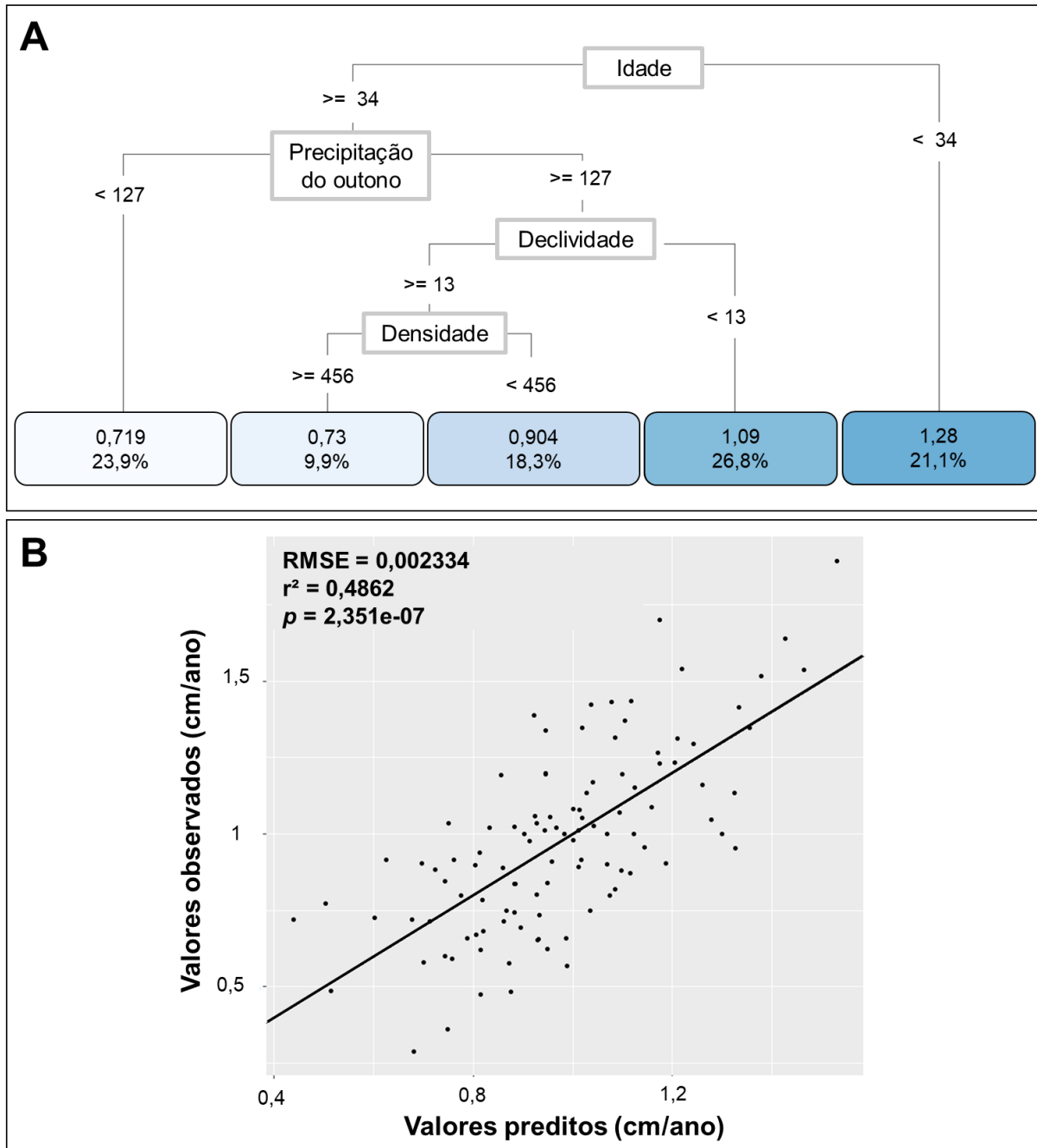


Figura 7: Árvore de regressão descrevendo a variabilidade do Incremento Diamétrico Médio Anual (IDMA; cm/ano) para árvores de *Araucaria angustifolia* de crescimento moderado, em 107 plantios no Rio Grande do Sul, Brasil. Em A, dendrograma ilustrando as partições do subconjunto dados de treinamento (66 plantios) e seus fatores determinantes; idade (anos) e densidade do plantio (indivíduos/ha), e precipitação média nos meses de inverno (mm/mês); valores nas caixas em azul indicam o percentual dos plantios e valores médios de IDMA na partição final. Em B, relação linear dos valores observados e preditos segundo o modelo, para o subconjunto de dados de validação (41 plantios).

Por fim, para o conjunto de dados representado os plantios com árvores de crescimento rápido, a análise também foi considerada significativa ($p < 0,002359$) e apresentou os melhores resultados quanto a predições dos dados reais ($r^2 = 0,5465$) (Figura 8). As variáveis que determinaram a estrutura desta árvore foram idade, precipitação do outono, tipo de solo e precipitação do verão (Figura 8). Da mesma forma que as demais, este conjunto de dados também teve idade dos plantios como primeira divisão dos subgrupos, sendo que plantios mais jovens que 38 anos apresentaram os melhores resultados de incremento (24% das unidades amostrais). A segunda subdivisão foi relacionada a regiões com precipitação do outono com 133 mm, sendo que regiões com precipitação abaixo deste limiar e com solo do tipo cambissolo, neossolo e nitossolo apresentaram os valores mais baixos de IDMA (18% das unidades amostrais). Cabe ressaltar ainda que os tipos de solo chernossolo, latossolo e nitossolo, em regiões com precipitação do verão abaixo de 142 mm apresentaram o segundo maior valor de incremento para as árvores de crescimento rápido (15% das unidades amostrais).

