

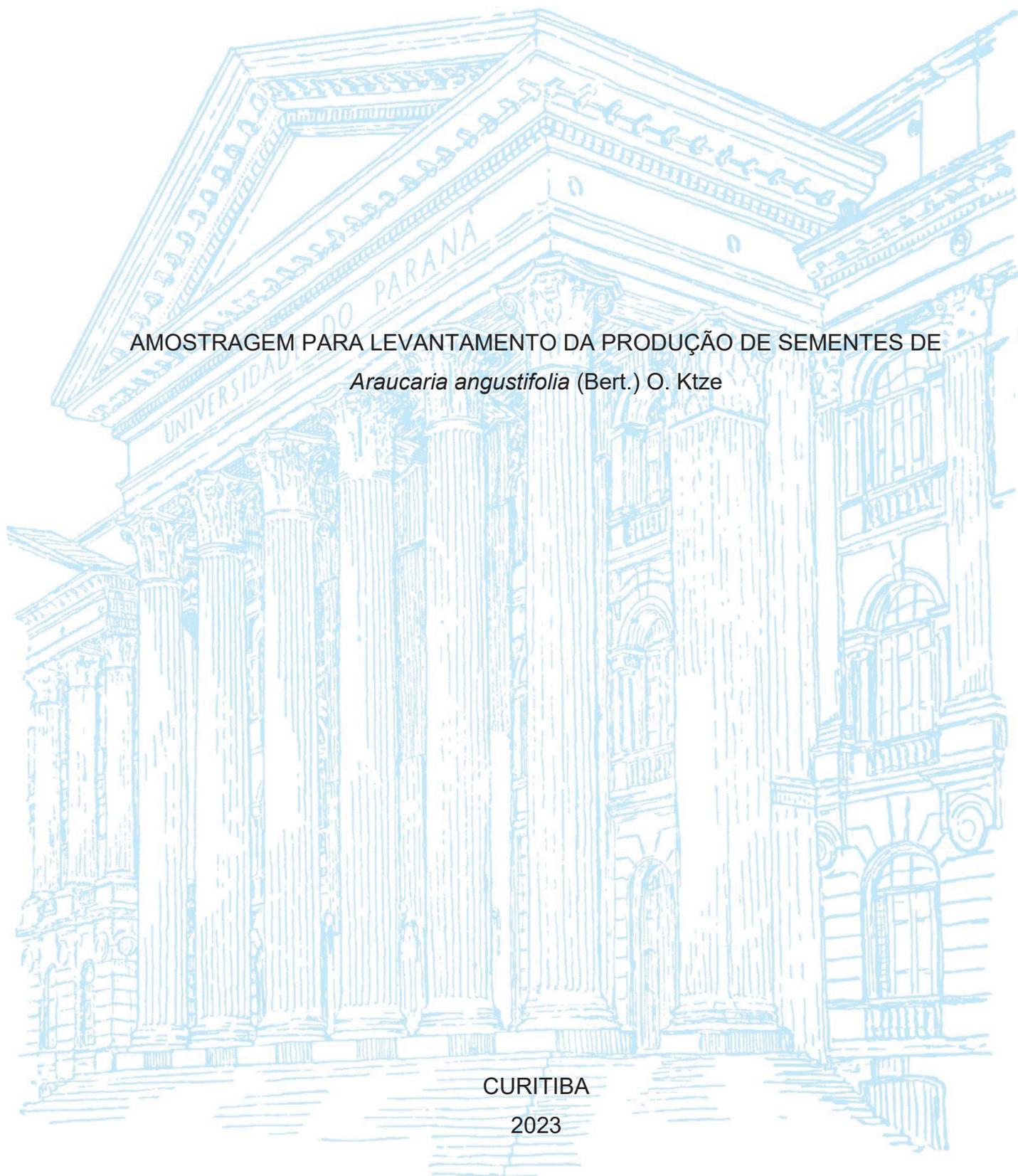
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MAURÍCIO OLIVEIRA JANZEN

AMOSTRAGEM PARA LEVANTAMENTO DA PRODUÇÃO DE SEMENTES DE
Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze

CURITIBA

2023



MAURÍCIO OLIVEIRA JANZEN

AMOSTRAGEM PARA LEVANTAMENTO DA PRODUÇÃO DE SEMENTES DE
Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em engenharia florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração em Manejo Florestal, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Behling
Coorientadora: Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte

CURITIBA

2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca
de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Janzen, Maurício Oliveira

Amostragem para levantamento da produção de sementes de
Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze Maurício Oliveira Janzen. —
Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Orientador: Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto

Coorientadores: Prof. Dr. Alexandre Behling

Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
Defesa: Curitiba, 17/03/2023.

1. *Araucaria angustifolia* - Sementes. 2. *Araucaria angustifolia* - Cultivo.
3. Amostragem. 4. Produtos florestais não madeireiros.
1. Péllico Netto, Sylvio. II. Behling, Alexandre. III. Dalla Corte, Ana Paula.
IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD — 585.2

CDU — 582.473



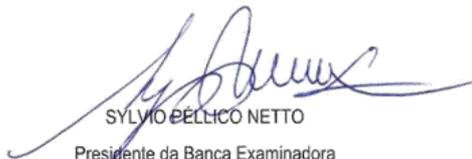
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

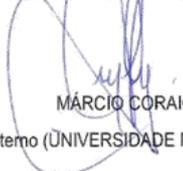
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **MAURICIO OLIVEIRA JANZEN** intitulada: **Amostragem para Levantamentos da Produção de Sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.**, sob orientação do Prof. Dr. SYLVIO PÉLLICO NETTO, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua Aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 17 de Março de 2023.


SYLVIO PÉLLICO NETTO
Presidente da Banca Examinadora


EDILSON BATISTA DE OLIVEIRA
Avaliador Externo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA)


MÁRCIO CORAIOLA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico este trabalho à minha amada esposa Audrey e aos meus filhos
Nicolas, Murilo e Betina.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a todos os pesquisadores que formaram a base de conhecimento científico para que este trabalho pudesse ser realizado, em especial àqueles que tiveram a difícil tarefa de desaprender o que sabiam para iniciar algo novo, como os pesquisadores José de Arimatéa Silva, Laércio da Silveira Barbeiro e Sylvio Péllico Netto, que muito se abstiveram de suas bases sólidas de conhecimento científico do ramo madeireiro para que pudessem interpretar o universo amostral dos produtos florestais não madeireiros.

Ao colega Hudson e à professora Ana Paula Dalla Corte, por terem efetuado em tempos difíceis as fotografias da floresta por meio de veículos aéreos não tripulados e, assim, dado início ao trabalho.

Ao professor Alexandre Behling, que com muita sutileza, me manteve nos eixos, norteou os meus passos e me motivou quando mais precisei.

E, principalmente, pela oportunidade de conhecer durante este estudo pessoas brilhantes, que passei a admirar e se tornaram grandes amigos, como Samuel, Jorge, João, Rafael, Clebson, Gabriel, Cícero, Antônio, Kauê e Lucas.

A ciência é aquilo que aprendemos sobre como não deixar enganar a nós mesmos.

Richard Feynman

RESUMO

As estimativas de produção de sementes de *A. angustifolia* têm como base a relação do número de árvores fêmeas em uma floresta, o número de pinhas em cada árvore, o número de sementes no interior de cada pinha e a variável de interesse que é o peso individual de cada semente. Do ponto de vista estatístico, fica evidente uma estrutura hierárquica em múltiplos estágios com tamanhos populacionais desiguais e dependentes. Neste estudo foi aplicado um processo de amostragem em três estágios, considerando cada árvore fêmea como uma unidade amostral ou unidade primária, o número de pinhas como subunidades amostrais de cada árvore ou unidades secundárias e o número de sementes como subunidades de cada pinha ou unidades terciárias. Para equalizar os tamanhos desiguais populacionais foram efetuadas ponderações no primeiro e no segundo estágio da amostragem. A contagem de pinhas por árvore fêmea na área de estudo foi obtida por meio de imagens aéreas de alta resolução. O número de sementes por pinha e o peso individual de cada semente foram simulados com base no ajuste de probabilidade de dados reais secundários. Os resultados mostram que a variabilidade é decrescente nos três níveis amostrais e, embora em menor número, árvores altamente produtivas contribuem significativamente para o aumento da variância da amostra, ou seja, a variância do peso das sementes entre árvores. As ponderações foram essenciais para equalizar os tamanhos desiguais das unidades amostrais e evitar que o resultado da produção de sementes de árvores mais produtivas e menos abundantes fossem subestimadas no inventário. A utilização de imagens aéreas permitiu uma avaliação prévia ao período de colheita e permitiu encontrar na floresta fenótipos altamente produtivos. Em linhas gerais, o processo de inventário proposto neste estudo apresentou grande potencialidade para o monitoramento da produtividade de sementes de *A. angustifolia* e suas flutuações. A simulação de dados se mostrou uma poderosa ferramenta para o desenvolvimento do processo de amostragem, principalmente por se tratar de um arranjo amostral em múltiplos estágios, no qual as variáveis podem ser de difícil obtenção, como o caso do estudo dos produtos florestais não madeireiros.

Palavras-chave: Sementes de *Araucaria angustifolia*. Amostragem em três estágios. Produtos florestais não madeireiros. Simulação.

ABSTRACT

Estimates of seed production of *A. angustifolia* is based on the relationship of the number of female trees in a forest, the number of pinecones on each tree, the number of seeds inside each pinecone, and the variable of interest, which is the individual weight of each seed. From a statistical point of view, a multi-stage hierarchical structure with unequal and dependent population sizes is evident. In this study a three-stage sampling process was applied, considering each female tree as a sampling unit or primary unit, the number of pinecones as sampling subunits of each tree or secondary units, and the number of seeds as subunits of each pinecone or tertiary units. To equalize the unequal population sizes weightings were applied at the first and second sampling stages. The count of pinecones per female tree in the study area was obtained using high resolution aerial imagery. The number of seeds per pinecone and the individual weight of each seed were simulated based on probability fitting of real secondary data. Results show that variability is decreasing in the three sampled stages, and although fewer in number, highly productive trees contribute significantly to the increase in sample variance, i.e., seed weight variance among trees. The weightings were essential to equalize the unequal sizes of the sampling units and avoid that the seed production results of more productive and less abundant trees were underestimated in the inventory. The use of aerial images allowed an evaluation prior to the harvest period and made it possible to find highly productive phenotypes in the forest. In general, the inventory process proposed in this study showed great potential for monitoring the seed productivity of *A. angustifolia* and its fluctuations. The data simulation proved to be a powerful tool for development of the sampling process, mainly because it is a multi-stage sampling arrangement, where the variables can be difficult to be obtained, as the case of the study of non-timber forest products.

Keywords: *Araucaria angustifolia* seeds. Three-stage sampling. Non-timber forest products. Simulation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ILUSTRAÇÃO DOS ESTÁGIOS ONCOGÊNICOS DA <i>A. angustifolia</i> .	17
FIGURA 2 – MAPA DA ÁREA DE OCORRÊNCIA DA ARAUCÁRIA	18
FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DO FRAGMENTO ONDE FOI CONDUZIDA A PESQUISA.....	27
FIGURA 4 – IMAGENS DOS TRÊS ESTÁGIOS DA AMOSTRAGEM	34
FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DA DIOICIA NA ÁREA DE ESTUDOS	39
FIGURA 6 – DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DA POPULAÇÃO DE ARAUCÁRIAS, INDIVÍDUOS MACHOS E FÊMEAS.....	41
FIGURA 7 – FOTOGRAFIAS AMPLIADAS DAS COPAS COM PINHAS.....	42
FIGURA 8 – NÚMERO DE PINHAS POR FREQUÊNCIA DE MATRIZES	43
FIGURA 9 – AJUSTE DA DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE SEMENTES POR PINHA	45
FIGURA 10 – DISTRIBUIÇÃO DO PESO INDIVIDUAL DAS SEMENTES (g).....	46

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – CICLO REPRODUTIVO DA <i>Araucaria angustifolia</i> NA REGIÃO DE CURITIBA -PR.....	21
--	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COMPARAÇÃO DO NÚMERO DE PINHAS POR ÁRVORE EM DIFERENTES ESTUDOS E REGIÕES.....	43
TABELA 2 – ESTATÍSTICA DO AJUSTE DAS FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE DO NÚMERO DE SEMENTES POR PINHA ...	45
TABELA 3 – ESTATÍSTICA DO AJUSTE DAS FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA O PESO UNITÁRIO DE SEMENTE	46
TABELA 4 – ORGANIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DOS TRÊS ESTÁGIOS DA AMOSTRAGEM EM DUAS ÁRVORES.....	16
TABELA 5 – PESO MÉDIO DE SEMENTES POR PINHA.....	49
TABELA 6 – NÚMERO MÉDIO DE SEMENTES POR PINHA.....	50
TABELA 7 – VARIAÇÃO DA MÉDIA DE SEMENTES POR PINHA EM DIFERENTES ESTUDOS	51
TABELA 8 – ÍNDICE DE VARIABILIDADE DE PINHAS POR ÁRVORE	51
TABELA 9 – SOMATÓRIO DO PESO PONDERADO EM UMA PINHA	53
TABELA 10 – PESO MÉDIO PONDERADO DE SEMENTES POR ÁRVORE	54
TABELA 11 – CÁLCULO DA VARIÂNCIA DO PESO MÉDIO DAS SEMENTES ENTRE MATRIZES	56
TABELA 12 – PROCEDIMENTO PARA O CÁLCULO DA VARIÂNCIA DO PESO MÉDIO DAS SEMENTES ENTRE PINHAS	57
TABELA 13 – VARIÂNCIA DO PESO MÉDIO DAS SEMENTES ENTRE PINHAS EM CADA ÁRVORE	58
TABELA 14 – VARIÂNCIA DO PESO MÉDIO DAS SEMENTES DA PRIMEIRA PINHA	58
TABELA 15 – CÁLCULO DA VARIÂNCIA DO PESO DAS SEMENTES NO INTERIOR DE CADA PINHA, PARA 40 PINHAS.....	59
TABELA 16 – PESO MÉDIO DAS SEMENTES POR PINHA NA AMOSTRAGEM ..	61
TABELA 17 – PESO MÉDIO DAS SEMENTES POR ÁRVORE	62
TABELA 18 – PROCEDIMENTO DO CÁLCULO DO PESO MÉDIO DAS SEMENTES POR ÁRVORE AMOSTRADA	62
TABELA 19 – PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DE VARIÂNCIA DO PESO MÉDIO DAS SEMENTES ENTRE ARAUCÁRIAS	63

TABELA 20 – PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DA VARIÂNCIA DO PESO DAS SEMENTES ENTRE PINHAS DE UMA MESMA ÁRVORE	64
TABELA 21 – VARIÂNCIA DO PESO MÉDIO DE SEMENTES DENTRO DA PRIMEIRA PINHA AMOSTRADA.....	64
TABELA 22 – PROCEDIMENTO PARA O CÁLCULO DA VARIÂNCIA DA MÉDIA DA POPULAÇÃO	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo geral	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE	17
2.1.1	Reprodução	20
2.1.1.1	Importância da genética da <i>Araucaria angustifolia</i>	20
2.1.1.2	Fenologia reprodutiva	21
2.1.1.3	Produção de sementes	22
2.2	QUANTIFICAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIREIROS	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	27
3.1.1	Descrição da área de estudos	27
3.1.2	Descrição da população de <i>Araucaria angustifolia</i>	28
3.2	OBTENÇÃO DOS DADOS	28
3.2.1	Unidades primárias	28
3.2.2	Mapeamento da dioica	29
3.2.3	Unidades secundárias	29
3.2.4	Unidades terciárias	30
3.2.4.1	Definição	30
3.2.4.2	Número de sementes por pinha	30
3.2.4.3	Peso individual de cada semente	31
3.2.4.4	Simulações	31
3.2.4.5	Funções densidades de probabilidade	31
3.2.5	Organização dos dados dos três estágios da amostragem	32
3.3	DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE AMOSTRAGEM	32
3.4	PARÂMETROS DA POPULAÇÃO	35
3.4.1	Médias	35
3.4.2	Variâncias	36
3.5	ESTATÍSTICA DA AMOSTRAGEM	37

3.5.1	Estimadores de média	37
3.5.2	Estimadores de variância	37
3.5.3	Variância da média	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA POPULAÇÃO	39
4.2	CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES SECUNDÁRIAS	41
4.3	CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES TERCIÁRIAS	44
4.3.1	Simulação do número de sementes por pinha	44
4.3.1.1	Ajuste das funções de densidade probabilística do número de sementes por pinha.....	44
4.3.1.2	Simulação.....	45
4.3.2	Simulação do peso individual de sementes.....	46
4.3.2.1	Ajuste das funções densidade de probabilidade para o peso individual de sementes.....	46
4.3.2.2	Simulação dos dados	47
4.3.3	Parâmetros da população.....	47
4.4	APLICAÇÃO DO PROCESSO DE AMOSTRAGEM.....	49
4.4.1	Composição da população florestal.....	49
4.4.2	Médias	49
4.4.3	Variâncias.....	56
4.5	AMOSTRAGEM.....	61
4.5.1	Médias	61
4.5.2	Estimadores da variância	62
4.5.3	Variância da média	65
5	CONCLUSÕES	67
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	67
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2020 foram comercializadas aproximadamente 10 mil toneladas de sementes *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze no Brasil. Referente aos principais produtores brasileiros, mais de 70% da safra é proveniente dos estados do Paraná e de Minas Gerais, seguidos de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (IBGE, 2021).

