

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**ALEX NASCIMENTO DE SOUSA**

**ESTUDOS DENDRO/MORFOMÉTRICOS E SUA RELAÇÃO COM A  
PRODUÇÃO DE ANDROSTRÓBIOS EM FLORESTA COM ARAUCÁRIA  
NO SUL DO BRASIL**

LAGES

2021

**ALEX NASCIMENTO DE SOUSA**

**ESTUDOS DENDRO/MORFOMÉTRICOS E SUA RELAÇÃO COM A  
PRODUÇÃO DE ANDROSTRÓBIOS EM FLORESTA COM ARAUCÁRIA  
NO SUL DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação  
em Engenharia Florestal do Centro de Ciências  
Agroveterinárias da Universidade do Estado de  
Santa Catarina como requisito para o título de  
Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: André Felipe Hess

Co-orientador: Marcos Benedito Schimalski

**LAGES**

**2021**

Ficha catalográfica elaborada pelo (a) autor (a), com

auxílio do programa de geração automática da

Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

**ALEX NASCIMENTO DE SOUSA**

**ESTUDOS DENDRO/MORFOMÉTRICOS E SUA RELAÇÃO COM A  
PRODUÇÃO DE ANDROSTRÓBIOS EM FLORESTA COM ARAUCÁRIA  
NO SUL DO BRASIL**

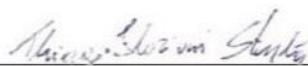
**Banca examinadora:**



Prof. Dr. André Felipe Hess

Orientador

UDESC – Lages, SC



Prof. Dr. Thiago Floriani Stepka

Membro interno

UDESC – Lages, SC



Prof. Dr. César/Augusto Guimarães Finger

Membro externo

UFSM – Santa Maria, RS

Aos meus familiares, por todo o amor, companheirismo e incentivo

Dedico!

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelas bençãos e por sempre está comigo, principalmente nos momentos que mais precisei.

Aos meus pais, por todo o amor e apoio dado durante essa caminhada. Agradeço pelo dom da vida, pela educação dada e por todos os sentimentos bons!

À minha irmã, seu marido, minha sobrinha e meu padrasto, por sempre ter me apoiado e ter emanado muitas energias boas.

Aos meus avós maternos e paternos, que me serviram de exemplo. Agradeço do fundo do meu coração todo o carinho e apoio!

Ao Prof. Dr. André Felipe Hess pela orientação e por ter se tornado um grande exemplo profissional e amigo. Agradeço todo o carinho, confiança e amizade! Que possamos trabalhar juntos no futuro e juntos dar forças ao Manejo Florestal.

Aos Prof. Dr. Thiago Floriani Stepka, Prof. Dr. Marcos Benedito Schimalski e Prof. Dr. César Augusto Guimarães Finger, por toda confiança e carinho. Agradeço as dicas que foram dadas e que ajudaram na produção desse trabalho!

Aos meus queridos amigos: Rodrigo, Débora, Marcela, Vital, Jaiton, Marina, Lethiane, Daiane, Lucas, Talissa, Ivan, Pedro, Mucio, Bruno, Daniel, Gleidson, Danielli, Lanielly, Charline, Emanoéli e Guilherme que fazem parte da minha vida e que estiveram ao meu lado nos momentos que eu mais precisei.

Agradeço aos alunos e bolsistas da UDESC: Lucas, Laryssa, Maurício, Gabriel e Roni, na coleta de dados e na troca de experiências.

À Universidade do Estado de Santa Catarina e ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal pelo suporte durante todo o Mestrado.

À PROMOP pelo apoio financeiro por meio da bolsa de estudos.

À todos que me ajudaram nessa conquista, de forma direta e indireta.

Muito obrigado!

## RESUMO

SOUSA, Alex Nascimento. **Estudos dendro/morfométricos e sua relação com a produção de androstróbilos em floresta com araucária no Sul do Brasil.** 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Área: Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2021.

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze é uma árvore dioica, com a presença de estróbilos masculinos e femininos, sendo estes conhecidos como androstróbilos e ginostróbilos respectivamente. Um aspecto importante para a conservação e manejo florestal dessa espécie são estudos visando conhecer e entender as relações dendro/morfométricas associadas a fisiologia de reprodução, pois auxiliam a entender o grau de competição, a estabilidade, a vitalidade, a conservação, a regeneração, dispersão e a produtividade da floresta. Assim, este estudo teve como objetivos: determinar os dados dendro/morfométricos de árvores individuais de *Araucaria angustifolia*; verificar a correlação entre as variáveis dendro/morfométricos e a quantificação de androstróbilos; ajustar modelos que estimem a produção de androstróbilos utilizando como preditoras as variáveis morfométricas; avaliar a eficiência de copa com a produção de androstróbilos, com o incremento periódico anual em diâmetro e verificar a influência das variáveis climáticas com a produção de androstróbilos de araucária em povoamentos florestais. O trabalho foi realizado em um remanescente florestal localizado no município de Lages, em Santa Catarina. Foram amostradas e georreferenciados 36 árvores masculinas, e posterior mensurada as variáveis dendro/morfométricas e retirado rolos de incremento para determinação do incremento periódico anual em diâmetro. A contagem dos androstróbilos foi realizada nos anos de 2019 e 2020 em imagens fotográficas retiradas de câmera acoplada em um *Remotely Piloted Aircraft System*. O ajuste dos modelos entre quantidade de androstróbilos em função das variáveis dendro/morfométricas, tiveram sua acurácia e precisão verificada pelos testes de normalidade, homogeneidade da variância e interdependência do erro. Quando não atendida as condicionantes de regressão foi utilizado ajuste pela técnica dos modelos lineares generalizados. A produção de androstróbilos foi maior para o ano de 2019 do que em 2020. As variáveis dendro/morfométricas com maior correlação com a produção de androstróbilos foram: diâmetro à altura do peito (d), diâmetro de copa (dc), área de projeção horizontal de copa (aphc), índice de abrangência (ia) e o grau de esbeltez (hd). Sendo assim, os resultados mostraram que há uma relação entre a quantidade de androstróbilos com o diâmetro e as variáveis de copa, apontando a necessidade de intervenções silviculturais para que haja produção de órgãos reprodutores, fecundação, regeneração e conservação da espécie e estrutura futura da floresta, pois estas ações e variáveis tem relação com o desenvolvimento das copas, a produção de androstróbilos, diminuição da competição e aumento de espaço lateral.

**Palavras-chave:** Androstróbilos. Manejo Florestal. Floresta Ombrófila Mista.

## ABSTRACT

*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze is a dioecious tree, with the presence of male and female strobiles, which are known as androstrobiles and ginostrobiles, respectively. An important aspect for the conservation and forest management of this species are studies aimed at knowing and understanding the dendro/morphometric relationships associated with reproduction physiology, as they help to understand the degree of competition, stability, vitality, conservation, regeneration, dispersion and forest productivity. Thus, this study aimed to: determine the dendro/morphometric data of individual trees of *Araucaria angustifolia*; verify the correlation between the dendro/morphometric variables and the quantification of androstrobils; adjust models that estimate the production of androstrobiles using morphometric variables as predictors; evaluate the crown efficiency with the production of androstrobiles, with the periodic annual increase in diameter and verify the influence of climatic variables with the production of androstrobiles of araucaria in forest stands. The work was carried out in a forest remnant located in the municipality of Lages, in Santa Catarina. Thirty-six male trees were sampled and georeferenced, and then the dendro/morphometric variables were measured and increment rollers were removed to determine the periodic annual increment in diameter. The counting of androstrobiles was performed in the years 2019 and 2020 in photographic images taken from a camera coupled to a Remotely Piloted Aircraft System. The accuracy and precision of the models between the amount of androstrobiles as a function of dendro/morphometric variables were verified by the normality, homogeneity of variance and error interdependence tests. When the regression conditions were not met, adjustment by the generalized linear models technique was used. The production of androstrobils was higher for the year 2019 than in 2020. The dendromorphometric variables with the highest correlation with androstrobil production were: diameter at breast height ( $d - r 0.55$ ), crown diameter ( $dc - r 0.63$ ), horizontal canopy projection area ( $aphc - 0.66$ ), coverage index ( $ia - 0.54$ ) and the degree of slenderness ( $hd - -0.37$ ). Thus, the results showed that there is a relationship between the amount of androstrobiles with the diameter and canopy variables, pointing to the need for silvicultural interventions so that there is production of reproductive organs, fertilization, regeneration and conservation of the species and future structure of the forest, as these actions and variables are related to the development of crowns, the production of androstrobiles, decreased competition and increased lateral space.

**Keywords:** Androstrobiles. Forest management. Mixed Ombrophilous Forest.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização do município de Lages – SC, 2021.....	22
Figura 2. Caracterização do remanescente onde estão inseridas as araucárias estudadas.....	22
Figura 3. Veículo Áereo Não Tripulado (VANT) da marca <i>Phantom 4 Pro</i> .....	24
Figura 4. Caracterização da identificação e quantificação dos androstróbilos por meio da plataforma VGG <i>Image Annotator</i> em <i>Araucaria angustifolia</i> , Lages – SC.....	24
Figura 5. Distribuição diamétrica dos indivíduos de <i>Araucaria angustifolia</i> com presença de androstróbilos em um fragmento florestal natural localizado no município de Lages, Santa Catarina.....	29
Figura 6. Relações morfométricas e sua interação com o número de árvores de <i>Araucaria angustifolia</i> , por hectare, em fragmento florestal em Lages - SC.....	42
Figura 7. Dispersão dos valores estimados e observados de acordo com os modelos gerados entre o número de androstróbilos e as variáveis dendro/morfométricas para as árvores de <i>Araucaria angustifolia</i> em Santa Catarina, 2021.....	46
Figura 8. Mapa de localização do município de Lages – SC, 2021.....	65
Figura 9. Caracterização do remanescente onde estão inseridas as araucárias estudadas.....	65
Figura 10. Veículo Áereo Não Tripulado (VANT) da marca <i>Phantom 4 Pro</i> .....	67
Figura 11. Caracterização da identificação e quantificação dos androstróbilos por meio da plataforma VGG <i>Image Annotator</i> em <i>Araucaria angustifolia</i> , Lages – SC.....	68
Figura 12. Dispersão dos valores estimados e observados de acordo com os modelos gerados entre as eficiências de copa, número de androstróbilos em função das variáveis dendro/morfométricas para as árvores de <i>Araucaria angustifolia</i> em Santa Catarina, 2021.....	74
Figura 13. Mapa de localização do município de Lages – SC, 2021.....	85
Figura 14. Caracterização do remanescente onde estão inseridas as araucárias estudadas.....	85
Figura 15. Veículo Áereo Não Tripulado (VANT) da marca <i>Phantom 4 Pro</i> .....	87
Figura 16. Caracterização da identificação e quantificação dos androstróbilos por meio da plataforma VGG <i>Image Annotator</i> em <i>Araucaria angustifolia</i> , Lages – SC.....	88
Figura 17. Dendrograma do número de androstróbilos de <i>Araucaria angustifolia</i> com as variáveis climáticas, o incremento periódico em diâmetro e a eficiência da copa em remanescente florestal localizado em Lages, em Santa Catarina.....	92
Figura 18. Análise de componentes principais dos parâmetros número de androstróbilos de <i>Araucaria angustifolia</i> com as variáveis climáticas, o incremento periódico do diâmetro e a eficiência da copa em remanescente florestal localizado em Lages, Santa Catarina.....	96

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição das características do vôo e as características do VANT Phantom Pro 4.....	25
Tabela 2. Equações para estimar o grau de esbeltez e o número de androstróbilos em função do número de árvores por hectare de árvores individuais de <i>Araucaria angustifolia</i> em Lages, Santa Catarina.....	26
Tabela 3. Variáveis dendro/morfométricas e quantidade de androstróbilos para <i>Araucaria angustifolia</i> no município de Lages, Santa Catarina.....	31
Tabela 4. Correlação de Pearson e probabilidades das variáveis dendro/morfométricas e quantidade de androstróbilos de <i>Araucaria angustifolia</i> , no município de Lages, Santa Catarina.....	39
Tabela 5. Equações para ajuste da interação entre as variáveis morfométricas e o número de androstróbilos com o número de árvores por hectare para <i>Araucaria angustifolia</i> em Lages - SC, 2021.....	41
Tabela 6. Valores dos parâmetros e qualidade dos ajustes dos MLG para ajuste do número de androstróbilos em função das variáveis dendro/morfométricas para <i>Araucaria angustifolia</i> em Lages, Santa Catarina, 2021.....	44
Tabela 7. Descrição das características do vôo e as características do VANT Phantom Pro 4.....	67
Tabela 8. Variáveis dendro/morfométricas, quantidade de androstróbilos e incremento periódico anual em diâmetro para árvores de <i>Araucaria angustifolia</i> no município de Lages, Santa Catarina.....	70
Tabela 9. Valores dos parâmetros e qualidade dos ajustes dos MLG para ajuste das eficiências de copa, número de androstróbilo em função das variáveis dendro/morfométricas para <i>Araucaria angustifolia</i> em Lages, Santa Catarina, 2021.....	72
Tabela 10. Descrição das características do vôo e as características do VANT Phantom Pro 4.....	88
Tabela 11. Autovalores e percentual da variância explicada de cada componente.....	94
Tabela 12. Extração das componentes principais para cada variável.....	95

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

aphc	Área de Projeção Horizontal de copa
AIC	Critério de Informação de Akaike
BIC	Critério de Informação Bayesiano
cap	Circunferência à altura do peito
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
CE1	Eficiência de copa do ic/aphc
CE2	Eficiência de copa do and/aphc
cc	Comprimento de copa
cm	Centímetros
d	Diâmetro à altura do peito
dc	Diâmetro de copa
fc	Formal de copa
FOM	Floresta Ombrófila Mista
hd	Grau de Esbeltez
h	Altura
hac	Hectare
hbc	Altura de Inserção
ia	Índice de Abrangência
ic	Incremento periódico anual em diâmetro
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
is	Índice de Saliência
m	Metro
MLG	Modelos Lineares Generalizados
MMA	Ministério do Meio Ambiente
na	Número de androstróbilos
ni	Número potencial de árvores por hectare
PCA	Análise de Componentes Principais
pc	Proporção percentual de copa

pp	Precipitação
rc	Raio de copa
SC	Santa Catarina
temp	Temperatura média do ar
ur	Umidade relativa do ar
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
vv	Velocidade do vento

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>15</b>
<b>2. CAPÍTULO 1 – MODELAGEM DAS RELAÇÕES DENDRO/MORFOMÉTRICAS COM A PRODUÇÃO DE ANDROSTRÓBIOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze NO SUL DO BRASIL.....</b>	<b>18</b>
2.1. RESUMO.....	18
2.2. ABSTRACT.....	18
2.3. INTRODUÇÃO .....	19
2.4. MATERIAL E MÉTODOS .....	21
2.4.1. Caracterização e localização da área de estudo .....	21
2.4.2. Coleta dos dados.....	23
2.4.3. Obtenção dos dados dendro/morfométricos.....	23
2.4.4. Quantificação dos androstróbilos.....	24
2.4.5. Processamento dos dados e análise estatística.....	26
2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
2.5.1. Número de árvores e androstróbilos .....	28
2.5.2. A relação das variáveis dendro/morfométricas com o número de androstróbilos.....	31
2.5.3. Correlação de Pearson para as variáveis dendro/morfométricas com o número de androstróbilos .....	37
2.5.4. Interação das variáveis morfométricas com a densidade do povoamento	41
2.5.5. Ajuste das equações entre a quantidade de androstróbilos e as variáveis dendro/morfométricas .....	43
2.6. CONCLUSÕES .....	47
2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47
<b>3. CAPÍTULO 2 – RELAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA COPA COM A PRODUÇÃO DE ANDROSTRÓBIOS EM ÁRVORES DE <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze NO SUL DO BRASIL.....</b>	<b>62</b>
3.1. RESUMO.....	62
3.2. ABSTRACT.....	62
3.3. INTRODUÇÃO .....	63
3.4. MATERIAL E MÉTODOS .....	64
3.4.1. Caracterização e localização da área de estudo .....	64
3.4.2. Mensuração dos dados.....	66

3.4.3. Obtenção dos dados dendro/morfométricos .....	66
3.4.4. Quantificação dos androstróbilos .....	66
3.4.5. Incremento Periódico Anual .....	68
3.4.6. Eficiência da copa .....	69
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	70
3.5.1. Caracterização das árvores no remanescente florestal .....	70
3.5.2. Ajuste dos modelos para a eficiência de copa.....	72
3.6. CONCLUSÃO .....	76
3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76
<b>4. CAPÍTULO 3 - A INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DE ANDROSTRÓBIOS EM <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze NO SUL DO BRASIL .....</b>	<b>82</b>
4.1. RESUMO .....	82
4.2. ABSTRACT .....	82
4.3. INTRODUÇÃO .....	83
4.4. MATERIAL E MÉTODOS .....	84
4.4.1. Caracterização e localização da área de estudo .....	84
4.4.2. Coleta dos dados.....	86
4.4.3. Obtenção dos dados dendro/morfométricos .....	86
4.4.4. Dados meteorológicos .....	87
4.4.5. Quantificação dos androstróbilos.....	87
4.4.6. Incremento Periódico Anual .....	89
4.4.7. Eficiência da copa .....	89
4.4.8. Análise multivariada.....	90
4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	91
4.6. CONCLUSÃO .....	97
4.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	98
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>103</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>104</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é uma importante formação florestal do Brasil. Nela ocorre a mistura de flora e fauna de diferentes origens, com diferentes características e bastante especificidade. É conhecida também como Floresta com Araucária ou Mata de Araucária, sendo esta tipologia florestal caracterizada pela presença da espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (WREGE et al., 2017).

Conhecida como pinheiro brasileiro ou simplesmente araucária, a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, pertencente à família Araucariaceae, são árvores dioicas, com a presença de estróbilos masculinos (androstróbilos) e femininos (ginostróbilos). Sendo os ginostróbilos conhecidos como pinha, que produzem os pinhões (WENDLING, 2018). As populações naturais ou plantações estão distribuídas principalmente nos estados mais ao sul do Brasil (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), tendo a espécie um significado econômico para estes estados, durante o período de abril a agosto, devido à produção de pinhão (CLADERA-OLIVEIRA et al., 2012).

Apesar da grande importância da produção de pinhão, a *A. angustifolia*, possui madeira com características físico-mecânicas indicadas para construção em geral, caixotaria, móveis, laminados e vários outros usos (MELO et al., 2010). Historicamente, esses motivos levaram à exploração irracional da espécie e nos anos 90 ocorreu limitações quanto ao uso da espécie. O que a incluiu na lista de espécies vulneráveis à extinção (MMA, 2008).

Hoje tais atividades comerciais são restritas por uma legislação que permite apenas a coleta de pinhão, que é fonte de renda para diversas famílias da região Sul do país. Contudo, devido às suas características silviculturais, relatadas em alguns estudos, pode-se perceber a necessidade em realizar manejo florestal em remanescentes florestais nativos para inserir a espécie na produção madeireira e não madeireira, como também, para a conservação da espécie, que inibi a estagnação do crescimento das árvores e melhora a capacidade produtiva e a estrutura futura da floresta.

O sucesso no crescimento das árvores depende dos recursos disponíveis entre elas como os fatores ambientais, as características genéticas e o espaço que eles ocupam. De acordo com isso, os modelos de crescimento e desenvolvimento de uma espécie e da comunidade não ocorrem apenas sob um fator, mas pelo conjunto de fatores, sendo eles importantes para o sucesso do manejo florestal (RICKEN et al., 2018).

A partir disso, um aspecto importante para o manejo florestal é o estudo sobre a morfometria da espécie, que é obtida pelas variáveis: diâmetro á altura do peito (d), altura

(h), e dados relacionados à copa. Dessa maneira, por meio destas análises é possível buscar reconstituir o espaço de cada árvore, avaliar o grau de concorrência entre os indivíduos, informar sobre a estabilidade, vitalidade e a produtividade de cada árvore (DURLO e DENARDI, 1998).

Dessa forma, para que haja maior susceptibilidade na produção, é indispensável que se tenha o máximo de informações possíveis acerca do ciclo da polinização da espécie. Desta maneira, torna-se possível estimar como será a produção de androstróbilos em determinada região de acordo com as limitações imposta pelo meio ambiente. Whitehead (1983) destacou que a polinização da araucária ocorre, principalmente, pelo vento, porém, pode ocorrer também por aves. Assim, estudos que auxiliam no melhor entendimento sobre a reprodução sexual da espécie são de grande importância.

Para isso, há a necessidade de verificar a proporcionalidade na quantidade de indivíduos machos e fêmeas inseridas em determinada área, pois segundo Zanon (2009) o sucesso reprodutivo de uma espécie depende da quantidade de árvores do sexo masculino e feminino na população, favorecendo assim o mais abundante quando existe uma proporção desbalanceada de sexo.

Portanto, a elaboração de modelos matemáticos auxilia no conhecimento da produção de androstróbilos e ginostróbilos com variáveis dendro/morfométricas, contribuindo para a compreensão e da dinâmica estrutural da floresta, produção de pinhas, regeneração da espécie, sua conservação e no sucesso da gestão florestal.

Este estudo teve como objetivo avaliar, comparar, correlacionar e modelar a quantidade de androstróbilos com variáveis dendro/morfométricas e climáticas para árvores masculinas de *Araucaria angustifolia* crescendo em floresta e de crescimento livre, no município de Lages no estado de Santa Catarina, visando a conservação e sustentabilidade do ecossistema florestal.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Determinar os dados dendro/morfométricos de árvores individuais de *Araucaria angustifolia*;
- b) Verificar a correlação entre e a quantificação de androstróbilos a partir das variáveis dendro/morfométricas e climáticas;
- c) Ajustar modelos que estimem a produção de androstróbilos a partir das variáveis dendro/morfométricas;
- d) Avaliar a eficiência de copa com a produção de androstróbilos;

- e) Auxiliar em modelos de gestão florestal e conservação sustentável do ecossistema floresta com araucária.

## 2. CAPÍTULO 1 - MODELAGEM DAS RELAÇÕES DENDRO/MORFOMÉTRICAS COM A PRODUÇÃO DE ANDROSTRÓBIOS DE *Araucaria Angustifolia* (Bertol.) Kuntze NO SUL DO BRASIL

### 2.1. RESUMO

A análise morfométrica permite conhecer o desenvolvimento, capacidade produtiva, e consequentemente auxiliar no manejo de uma floresta. Assim, esse estudo teve como objetivo modelar a produção de androstróbilos com as variáveis dendro/morfométricas para *Araucaria angustifolia* no Sul do Brasil. A mensuração das variáveis diâmetro à altura do peito (d), altura total (h), altura da base da copa (hbc), raios de copa (rc) e incremento em diâmetro foi para árvore individual. Com estes dados foram calculados o comprimento de copa (cc), área de copa (ac), proporção de copa (pc), diâmetro de copa (dc), formal de copa (fc), índice de abrangência (ia), índice de saliência (is), grau de esbeltez (hd), incremento periódico anual em diâmetro e número potencial de árvores por hectare (N). Posteriormente, por meio de imagens obtidas com auxílio de um drone, foi possível realizar a quantificação dos androstróbilos de cada árvore masculina, das 36 amostradas, sendo realizada no ano de 2019 e 2020. Com o banco de dados calculou-se a estatística descritiva de cada variável e a análise de correlação de Pearson. De acordo com o resultado obtido na correlação selecionou-se as variáveis correlatas e houve o ajuste dos modelos para identificar a interação das variáveis morfométricas com a densidade do povoamento por meio da análise de regressão simples. Após isso se ajustou modelos da quantidade de androstróbilos em função das variáveis morfométricas, e por meio disso, os resíduos foram submetidos aos testes de normalidade, homogeneidade da variância e interdependência do erro. Os dados não atenderam aos condicionantes de regressão e o ajuste dos modelos foi utilizando os modelos lineares generalizados. A maior produção de androstróbilos foi para o ano de 2019. As variáveis com maior correlação com a produção de androstróbilos foram a área de projeção horizontal de copa, diâmetro de copa, diâmetro à altura do peito, índice de abrangência e o grau de esbeltez. Os resultados indicam que a produção de androstróbilos está relacionada a vitalidade, dimensão, densidade e espaço de crescimento da árvore na floresta, permitindo inferir que intervenções silviculturais são necessárias para que haja desenvolvimento das copas, produção de sementes, fecundação e regeneração natural da espécie.