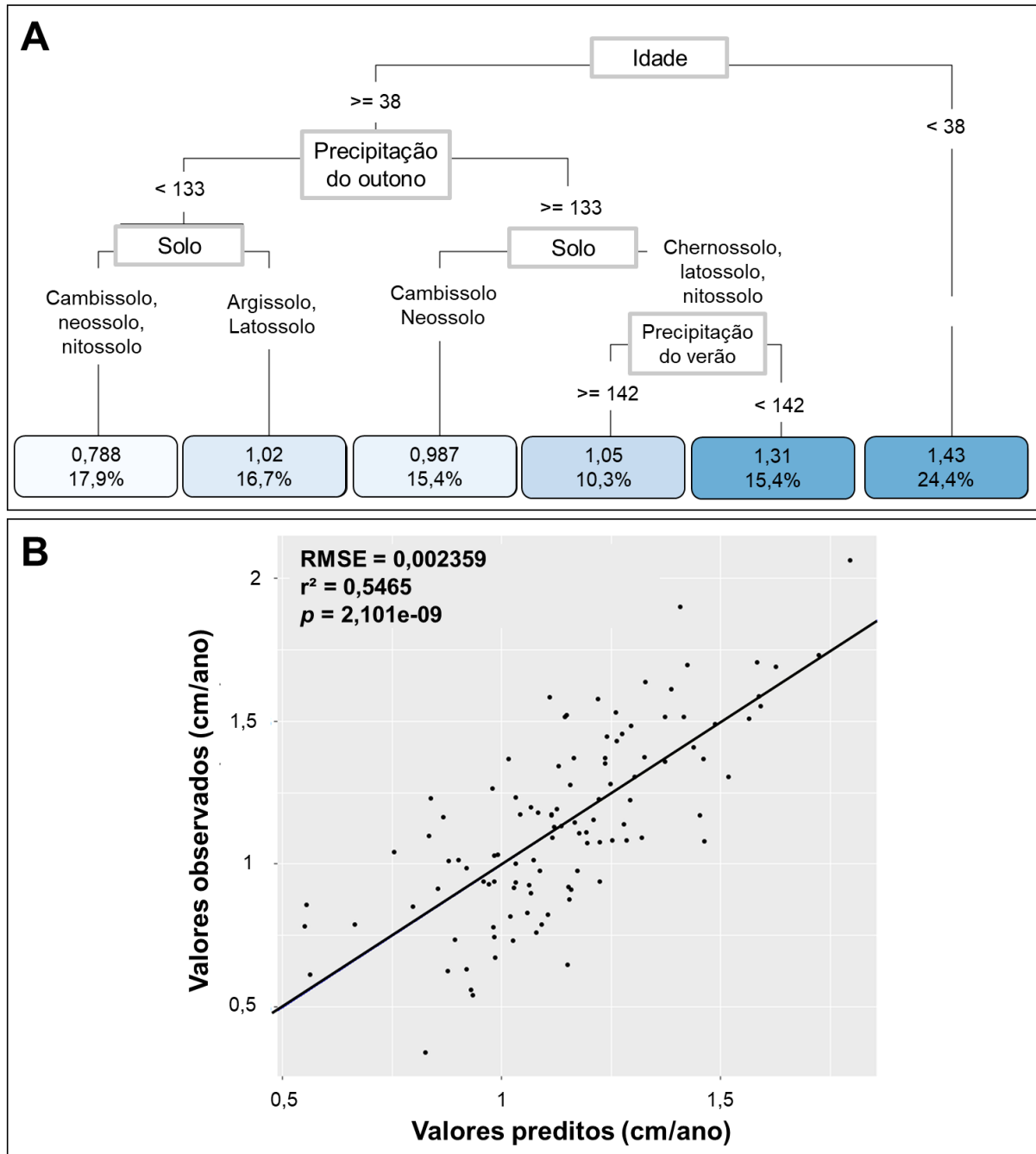


Figura 8: Árvore de regressão descrevendo a variabilidade do Incremento Diamétrico Médio Anual (IDMA; cm/ano) para árvores de *Araucaria angustifolia* de crescimento rápido, em 107 plantios no Rio Grande do Sul, Brasil. Em A, dendrograma ilustrando as partições do subconjunto dados de treinamento (66 plantios) e seus fatores determinantes; idade (anos) e densidade do plantio (indivíduos/ha), e precipitação média nos meses de inverno (mm/mês); valores nas caixas em azul indicam o percentual dos plantios e valores médios de IDMA na partição final. Em B, relação linear dos valores observados e preditos segundo o modelo, para o subconjunto de dados de validação (41 plantios).

Embora os melhores resultados para incremento de *A. angustifolia* sejam quando a idade do plantio for de até 38 anos para todos os conjuntos de dados, foi possível estabelecer as regiões do RS mais indicadas para a atividade de acordo com as variáveis abióticas analisadas (Figura 9). Para árvores de crescimento lento, as melhores regiões para plantio correspondem a incremento médio de 0,75 cm/ano e localizam-se em pequenas manchas isoladas na porção leste do estado, com precipitação do inverno entre 154 e 160 mm. Em relação às árvores com crescimento moderado, foram representadas graficamente as regiões recomendadas para plantios com incremento médio de 1,09 cm/ano, as quais correspondem a porção norte e oeste do estado, com precipitação do outono acima de 127 mm e declividade abaixo de 17°. Finalmente, as regiões mais indicadas para os plantios no estado correspondem a plantios com árvores de crescimento rápido, as quais têm incremento médio de 1.31 cm/ano, concentradas em uma grande região à norte do estado e em manchas à oeste, de acordo com o conjunto de dados do 3° quartil.