Contudo, esses resultados abrangem apenas as sementes comercializadas formalmente, mediante a emissão de nota fiscal, sem registro pelos órgãos de controle do comércio informal, caracterizado por venda direta ou pelo consumo de parte da população que, habitualmente, faz coletas para o uso próprio.

Tais resultados não caracterizam a produção real de sementes para a espécie, concernente à população de indivíduos por estado, alterando o ranking de produção a nível nacional.

Conforme dados do IBGE (2021), nos últimos 10 anos a safra nacional praticamente dobrou, concomitantemente com o aumento do preço por quilograma. De forma antagônica, levantamentos demográficos recentes da *A. angustifolia* em remanescentes naturais têm apontado um declínio destas populações, devido exploração ilegal de sua madeira e mortalidade natural, resultante da senescência de suas populações e baixa regeneração natural (CARVALHO, 2003; SOLIGO *et al.*, 2004; SANQUETTA e MATTEI, 2006; SOUZA, 2007; PALUDO *et al.*, 2009; SCHIKOWSKI *et al.*, 2016).

O risco proeminente de extinção da espécie é agravado devido às poucas iniciativas, sejam elas no âmbito privado ou governamentais, de plantio para a manutenção e conservação da espécie (ZANETTE *et al.*, 2017).

A *Araucaria angustifolia* é a espécie chave para a conservação da Floresta Ombrófila Mista no Bioma da Mata Atlântica, pois permite agregar formas de manejo sustentável de produtos madeireiros e não madeireiros à economia local.

As grandezas relacionadas à produtividade de sementes e suas variações para a espécie não são monitoradas, tornando informações sobre disponibilidade deste recurso, a intensidade de colheita e sua valorização de mercado, não condizente com as políticas públicas para a conservação da espécie.

O processo de monitoramento quantitativo e biometricamente rigoroso de produtos florestais por meio de inventários de cunho estratégico, constitui uma engenharia essencial para avaliar e gerir de forma racional o uso destes recursos antes do seu total esgotamento (PELLICO NETTO; BRENNAN, 1997).

O processo de inventário de biomassa de sementes da *A. angustifolia* constitui uma tarefa dispendiosa, dadas as restrições em se obter as informações das variáveis relacionadas aos seus estimadores de produção. Isto se deve, principalmente, ao comportamento reprodutivo singular e o seu grande porte no espaço vital das florestas, que dificultam a visualização e a coleta de suas estruturas reprodutivas para análise. Soma-se a isso, práticas de exploração precoce de pinhas por extratores informais, que interferem significativamente na avaliação de resultados com base em dados coletados a campo.

As estimativas de produção de sementes de *A. angustifolia* têm como base a relação do número de árvores fêmeas por área, o número de pinhas por árvore, o número de sementes por pinha e o peso individual de cada semente (SOLÓRZANO FILHO *et al.*, 2001; MANTOVANI *et al.*, 2004, ANSELMINI *et al.*, 2006, SILVA *et al.*, 2009; FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2011; DANNER *et al.*, 2012). Essa abordagem ocorre em diferentes níveis populacionais com métricas diferentes e estas variações podem comprometer a qualidade de seus estimadores.

Portanto, na presente pesquisa foram investigadas as seguintes questões: i) quais são os níveis hierárquicos de amostragem a serem considerados para a quantificação da produção de sementes? e ii) qual a estrutura de amostragem apropriada a ser aplicada?

Neste universo amostral de rendimentos, as árvores são consideradas como as unidades amostrais primárias do inventário, sendo o número de pinhas uma subamostragem de cada árvore e o número de sementes por pinha uma subamostragem das pinhas coletadas. Portanto, trata-se de uma estrutura em multinível. Do ponto de vista estatístico, fica evidente uma estrutura hierárquica em múltiplos estágios com tamanhos amostrais desiguais.

Diante desse cenário, esta pesquisa visa investigar a aplicação do processo de amostragem em três estágios para quantificar a produção de sementes de *Araucaria angustifolia*, cuja estrutura amostral teórica consta em Cochran (1942), com ponderações para equalizar os diferentes subníveis amostrais, conforme apresentado por Barbeiro (2012) para avaliar a produção de castanhas do Pará.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem o objetivo aplicar um processo de amostragem para levantamentos da produção de sementes de *Araucaria angustifolia*.

1.1.2 Objetivos específicos

Estabelecer os níveis hierárquicos da amostragem para a quantificação da produção de sementes de *A. angustifolia*;

Desenvolver um processo de enumeração de pinhas por imagens aéreas com o uso de veículo aérea não tripulado;

Simular o número de sementes por pinha e o peso individual das sementes;

Incorporar ponderações para equalizar as intensidades populacionais nos diferentes níveis amostrais;

Avaliar a consistência e a precisão dos estimadores estatísticos nos três estágios amostrais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE

Conhecida como *curi* ou *curiy* pelos povos indígenas tupi-guarani, a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze., foi inicialmente classificada taxonomicamente por Giuseppe Bertolini em 1819, como *Columbia angustifolia* Bert. e reclassificada por Achille Rich em 1922, como *Araucaria brasiliana* Rich. e, finalmente, retificada como *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. por Ernest Otto Kuntze. Popularmente é conhecida por pinheiro do Brasil, pinheiro do Paraná, pinho ou araucária. (SOLORZANO FILHO, 1999).

A araucária é uma gimnosperma nativa do Brasil que pode viver de 200 a 300 anos, possui um tronco cilíndrico, reto e raramente ramificado, atinge de 20 a 50 metros de altura e 1 a 2 metros de diâmetro (REITZ; KLEIN, 1966).

Solórzano-Filho e Kraus (1999) descrevem a araucária como uma árvore de rara beleza, cuja arquitetura é facilmente reconhecida por leigos, que geralmente a associam à forma de um candelabro.

A copa da araucária é um indicativo do seu estágio ontogênico, sendo ela cônica na fase juvenil e no formato de umbela ou taça, quando adulta ou senescente, como representada na FIGURA 01. Os ramos primários são cilíndricos, dispostos em 8 a 15 verticilos, tendo 6 a 10 ramos por verticilo curvos para cima, sendo que os inferiores são maiores que os superiores e ambos apresentam ramos secundários (grimpas) alternos e agrupados no ápice (REITZ; KLEIN, 1966).

FIGURA 1 – ILUSTRAÇÃO DOS ESTÁGIOS ONTOGENÉTICO DA *A. angustifolia*.
(1) FASE JOVEM; (2) FASE ADULTA E (3) EM SENESCÊNCIA.



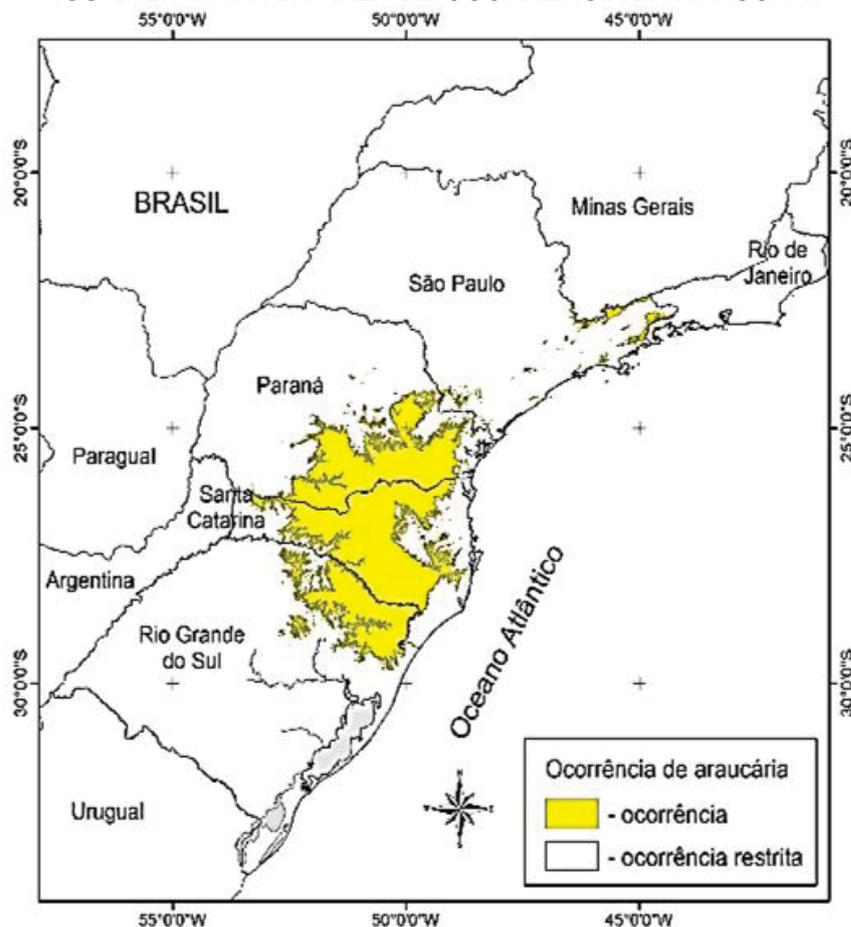
FONTE: O autor (2023).

Originalmente, a espécie cobria grandes áreas contínuas na região sul, estendendo-se para São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo na forma de pequenas manchas isoladas, principalmente nas regiões mais frias e altas destes estados (FIGURA 2). Devido ao seu valor madeireiro (REITZ; KLEIN, 1966; MATTOS, 1994; GUERRA *et al.*, 2002), a espécie quase foi levada à extinção no final do século 20 e, atualmente, apenas de 1 a 2 % da imensa cobertura original da floresta de araucária.

A espécie se encontra incluída na lista oficial de espécies ameaçadas de extinção (BRASIL, 2008). Em 2001, uma resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente suspendeu o corte e a exploração das espécies que constam na lista oficial do IBAMA no bioma da Mata Atlântica, incluindo a *Araucaria angustifolia* neste contexto.

A proibição do corte não foi suficiente para frear o desmatamento e surtiu um efeito negativo quanto a manutenção da espécie, que compete por áreas agrícolas (ZANETTE *et al.*, 2017).

FIGURA 2 – MAPA DA ÁREA DE OCORRÊNCIA DA ARAUCÁRIA



FONTE: Adaptado de Wrege *et al.* (2017).

A *A. angustifolia* é uma espécie unissexuada (dioica), raramente bissexuada (monoica), por isso suas populações são compostas por pinheiros machos e fêmeas, tendo cada qual sua atribuição biológica específica, sendo o masculino como doador de pólen e o feminino como produtor de sementes.

A determinação do sexo desta espécie é feita exclusivamente pela visualização dos órgãos reprodutivos, não existindo qualquer outro caractere morfológico fenotípico que possa diferenciar árvores machos e fêmeas (HERTEL, 1966; REITZ; KLEIN 1966; BANDEL; GURGEL 1967).

Estudos sobre a proporção dos sexos desta espécie têm demonstrado uma ligeira predominância de pinheiros machos, tanto em povoamentos naturais quanto em plantados, contudo, sempre próximo da relação de 1:1 (BANDEL; GURGEL, 1967; MATTOS, 1972; CARVALHO, 1994, SOLIGO *et al.*, 2004; ZANON *et al.*, 2009; PALUDO *et al.*, 2009). Esta estrutura demográfica padrão da dioicia de populações de *A. angustifolia* traz informações quanto a ocupação da área para a estimativa de indivíduos femininos por hectare (PALUDO *et al.*, 2009) e podem subsidiar estratégias de manejo e/ou auxiliar em processos de amostragem (ANJOS *et al.*, 1998).

A densidade da *A. angustifolia* por área pode variar de 1 (uma) a 200 plantas por hectare para diferentes fragmentos e diferentes regiões (REITZ *et al.*, 1978). Puchalski *et al.* (2006) atribuíram essas variações às condições edafoclimáticas, ao estágio sucessional e às ações antrópicas, dado que os autores encontraram estas alterações em todas as áreas de estudos.

Levantamentos demográficos da *A. angustifolia* em remanescentes naturais têm apontado uma tendência de redução dessas populações devido à baixa regeneração natural (CARVALHO, 2003; SOLIGO *et al.*, 2004; SANQUETTA e MATTEI, 2006; PALUDO *et al.*, 2009; SCHIKOWSKI *et al.*, 2016) e uma retração da espécie para áreas de menor latitude e maior altitude devido ao efeito das mudanças climáticas (WREGGE *et al.*, 2017).

Segundo Zanette *et al.* (2017) a regeneração natural é limitada no interior das florestas naturais devido à baixa luminosidade que reduz as chances competitivas para as plântulas da espécie. Além disso, os autores ressaltam, ainda, a prática comum de corte de plantas jovens de *A. angustifolia* por questões legais, dada a impossibilidade do corte destas quando adultas.

Embora *A. angustifolia* tenha grande relevância ecológica, econômica e cultural no sul do Brasil, poucas são as iniciativas silviculturais para a sua manutenção,

sejam elas pela própria falta de conhecimentos sobre seu comportamento biológico ou devido aos instrumentos legais que dificultam seu cultivo e manejo (ZANETTE *et al.*, 2017).

2.1.1 Reprodução

2.1.1.1 Importância da genética da *Araucaria angustifolia*

A araucária é uma espécie dioica (REITZ; KLEIN, 1966). Espécies com este sistema de reprodução apresentam uma estratégia baseada na especialização fisiológica e morfológica para cada sexo, sendo propósito máximo desta evolução evitar o auto-cruzamento e, assim, consequentemente aumentar a variabilidade genética da espécie (THOMSON; BARRET, 1981).

Embora a exploração predatória da Floresta Ombrófila Mista reduziu drasticamente as populações da *A. angustifolia* (BRASIL, 2008), estudos genéticos têm revelado o grande potencial que a espécie apresenta para recuperar, manter e até aumentar sua diversidade genética (AULER *et al.*, 2002; STEFENON *et al.*, 2008, STEFENON *et al.*, 2009; FERREIRA *et al.*, 2012), contudo, ainda sejam necessárias ações de conectividade entre fragmentos, afim de atender áreas isoladas, principalmente em locais com altas taxas de endogamia (BITTENCOURT, 2010).

A ampla distribuição da *A. angustifolia* contribui para a diferenciação de raças geográficas ou ecotipos, variações já verificadas por Gurgel e Gurgel Filho (1967). Reitz e Klein (1966) descreveram nove variantes para a espécie: 1. elegans; 2. sancti josephi; 3. angustifolia; 4. caiová; 5. indehiscens; 6. nigra; 7. striata; 8. semi-alba; 9. alba. A distinção das raças é efetuada por meio das diferenças na coloração das sementes e da época de seu amadurecimento (CARVALHO, 2004).

A espécie *A. angustifolia* demonstra um grande potencial para trabalhos de melhoramento genéticos, devido aos caracteres quantitativos encontrados em testes de procedência e progênies (SILVA *et al.*, 2018).

A reprodução controlada para a espécie é desvantajosa, devido seu ciclo reprodutivo ser longo (SOUSA; HATTEMER, 2003), pois a primeira floração ocorre de 12 a 15 anos desde o plantio (BANDEL; GURGEL, 1967) e a reprodução pode durar mais dois anos desde sua polinização até a queda das sementes (MANTOVANI *et al.*, 2004).

2.1.1.2 Fenologia reprodutiva

As inflorescências desenvolvem-se anualmente na extremidade dos ramos da planta adulta, sendo o androestróbilo em árvores macho e o ginoestróbilo nas árvores fêmeas. Os androestróbilos possuem numerosas escamas férteis em torno de um eixo alongado, que carregam em seu interior diversos sacos polínicos, onde se desenvolvem o grão de pólen. Seu ciclo dura de 10 a 11 meses, iniciando a liberação do pólen nos meses secos de setembro a novembro de cada ano (QUADRO 1), encerrando seu ciclo com o secamento e abortamento da estrutura (MANTOVANI, 2004; ANSELMINI, 2006).

QUADRO 1 – CICLO REPRODUTIVO DA *Araucaria angustifolia* NA REGIÃO DE CURITIBA-PR

2019				2020								2021													
S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	
3----																									
				4-----																					
															5-----										
																		6-----							
1----																									
				2-----																					
											3----														
															4-----										
													1-----												
															2-----										
																						3			
1. Início de formação do ginoestróbilo e androestróbilo.																									
2. Período de crescimento e desenvolvimento dos estróbilos.																									
3. Período de polinização.																									
4. Período de crescimento e fecundação dos óvulos.																									
5. Período de crescimento e formação das sementes																									
6. Período de maturação e queda das sementes.																									

FONTE: Adaptado de Anselmini (2006).

O processo de dispersão do pólen é difuso e conduzido exclusivamente pelo vento (MATTOS, 2004), contudo este processo abiótico é caracterizado por altas taxas de perdas, principalmente devido ao grão de pólen não possuir sacos aéreos e ser relativamente pesado (SOUSA; HATTEMER, 2003).

Segundo Sousa (2000), o período de dispersão do pólen pode se prolongar nos anos com alta pluviosidade e ocorrer de forma mais rápida nos anos secos. A autora associa a alta pluviosidade no período de polinização da *A. angustifolia* com a diminuição da produtividade de sementes, uma vez que as chuvas ocasionam a queda

do grão de pólen e a retirada deles do contato com as pinhas, impedindo a sua fecundação.