**Palavras-chave:** Manejo florestal. Floresta Ombrófila Mista. Pinheiro Brasileiro.

### 2.2. ABSTRACT

The morphometric analysis allows knowing the development, productive capacity, and consequently help in the management of a forest. Thus, this study aimed to model the production of androstrobiles with dendro/morphometric variables for *Araucaria angustifolia* in southern Brazil. The measurement of the variables diameter at breast height (d), total height (h), height at the base of the crown (hbc), crown radius (rc) and increment in diameter was for individual tree. With these data, the crown length (cc), crown area (ac), crown proportion (pc), crown diameter (dc), crown formal (fc), coverage index (ia), index were calculated of protrusion (is), degree of slenderness (hd), periodic annual increment in diameter and potential number of trees per hectare (N). Later, through

images obtained with the aid of a drone, it was possible to carry out the quantification of androstrobiles in each male tree. The descriptive statistics of each variable and Pearson's correlation analysis were calculated with the database. According to the result obtained in the correlation, correlated variables were selected and the models were adjusted to identify the interaction of morphometric variables with population density through simple regression analysis. After that, models of the amount of androstrobiles were adjusted as a function of morphometric variables, and through this, the residues were submitted to normality, homogeneity of variance and error interdependence tests. The data did not meet the regression conditions and the adjustment of the models was using generalized linear models. The largest production of androstrobiles was for the year 2019. The variables with the highest correlation with the production of androstrobils were the diameter at breast height, crown diameter, crown area, coverage index and the degree of thinness. The results indicate that the production of androstrobiles is related to vitality, dimension, density and growth space of the tree in the forest, allowing inferring that silvicultural interventions are necessary for the development of crowns, seed production, fertilization and natural regeneration of the species.

**Keywords:** Forest management. Mixed Ombrophilous Forest. Brazilian pine.

### 2.3. INTRODUÇÃO

O sinônimo de administração de uma floresta é prestar um manejo florestal adequado e eficiente, na tentativa de se obter benefícios econômicos, sociais e ambientais, levando em consideração a obtenção dos recursos florestais, identificando as ferramentas e os métodos a serem aplicados em uma floresta (REX, 2018).

Historicamente, muitas espécies sofreram devido à exploração causada pelo avanço do proveito indiscriminado de madeira e com a sua substituição pela agricultura (KLEIN, 1972). No sul do Brasil, por exemplo, a Floresta Ombrófila Mista (FOM) sofreu uma intensa exploração, conhecida como o “Ciclo da Araucária” (SILVA et al., 2012).

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze configura entre as espécies da região Sul do Brasil que mais sofreram no decorrer da história com a exploração. Suas características fazem com que seja endêmica desta região, podendo se estender para São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo, como também em outros países como a Argentina e o Paraguai, o que forma pequenas manchas isoladas, principalmente nas regiões mais frias e com grande altitude (KLEIN, et al., 2017; ZANETTE, 2017).

Existe uma legislação que protege a araucária da exploração na região. Entretanto, as atuais condições dos remanescentes florestais com ocorrência natural da espécie

mostram que há uma estagnação em seu desenvolvimento, que pode ser explicado pela falta de manejo (KLEIN et al., 2017).

Dentre as ferramentas importantes no manejo de espécies florestais, tem-se a morfometria de árvores. As relações morfométricas de uma árvore e as variáveis encontradas são utilizadas para transmitir uma ideia de relações interdimensionais, reconstituição do espaço ocupado por cada indivíduo, julgamento do grau de concorrência de um povoamento e permissão para inferir a estabilidade, a vitalidade e a produtividade de cada árvore, servindo como instrumento na intervenção silvicultural e no manejo da espécie. Dessa maneira, o conceito de série dimensional é importante para o cálculo dos índices morfométricos (ROMAN et al., 2009).

As variáveis morfométricas mais utilizadas em trabalhos são: comprimento de copa (cc), diâmetro de copa (dc), altura total (ht), diâmetro à altura do peito (d), proporção de copa (pc%), área de projeção de copa (ac), formal de copa (fc), índice de saliência (is), índice de abrangência (ia), grau de esbeltez (hd) (DIONISIO, 2017; HESS et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018; RICKEN, 2020;; SILVA et al., 2017).

Podem-se obter informações sobre a produtividade, e consequentemente, a reprodução de uma espécie florestal por meio da morfometria. No caso da *Araucaria angustifolia*, verifica-se que os ginoestróbilos e androestróbilos podem estar localizados em diferentes posições dos galhos da árvore. Desse modo, de acordo com a localização, a árvore possui condições favoráveis para a formação e o desenvolvimento das estruturas reprodutivas (WENDLING, 2017).

Estudos que auxiliem a quantificar a produção de androestróbilos e ginoestróbilos são escassos e ultimamente o objetivo em realizar trabalhos com esse tema vem crescendo e trazendo à tona resultados satisfatórios. Entretanto, há como principal fator contrário o desbalanceamento na proporção de sexo das árvores que implica na contribuição desigual do número de gametas, o que favorece o sexo mais abundante encontrado em determinado fragmento florestal (ZANON, 2009).

Portanto, é de grande interesse realizar a quantificação da produção de androestróbilos para entender a variabilidade no número de androestróbilos produzidos, e definir o ano e a região que possuem maior produção, ou quais as características dendro/morfométricas que influenciam no número de androestróbilos por árvore. Pode-se

verificar que as variáveis como diâmetro, dimensão e forma da copa e o espaço ocupado pelas árvores refletem positivamente na produção dos estróbilos masculinos e femininos (HESS et al., 2019).

A produção de androstróbilos e ginostróbilos (pinha) é um fenômeno importante para o processo de polinização, e consequentemente, fecundação da *Araucaria angustifolia*. Por meio desses resultados é possível verificar a fisiologia reprodutiva em remanescentes florestais e presumir sobre a estrutura futura da floresta em termos da conservação da espécie, da variabilidade genética, da regeneração natural, da produção e comercialização de pinhas e da manutenção dessa atividade econômica que é tão importante para a região.

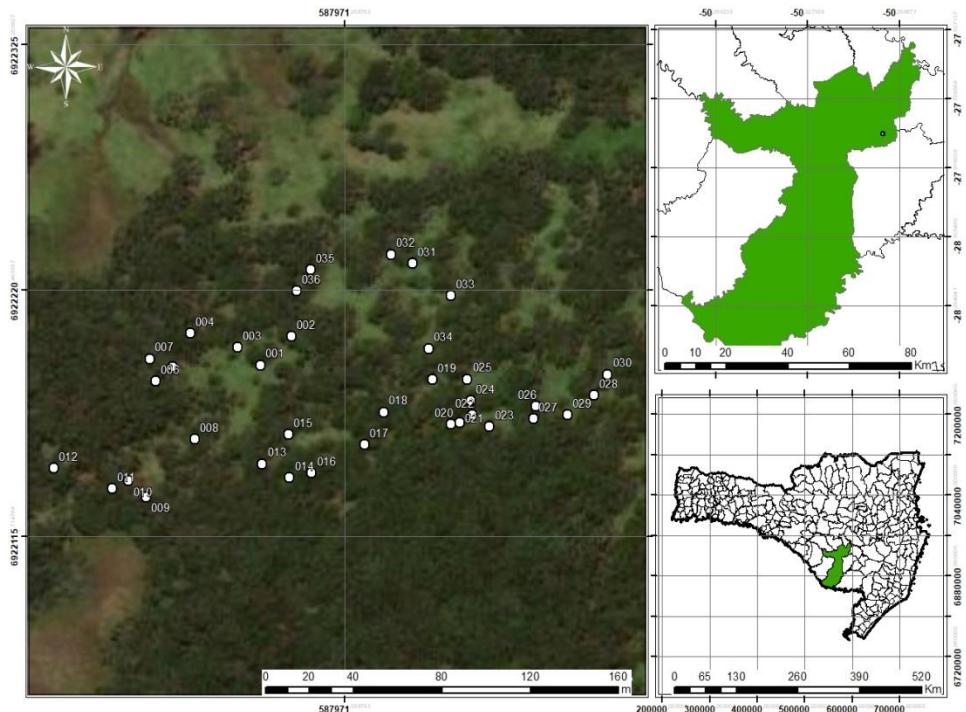
Para verificar essas relações dimensão-forma-fisiologia reprodutiva, o objetivo do trabalho foi determinar os índices dendro/morfométricos e correlacionar com a quantidade de androstróbilos por árvore individual, e assim ajustar modelos matemáticos a fim de obter a variabilidade na quantidade de androstróbilo produzido em um fragmento florestal localizado no município de Lages, em Santa Catarina, com as características dendro/morfométricas de árvores de *Araucaria angustifolia*, para facilitar os gestores na silvicultura e no manejo da espécie.

## 2.4. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.4.1. Caracterização e localização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido em um remanescente florestal de 84 ha na localidade denominada Pedras Brancas, em Lages, município do estado de Santa Catarina (Figura 1). Classifica-se como Floresta Ombrófila Mista, ou Floresta com Araucária, espécie que domina todos os estratos da floresta (Figura 2).

Figura 1. Mapa de localização do município de Lages – SC, 2021.



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

Figura 2. Caracterização do remanescente onde estão inseridas as araucárias estudadas.



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

De acordo com a classificação de Köppen o território catarinense abrange dois tipos climáticos: o subtropical úmido com verões cálidos (Cfa) e o subtropical úmido com

verões não muito quentes (Cfb). Na área em que se deseja coletar os dados predomina o Cfb, ou seja, clima temperado, caracterizado por ser constantemente úmido sem estação seca. A temperatura média da região é de 13,7 °C, com pluviosidade média anual de 1.722 mm e altitude de 1.200 m (ALVARES, 2014).

De acordo com Hess (2012) e Hess et al. (2010) o fragmento florestal da região é de característica nativa, irregular e inequívoca, sem manejo florestal e intervenção silvicultural a cerca de 40 anos e com presença de gado, ou seja, não possui muita regeneração natural.

#### **2.4.2. Coleta dos dados**

Realizou-se a amostragem das árvores de araucária que serão mensuradas de acordo com a abordagem baseada em árvores individuais para facilitar a identificação dos indivíduos de sexo masculino.

Utilizaram-se plaquetas para numerar as árvores, consequentemente, com o auxílio de um GPS (*Global Position System*) da Garmin, foi realizado o georreferenciamento. Considerou-se cada árvore uma unidade amostral (UA), o qual facilitou a análise estatística.

#### **2.4.3. Obtenção dos dados dendro/morfométricos**

Com os dados do diâmetro à altura do peito (d), altura total (h), altura da base da copa (hbc) e raios de copa (rc), obtidos nas direções Norte, Sul, Leste e Oeste, para cada árvore masculina, calculou-se as variáveis morfométricas com as equações abaixo:

$$cc = h - hbc \quad (1)$$

$$dc = 2 * rc \quad (2)$$

$$aphc = \pi * rc^2 \quad (3)$$

$$pc = \left( \frac{cc}{h} \right) * 100 \quad (4)$$

$$fc = \frac{dc}{cc} \quad (5)$$

$$ia = \frac{dc}{h} \quad (6)$$

$$is = \frac{dc}{d} \quad (7)$$

$$hd = \frac{h}{d} \quad (8)$$

Onde: cc: comprimento de copa (m); dc: diâmetro de copa (m); rc: raio de copa (m); aphc: área de projeção de copa ( $m^2$ ); pc: proporção de copa (%); fc: formal de copa; ia: índice de abrangência; is: índice de saliência; hd: grau de esbeltez.

#### 2.4.4. Quantificação dos androstróbilos

Para mensurar a produção de androstróbilos avaliaram-se 36 árvores com estróbilos masculinos. Os estróbilos masculinos surgem na planta a partir do mês de novembro, período em que se realizou a quantificação em dois anos consecutivos, 2019 e 2020. Para quantificar os estróbilos foi utilizado um *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAs). O RPAs empregado pertence à marca DJI modelo Phantom Pro 4 (Figura 3) cuja as características estão descritas na Tabela 1, com as respectivas características do voo. Nele possui acoplada uma câmara com resolução espacial de 20 Mpixels, sensor vermelho, verde e azul (RGB) com obturador mecânico e distância focal de 8,8 mm.

Figura 3. *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) da marca *Phantom 4 Pro*.



Fonte – DJI, 2021.

A aquisição das imagens ocorreu com o sobrevoo controlado por um piloto. Em função do tamanho dos objetos a altura do recobrimento aéreo não foi superior a 30 metros. Em função do relevo local e da altura, não pode ser tomadas imagens digitais com recobrimento longitudinal e lateral que possibilitariam a reconstrução tridimensional das árvores e do relevo.

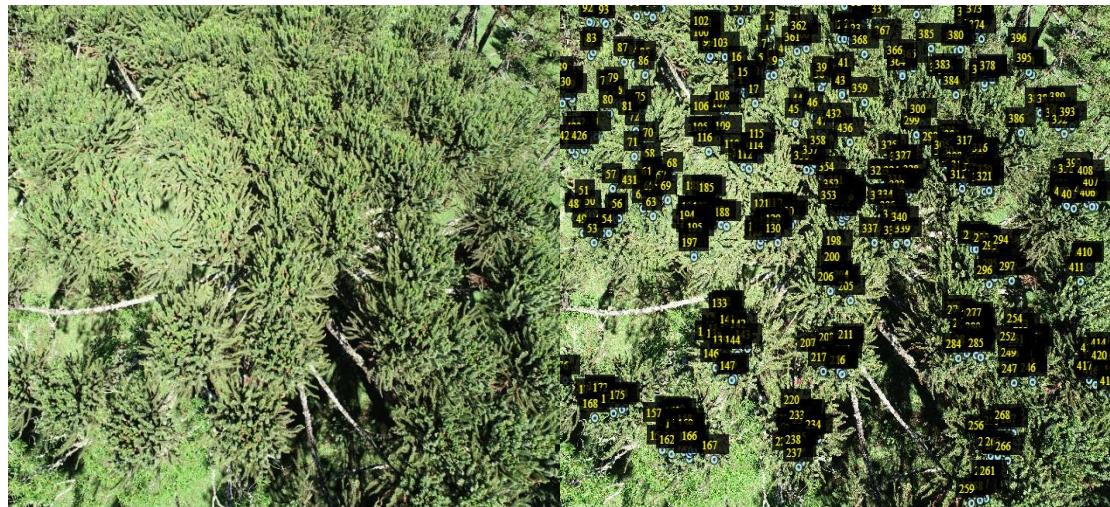
Tabela 1. Descrição das características do vôo e as características do RPAS Phantom Pro 4.

Especificações da aeronave/sensor		Características do voo	
Peso (baterias e hélices)	1.388 g	Ano de execução	2019 e 2020
Tamanho diagonal (incluindo hélices)	350 mm	Altura	30 m
Resistência máxima a velocidade do vento	10 m/s	Sobreposição longitudinal	0%
Sistemas de posicionamento global	GPS/GLONASS	Sobreposição lateral	0%
Sensor	CCD	Velocidade	5 m/s

Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

A identificação e quantificação dos estróbilos masculinos ocorreram por meio de imagens RGB tiradas por intermédio do RPAS, utilizando a plataforma VGG *Image Annotator* como facilitador (Figura 4). A identificação ocorreu por meio da ferramenta de zoom, sendo a quantificação realizada de forma manual.

Figura 4. Caracterização da identificação e quantificação dos androstróbilos por meio da plataforma VGG *Image Annotator* em *Araucaria angustifolia*, Lages – SC.



#### **2.4.5. Processamento dos dados e análise estatística**

Foi realizada a distribuição diamétrica das árvores amostradas no fragmento florestal, onde foi verificada a densidade da superfície da área, e consequentemente, quantificar o número de androstróbilos em cada classe.

Realizou-se a estatística descritiva das variáveis dendro/morfométricas. Sendo o processamento dos dados realizados no software *Microsoft Office Excel* 2016.

A correlação de Pearson entre as variáveis dendro/morfométricas com a quantidade de androstróbilos também foi realizada, considerando-se o nível de 5% de probabilidade de erro. Sendo utilizado o procedimento PROC CORR do software estatístico SAS (*Statistic Analysis System*) 9.4, o que disponibilizou verificar quais as variáveis que possuem maior correlação com a produção de androstróbilos, e assim selecionar as que eram significativas, o que serviu de base para o procedimento de modelagem das equações matemáticas.

Após a análise de correlação das variáveis dendro/morfométricas verificou-se aquela que obteve correlação significativa e explicasse de forma coesa a relação da densidade do povoamento com a produção de androstróbilos. Dessa maneira, decidiu-se utilizar o grau de esbeltez (hd) como variável explicativa, já que representa a relação h/d e por meio dela é possível obter resultados sobre a necessidade de desbaste no remanescente florestal (TONINI e ARCOVERDE, 2005), sendo essa relacionada com o número potencial de árvores por hectare para cada área de copa (N) e o número de androstróbilos (na). Para calcular o N, utilizou-se a fórmula:

$$N = \frac{10000}{aphc} \quad (9)$$

Onde: N: número potencial de árvores por hectare; aphc: área de projeção horizontal de copa ( $m^2$ ).

Para verificar o ajuste dos modelos da interação do grau de Esbeltez e o número de androstróbilos com o número potencial de árvores por hectare, utilizou-se o ajuste por meio dos modelos (Tabela 2):

Tabela 2. Equações para estimar o grau de esbeltez e o número de androstróbilos em função do número de árvores por hectare de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* em Lages, Santa Catarina.

Modelo	Equação
1	$hd = b0 + b1 * \ln(N)$
2	$na = b0 + b1 * \ln(N)$

Onde: hd: grau de esbeltez; na: número de androstróbilos; N: número potencial de árvores por hectare (n/ha). Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

Para verificar os ajustes dos modelos sobre a densidade do remanescente florestal estudado foram avaliados os testes de condicionantes (homogeneidade da variância, independência dos erros e a normalidade dos dados) e ao não atendimento, investigado pelos teste de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e White, decide-se pelo não uso da análise de regressão linear, mas sim pelo ajuste de regressão pelo método dos Modelos Lineares Generalizados (MLG).

Posteriormente, as variáveis que obtiveram correlação significativa à 5% de probabilidade foram utilizadas para estimar o número de androstróbilos (na) no fragmento florestal estudado.

Para o ajuste de regressão do na também foi necessário a verificação do cumprimento das condicionantes para a existência do ajuste e ao não atendimento das condicionantes, decide-se pelo uso do ajuste de regressão pelo método dos MLG.

Os critérios estatísticos de Desvio, critério de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC), foram utilizados para avaliar a acurácia e precisão dos ajustes dos modelos deste trabalho.

O critério de informação de Akaike (AIC) e o Bayesiano (BIC) simbolizam a falta de generalidade do modelo e penalizam a falta de ajuste aos dados de acordo com a alta complexidade do modelo. Dessa forma, os menores valores são considerados, em ambos os critérios, para definir o melhor ajuste de modelo (AKAIKE, 1973; SCHWARZ, 1978). As medidas são definidas pelas equações (10 e 11):

$$AIC = -2[\log(L) - p] \quad (10)$$

$$BIC = -2[\log(L) - p \log n] \quad (11)$$

Onde: AIC: critério de informação de Akaike; BIC: critério de informação Bayesiano; L: valor de verossimilhança para o modelo estimado; n: número de observações.

O software utilizado para o ajuste dos modelos e análise dos dados foi o *Statistic Analysis System* (SAS), versão 9.4 (SAS INSTITUTE, 2012).

## 2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.5.1. Número de árvores e androstróbilos

Para o ano de 2019 obteve-se média de aproximadamente 178 androstróbilos/árvore, com variação de 20 a 500 androstróbilos por árvore. Já para o ano de 2020 houve uma média de 139 androstróbilos/árvore e uma variação de 20 a 370 androstróbilos. Sendo assim, um total de 6.406 androstróbilos para o ano de 2019, e 5.000 para 2020, levando em consideração as 36 árvores individuais de *Araucaria angustifolia* estudadas, o que totalizou 11.406 androstróbilos produzidos no decorrer de dois anos para todas as árvores amostradas.

A produção de androstróbilos no ano de 2019 foi superior à de 2020, e vários são os fatores que podem ter influenciado esse resultado. Assim, supõem-se que influenciam: as variações climáticas, o vento ocasionado pela maior altitude da região, a concorrência entre as árvores por recursos da natureza e a idade das árvores destacada pela estagnação na produtividade.

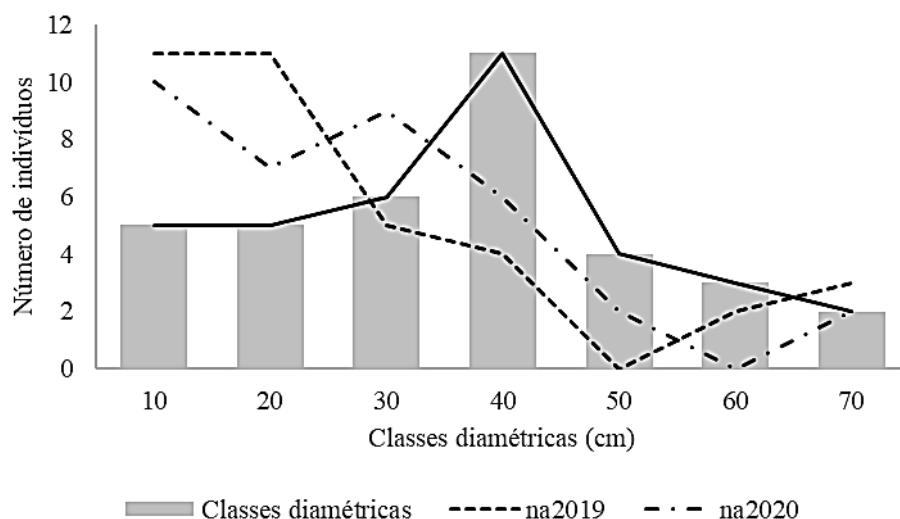
Vieira (2009) relatou que a produção de androstróbilos e ginostróbilos em *Araucaria angustifolia* varia de uma região para outra, mas também de um ano para outro. Alguns estudos sobre o ciclo reprodutivo mostram que em um determinado ano a produção de estróbilos é maior, mas em outro ano se torna menor, ou vice-versa. Zanette (2017) confirmou a existência da variação anual na produção e relatou que a quantidade e o estágio de desenvolvimento dos estróbilos encontrados na natureza dependem das características do clima naquele ano.

A aparição e o amadurecimento dos androstróbilos se alteram de uma região para outra de acordo com os recursos disponíveis daquela região e as características climáticas. De acordo com Zanette (2017) em Curitiba - PR o crescimento de androstróbilos ocorre de novembro a agosto, sendo a maturação e a liberação dos grãos de pólen em setembro e outubro. Anselmini (2006) em estudo sobre a fenologia reprodutiva da *Araucaria angustifolia*, verificou que o período entre setembro a abril coincide com a formação e a aparição das estruturas, sendo ocasionado pelas temperaturas mais elevadas da região. Em estudo realizado em Campos do Jordão - SP, Solórzano-Filho (2001) e Mantovani et al. (2004) notaram que os androstróbilos tornam-se visíveis a partir de fevereiro, também ocasionado pelo aumento da temperatura.

A dispersão e a polinização também estão relacionadas à variabilidade na produção de androstróbilos, mas particularmente às dificuldades que são enfrentadas durante os processos, sendo marcada por condições naturais da região. Assim, os fatores que afetam a dinâmica nos padrões da biodiversidade de uma população florestal dependem da variação climática, da quantidade de árvores da região, da proporção sexual, do estado fitossanitário, da característica genética, das condições meteorológicas, da evolução do fragmento florestal e da idade das árvores (BROADHURST, 2021; COSTA, 2018; MANEVA, 2017; MONTAGNA et al., 2019; SIMÓN, 2018; SNELL et al., 2019).

As árvores encontradas no fragmento florestal foram avaliadas de acordo com as suas classes diamétricas. A distribuição do número de indivíduos e a quantidade de androstróbilos pela classe dos diâmetros mostrou que o maior número de androstróbilos está nas classes intermediárias do gráfico (Figura 5).

Figura 5. Distribuição diamétrica das árvores de *Araucaria angustifolia* com presença de androstróbilos em um fragmento florestal natural localizado no município de Lages, Santa Catarina.



Onde: na2019: número de androstróbilos no ano de 2019; na2020: número de androstróbilos no ano de 2020; N: número de árvores por ha. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A distribuição de frequência dos diâmetros nas árvores masculinas selecionadas que o maior número de indivíduos se encontra nas classes de 10 a 50 cm. Zanon (2009) em estudo sobre a distribuição diamétrica de indivíduos masculinos e femininos de *Araucaria angustifolia*, verificou maior concentração de indivíduos nas classes de 35 a 45 cm. Hess et al. (2014) observaram maior número de árvores nas classes intermediárias

de 20 a 35 cm. Todavia, Beckert (2014) com o intuito de conhecer os processos de dinâmica e crescimento da *Araucaria angustifolia* em Caçador - SC encontrou maior concentração de distribuição diamétrica entre as classes 65 a 75 cm.