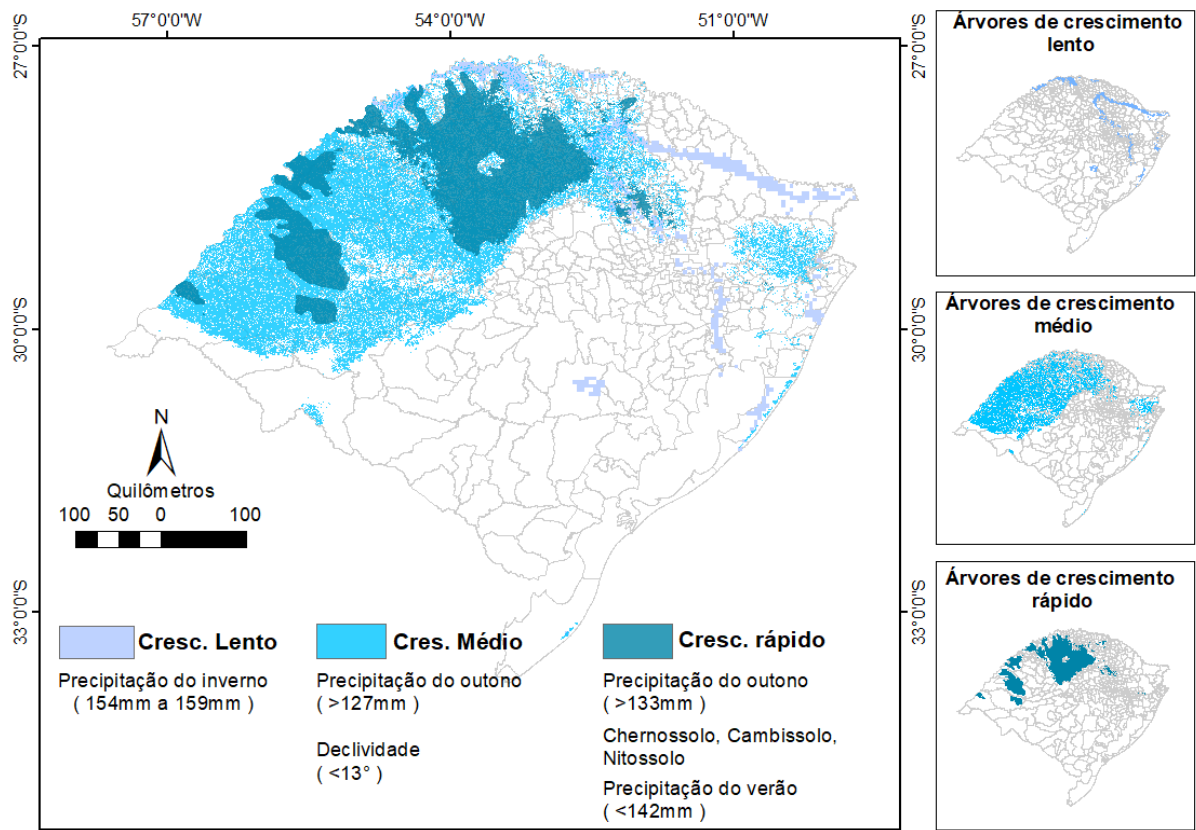


Figura 9: Regiões indicadas para plantio de *Araucaria angustifolia* no Rio Grande do Sul, de acordo com os resultados relacionados as variáveis abióticas analisadas na árvore de regressão para os três conjuntos de dados.

Discussão

A. angustifolia possui potencial silvicultural, tendo taxas mais elevadas de crescimento até cerca de 35 anos. Neste estudo foi evidenciado que os indivíduos localizados em plantios de diferentes regiões do RS possuem incremento médio anual de 1 cm/ano. Hess et al. (2010) avaliaram o incremento diamétrico da espécie com árvores crescendo no mesmo estado e encontraram valor de 0,96 cm/ano considerando três plantios diferentes, indicando bom potencial de investimento com retorno econômico no plantio. Por outro lado, em ambientes florestais naturais da espécie no Paraná, Stepka et al. (2012) avaliaram o incremento médio anual em uma população de *A. angustifolia* e encontraram resultado médio de 0,45 cm/ano, variando de 0 a 1,33 cm/ano. Em florestas de Santa Catarina, Hess et al. (2010) e Mattos et al. (2007) encontraram indivíduos de *A. angustifolia* com incremento médio anual de aproximadamente 0,40 cm/ano. Também em uma floresta nativa de Santa Catarina, Ricken et al. (2018) evidenciaram incremento médio anual de 0,708 cm/ano, contudo, houve diferença significativa no incremento entre as parcelas localizadas na mesma área de estudo. Este valor é inferior ao de espécies exóticas utilizadas para silvicultura, como *Pinus* spp. que apresenta valores de incremento diamétrico médio anual em torno de 2 a 4 cm/ano (SERPE & WATZLAWICK 2008; MACHADO et al. 2010). No entanto, cabe ressaltar que embora apresente crescimento mais lento, a qualidade e o valor da madeira de *A. angustifolia* são superiores em relação ao do *Pinus* spp. (DELUCIS et al. 2013).

Portanto, nos plantios avaliados neste estudo, foram encontrados incrementos condizentes ou ligeiramente maiores do que foi encontrado na literatura para *A. angustifolia* em ambientes florestais. Por outro lado, a variação no incremento entre os ambientes de plantio e de florestas naturais foi alta. Nesse sentido, é importante ressaltar que, embora exista potencial silvicultura da espécie em plantios, existe também diferença considerável no incremento da mesma espécie entre diferentes regiões de estudo, mesmo que localizadas na mesma fitofisionomia vegetal (RICKEN et al. 2022). Estas diferenças podem estar relacionadas às condições ambientais locais, as quais têm tendência a desempenhar forte influência no incremento diamétrico das árvores (PRETZSCH 2009; RICKEN et al. 2018) e, de acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa, tais variáveis tem maior influência para árvores de crescimento rápido. Nesse trabalho, foi possível obter explicação para até 50% da variação dos dados de incremento com as variáveis testadas. As principais respostas na produtividade foram relacionadas com, além da idade, à densidade, precipitação do outono, declividade e tipo de solo.