Estudos de Bittencourt e Sebben (2008) relatam que a polinização da *A. angustifolia* cobre grandes distâncias, podendo atingir até 2km, contudo a alta densidade de árvores e barreiras naturais podem interferir neste processo, que os autores consideram ser de 200 m de alcance, em média.

A formação do ginosestróbilo inicia-se junto com a formação do androestróbilo nos meses de novembro e dezembro (QUADRO 1), conforme Anselmini *et al.* (2006).

O ginosestróbilo é composto por numerosas folhas carpelares inseridas ao redor de um eixo cônico, ou seja, as folhas modificadas com a presença do óvulo, quando fecundadas dão origem às sementes e quando não fecundadas dão origem a sementes vazias, também chamadas de pinhões chochos; já as estruturas sem a presença do óvulo têm função de preenchimento (REITZ; KLEIN, 1979).

O ciclo do estróbilo feminino, do aparecimento da pinha até o amadurecimento das sementes ocorre em período de 20 a 24 meses, sendo 19 meses após a polinização até a dispersão de sementes e, devido a isso, é comum a ocorrência de estruturas reprodutivas em diferentes estágios de desenvolvimento em um mesmo ramo (MANTOVANI *et al.*, 2004). O ciclo pode estender até 37 meses, nos casos de raças de *A. angustifolia* de produção tardia (ANSELMINI *et al.*, 2006).

A abertura das pinhas e queda das sementes geralmente ocorre de março a setembro no município de Curitiba e região metropolitana (QUADRO 1), variando de plantas precoces a tardias em uma mesma população (ANSLEMINI *et al.*, 2006).

2.1.1.3 Produção de sementes

As diferenças na produtividade de sementes da *A. angustifolia* por hectare ocorrem principalmente em função do número de árvores fêmeas por área e o grau de evolução das florestas (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2011), assim como a idade, o estado fitossanitário, a densidade, a forma de condução e suas características genéticas (ATANAZIO *et al.*, 2018). A idade define o período e a intensidade de florescimento e, conseqüentemente, a sua frutificação (SOUSA; HATTEMER, 2003).

Estudos referentes à produção de sementes têm apontado maior produtividade para árvores de ocorrência natural em áreas de campo do que em áreas florestais (GUERRA *et al.*, 2002).

Alguns estudos apontam uma maior produtividade de sementes em árvores de florestas naturais do que em áreas de plantio, fator que pode ser atribuído ao grau de competitividade das plantas por recursos naturais, principalmente entre indivíduos da mesma espécie (GUERRA *et al.*, 2003; MANTOVANI *et al.*, 2004; SILVA; REIS, 2009).

Figueiredo Filho *et al.* (2011), comparando a produtividade de sementes de *A. angustifolia* em área cultivada e em floresta natural, encontrou maior número de sementes por pinha e do peso médio de sementes em árvores ocorrentes na floresta natural. Embora a produção total por hectare no estudo efetuado em área de cultivo resultou em maior produção por hectare, fator atribuído ao maior número de árvores fêmeas por área.

No geral, é atribuído baixa produtividade do número de pinhas por árvore em áreas florestais do que em áreas abertas, devido à perda dos ramos basais em virtude da competição de dossel e um menor número de sementes por pinha, devido à dificuldade de movimentação do grão de pólen nestas áreas (DANNER *et al.*, 2012; ZANETTE *et al.*, 2017).

Zanette *et al.* (2017) explicam que uma árvore de araucária deve, primeiramente, produzir muitas pinhas e estas serem polinizadas adequadamente para ela apresentar alta produtividade de sementes.

Há duas formas de produção de pinhas conhecidas para a espécie: quando elas produzem pinhas somente nos ramos primários e quando produzem nos ramos primários e secundários conjuntamente (ZANETTE *et al.*, 2017). Genótipos com a capacidade de produzir nos dois ramos são mais produtivos, no entanto, pinhas que crescem nos ramos secundários desenvolvem sementes menores do que aquelas oriundas dos ramos primários (ANSELMINI *et al.*, 2005).

O tamanho e o peso das sementes também podem variar notavelmente de uma árvore para outra, devido ao efeito da planta mãe, que contribui significativamente com a formação do endosperma primário (MANTOVANI *et al.*, 2004), e/ou conforme a variedade/raça de *A. angustifolia* (ADAN *et al.*, 2016).

A altitude também influencia a biometria das sementes, sendo atribuídos os menores valores às regiões mais altas (CASTRO *et al.*, 1959). Bandel (1966) descreve

que a latitude tem maior influência no tamanho das sementes que a altitude, verificando que quanto maior a latitude, maior o tamanho das sementes.

A variação da produção anual de sementes da *A. angustifolia* é conhecida em nível de árvore, ou de populações (MANTOVANI *et al.*, 2004; SILVA; REIS 2009; NARDIN, 2010; MATTOS, 2011; ZECHINI *et al.*, 2012) e estas são influenciadas principalmente por questões climáticas especialmente nos estágios de polinização e formação das sementes (SOUZA *et al.*, 2010). Contudo, dentro das populações e no conjunto delas, as flutuações de produtividade são regidas por um balanço produtivo, no qual as árvores com baixa produção são compensadas por aquelas com maior produtividade na mesma população, ou no conjunto das populações (ZECHINI *et al.*, 2012).

Conforme Souza *et al.* (2010), as flutuações de produtividade da *A. angustifolia* tem se apresentado de forma contínua e moderada, com valores aleatórios próximos à média, não sendo apresentado comportamento de semeadura em mastro, ou seja, uma sincronia de picos de produção seguido de anos com baixa produtividade. Esta característica é também apresentada nos estudos de produtividade em diferentes populações para a espécie *Araucaria araucana* (Molina) K. Koch no Chile (SANGUINETTI; KITZBERGER, 2008). Os autores avaliaram as mesmas populações por um período de 9 anos.

No geral, a relação entre a variação na produção de sementes em plantas em diferentes anos e entre indivíduos não é muito clara, devido à falta de estudos baseados no indivíduo (YASAKA *et al.*, 2008), no monitoramento de diferentes populações (ZECHINI *et al.*, 2012) e no caso da espécie *A. angustifolia* por períodos maiores que 3 anos (MANTOVANI *et al.*, 2004).

2.2 QUANTIFICAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIREIROS

A redescoberta institucional do significado do valor de outros produtos além da madeira, como os Produtos Florestais não Madeireiros (PFNM) e a formulação do conceito de múltiplo uso das florestas, assim como a necessidade de manutenção da sua biodiversidade, tem encorajado o ressurgimento do interesse nos PFNM e, portanto, seu gerenciamento (BIH, 2006).

Segundo a Lei nº 11.284 de 2006, o manejo florestal sustentável consiste na administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e

ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal (BORGES, 2009).

Para bem administrar, planejar e utilizar de forma racional os recursos florestais é imprescindível a aplicação de um inventário florestal, pois este constitui um importante instrumento para informar a realidade destes recursos (PÉLLICO NETTO; BRENA 1997).

Contudo, métodos ineficientes de inventário geram informações não confiáveis para o gerenciamento florestal, em especial para os PFNM, devido a ausência de uma base sólida de informações para estes produtos, promovendo, assim, sua superexploração (TEWARI, 2000). As restrições organizacionais e financeiras, assim como a multiplicidade e variedade dos PFNM oferecidos pelas florestas, são as principais causas para a falta de métodos apropriados de avaliação (FAO, 2001).

Procedimentos amostrais dispendiosos podem ser um risco ao retorno financeiro da atividade não madeireira, pois a densidade e a disponibilidade dos PFNM geralmente são menores do que as da madeira e o tempo e o custo requeridos para estimar os parâmetros com razoável grau de acurácia podem ser inviáveis (EVANS; VIENGKHAM, 2001).

Embora as florestas forneçam uma grande variedade de produtos, a produção de madeira por ser mais expressiva, dominou o interesse dos pesquisadores e gestores florestais e, portanto, este tem sido a principal base das pesquisas e objetivos dos inventários florestais (HUSCH *et al.*, 2003).

Wong (2000) propõe que a quantificação dos PFNM para espécies arbóreas pode ser efetuada a partir das pesquisas de cunho madeireiro, tomando-se apenas uma sub-amostra detalhada de alguns indivíduos de parcelas de um inventário principal, gerando, assim, multiníveis amostrais e, conseqüentemente, uma estrutura hierárquica para a estrutura de amostragem. Neste caso, a amostragem principal e subamostragem são mutuamente dependentes e chamada de dupla-amostragem (HUSCH *et al.*, 2003).

No processo de amostragem em multiestágios, a população é dividida em unidades primárias de amostragem. Cada uma destas constitui-se de unidades amostrais menores, chamadas unidades secundárias. Estas unidades secundárias

podem ainda ser integradas por unidades terciárias e assim por diante (COCHRAN, 1977). O processo de amostragem em dois ou mais estágios é incluído entre os processos aleatórios restritos, uma vez que o segundo estágio de amostragem fica restrito ao primeiro (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997).

A principal vantagem da abordagem em diferentes estágios consiste em permitir que se concentre o trabalho da mensuração das unidades amostrais eleitas nas etapas do segundo e do terceiro estágios dentro das unidades primárias selecionadas na primeira etapa, reduzindo tempo e custo, especialmente em locais de difícil acesso. (HUSCH *et al.*, 2003).

Barbeiro (2012), para obter estimadores precisos de média e variância para quantificar a produtividade de sementes da castanheira do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K) efetuou o processo de amostragem em três estágios, abordando cada árvore como uma unidade primária de amostra, o número de ouriços como unidade secundária em cada unidade eleita no primeiro estágio e o número de castanhas como unidade terciária oriundas do segundo estágio.

A grande variedade de PFNM implica em diferentes técnicas de medições, conforme o objetivo da quantificação (BIH, 2006). As técnicas de medição usadas para quantificar o produto são conhecidas como enumeração do produto.

Wong (2000) encontrou a marcação e contagem de repetição como a única alternativa para frutas que não caem maduras, quando é necessário não perturbar a predação natural ou forçar o amadurecimento dos frutos. A nível de enredo, Freese (1984) apresentou uma distinção entre a “unidade” na qual a observação é feita e o “valor” é a variável ou características medidas em cada unidade.

Wong (2000) definiu um inventário quantitativo de PFNM como uma enumeração biometricamente rigorosa da abundância e distribuição de populações de recursos. O rigor biométrico aqui implica que princípios estatísticos devem ser atendidos em todas as etapas do inventário para o fornecimento de detalhes suficientes nos protocolos de notificação (BIH, 2006).

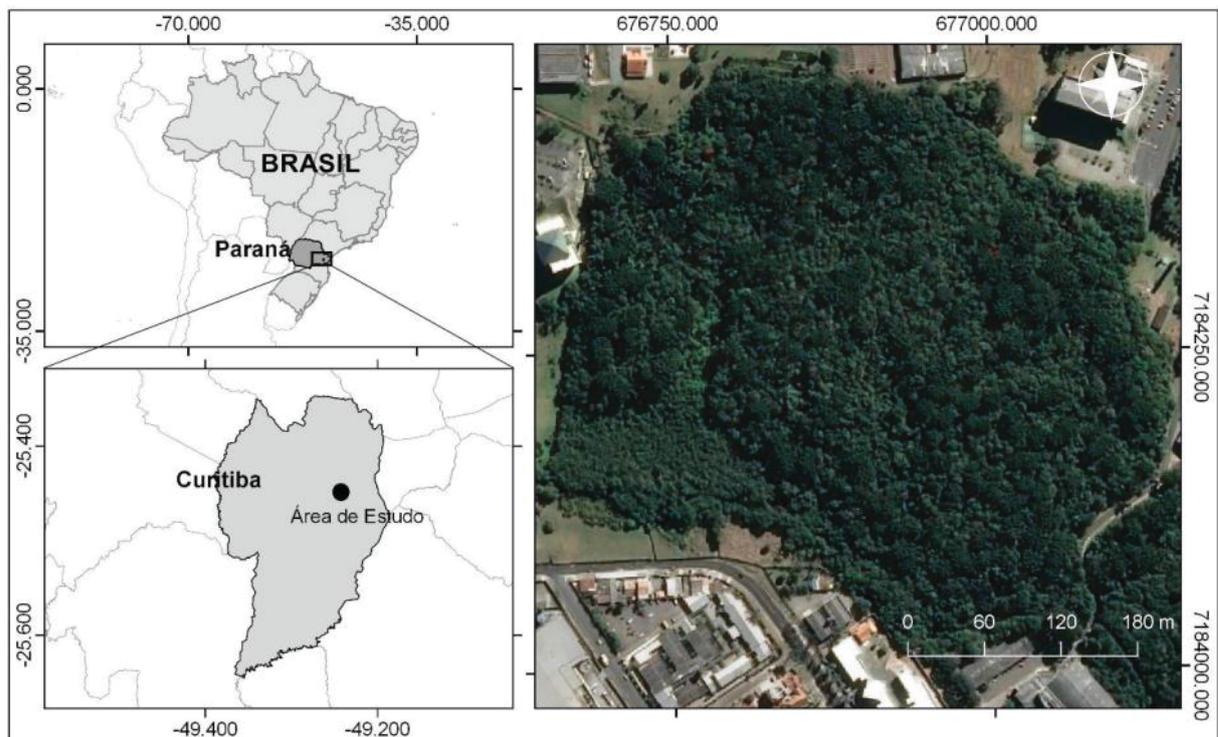
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

3.1.1 Descrição da área de estudos

A área de estudo localiza-se na região sul do Brasil, na cidade de Curitiba, na porção leste do estado do Paraná (FIGURA 3). Os dados utilizados neste estudo são oriundos de um fragmento florestal de 15,24 hectares pertencente à fitofisionomia da Floresta Ombrófila Mista do Bioma da Mata Atlântica. A altitude é de aproximadamente 900 m e apresenta um clima subtropical úmido mesotérmico (Cfb) segundo a classificação de Köppen – Geiger, sem estação seca definida (ALVARES *et al.*, 2013), valores médios anuais de precipitação são de 1450 mm e 81% de umidade.

FIGURA 3 – LOCALIZAÇÃO DO FRAGMENTO ONDE FOI CONDUZIDA A PESQUISA



FONTE: O autor (2023).

Um censo florestal foi efetuado na área de estudo pelo corpo técnico do laboratório de Dendrometria (LADEN) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) com a enumeração total dos indivíduos com diâmetro a 1,30 m acima do nível do solo

(DAP) igual ou maior que 10 cm, incluindo todas as árvores da espécie *Araucaria angustifolia*. Por se tratar de uma área urbana, o fragmento sofreu pressões antrópicas até 1980, quando passou a fazer parte da UFPR e se tornou uma área de proteção e de pesquisa, sendo, também, utilizada para educação ambiental (MACHADO *et al.*, 2009).

3.1.2 Descrição da população de *Araucaria angustifolia*

No fragmento em que este estudo foi conduzido, foram encontradas 309 árvores (20,22 árvores ha⁻¹) de *A. angustifolia* com valores de DAP entre 29 cm e 91 cm. Destes, 162 são machos e 147 fêmeas. A população foi classificada como senil, pois apresentaram idades estimadas entre 133 anos, para as mais jovens, e 150 anos, para as mais velhas (ALVES, 2010).

Neste estudo foram efetuadas medições qualitativas das copas de todas as árvores de *A. angustifolia*, pontuando de 1 a 4 o estágio de senescência e o nível de infestação por lianas.

Classificação de senescência:

- 1 - Copas em perfeito estado, ou seja, vigorosa e com os ramos inteiros;
- 2 - Copa não vigorosa, com superfície esparsa;
- 3 - Copa não vigorosa e com até 25% de seus ramos quebrados;
- 4 – Copa não vigorosa e com mais de 50% de seus ramos quebrados.

Classificação da infestação de lianas:

- 1 – Ausência de lianas;
- 2 – Copas com até 25 % de sobreposição de lianas;
- 3 - Copas com mais de 50% de sobreposição de lianas;
- 4 – Copas com 100% de sobreposição de lianas.

3.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

3.2.1 Unidades primárias

As unidades primárias ou primeiro estágio da amostragem é composto por todas as árvores fêmeas da espécie *A. angustifolia* ou pelas *N* árvores em condições normais de reprodução, ou seja, quando há a presença de pinhas ou seus respectivos

vestígios. As plantas com copas desprovidas de ramos primários ou totalmente cobertas por trepadeiras (lianas) não foram consideradas neste estudo, justamente pela ausência de estruturas reprodutivas. A fim de se obter os parâmetros da população e tornar exequível a seleção aleatória de uma amostra n , a posição geográfica e o sexo de todos os indivíduos da espécie *A. angustifolia* na floresta precisaram ser conhecidas.

3.2.2 Mapeamento da dioiccia

A distinção de árvores machos e fêmeas da espécie *A. angustifolia* foi efetuada por meio da visualização de suas estruturas reprodutivas, como pinhas e mingotes e de seus respectivos componentes estruturais. A separação dos sexos foi efetuada no mês de outubro e novembro de 2019, no período de maturação e queda dos estróbilos masculinos. A confirmação dos indivíduos femininos se deu por meio da verificação de vestígios e do acúmulo dos componentes das estruturas das pinhas no solo, próximos ao caule de cada árvore, levando em consideração o distanciamento máximo das sobreposições de copas e com a verificação de mais de 2 pontos.

As coordenadas geográficas de cada árvore foram tomadas em campo por um GPS Garmin® Geomap 62S.