Verifica-se que há uma menor distribuição de indivíduos em classes menores, sendo a maior concentração em indivíduos maiores de 30 cm. Lamprecht (1962) explicou que quando há uma distribuição diamétrica regular, ou seja, quando há maior número de indivíduos em classes menores, o remanescente florestal é beneficiado pelo aumento da sobrevivência e estabilização dos indivíduos regenerantes, todavia, uma composição diamétrica irregular, há propensão de a espécie desaparecer com o tempo.

A competição pode ser o principal argumento para explicar a menor quantidade de indivíduos distribuídos nas menores classes. Isso porque devido ao adensamento da floresta a passagem de luz é comprometida, ocasionando um menor crescimento de diâmetro e altura, gerando uma concorrência entre as árvores. O vento é outro fator importante, já que ele causa o contato dos galhos de uma árvore com outra, ocasionando a quebra e consequentemente uma modificação no cenário da floresta (CURTO et al., 2020; ORELLANA, 2018). Além disso, percebe-se que não há o desenvolvimento dos indivíduos regenerantes nesse remanescente florestal, ou seja, a falta de um manejo florestal eficiente compromete a estrutura futura da floresta.

Na quantificação dos estróbilos masculinos, é possível notar que o número de androstróbilos foi menor apenas nas classes de maior diâmetro. Logo, as árvores inseridas neste fragmento florestal apresentam sinais de que possuem um período de senescência caracterizada pela diminuição de fatores fisiológicos (ENCINAS et al., 2005).

Além disso, há uma maior produção de androstróbilos nas classes de diâmetro entre 30 a 40 cm, onde supostamente estão inseridas as araucárias de menor idade. Sousa (2003) verificou que a maturidade reprodutiva da *Araucaria angustifolia* em um plantio localizado em Colombo/PR, as árvores masculinas atingiram a maturidade sexual precocemente, podendo começar sua produção de androstróbilos com 20 anos de idade.

De acordo com Hess et al. (2019) o local, a ontogenia, a densidade do fragmento florestal e a dimensão da copa, influenciam no número de pinhas por árvore. Por conseguinte, esses fatores também interferem no número de androstróbilos por árvore masculina.

A falta de um manejo florestal em uma floresta nativa reflete na produtividade das árvores. Pretzsch (2017) relatou que a falta de intervenção silvicultural em uma floresta, reflete na estrutura reprodutiva das árvores, uma vez que árvores produtivas aumentam o tamanho de sua copa, consequentemente o diâmetro, fatores esses considerados relevantes para o planejamento de intervenção de uma floresta, pois indica o crescimento.

### **2.5.2. A relação das variáveis dendro/morfométricas com o número de androstróbilos**

É possível verificar, neste trabalho, uma variabilidade nos resultados obtidos quanto às características dendro/morfométricas e o número de androstróbilos, nos remanescentes de *Araucaria angustifolia* (Tabela 3).

Tabela 3. Variáveis dendro/morfométricas e quantidade de androstróbilos para *Araucaria angustifolia* no município de Lages, Santa Catarina.

Variável	Média	Mínimo	Máximo
na-2019	178	24	511
na-2020	139	24	379
d (cm)	40,13	16,39	69,71
h (m)	14,1	8,5	18,4
hbc (m)	7,31	3,5	12,5
dc (m)	9,57	4,7	19,6
cc (m)	6,9	2,7	12,2
aphc (m <sup>2</sup> )	80,21	17,35	301,72
pc (%)	48,43	24,37	68,16
fc	1,52	0,62	2,72
ia	0,68	0,36	1,17
is	24,0	17,0	46,0
hd	39	21	84

Onde: na\_2019: número de androstróbilos no ano de 2019; na\_2020: número de androstróbilos no ano de 2020; d: diâmetro à altura do peito (cm); h: altura total (m); hbc: altura de inserção de copa (m); dc: diâmetro de copa (m); cc: comprimento de copa (m); aphc: área de projeção horizontal de copa (m<sup>2</sup>); pc%: percentual de copa (%); fc: formal de copa; ia: Índice de Abrangência; is: Índice de Saliência; hd: grau de esbeltez.  
Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

A média de androstróbilos por árvore para o ano de 2019 foi de 178 androstróbilos/árvore, porém para o ano de 2020 o valor foi de 139 androstróbilos/árvore, demonstrando um decréscimo na produção no segundo ano e que a produção de androstróbilos ocorre em grande quantidade, mas há variação de acordo com a forma e dimensão das árvores. Constatando que a floração, a frutificação de espécies florestais é irregular, inesperada e o número de androstróbilos e ginostróbilos não varia apenas entre

as árvores, mas também entre os anos, já que a produção é sazonal (KRAMER & KOZLOWSKI, 1979; SOLÓRZANO-FILHO, 2001; WENDLING, 2018).

Em seu trabalho, Zechini (2012) também verificou que há uma diferença significativa na emissão de androstróbilos entre as plantas, as populações e entre os anos, entretanto, algumas árvores são capazes de repetir a mesma quantidade de androstróbilos entre os anos seguintes. O mesmo foi verificado neste trabalho, já que em algumas árvores a quantidade de estróbilos masculinos foi praticamente a mesma de um ano para o outro, fato esse comprovado pela proximidade entre os valores da média.

Wendling (2018) avaliando a quantidade de androstróbilos e pólen, por meio de coleta dos estróbilos de forma manual e com menor número de amostras, produzido em árvore masculina de araucária verificou que a quantidade média de estróbilos produzidos por árvore, em um fragmento florestal no Paraná, foi de aproximadamente 2.000, sendo esse um valor muito superior ao encontrado neste trabalho. Entretanto, estudos comprovam que o ciclo biológico de uma espécie vegetal se altera de uma região para outra devido às condições do ambiente, tais como temperatura, luz e umidade (ANTUNES & RIBEIRO, 1999; FRANKIE, 1974; MANTOVANI, 2004; MÜLLER et al., 2019; NEWSTROM et al., 1994).

Além disso, as imagens tiradas pelo RPAS ajudaram a verificar os androstróbilos presentes nas árvores, entretanto, foi necessário esperar um período de maturação específica já que facilitaria na identificação e quantificação. Outro fator importante foi a angulação da foto, verificando a necessidade em acompanhar as fotos por meio de uma referência para que seja possível a visualização de toda copa da árvore.

Xu et al. (2018) afirmaram que o drone pode fornecer maior velocidade na coleta de dados e maior cobertura espacial. Ademais, a não interação dos drones com a floresta não causa compactação do solo e danos às árvores. Vanbrabant et al. (2020) em trabalho sobre a quantificação de grupos de flores de pêra usando imagens de drones RGB, afirmaram que a vista superior da planta pode influenciar na estimativa da coleta de dados, já que tal fator está completamente ligado à arquitetura das plantas.

Quanto às variáveis dendrométricas, para o diâmetro à altura do peito obteve-se uma média de 40,13 cm e para a altura uma média de 14,1 m. Essas variáveis de

crescimento são completamente dependentes de fatores ambientais e de características do sítio, como: a densidade, o genótipo, a idade e o clima da região.

Costa (2016) em trabalho sobre a influência da posição social nas relações morfométricas de *Araucaria angustifolia*, também no município de Lages - SC obteve diâmetro à altura do peito médio de 47,8 cm para árvores dominantes, para codominantes 36,1 cm e 28,2 cm para árvores dominadas. Para altura os valores foram de 18,1 m para dominantes, 16,1 m codominantes e 14,5 m para dominadas. Em outro estudo sobre a estrutura e o crescimento de araucária em fragmento florestal localizado em Lages - SC e, Costa (2017) encontrou diâmetro médio de 40,7 cm e altura de 17,1 m, valores próximos ao encontrado neste trabalho. Entretanto, Ricken (2018) ao analisar as relações existentes entre o incremento médio anual em diâmetro e variáveis biométricas de araucária em uma floresta nativa também inserida em Lages-SC, encontrou um valor médio para o diâmetro de 26,8 cm e altura de 12,9 m, sendo assim, valores inferiores aos encontrados neste estudo.

A média da altura da base da copa (hbc) das árvores foi de 7,31 m com variação de 3,5 m a 12,5 m. Klein et al. (2017) em trabalho sobre a morfometria e o crescimento diamétrico de araucárias na região de São José do Cerrito - SC encontrou valores de 10,70 m, 11,28 m e 10,47 m em diferentes sítios. Loiola (2016) em trabalho sobre o manejo da paisagem em fragmentos de floresta de araucária no Sul do Brasil encontrou média de 15,9 m, ou seja, valores superiores ao encontrado neste trabalho.

O diâmetro de copa (dc) teve valor médio de 9,57 m variando de 4,7 m a 19,16 m. Costa (2018) em trabalho sobre a modelagem do espaço de crescimento para árvores de *Araucaria angustifolia* no Sul do Brasil, encontrou valor médio de 9,9 m, próximo ao encontrado neste trabalho. Ricken et al. (2020) verificando os parâmetros dendrométricos e morfométricos de *Araucaria angustifolia* em três municípios do estado de Santa Catarina com diferentes altitudes, encontraram uma variação no resultado para o diâmetro de copa, sendo eles 6,5 m, 9,7 m e 6,6 m respectivamente.

O diâmentro de copa é uma variável importante para a gestão e o monitoramento de florestas nativas e plantadas. Por meio dessa variável é possível analisar a influência das copas dentro do remanescente florestal, e obter o grau de concorrência que existe entre as árvores na busca de recursos (GETZIN et al. 2008; GILL, 2000). Além disso, o dc possui uma correlação positiva com o diâmetro à altura do peito, indicando que a copa

aumenta à medida que aumenta o diâmetro (NUTTO et al., 2001; TONINI & ARCO-VERDE, 2005).

A variável comprimento de copa (cc) teve valor médio de 6,9 m variando de 2,7 m a 12,2 m. Klein et al., (2017) encontraram valor médio de 7,25 m e 7,96 m de diâmetro de copa em dois sítios localizados em São José do Cerrito-SC, sendo estes valores superiores ao encontrado neste trabalho. Quando o cc resulta em menores valores é indício de que o fuste das árvores foi aproveitável, indicando a ocorrência de desrama naquela região. Entretanto, menores copas aponta uma diminuição no processo de fotossíntese, o que compromete o crescimento e o incremento dos indivíduos.

Machado et al. (2015) estudando a influência do comprimento de copa na relação hipsométrica de araucárias em um fragmento de FOM em Curitiba, verificaram que a variável comprimento de copa possui uma grande influência na relação hipsométrica das araucárias da região, e confirmou também que árvores com comprimento de copa alto tendem a ser mais altas e grossas.

A média para a variável área de projeção de copa (aphc) foi de 80,21 m<sup>2</sup> variando de 17,35 m<sup>2</sup> a 301,72 m<sup>2</sup>. Atanazio (2018) estudando araucária do sexo feminino na mesma região deste estudo encontrou uma área de copa no valor médio de 56,72 m<sup>2</sup>. De acordo com Assman (1970) árvores com copas estreitas e longas podem crescer em espaço reduzido, aumentando sua densidade em uma região.

Para a variável proporção de copa (pc) obteve-se o valor médio de 48,43% variando 24,37% a 68,16%. Costa (2016), com o objetivo em desenvolver um modelo de incremento periódico anual em área transversal em árvores de araucárias em crescimento livre, encontrou um valor médio de 58,6%.

Um maior comprimento de copa indica árvores com menor diâmetro, jovens, com maior proporção de copa e copas arredondadas. Dessa maneira, é importante ressaltar que o cc e a pc são diretamente proporcionais, quanto maior uma variável, maior será a outra ou vice-versa. Ou seja, a taxa de fotossíntese e o a taxa de incremento são maiores quando essas variáveis possuem um valor alto (COSTA, 2016; MINATTI et al., 2016). Além disso, por meio da pc é possível indicar a qualidade das árvores por meio da vitalidade e o grau de concorrência. (DURLO E DENARDI, 1998).

Para a variável formal de copa obteve-se valor de 1,52 com variação de 0,62 a 2,72. Zanon (2007) trabalhando com araucária na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, no nordeste do Rio Grande do Sul, encontrou valores variando entre 0,45 a 3,0. Vale salientar, que a fc tende a diminuir com o aumento da altura das árvores (DURLO, 2001), como também com o aumento do diâmetro à altura do peito (DIONISIO et al., 2017), todavia, varia de acordo com a espécie e com a posição sociológica (STERBA, 2006).

Por conseguinte, é por meio do fc que é possível indicar o grau de achatamento da copa, logo, valores iguais a 1,0 indicam que a copa é redonda, já valores abaixo de 1,0 caracteriza uma copa esbelta e valores acima de 1,0 caracteriza copas achatadas. Neste trabalho, há uma grande variabilidade entre as árvores, com a presença de indivíduos de copa achatada e esbelta. Ou seja, as araucárias situadas nesse remanescente florestal apresentam copas mais curtas e largas, com forma plana ou de umbrella, sendo essa uma característica da espécie quando as árvores atingem a maturidade (REITZ & KLEIN, 1966).

Durlo e Denardi (1998) relatam que quanto menor o fc, melhor é a produtividade da árvore, já que mais esbelta será a copa da árvore. Isto se deve à relação entre o manto de copa e a área de projeção de copa. Além disso, o fc serve como um critério para a marcação de desbaste, já que por meio dele é possível verificar as árvores que possuem um melhor desempenho quanto à sua copa, ou seja, maior fc.

Roman (2009) em trabalho com variáveis morfométricas e relações interdimensionais para a espécie *Cordia trichotoma*, encontrou valores de fc de 0,27 a 1,03, indicando árvores com copas esbeltas e arredondadas. Já em trabalho para descrever o incremento periódico anual em árvores de *Ocotea porosa* por meio de medições de variáveis dendro/morfométricas e de competição, Weber et al. (2018) encontraram valores variando de 0,37 a 6,72, ou seja, árvores com copas esbeltas e achatadas.

O índice de abrangência, que é expresso pela relação entre o diâmetro de copa e a altura total da árvore apresentou valor médio de 0,68. Em trabalho com araucária realizado em Bom Jardim da Serra, Painel e São José do Cerrito, em Santa Catarina, Ricken et al. (2020) encontraram valores médios de 0,40, 0,50 e 0,40, respectivamente para cada local.

De acordo com Orellana e Koehler (2008) a variável índice de abrangência pode ser um critério para decidir o momento de realizar o desbaste de uma floresta, desde que o remanescente florestal seja manejado pela altura das árvores. Além disso, quanto maior o diâmetro de copa maior será o índice de abrangência (SANTOS et al., 2015; SILVA et al., 2017; ZANON et al., 2009).

O índice de saliência teve como valor médio 0,24 variando de 17,0 a 46,0. Em trabalho sobre a morfometria de copa de *Araucaria angustifolia* em florestas nativas no Sul do Brasil, Hess et al. (2016) encontrou média de 23,6 para o município de São Joaquim - SC, 22,9 para Urupema - SC e 12,8 para Painel – SC, com uma variação de 3,5 a 31,4, valores semelhantes com o presente estudo. Silva et al. (2017) encontraram média de 22,2 para araucárias localizadas na Floresta Nacional de Passo Fundo.

O índice de saliência indica quantas vezes o diâmetro de copa é maior que o DAP. Para Sterba (1992) quanto menor for o valor do índice de saliência, maior a área de superfície de copa de uma árvore, ou seja, mais eficiente é a utilização do espaço, levando em consideração uma dada área de projeção de copa. Dessa maneira, quanto maior for o diâmetro, menor o índice de saliência, apontando que o povoamento necessita de um desbaste.

Durlo e Dernadi (1998) afirmam que essa correlação positiva do diâmetro à altura do peito com o índice de saliência é utilizada para determinar o número máximo de árvores por unidade de área, que por meio do desbaste, determina o espaço liberado ao redor de uma árvore, para que não haja competição durante o seu crescimento.

O grau de esbeltez variou de 0,21 a 0,84, para este trabalho, tendo um valor médio de 0,39. Ricken et al. (2020) estudando araucárias em três sítios, em Santa Catarina, encontraram valores semelhantes entre os sítios com uma variação de 0,4 a 0,5, e dispersão homogênea (de 20% a 25%) em torno da média, sendo estes valores próximos ao encontrado no presente trabalho. De acordo com Sanquetta et al. (2013) ao analisarem a relação entre o diâmetro e a altura de espécies lenhosas no Sul do Paraná, verificaram que as araucárias possuem um menor valor médio para essa relação em comparação às folhosas, como também menor amplitude.

Conhecido também como a relação entre a altura total e o diâmetro à altura do peito, o grau de esbeltez caracteriza a estabilidade das árvores inseridas em uma floresta.

Assim, quanto maior o grau de esbeltez maior a instabilidade da árvore, uma vez que essa será alta, porém, fina. A depender da latitude do local, se for baixa, essa variável perde sua importância, todavia, indica uma instabilidade contra o vento (COSTA et al., 2009; KLEIN et al., 2017; VANTROBA et al., 2020; ZECHINI 2012). Além disso, quando há a diminuição do grau de esbeltez, há um crescimento maior em diâmetro à altura do peito do que em altura, o que resulta em uma maior estabilidade contra o vento, indicando a possibilidade de desbaste para diminuir a concorrência (DIONISIO et al., 2018).

A morfometria possui relação com a produção de androstróbilos, evidenciando que a produção está ligada com a arquitetura da copa das araucárias. Além disso, as variáveis relacionadas à copa mostram que há uma estagnação no desenvolvimento de árvores em remanescentes de florestas nativas de araucária em decorrência da concorrência pela busca de recursos disponíveis na floresta. Logo, é possível presumir a possibilidade em realizar intervenções silviculturais para que haja um manejo florestal eficiente nessas áreas, e em consequência disso haja o crescimento de regenerantes, garantindo a estrutura futura da floresta.

### **2.5.3. Correlação de Pearson para as variáveis dendro/morfométricas com o número de androstróbilos**

A correlação de Pearson entre as variáveis dendro/morfométricas e a quantidade de androstróbilos apresentaram uma correlação significativa em nível de 5% de probabilidade (Tabela 4).

As variáveis que se correlacionaram com a produção de androstróbilos no fragmento florestal estudado, foram: o diâmetro à altura do peito (d), o diâmetro de copa (dc), a área de projeção de copa (ac), o índice de abrangência (ia) e o grau de esbeltez (hd).

Houve uma correlação significativa e positiva entre o diâmetro à altura do peito e o diâmetro de copa com a quantidade de androstróbilos produzida, indicando que à medida que o d e o dc aumentam o número de androstróbilos cresce, mostrando que a produção é completamente dependente do crescimento da árvore. Além disso, nota-se que há uma correlação significativa e negativa com o grau de esbeltez, ou seja, a produção de androstróbilos e o hd movem-se em direções opostas, assim, o número de árvores nesse fragmento florestal inibe a produção de androstróbilos, já que as árvores não possuem

espaço para o seu crescimento lateral, o que diminui os valores das variáveis de copa que estão associadas ao crescimento desses indivíduos.

Tabela 4. Correlação de Pearson e probabilidades das variáveis dendro/morfométricas e quantidade de androstróbilos de *Araucaria angustifolia*, no município de Lages, Santa Catarina, no ano de 2019 e 2020.

	na	d	h	hbc	Dc	cc	aphc	pc	fc	ia	is	hd
na	1	0,55*	0,18 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,63*	0,09 <sup>ns</sup>	0,66*	0,03 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,54*	0,05 <sup>ns</sup>	-0,37*
d	-	1	0,40*	0,13 <sup>ns</sup>	0,90*	0,28 <sup>ns</sup>	0,85*	0,11 <sup>ns</sup>	0,42*	0,73*	-0,31 <sup>ns</sup>	-0,81*
h	-	-	1	0,49*	0,35*	0,54*	0,37*	0,07 <sup>ns</sup>	-0,17 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
hbc	-	-	-	1	0,17 <sup>ns</sup>	-0,47*	0,19 <sup>ns</sup>	-0,82*	0,50*	-0,11 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>
dc	-	-	-	-	1	0,19 <sup>ns</sup>	0,98*	0,04 <sup>ns</sup>	0,54*	0,85*	0,10 <sup>ns</sup>	-0,64*
cc	-	-	-	-	-	1	0,19 <sup>ns</sup>	0,87*	-0,66*	-0,07 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>
ac	-	-	-	-	-	-	1	0,03 <sup>ns</sup>	0,51*	0,80*	0,13 <sup>ns</sup>	-0,56*
pc	-	-	-	-	-	-	-	1	-0,69*	0,03 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>
fc	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,65*	0,24 <sup>ns</sup>	-0,39*
ia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,15 <sup>ns</sup>	-0,73*
is	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,51*
hd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Onde: na: número de androstróbilos; d: diâmetro à altura do peito (cm); h: altura total (m); hbc: altura de inserção de copa (m); dc: diâmetro de copa (m); cc: comprimento de copa (m); aphc: área de projeção horizontal de copa (m<sup>2</sup>); pc%: percentual de copa (%); fc: formal de copa; ia: Índice de Abrangência; is: Índice de Saliência; hd: grau de esbeltez. \*: correlação significativa; ns: não significativa. Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

Os resultados da correlação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas com a produção de androstróbilos não diferiu do resultado em trabalhos semelhantes, mas sobre a produção de ginostróbilos. A produção de pinha se correlaciona com as variáveis: diâmetro à altura do peito (d), diâmetro de copa, área de projeção de copa e índice de abrangência, existindo correlações significativas e positivas, entretanto, o grau de esbeltez e o número de árvores por hectare possuem uma correlação significativa e negativa (ATANAZIO, 2018; SILVA et al., 2018; ZECHINI, 2012).

O resultado desse estudo foi semelhante aos encontrados em trabalhos sobre a correlação da produção de sementes de *Bertholletia excelsa* Humn. & Bonpl. com as variáveis dendrométricas e morfométricas. Nota-se que há correlação significativa e positiva entre o diâmetro à altura do peito e as variáveis relacionadas à projeção de copa para a produção das castanheiras brasileiras, contudo, há uma correlação significativa e negativa entre a produção de castanha e o grau de esbeltez (TONINI, 2008; WADT, 2005; ZUIDEMA & BOOT, 2002).

O diâmetro à altura do peito (d) apresentou correlação significativa, positiva com o diâmetro de copa (0,90) e a área de copa (0,85). Curto (2015) relatou que o diâmetro à altura do peito e o diâmetro de copa possuem um crescimento linear, ambas as variáveis tendem a aumentar proporcionalmente, todavia, se estabilizam em um determinado momento. Ricken et al. (2020) em estudo sobre as características morfométricas e dendrométricas de araucárias no Sul do Brasil, encontraram resultado parecido com a deste trabalho, em Bom Jardim da Serra encontrou valor de 0,70 para d e dc e 0,66 para d e ac, em Painel 0,82 entre d e dc, enquanto 0,81 entre d e ac, e em São José do Cerrito, 0,87 para d e dc e 0,84 entre d e ac, demonstrando ter correlações forte e moderada positiva entre as variáveis.

Verificou-se uma correlação significativa, negativa e forte entre o d e o hd (-0,81), ou seja, as árvores crescem mais em altura do que em diâmetro nesse povoamento, evidenciando que existe uma estabilidade nas árvores, consequentemente, maior competição. Esse mesmo resultado foi encontrado em estudos com araucárias realizados por Ricken et al. (2020), Silva et al. (2017) e Hess et al., (2016).

Há uma correlação significativa, negativa entre as variáveis altura de inserção (hbc) e percentagem de copa (pc) (-0,82). Essa correlação negativa indica que os fatores

genéticos, a qualidade do fragmento florestal, a competição, as condições biológicas e edafoclimáticas influenciam na dinâmica da floresta (KLEIN et al., 2017)

Percebe-se, por meio da correlação, que as variáveis relacionadas à projeção da copa das árvores influenciam no desenvolvimento e na produção florestal da *Araucaria angustifolia* nesse remanescente florestal, e que há concorrência entre as árvores, sendo este o principal motivo. De acordo com Castro et al. (2014) a competição é um índice importante para o crescimento e a produção da floresta, indicando o momento propício a realizar a supressão de árvores em relação às competidoras (MARTINS et al., 2011). Hess et al., (2014) também afirmam que a competição é um dos fatores ecológicos mais importantes no manejo florestal, e que a intervenção silvicultural, que pode ser realizada em uma floresta, está relacionada com a manipulação desse fenômeno e das condições que atingem.

#### **2.5.4. Interação das variáveis morfométricas com a densidade do povoamento**

Com a finalidade de manter a estrutura de crescimento da floresta utilizam-se os índices morfométricos e suas interações para descrever se há a necessidade de uma intervenção silvicultural. Dessa maneira, verificou-se a relação do grau de esbeltez (hd) e número de androstróbilos (na) em função do número potencial de árvores por hectare para cada área de copa (N) para identificar o período de intervenção na densidade, visando à estabilidade, aumento da copa lateralmente e a produtividade das araucárias inseridas no fragmento florestal estudado (Tabela 5).