Na ecologia florestal, a densidade está relacionada com o espaço mínimo de crescimento necessário para que uma árvore possa atingir sua produção máxima em volume (KRAJICEK et al. 1961). Nesse sentido, por meio dessa variável, o produtor estabelece o número máximo de indivíduos que podem ser plantados em uma determinada área para que a competição por recursos não seja prejudicial às taxas de crescimento (KRAJICEK et al. 1961; GINGRICH 1967). Essa influência da densidade sobre o crescimento é conhecida em espécies exóticas cultivadas na região, sobretudo do gênero *Pinus* (SANQUETTA et al., 2003; ROTH et al. 2007), e em muitas nativas, tais como *Caryocar brasiliense* (OLIVEIRA & SCARIOT 2010), *Dypteryx alata* (SANO et al. 2004) e *Ilex paraguariensis* (SANTIN et al. 2014). Nesse sentido, os plantios de *A. angustifolia* seguem o padrão esperado pela literatura de outras espécies nativas e exóticas, uma vez que quanto maior a densidade dos plantios (>80 plantas/ha), menor o crescimento. Cabe ressaltar que esta variável apresentou influência apenas nas árvores de crescimento lento, sendo estas, possivelmente, mais influenciáveis à fatores endógenos. Gilbert et al. (1994) relatam que quanto maior a distância entre indivíduos adultos, maior o crescimento das árvores em relação ao potencial de sobrevivência quanto ao efeito de pragas, sobretudo em ambientes tropicais e subtropicais.

Além da alta densidade de indivíduos, inverno seco também foi classificado como condição de influência nas árvores de crescimento lento neste estudo. Com a mesma espécie, Cattaneo et al. (2013) estudando anéis de crescimento de indivíduos machos, detectaram relação positiva com a precipitação no fim da estação de crescimento (agosto). Esses autores relacionaram esta condição com o limite da distribuição natural de *A. angustifolia*, ou seja, árvores desta espécie crescendo na fronteira de sua ocorrência natural tendem a responderem positivamente às chuvas deste período.

Por outro lado, considerando árvores de crescimento moderado e rápido, a precipitação do outono foi correlacionada positivamente com o IDMA. Esse sinal também foi evidenciado por outros trabalhos de dendrocronologia com *A. angustifolia* no Paraná (PERONE et al. 2016) e em Minas Gerais (BRANDES et al. 2021). Nesse sentido, a espécie demonstra ter valores altos de produtividade em regiões com altos índices de precipitação durante o fim da estação de crescimento e, conseqüentemente, baixa produtividade em regiões secas do estado. Zanon e Finger (2010) evidenciaram que em condições de baixa precipitação pode acontecer perda de água na casca da árvore e, ainda, cessação da atividade cambial, fatores que acarretam valores mais baixos de incremento devido ao déficit hídrico.

Em conjunto com altos índice de pluviosidade no outono, os dados das árvores de crescimento moderado apontam que regiões com declividade inferior a 13° seriam ideais para plantios de *A. angustifolia*. Para as espécies exóticas *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp., outros autores também encontraram resultados semelhantes, sendo que para a primeira recomenda-se que os plantios sejam realizados em declividade inferior a 25° (AHRENS 2000) e para a segunda espécie em regiões inferiores a 12° (CHAMBI-LEGOAS et al. 2021). O efeito da declividade nas taxas de crescimento das espécies arbóreas é considerado indireto, uma vez que esta causa impacto nas características físicas do solo (eg. permeabilidade, espessura, taxa de infiltração de água e erosão) (CAVALCANTE et al. 2009). Por fim, Braga et al. (1999) evidenciou que, de modo geral, plantios situados em regiões de baixa declividade são mais produtivos e relacionou isto com o fato de que estes recebem mais energia solar ao longo do ano.

Diferentes estudos relatam que o crescimento da *A. angustifolia* também pode estar fortemente correlacionado com variações no tipo de solo (LASSERE et al. 1972; SILVA et al. 2001). De acordo com Silva et al. (2001), *A. angustifolia* cresce bem em solos com o horizonte A espesso com alto teor de matéria orgânica e atividade biológica. Souza et al. (2022), avaliando como horizontes orgânicos e propriedades químicas do solo influenciam a produtividade de plantações mono específicas de *A. angustifolia*, constaram que sítios menos produtivos tem menor horizonte orgânico, com reduzida taxa de decomposição de serapilheira e baixa atividade biológica. Por sua vez, essas características ocorreram na maior parte dos plantios avaliados, influenciando em taxas de produtividade menores e consequente redução do interesse comercial da espécie (SOUZA et al. 2022).

Ainda, solos com macroporosidade são considerados limitantes ao crescimento da espécie, uma vez que dificultam a retenção de água (BLUM 1980; SILVA et al. 2001). A espécie também responde positivamente à solos com profundidade alta, uma vez que também está associada a maior potencial para utilizar a água do solo (LASSERE et al. 1972). Dillenburger et al. (2009) constataram que a diminuição da profundidade do solo resultou em redução de aproximadamente 30% na massa e altura. Em relação a propriedades químicas do solo, existe dependência da planta, sobretudo, a níveis de nitrogênio (BLUM 1980).

Neste trabalho foi constatado que solos do tipo latossolo e chernossolo estão positivamente relacionados com árvores de crescimento rápido de *A. angustifolia*. Hoogh & Blum (1981) também encontraram latossolo como sendo um tipo em potencial para plantios da espécie. Latossolos são considerados solos muito profundos (mais de três metros de espessura), sobretudo em relação ao horizonte A (pode exceder 150 cm). Por outro lado, chernossolos são caracterizados por apresentarem espessa camada de matéria orgânica com altos teores de nutrientes e, consequentemente, alta fertilidade natural (SANTOS 2011). Nitossolos ocorreram tanto positivamente como negativamente associados ao crescimento. Essa categoria de solos está fortemente relacionada com a declividade, sendo que nitossolos que ocorrem em áreas planas apresentam maior profundidade e fertilidade natural, diferente dos que ocorrem em regiões com relevo em declividade, os quais apresentam risco de erosão por serem menos profundos (SANTOS 2018).