3.2.3 Unidades secundárias

As unidades secundárias, ou segundo estágio da amostragem, consistem na contagem do número total de pinhas (P_i) em cada matriz da população (N). A contagem foi efetuada por meio de imagens de alta resolução das copas das araucárias obtidas por meio de veículo aéreo não tripulado (VANT), utilizando aparelho *Phantom 4 Pro* da marca DJI, com câmera de 1" de 20 megapixels e sensor *Complementary Metal Oxide Semiconducto* (CMOS) com obturador mecânico e lente FOV.

O voo foi efetuado em dezembro de 2020 a 40 metros de altura do solo, largura das faixas de 10 metros, velocidade de 6 m/s com 3 fotografias por segundo, o que resultou em um GSD de 3.34 cm. No mês de janeiro de 2021 foi repetida a operação, seguindo o mesmo plano de voo anterior.

As imagens foram processadas no software *Pix4Dmapper* versão 4.7.1 para a criação de um ortomosaico, no qual as coordenadas geográficas de cada araucária e suas respectivas informações de campo foram adicionadas. Os erros de posição das coordenadas foram ajustados manualmente para o centro de cada árvore da espécie *A. angustifolia* por meio do software QGIS versão 3.16.

As pinhas foram enumeradas em 1.2.3.4...*Pi*, conforme a ordem que foram encontradas nas imagens aéreas e os valores foram revistos nas imagens individuais, uma vez que as imagens brutas não processadas apresentaram uma melhor nitidez das pinhas. Optou-se por realizar o vôo em dezembro e janeiro, devido ao volume, posição e coloração das pinhas serem favoráveis à visualização aérea, conforme o monitoramento prévio realizado na área nos anos de 2018 e 2019.

O mapeamento fotogramétrico foi efetuado a fim de captar imagens de todas as árvores da floresta. Entretanto, o vôo plano a partir de 40 metros gerou diferenças na qualidade e nitidez das imagens, devido à variação altimétrica do terreno da floresta. Um voo livre foi efetuado circundando algumas árvores e notou-se maior visibilidade de pinhas nas imagens das árvores testadas a partir deste método.

Optou-se pelo mapeamento fotogramétrico por considerá-lo viável e satisfatório para obtenção dos parâmetros, contudo em inventários por estimativas, dependendo do tamanho da área e da densidade populacional de *A. angustifolia*, o vôo livre pode ser considerado mais eficiente.

3.2.4 Unidades terciárias

3.2.4.1 Definição

As unidades terciárias, ou o terceiro estágio da amostragem consiste em obter o número de sementes por pinha e o peso individual das sementes no interior de cada pinha coletada em cada unidade amostral.

3.2.4.2 Número de sementes por pinha

Os dados referentes ao número de sementes por pinhas foram simulados a partir do trabalho de Vernalha et al. (1972), que investigou 414 pinhas amostradas em duas áreas na localidade de Cachoeira, em Curitiba, a menos de 10 km da atual área de estudo.

3.2.4.3 Peso individual de cada semente

A tomada do peso individual das sementes foi efetuada em outras 41 pinhas, as quais foram obtidas de coletores/comerciantes de pinhões no município de Curitiba e as pinhas foram submetidas à operação de secagem em estufa com ventilação forçada constante (1m/s), à temperatura de 105 °C por 24 horas até atingirem a umidade de equilíbrio (HENEMANN, 2010). As sementes não fecundadas, bem como os demais componentes estéreis das pinhas foram descartados. Em seguida, as sementes férteis de cada pinha foram enumeradas e na sequência, pesadas individualmente em balança digital de precisão.

Por se tratar de uma semente recalcitrante com grandes perdas de umidade, principalmente logo após a debulha, optou-se pela secagem em estufa, uma vez que a demora na operação de pesagem individual de sementes pode alterar os resultados.

3.2.4.4 Simulações

Para se obter os parâmetros dos componentes morfológicos associados aos estimadores de produção de sementes da *A. angustifolia* em todos os estágios da amostragem, seria necessário a coleta de muitas pinhas, o que demandaria um intenso processo de operacionalização na floresta, seguido de atividades e procedimentos em laboratório, como a pesagem e contagem de número de centenas de milhares de sementes. A fim de contornar esta dificuldade, foram utilizados simuladores a partir de dados reais secundários obtidos para a geração dos parâmetros para o terceiro estágio da amostragem. Definiu-se o intervalo de dados com base nos seus limites superiores e inferiores na população, sendo a média e variância obtidas das distribuições densidade de probabilidade ajustadas para tal fim.

3.2.4.5 Funções densidades de probabilidade

Os valores de média e variância do número de sementes por pinha e do peso das sementes foram obtidos por meio do ajuste de suas respectivas distribuições. O número de sementes tomado de Vernalha *et al.* (1972) e os pesos individuais das sementes por pinhas foram obtidos em laboratório, agrupados em frequência absoluta

por pinha e, em seguida, ajustados e analisados por meio das funções densidades de probabilidade resultantes. Observa-se que o número de sementes por pinha variou entre 01 e 155, o que permitiu análise por meio de funções contínuas.

Os ajustes foram efetuados com o uso do *software R studio*, utilizando as funções SB de Johnson, Beta, Weibull, Gama, Normal e Lognormal, por meio de regressão não linear, pelo método dos mínimos quadrados com múltiplas interações, segundo o procedimento de Marquardt (1963). As estatísticas utilizadas para avaliar a qualidade dos ajustes foram: erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$), o teste da razão de verossimilhança, com base no critério de informação de Akaike (AIC) e o critério Bayesiano de Schwarz (BIC), e, finalmente, o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S).

3.2.5 Organização dos dados dos três estágios da amostragem

O procedimento de amostragem que norteou esta pesquisa baseia-se no censo das unidades primárias e secundárias da área de estudos e na complementação com dados secundários simulados a partir de dados reais para o terceiro estágio. Para cada pinha contada na floresta atribuiu-se um número aleatório de 3 a 155 sementes e para cada semente um peso individual em gramas, que variou de 1 a 10 gramas, valendo-se das distribuições probabilísticas ajustadas. Dessa forma, foi possível aplicar o processo de amostragem para os três estágios e, assim, realizar as ponderações necessárias para equalizar as variações do número sementes por pinha, bem como o número de sementes por árvore.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE AMOSTRAGEM

Neste estudo foi aplicado o processo de amostragem em três estágios para quantificar a produção de sementes de *Araucaria angustifolia*. Para tanto, valeu-se da estrutura de amostragem apresentada por Barbeiro (2012) para a *Bertholletia excelsa* H.B.K (Castanha do Brasil). Destaca-se que a população de castanhas de uma floresta está associada a cada ouriço de cada castanheira produtiva na população florestal, assim como a população de sementes da araucária também está associada a cada pinha de cada árvore produtiva na floresta.

Posto isso, têm-se em uma floresta com N árvores fêmeas produtivas de *A. angustifolia*, ou unidades primárias, que configuram o primeiro estágio da amostragem, das quais são coletadas n unidades amostrais aleatoriamente para a avaliação da produção. Portanto, cada matriz de *A. angustifolia* fêmea e produtiva foi considerada uma unidade amostral.

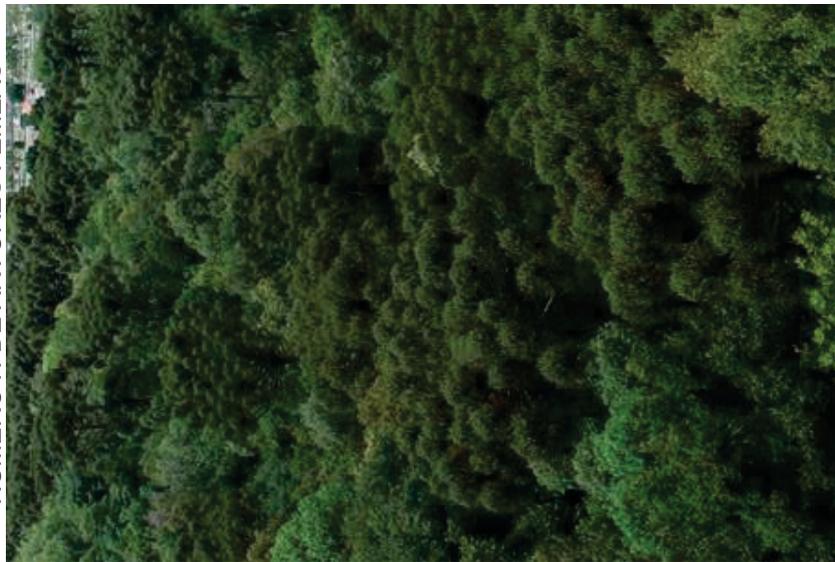
O segundo estágio de amostragem fica restrito ao primeiro, do qual cada araucária matriz produz um número P_i pinhas por ano ou unidades secundárias, tal que o *i*ésimo número de pinhas está associado à cada árvore produtiva, ou seja, $i = 1, 2, 3, \dots, N$. Deste total de pinhas de cada araucária matriz é tomada uma amostra P_i .

O terceiro estágio de amostragem é constituído pelo número de sementes de araucária no interior de cada pinha, tal que cada uma delas tem G_{ij} sementes e, conseqüentemente, nesse terceiro estágio tem sua localização na *j*-ésima unidade do segundo estágio e na *i*-ésima unidade do primeiro estágio; $j = 1, 2, 3, \dots, P_i$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$. Os três estágios da amostragem estão ilustrados na FIGURA 4.

FIGURA 4 – IMAGENS DOS TRÊS ESTÁGIOS DA AMOSTRAGEM

PRIMEIRO ESTÁGIO DA AMOSTRAGEM

NÚMERO N DE ÁRVORES FÊMEAS



SEGUNDO ESTÁGIO DA AMOSTRAGEM

NÚMERO P_i DE PINHAS POR ÁRVORE



TERCEIRO ESTÁGIO DA AMOSTRAGEM

NÚMERO G_j DE SEMENTES POR PINHA



FONTE: O autor (2023).

Em que:

N = número total de unidades primárias do primeiro estágio na população, ou seja, o número total de araucárias matrizes na floresta;

P_i = número total de pinhas no segundo estágio, ou seja, número de pinhas por matriz de araucária, tal que $i = 1, 2, 3, \dots, N$;

G_{ij} = número total de sementes de araucária no terceiro estágio, ou seja, as sementes dentro de cada pinha em cada araucária da população de matrizes, tal que $j = 1, 2, 3, \dots, P_i$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$; e

X_{ijk} = peso individual de sementes de araucária dentro de cada pinha e em cada araucária matriz, tal que $k = 1, 2, 3, \dots, G_{ij}$, $j = 1, 2, 3, \dots, P_i$ e $i = 1, 2, 3, \dots, N$.

3.4 PARÂMETROS DA POPULAÇÃO

As fórmulas que compuseram o processo de amostragem, para os parâmetros de média e variância dos componentes morfológicos associados aos estágios de produção da *A. angustifolia* foram adaptadas da amostragem em três estágios proposta por Barbeiro (2012).

3.4.1 Médias

Peso médio de sementes por pinha:

$$\bar{X}_{ij} = \frac{1}{G_{ij}} \sum_{k=1}^{G_{ij}} X_{ijk} \quad (1)$$

Número médio de sementes por pinha em cada araucária:

$$\bar{G}_i = \frac{1}{P_i} \sum_{j=1}^{P_i} G_{ij} \quad (2)$$

Número de sementes por araucária:

$$K_i = P_i \bar{G}_i = \sum_{j=1}^{P_i} G_{ij} \quad (3)$$

Número médio de sementes por araucária:

$$\bar{K} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{G_{ij}} K_i \quad (4)$$

Número total de sementes na floresta:

$$X = \sum_{i=1}^N K_i = N\bar{K} \quad (5)$$

Proporção de sementes por araucária. (Índice de variabilidade de sementes por araucária):

$$w_i = \frac{K_i}{\bar{K}} \quad (6)$$

Peso das sementes, ponderado pelo índice de variabilidade de sementes por pinha:

$$U_{ijk} = \frac{G_{ij}}{G_i} X_{ijk} \quad (7)$$

Peso médio de sementes por pinha:

$$\bar{U}_{ij} = \frac{1}{G_{ij}} \sum_{k=1}^{G_{ij}} U_{ijk} \quad (8)$$

Peso médio das sementes por araucária ponderado por pinha:

$$\bar{X}_{i..} = \frac{1}{P_{ij}} \sum_{j=1}^{P_i} \bar{U}_{ij} \quad (9)$$

Peso médio das sementes da população:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{P_i} \sum_{k=1}^{G_{ij}} X_{ijk}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{P_i} G_{ij}} \quad (10)$$

3.4.2 Variâncias

Variância do peso médio das sementes entre araucárias:

$$S_{gx}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\frac{K_i}{\bar{K}} \bar{X}_{i..} - \bar{X} \right)^2 \quad (11)$$

Variância do peso médio das sementes por pinha:

$$S_{ix}^2 = \frac{1}{P_i-1} \sum_{j=1}^{P_i} \left(\frac{G_{ij}}{G_i} \bar{X}_{ij} - \bar{X}_{i..} \right)^2 \quad (12)$$

Variância do peso médio das sementes dentro das pinhas:

$$S_{ijx}^2 = \frac{1}{G_{ij}-1} \sum_{k=1}^{G_{ij}} (X_{ijk} - \bar{X}_{ij})^2 \quad (13)$$

3.5 ESTATÍSTICA DA AMOSTRAGEM

Do total N de matrizes na área de estudo foi tomado aleatoriamente uma amostra n de árvores para o primeiro estágio da amostragem, em cada matriz um número p_i de pinhas para o segundo estágio e, em cada pinha, um número g_{ij} de sementes para terceiro estágio.

3.5.1 Estimadores de média

Peso médio das sementes por pinha:

$$\bar{u}_{ij} = \frac{1}{g_{ij}} \sum_{k=1}^{g_{ij}} \frac{G_{ij}}{G_i} X_{ijk} \quad (14)$$

Peso médio das sementes por araucária:

$$\bar{u}_i = \frac{1}{p_i} \sum_{j=1}^{p_i} \bar{u}_{ij} \quad (15)$$

Peso médio das sementes no total das n araucárias amostradas:

$$\bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{\bar{K}} \bar{u}_i \quad (16)$$

3.5.2 Estimadores de variância

Variância do peso médio das sementes entre araucárias:

$$s_{gx}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{K_i}{\bar{K}} \bar{x}_i - \bar{x} \right)^2 \quad (17)$$

Variância do peso médio das sementes entre pinhas de uma mesma árvore:

$$s_{ix}^2 = \frac{1}{p_i-1} \sum_{j=1}^{p_i} \left(\frac{G_i}{G_i} \bar{x}_{ij} - \bar{x}_i \right)^2 \quad (18)$$

Variância do peso das sementes dentro das pinhas:

$$s_{ijx}^2 = \frac{1}{g_{ij}-1} \sum_{k=1}^{g_{ij}} (x_{ijk} - \bar{x}_{ij})^2 \quad (19)$$

Em que:

\bar{x} = a estimativa da média do peso das sementes dentro de cada pinha amostrada;

\bar{x}_{ij} = a estimativa do peso médio das sementes de todas as pinhas amostradas por araucárias; e

\bar{x}_i = a estimativa do peso médio das sementes de todas as araucárias amostradas.

3.5.3 Variância da média

Variância da média em função dos parâmetros da população:

$$V_{(\bar{x})} = \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N}\right) S_{gx}^2 + \frac{1}{nN} \sum_{i=1}^n w_i^2 \left(\frac{1}{g_i} - \frac{1}{G_i}\right) S_{ix}^2 + \frac{1}{nN} \sum_{i=1}^n \frac{w_i^2}{p_i P_i} \sum_{j=1}^{P_i} \frac{G_{ij}^2}{\bar{G}_i} \left(\frac{1}{g_{ij}} - \frac{1}{G_{ij}}\right) S_{ijk}^2 \quad (20)$$

Variância da média em função da amostragem em todos os estágios:

$$v_{(\bar{x})} = \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N}\right) s_{gx}^2 + \frac{1}{nN} \sum_{i=1}^n w_i^2 \left(\frac{1}{g_i} - \frac{1}{G_i}\right) s_{ix}^2 + \frac{1}{nN} \sum_{i=1}^n \frac{w_i^2}{p_i P_i} \sum_{j=1}^{P_i} \frac{G_{ij}^2}{\bar{G}_i} \left(\frac{1}{g_{ij}} - \frac{1}{G_{ij}}\right) s_{ijk}^2 \quad (21)$$

Erro padrão da amostragem:

$$s_{(\bar{x})} = \sqrt{\left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N}\right) s_{cx}^2 + \frac{1}{nN} \sum_{i=1}^n w_i^2 \left(\frac{1}{g_i} - \frac{1}{G_i}\right) s_{ix}^2 + \frac{1}{nN} \sum_{i=1}^n \frac{w_i^2}{p_i P_i} \sum_{j=1}^{P_i} \frac{G_{ij}^2}{\bar{G}_i} \left(\frac{1}{g_{ij}} - \frac{1}{G_{ij}}\right) s_{ijk}^2} \quad (22)$$

Em que:

$G_i = \sum_{j=1}^{P_i} G_{ij}$ = o número total de sementes na população;

$g_i = \sum_{j=1}^{P_i} g_{ij}$ = o número total de sementes na amostragem; e

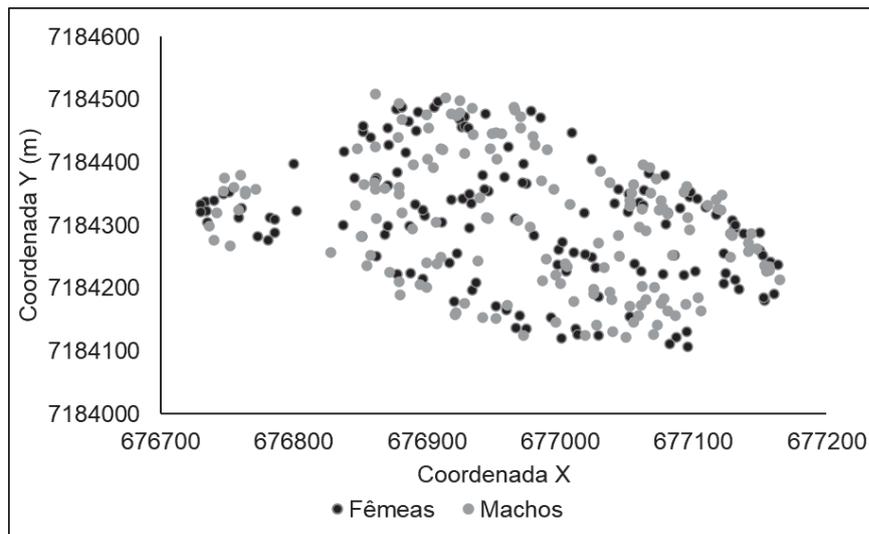
w^2 = índice de variância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA POPULAÇÃO

A posição de cada árvore da espécie *A. angustifolia* na área de estudo e seu respectivo sexo estão ilustradas na FIGURA 5.

FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DA DIOICIA NA ÁREA DE ESTUDOS



FONTE: O autor (2023).

Na área de estudo foi encontrada uma taxa de 52,43 % de machos e 47,57 % de fêmeas com razão sexual de 1,10, não diferindo estatisticamente de uma proporção hipotética de 1:1 para espécies dioicas (162 ♂:147 ♀ ; $\chi^2 = 1,53$ $p > 0,05$), conforme o teste do qui-quadrado, mas com uma ligeira predominância de machos. A avaliação qualitativa aponta para uma população em estágio avançado de senescência.

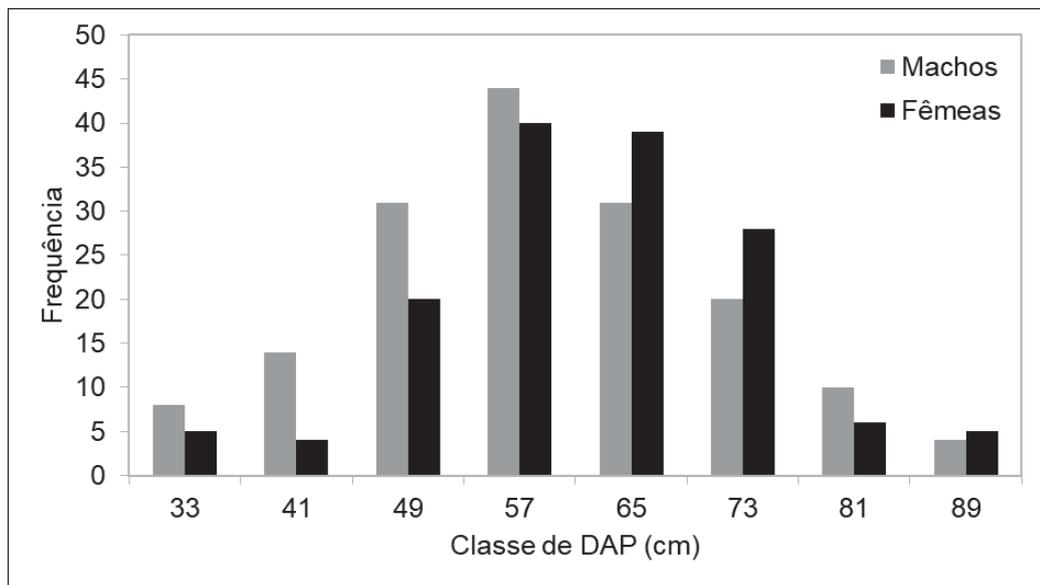
Notou-se que, aproximadamente, um quarto da população de *A. angustifolia* se encontra em estágios degenerativos, ora infestados pela espécie liana *Senegalia nitidifolia* (Speg.) Seigler e Ebinger (62 indivíduos) e/ou com sinais típicos da senescência (75 indivíduos). Embora *A. angustifolia* seja a espécie mais expressiva na área de estudos (ORSO, 2010), poucos foram os indivíduos jovens, com DAP menor que 29 cm, encontrados no interior da floresta na área de estudo.

A taxa sexual da *A. Angustifolia* neste estudo aparenta manter a proporção teórica esperada, como foi apresentado em diferentes levantamentos demográficos

(BANDEL; GURGEL, 1967; PINTO, 1990; SOLÓRZANO FILHO, 2001; BACKES, 2001; MANTOVANI *et al.*, 2004; PALUDO *et al.*, 2009). Este padrão para a espécie favorece o processo de inferência quanto à produtividade de sementes em povoamentos, quando conhecido o número total de indivíduos da população, contudo, exceções podem ocorrer, como o caso de Bandel e Gurgel (1967), que obtiveram um desvio em favor de árvores fêmeas em um dos povoamentos avaliados.

Neste estudo, foi observado maior frequência de *A. angustifolia* machos nas menores classes de diâmetro e de fêmeas nas maiores classes (FIGURA 6). Por se tratar de uma população com idades conhecidas, as araucárias fêmeas apresentaram crescimento mais expressivo. Esta constatação corrobora com a tese de que árvores fêmeas apresentam crescimento mais expressivos em diâmetro que árvores machos, como já observado em um povoamento natural (PALUDO *et al.*, 2009), ou em povoamentos plantados (PINTO *et al.*, 1990; ZANON *et al.*, 2009; FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2015). A diferença em crescimento, preponderadamente em favor das araucárias fêmeas, não segue uma tendência típica para a maioria das espécies dioicas, pois as plantas fêmeas, por apresentarem maior esforço em alocar recursos na reprodução pós-fecundação com a formação de frutos e sementes, teoricamente apresentam menor crescimento (LLOYD; WEBB, 1977).

FIGURA 6 – DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DA POPULAÇÃO DE ARAUCÁRIAS, INDIVÍDUOS MACHOS E FÊMEAS



FONTE: O autor (2023).

A correlação positiva entre o DAP e o número de pinhas para *A. angustifolia* indica maior capacidade de produtividade em árvores mais desenvolvidas em florestas naturais (MANTOVANI *et al.*, 2004). Esta tendência também foi observada em áreas de plantio (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2011). Contudo, questões como a idade, estado fitossanitário e manifestações genéticas podem influenciar negativamente a produtividade de sementes por árvore e, por esta razão, o uso exclusivo do DAP para estimar a produtividade de sementes pode gerar superestimativa nos resultados e comprometer o manejo, principalmente em áreas de ocorrência natural, onde árvores em estágios de senescência são encontradas. Desta maneira, as variações dos caracteres quantitativos para crescimento em diâmetro e altura, associados a um alto rendimento de sementes pode ser aplicado quando o objetivo do inventário for a seleção por procedência para o melhoramento genético, pois possibilita ganhos satisfatórios nas práticas silviculturais, tanto para o manejo madeireiro quanto não madeireiro, conforme Silva *et al.* (2018).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES SECUNDÁRIAS

Do total de 147 matrizes na floresta (9,64 árvores fêmeas ha¹), somente foram tomadas árvores produtivas, totalizando 123 unidades primárias para a obtenção dos

parâmetros deste estudo, árvores identificadas como fêmeas por meio da análise da serapilheira, mas que não produziram pinhas e foram desconsideradas nesse estudo.

Por meio do uso de imagens aéreas de alta definição, realizou-se a enumeração de todas as pinhas visíveis em 123 unidades primárias fotografadas (FIGURA 7), totalizando na contagem 1.573 pinhas, com amplitude que variou de 2 a 90 unidades por árvore e uma média ponderada de 13,20 unidades por árvore matriz.

FIGURA 7 – FOTOGRAFIAS AMPLIADAS DAS COPAS COM PINHAS



FONTE: O autor (2023).

O voo efetuado em dezembro permitiu captar imagens de pinhas antes do seu processo natural de tombamento, que ocorre em virtude de seu contínuo aumento de peso; a cor e o tamanho também favoreceram a visualização das pinhas por imagens aéreas, se mostrando maiores e mais claras em relação às pontas dos ramos secundários da copa neste período, conforme Anselmini *et al.* (2004). Neste estudo as pinhas apresentaram média de 97 mm de comprimento e diâmetro conforme a fotogrametria, resultado compatível com estudos de Anselmini e Zanette (2008) para o mesmo estágio na mesma região.

Embora o processo de contagem remota de pinhas tenha um caráter experimental, sendo ainda necessários testes e aprimoramentos, a média ponderada de 13,20 pinhas por árvore mostrou-se apropriada para essa avaliação. Na TABELA 1 está apresentado número médio de pinhas por árvore em áreas florestais de ocorrência natural da *A. angustifolia*.

TABELA 1 – COMPARAÇÃO DO NÚMERO DE PINHAS POR ÁRVORE EM DIFERENTES ESTUDOS E REGIÕES

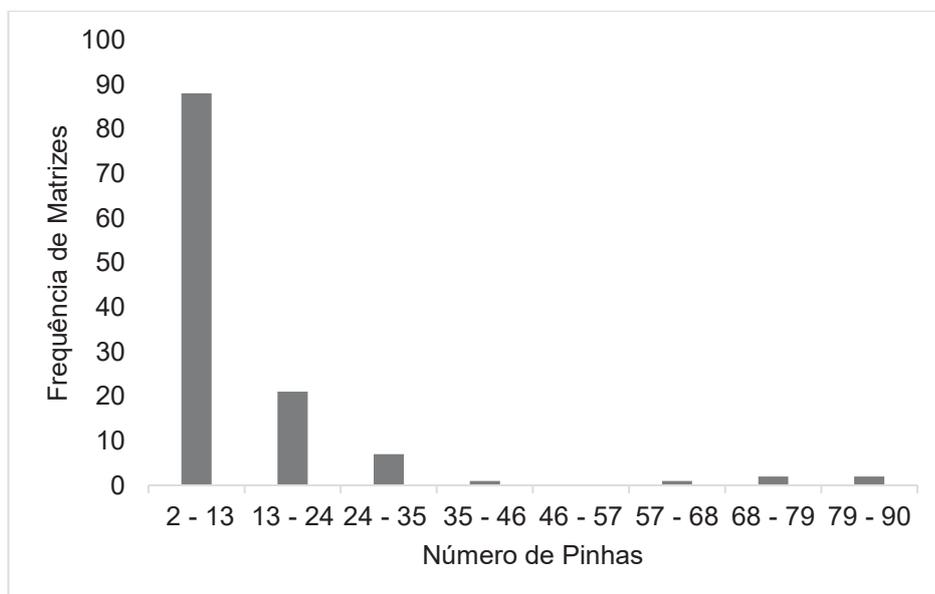
AUTORES	MÉDIA DE PINHAS	LOCAL	ANO
Mantovani <i>et al.</i> (2004)	13 - 19,5*	Campos do Jordão, SP	2001 – 2002*
Silva <i>et al.</i> (2006)	5,6	Caçador, SC	2005
Figueiredo Filho <i>et al.</i> (2011)	20,5	Irati, PR	2010
Zechini 2012	33,2 – 36,2*	Caçador; Lages; Três Barra, SC	2010 – 2011*

FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: * indica segunda coleta.

As frequências de matrizes por classe de número de pinhas na FIGURA 8, apresentaram uma distribuição exponencial negativa, indicando que há maior frequência de matrizes com produção baixa de pinhas e frequência baixa de matrizes com alta produtividade, o que justifica o uso da média ponderada para o processo de amostragem, dado que um número pequeno de árvores com alta produtividade impactam significativamente na produção da floresta.

FIGURA 8 – NÚMERO DE PINHAS POR FREQUÊNCIA DE MATRIZES



FONTE: O autor (2023).

Nas imagens aéreas deste estudo foi possível o reconhecimento de árvores de alta produtividade, ou seja, aquelas com produção de pinhas em ramos primários e secundários. Na FIGURA 8, esses indivíduos estão representados nas classes de

maior produtividade com valores acima de 50 pinhas por árvore. Segundo Zanette *et al.* (2017) em remanescentes florestais naturais a produtividade da araucária geralmente é baixa, variando de 4 a 20 pinhas, exceto nos genótipos altamente produtivos com pinhas nos ramos primários e secundários.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES TERCIÁRIAS

4.3.1 Simulação do número de sementes por pinha

A simulação do número de sementes por pinha foi efetuada com base em valores reais, obtidos da pesquisa de Vernalha *et al.* (1967), que analisou 414 pinhas em uma floresta próxima à atual área de estudos. Com base no ajuste das funções de densidade probabilística dos dados compilados, foram obtidos os parâmetros para a simulação do número de sementes G_{ij} por pinha de cada árvore amostrada na floresta.

4.3.1.1 Ajuste das funções de densidade probabilística do número de sementes por pinha

Na TABELA 2 estão apresentados os resultados do ajuste das funções densidade de probabilidade, em que o modelo Normal apresentou o melhor ajuste para a distribuição do número de sementes por pinha, seguido pelos modelos de Weibull e Beta, nos quais a estatística KS_{calc} das funções testadas foi inferior ao tabelado, caracterizando a aceitação da hipótese da nulidade, ou seja, as frequências reais e estimadas são similares estatisticamente.

TABELA 2 – ESTATÍSTICA DO AJUSTE DAS FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE DO NÚMERO DE SEMENTES POR PINHA

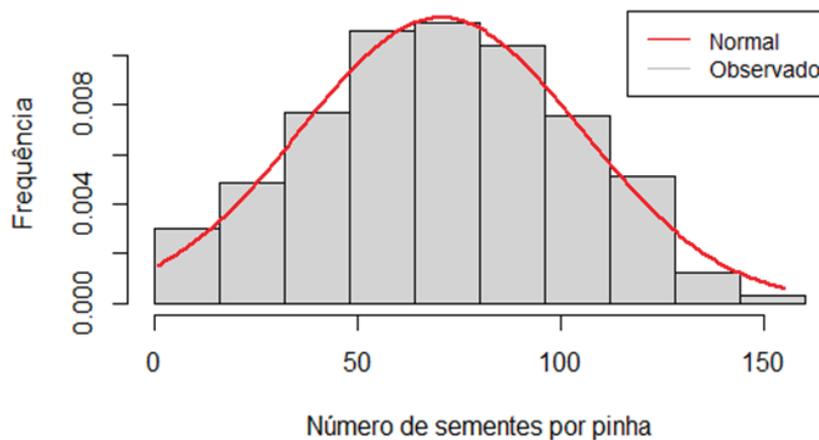
Função	Syx	Syx _{rel}	AIC	BIC	D _{calc} ^{0,05}	D _{tab} ^{0,05}	Aderência
Normal	3,86	9,32	-116,81	-115,91	0,03	0,07	Aderente
Lognormal	12,44	30,06	-93,4	-92,49	0,13	0,07	Não aderente
Gama	9,9	23,91	-97,98	-97,07	0,08	0,07	Não aderente
Beta	7,95	19,2	-102,37	-101,46	0,05	0,07	Aderente
Weibull	8,5	20,52	-117,99	-116,77	0,04	0,07	Aderente

FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: Syx e Syx_{rel} são os erros padrões absoluto e relativo da estimativa, AIC é o critério Akaike, BIC é critério Bayesiano de Schwarz e D_{calc}^{0,05} e D_{tab}^{0,05} são os valores calculado e tabelar do teste de Kolgomorov-Smirnof.

A distribuição normal ajustada para número de sementes por pinha está apresentada na FIGURA 9.

FIGURA 9 – AJUSTE DA DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE SEMENTES POR PINHA



FONTE: O autor (2023).

A média obtida da distribuição foi de 72,62 sementes por pinha e um desvio padrão de 34,60 sementes.

4.3.1.2 Simulação

Com base na estatística do ajuste da função normal, uma tabela de números aleatórios foi gerada seguindo a mesma distribuição. Nesta tabela, o primeiro número simulado de sementes por pinha foi atribuído à primeira pinha da primeira árvore e assim sucessivamente. Ao todo foram geradas 1573 simulações de número de sementes por pinha, seguindo uma distribuição normal.

4.3.2 Simulação do peso individual de sementes

4.3.2.1 Ajuste das funções densidade de probabilidade para o peso individual de sementes.

A variável peso individual de sementes foi ajustada a partir de 3732 sementes de araucária aglutinadas em frequência absoluta e distribuídas em classes. Como se observa na TABELA 3, as funções de densidade probabilística Normal, Beta e Weibull apresentaram aderência às frequências observadas.