Tabela 5. Equações para ajuste dos modelos para verificar a relação entre o grau de esbeltez e o número de androstróbilos em função do número potencial de árvores de *Araucaria angustifolia* por hectare, em Lages, Santa Catarina, 2021.

Modelos	Parâmetros		Distri.	FL.	AIC	BIC	Desvio
	b0	b1					
hd = b0 + b1*ln (N)	-21,0208	27,2964	Gamma	Id.	269,72	274,48	1,95
na = b0 + b1*ln (N)	794,0246	-223,9280	Gamma	Id.	444,84	449,51	7,87

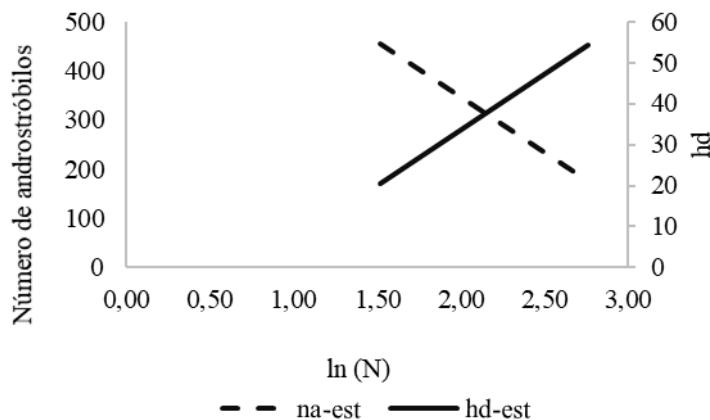
Onde: hd: grau de esbeltez; na: número de androstróbilos; N: número potencial de árvores por hectare para cada área de copa (n/ha). Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

Os modelos ajustados demonstram que há relação entre o grau de esbeltez e o número de androstróbilos de acordo com o número potencial de árvores por hectare para cada área de copa, o que indica de forma expressiva que a densidade da floresta influí na produção de estróbilos masculinos. Ou seja, a interpretação das variáveis estudadas é a

principal ferramenta utilizada para expressar a qualidade dos modelos gerados (NAVARRO e MYUNG, 2009).

As relações das variáveis morfométricas com o número de árvores por hectare demonstraram que maior número de árvores por hectare equivale a um maior valor para o grau de esbeltez (hd) e menor para o número de androstróbilos (na), ou seja, há uma interação inversamente proporcional (Figura 6).

Figura 6. Relações morfométricas e sua interação com o número potencial de árvores de *Araucaria angustifolia*, por hectare, em fragmento florestal em Lages, Santa Catarina, 2021.



Onde: hd: grau de esbeltez; na: número de androstróbilos; N: número potencial de árvores por hectare para cada área de copa (n/há). Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

O resultado da interação demonstra que a produção de androstróbilos está associada a densidade, competição e espaço lateral, para desenvolvimento e formação da copa. De acordo com Prodan et al. (1997) a densidade é um fator que muda completamente o cenário de uma floresta, sendo uma das características mais importantes para que haja competição entre as árvores pela busca de água, luz e nutrientes do solo.

Maior número de árvores aumenta o valor do grau de esbeltez. Assim, as árvores tendem a crescer mais em altura do que em diâmetro, havendo a necessidade em realizar desbaste para que o resultado obtido seja reflexo dos recursos disponíveis para o fragmento florestal estudado (DIONISIO et al., 2018; TONINI & ARCO-VERDE, 2005). Ao observar a relação com a dinâmica e o crescimento da floresta, é possível estabelecer um valor limite para a relação entre as variáveis, que indica a intervenção silvicultural necessária na área, que garantirá a estabilidade e a vitalidade das árvores.

Ao observar a relação entre o número de androstróbilos (na) com o número de árvores por hectare, observa-se uma tendência decrescente. Ou seja, há limitação na produção de androstróbilos devido à falta de manejo florestal no remanescente florestal.

Em estudo sobre a produção de castanha-do-brasil, Tonini (2008) verificou que as árvores mais produtivas possuem copas mais comprimidas e mais robustas. Logo, ao realizar uma interferência silvicultural em um povoamento as árvores vão diminuir a concorrência entre si e irão se desenvolver até obter uma arquitetura de copa favorável à produção, fato esse que deve ser levado em consideração nesse estudo.

Com maior produção de androstróbilos, melhor será a eficiência da espécie quanto à sua fecundação e capacidade reprodutiva. Dessa maneira, maior o crescimento de árvores masculinas e femininas no remanescente florestal, o que garantirá a estrutura da floresta, consequentemente, à conservação da espécie. Ademais, com maior número de árvores femininas maior será a produção de pinhas, que é o principal recurso florestal da *Araucaria angustifolia* na região Sul do Brasil.

#### **2.5.5. Ajuste das equações entre a quantidade de androstróbilos e as variáveis dendro/morfométricas**

De acordo com o teste realizado as condicionantes não foram atendidas (LISBOA et al., 2018; SCHNEIDER, 2009), logo se optou por realizar a análise pelos Modelos Lineares Generalizados (MLG), que é uma extensão dos modelos lineares de regressão múltipla. Na análise MLG incluem-se modelos de que a variável resposta pertence à família exponencial de distribuições, dessa maneira ao usar o MLG, há um maior ganho de flexibilidade para a relação funcional entre a média da variável resposta e o preditor linear (PAULA, 2013).

Os resultados encontrados com o uso do MLG tiveram análise das distribuições Normal e Gama e nas funções de ligação identidade e logarítmica (Tabela 4), sendo a Gama a melhor distribuição encontrada para todas as relações. O melhor desempenho, quanto à função de ligação, para todas as relações foi a identidade.

Quanto à escolha do melhor ajuste por meio do MLG, usou-se o modelo que resultou em um menor valor para o desvio, AIC e BIC. De acordo com Nelder e Wedderburn (1972) propuseram esse processo iterativo para estimar os parâmetros e introduzir o conceito de desvio que foi e é muito utilizado em trabalhos para a avaliação

da qualidade dos modelos gerados no ajuste dos MLGs, como no desenvolvimento de resíduos e medidas de diagnósticos.

De acordo com o ajuste de regressão realizado pelos Modelos Lineares Generealizados, verificou-se uma discrepância nos valores dos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC), que foi ocasionado pelo baixo número de indivíduos coletados na área para os anos de 2019 e 2020. Esse fato ocorreu devido à seleção de árvores masculinas, que minimizou a amostragem.

Para obter as equações que estimam o número de androstróbilos em função das variáveis dendro/morfométricas foram testados os MLGs no campo aleatório Gamma, na função de ligação identidade com seus respectivos AIC, BIC e desvio (Tabela 6).

O uso do MLG vem sendo empregados na área da ciência florestal com eficiência (HESS et al., 2015) e resultados, como os obtidos nesse trabalho, quando comparados a outros, confirma que existe um grande desempenho nesse método estatístico devido à permanência em obter resultados próximos, como Klein et al. (2017) em estudo também sobre as relações morfométricas de araucária, onde verificou desempenho tanto no campo aleatório Gama como na Normal, com funções identidade e logarítmica.

Contreras et al. (2011) relataram que a distribuição Gama oferece um grande potencial para a modelagem das variáveis contínuas com grande dispersão e heterogeneidade de variância. Ou seja, verifica-se que o método utilizado nesse trabalho, de acordo com o resultado encontrado, é justificável, já que o mesmo leva a uma estimativa com acurácia, e eficiência comprovada para análise de dados não negativos com valores contínuos.

Tabela 6. Valores dos parâmetros e qualidade dos ajustes dos MLG para ajuste do número de androstróbilos em função das variáveis dendro/morfométricas para *Araucaria angustifolia* em Lages, Santa Catarina, 2021.

<b>Modelos</b>	<b>Parâmetros</b>		<b>Distri.</b>	<b>FL.</b>	<b>AIC</b>	<b>BIC</b>	<b>Desvio</b>
	<b>b0</b>	<b>b1</b>					
na = b0 + b1*aphc	166,9708	1,7344	Gamma	Id.	439,9683	444,6343	6,88
na = b0 + b1*d	67,1474	5,9066	Gamma	Id.	441,7376	446,4036	7,22
na = b0 + b1*dc	67,7968	24,7020	Gamma	Id.	441,9357	446,6018	7,26
na = b0 + b1*hd	418,8615	-2,8973	Gamma	Id.	449,8553	454,5214	9,03
na = b0 + b1*hbc	226,0698	10,9545	Gamma	Id.	453,9146	458,5807	10,09

Onde: na: número de androstróbilos; d: diâmetro à altura do peito (cm); dc: diâmetro de copa (m); aphc: área de projeção horizontal de copa ( $m^2$ ); hd: grau de esbeltez; hbc: altura da base da copa (m). Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

O ajuste das equações que alcançaram precisão e acurácia foram aquelas que tinham como variáveis independentes: o diâmetro à altura do peito (d), o diâmetro de copa (dc), a área de projeção horizontal de copa (aphc), o grau de esbeltez (hd) e a altura da base da copa (hbc).

De acordo com Padoin e Finger (2010) a dimensão da copa e do caule e as variáveis morfométricas relacionadas buscam descrever o crescimento e a produção das árvores e da floresta. Nesse trabalho o resultado encontrado confirma que é importante obter as informações de crescimento de uma floresta, já que por meio delas é possível realizar equações matemáticas para facilitar o estudo do manejo florestal.

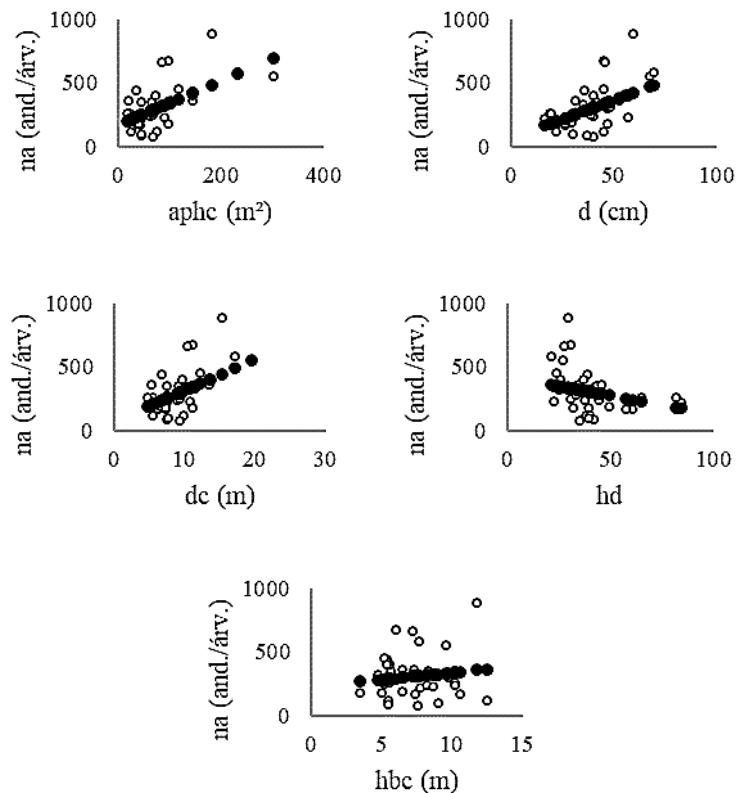
Observa-se que as melhores equações para estimar a produção de androstróbilos no sítio estudado foram  $na=166,9708+1,7344*aphc$  e  $na=67,1474+5,9066*d$ . Tais equações tiveram os menores valores para o AIC (439,9683 e 441,7376), BIC (444,6343 e 446,4036) e Desvio (6,88 e 7,22), respectivamente.

Essa relação do d com a produção florestal pode ser verificada também em trabalhos de Hess et al. (2019) e Figueiredo Filho et al., (2011) ambos com o mesmo objetivo em estudar a produção de *Araucaria angustifolia* femininas, confirmaram que existe uma correlação significativa, positiva entre a produção de ginostróbilos com o d das árvores, ou seja, quanto maior o d, maior a produção de pinha.

Nesse trabalho, percebe-se que os melhores modelos foram derivados da relação da produção de androstróbilos com a área de projeção horizontal de copa (aphc), o diâmetro à altura do peito (d) e o diâmetro de copa (dc). Ricken et al. (2020) em estudo sobre a morfometria de árvores de araucária, verificaram que o d obteve uma alta correlação com o diâmetro de copa, sendo esse um fator muito importante para a estimativa de produção em araucárias, sendo o mesmo resultado encontrado por Silva et al. (2017) e Nutto (2001). Ratificando o estudo de Klein et al. (2017) onde diz que à medida que as árvores crescem em d, proporcionalmente há o aumento da dimensão da copa, o que favorece o desenvolvimento e garante a posição das árvores no estrato dominante da floresta.

Para verificar o desempenho dos modelos de acordo com os resultados encontrados, realizaram-se gráficos com a linha de tendência de regressão conforme os valores estimados e os valores observados (Figura 7).

Figura 7. Dispersão dos valores estimados e observados de acordo com os modelos gerados entre o número de androstróbilos e as variáveis dendro/morfométricas para as árvores *Araucaria angustifolia* em Santa Catarina, 2021.



Onde: na: número de androstróbilos; d: diâmetro à altura do peito (cm); dc: diâmetro de copa (mm); aphc: área de projeção horizontal de copa ( $m^2$ ); hd: grau de esbeltez; hbc: altura da base da copa (m); círculos vazados: dados observados; círculos cheios: dados estimados. Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

Ao analisar os gráficos gerados percebe-se que as linhas de tendência não obtiveram resultado muito discrepante, portanto, a estimativa realizada por meio dos modelos possui acurácia.

A Figura 7 mostra que o maior número de androstróbilo ocorre quando as árvores atingem uma dimensão específica. Para o aphc e o d, que foram os melhores ajustes, o aumento do na concentra-se em árvores de 20 a 120  $cm^2$  e 20 a 60 cm, respectivamente.

Percebe-se que o aumento do diâmetro e da dimensão da copa resulta em um menor número de androtróbilos. Ou seja, o aumento da produção é favorecido pelo manejo florestal com o desbaste de árvores de maior idade fisiológica que possuem menor crescimento e capacidade produtiva.

## 2.6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, a produção de androstróbilos foi pequena quando comparada a outros trabalhos, existindo uma variação na produção de um ano para outro. Entretanto, percebe-se que tal resultado foi influenciado pelo método escolhido para a coleta de dados, no qual é recomendável a utilização do VANT, mas com métodos pré-estabelecidos.

Verificou que há relação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas com a produção de androtróbilos. Ou seja, os resultados obtidos demonstram que a arquitetura das árvores facilita a competição, aumenta a densidade entre elas, altera a produção de androtróbilos e inibi o crescimento das árvores, sendo necessária a realização de um manejo florestal na área por meio de intervenções silviculturais.

A análise de regressão para o ajuste das equações verificou que a equação  $na=166,9708+1,7344*aphc$  apresentou melhor desempenho para a estimativa do número de androtróbilos, já que resultou em menores valores para o AIC, BIC e Desvio.

Por meio da análise de densidade percebe-se que há uma estabilidade no fragmento florestal estudado pela falta de um manejo florestal adequado, relatando a necessidade de desbaste para que exista maior produção de androtróbilos e consequentemente maior crescimento de árvores regenerantes. Dessa maneira, a estrutura futura da floresta será garantida e a reprodução de novos indivíduos masculinos e femininos irá garantir a conservação da espécie, consequentemente, maior produção de pinha para comercialização.

## 2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAIKE, H.. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. Proceedings of the Second International Symposium on Information Theory, p. 267-281, 1973.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G.. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ANSELMINI, J. I.; ZANETTE, F.; BONA, C.. Fenologia reprodutiva da *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE, na região de Curitiba - PR. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 44-52, 2006.

ANTUNES, N. B.; RIBEIRO, J. F.. Aspectos fenológicos de seis espécies vegetais em matas de galeria do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1517-1527, 1999.

ASSMANN, E.. **The Principles of Forest Yield Study**. Oxford: P. W. Davis, 1970. 520 p.

ATANAZIO, K. A.. **Relações morfométricas e quantificação da produção de pinhas de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze no Sul do Brasil**. 2018. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2018.

BECKERT, S. M.; ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C.. Crescimento e dinâmica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 209-218, 2014.

BROADHURST, L.; BUSH, D.; BEGLEY, J.. Managing Genetic Diversity and Representation in *Banksia marginata* (Proteaceae) Seed Production Areas Used for

Conservation and Restoration. **Diversity**, Switzerland, v. 13, n. 2, p. 39-55, 2021.  
<http://dx.doi.org/10.3390/d13020039>.

CASTRO, R.; SOARES, C.; LEITE, H.; SOUZA, A.; MARTINS, F.; NOGUEIRA, G.; OLIVEIRA, M.; SILVA, F.. Competição em nível de árvore individual em uma Floresta Estacional Semidecidual. **Silva Lusitana**, Oeiras, v. 22, n. 1, p. 43-66, 2014.

CONTRERAS, M. A.; AFFLECK, D.; CHUNG, W.. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. **Forest Ecology And Management**, Netherlands, v. 262, n. 11, p. 1939-1949, 2011.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.08.031>.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; FLEIG, F. D.. Influência da posição social nas relações morfométricas de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 225-234, 2016.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; FLEIG, F. D.. Modelagem do espaço de crescimento para araucária. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 725-734, 2018.  
<http://dx.doi.org/10.5902/1980509832085>.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; HESS, A. F.. Competition Indices and Their Relationship With Basal Area Increment of Araucaria. **Journal Of Agricultural Science**, Canadá, v. 10, n. 5, p. 198-2010, 2018. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v10n5p198>.

COSTA, J. R.; CASTRO, A. B. C.; WANDELLI, E. V.; CORAL, S. C. T.; SOUZA, S. A. G. Aspectos silviculturais da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. **Acta Amazônica**, v. 39, n. 4, p. 843-850, 2009.  
<https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000400013>.

CURTO, R. A.. **Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze.** 2015. 251 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

CURTO, R. A.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; NETTO, S. P.. Growth and retrospective analysis of competition in an overstocked stand of *Araucaria angustifolia*. **Forest Ecology And Management**, Netherlands, p. 1-10, 2020.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118766>.

DIONISIO, L. F. S.; ARAÚJO, H. X.; CORREIA, R. G.; MARTINS, W. B. R.; COSTA, J. S.; MACIEL, F. C. S.. Influência do primeiro desbaste na morfometria de *Tectona grandis* L.f. em Roraima. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 1-8, 2017.  
<http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.118214>.

DIONISIO, L. F. S.; CONDÉ, T. M.; GOMES, J. P.; MARTINS, W. B. R.; SILVA, M. T.; SILVA, M. W.. Caracterização morfométrica de árvores solitárias de *Bertholletia excelsa* H.B.K. no sudeste de Roraima. **Revista Agro@mbiente On-Line**, Boa Vista, v. 11, n. 2, p. 163-173, 2017. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i2.3835>.

DURLO, M. A.. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-149, 2001.

DURLO, M. A.; DENARDI, L.. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R.. **Idade e crescimento das árvores.** Brasília: Comunicações Técnicas Florestais, 2005. 47 p.

FIGUEIREDO FILHO, A.; ORELLANA, E.; NASCIMENTO, F.; DIAS, A. N.; INOUE, M. T.. Produção de sementes de *Araucaria angustifolia* em plantio e em floresta natural no Centro-Sul do estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 155-162, 2011.

FRANKIE, G. W.; BAKER, Herbert G.; OPLER, Paul A.. Comparative phenological studies of trees in Tropical Wet and Dry Forests in the Lowlands of Costa Rica. **The Journal Of Ecology**, Texas, v. 62, n. 3, p. 881-919, 1974.  
<http://dx.doi.org/10.2307/2258961>.

GETZIN, S.; WIEGAND, K.; SCHUMACHER, J.; GOUGEON, F. A.. Scale-dependent competition at the stand level assessed from crown areas. **Forest Ecology And Management**, Amsterdam, v. 255, n. 7, p. 2478-2485, 2008. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2008.01.007>.

GILL, S. J.; BIGING, G. S.; MURPHY, E. C.. Modeling conifer tree crown radius and estimating canopy cover. **Forest Ecology And Management**, Amsterdam, v. 126, n. 3, p. 405-416, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/s0378-1127\(99\)00113-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0378-1127(99)00113-9).

HESS, A, F.; ATANAZIO, K. A.; BORSOI, G. A.; SCHORR, L. P. B.; SOUZA, I. A.; COSTA, E. A.; KLEIN, D. R.; KREFTA, S. M.; STEPKA, T. F.; ABATTI, R.; RICKEN, P.; ROSA, G. T.. Crown efficiency and pine cones production for Brazilian Pine (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze) in South Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 247-259, 2019. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v11n6p247>.

HESS, A. F.. Manejo de *Araucaria angustifolia* pelo quociente de Liocourt em propriedade rural no Município de Painel, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 70, p. 227-232, 2012.

HESS, A. F.; CALGAROTTO, A. R.; PINHEIRO, R.; WANGINIAK, T. C. R. 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**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 337-345, 2010.

HESS, A. F.; CIANORSCHI, L.; SILVESTRE, R.; R. SCARIOT; RICKEN, P.. Aplicação dos modelos lineares generalizados para estimativa do crescimento em altura. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 84, p. 427-433, 2015.  
<http://dx.doi.org/10.4336/2015.pfb.35.84.604>.

HESS, A. F.; LOIOLA, T. M.; MINATTI, M.; ROSA, G. T.; SOUZA, I. A.; COSTA, E. A.; SCHORR, L.P. B.; BORSOI, G. A.; STEPKA, T. F.. Morphometric relationships as indicative of silvicultural interventions for brazilian pine in Southern Brazil. **Journal Of Agricultural Science**, Canadá, v. 10, n. 7, p. 110-121, 2018.  
<http://dx.doi.org/10.5539/jas.v10n7p110>.

HESS, A. F.; LOIOLA, T.; SOUZA, I. A.; NASCIMENTO, B.. Morfometría de la copa de *Araucaria angustifolia* en sitios naturales en el sur de Brasil. **Bosque (Valdivia)**, Chile, v. 37, n. 3, p. 603-611, 2016. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-92002016000300017>.

HESS, A. F.; MINATTI, M.; FERRARI, L.; PINTRO, B. A.. Manejo de Floresta Ombrófila Mista pelo método de Liocourt, município de Painel, SC. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 575-580, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201420041230>.

KLEIN, D. R.. **Morfometria e crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no Planalto Sul Catarinense.** 2017. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

KLEIN, D. R.; HESS, A. F.; KREFTA, S. M.; VIEIRA FILHO, M. D. H.; CIARNOSCKI, L. D.; COSTA, E. A.. Relações morfométricas para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Santa Catarina. **Floresta**, v. 47, n. 4, p. 501-512, 2017. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v47i4.49667>.

KLEIN, R.M. Árvores nativas da Floresta Subtropical do Alto Uruguai. **Sellowia**, Itajaí, v. 24, p. 9-62, 1972.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T.. **Physiology of woody plants.** New York: Academic Press, 1979. 811 p.

LAMPRECHT, H. Ensayo sobre unos métodos para el análisis estructural de los bosques tropicales. **Acta Científica Venezolana**, v. 13, n. 2, p. 57-65, 1962.

LISBOA, G. S.; MIRANDA, D. L. C.; STEPKA, T. F.; LONGHI, S. J.; CERQUEIRA, C. L.; FRANÇA, L. C. J.; SERPE, E. L.. Avaliação das condicionantes de regressão na estimativa de diâmetro de copa para *Araucaria angustifolia*. **Biofix Scientific Journal**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 279-288, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i2.60115>.

LOIOLA, T. M.. **Manejo da paisagem em fragmentos de floresta de araucária no Sul do Brasil com base no incremento diamétrico.** 2016. 136 f. Dissertação (Mestrado) -

Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.

MACHADO, S. A.; ACCIOLY, Y.; NASCIMENTO, R. G. M.; SILVA, L. C. R.; CARDOZO, C. C.. Influência do comprimento de copa na relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 343-351, 2015. <http://dx.doi.org/10.4336/2015.pfb.35.83.493>.

MANEVA, V.; ATANASOVA, D.; NEDELCHEVA, T.. Phytosanitary status and yield of kamut (*Triticum turgidum polonicum* L.) grown in organic and biodynamic farming. **Agricultural Science And Technology**, Karnobat, v. 8, n. 1, p. 42-44, 2017. <http://dx.doi.org/10.15547/ast.2017.01.007>.