Conclusão

Devido a importância ambiental de *Araucaria angustifolia*, são necessárias estratégias de conservação visando a preservação da espécie. Contudo, tais abordagens podem ser mais efetivas quando fornecem também resultados positivos nos aspectos econômicos para a sociedade. Nesse sentido, analisando plantios de *A. angustifolia* em diferentes regiões no estado do Rio Grande do Sul, foi constatado que a espécie possui variação em suas taxas de crescimento. Estas, são influenciadas sobretudo pelo fator idade, sendo que é recomendável que os valores mais altos de incremento ocorrem quando a planta possui até 40 anos de idade. Além disso, para plantios acima dessa faixa etária, foi evidenciado que variáveis ambientais desempenham influência na variação da produtividade. Dessa forma, visando as taxas de crescimento máximas, recomenda-se que os plantios sejam realizados em áreas com outono úmido, nos tipos de solo chernossolo, latossolo e nitossolo e, ainda, com verões abaixo de 142 mm de precipitação. Por fim, ressalta-se que, possivelmente, outras variáveis não analisadas neste estudo podem ter influência na produtividade da espécie, tais como, fatores genéticos e manejo. Abordagens futuras destes aspectos devem agregar informações para o conhecimento do potencial silvicultural de *A. angustifolia*.

Referências

Ahrens, S., 2000. Manejo e Silvicultura de Plantações de Pínus na Pequena Propriedade Rural, in: Galvão, A.P.M. (Eds.), Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais. Embrapa Florestas, Brasília, pp. 219-239.

Albiero-Júnior, A., Venegas-Gonzales, A., Rodriguez-Caton, M., Oliveira, J.M., Longhi-Santos, T., Galvão, F., Temponi, L.G., Botosso, P.C., 2020. Edge effects modify the growth dynamics and climate sensitivity of *Araucaria angustifolia* trees. *Tree-Ring Research*. 76, 11-26. <https://doi.org/10.3959/TRR2018-9>.

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M.G., Sparovek, G., 2014. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22, 711-728, [10.1127/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507).

Bauhus, J., Schmerbeck, J., 2010. Silvicultural Options to Enhance and Use Forest Plantation Biodiversity, in: Bauhus, J., Meer, P.V.D., Kanninen, M. (Eds.), *Ecosystem goods and services from plantation forests*. Routledge, London, pp. 112-155.

Blum, W.E.H., 1980. Ecophysiological and phylogenetic aspects of Araucariaceae with special consideration of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., in: IUFRO (Eds.), *Meeting on forestry problems of the genus Araucaria*. FUPEF, Curitiba, pp. 71-74.

Braga, F.A., Barros, N.F., Souza, A.L., Costa, L.M., 1999. Características ambientais determinantes da capacidade produtiva de sítios cultivados com eucalipto. *Revista Brasileira de Ciências do solo*. 23, 291-298.

Brandes, A.F.N., Albuquerque, R.P., Lisi, C.S., Lemos, D.N., Nicola, L.R.M., Melo, A.L.F., Barros, C.F., 2021. The growth responses of *Araucaria angustifolia* to climate are adjusted both spatially and temporally at its northern distribution limit. *Forest Ecology and Management*. 487, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119024>.

Brandes, A.F.N., Novello, B.Q., Domingues, G.A.F., Barros, C.F., Tamaio, N., 2020. Endangered species account for 10% of Brazil's documented timber trade. *Journal for Nature Conservation*. 55, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125821>.

BRASIL, 2006. Lei Nº 11.428, de 22 Dezembro de 2006. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm (accessed 02 January 2023).

Braz, E.M., Mattos, P.P., 2013. Anais da reunião técnica: Biometria florestal – modelos de crescimento e produção. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94792/1/Doc.-257-Anais-reuniao-tecnica.pdf> (accessed 02 January 2023).

Breiman, L., 2001. Statistical modeling: The two cultures. *Statistical science*. 16, 199-231, 10.1214/ss/1009213726.

Brockhoff, E.G., Jactel, H., Parrotta, J.A., Quine, C.P., Sayer, J., 2008. Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? *Biodiversity and Conservation*. 17, 925-951. DOI 10.1007/s10531-008-9380-x.

Cardoso, D.J., Rosot, M.A.D., Garrastazú, M.C., Rosot, N.C., Toniolo Jr., L., Oliveira, K.A., 2017. Recommended thinning regimes for *Araucaria angustifolia* plantations on small properties in southern Brazil – a case study. *Advances in Forestry Science*. 4, 211-218.

Carvalho, P.E.R. (2002). Pinheiro-do-paraná. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/304455/1/CT0060.pdf>. (accessed 02 January 2023).

Cattaneo, N., Pahr, N., Fassola, H., Leporati, J., Bogino, S., 2013. Sex-related, growth–climate association of *Araucaria angustifolia* in the neotropical ombrophilous woodlands of Argentina. *Dendrochronologia*. 31, 147-152. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2013.01.005>.

Cavalcante, A.C.R., Cavallini, M.C., Lima, N.R.C.B., 2009. Estresse por déficit Hídrico em plantas forrageiras. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPC-2010/23051/1/doc89.pdf>. (accessed 02 January 2023).

Chambi-Legos, R., Castillo, V.D., Alvares, C.A., 2021. Caracterização ambiental e dinâmica das plantações florestais nos municípios de Botucatu e Itatinga, Brasil. *Circular Técnica IPEF*. 217, 01-16.

Delucis, R.A., Gatto, D.A., Stangerlin, D.M., Beltrame, R., Trevisan, R., 2013. Qualificação da madeira de três espécies de coníferas oriundas de reflorestamentos jovens. *Scientia Forestalis*. 41, 477-484.