TABELA 3 – ESTATÍSTICA DO AJUSTE DAS FUNÇÕES DE DENSIDADE DE PROBABILIDADE PARA O PESO UNITÁRIO DE SEMENTE

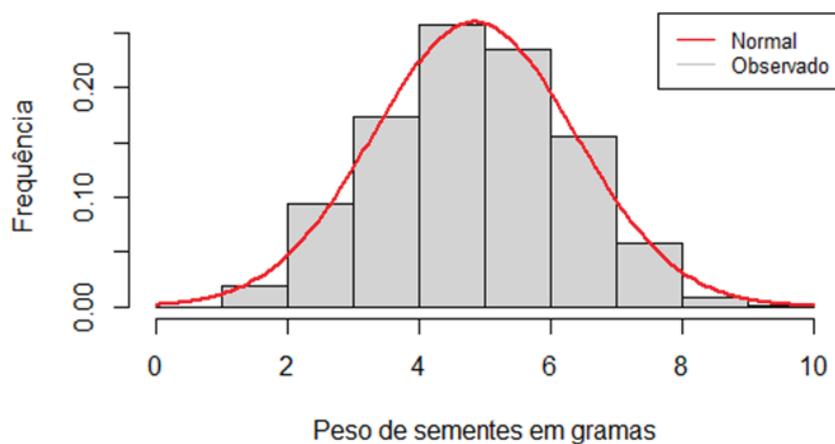
Função	Syx	Syx _{rel}	AIC	BIC	$D_{calc}^{0,05}$	$D_{tab}^{0,05}$	Aderência
Normal	27,12	7,27	-66,34	-65,43	0,01	0,02	Aderente
Lognormal	92,66	24,83	-41,77	-40,86	0,08	0,02	Não aderente
Gama	67,55	18,10	-48,09	-47,18	0,05	0,02	Não aderente
Beta	24,59	6,59	-68,30	-67,40	0,01	0,02	Aderente
Weibull	26,28	7,04	-70,18	-68,97	0,01	0,02	Aderente

FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: Syx e Syx_{rel} são os erros padrões absoluto e relativo da estimativa, AIC é o critério Akaike, BIC é critério Bayesiano de Schwarz e $D_{calc}^{0,05}$ e $D_{tab}^{0,05}$ são os valores calculado e tabelar do teste de Kolgomorov-Smirnof.

A distribuição normal ajustada para o peso unitário de sementes está apresentada na FIGURA 10.

FIGURA 10 – DISTRIBUIÇÃO DO PESO INDIVIDUAL DAS SEMENTES (g)



FONTE: O autor (2023).

4.3.2.2 Simulação dos dados

Com base nas estatísticas da distribuição normal da variável peso de sementes em gramas, foram obtidos os parâmetros para a simulação dos dados. Desenvolveu-se uma tabela, na qual o primeiro peso individual foi atribuído à primeira semente da primeira pinha da primeira árvore e assim sucessivamente. Ao todo foram geradas 114.087 simulações de pesos individuais de sementes, seguindo uma distribuição normal.

4.3.3 Parâmetros da população

De posse das seguintes informações: número de pinhas por árvore, número de sementes por pinha e o peso individual das sementes no interior de cada pinha, obteve-se todos os parâmetros necessários para a aplicação do processo de amostragem proposto. A TABELA 4 exemplifica a organização dos parâmetros nos três estágios de amostragem para duas árvores da população florestal, na qual a primeira coluna representa as unidades primárias, ou seja, as matrizes; a segunda coluna a enumeração das pinhas por matriz; a terceira coluna, o número de sementes por pinha e, a partir da terceira coluna, temos o peso individual de cada semente, de cada pinha, para cada árvore.

TABELA 4 – ORGANIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DOS TRÊS ESTÁGIOS DA AMOSTRAGEM EM DUAS ÁRVORES

N	Pinhas	Nº sementes	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Peso 5	Peso 6	Peso 7	Peso 8	Peso 9	Peso 10	Peso 11	Peso 12	Peso 13	
161	1	92	3,05	3,98	4,06	5,01	9,25	3,84	3,70	2,98	2,70	4,55	3,75	5,58	3,73	
	2	115	4,41	5,11	3,98	5,98	5,10	3,65	6,76	6,33	3,43	3,72	2,84	5,13	4,00	
	3	57	4,81	4,95	5,80	4,53	4,20	9,56	5,90	5,32	7,10	4,90	6,39	8,01	5,39	
	4	53	6,32	1,73	6,77	1,54	4,41	3,77	4,65	4,76	5,59	4,69	3,29	4,17	2,71	
	5	6	6,76	4,16	3,11	3,22	4,89	4,74	-	-	-	-	-	-	-	
	6	90	3,45	7,20	5,45	5,21	6,30	3,03	3,90	3,90	4,89	7,05	4,23	5,37	9,44	5,23
	7	7	3,70	4,17	2,31	3,26	5,42	3,73	7,23	7,23	6,33	-	-	-	-	-
	8	101	5,38	4,83	3,86	4,95	4,38	2,92	3,86	3,86	7,04	3,30	7,27	3,59	4,24	5,67
	9	7	2,56	6,29	5,50	3,91	5,91	5,48	2,66	-	-	-	-	-	-	-
	10	83	6,56	2,22	6,23	5,01	5,12	7,06	6,60	6,60	5,72	3,24	3,63	5,72	7,00	5,26
	11	79	5,84	2,41	5,25	3,65	5,19	2,68	1,68	1,68	6,13	3,75	3,44	4,19	3,97	6,69
	12	32	6,17	3,67	2,17	3,51	3,53	4,26	4,52	4,52	5,50	3,47	5,29	2,62	7,11	5,72
	13	68	4,46	1,71	4,20	4,63	4,95	4,24	3,99	3,99	3,32	2,07	6,05	5,09	6,91	4,64
27	1	123	3,86	5,51	3,75	2,09	5,03	5,11	6,53	4,21	6,29	8,34	2,86	5,50	5,78	
	2	133	3,56	4,46	4,60	4,81	6,29	6,00	4,97	6,58	3,80	4,54	5,80	4,64	4,65	
	3	92	4,33	4,96	2,80	6,02	6,51	6,30	3,42	7,77	6,18	5,10	2,00	3,53	5,47	
	4	53	3,32	5,68	5,00	2,61	4,43	4,79	2,65	6,98	3,07	3,94	5,92	5,63	1,96	
	5	120	5,48	4,25	5,49	5,77	3,81	7,12	7,60	4,12	3,65	5,23	5,44	5,66	3,48	
	6	131	4,54	4,64	3,59	4,53	4,36	2,34	4,65	4,12	4,12	3,34	3,90	2,24	7,27	7,30
	7	107	4,39	3,42	5,84	2,54	6,57	1,56	5,56	3,68	3,68	7,19	5,76	3,22	6,47	3,60
	8	107	4,32	7,20	5,03	5,79	6,36	6,46	4,40	5,73	5,73	3,26	3,79	5,66	3,71	7,21
	9	26	5,46	3,72	6,93	3,36	7,13	6,81	3,13	3,13	5,36	3,85	4,26	7,85	6,46	4,23

FONTE: O autor (2023).

4.4 APLICAÇÃO DO PROCESSO DE AMOSTRAGEM

4.4.1 Composição da população florestal

O universo amostral deste estudo é composto por 114.087 sementes distribuídas em 1573 pinhas, vinculados a 123 árvores, organizados em unidades primárias, secundárias e terciárias, com tamanhos desiguais entre os estágios amostrados, como está evidenciado na TABELA 5, configurando um processo de amostragem em três estágios. Por tratar-se de uma nova aplicação dessa metodologia de amostragem, para a espécie *Araucaria angustifolia*, os cálculos estão apresentados de forma sucinta a fim de evidenciar os procedimentos matemáticos adotados.

4.4.2 Médias

TABELA 5 – PESO MÉDIO DE SEMENTES POR PINHA

N	Pinhas	Peso médio por pinha
35	1	4,78
	2	4,85
	3	5,08
	4	4,52
	5	4,20
42	1	4,85
	2	4,93
	3	4,86
	4	4,66
	5	5,08
	6	4,97
	7	4,87
	8	4,57
	9	5,03
	10	4,78
	11	5,09
	12	5,07

FONTE: O autor (2023).

Na sequência foi calculado o número médio de sementes por matriz e apresentado na TABELA 6.

TABELA 6 – NÚMERO MÉDIO DE SEMENTES POR MATRIZ

N	Média	N	Média
35	71,00	32	60,89
42	79,17	77	78,88
53	95,33	149	59,17
55	75,00	90	98,00
64	62,00	167	93,00
67	78,00	68	53,67
79	64,00	82	67,56
80	88,00	115	63,42
94	73,00	23	52,75
141	83,33	26	47,33
142	125,00	132	73,60
51	68,50	38	70,50
123	78,40	67	77,50
17	81,23	90	69,08
90	74,31	205	61,00
138	81,50	84	90,20
17	75,33	47	67,44
28	72,67	103	62,00
3	87,89	68	79,50
105	57,56	140	58,75
134	68,17	223	76,43
159	70,71	72	75,15
161	60,77	181	64,44
109	63,58	202	107,33
189	74,44	3	80,20

FONTE: O autor (2023).

A variação do número de sementes por pinha é uma característica da espécie *Araucaria angustifolia* e pode estar relacionada a vários fatores, como pluviosidade, que pode atrapalhar o processo de polinização e fecundação (ANSELMINI *et al.*, 2006), problemas na formação da pinha (MANTOVANI *et al.* 2004), ou por questões climáticas (SOUSA *et al.*, 2000). As oscilações variam dentro de uma população, entre pinhas de uma mesma árvore e, também, variam a média de um ano para o outro na mesma árvore (MANTOVANI, 2004; SOUSA, 2000). A fim de melhorar o resultado dos estimadores dos parâmetros desta população, foram utilizadas ponderações relacionadas à variável número de sementes por árvore e por pinha, que norteou os resultados deste estudo. Embora a variação do número de sementes por pinha seja

oriunda de simulação, os resultados obtidos mostraram-se coerentes aqueles reportados em outros estudos para a mesma espécie, como está apresentado na TABELA 7.

TABELA 7 – VARIAÇÃO DA MÉDIA DE SEMENTES POR PINHA EM DIFERENTES ESTUDOS

Autores	Município	Médias de sementes por pinha
Vernalha <i>et al.</i> (1963)	Curitiba, PR	72
Solórzano Filho <i>et al.</i> (2001)	Campos do Jordão, SP	56 e 141*
Anselmini <i>et al.</i> (2006)	Curitiba, PR	60 e 40*
Mantovani <i>et al.</i> (2004)	Campos do Jordão, SP	93,9 e 80,7*
Figueiredo Filho <i>et al.</i> (2011)	Irati, PR	78,9
Silva <i>et al.</i> (2009)	Caçador, SC	56,9

FONTE: O autor (2023).

LEGENDA: * indica segunda coleta.

Posteriormente, calculou-se o número total de sementes (K_i) e o índice de variabilidade de sementes (W_i) para cada árvore. A TABELA 8 mostra os resultados destas estatísticas.

TABELA 8 – ÍNDICE DE VARIABILIDADE DE PINHAS POR ÁRVORE

N	(K_i)	(W_i)
35	355	0,38
42	950	1,02
53	858	0,93
55	300	0,32
64	248	0,27
67	156	0,17
79	128	0,14
80	264	0,28
94	511	0,55
141	1000	1,08
142	250	0,27
51	274	0,30
123	392	0,42
17	1056	1,14
90	966	1,04
138	163	0,18
17	904	0,97
28	872	0,94
3	791	0,85
105	518	0,56

N	(K_i)	(W_i)
134	409	0,44
159	1485	1,60
61	790	0,85
109	763	0,82
189	6700	7,22

FONTE: O autor (2023).

O índice de variabilidade (W_i) pondera o número de sementes em cada árvore pelo número médio de sementes por árvore (\bar{K}). Neste caso, quanto maior o número de sementes por árvore, maior será o índice de variabilidade (W_i) de sementes por araucária.

Considerando que o número médio de sementes por árvore é dado pela fórmula (4) e substituindo os valores amostrados tem-se:

$$\bar{K} = \frac{1}{123} \times 114.087 = 927,53 \text{ sementes}$$

O número total de sementes da população amostrada foi obtido pela expressão (5).

Substituindo os valores, tem se:

$$X = 123 \times 927,53 = 114.086 \text{ sementes}$$

Para se obter o peso médio de sementes por pinha \bar{U}_{ij} , ponderou-se o número de sementes de cada pinha G_{ij} pelo número médio de sementes \bar{G}_i por árvore, pela seguinte expressão:

$$\bar{U}_{ij} = \frac{G_{ij}}{\bar{G}_i} X_{ijk}$$

Na primeira pinha da primeira árvore (35) tem-se 84 sementes. Considerando que se tem uma média de 71 sementes por pinha para a mesma árvore tem-se que:

$$\frac{G_{ij}}{\bar{G}_i} = \frac{84}{71} = 1,18$$

Multiplicando esse índice de variabilidade para cada semente desta pinha, obtêm-se a somatória ponderada de $\frac{G_{ij}}{\bar{G}_i} X_{ijk}$, conforme indicado a seguir na TABELA

9.

TABELA 9 – SOMATÓRIO DO PESO PONDERADO EM UMA PINHA

X_{ijk}	U_{ijk}	X_{ijk}	U_{ijk}
3,16	3,74	4,01	4,74
5,21	6,16	6,98	8,26
3,78	4,47	5,34	6,32
4,88	5,77	2,74	3,24
5,33	6,31	4,24	5,02
5,64	6,67	7,31	8,65
4,2	4,97	3,97	4,7
4,02	4,76	2,97	3,51
5,08	6,01	3,92	4,64
4,01	4,74	5,22	6,18
4,33	5,12	3,09	3,66
6,55	7,75	6,2	7,34
6,82	8,07	5,78	6,84
3,05	3,61	5,15	6,09
3,24	3,83	4,81	5,69
3,59	4,25	6,91	8,18
6,78	8,02	4,97	5,88
4,19	4,96	7,01	8,29
4,25	5,03	4,9	5,8
5,55	6,57	4,92	5,82
2,78	3,29	4,73	5,6
3,03	3,58	6,3	7,45
5,16	6,1	5,65	6,68
2,18	2,58	8,59	10,16
3,31	3,92	5,92	7
3,65	4,32	4,72	5,58
3,72	4,4	6,13	7,25
3,38	4	6,02	7,12
6,56	7,76	7,32	8,66
5,78	6,84	2,29	2,71
3,29	3,89	6,55	7,75
3,93	4,65	6,18	7,31
3,55	4,2	3,28	3,88
5,85	6,92	2,53	2,99
3,86	4,57	4,38	5,18
3,29	3,89	4,94	5,84
4,15	4,91	6,22	7,36
4,41	5,22	5,14	6,08
3,38	4	3,46	4,09
6,17	7,3	5,46	6,46
4,02	4,76	5,3	6,27
4,49	5,31	6,6	7,81
ΣU_{ijk}			475,30 g

FONTE: O autor (2023).

Após o cálculo do índice de variabilidade das sementes por pinha, obteve-se o peso médio destas por pinha mediante aplicação da expressão (8).

ou seja:

$$\bar{U}_{ij} = \frac{1}{84} 475,3 = 5,65 \text{ gramas}$$

Posteriormente, obteve-se o peso médio das sementes por árvore pela expressão (9).

Na TABELA 10 está apresentado o peso médio de sementes por árvore para 112 araucárias fêmeas produtivas da área de estudos.

TABELA 10 – PESO MÉDIO PONDERADO DE SEMENTES POR ÁRVORE

N	$\bar{U}_{i..}(\text{g})$	N	$\bar{U}_{i..}(\text{g})$	N	$\bar{U}_{i..}(\text{g})$	N	$\bar{U}_{i..}(\text{g})$
35	4,75	90	4,92	79	4,85	194	4,83
42	4,87	167	4,87	84	4,88	60	4,88
53	4,74	68	4,99	51	4,81	227	4,88
55	4,91	82	4,87	98	4,85	47	4,96
64	4,93	115	4,76	3	4,80	97	4,80
67	4,88	23	4,75	115	5,00	126	4,86
79	4,69	26	5,01	14	4,86	136	4,86
80	4,93	132	5,01	19	4,86	54	4,84
94	4,87	38	4,90	119	4,85	159	4,97
141	4,86	67	5,04	91	4,82	23	4,86
142	4,78	90	4,83	76	4,92	50	4,89
51	4,97	205	4,86	124	4,72	91	4,87
123	4,90	84	4,89	128	4,75	149	4,87
17	4,85	47	4,83	163	4,84	142	5,59
90	4,87	103	5,00	66	4,96	146	4,77
138	4,82	68	4,85	132	4,86	202	4,84
17	5,04	140	4,92	190	4,88	24	4,81
28	4,82	223	4,87	52	4,79	35	5,01
3	4,86	72	4,85	16	4,72	57	4,93
105	4,81	181	4,83	36	4,80	90	4,90
134	4,81	202	4,85	40	4,95	133	4,78
159	4,76	3	4,86	81	4,87	42	4,88
161	4,85	100	4,80	88	5,06	58	4,87
109	4,84	102	4,93	13	4,85	86	4,89
189	4,85	110	4,83	87	4,81	20	4,87
32	4,86	147	4,84	9	4,99	59	5,14
77	4,91	27	4,82	56	4,93	102	4,82
149	4,89	62	4,88	61	4,88	166	4,88

FONTE: O autor (2023).