MARTINS, F. B.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; CASTRO, R. V. O.. Índices de competição em árvores individuais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 9, p. 1089-1098, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2011000900017>.

MONTAGNA, T.; LAUTERJUNG, M. B.; COSTA, N. C. F.; BERNARDI, A. P.; CANDIDO-RIBEIRO, R.; REIS, M. S.. Guidelines for seed collection of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze: a genetic, demographic and geographic approach. **Forest Ecology And Management**, Netherlands, v. 438, n. 1, p. 10-17, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.006>.

MÜLLER, A.; CORREA, M. Z.; FÜHR, C. S.; PADOIN, T. O. H.; QUEVEDO, D. M.; SCHMITT, J. L.. Neotropical ferns community phenology: climatic triggers in subtropical climate in araucaria forest. **International Journal Of Biometeorology**, Germany, v. 63, n. 10, p. 1393-1404, 2019. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-019-01755-5>.

MYRCIA, M.; ANDRÉ, F. H.; POLLYNI, R.; TASCILLA, M. L.; ISADORA, A. S.. Shape and size relationships of *Araucaria angustifolia* in South Brazil. **African Journal Of Agricultural Research**, Nigeria, v. 11, n. 41, p. 4121-4127, 2016. <http://dx.doi.org/10.5897/ajar2016.11220>.

NAVARRO, D. J.; MYUNG, I. J. **Model evaluation and selection**. Columbus, USA: Ohio State University, Department of Psychology, 2004. 6p.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. M.. Generalized Linear Models. **Journal Of The Royal Statistical Society**, United Kingdom, v. 135, n. 3, p. 370-384, 1972.

NEWSTROM, L. E.; FRANKIE, G. W.; BAKER, H. G.. A New Classification for plant phenology based on flowering patterns in Lowland Tropical Rain Forest Trees at La Selva, Costa Rica. **Biotropica**, Washington, v. 26, n. 2, p. 141-159, 1994. <http://dx.doi.org/10.2307/2388804>.

NUTTO, L.. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 9-25, 2001.

NUTTO, L.; TONINI, H.; BORSOI, G. A.; MOSKOVICH, F. A.; SPATHELF, P.. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 1, n. 42, p. 123-138, 2001.

OLIVEIRA, T. M.; MADI, J. P. S.; CERQUEIRA, C. L.; MILLIKAN, P. H. K.; CARVALHO, M. P. L. C.; CARVALHO, S. P. C.. Relações morfométricas para árvores de *Tectona grandis*. **Advances In Forestry Science**, Cuiabá, v. 5, n. 4, p. 461-465, 2018.

ORELLANA, E.; KOEHLER, A. B.. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 229-237, 2008.

ORELLANA, E.; VANCLAY, J. K.. Competition and dominance between angiosperms and *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze in the Atlantic Forest in southern Brazil. **Forest Ecology And Management**, Netherlands, v. 425, p. 119-125, 2018.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.022>.

PADOIN, V.; FINGER, C. A. G.. Relações entre as dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 95-105, 2010.

PAULA, G. A.. **Modelos de regressão**: com apoio computacional. São Paulo: Instituto de Matemática e Estatística - Universidade de São Paulo, 2013.

PRETZSCH, H.; FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.. **Mixed-Species Forests**: ecology and management. Freiburg: Springer, 2017. 653 p.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P.. **Mensura forestal**. San Jose: Instituto Interamericano de Cooperacion Para La Agricultura, 1997. 572 p.

REITZ, R.; KLEIN, R.M. **Araucariáceas**. In: REITZ, R. Flora Ilustrada Catarinense. Itajaí: Herbário Barbosa Rodriques. 1966.

REX, F. E.; CORTE, A. P. D.; MACHADO, S. A.; SANQUETTA, C. R.. Identificação e extração de copas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze a partir de dados LiDar. **Advances In Forestry Science**, Cuiabá, v. 5, n. 2, p. 319-323, 2018.

RICKEN, P.; HESS, A. F.; BORSOI, G. A.. Relações biométricas e ambientais no incremento diamétrico de *Araucaria angustifolia* no Planalto Serrano Catarinense. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1592-1603, 2018. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509835107>.

RICKEN, P.; HESS, A. F.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; NAKAJIMA, N. Y.; HOSOKAWA, R. T.. Morfometria de *Araucaria angustifolia* em diferentes altitudes no Sul do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 40, p. 1-11, 2020. <http://dx.doi.org/10.4336/2020.pfb.40e201902066>.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A.. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473-480, 2019.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; ROGLIN, A.; A. PIMENTEL.. Relações diâmetro-altura para espécies lenhosas em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. **Iheringia. Série Botânica**, Porto Alegre, v. 68, n. 1, p. 103-114, 2013.

SANTOS, A. T.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; ROSOT, N. C.. Determinação da época de desbaste pela análise dendrocronológica e morfométrica de *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso em povoamento não manejado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 699-709, 2015. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509819620>.

SAS INSTITUTE. The SAS System for Windows. Cary: SAS Institute. 2012.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M.. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. 2<sup>a</sup> ed., Santa Maria: FACOS, 2009, 294p.

SCHWARZ, G.. Estimating the dimension of a model. **Ann. Statist.**, n. 6, p. 461-464, 1978.

SILVA, A. C.; HIGUCHI, P.; AGUIAR, M. D.; NEGRINI, M.; NETO, J. F.; HESS, A. F.. Relações florísticas e fitossociologia de uma Floresta Ombrófila Mista Montana secundária em Lages, Santa Catarina. **Ciência florestal**, v.22, n.1, p.193-206, 2012.

SILVA, F. A.; FORTES, F. O.; RIVA, D.; SCHORR, L. P. B.. Caracterização de índices morfométricos para *Araucaria angustifolia* plantada na Região Norte do Rio Grande do Sul. **Advances In Forestry Science**, Cuiabá, v. 4, n. 3, p. 143-146, 2017.

SILVA, J. R.; SANTOS, W.; MORAES, M. L. T.; SHIMIZU, J. Y.; SOUSA, V. A.; AGUIAR, A. V.. Seleção de procedências e progêneres de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze para produção de madeira e pinhão. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 46, n. 120, p. 519-531, 2018. <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v46n120.01>.

SIMÓN, B. E.; LATORRE, F.; ROTUNDO, C.. Study of the reproductive phenology of *Araucaria angustifolia* in two environments of Argentina: its application to the management of a species at risk. **Global Ecology And Conservation**, Netherlands, v. 16, p. 1-12, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00483>.

SNELL, R. S.; BECKMAN, N. G.; FRICKE, E.; LOISELLE, B. A.; CARVALHO, C.; JONES, L. R.; LICHTI, N. I.; LUSTENHOUWER, N.; SCHREIBER, S. J.; STRICKLAND, C.; SULLIVAN, L.L.; CAVAZOS, B.R.; GILADI, I.; HASTINGS, A.; HOLBROOK, K.; JONGEJANS, E.; KOGAN, O.; MONTANÔ-CENTELLAS, F.; RUDOLPH, J.; ROGERS, H.S.; ZWOLAK, R.; SCHUPP, E.. Consequences of intraspecific variation in seed dispersal for plant demography, communities, evolution and global change. **Aob Plants**, Oxford, v. 11, n. 4, p. 1-19, 2019. <http://dx.doi.org/10.1093/aobpla/plz016>.

SOLÓRZANO-FILHO, J. A.. **Demografia e ecologia da dispersão de sementes de Araucaria angustifolia (Bert.) Kutze (Araucariaceae), numa população relictual em Campos do Jordão, SP.** 2001. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências - Área de Ecologia, Departamento de Ecologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

SOUSA, V. A.; HATTEMER, H. H.. Fenologia Reprodutiva da *Araucaria angustifolia* no Brasil. **Embrapa Florestas**, Colombo, v. 1, n. 47, p. 19-32, 2003.

STERBA, H. **Forstliche Ertragslehre**. TU Wien: Universität für Bodenkultur, 1992. 160 p.

STERBA, H. **Waldwachstumskunde: Skriptum zur Lehrveranstaltung**. Wien: Universität für Bodenkultur, Institut für Waldwachstumsforschung, 2006, 129 p.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F.. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005.

TONINI, H.; KAMINSKI, P. E.; COSTA, P.. Relação da produção de sementes de castanha-do-Brasil com características morfométricas da copa e índices de competição. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1509-1516, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2008001100009>.

VANBRABANT, Y.; DELALIEUX, S.; TITS, L.; PAULY, K.; VANDERMAESEN, J.; SOMERS, B.. Pear flower cluster quantification using RGB drone imagery. **Agronomy**, Switzerland, v. 10, n. 407, p. 1-26, 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10030407>.

VANTROBA, A. P.; BERTOLINI, I. C.; SENS, T. M. Z. G.; WATZLAWICK, L. F.; SCHRAN, J. A.; PEDROSO, B. C.. Características morfométricas e dendrocronológicas de *Zanthoxylum rhoifolium* Lam em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 48, n. 127, p. 1-12, 2020.  
<http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v48n127.10>.

VIEIRA, E. M.; IOB, G.. Dispersão e predação de sementes da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: FONSECA, C. R.; SOUZA, A. F.; LEAL-ZANCHET, A. M.; DUTRA, T.; BACKES, A.; GANADE, G.. **Floresta de Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. Ribeirão Preto: Editora Holos, 2009. p. 85-95.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P.. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology And Management**, Netherlands, v. 211, n. 3, p. 371-384, 2005.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.061>.

WEBER, V. P.; FINGER, C. A. G.; COSTA, E. A.; ZIMMERMANN, A. P.; LONGHI, R. V.. Modelagem linear generalizada para descrever o incremento em área transversal de árvores individuais de imbuia. **Floresta**, Santa Maria, v. 48, n. 1, p. 123-132, 2018.  
<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v48i1.54368>.

WENDLING, I.; BASÍLIO, A. C. A.; SOUSA, V. A.. Produção de estróbilos masculinos e pólen em plantas de *Araucaria angustifolia*. In: Embrapa Florestas, **Ciência Florestal e Produtos de Origem Vegetal**, Ivar. Colombo: Embrapa Florestas, 2018. p. 237-240.

WENDLING, I.; ZANETTE, F.. **Araucária**: particularidades, propagação e manejo de plantas. Brasília: Embrapa Florestas, 2017. 159 p.

XU, R.; LI, C.; PATERSON, A. H.; JIANG, Y.; SUN, S.; ROBERTSON, J. S.. Aerial images and convolutional neural network for cotton bloom detection. **Frontiers In Plant Science**, Califórnia, v. 8, n. 2235, p. 1-17, 2018.  
<http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.02235>.

ZANETTE, F.; DANNER, M. A.; CONSTANTINO, V.; WENDLING, I.. Particularidades e biologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia*. In: Zanette, F. & Wendling, I. (Ed.). Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios. Brasília, DF: Embrapa, p. 15-30, 2017.

ZANON, M. L. B.. **Crescimento da Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze diferenciado por dioicia**. 2007. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.. Proporção da dióicia e distribuição diamétrica de árvores masculinas e femininas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, em povoados implantados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 425-431, 2009.

ZECHINI, A. A.. **Morfometria, produção, fenologia e diversidade genética: subsídios para conservação da Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze e coleta sustentável do pinhão no Planalto Catarinense**. 2012. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais, Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

ZUIDEMA, P. A.; BOOT, R. G. A.. Demography of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. **Journal Of Tropical Ecology**, United Kingdom, v. 18, n. 1, p. 1-31, 2002.  
<http://dx.doi.org/10.1017/s0266467402002018>.

### **3. CAPÍTULO 2 – RELAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA COPA COM A PRODUÇÃO DE ANDROSTRÓBIOS EM ÁRVORES DE ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA (BERTOL.) KUNTZE NO SUL DO BRASIL**

#### **3.1. RESUMO**

A eficiência de copa é uma relação do crescimento com a área ocupada pela árvore, ou seja, a eficiência da área disponível. Dessa maneira, o presente estudo teve por objetivo avaliar a eficiência da copa com a produção de androstróbilos de árvores de araucárias no município de Lages, em Santa Catarina. Para cada árvore amostrada foram mensuradas as variáveis: diâmetro à altura do peito (d), altura total (h) e raio de copa (rc). Com isso foram calculados o diâmetro de copa (dc) e área de projeção horizontal da copa (aphc). Nesse trabalho também foram quantificadas o número de androstróbilos (na) em cada árvore com auxílio de um RPAS e retirado rolos de incrementos para o remanescente florestal e em seguida calculado o incremento periódico anual em diâmetro (ic) dos últimos 10 anos. Posteriormente foi calculada a eficiência da copa (CE1 e CE2) por meio de duas relações: ic/ aphc e na/aphc. A eficiência da copa foi modelada em função das variáveis independentes aphc, ic, dc, onde foi analisada as condicionantes e em seguida realizada a modelagem por meio dos Modelos Lineares Generalizados (MLG). Diante disso, percebe-se que o diâmetro de copa reflete na eficiência da copa, sendo essa variável a que possui melhor relação com o dc. Notou-se que o CE1 obteve valor baixo se comparado ao CE2, devido ao baixo valor do incremento se comparado à quantidade de androstróbilos por árvore. A eficiência de copa diminui com o aumento do aphc e do d, indicando que os tratamentos silviculturais devem ser realizados com a retirada de árvores de maior diâmetro e arquitetura de copa. A maior produção e a eficiência dos androstróbilos está relacionada a forma, ao crescimento, competição, a posição sociológica e densidade da floresta.

**Palavras-chave:** Crescimento florestal. Manejo florestal. Pinheiro Brasileiro.

#### **3.2. ABSTRACT**

The crown efficiency defines which trees grow the most in relation to the same horizontal canopy projection area and with the increment. Thus, this study aimed to evaluate the efficiency of the crown with the production of androstrobiles of araucaria trees in the municipality of Lages, Santa Catarina. For each sampled tree, the following variables were measured: diameter at breast height (d), total height (h) and crown radius (rc). With this, the crown diameter (dc) and the horizontal projection area of the crown (aphc) were calculated. In this work, the number of androstrobiles (na) in each tree was also quantified with the aid of RPAs, increment rolls were removed for the forest remnant of Lages and then the annual periodic increment in diameter (ic) of the last 10 years was calculated. Subsequently, the efficiency of the crown (EC1 and EC2) was calculated using two ratios: ic/aphc and na/aphc. The crown efficiency was modeled as a function of the independent variables aphc, ic, dc and na by the PROC MODEL procedure and the conditions were analyzed and then modeled using Generalized Linear Models (GLM). Therefore, it is clear that the crown diameter reflects the efficiency of the crown, and this variable has the best relationship with the dc. It was noted that CE1 had a low value compared to CE2, due to the low value of the increment compared to the amount of androstrobiles per tree.

It is noted that in the area there is the possibility of carrying out silvicultural activities to enable better production of androstrobiles, consequently helping in the dynamics and future structure of the forest.

**Keywords:** Forest Growth. Forest management. Brazilian Pine.

### 3.3. INTRODUÇÃO

O crescimento e a produtividade de uma árvore são influenciados por diversos fatores ambientais, como: a temperatura, a precipitação, as características físico-químicas e biológicas do solo, a altitude e a competição (VANTROBA et al., 2019). A superfície, o diâmetro e o comprimento da copa de uma árvore também influenciam no seu crescimento e capacidade produtiva, sendo esses os fatores que estimam a densidade da floresta e influenciam em processos importantes para a sua estabilidade, como a fotossíntese, que é limitada pela inibição na passagem de luz solar (NUTO, 2001).

Assim sendo, os atributos da copa são importantes em vários processos fisiológicos e influem diretamente na taxa de crescimento, no crescimento em diâmetro do tronco e na produção de frutos e sementes. Dessa maneira, pode-se afirmar que aspectos sobre a reprodução de uma espécie florestal é completamente dependente da eficiência ou tamanho da copa de uma árvore (KOSLOWSKI AND PALLARDY, 1996; NIKLAS, 1994; WADSWORTH, 2000).

Assman (1970), Gspaltl et al. (2012) e Reid et al. (2004) afirmaram que a eficiência da copa é a razão entre o incremento do volume pela área de projeção horizontal da copa. Onde, de acordo com esse conceito, há a possibilidade em remover por meio de atividades silviculturais as árvores menos eficientes, e assim definir as árvores que irão atingir a eficiência máxima do espaço de seu crescimento.

Por falta de conhecimento sobre os elementos necessários para realizar manejo sustentável que facilitem a estimativa do crescimento e produção em florestas, há proibições sobre a exploração de espécies florestais por meio de legislações, onde essas muitas das vezes poderiam servir como medida de conservação de florestas nativas. Esse fato se aplica à *Araucaria angustifolia*, onde árvores da espécie sofrem estagnação em seu crescimento, menor número de regenerantes e desinteresse social pela população (BECKERT, 2014), ocasionado pela falta de espaçamento e desbastes nos indivíduos com ciclo de rotação final em remanescentes florestais naturais no Sul do Brasil.

Devido a isso e na tentativa em manter a estrutura futura da floresta em termos de conservação da espécie, utiliza-se no manejo florestal ferramentas que auxiliam a estimar o crescimento florestal por árvore individual de acordo com fatores biológicos e ambientais (PRETZSCH, 2015). Sendo assim, a araucária, espécie com limitações quanto ao seu uso, mas com diversas importâncias socioeconômicas, como: seu alto valor ecológico, sua madeira de alta qualidade, e a produção de pinhão, necessita de estudos que auxiliem a sua produção em termos madeireiros e não madeireiros, de modo sustentável e ecologicamente correto (STERBA, 1989).

Para isso, utilizou-se nesse estudo o modelo para o cálculo da eficiência de copa adaptado pela razão entre o número de androstróbilos produzidos e a área de projeção de copa e seu ajuste em função do incremento periódico anual de diâmetro e variáveis dendro/morfométricas, seguindo o método utilizado por Hess et al. (2019) em seu trabalho sobre a eficiência da copa acerca da produção de pinhas, já que há uma incipiente nesse estudo e uma necessidade em gerar informações para auxiliar na emancipação do manejo florestal da *Araucaria angustifolia* para a sua conservação e dinâmica a nível de remanescente florestal nativo.

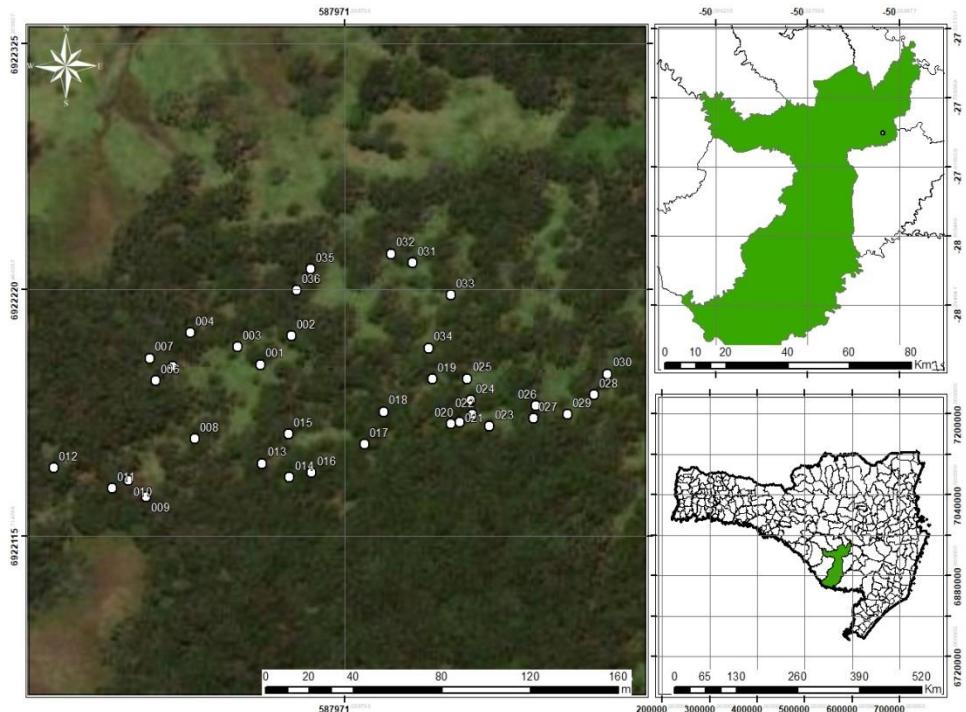
Desse modo, o presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência da copa de árvores individuais no município de Lages, em Santa Catarina, por meio do ajuste de modelos matemáticos, em função do número de androstróbilos, o incremento periódico diamétrico e variáveis dendro/morfométricas.

### 3.4. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1. Caracterização e localização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido em um remanescente florestal na localidade denominada Pedras Brancas, em Lages, município do estado de Santa Catarina com 84 ha de área (Figura 8). Classifica-se como Floresta Ombrófila Mista, ou Floresta com Araucária, espécie que domina todos os estratos da floresta (Figura 9).

Figura 8. Mapa de localização do município de Lages – SC, 2021.



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

Figura 9. Caracterização do remanescente onde estão inseridas as araucárias estudadas.



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

De acordo com a classificação de Köppen o território catarinense abrange dois tipos climáticos: o subtropical úmido com verões cálidos (Cfa) e o subtropical úmido com verões não muito quentes (Cfb). Na área em que se deseja coletar os dados predomina o

Cfb, ou seja, clima temperado, caracterizado por ser constantemente úmido sem estação seca. A temperatura média da região é de 13,7 °C, com pluviosidade média anual de 1.722 mm e altitude de 1.200 m (ALVARES, 2014).

De acordo com Hess (2012) e Hess et al. (2010) o fragmento florestal da região é de característica nativa, irregular e inequívoca, sem manejo florestal e intervenção silvicultural a cerca de 40 anos, ou seja, não possui muita regeneração natural.

### **3.4.2. Mensuração dos dados**

Realizou-se a amostragem das árvores de araucária que serão mensuradas de acordo com a abordagem baseada em árvores individuais para facilitar a identificação dos indivíduos de sexo masculino.

Utilizaram-se plaquetas para numerar as árvores, consequentemente, com o auxílio de um GPS (*Global Position System*) da Garmin, foi realizado o georreferenciamento. Considerou-se cada árvore uma unidade amostral (UA), o qual facilitou a análise estatística.

### **3.4.3. Obtenção dos dados dendro/morfométricos**

Com os dados do diâmetro à altura do peito (d), altura total (h) e os raios de copa (rc), obtidos pelas distâncias Norte, Sul, Leste e Oeste, para cada árvore masculina, calculou-se as variáveis morfométricas com as equações abaixo:

$$dc = 2 * rc \quad (1)$$

$$aphc = \pi * rc^2 \quad (2)$$

Onde: d: diâmetro à altura do peito (cm); h: altura total (m); dc: diâmetro de copa (m); rc: raio de copa (m); aphc: área de projeção horizontal de copa (m<sup>2</sup>).

### **3.4.4. Quantificação dos androestróbilos**

Para mensurar a produção de androestróbilos avaliaram-se 36 árvores com estróbilos masculinos. Os estróbilos masculinos surgem na planta a partir do mês de novembro, período em que se realizou a quantificação em dois anos consecutivos, 2019 e 2020. Para quantificar os estróbilos foi utilizado um *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAs). O RPAs empregado pertence à marca DJI modelo Phantom Pro 4 (Figura 10) cuja as características estão descritas na Tabela 7, com as respectivas características do voo.

Nele possui acoplada uma câmara com resolução espacial de 20 Mpixels, sensor vermelho, verde e azul (RGB) com obturador mecânico e distância focal de 8,8 mm.

Figura 10. *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) da marca *Phantom 4 Pro*.



Fonte – DJI, 2021.

A aquisição das imagens ocorreu com o sobrevoo controlado por um piloto. Em função do tamanho dos objetos a altura do recobrimento aéreo não foi superior a 30 metros. Em função do relevo local e da altura, não pode ser tomadas imagens digitais com recobrimento longitudinal e lateral que possibilitariam a reconstrução tridimensional das árvores e do relevo.