Dillenburg, L.R., 2009. Aspectos ecofisiológicos da regeneração de *Araucaria angustifolia*, in: Fonseca, C.R., Souza, A.F., Zanchet, A.M.L., Dutra, T.L., Backes, A., Ganade, G. (Eds.). Floresta com araucária: ecologia, conservação e desenvolvimento sustentável. Holos, Ribeirão Preto, pp. 57-65.

Eisfeld, R.L., Arce, J.E., Sanquetta, C.R., Braz, E.M., 2020. É economicamente viável o plantio de araucária? Uma análise entre a espécie e seu principal substituto, o pinus. *Scientia Forestalis*. 48, 1-12, <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n128.18>.

Fearnside, P.M., 1998. Plantation forestry in Brazil: Projections to 2050. Biomass and Bioenergy. 15, 437-450. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(98\)00061-0](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(98)00061-0).

Fick, S.E., Hijmans, R.J., 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 37, 4302-4315. [10.1002/joc.5086](https://doi.org/10.1002/joc.5086).

Filho, A.F., Retslaff, F.S., Retslaff, F.S., Longhi-Santos, T., Stepka, T.F., 2017. Crescimento e Idade de Espécies Nativas Regenerantes Sob Plantio de *Araucaria angustifolia* no Paraná. *Floresta e Ambiente*. 24, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.104814>.

Genrich, S., 1967. Measuring and evaluating stocking and stand density in upland hardwood forests in the Central States. *Forest Science*. 13, 38-53. <https://doi.org/10.1093/forestscience/13.1.38>.

Gilbert, G.S., Hubbell, S.P., Foster, R.B., 1994. Density and distance-to-adult effects of a canker disease of trees in a moist tropical forest. *Oecologia*. 98, 100-108.

Hess, A.F., Calgarotto, A.R., Pinheiro, R., Wanginiak, T.C.R., 2010. Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no Município de Lages, SC. *Pesquisa Florestal Brasileira*. 30, 337-345. [10.4336/2010.pfb.30.64.337](https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.64.337).

Hoogh, R.J., Goor, C.P., Blum, W.E.H., 1981. Response of planted *Araucaria angustifolia* to N, P, K, Ca and B fertilization, 3 and 7 years after application. In: IUFRO Meeting on forestry problems of the genus *Araucaria*, FUPEF, Curitiba.

Huss, J., Dobner Jr., M., Paixão, C.A., Caten, A.T., Siminski A., 2020. Regeneration of *Araucaria angustifolia* in pine plantations in the South of Brazil – a silvicultural approach. *Scientia Forestalis*. 48, 1-14. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n127.16>.

IBA, 2017. Relatório 2017 - Indústria Brasileira de Árvores. https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf (accessed 02 January 2023).

IBGE, 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. <https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/manual-tecnico-da-vegetacao-brasileira.pdf>. (accessed 02 January 2023).

Klein, R.M., 1960. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. *Sellowia*. 12, 17 – 44.

Krajicek, J.E., Brinkman, K.A., Gingrich, S.F., 1961. Crown Competition – A measure of density. *Forest Science*. 7, 35-42. <https://doi.org/10.1093/forestscience/7.1.35>.

Lassere, S.R., Vairetti, M., Lassere, E.N., 1972. Crecimiento de *Araucaria angustifolia* (Bertol) O. Kuntze., en distintos tipos de suelos de Puerto Piray, Misiones. *Idia*. 7, 36-45.

Lorensi, C., Prestes, A., 2016. Dendroclimatological reconstruction of spring-summer precipitation for Fazenda Rio Grande, PR, with samples of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. *Revista árvore*. 40, 1-8.

Machado, S.A., Siqueira, J.D.P., 1980. Distribuição natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, in: IUFRO (Eds.). Anais da Conferência IUFRO “Problemas florestais do gênero *Araucaria*”, Curitiba, pp. 4-9.

Machado, S.A., Zamin, N.T., Nascimento, R.G.M., Santos, A.A.P., 2014. Efeito de Variáveis Climáticas no Crescimento Mensal de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* em Fase Juvenil. *Floresta e Ambiente*. 21, 170-181.

Mattos, P.P., Santos, A.T., Rivera, H., Oliveira, Y.M.M., Rosot, M.A.D., Garrastazu, M.C., 2007, Crescimento de *Araucaria angustifolia* na Reserva Florestal Embrapa/Epagri, Caçador, SC.

https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/42734/1/PFB_55_p_107_114.pdf (accessed 02 January 2023).

MMA – Ministério do Meio Ambiental., 2014. Portaria N. 433 de 17 de Dezembro de 2014. <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/PT0443-171214.pdf>. (accessed 02 January 2023).

Mount, J., Zumel, N., Win-Vector, L.L.C., 2021. Package 'sigr'. <https://cran.r-project.org/web/packages/sigr/sigr.pdf>. (accessed 02 January 2023).

Nodari, E.S., Carvalho, M.M.X., Zarth, P.A., 2018. Fronteiras fluidas: Florestas com Araucárias na América Meridional. *Oikos*, São Leopoldo, pp. 291.

Olden, J.D., Lawler, J.J., Poff, N.L., 2008. Machine learning without tears: a primer for ecologists. *The Quarterly Review of Biology*. 82, 171-193. 10.1086/587826.

Oliveira, J.M., Roig, F.A., Pillar, V.P., 2010. Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* in the southern Brazilian highlands. *Austral Ecology*. 35, 134-147. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2009.02018.x>.

Oliveira, L.F., Elbl, P., Navarro, B.V., Macedo, A.F., Santos, A.L.W., Floh, E.L.S., Cooke, J., 2017. Elucidation of the polyamine biosynthesis pathway during Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*) seed development. *Tree Physiology*. 37, 116-130. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpw107>.

Oliveira, W.L., Scariot, A., 2010. Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do pequi. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/890521/boas-praticas-de-manejo-para-o-extrativismo-sustentavel-do-pequi> (accessed 02 January 2023).