Como esperado, os dados apresentados na TABELA 10 não resultaram em grandes variações nas médias de uma árvore para outra e isso se deu pela maneira aleatória com que os pesos simulados foram atribuídos para cada semente na floresta. A tendência em inventários de sementes para a espécie é a obtenção de maior variação das médias entre árvores matrizes e menor variância para cada árvore, devido ao efeito da planta mãe, contudo dentro de uma população essas flutuações tendem a ser moderadas. As médias deste estudo são muito próximas aos valores encontrados por Solórzano Filho (2001), que obteve média de 5,5 g, em Campos do Jordão, SP, de onde também se utilizou o peso seco de sementes de araucária para o estudo.

O próximo passo foi a determinação do peso médio das sementes na população amostrada. Considerando a expressão (10) e sendo $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{P_i} \sum_{K=1}^{G_{ij}} X_{ijk}$ igual a 554.951,82 gramas e $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{P_i} G_{ij}$ igual a 114.087 sementes tem-se:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{P_i} \sum_{K=1}^{G_{ij}} X_{ijk}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{P_i} G_{ij}} = 4,86 \text{ gramas}$$

4.4.3 Variâncias

A variância do peso médio das sementes por árvore é dada pela expressão (11), substituindo os termos $\sum_{i=1}^N \left(\frac{K_i}{\bar{K}} \bar{x}_{i..} - \bar{x} \right)^2$ tem-se o resultado apresentado na TABELA 11.

TABELA 11 – CÁLCULO DA VARIÂNCIA DO PESO MÉDIO DAS SEMENTES ENTRE MATRIZES

N	$\frac{K_i}{\bar{K}}$	$\bar{x}_{i..}$	$\left(\frac{K_i}{\bar{K}} \bar{x}_{i..} - \bar{x} \right)^2$
35	0,38	4,69	9,283
42	1,02	4,90	0,016
53	0,93	4,76	0,228
55	0,32	4,91	10,735
64	0,27	4,89	12,570
67	0,17	5,06	16,350
79	0,14	4,82	17,780
80	0,28	4,95	11,980
94	0,55	4,92	4,740
141	1,08	4,88	0,140
142	0,27	4,78	12,780
51	0,30	4,97	11,520
123	0,42	4,99	7,790
17	1,14	4,86	0,430
90	1,04	4,91	0,040
138	0,18	4,81	16,130
17	0,97	5,05	0,003
28	0,94	4,75	0,112
3	0,85	4,80	0,510
105	0,56	4,82	4,740
134	0,44	4,79	7,530
159	1,60	4,75	7,560
161	0,85	4,82	0,530
109	0,82	4,81	0,770
189	7,22	4,86	911,040
...
123	0,15	4,36	17,850
$\sum_{i=1}^N =$			4.887,10

FONTE: O autor (2023).

Inserindo-se os termos da variância na expressão (11), tem-se que:

$$S_{gx}^2 = \frac{1}{123-1} \times 4.887,10 = 40,06 \text{ (gramas)}^2$$

O efeito da simulação e a forma com que os dados foram distribuídos não permitem estimar uma variância fidedigna de cada árvore, tendendo ao aumento, conforme se aumenta também o número de sementes por árvore e por pinha. Mantovani *et al.* (2004) encontraram uma ampla variação de médias entre árvores, contudo observou-se um desvio padrão semelhante entre elas, o que confirma o efeito da planta mãe na variação e no peso médio das sementes por árvore.

A variância do peso das sementes por pinha entre árvores é dada pela expressão (12).

Para sua resolução é necessário considerar a média de sementes ($\bar{G}_i = 71$ unidades) e o peso médio das sementes da árvore ($\bar{X}_i = 5,65$ gramas). Na TABELA 12, está apresentado o procedimento do cálculo da variância da primeira árvore.

TABELA 12 – PROCEDIMENTO PARA O CÁLCULO DA VARIÂNCIA DO PESO MÉDIO DAS SEMENTES ENTRE PINHAS

N	G _{ij}	X _{ij} (g)	$\left(\frac{G_{ij}}{G_i} \bar{X}_{ij} - \bar{X}_i\right)^2$
35	84	4,78	0,83
	111	4,85	8,05
	72	5,08	0,16
	31	4,52	7,69
	57	4,19	1,90
$\sum_{i=1}^N =$			18,66

FONTE: O autor (2023).

Substituindo o somatório acumulado na fórmula da variância tem-se:

$$S_{ix}^2 = \frac{1}{5-1} 18,66 = 4,66 \text{ (g)}^2$$

Na TABELA 13 observa-se a variância do peso médio das sementes por pinha em 10 árvores.

TABELA 13 – VARIÂNCIA DO PESO MÉDIO DAS SEMENTES ENTRE PINHAS EM CADA ÁRVORE

N	s_{ix}^2
35	4,66
42	4,55
53	0,93
55	1,54
64	3,32
67	8,76
79	14,10
80	1,58
94	4,13
141	3,37

FONTE: O autor (2023).

Na sequência foi obtida a variância do peso das sementes dentro das pinhas. Por se tratar de cálculo independente da árvore de origem, utilizou-se os dados reais das 40 pinhas coletadas. Segue a apresentação do cálculo para a primeira pinha. A variância do peso médio das sementes é dada pela expressão (13) e está apresentada na TABELA 14 e para o total das 40 pinhas, na TABELA 15.

TABELA 14 – VARIÂNCIA DO PESO MÉDIO DAS SEMENTES DA PRIMEIRA PINHA

1ª PINHA	\bar{X}_{ij}	$(X_{ijk} - \bar{X}_{ij})^2$
7,90	6,65	1,54
6,70		0,00
7,29		0,41
5,18		2,16
8,32		2,80
8,41		3,09
7,39		0,55
7,37		0,51
7,79		1,29
7,72		1,13
5,27		1,92
7,71		1,11
7,83		1,38
7,00		0,12
4,80		3,43
6,88		0,05

1ª PINHA	\bar{X}_{ij}	$(X_{ijk} - \bar{X}_{ij})^2$
6,99		0,12
5,06		2,54
6,28		0,14
6,14		0,27
6,68		0,00
7,60		0,89
8,04		1,93
7,92		1,60
...		...
4,73		3,71
$\sum_{k=1}^g =$		118,23

FONTE: O autor (2023).

Substituindo o somatório acumulado na fórmula da variância tem-se:

$$S_{ijx}^2 = \frac{1}{83} 118,23 = 1,44 (g)^2$$

TABELA 15 – CÁLCULO DA VARIÂNCIA DO PESO DAS SEMENTES NO INTERIOR DE CADA PINHA, PARA 40 PINHAS

P_i	\bar{X}_{ij}	G_{ij}	$\sum (X_{ijk} - \bar{X}_{ij})^2$	S_{ijx}^2
1	6,65	83	118,23	1,44
2	4,13	83	70,15	0,86
3	5,89	140	305,37	2,20
4	4,68	104	228,23	2,22
5	5,88	89	190,69	2,17
6	4,94	83	167,54	2,04
7	5,99	77	162,60	2,14
8	5,14	89	80,34	0,91
9	5,26	76	101,95	1,36
10	5,73	79	77,98	1,00
11	5,46	64	171,32	2,72
12	6,55	74	129,35	1,77
13	6,65	91	254,97	2,83
14	5,35	78	69,99	0,91
15	4,96	80	70,47	0,89
16	5,61	87	51,19	0,60
17	5,52	81	58,43	0,73

P_i	\bar{X}_{ij}	G_{ij}	$\sum (X_{ijk} - \bar{X}_{ij})^2$	S_{ijx}^2
18	5,75	79	97,72	1,25
19	6,36	86	102,47	1,21
20	5,20	82	65,05	0,80
21	5,50	94	70,86	0,76
22	6,04	75	71,49	0,97
23	5,39	93	106,16	1,15
24	3,29	88	81,31	0,93
25	3,99	103	36,06	0,35
26	4,57	132	64,02	0,49
27	3,61	95	58,65	0,62
28	2,65	107	79,73	0,75
29	5,37	127	99,52	0,79
30	4,95	126	71,53	0,57
31	3,89	115	82,14	0,72
32	4,79	125	218,16	1,76
33	4,29	128	47,05	0,37
34	3,32	113	65,74	0,59
35	3,51	112	113,50	1,02
36	3,25	76	79,50	1,06
37	3,08	75	24,13	0,33
38	3,75	105	81,00	0,78
39	3,07	77	29,35	0,39
40	5,91	61	193,85	3,23

FONTE: O autor (2023).

Nota-se que as variâncias no interior das pinhas analisadas apresentam grande homogeneidade, ou seja, o peso médio no interior de cada pinha tem pouca variação, no presente caso calculadas com dados não simulados. Este resultado se deve à métrica avaliada ser menor.

De posse disso, foram obtidas todas as informações referentes à tendência central do peso das sementes e da sua variabilidade em todos os níveis da população.

4.5 AMOSTRAGEM

A amostragem foi efetuada a partir do banco de dados constituído da população que teve sua origem baseada em dados reais de campo (1º e 2º estágio da amostragem) e nos dados simulados (3º estágio da amostragem). Do total da população de 123 araucárias fêmeas amostradas no banco de dados foram selecionados aleatoriamente 8 árvores. De cada matriz foram selecionados aleatoriamente três pinhas e em cada pinha 5 sementes, portanto a amostragem foi efetuada em todos os estágios da população.

4.5.1 Médias

Os estimadores do peso médio das sementes por pinha na amostragem, cujo resultados foram obtidos pela expressão (15), estão exemplificados na TABELA 16.

TABELA 16 – PESO MÉDIO DAS SEMENTES POR PINHA NA AMOSTRAGEM

n	p _i	\bar{x}_{ij} (g)
142	1	3,93
	2	5,06
	3	4,48
136	1	5,62
	2	2,27
	3	4,79
125	1	5,45
	2	4,7
	3	5,12
194	1	5,61
	2	4,57
	3	5,17

FONTE: O autor (2023).

Posteriormente, calculou-se o peso médio das sementes por árvore pela expressão (14), cujos resultados estão apresentados na TABELA 17.

TABELA 17 – PESO MÉDIO DAS SEMENTES POR ÁRVORE

n	\bar{u}_i (g)
142	4,74
136	4,48
125	4,98
194	4,85
76	4,34
91	5,09
52	3,62
227	4,76

FONTE: O autor (2023).

A média ponderada do peso de sementes do total de araucárias amostradas foi obtida pela aplicação da expressão (16), cujos resultados estão apresentados na TABELA 18.

TABELA 18 – PROCEDIMENTO DO CÁLCULO DO PESO MÉDIO DAS SEMENTES POR ÁRVORE AMOSTRADA

n	w_i	\bar{u}_i	$w_i \bar{u}_i$
142	0,389	4,75	1,84
136	0,291	4,48	1,30
125	0,310	4,99	1,54
194	0,495	4,86	2,40
76	0,426	4,34	1,85
91	1,940	5,09	9,88
52	0,657	3,62	2,38
17	0,970	4,45	4,31
$\sum_{i=1}^n =$			25,50

FONTE: O autor (2023).

Sendo que $\sum_{i=1}^n \frac{K_i}{K} \bar{u}_i$ é igual à 25,50, portanto:

$$\bar{\bar{u}} = \frac{1}{8} \times 25,50 = 3,18 \text{ gramas}$$

4.5.2 Estimadores da variância

A estimativa da variância do peso médio das sementes entre árvores foi obtida pela expressão (17). Considerando que \bar{x} é igual a 4,69 gramas e que $\sum_{i=1}^n (w_i \bar{x}_i - \bar{x})^2$ é igual a 71,901, e reescrevendo os termos da equação, tem-se que:

$$s_{gx}^2 = \frac{1}{8-1} \times 71,901 = 10,27(g)^2$$

Na TABELA 19 está apresentado o procedimento para a estimativa da variância do peso médio entre árvores.

TABELA 19 – PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DE VARIÂNCIA DO PESO MÉDIO DAS SEMENTES ENTRE ARAUCÁRIAS

n	\bar{x}_i	w_i	$(w_i \bar{x}_i - \bar{x})^2$
142	4,491	1,748	8,696
136	4,225	1,228	12,036
125	5,089	1,575	9,745
194	5,119	2,532	4,686
76	4,462	1,900	7,824
91	5,045	9,788	25,916
52	4,511	2,964	3,002
227	4,45	0,970	0,002
$\sum_{i=1}^n =$			71,901

FONTE: O autor (2023).

Inserindo-se os termos da variância na expressão (17), tem-se que:

$$s_{gx}^2 = \frac{1}{8-1} \times 71,901 = 10,27 (g)^2$$

Embora este resultado seja oriundo de uma simulação, é esperado que árvores com alta produção de pinhas tenham maior variabilidade no peso individual das sementes, principalmente devido ao maior número de pinhas com tamanhos diferentes.

A variação do peso médio das sementes entre pinhas em cada araucária será apresentada apenas para a primeira árvore amostrada, considerando que o peso médio das sementes da árvore selecionada na amostragem é de 4,49 gramas. Na TABELA 20 está apresentado o procedimento de cálculo.

TABELA 20 – PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DA VARIÂNCIA DO PESO DAS SEMENTES ENTRE PINHAS DE UMA MESMA ÁRVORE

G_{ij}	\bar{x}_{ij}	$\left(\frac{G_{ij}}{G_i} \bar{x}_{ij} - \bar{x}_i\right)^2$
13	3,93	12,47
86	5,06	13,46
61	4,48	0,40
$\sum_{k=1}^{G_{ij}} =$		26,33

FONTE: O autor (2023).

Substituindo, tem-se:

$$s_{ix}^2 = \frac{1}{3-1} \times 26,33 = 13,165 \text{ (g)}^2$$

Posteriormente, calculou-se a variância do peso das sementes no interior de cada pinha. Na TABELA 21 está apresentado o procedimento para o cálculo da estimativa da variância entre as sementes dentro da primeira pinha, da primeira árvore.

TABELA 21 – VARIÂNCIA DO PESO MÉDIO DE SEMENTES DENTRO DA PRIMEIRA PINHA AMOSTRADA

x_{ijk}	\bar{x}_{ij}	$(x_{ijk} - \bar{x}_{ij})^2$
5,11	3,93	1,38
5,27		1,78
3,19		0,55
4,03		0,01
2,07		3,47
$\sum_{k=1}^{G_{ij}} =$		1,382976

FONTE: O autor (2023).

Substituindo-se o valor na fórmula da variância, tem-se:

$$s_{ix}^2 = \frac{1}{5-1} \times 1,38 = 0,345 \text{ (g)}^2$$

Como se pode observar, os estimadores foram similares aos parâmetros nos três estágios da amostragem, verificando-se uma variâncias decrescentes para todos

os níveis amostrados, ou seja, $S_{gx}^2 > S_{ix}^2 > S_{ijk}^2$, cujo grau de variabilidade dos estimadores se reduz à medida que a métrica das variáveis de cada estágio se torna menor.

4.5.3 Variância da média

A variância da média em função dos parâmetros da população foi obtida pela aplicação da expressão (19). A fim de facilitar a apresentação deste resultado, o procedimento de cada etapa do cálculo foi organizado sequencialmente, conforme está apresentado na TABELA 22.

TABELA 22 – PROCEDIMENTO PARA O CÁLCULO DA VARIÂNCIA DA MÉDIA DA POPULAÇÃO

População	Peso (g) ²	Amostra	Peso (g) ²
$\left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N}\right) S_{gx}^2$	4,68159	$\left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N}\right) S_{gx}^2$	1,2
$\frac{1}{nN} \sum_{i=1}^n w_i^2 \left(\frac{1}{g_i} - \frac{1}{G_i}\right) S_{ix}^2$	0,00074	$\frac{1}{nN} \sum_{i=1}^n w_i^2 \left(\frac{1}{g_i} - \frac{1}{G_i}\right) S_{ix}^2$	$5,3331 \cdot 10^{-5}$
$\frac{1}{nN} \sum_{i=1}^n \frac{w_i^2}{p_i P_i} \sum_{j=1}^{P_i} \frac{G_{ij}^2}{G_i} \left(\frac{1}{g_{ij}} - \frac{1}{G_{ij}}\right) S_{ijk}^2$	0,06832	$\frac{1}{nN} \sum_{i=1}^n \frac{w_i^2}{p_i P_i} \sum_{j=1}^{P_i} \frac{G_{ij}^2}{G_i} \left(\frac{1}{g_{ij}} - \frac{1}{G_{ij}}\right) S_{ijk}^2$	$5,1853 \cdot 10^{-8}$

FONTE: O autor (2023).

Ou seja,

$$V(\bar{x}) = 4,68159 + 0,00074 + 0,06832 = 4,75 \text{ (g)}^2$$

Já a variância da média da amostra resultou em:

$$v(\bar{x}) = 1,2 + 5,3331 \cdot 10^{-5} + 5,1853 \cdot 10^{-8} = 1,20 \text{ (g)}^2$$

O erro padrão da amostragem, ou precisão do levantamento da produção de sementes de *A. angustifolia* na população amostrada resultou em:

$$S(\bar{x}) = \sqrt{1,2} = 1,1 \text{ gramas}$$

É possível notar que a variância da média calculada em função dos parâmetros é maior em relação a variância da média obtida com os estimadores da amostragem.

Isso ocorre devido à presença de árvores altamente produtivas na população, que embora sejam em menor número, têm um impacto significativo na produtividade de sementes e na sua variância na floresta.

O erro padrão percentual de 34,59% é considerado um erro alto na amostragem. Um aumento no número de unidades primárias pode diminuir ou ampliar esse erro. Isso se deve a amplitude de variância entre matrizes. Por esta razão, os estimadores de variância não são consistentes para esta população no primeiro estágio da amostragem.