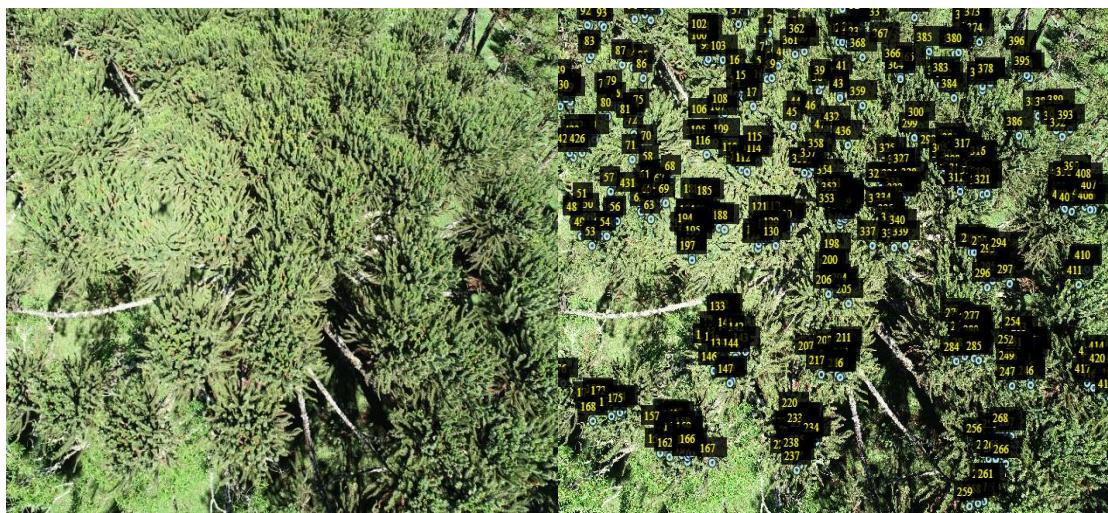
Tabela 7. Descrição das características do vôo e as características do RPAS Phantom Pro 4.

Especificações da aeronave/sensor		Características do voo
Peso (baterias e hélices)	1.388 g	Ano de execução 2019 e 2020
Tamanho diagonal (incluindo hélices)	350 mm	Altura 30 m
Resistência máxima a velocidade do vento	10 m/s	Sobreposição longitudinal 0%
Sistemas de posicionamento global	GPS/GLONASS	Sobreposição lateral 0%
Sensor	CCD	Velocidade 5 m/s

Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

A identificação e quantificação dos estróbilos masculinos ocorreram por meio de imagens RGB tiradas por intermédio do RPAS, utilizando a plataforma VGG *Image Annotator* como facilitador (Figura 11). A identificação ocorreu por meio da ferramenta de zoom, sendo a quantificação realizada de forma manual.

Figura 11. Caracterização da identificação e quantificação dos androstróbilos por meio da plataforma VGG *Image Annotator* em *Araucaria angustifolia*, Lages – SC.



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

### 3.4.5. Incremento Periódico Anual

Para a coleta e medição do incremento periódico anual em diâmetro das árvores masculinas de *Araucaria angustifolia* foi realizado o método não destrutivo o que totalizou na coleta de 72 rolos de incremento, sendo coletado duas amostras perpendiculares à 1,30 metros para cada árvore.

Após a coleta houve a secagem e colagem dos rolos em suportes de madeira para facilitar no processo de lixamento. Após serem lixados, os rolos de incremento foram demarcados de acordo com os anéis de crescimento para sua melhor visualização. Posteriormente, as larguras dos anéis de crescimento foram medidas por meio do *Lintab 6*, em uma precisão de 0,001 mm, sendo as medidas obtidas por meio do *software Time Series Analysis Program – TSAP-Win*. Após a coleta das larguras houve a datação cruzada para verificar a relação da largura do anel com o ano correspondente, sendo realizada por meio do *Microsoft Excel*, onde foi realizada a análise visual dos gráficos e a correlação entre os dois raios.

Em seguida, calculou-se o incremento periódico anual em diâmetro, considerando um período de 10 anos, de acordo com a equação 3:

$$ic = (d - d_{-t})/t \quad (3)$$

Em que: ic: incremento periódico anual em diâmetro (cm); d: diâmetro à altura do peito obtida no final do período (cm);  $d_{-t}$ : diâmetro à altura do peito obtida no início do período (cm); t: tempo considerado (10 anos, neste estudo).

### 3.4.6. Eficiência da copa

Calculou-se a eficiência da copa para as árvores do remanescente florestal de acordo com a razão entre o incremento periódico anual em diâmetro (ic) e a área de projeção horizontal de copa (aphc), como também pela razão entre o número de androstróbilos (na) de cada árvore e a área de projeção horizontal de copa (aphc), de acordo com as Equações 4 e 5, respectivamente.

$$EC1 = ic/aphc \quad (4)$$

$$EC2 = na/aphc \quad (5)$$

Onde: EC1: eficiência de copa ( $\text{cm} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$ ); EC2: eficiência de copa ( $\text{and./m}^2$ ); ic: incremento periódico anual em diâmetro ( $\text{cm} \cdot \text{ano}^{-1}$ ); na: número de androstróbilos (androstróbilo/árvore); aphc: área de projeção horizontal de copa ( $\text{m}^2$ ).

Para verificar a relação entre a eficiência da copa (EC1 e EC2) em função das variáveis dendro/morfométricas, realizou-se o ajuste da regressão, onde foi necessário a verificação do cumprimento das condicionantes para a existência do ajuste (normalidade, independência dos erros e a homogeneidade da variância). Entretanto, ao não atendimento das condicionantes, investigado pelos testes de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e White, decide-se pelo não uso da análise de regressão linear, mas sim pelo ajuste de regressão pelo método dos Modelos Lineares Generalizados (MLG).

Por meio do desvio, da dispersão dos dados estimados com os observados, o gráfico de resíduos, o valor de critério de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC), foi possível verificar a significância e o ajuste dos modelos ajustados.

O critério de informação de Akaike (AIC) e o Bayesiano (BIC) simbolizam a falta de generalidade do modelo e penalizam a falta de ajuste aos dados de acordo com a alta

complexidade do modelo. Dessa forma, os menores valores são considerados, em ambos os critérios, para definir o melhor ajuste de modelo (AKAIKE, 1973; SCHWARZ, 1978). As medidas são definidas pelas equações (6 e 7):

$$AIC = -2[\log(L) - p] \quad (6)$$

$$BIC = -2[\log(L) - p \log n] \quad (7)$$

Onde: AIC: critério de informação de Akaike; BIC: critério de informação Bayesiano; L: valor de verossimilhança para o modelo estimado; n: número de observações.

O software utilizado para o ajuste dos modelos e análise dos dados foi o *Statistic Analysis System* (SAS), versão 9.4 (SAS INSTITUTE, 2012). 000ik

### 3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.5.1. Caracterização das árvores no remanescente florestal

As árvores amostradas no remanescente florestal estudado apresentaram uma distribuição diamétrica de 16,39 a 69,71 cm, com média de 40,13 cm e altura que varia entre 8,5 a 18,4 m, com média de 14,1 m. Já a produção de androstróbilos foi de 317 androstróbilos/árvore, com variação de 80 a 885 androstróbilos produzidos, durante os anos de 2019 e 2020 (Tabela 8).

Tabela 8. Variáveis dendro/morfométricas, quantidade de androstróbilos e incremento periódico anual em diâmetro para árvores de *Araucaria angustifolia* no município de Lages, Santa Catarina.

Variável	Média	Mínimo	Máximo
na	317	80	885
d	40,13	16,39	69,71
h	14,1	8,5	18,4
dc	9,57	4,7	19,6
aphc	80,21	17,35	301,72
ic	0,5577	0,2356	0,9836
EC1	0,0104	0,0011	0,0356
EC2	5,07	1,19	16,54

Onde: na: número de androstróbilos nos anos de 2019 e 2020, consecutivamente (androstróbilo/árvore); d: diâmetro à altura do peito (cm); h: altura (m); dc: diâmetro de copa (m); aphc: área de projeção horizontal da copa ( $m^2$ ); ic: incremento periódico anual em diâmetro à altura do peito em 10 anos ( $cm \cdot ano^{-1}$ ); EC1 = eficiência de copa calculada pela relação ic/aphc ( $cm \cdot m^2 \cdot ano^{-1}$ ); EC2 = eficiência de copa calculada pela relação na/aphc (and./ $m^2$ ). Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

As variáveis dendro/morfométricas: diâmetro de copa (dc) e área de projeção horizontal de copa (aphc), obtêm maior correlação com a produção de androstróbilos. Dessa maneira, confirma-se que a produção de androstróbilos se relaciona com o crescimento da copa, ou seja, há alteração na produção de acordo com a arquitetura das árvores, que está relacionado à densidade da floresta e explica a competição que há entre elas.

De acordo com Stage (1973) essas variáveis dendro/morfométricas analisadas descrevem o estado de competição de uma árvore com as que a circundam, sendo elas importantes na taxa de crescimento de árvores individuais. Ademais, a competição apresenta pouco efeito sobre a produção, no entanto, há uma tendência em reduzi-la com o aumento da competição (TONINI et al., 2008).

O valor médio do incremento periódico anual em diâmetro (ic) foi de 0,5577 cm.ano<sup>-1</sup>, considerando-se o período de 10 anos, com valor mínimo de 0,2356 cm.ano<sup>-1</sup> e máximo de 0,0356 cm.ano<sup>-1</sup>. Hess et al. (2019) encontraram resultado próximo ao encontrado nesse trabalho, onde a média foi de 0,3916 cm.ano<sup>-1</sup>, variando de 0,1273 cm.ano<sup>-1</sup> a 0,5904 cm.ano<sup>-1</sup>.

É possível indicar que o ic apresenta um valor baixo em comparação ao crescimento da espécie. Logo, por meio desse resultado indica-se que nesse remanescente florestal há estagnação no crescimento das árvores, há competição, há árvores antigas e uma menor produção de androstróbilos. Logo, por meio do ic, é possível definir a necessidade em realizar desbaste na região, já que a nível de incremento há a possibilidade de selecionar as árvores que constituem o corte final na floresta (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

A eficiência de copa (EC1) onde há a razão do incremento médio anual em diâmetro (ic) pela área de projeção horizontal de copa (aphc) obteve valor médio de 0,0104 cm.m<sup>2</sup>.ano<sup>-1</sup>, com valor mínimo de 0,0011 cm.m<sup>2</sup>.ano<sup>-1</sup> a 0,0356 cm.m<sup>2</sup>.ano<sup>-1</sup>. Já a eficiência de copa (EC2) onde utilizou-se a razão entre o número de androstróbilos (na) em função da área de projeção horizontal de copa (aphc) obteve média de 5,07 and./m<sup>2</sup> com valor mínimo de 1,19 and./m<sup>2</sup> a 16,54 and./m<sup>2</sup>.

De acordo com os valores de eficiência de copa (EC1 e EC2), é possível verificar que há uma diferença entre as duas eficiências, onde o EC1 possui valores inferiores ao

EC2. Isso se deve ao fato de que o número de androstróbilos sempre é superior ao valor de incremento. Além disso, observa-se, por meio da EC2, que quanto maior o número de androstróbilos por árvore, maior será a eficiência da copa, ou seja, as árvores eficientes serão aquelas que possuem maior capacidade produtiva, consequentemente, maior dimensão de copa.

Em araucárias femininas, Solórzano-Filho (2001) confirma que a produção de pinhas depende das dimensões da copa. Nesse estudo, pode-se confirmar que a arquitetura das araucárias masculinas a produção de androstróbilos também depende da arquitetura da copa da árvore, confirmado com Kozlowski and Pallardy (1996) ao afirmar que os atributos da copa são importantes no processo fisiológico, no crescimento, no incremento diamétrico, na produção de androstróbilos e ginostróbilos.

Vale ressaltar que apesar dessas características importantes para o crescimento e produção da araucária, outros fatores como as características ambientais devem ser levados em consideração, principalmente pelo fato de a espécie necessitar do vento, por exemplo, para iniciar o seu processo de reprodução.

Finalmente, a estrutura da copa afeta as condições da floresta, o crescimento das árvores e muitas outras funções. E para isso, obter a estimativa da área da copa e das variáveis relacionadas, são ferramentas essenciais para a tomada de decisão referente ao manejo florestal da espécie. Dessa maneira, a estrutura futura da floresta não se compromete e há a possibilidade em realizar a exploração dos recursos florestais de acordo com os aspectos conservacionista da espécie alvo (PRETZSCH et al., 2012; PRETZSCH, 2014)

### **3.5.2. Ajuste dos modelos para a eficiência de copa**

Realizou-se o ajuste dos modelos identificando a relação entre a eficiência de copa (EC1 e EC2) de acordo com as variáveis área de projeção de copa (aphc), incremento periódico anual em diâmetro de 10 anos (ic), o número de androstróbilos (na) e o diâmetro de copa (dc) (Tabela 9).

Tabela 9. Valores dos parâmetros e qualidade dos ajustes dos MLG para ajuste das eficiências de copa, número de androstróbilo em função das variáveis dendro/morfométricas para *Araucaria angustifolia* em Lages, Santa Catarina, 2021.

Modelos	Parâmetros	Distri.	FL.	AIC	BIC	Desvio
---------	------------	---------	-----	-----	-----	--------

	<b>b0</b>	<b>b1</b>					
EC1=b0+b1*dc	0,0178	-0,0008	Gamma	Id.	-286,10	-281,35	9,296
EC1=b0+b1*aphc	0,0169	-0,0001	Normal	Id.	-260,68	-255,93	0,0013
EC1=b0+b1*ic	0,0013	0,0163	Normal	Id.	-250,46	-245,71	0,0017
EC2=b0+b1*dc	8,2599	-0,3436	Gamma	Id.	166,04	170,80	9,7829
EC2=b0+b1*aphc	6,2626	-0,0158	Gamma	Id.	169,39	174,14	10,6917
EC2=b0+b1*na	2,6155	0,0080	Gamma	Id.	175,47	180,22	12,5564

Onde: na: número de androstróbilos, consecutivamente (androstróbilo/árvore); d: diâmetro à altura do peito (cm); h: altura (m); dc: diâmetro de copa (m); aphc: área de projeção horizontal da copa ( $m^2$ ); ic: incremento periódico anual em diâmetro à altura do peito (cm.ano-1); EC1 = eficiência de copa calculada pela relação ic/aphc; EC2 = eficiência de copa calculada pela relação na/aphc. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A seleção dos modelos por meio do AIC, do BIC e do Desvio, mostrou melhor desempenho para a relação das variáveis EC1 e EC2 pela variável diâmetro de copa (dc), em ambos. Sendo assim, observa-se que para o EC1 a melhor equação para estimar a eficiência de copa foi a  $EC1=0,0178-0,0008*dc$ , já para o EC2 a melhor equação foi a  $EC2=8,5299-0,3436*dc$ . Ambos os modelos seguindo a distribuição Gamma e função Identidade.

Costa et al. (2017) em estudo sobre a eficiência da copa de araucárias no município de Lages, Santa Catarina, verificou um melhor desempenho da variável comprimento de copa no ajuste das equações de eficiência, o que não difere do resultado encontrado nesse trabalho, evidenciado pelo melhor desempenho do dc. Corroborando com Debastiani et al. (2019) que analisando a influência do diâmetro de copa na estrutura florestal de floresta plantada e natural de *Araucaria angustifolia*, verificou que o dc está diretamente relacionado com o crescimento e a produção de uma árvore.

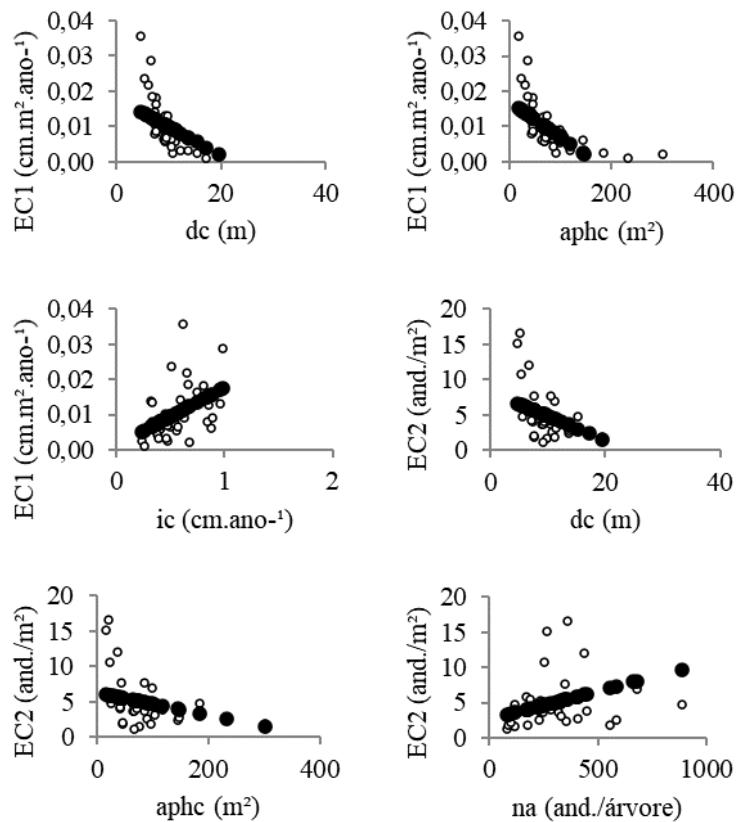
Ressalta-se que o diâmetro de copa é uma variável importante na tomada de decisão sobre a estrutura futura da floresta, pois, como o diâmetro à altura do peito (d), essa variável é utilizada para verificar a projeção do espaço a ser utilizado por uma árvore de acordo com o seu crescimento (ROMAN, 2009). Ou seja, a termo de seleção de variáveis para ajuste de modelos na tomada de decisão sobre o manejo florestal em um remanescente florestal, essa variável é de grande importância.

Além de melhor desempenho na relação com o diâmetro de copa (dc), percebe-se que a eficiência de copa possui uma relação satisfatória com a variável área de projeção horizontal de copa (aphc), tanto para o EC1 como para o EC2.

A área de projeção de copa (aphc) é de grande importância para o monitoramento de florestas, apesar de na maioria das vezes não ser mensurada. Por meio dela é possível definir a sobreposição (área de influência das copas) e a competição que há entre as árvores em um remanescente florestal (GETZIN et al., 2008; MCINTOSH et al., 2012; RUSSELL, 2011). Logo, por meio do aphc é possível definir o espaço ocupado da árvore e quando se predispõe ao incremento possibilita definir a produção e a produtividade de uma árvore (DURLO et al., 2004), sendo assim, uma variável para o ajuste de modelos de espécies florestais.

O desempenho dos modelos de acordo com os resultados encontrados, foram verificados por meio dos gráficos de resíduo com a linha de tendência de regressão, conforme os valores estimados e observados (Figura 12).

Figura 12. Dispersão dos valores estimados e observados de acordo com os modelos gerados entre as eficiências de copa, número de androstróbilos em função das variáveis dendro/morfométricas para as árvores *Araucaria angustifolia* em Santa Catarina, 2021.



Onde: na: número de androstróbilos nos anos de 2019 e 2020, consecutivamente (androstróbilo/árvore); d: diâmetro à altura do peito (cm); h: altura (m); dc: diâmetro de copa (m); aphc: área de projeção horizontal

da copa ( $m^2$ ); ic: incremento periódico anual em diâmetro à altura do peito (cm.ano-1); EC1 = eficiência de copa calculada pela relação ic/aphc ( $cm.m^2.ano-1$ ); EC2 = eficiência de copa calculada pela relação na/aphc ( $and./m^2$ ). Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Observa-se por meio das linhas de tendência nos gráficos que os resultados encontrados não foram discrepantes, confirmando que a estimativa realizada pelos modelos possui acurácia.

Os resultados mostram que quanto menor a eficiência da copa, maior o número de androstróbilos, e menor a eficiência, maior é o incremento periódico anual em diâmetro. Logo, observa-se que para a produção de androstróbilos há uma necessidade do crescimento e do vigor fisiológico das árvores, como do uso da luz para a fotossíntese, de acordo com a posição sociológica (HESS et al., 2019).

De acordo com Li et al. (2017) a quantidade de luz capturada e a eficiência do uso da luz, de uma árvore, dependem fortemente das características da copa e dos traços da folha. Ou seja, as árvores são impulsionadas, para seu desenvolvimento, por fatores que influem na quantidade e no uso dos recursos capturados.

É possível verificar que quanto maior valor para a área de projeção horizontal de copa (aphc), menor a eficiência da copa, para os dois modelos (EC1 e EC2). Desmonstrando que quanto maior a idade da árvore, menor é a eficiência e a produção de androstróbilos. Indicando que há um período de produtividade, e confirmando a necessidade em realizar atividades silviculturais, já que árvores velhas possuem uma menor produção, e árvores mais novas precisam de espaço para seu crescimento.

As eficiências da copa (EC1 e EC2) com relação ao diâmetro de copa (dc) mostra que quanto maior os valores de dc, menores as eficiências, visto que maior valor para as duas variáveis ocorre em árvores jovens, onde há uma maior produção de androstróbilos, que ocorre entre os 15 a 20 anos.

Por meio dos resultados, conclui-se que árvores maiores tendem a absorver mais luz e, assim, usá-la para a sua produção, ou seja, o maior crescimento resulta da combinação entre a absorção de luz e maior eficiência luminosa, o que torna as florestas mais produtivas. Que o na é influenciado pelo ic e o aumento do dc, até que a idade fisiológica das árvores estabilize essas variáveis.

### 3.6. CONCLUSÃO

As equações da eficiência de copa mostram que à medida que a área de projeção horizontal de copa aumenta, o rendimento do número de androstróbilos e a eficiência diminuem. Enquanto que o número de androstróbilos aumenta com o incremento periódico anual em diâmetro. Entretanto, não há um aumento linear, mas com tendência a estabilizar com o aumento do tamanho e do crescimento (há um limite de tamanho em que a produção de androstróbilos por árvore diminuiu).

Os ajustes dos modelos mostraram precisão e explicaram a variação da eficiência da copa, indicando que o aumento do tamanho da copa diminui sua eficiência e isso está correlacionado com a produção de androstróbilos, além do que copas estreitas e longas possibilitam a árvore crescer em espaço reduzido, com maior número de árvores de araucária por unidade de área.

### 3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAIKE, H.. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. Proceedings of the Second International Symposium on Information Theory, p. 267-281, 1973.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G.. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

ASSMANN, E.. **The Principles of Forest Yield Study**. Oxford: P. W. Davis, 1970.

BECKERT, S. M.; ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C.. Crescimento e dinâmica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 209-218, 2014.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; HESS, A. F.. The crown efficiency of Parana-Pine. **Australian Journal Of Basic And Applied Sciences**, Austrália, v. 13, n. 11, p. 86-92, 2017. American-Eurasian Network for Scientific Information (AENSI). <http://dx.doi.org/10.22587/ajbas.2017.11.13.9>

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrella fissilis* Vellozo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 79-89. 2004.

GETZIN, S.; WIEGAND, K.; SCHUMACHER, J.; GOUGEON, F. A. Scale-dependent competition at the stand level assessed from crown areas. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 2478 - 2485, 2008.

GSPALTL, M.; STERBA, H.; O'HARA, K. L.. The relationship between available area efficiency and area exploitation index in an even-aged coast redwood (*Sequoia sempervirens*) stand. **Forestry**, v. 85, p. 567-577, 2012.  
<https://doi.org/10.1093/forestry/cps052>

HESS, A. F.; ATANAZIO, K. A.; BORSOI, G. A.; SCHORR, L. P. B.; SOUZA, I. A.; COSTA, E. A.; KLEIN, D. R.; KREFTA, S. M.; STEPKA, T. F.; ABATTI, R.; RICKEN, P.; ROSA, G. T.. Crown efficiency and pine cones production for Brazilian Pine (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze) in South Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 247-259, 2019. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v11n6p247>

HESS, A. F.; CALGAROTTO, A. R.; PINHEIRO, R.; WANGINIAK, T. C. R. 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**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 337-345, 2010.

HESS, A. F.. Manejo de *Araucaria angustifolia* pelo quociente de Liocourt em propriedade rural no Município de Painel, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 70, p. 227-232, 2012.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S.G.. **Physiology of woody plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1996.

LI, Y.; KROBER, W.; BRUELHEIDE, H.; HARDTLE, W.; OHEIMB, G.. Crown and leaf traits as predictors of subtropical tree sapling growth rates. **Plant Ecology**, v. 10, n. 1, p. 136-145, 2017. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw041>

MARTINS, L. P.; DEBASTIANI, A. B.; SANTOS, K. S. M.; CORTE, A. P. D. C.; NETTO, S. P.; SANQUETTA, C. R.. Distribuição do diâmetro de copa e diâmetro quadrático de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 270-280, 2019. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509829219>

MCINTOSH, A. C. S.; GRAY, A. N.; GARMAN, S. L. Estimating canopy cover from standard Forest Inventory Measurements in Western Oregon. **Forest Science**, Bethesda, v. 58, p. 154 - 167, 2012.

NIKLAS, K. J.. **Plant Allometry**: the scaling of form and process. Chicago And London: The University Of Chicago Press, 1994.

NUTTO, L.. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 9-25, 2001.