Perone, A., Lombardi, F., Marchetti, M., Tognetti, R., Lassere, B., 2016. Evidence of solar activity and El Niño signals in tree rings of *Araucaria araucana* and *A. angustifolia* in South America. *Global and Planetary Change*. 145, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.08.004>.

Pretzsch, H., 2009. Forest dynamics, growth and yield. Springer-Verlag, Berlin, pp. 671.

Ricken, P., Hess, A.F., Borsoi, G.A., 2018. Relações biométricas e ambientais no incremento diamétrico de *Araucaria angustifolia* no planalto serrano catarinense. Ciência florestal. 28, 1592-1603. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509835107>.

Ricken, P., Mattos, P.P., Braz, E.M., Hess, A.F., Nakajima, N.Y., Hosokawa, R.T., 2022. Growth models for *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze in different ecological gradients in the state of Santa Catarina. Floresta. 52, 1-8. 10.5380/1980509835107. 71978.

Rio Grande do Sul, 2018. Resolução CONSEMA N° 383 de 11 de Outubro de 2018. <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201810/24163723-383-2018-criterios-e-procedimentos-para-certificacao-e-exploracao-de-florestas-plantadas-com-especies-nativas.pdf> (accessed 02 January 2023).

Rio Grande do Sul, 2022. Resolução CONSEMA N° 465 de 19 de Maio de 2022. <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202206/15143328-465-2022-alteracao-da-resolucao-383-2018-cifpen.pdf> (accessed 02 January 2023).

Robinson, D., Gomez M., Demeshev B., Menne D., Nutter B., Johnston L., Wickham H., 2015. Package 'broom'. <https://cran.r-project.org/web/packages/broom/broom.pdf> (accessed 02 January 2023).

Rolim, S.G., Piotto, D., 2018. Silvicultura e Tecnologia de espécies da Mata Atlântica. Rona, Belo Horizonte, pp. 165.

Roth, B.E., Li, X., Huber, D.A., Peter, G.F., 2007. Effects of management intensity, genetics and planting density on wood stiffness in a plantation of juvenile loblolly pine in the southeastern USA. Forest Ecology and Management. 246, 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.028>.

Sano, S.M., Ribeiro, J.F., De Brito, M.A., 2004. Baru: biologia e uso. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/566595/1/doc116.pdf> (accessed 02 January 2023).

Sanquetta, C.R., Watzlawick, L.F., Schumacher, M.V., Mello, A.A., 2003. Individual biomass and carbon content in *Araucaria angustifolia* and *Pinus taeda* plantations in southern Parana state, Brazil. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*. 1, 33-40.

Santin, D., Wendling, I., Benedetti, E.L., Morandi, D., Domingos, D.M., 2015. Sobrevivência, crescimento e produtividade de plantas de erva-mate produzidas por miniestacas juvenis e por sementes. *Ciência florestal*. 25, 571-579.

Santos, H.G., Júnior, W.C., Dart, R.O., Ágilo, M.L.D., Sousa, J.S., Pares, J.G., Fontana, A., Martins, A.L.S., Oliveira, A.P., 2011. O Novo Mapa de Solos do Brasil: Legenda Atualizada. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/123772/1/DOC-130-O-novo-mapa-de-solos-do-Brasil.pdf> (accessed 02 January 2023).

Santos, V., Silva, A.C., Scipioni, M.C., Dreyer, J.B.B.D., Silveira, M.F., Schlickmann, M.B., Moraes, G.C., Aguiar, J.T., Larsen, J.G., Santos, G.N., Higuchi, P., 2021. The effects of soil compaction and fertility on a threatened endemic palm species in a global conservation hotspot. *Plant Ecology*. 222, 603-611. <https://doi.org/10.1007/s11258-021-01128-2>.

Scipioni, M.C., Fontana, C., Oliveira, J.M., Santini-Junior, L., Roig, F.A., Tomazello-Filho, M., 2021. Effects of cold conditions on the growth rates of a subtropical conifer. *Dendrochronologia*. 68, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125858>.

Serpe, E.L., Watzlawick, L.F., 2009. Avaliação de incremento diamétrico inicial em diferentes espécies de *Pinus* na região de Santa Maria do Oeste (PR). *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*. 2, 77-87.

Silva H.D., Bellote, A.F.J., Ferreira, C.A., Bognola, I.A., 2001. Recomendação de solos para *Araucaria angustifolia* com base nas suas propriedades físicas e químicas. *Boletim de Pesquisa Florestal*. 43, 61 – 74.

Silva, G.S., Lima, C.S., Silva, C.S., Forneck, E.D., 2012. Levantamento fitossociológico do estrato arbustivo regenerante em silvicultura de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na floresta Estacional de São Francisco de Paula, RS, Brasil. *Revista de ciências ambientais*. 6, 113-127.

Souza, T., Dobner Jr., M., Schmitt, D.E., Silva, L.J.R., Schneider, K. 2022. Soil biotic and abiotic traits as driven factors for site quality of *Araucaria angustifolia* plantations. *Biologia*. 77, 1219-1230.

Stepka, T.F., Dias, A.N., Filho, A.F., Machado, S.A., Sawczuk, A.R., 2012. Modelagem do incremento em diâmetro da *Araucaria angustifolia* em uma floresta ombrófila mista no centro-sul do Paraná. *Floresta*. 42, 607 – 620.

Thomas P. (2013). *Araucaria angustifolia*. The IUCN Red List of Threatened Species. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-.RLTS.T32975A2829141.en> (accessed 02 January 2023).

Valeriano, M.M., Rossetti, D.F., 2012. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography*. 32, 300-309. 10.1016/j.apgeog.2011.05.004.