A forma aleatória que foram alocados os pesos simulados para cada semente contribuiu para esse aumento de variância no primeiro estágio da amostragem, contudo, com a obtenção de dados reais de cada árvore estes valores tendem a reduzir devido ao efeito genético da planta mãe que contribui para uma maior aglutinação da variável de interesse mais próximo a média.

Outra forma de melhorar os estimadores de variância no primeiro estágio da amostragem consiste na aplicação de uma estratificação desta etapa, podendo ela ser pré-definida conforme o número de pinhas por árvore obtidas de forma antecipada por meio da contagem de pinhas.

No segundo e terceiro estágio da amostragem, quando analisado os termos do cálculo de variância da média de forma separada, notou-se um erro baixo devido a menor variância.

A consistência e a precisão dos estimadores de média e variância do segundo e terceiro estágio da amostragem, assim como a estatística do ajuste da função densidade de probabilidade do número de sementes por pinha estabelece que o número de informações a serem coletadas em cada unidade primária são menores nesses estágios.

A concentração das unidades amostrais em compartimentos menores no segundo e terceiro estágios da amostragem reduz os erros não amostrais, além de reduzir custos e tempo de coleta.

Em linhas gerais, o processo de amostragem em três estágios proposto por este estudo apresentou grande potencialidade para monitoramento da produtividade de sementes de *A. angustifolia* e suas flutuações, uma vez que integra apropriadamente as intensidades populacionais de pinhas por árvore e sementes por pinha. As intensidades são informações importantes quanto ao comportamento reprodutivo, genético e ecológico desta espécie.

CONCLUSÕES

Os níveis hierárquicos estabelecidos neste estudo são adequados para o levantamento da produção de sementes de *Araucaria angustifolia*.

A variabilidade da produtividade de sementes da *Araucaria angustifolia* são obtidas nos três níveis amostrais propostos neste estudo, valendo-se da aplicação de ponderações apropriadas nos diferentes níveis da amostragem.

A variabilidade decrescente $S_{gx}^2 > S_{ix}^2 > S_{ijx}^2$ indica que a intensidade amostral deve ser maior no primeiro estágio da amostragem e menor no segundo e terceiro.

O uso de sensoriamento remoto por imagens aéreas para a contagem de pinhas é uma ferramenta extremamente vantajosa para este tipo de inventário.

A contagem prévia à colheita garante que o inventário ocorra sem a intervenção de extratores clandestinos, a um custo reduzido, num curto espaço de tempo. As imagens aéreas também são úteis para a diferenciação dos sexos e na seleção aleatória das unidades primárias para a coleta dos dados do terceiro estágio.

A simulação de dados é uma poderosa ferramenta para o desenvolvimento do processo de amostragem, principalmente por se tratar de um arranjo amostral em múltiplos estágios, quando as variáveis podem ser de difícil obtenção, como o caso do estudo dos produtos florestais não madeireiros.

As ponderações são essenciais para equalizar os tamanhos desiguais das unidades amostrais e evitar que o resultado da produção de sementes de árvores e pinhas mais produtivas e menos abundantes sejam subestimadas no inventário, no entanto, as ponderações não suprimam as desigualdades populacionais do primeiro estágio da amostragem devido à grande variação de produção entre plantas.

O processo de amostragem teve uma precisão baixa devido ao efeito de árvores altamente produtivas na população no primeiro estágio da amostragem. Contudo, o segundo e o terceiro estágio da amostragem os estimadores foram consistentes, indicando suficiência de uma baixa intensidade amostral nesses níveis.

4.6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A variação de raças, ecotipos e ocorrência em diferentes condições vegetacionais revelam que *A. angustifolia*, apresenta grande complexidade no quesito produtividade. Estas variações precisam ser detalhadas para caracterizá-las em

classes de produtividade para viabilizar a estratificação no processo de amostragem e, conseqüentemente, reduzir o número de unidades amostrais para o seu monitoramento.

A identificação de árvores de baixa, média e alta produtividade podem ser efetuada de forma remota, por meio da enumeração de pinhas com o uso de veículos aéreos não tripulados, já a identificação de espécimes de produção precoce, intermediária e tardia, assim como a caracterização de suas sementes, pode ser obtida por repetidas visitas a campo para observação do período de queda de sementes.

Em estudos sobre o comportamento reprodutivo, recomenda-se que o projeto de inventário de produtividade de sementes de *A. angustifolia* deva ter no mínimo 3 anos para captar melhor as oscilações de produtividade, principalmente no que se refere ao número de pinhas por árvore e o número de sementes por pinha.

REFERÊNCIAS

- ADAN, N. *et al.* Local knowledge, use and management of ethno-varieties of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze. in the Plateau of Santa Catarina, Brazil. New York City: **Economic Botany**, v. 70, n. 4, p. 353-364, 2009.
- ALVAREZ, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.22, n. 6, p.711–728, 2013.
- ANSELMINI, J. I.; ZANETTE, F. Development and growth curve of the pinecones of *Araucaria angustifolia*, in the region of Curitiba. Brazilian: **Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 4, p. 665-669, 2008.
- ANSELMINI, J. I.; ZANETTE, F.; BONA, C. Fenologia reprodutiva da *Araucaria Angustifolia* (Bert.) O. Kuntze, na região de Curitiba, PR. Brasília: **Floresta e Ambiente**, v. 13, p. 44-52, 2006.
- ATANAZIO, K. A. **Relações morfométricas e quantificação da produção de pinhas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no sul do Brasil**. 97 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, 2018.
- AULER, N. M. F. *et al.* The genetics and conservation of *Araucaria angustifolia*: I. Genetic structure and diversity of natural populations by means of non-adaptive variation in the state of Santa Catarina, Brazil. **Genetics and Molecular Biology**, v. 25, n. 3, p. 329-338, 2002.
- BACKES, A. Determinação da idade e regeneração natural de uma população de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em um povoamento florestal localizado no município de Caxias do Sul, RS, Brasil. Porto Alegre: **Iheringia. Serie Botânica**, v. 5, n. 6, p. 115 – 130, 2001.
- BANDEL, G., **O pinheiro brasileiro *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. ESALQ, Piracicaba. P. 27 - 28, 1966.
- BANDEL, G.; GURGEL, J.T.A. Proporção do sexo em pinheiro-brasileiro *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze. [São Paulo]: **Silvicultura - Revista Técnica do Serviço Florestal do Estado de São Paulo**, p. 209-220, 1967.
- BARBEIRO, L. S. S. **Sistema de amostragem para quantificar a produção de sementes de *Bertholletia excelsa* H.B.K (Castanha do Brasil) na região de Oriximiná – PA**. 115 f. Dissertação (Engenharia florestal) – Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, 2012.
- BIH, F. **Assessment methods for non – timber forest products in off – reserve forests: case study of Goaso district, Ghana**. 152 f. Dissertação (Ciências florestais e ambientais) – Universidade Albert Ludwig Freiburg, 2006.
- BITTENCOURT, J. V. M.; SEBENN, A. M. Pollen movement within a continuous forest of wind-pollinated *Araucaria angustifolia*, inferred from paternity and TWOGENER analysis. Dordrecht: **Conservation Genetics**, v. 9, p. 855–868, 2008.

BITTENCOURT, J.V.M. Proposta para conservação genética da *Araucaria angustifolia*. [S.l.]: **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 55, p.87-93, 2010.

BRASIL. Casa Civil. Lei nº. 11.284, de 2 de março de 2006. **Gestão de Florestas Públicas**. Disponível em: Acesso em: <https://legislacao.presidencia.gov.br>. Acesso em 20 nov. 2020.

CARVALHO, P. E. R. *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze. In: CARVALHO, P. E. R. (Ed.). **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ/Brasília, p.70-78, 1994.

CASTRO, Y.G.P. Variação do tamanho de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. [S.l.]: **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, nº 11, p. 124 - 133, 1959.

COCHRAN, W. G. Sampling theory when the sampling units are of unequal sizes. [S.l.]: **Journal of the American Statistical Association**. v.37, n. 218, p.199-212, 1942.

DANNER, M. A.; ZANETTE, F.; RIBEIRO, J. Z. O cultivo da Araucária para produção de pinhões como ferramenta para conservação. Colombo: **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 441-451, 2012.

EVANS, T.D.; VIENGKHAM, O.V. Inventory time-cost and statistical power: a case study of a Lao rattan. [S.l.] **Forest Ecology and Management**, v.150, p.313-322, 2001.

FAO. (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura). **Resource Assessment of Non-Wood Forest Products, Experience, and Biometric Principles. Non-Wood Forest Products**. Rome: FAO, 126 p., 2001.

FERREIRA, D.K. *et al.* Genetic analysis of 50-year old Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*) plantations: implications for conservation planning. [S.l.]: **Conservation Genetics**, v.13: p.435-442, 2012.

FIGUEIREDO FILHO, A. *et al.* Dioecy effect on growth of planted *Araucaria angustifolia* Bert. O. Kuntze tress. [Paraná]: **Cerne**, v.21, n. 3 p.493–502, 2015.

FREESE F. **Statistics for land managers: An introduction to sampling methods for foresters, Farmers and Environmental Biologists**. Jedburgh, Scotland: Paeony Press, 176 p., 1984.

GIONGO, M. *et al.* LiDAR: princípios e aplicações florestais. [S.l.]: **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 231, 2010. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/148>. Acesso em: 24 jul. 2022.

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

HERTEL, R. J. G. Estudos sobre a *Araucaria angustifolia*. Curitiba, Paraná, Brasil. Curitiba: **Instituto de História Natural**. 24 p., 1966.

HUSCH, B.; BEERS T.W.; KERSHAW JUNIOR, J. A. **Forest Mensuration**, 4. ed. Hoboken, New Jersey: J. Wiley, 443 p., 2003.

IBGE. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Produção da extração vegetal e silvicultura**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 26 mar. 2021.

KRUPEK, R. A.; RIBEIRO, V. Biometria e Germinação de Sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze proveniente de um remanescente florestal do Município de Turvo (PR). Guarapuava: **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 12, n. 1, 2010.

LLOYD, D. G.; WEBB, C. J. Secondary sex characters in plants. [S.l.] **The Botanical Review**, v. 43, p.177-216, 1977.

MACHADO, S. A. *et al.* Distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. Curitiba: **Scientia Agraria**, v.10, n. 2, p. 103 – 110, 2009.

MANTOVANI, A.; MORELLATO, L.P.C.; REIS, M.S. Fenologia reprodutiva e produção de sementes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. [S.l.]:**Revista Brasileira de Botânica**, v.27, n. 4, p.787-796, 2004.

MARQUARDT, D. W. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. [S.l.]: **Journal of the society for industrial and applied mathematics**, v. 11, n. 2, p. 431–441, 1963.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro** 2. ed. Lages: Princesa, 223p. 1994.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. Florianópolis: UFSC, 700 p. 2011.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. São Paulo: Grêmio Politécnico, 638 p. 1972.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Instrução normativa n.º 6: **Lista as espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção e com deficiência de dados: Análise do padrão de distribuição espacial da araucária BRASIL**. Brasília, n. 185, p.75-85, 2008.

NARDIN, C. F. **Demografia da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e recomendações para a exploração sustentável do pinhão no município do Turvo (PR)**, 82 f. (Dissertação profissionalizante) - Instituto de Pesquisas Ecológicas, Nazaré Paulista, 2010.

NOGUEIRA, A. C.; HENEMANN, V. Metodologia para determinação do grau de umidade de sementes de pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze), Brasília: **ABRATES**, v. 7, n. 1 e 2, 211p., 1997.

PALUDO, G. F. *et al.* Estrutura demográfica e padrão espacial de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), na Reserva

Genética Florestal de Caçador, Estado de Santa Catarina. Viçosa: **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p. 1109-1121, 2009.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba:[s.n.], 316 p., 1997.

PINTO, S. A. A. Influência da dioicia no diâmetro e na altura de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. e suas implicações na formação de áreas de produção de sementes na região de Quedas do Iguaçu - Estado do Paraná. Curitiba: **Floresta**, v.20, n.1 e 2, p. 1-118, 1990.

PULCHALSKI, A.; MANTOVANI, M.; REIS, M.S. dos. Variações em populações naturais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze associada a condições edafoclimáticas. Piracicaba: **Scientia Forestalis**, v. 70, p.137-148, 2006.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Flora ilustrada catarinense: Araucariáceas**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 63 p., 1966.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Madeiras do Brasil**. Florianópolis: Lunardelli, 322 p.,1979.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto Madeira de Santa Catarina: levantamento das espécies florestais nativas em Santa Catarina com a possibilidade de incremento e desenvolvimento. Itajaí: **Herbário Barbosa Rodrigues**, 320 p., 1978.

SANGUINETTI, J.; KITZBERGER, T. Patterns and mechanisms of masting in the large-seeded southern hemisphere conifer *Araucaria araucana*. [S.l.]: **Austral Ecology**, n. 33, p. 78 – 87, 2008.

SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E. **Perspectiva de recuperação e manejo sustentável das Florestas de Araucária**. 1.ed., Curitiba: Multi-Graphic, 264p, 2006.

SCHIKOWSKI, A. B. *et al.* Dinâmica da distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* em um remanescente de floresta ombrófila mista no Paraná. Lavras: **Revista Brasileira de Biometria**, v.34, n. 1, p.163-182, 2016.

SILVA, C. R.; REIS, M. S. Produção de pinhão na região de Caçador, SC: Aspectos da obtenção e sua importância para comunidades locais. Santa Maria, SC: **Ciência Florestal**, v. 19, n. 4, p. 363-374, 2009.

SILVA, J. R. da. *et al.* Seleção de procedências e progênies de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze para produção de madeira e pinhão. Piracicaba: **Scientia Forestalis**, v.46, n. 120, p.519-531, 2018.

SOLIGO, A. J. *et al.* Proporção da dioicia e distribuição diamétrica de árvores masculinas e femininas de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze, em povoamentos naturais. *In* III Simpósio Latino-Americano sobre manejo florestal 2004.

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

- SOLÓRZANO-FILHO, J. A.; KRAUS, J. E. Breve história das matas de Araucária. 1999, Anais.. Curitiba: **Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo**, 1999.
- SOUSA, V. A. Population genetic studies in *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Göttingen, 2000, 161 f. Tese (Ph.D.) - Georg-August University of Göttingen, 2000.
- SOUSA, V.A.; HATTEMER, H.H.: Pollen dispersal and gene flow by pollen in *Araucaria angustifolia*. **Austr. J. Bot**, v.51, p. 309–317, 2003.
- SOUZA, A. F. Ecological interpretation of multiple population size structures in trees: The case of *Araucaria angustifolia* in South America. [S.I.]: **Austral Ecology**, v. 32, p. 524 - 533, 2007.
- SOUZA, A. F. Ecological interpretation of multiple population size structures in trees: The case of *Araucaria angustifolia* in South America. [Australia]: **Austral Ecology**, v. 32, p. 524 – 533, 2007.
- SOUZA, A.F. *et al.* Seed crop size variation in the dominant South American conifer *Araucaria angustifolia* 1 ed. [S.I.]: **Acta Oecologica**, v. 36, p. 126 – 134, 2010.
- STEFENON, V. M *et al.* O. Integrating approaches towards the conservation of forest genetic resources: a case study of *Araucaria angustifolia*. In: **Biodivers Conserv**, n. 18, 2433–2448, 2009.
- TEWARI, D. D. Valuation of non-timber forest products (NTFPs): models, problems, and issues. [S.I.]: **Journal of Sustainable Forestry**, v. 11, n. 4, p. 47 – 68, 2000.
- THOMSON, J. D.; BARRETT, S. C. H. Selection of auto crossing sexual selection and devolution of dioecy in plants. **The Amercian Naturalist**, v. 18, p. 443–449, 1981.
- VERNALHA, M. M. *et al.* Considerações sobre a semente da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Acta.Biol.Par**, v. 1, n. 3-4, p. 39-96, 1972.
- WONG, J. L. G. The biometrics of non-timber forest product resource assessment: a review of current methodology. **Research paper for the European Tropical Forest Research Network (ETFRN), Department for International Development (DFID)**, 109 p., 2000.
- WREGGE, M. S. *et al.* Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. Colombo. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 37, n. 91, p. 331-346, 2017.
- YASAKA, M. *et al.* Variation in seed production among years and among individuals in 11 broadleaf tree species in northern Japan. **Journal of Forest Research**, v. 13, p. 83 – 88, 2008.
- ZANETTE, F. *et al.* Particularidades e biologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia*. In Wendling I, F Zanette ed. Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios. Brasília: **Embrapa**, p. 15–39, 2017.

ZANETTE, F.; ANSELMINI, J. I. Alguns aspectos da biologia reprodutiva da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Ktze, visando a produção de pinhões. In XVIII Congresso Brasileiro de Fruticultura. Florianópolis: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2004.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER. Proporção da dioiccia e distribuição diamétrica de árvores masculinas e femininas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, em povoamentos implantados. [S.l.]: **Ciência Florestal**, v.19, n. 4, p. 425-431, 2009.

ZECHINI, A. A.; *et al.* Produção, comercialização e identificação de variedades de pinhão no entorno da Floresta Nacional de Três Barras SC. Brasília: **Biodiversidade Brasileira, Brasília**. v. 2, n. 2, p. 74-82, 2012.