PRETZSCH, H., BIBER, P., ENNO, U., DAHLHAUSEN, J., ROTZER, T., CALDENTEY, J., KOIKE, T., ... PAULEIT, S.. Crown size and growing space requirement of common tree species in urban centres, parks, and forests. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 14, p. 466-479, 2015 <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.04.006>

PRETZSCH, H.; DIELER, J.. Evidence of variant intra- and interspecific scaling of tree crown structure and relevance for allometric theory. **Oecologia**, Frisinga, v. 169, n. 3, p. 637-649, 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00442-011-2240-5>

PRETZSCH, H.; HEYM, M.; PINNA, S.; SCHNEIDER, R.. Effect of variable retention cutting on the relationship between growth of coarse roots and stem of *Picea mariana*. **Scandinavian Journal Of Forest Research**, Escandinávia, v. 29, n. 1, p. 222-233, 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2014.903992>

REID, D. E. B.; LIEFFERS, V. J.; SILINS, U.. Growth and crown efficiency of height repressed lodgepole pine: are suppressed trees more efficient? **Trees**, v. 18, p. 390-398, 2004. <https://doi.org/10.1007/s00468-003-0317-4>

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A.. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473-480, 2019.

RUSSELL, M. B.; WEISKITTEL, A. R. Maximum and largest crown width equations for 15 tree species in Maine. **Northern Journal of Applied Forestry**, Bethesda, v. 28, p. 84 - 91, 2011.

SAS INSTITUTE. The SAS System for Windows. Cary: SAS Institute. 2012.

SCHNEIDER, R; SCHNEIDER, P. **Introdução ao manejo florestal**, 2 a ed. Santa Maria: FACOS - UFSM, p. 566, 2008.

SCHWARZ, G.. Estimating the dimension of a model. **Ann. Statist**, n. 6, p. 461-464, 1978.

SOLÓRZANO-FILHO, J. A.; PERES, C. A. S.. **Demografia, fenologia e ecologia da dispersão de sementes de Araucaria angustifolia (Bert.) Kuntze (Araucariaceae), numa população relictual em Campos do Jordão, SP**. 2001. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

STAGE, A. R.. **Prognosis model for stand development**. Ogden: Usda Forest Service (Research Paper, No. Int-137), 1973. <http://dx.doi.org/10.5962/bhl.title.69018>

STERBA, H.; AMATEIS, R. L.. Crown efficiency in a loblolly pine (*Pinus taeda*) spacing experiment. **Canadian Journal for Forest Research**, v. 28, p. 1344-1351, 1998. <https://doi.org/10.1139/x98-115>

TONINI, H.; KAMINSKI, P. E.; COSTA, P.. Relação da produção de sementes de castanha-do-Brasil com características morfométricas da copa e índices de competição. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1509-1516, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2008001100009>

VANTROBA, A. P.; BERTOLINI, I. C.; SENS, T. M. Z. G.; WATZLAWICK, L. F.; SCHRAN, J. A.; PEDROSO, B. C.. Características morfométricas e dendrocronológicas de *Zanthoxylum rhoifolium* Lam em fragmento de Floresta Ombrófila Mista

Aluvial. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 48, n. 127, p. 1-12, 2020.  
<http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v48n127.10>.

WADSWORTH, F. H.. **Producción forestal para América tropical**. Washington: USDA, 2000.

## 4. CAPÍTULO 3 - A INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DE ANDROSTRÓBIOS EM *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze NO SUL DO BRASIL

### 4.1. RESUMO

Os aspectos fisiológicos, a produtividade e o crescimento de uma árvore são completamente dependentes das variáveis ambientais. Dessa maneira, para entender sobre a dinâmica de um remanescente florestal localizado no município de Lages, em Santa Catarina, esse trabalho teve como objetivo analisar a influência das variáveis climáticas na produção de androstróbilos de *Araucaria angustifolia*. Foi realizada a quantificação do total de androstróbilos (na) produzidos durante os anos de 2019 e 2020, por mês. As variáveis climáticas foram coletadas na plataforma do INMET, e houve a coleta dos dados dendro/morfométricos, posteriormente, dos rolos de incremento, para o cálculo do incremento periódico anual em diâmetro (ic) e das eficiências da copa (CE1 e CE2). Em seguida, por meio dos dados coletados, realizou-se a análise multivariada para identificar a inter-relação entre a produção de androstróbilos com as variáveis climáticas, as variáveis dendro/morfométricas, o ic, o CE1 e CE2. Utilizou-se as técnicas de análise de *cluster*, Análise de Componente Principais e Análise Fatorial. Conclui-se que as variáveis climáticas que obtiveram maior relação com o na e com o ic foram: temperatura média do ar e velocidade do vento. Além disso, foi possível verificar que as variáveis dendro/morfométricas são dependentes das variáveis climáticas para seu maior desempenho, possibilitando definir a necessidade de intervenções silviculturais no remanescente florestal. Por fim, percebe-se que quanto maior for os níveis de precipitação, maior o desenvolvimento das estruturas reprodutivas da araucária.

**Palavra-chave:** Climatologia. Estróbilo masculino. Pinheiro Brasileiro.

### 4.2. ABSTRACT

The physiological aspects, productivity and growth of a tree are completely dependent on environmental variables. Thus, in order to understand the dynamics of a forest remnant located in the municipality of Lages, Santa Catarina, this study aimed to analyze the influence of climatic variables on the production of androstrobiles from *Araucaria angustifolia*. The quantification of the total androstrobiles (na) produced during the years 2019 and 2020 per month was performed. Climatic variables were collected on the INMET platform, and there was the collection of dendro/morphometric data, later, from the increment rollers, to calculate the annual periodic increment in diameter (ic) and the efficiencies of the crown (CE1 and CE2). Then, through the collected data, a multivariate analysis was performed to identify the interrelationship between the production of androstrobiles with the climatic variables, the dendro/morphometric variables, the ic, the CE1 and CE2. Cluster analysis, Principal Component Analysis and Factor Analysis techniques were used. It is concluded that the climatic variables that had the greatest relationship with na and ic were: mean air temperature and wind speed. In addition, it was possible to verify that the dendro/morphometric variables are dependent on the climatic variables for their greater performance, making it possible to define the need for silvicultural interventions in the forest remnant. Finally, it can be seen that the greater the precipitation levels, the greater the development of the reproductive structures of the araucaria.

**Keywords:** Climatology. Male strobile. Brazilian Pine.

#### 4.3. INTRODUÇÃO

A Floresta Ombrófila Mista (FOM), conhecida popularmente como Floresta com Araucária ou Mata de Araucária, apresenta em sua estrutura como principal espécie a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, que pelo seu porte e densidade, destaca-se entre as demais espécies presente na formação, que é caracterizada por uma grande diversidade de floras de origens temperada e tropical (GUERRA et al., 2002; MATTOS et al., 2010 RICKEN et al., 2018).

A *Araucaria angustifolia* está entre as espécies da FOM de maior importância socioeconômica, sendo suas características responsáveis pelo endemismo da espécie na região, já que é a região mais fria e com grandes altitudes do país. A araucária pertence à família Araucariaceae, sendo este grupo o mais primitivo de coníferas ainda vivas, sendo uma árvore de vida longa, podendo viver de 200 a 300 anos, ou mais (KLEIN, 2017; ZANETTE et al., 2017).

Por ser uma espécie primitiva, a araucária passou por grandes mudanças climáticas até a atualidade. No Sul do Brasil acredita-se que a ocupação da espécie ocorreu apenas há cerca de 1.500 anos, sendo esse fato ocasionado pelas condições ambientais propícias à espécie na região (ZANETTE et al., 2017).

As condições ambientais podem interferir no crescimento primário e secundário em todas as plantas. Finger (2006) relata que o crescimento das árvores depende da interação do meio ambiente com os fatores genéticos, e entre as características ambientais têm-se: a temperatura, a precipitação, a insolação, o vento, as características físico-químicas e biológicas do solo, a topografia da floresta, a concorrência que há entre as árvores, e os animais.

Em trabalhos percebe-se que algumas espécies florestais de regiões tropicais e subtropicais contêm certa sensibilidade às mudanças climáticas que afeta a fisiologia das árvores, consequentemente o seu crescimento (ZANON e FINGER, 2010).

Em clima temperado as variáveis: temperatura, precipitação, radiação solar, entre outros aspectos meteorológicos são mais significativos do que em climas tropicais, quanto ao crescimento das árvores. Para a *Araucaria angustifolia*, Pulchalski et al. (2006) afirma que a elevada temperatura média anual dificulta o desenvolvimento e o fisiologia reprodutiva da espécie, impedindo a sua regeneração natural e a dinâmica da espécie na

floresta, já que em regiões de clima tropical não ocorrem populações naturais e há maior competição com espécies que são adaptadas a temperaturas mais elevadas.

Em épocas frias na região Sul do Brasil, a araucária é alvo de atividades comerciais com a produção e coleta dos pinhões em ginostróbilos de árvores femininas (SOLÓRZANO-FILHO, 2001). Por vez, o estróbilo masculino tem seu crescimento em fevereiro e início da polinização em setembro até novembro, considerada época fria e com grande importância na reprodução sexual da espécie.

A *Araucaria angustifolia* é completamente dependente das condições ambientais para o seu crescimento, estabilidade e produtividade. E devido a isso, percebe-se que as variáveis climáticas interferem na produção das árvores de ano em ano, como também de região para região, o que faz existir a necessidade da realização de trabalhos que auxiliem a entender o comportamento da espécie frente às variações do clima, e consequentemente manter a estrutura futura da floresta sem interferir na sua fisiologia reprodutiva e mantendo o sucesso de sua adaptação.

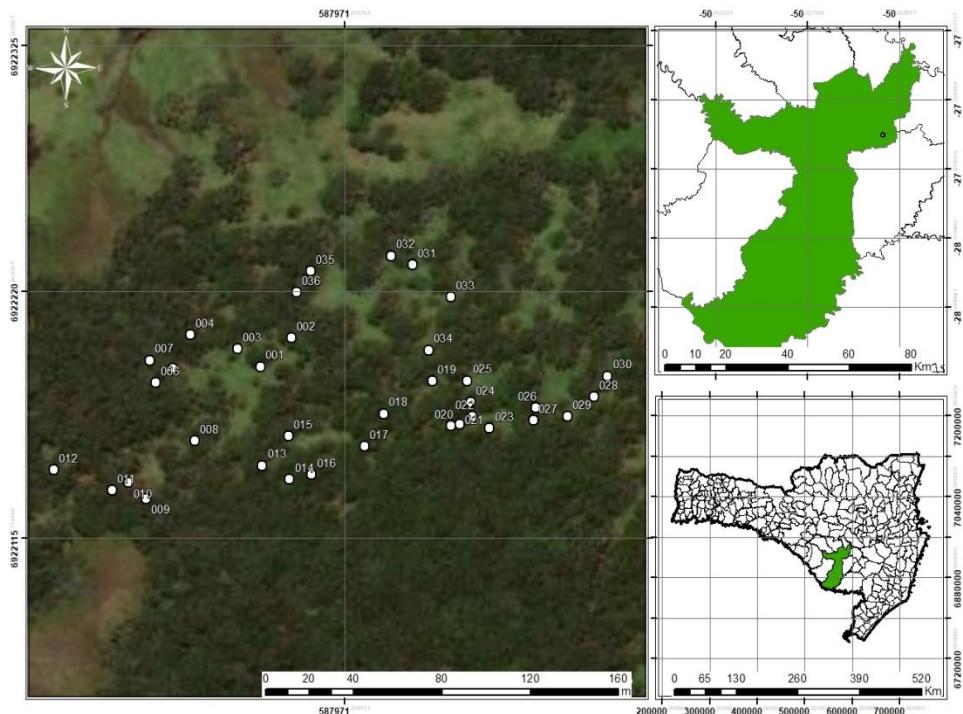
Dessa maneira, de acordo com o que foi exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das variáveis climáticas na produção de androstróbilos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze de acordo com seu incremento periódico diamétrico e eficiência da copa, em um remanescente florestal localizado no município de Lages, em Santa Catarina.

#### 4.4. MATERIAL E MÉTODOS

##### **4.4.1. Caracterização e localização da área de estudo**

O estudo foi desenvolvido em um fragmento florestal localizado na Fazenda Pedras Branca, em Lages, município do estado de Santa Catarina com 84 ha (Figura 13). Classifica-se como Floresta Ombrófila Mista, sendo assim, pertencente ao bioma Mata Atlântica, onde estão inseridas as araucárias que serão mensuradas (Figura 14).

Figura 13. Mapa de localização do município de Lages – SC, 2021.



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

Figura 14. Caracterização do remanescente onde estão inseridas as araucárias estudadas.



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

De acordo com a classificação de Köppen o território catarinense abrange dois tipos climáticos: o subtropical úmido com verões cálidos (Cfa) e o subtropical úmido com

verões não muito quentes (Cfb). Na área em que se deseja coletar os dados predomina o Cfb, ou seja, clima temperado, caracterizado por ser constantemente úmido sem estação seca. A temperatura média da região é de 13,7 °C, com pluviosidade média anual de 1.722 mm e altitude de 1.200 m (ALVARES, 2014).

De acordo com Hess (2012) e Hess et al. (2010) o fragmento florestal da região é de característica nativa, irregular e inequânea, sem manejo florestal e intervenção silvicultural a cerca de 40 anos, o que faz não possuir muita regeneração natural. Ademais, a região tem como principais atividades econômicas a agricultura de subsistência, a pecuária intensiva e a coleta de pinhões.

#### **4.4.2. Coleta dos dados**

Realizou-se a amostragem das árvores de araucária que serão mensuradas de acordo com a abordagem baseada em árvores individuais para facilitar a identificação dos indivíduos de sexo masculino.

Utilizaram-se plaquetas para numerar as árvores, consequentemente, com o auxílio de um GPS (*Global Position System*) da Garmin, foi realizado o georreferenciamento. Considerou-se cada árvore uma unidade amostral (UA), o qual facilitou a análise estatística.

#### **4.4.3. Obtenção dos dados dendro/morfométricos**

Com os dados do diâmetro à altura do peito (d), altura total (h) e raio de copa (rc), obtidos pelas distâncias Norte, Sul, Leste e Oeste, para cada árvore masculina, calculou-se as variáveis morfométricas com as equações abaixo:

$$dc = 2 * rc \quad (1)$$

$$ac = \pi * rc^2 \quad (2)$$

$$ia = \frac{dc}{h} \quad (3)$$

$$hd = \frac{h}{d} \quad (4)$$

Onde: d: diâmetro à altura do peito (cm); h: altura total (m); dc: diâmetro de copa (m); rc: raio de copa (m); ac: área de projeção horizontal de copa (m<sup>2</sup>); ia: índice de abrangência; hd: grau de esbeltez.

#### **4.4.4. Dados meteorológicos**

Para este estudo foram obtidos os dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo eles provenientes da estação meteorológica do município de Lages, em Santa Catarina.

Foram obtidos dados mensais das variáveis: precipitação (pp), temperatura média do ar (temp), velocidade do vento (vv) e umidade relativa do ar (ur).

#### **4.4.5. Quantificação dos androstróbilos**

Para mensurar a produção de androstróbilos avaliaram-se 36 árvores com estróbilos masculinos. Os estróbilos masculinos surgem na planta a partir do mês de novembro, período em que se realizou a quantificação em dois anos consecutivos, 2019 e 2020. Para quantificar os estróbilos foi utilizado um *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAs). O RPAS empregado pertence à marca DJI modelo Phantom Pro 4 (Figura 15) cuja as características estão descritas na Tabela 10, com as respectivas características do voo. Nele possui acoplada uma câmara com resolução espacial de 20 Mpixels, sensor vermelho, verde e azul (RGB) com obturador mecânico e distância focal de 8,8 mm.

Figura 15. *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) da marca *Phantom 4 Pro*.



Fonte – DJI, 2021.

A aquisição das imagens ocorreu com o sobrevoo controlado por um piloto. Em função do tamanho dos objetos a altura do recobrimento aéreo não foi superior a 30 metros. Em função do relevo local e da altura, não pode ser tomadas imagens digitais com recobrimento longitudinal e lateral que possibilitariam a reconstrução tridimensional das árvores e do relevo.

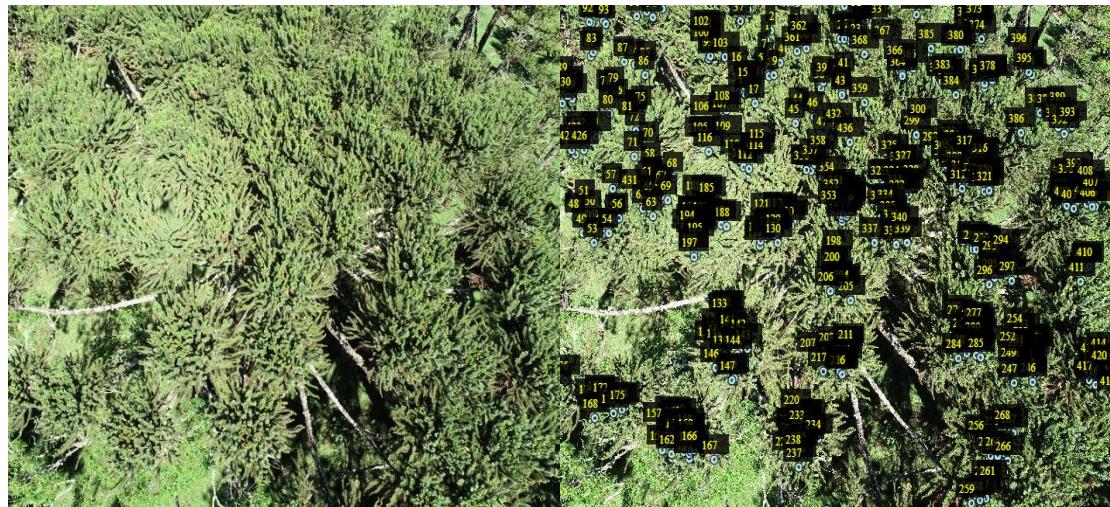
Tabela 10. Descrição das características do vôo e as características do RPAS Phantom Pro 4.

Especificações da aeronave/sensor		Características do voo	
Peso (baterias e hélices)	1.388 g	Ano de execução	2019 e 2020
Tamanho diagonal (incluindo hélices)	350 mm	Altura	30 m
Resistência máxima a velocidade do vento	10 m/s	Sobreposição longitudinal	0%
Sistemas de posicionamento global	GPS/GLONASS	Sobreposição lateral	0%
Sensor	CCD	Velocidade	5 m/s

Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

A identificação e quantificação dos estróbilos masculinos ocorreram por meio de imagens RGB tiradas por intermédio do RPAS, utilizando a plataforma VGG *Image Annotator* como facilitador (Figura 16). A identificação ocorreu por meio da ferramenta de zoom, sendo a quantificação realizada de forma manual.

Figura 16. Caracterização da identificação e quantificação dos androstróbilos por meio da plataforma VGG *Image Annotator* em *Araucaria angustifolia*, Lages – SC.



Fonte: elaborado pelo autor, 2021.

#### **4.4.6. Incremento Periódico Anual**

Para a coleta e medição do incremento periódico anual em diâmetro (ic) das árvores masculinas de *Araucaria angustifolia* foi realizado o método não destrutivo o que totalizou na coleta de 72 rolos de incremento, sendo coletado duas amostras perpendiculares à 1,30 metros para cada árvore.

Após a coleta houve a secagem e colagem dos rolos em suportes de madeira para facilitar no processo de lixamento. Após serem lixados, os rolos de incremento foram demarcados de acordo com a visualização dos anéis de crescimento para sua melhor visualização. Posteriormente, as larguras dos anéis de crescimento foram medidas por meio do *Lintab 6*, em uma precisão de 0,0001 mm, sendo as medidas obtidas por meio do software *Time Series Analysis Program – TSAP-Win*. Após a coleta das larguras houve a datação cruzada para verificar a relação da largura do anel com o ano correspondente, sendo realizada por meio do *Microsoft Excel*, onde foi realizada a análise visual dos gráficos e a correlação entre os dois raios.

Em seguida, calculou-se o incremento periódico anual em diâmetro, considerando um período de 10 anos, de acordo com a equação 3:

$$ic = (d - d_{-t})/t \quad (5)$$

Em que: ic: incremento periódico anual em diâmetro (cm); d: diâmetro à altura do peito obtida no final do período (cm);  $d_{-t}$ : diâmetro à altura do peito obtida no início do período (cm); t: tempo considerado (10 anos, neste estudo).

#### **4.4.7. Eficiência da copa**

Calculou-se a eficiência da copa para as árvores do remanescente florestal de acordo com a razão entre o incremento periódico anual em diâmetro (ic) e a área de projeção horizontal de copa (aphc), como também pela razão entre o número de androstróbilos (na) de cada árvore e a área de projeção horizontal de copa (aphc), de acordo com as Equações 4 e 5, respectivamente.

$$EC1 = ic/aphc \quad (6)$$

$$EC2 = na/aphc \quad (7)$$

Em que: CE1: eficiência de copa ( $\text{cm} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$ ); CE2: eficiência de copa ( $\text{and/m}^2$ ); ic: incremento periódico anual em diâmetro ( $\text{cm} \cdot \text{ano}^{-1}$ ); na: número de androstróbilos (androstróbilo/árvore); aphc: área de projeção horizontal de copa ( $\text{m}^2$ ).

#### **4.4.8. Análise multivariada**

Aplicou-se a análise multivariada para identificar a relação entre o número de androstróbilos (na), as variáveis climáticas, incremento periódico do diâmetro (ic) e a eficiência da copa (ec1 e ec2). O banco de dados foi composto de uma matriz de 36 x 13, onde 36 era o número de androstróbilo por árvore (linhas) e 13 variáveis (colunas), que inclue: número de androstróbilos (na), incremento periódico anual em diâmetro (ic), eficiência da copa pela razão entre o ic/aphc (EC1), eficiência da copa pela razão entre o and/aphc (EC2), o diâmetro à altura do peito (d), o diâmetro de copa (dc), a área de projeção de copa (aphc), índice de abrangência (ia), grau de esbeltez (hd), precipitação (pp), temperatura média do ar (temp), velocidade do vento (vv) e umidade relativa do ar (ur). Como variável suplementar foi utilizado o sítio de Lages, em Santa Catarina. Onde, as análises estatísticas foram realizadas no *software Statistica 10.0* (STATSOFT INC, 2014).

Para evitar que as unidades associadas às variáveis pudessem afetar a similaridade entre os objetos, realizou-se a padronização do banco de dados, de modo que uma variável não interferisse em outra. Dessa maneira, eliminou-se o efeito de arbitrariedade, fazendo com que as variáveis contribuam igualmente no cálculo do coeficiente de similaridade entre os objetos (VICINI, 2005).

Elaborou-se o dendrograma das variáveis por meio da Análise de Agrupamento, onde utilizou-se o método do encadeamento completo (*Complete Linkage*), ou, ainda, método do vizinho mais distante. Neste, a distância entre dois grupos se calcula entre seus dois pontos mais afastados (VICINI, 2005). A medida métrica utilizada na análise de agrupamento foi a do coeficiente de correlação de *Pearson*. E ainda sobre o dendrograma resultante da análise de agrupamento, tracejou-se a linha fenon, delimitando dois níveis, onde cada um representa a metade da distância total, onde interceptou-se os ramos e classificou os grupos (BOROUCHÉ, 1972).

A análise de clusters é um método da estatística multivariada que tenta agrupar um banco de dados em subgrupos homogêneos, chamados de agrupamentos. Tem como finalidade revelar estruturas de classificação nos dados do mundo real. *Clustering* têm

como principal característica um algoritmo que fornece mais de um tipo de partição dos dados. Gera agrupamentos possíveis, e um cluster pode ser mesclado a outro (FERREIRA et al., 2020).

Realizou-se em seguida a Análise dos Componentes Principais (PCA) para identificar se a produção de androstróbilos é dependente das variáveis climáticas, do incremento periódico anual em diâmetro e da eficiência da copa. Sendo o método realizado por meio da análise dos autovalores, onde inclui os componentes com valores superiores a um autovalor maior que um.