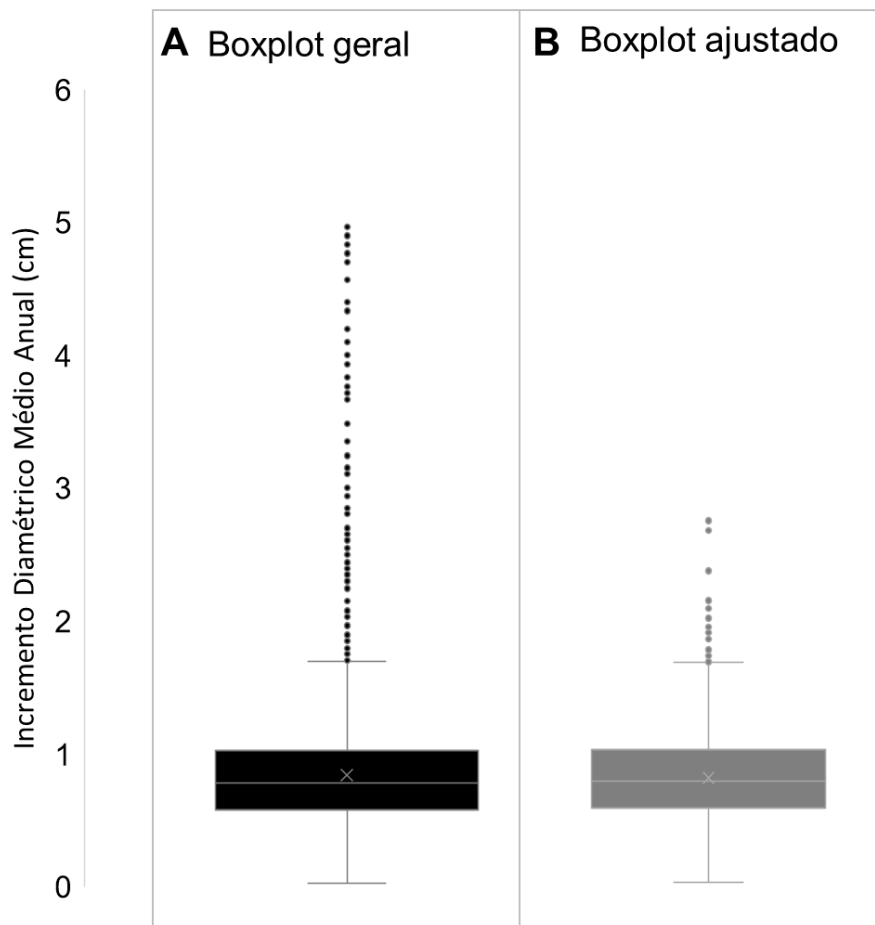
Valverde, S.R., 2012. *Silvicultura Brasileira: oportunidades e desafios da economia verde*. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, Rio de Janeiro.

Wickham, H., Chang, W., Wickham, M. H., 2016. Package 'ggplot2'. <https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html>. (accessed 02 January 2023).

Yang, L., Liu, S., Tsoka, S., Papageorgiou, L.G., 2017. A regression tree approach using mathematical programming. *Expert Systems with Applications*. 78, 347-357. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.02.013>.

Zanon, M.L.B., Finger, C.A.G., 2010. Relação de variáveis meteorológicas com o crescimento das árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em povoamentos implantados. *Ciência Florestal*. 20, 467-476.

Anexos



Anexo 1: Gráfico boxplot do Incremento Diamétrico Médio Anual (IDMA) de todos os indivíduos arbóreos informados nos CIPEN (6.435 árvores). Gráficos boxplot ajustado, considerando o IDMA apenas dos indivíduos arbóreos não considerados outliers, seguindo os critérios descritos na metodologia (6.280 árvores).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao histórico de sobre-exploração das florestas nativas, bem como a carência de fiscalização e de iniciativas de reflorestamento, a exploração madeireira da *A. angustifolia* levou à drástica redução de sua população, fazendo com que essa se tornasse ameaçada de extinção. Diante desse cenário, a solução adotada para sua conservação foi a proibição da exploração madeireira em remanescentes nativos. Contudo, a expansão de modelos de produção convencionais, como agricultura e a silvicultura de espécies exóticas, faz com que a espécie esteja pressionada pela conversão de terras. Nesse sentido, são importantes estudos visando novas abordagens para conservação da espécie, sendo o uso para a conservação, uma interessante alternativa. No entanto, existem poucos estudos explorando os aspectos sociais, econômicos relacionados a produtividade dos plantios com essa espécie, especialmente em grande escala. Dessa forma, os resultados desta dissertação fornecem base para que essas técnicas sejam mais bem exploradas no Sul do Brasil.

É fundamental ampliar as estratégias para divulgação deste modelo de produção no Estado do Rio Grande do Sul, especialmente em regiões localizadas além dos polos constatados, bem como, nas áreas identificadas com árvores de crescimento rápido. É nítido que essa atividade é pouco visada dentre os proprietários rurais, sobretudo devido ao status da espécie de “intocável” pela legislação brasileira, que ocorre pela falta de divulgação quanto às permissões desta. Porém, a lei permite o manejo sustentável de florestas nativas e abordagens de conservação incluindo os interesses dos produtores rurais, tem potencial de ser incentivada na área de ocorrência da espécie. Dessa forma, novos plantios com *A. angustifolia* tem tendência em influenciar nos aspectos relacionados a regularização ambiental e a conservação.

Recomenda-se que o órgão ambiental proponha mais atividades para divulgação deste procedimento, tais como realização de cartilhas e seminários com agricultores. Além disso, é importante destacar que os dados utilizados nesta pesquisa foram provenientes dos formulários utilizados pela SEMA para realização da certificação. A realização de um banco de dados com essas informações que possam ser atualizados pelo corpo técnico do órgão ambiental pode ser uma estratégia visando promover novos estudos e análises temporais do procedimento. Por fim, dentre os descritores para o crescimento, é importante reforçar que são essenciais mais estudos explorando fatores genéticos, por exemplo, principalmente em áreas plantadas. Conhecer mais sobre a variabilidade de crescimento de *A. angustifolia* é fundamental para difundir e melhor explorar o potencial econômico nos plantios.