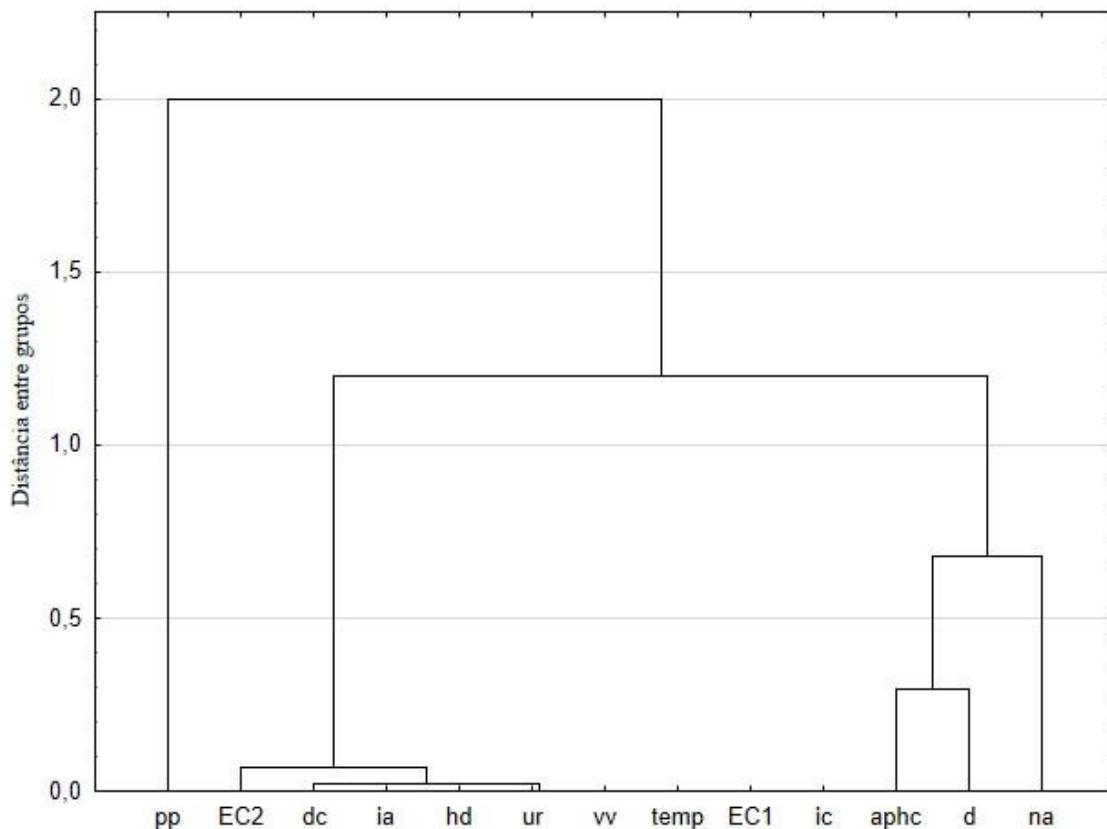
A PCA é utilizada para reduzir o número de variáveis, que precisam ser consideradas, a um menor número de índices. Além disso, por meio da PCA é possível encontrar índices de modo que a variação nos dados pode ser levada em consideração tão brevemente quanto possível, permitindo obter um bom resumo das variáveis originais através de dois ou mais componentes, representando as informações importantes do conjunto de dados primários (DENG et al., 2019)

Conforme Mardia et al. (1979), para verificar as relações entre as variáveis utilizou-se a análise fatorial. Empregou-se a correlação entre as componentes principais e as variáveis originais, com o círculo unitário. Assim, foi possível verificar as variáveis que intervêm e se inter-relacionam com a produção de androstróbilos nos três anos em que ocorre a maturação (outubro, novembro e dezembro).

#### 4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise de agrupamento gerou-se um dendrograma com seus respectivos grupos e relações, onde a linha vertical é o índice de similaridade e a escala horizontal a ordem de agrupamento. As linhas verticais correspondem ao nível que os indivíduos são considerados semelhantes (Figura 17).

Figura 17. Dendrograma do número de androstróbilos de *Araucaria angustifolia* com as variáveis climáticas, o incremento periódico em diâmetro e a eficiência da copa em remanescente florestal localizado em Lages, em Santa Catarina.



Onde: na: número de androstróbilos nos anos de 2019 e 2020, consecutivamente (androstróbilo/árvore); ic: incremento periódico anual em diâmetro à altura do peito (cm.ano<sup>-1</sup>); aphc: área de projeção horizontal de copa ( $m^2$ ); EC1 = eficiência de copa calculada pela relação ic/aphc ( $cm.m^2.ano^{-1}$ ); EC2 = eficiência de copa calculada pela relação na/aphc ( $and./m^2$ ); d: diâmetro à altura do peito (cm); dc: diâmetro de copa (cm); ia: índice de abrangência; hd: grau de esbeltez; pp: precipitação (mm); temp: temperatura média do ar ( $^{\circ}C$ ); vv: velocidade do vento (m/s); ur: umidade relativa do ar (%). Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Observa-se no dendrograma e de acordo com a linha fenon a existência de três grupos: o grupo I, que relaciona o número de androstróbilos (na) com o diâmetro à altura do peito (d), com a área de projeção horizontal de copa (aphc), o incremento periódico anual em diâmetro (ic), eficiência da copa pela razão do ic/aphc (EC1), temperatura média do ar (temp) e velocidade do vento (vv). O grupo II, que relaciona a eficiência de copa (EC2) com o diâmetro de copa (dc), o índice de abrangência (ia), o grau de esbeltez (hd) e a umidade relativa do ar (ur). E o grupo III que comprehende apenas a variável precipitação (pp), sendo essa a que possui maior altura com relação ao eixo y.

O grupo I mostra o comportamento sazonal da velocidade do vento e da temperatura na produção de androstróbilos masculinos. De acordo com Pulchalski et al. (2006) reconhecer as características do ambiente onde há ocorrência da espécie facilita na compreensão da sua ecologia, já que essas variáveis influenciam no seu desenvolvimento. O mesmo autor relata que temperaturas elevadas impede a regeneração natural da araucária, devido à interferência no desenvolvimento das estruturas reprodutivas. Quanto à velocidade do vento, Zanette et al. (2017) relatam a importância dessa variável, pelo fato de que a polinização da araucária ocorre por anemofilia.

Ainda no grupo I percebe-se que o ic se relaciona com as variáveis climáticas. Alguns autores, como Mattos et al. (2015) e Canetti et al. (2014) relatam que o desenvolvimento de uma árvore é complementarmente dependente de variáveis climáticas como temperatura e velocidade do vento. Sendo essas variáveis responsáveis pela largura do anel de crescimento, consequentemente, no incremento periódico anual em diâmetro.

Observa-se a relação entre o na e o ic com o d e a aphc, no grupo I. Essas variáveis, responsáveis pela dimensão da árvore e que estimam o seu crescimento, são diretamente proporcionais à sua produtividade. Confirma que tanto pelo d, como pela aphc, é possível definir o espaço ocupado da árvore e quando se predispõe ao incremento define a produção e produtividade de uma árvore (DURLO et al., 2004; KLEIN et al., 2017).

Ao analisar o grupo II, constata-se que diferente do que ocorre com os ginostróbilos, os androstróbilos não possuem uma relação com a umidade relativa do ar de forma direta quanto ao seu aspecto produtivo e nas funções reprodutivas. De acordo com Reitz et al. (1988) no estróbilo feminino da araucária há estruturas vegetais que são completamente dependentes da ur para que exerçam suas propriedades reprodutivas, que auxiliam na reprodução da espécie.

No grupo II, percebe-se a presença da EC2 se relacionando com as variáveis morfométricas dc, ia e hd. Esse fato confirma que as relações morfométricas e interdimensionais pode identificar a necessidade de realizar intervenções silviculturais no remanescente florestal para maior produção de androstróbilo e diminuição da competição entre as árvores (MINATTI et al., 2016).

Ao verificar os resultados encontrados no dendrograma, verifica-se que a compreensão da sazonalidade do tempo é um aspecto importante para prever sobre a

fenologia de uma espécie vegetal, já que os estágios de desenvolvimento são dependentes dos fatores ambientais (CHUINE, 2017).

A *Araucaria angustifolia* possui maior crescimento reprodutivo e vegetativo em épocas de maior precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, interferindo diretamente na produção de androstróbilos e ginostróbilos (FASSOLA et al., 2002; ZANON, 2007).

O resultado dos autovalores foi obtido por meio da análise fatorial, como também a porcentagem de variância explicada por cada componente e a variância acumulada. No qual, observa-se que os dois primeiros autovalores representam aproximadamente 95% da variância, sendo assim, os dados resumidos e apresentados por meio destes componentes principais (Tabela 10).

Tabela 11. Autovalores e percentual da variância explicada de cada componente.

Número de componentes	Autovalor	Total da variação explicada em %	Autovalores acumulados	% acumulada
1	9,374664	78,12220	9,37466	78,1222
2	2,037706	16,98089	11,41237	95,1031
3	0,457063	3,80886	11,86943	98,9119
4	0,112455	0,93713	11,98189	99,8491
5	0,017587	0,14656	11,99948	99,9956
6	0,000346	0,00288	11,99982	99,9985
7	0,000132	0,00110	11,99995	99,9996
8	0,000043	0,00036	12,00000	100,0000
9	0,000004	0,00003	12,00000	100,0000
10	0,000000	0,00000	12,00000	100,0000

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Quanto ao peso de cada variável na combinação linear proporcionou melhor o entendimento dos fatores. O Fator 1 explica 78,13% da variância total, representando o ic (-0,99), EC1 (-0,99), EC2 (-0,96), d (-0,67), dc (-0,98), ia (-0,99), hd (-0,99), temp (-0,99), vv (-0,99), ur (-0,99), sítio (-0,99) e pp (0,99). O fator 2 com 16,98% de variância, representa o na (0,82) e o aphc (0,92) (Tabela 11).

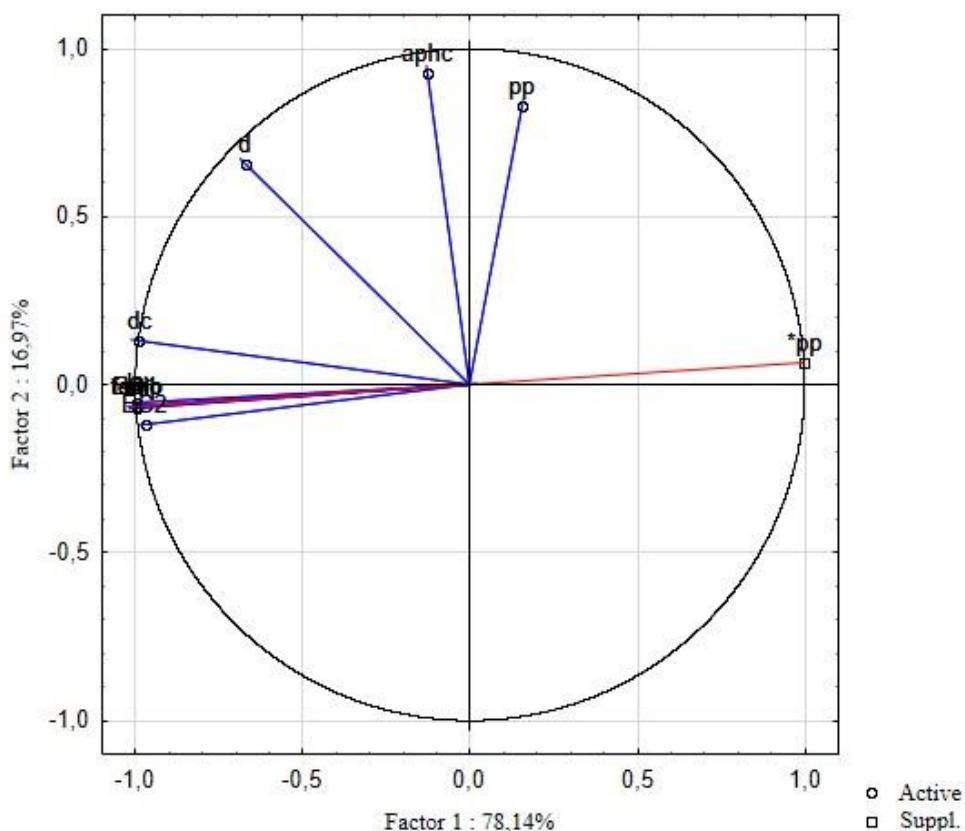
Tabela 12. Extração das componentes principais para cada variável.

Variável	Componentes principais	
	Fator 1	Fator 2
na	0,152675	<b>0,828518</b>
ic	<b>-0,997520</b>	-0,064333
EC1	<b>-0,997515</b>	-0,064691
EC2	<b>-0,969452</b>	-0,117594
d	<b>-0,672606</b>	0,654711
dc	<b>-0,989027</b>	0,132243
aphc	-0,123905	<b>0,928791</b>
ia	<b>-0,998096</b>	-0,054640
hd	<b>-0,997047</b>	-0,069908
temp	<b>-0,997532</b>	-0,064425
vv	<b>-0,997532</b>	-0,064425
ur	<b>-0,997532</b>	-0,064425
sítio	<b>-0,997532</b>	-0,064425
pp	<b>0,997532</b>	0,064425

Onde: na: número de androstróbilos nos anos de 2019 e 2020, consecutivamente (androstróbilo/árvore); ic: incremento periódico anual em diâmetro à altura do peito (cm.ano-1); aphc: área de projeção horizontal de copa ( $m^2$ ); EC1 = eficiência de copa calculada pela relação ic/aphc ( $cm.m^2.ano-1$ ); EC2 = eficiência de copa calculada pela relação na/aphc (and./ $m^2$ ); d: diâmetro à altura do peito (cm); dc: diâmetro de copa (cm); ia: índice de abrangência; hd: grau de esbeltez; pp: precipitação (mm); temp: temperatura média do ar ( $^{\circ}C$ ); vv: velocidade do vento (m/s); ur: umidade relativa do ar (%). Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Por meio da Análise de Componentes Principais é possível afirmar que todas as variáveis contribuíram significativamente para essa análise. Pode-se notar, no círculo unitário, que as variáveis agrupadas se correlacionam entre si (Figura 18).

Figura 18. Análise de componentes principais dos parâmetros número de androstróbilos de *Araucaria angustifolia* com as variáveis climáticas, o incremento periódico do diâmetro e a eficiência da copa em remanescente florestal localizado em Lages, Santa Catarina.



Onde: na: número de androstróbilos nos anos de 2019 e 2020, consecutivamente (androstróbilo/árvore); ic: incremento periódico anual em diâmetro à altura do peito (cm.ano<sup>-1</sup>); aphc: área de projeção horizontal de copa ( $m^2$ ); EC1 = eficiência de copa calculada pela relação ic/aphc; EC2 = eficiência de copa calculada pela relação na/aphc; d: diâmetro à altura do peito (cm); dc: diâmetro de copa (cm); ia: índice de abrangência; hd: grau de esbeltez; pp: precipitação (mm); temp: temperatura média do ar ( $^{\circ}C$ ); vv: velocidade do vento (m/s); ur: umidade relativa do ar (%). Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Observa-se na PCA que há sobreposição das variáveis: ic, EC1, EC2, ia, hd, temp, vv e ur, confirmando que essas variáveis possuem alta correlação, devido à proximidade e a direção dos vetores (VICINI, 2005).

A precipitação está localizada no lado oposto ao círculo unitário, indicando que ao se alterar essa variável reflete na produção de androstróbilos. Confirmando que as araucárias se desenvolvem melhor em locais onde há maior taxa de pluviosidade, e que esse fato influencia na produção dos androstróbilos (ABREVILLE, 1954).

Nesse trabalho, verifica-se que as variáveis dendro/morfométricas são dependentes das variáveis climáticas para seu maior desempenho quanto à definição da dimensão das árvores apropriadas para seu desenvolvimento e produtividade, possibilitando definir a necessidade de intervenções silviculturais no remanescente florestal para diminuir a competição e aumentar a produção. Assim, manter a estrutura da floresta, consequentemente, a sua ecologia. Já que por meio do manejo florestal maior será a facilidade para a fisiologia da espécie, em consequência, maior será os indivíduos regenerantes na floresta.

#### 4.6. CONCLUSÃO

Conclui-se que as variáveis climáticas refletem na produção de androstróbilos e no incremento periódico anual para o sítio estudado. Sendo as variáveis mais representativas a temperatura média do ar e a velocidade do vento.

As variáveis dendro/morfométricas são dependentes das variáveis climáticas para o seu maior desempenho quanto à definição da dimensão das árvores apropriadas para seu desenvolvimento e produtividade, possibilitando definir a necessidade de intervenções silviculturais no remanescente florestal para diminuir a competição e aumentar a produção. Assim, manter a estrutura da floresta, consequentemente, a sua ecologia.

A precipitação é uma variável climática que deve ser levada em consideração, já que quanto maior for o seu nível, maior será o desenvolvimento das estruturas reprodutivas das araucárias.

A PCA mostrou uma redução do conjunto de variáveis em dois componentes. Ademais, a análise fatorial mostrou que as variáveis incremento periódico anual em diâmetro, a eficiência da copa pela razão entre o ic/aphc e pela razão and/aphc, o índice de abrangência, o grau de esbeltez, a temperatura, a velocidade do vento e a umidade relativa do ar, ficam mais próximos do círculo unitário.

#### 4.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G.. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

AUBREVILLE, A. A floresta de pinho no Brasil. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, v. 2, p. 21-36, 1954.

BOROUCE, J. M.; SAPORTA, G.. **Análise de dados**. Rio de Janeiro: Zahar, 1972. 116 p.

CANETTI, A.; RUY, C.C.; MATTOS, P.P.; BRAZ, E.M.. Dinâmica de crescimento de espécies de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista em Colombo, PR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 77, p. 31 - 37, 2014. <http://dx.doi.org/10.4336/2014.pfb.34.77.602>.

CHUINE, I.; RÉGNIÉRE, J.. Process-based models of phenology for plants and animals. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 48, p. 159 – 182, 2017.

DENG, J.; HUANG, Y.; CHEN, B.; TONG, C.; LIU, P.; WANG, H.; HONG, Y.. A methodology to monitor urban expansion and green space change using a time series of multi-sensor spot and sentinel-2a images. **Remote Sensing**, Basel, v. 11, n. 10, p. 1-21, 2019.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrela fissilis* Velozo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 79 – 89, 2004.

FASSOLA, H. E.. 2002. **Biología reproductiva de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Kurtze. y su aplicación al manejo de plantaciones en la provincia de Misiones.** Montecarlo: INTA, EEA, 2002 (Informe final: 1998-2001).

FERREIRA, R. R. M.; PAIM, F. A. P.; RODRIGUES, V. G. S.; CASTRO, G. S. A.. **Análise de cluster não supervisionado em R: agrupamento hierárquico.** Campinas: Embrapa Territorial, 2020.

FINGER, C. A. G.. **Biometria florestal.** Santa Maria: CEPEF; FATEC; UFSM, 2006. 284 p.

GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S.; SCHNEIDER, L.. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: SIMÕES, L . L.; LINO, C. F.. **Sustentável Mata Atlântica:** a exploração de seus recursos florestais. São Paulo: Senac, 2002. p. 85-101.

HESS, A. F.; CALGAROTTO, A. R.; PINHEIRO, R.; WANGINIAK, T. C. R. 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**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 337-345, 2010.

HESS, A. F.. Manejo de *Araucaria angustifolia* pelo quociente de Liocourt em propriedade rural no Município de Painel, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 70, p. 227-232, 2012.

KLEIN, D. R.; HESS, A. F.; KREFTA, S. M.; VIEIRA FILHO, M. D. H.; CIARNOSCKI, L. D.; COSTA, E. A.. Relações morfométricas para *Araucaria*

*angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Santa Catarina. **Floresta**, v. 47, n. 4, p. 501-512, 2017.  
<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v47i4.49667>.

MARDIA, K.; KENT, J.; BIBBY, J.. **Multivariate Analysis**. United Kingdom: Academic Press, 1979.

MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; BERNDT, E. J.; OLIVEIRA, Y. M. M.. Equação de volume para araucárias centenárias na Reserva Florestal da Embrapa/ Epagri. Colombo: Embrapa, 2010. (Comunicado técnico, 256).

MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; DOMENE, V. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GASSON, P.; PAREYN, F. G. C.; ALVAREZ, I. A.; BARACAT, A.; ARAÚJO, E. L.. Climate-tree growth relationships of *Mimosa tenuiflora* in seasonally dry Tropical Forest, Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 1, p. 141-149, 2015. FapUNIFESP (SciELO).  
<http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521011460>.

MINATTI, M.; HESS, A. F.; RICKEN, P.; LOIOLA, T. M.; SOUZA, I. A. Shape and size relationships of *Araucaria angustifolia* in South Brazil. **African Journal of Agricultural**, v. 11, n. 41, p. 4121 - 4127, 2016. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11220>.

PUCHALSKI, A.; MANTOVANI, M.; REIS, M. S.. Variação em populações naturais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze associada a condições edafoclimáticas. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 70, p. 137-148, abr. 2006.

REITZ, P.; KLEIN, R.M.; REIS, A. **Projeto madeira do RS**. Porto Alegre : Sudesul/HBR, 1988. 528p

RICKEN, P.; HESS, A. F.; BORSOI, G. A.. Relações biométricas e ambientais no incremento diamétrico de *Araucaria angustifolia* no Planalto Serrano Catarinense. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1592-1603, 2018. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509835107>.

SOLÓRZANO-FILHO, J. A.. **Demografia e ecologia da dispersão de sementes de Araucaria angustifolia (Bert.) Kuntze (Araucariaceae), numa população relictual em Campos do Jordão, SP.** 2001. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências - Área de Ecologia, Departamento de Ecologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

STATSOFT, INC.. *Statistica (data analysis software system)*, version 10. 20.

VICINI, L; SOUZA, A. M. **Análise multivariada da teoria à prática.** Santa Maria: UFSM/CCNE, 2005. 215 p.

ZANETTE, F.; DANNER, M. A.; CONSTANTINO, V.; WENDLING, I.. Particularidades e biologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia*. In: Zanette, F. & Wendling, I. (Ed.). Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios. Brasília, DF: Embrapa, p. 15-30, 2017.

ZANON, M. L. B.. **Crescimento da Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze diferenciado por dioicia.** 2007. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G.. Relação de variáveis meteorológicas com o crescimento das árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em povoamentos

implantados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 467-476, 30 set. 2010.  
Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/198050982061>.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio desse estudo foi possível verificar que a dimensão das árvores, consequentemente, a estrutura da floresta, influem na produção de androstróbilos. Demonstrationo que é importante realizar atividades silviculturais no remanescente florestal para que as árvores tenham maior espaço para seu crescimento, diminuindo a competição e em consequência obter maior produção.

Além disso, percebe-se que a falta de manejo florestal interfere na fisiologia reprodutiva das araucárias, já que a produção de androstróbilos, que produz o pólen para a reprodução da espécie, diminui devido a atual estrutura da floresta, impossibilitando o crescimento de indivíduos regenerantes. Em contrapartida, esse fator compromete a estrutura futura do remanescente florestal e a produção de pinha, que é o principal recurso advindo da espécie.

As variáveis climáticas interferem na produção de androstróbilos, como no incremento periódico anual em diâmetro. Relatando que a depender das variações climatológicas naquele ano, a produtividade e o crescimento das árvores podem variar.

Por fim, percebe-se que há uma necessidade em realizar novos estudos sobre os androstróbilos da *Araucaria angustifolia*, para melhor entender sobre a reprodução da espécie, e por meio disso verificar a possibilidade em realizar o manejo florestal das florestas de araucária no Sul do Brasil.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº6, de 23 setembro de 2008. Reconhece como espécies da flora brasileira ameaçada de extinção aquelas constantes do Anexo I. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: Acesso em: 10 out. 2015.

DURLO, M. A.; DENARDI, L.. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.

MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; MENEZZI, C. H. S. del; GATTO, D. A.; CALEGARI, L.. Caracterização física e mecânica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 1, p. 67-73, 2010.

RICKEN, P.; HESS, A. F.; BORSOI, G. A.. Relações biométricas e ambientais no incremento diamétrico de *Araucaria angustifolia* no Planalto Serrano Catarinense. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1592-1603, 2018.  
<http://dx.doi.org/10.5902/1980509835107>.

WENDLING, I.; BASÍLIO, A. C. A.; SOUSA, V. A.. Produção de estróbilos masculinos e pólen em plantas de *Araucaria angustifolia*. In: Embrapa Florestas, **Ciência Florestal e Produtos de Origem Vegetal**, Ivar. Colombo: Embrapa Florestas, 2018. p. 237-240.

WHITEHEAD, D.R.. Wind pollination: some ecological and evolutionary perspectives. In 'Pollination biology'. Ed. L Real, v. 5, p. 97–108, 1983.

WREGE, M. S.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; BOGNOLA, I. A.; SOUSA, V. A.; SOUSA, L. P.; GOMES, J. B. V.; AGUIAR, A. V.; GOMES, G. C.; MATOS, M. F. S.; SCARANTE, A. G.; FERRER, R. S.. Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. **Pesq. Flor. Bras.**, Colombo, v. 37, n. 91, p. 331-346, jul. 2017. <http://dx.doi.org/10.4336/2017.pfb.37.91.1413>

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.. Proporção da dioicia e distribuição diamétrica de árvores masculinas e femininas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, em povoados implantados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 425-431, 2009.