

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ADRIANO GUEDES DE CARVALHO

Funções de densidade de probabilidade aplicadas à distribuição diamétrica da floresta com *Araucaria angustifolia* e recuperação de parâmetros

CURITIBA

2020

ADRIANO GUEDES DE CARVALHO

Funções de densidade de probabilidade aplicadas à distribuição diamétrica da floresta com *Araucaria angustifolia* e recuperação de parâmetros

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Especialização em Manejo Florestal de Precisão, do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como pré-requisito para obtenção do título de especialista. Orientador (a): Prof. Dr. Aurélio Lourenço Rodrigues.

CURITIBA

2020

DEDICATÓRIA

Dedico primeiramente a Deus, a memória de meu pai Lauro Vieira de Carvalho, por todos os ensinamentos e o exemplo a ser seguido, que me ensinou a ter força e perseverança.

Ao meu Filho Lauro Arthur Carvalho, que mesmo pequeno já inspira e representa um futuro brilhante.

AGRADECIMENTOS

Ao Curso de Pós-Graduação MBA em Manejo Florestal de Precisão, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, na pessoa de seu coordenador Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta.

O agradecimento especial ao orientador Engenheiro Florestal. Dr. Aurélio Lourenço Rodrigues que sempre esteve presente no processo de elaboração deste trabalho.

A todos que contribuíram de alguma forma.

Muito obrigado!

RESUMO

A estrutura horizontal de um povoamento, normalmente obtida por função densidade de probabilidade, é conhecida por meio de sua distribuição diamétrica ou de área basal. É por meio da modelagem desta, que se pode fazer a prognose, conhecer a priori o efeito de práticas de manejo no povoamento, além de planejar intervenções e a negociação da madeira com maior segurança. Este tipo de abordagem é especialmente usado no caso de florestas com maior valor agregado, cuja madeira é destinada a múltiplos usos, como é o caso da *Araucaria angustifolia*. O objetivo do trabalho foi testar três de funções densidade de probabilidade e relacionar os parâmetros da função de melhor aderência com atributos do povoamento $G\ m^2$ (área basal), N_i (número de indivíduos), com dados de um inventário florestal contínuo, com período de medições de 14 anos, do ano de 1999 até o ano de 2013. Foram utilizados dados de 4 parcelas permanentes, são as parcelas 03, 04, 05, e 06. As funções testadas foram a Weibull 3 parâmetros, Beta 4 parâmetros e a Função Normal. Para o ajuste das funções e a recuperação dos parâmetros foi utilizado o Software estatístico StatGraphics e para a recuperação dos parâmetros foi utilizado o método Stepwise, nesta etapa foram trabalhadas somente com as parcelas 03 e 05, pois para a parcela 03 a função que ajustou foi a Weibull 3P, e a parcela 05 a Função ajustada foi a Beta 4P. A aderência das funções foi testada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov. Além disso, a diferença entre os dados observados e estimados foi observada por meio dos gráficos de dispersão dos resíduos e a precisão do modelo foi obtida pela análise estatística. Com base na análise estatística R^2 ajustado e SYX% a função que teve o melhor ajuste foi a função Beta 4P com ajustamento preciso e boa flexibilidade em relação aos parâmetros da floresta especialmente com o (número de indivíduos) N da Araucária. A função Weibull 3P reprovou na análise estatística com resultados insatisfatórios, o ano de 2008 prejudicou a evolução dos parâmetros, apresentando valores atípicos, que comprometeram a interpretação dos resultados.

Palavras-chave: Modelagem. Modelos Matemáticos. Função densidade de Probabilidade.

ABSTRACT

The horizontal structure of a stand, usually obtained by probability density function, is known through its diametric or basal area distribution. It is through its modeling that prognosis can be made, to know a priori the effect of management practices on the stand, in addition to planning interventions and negotiating the wood with greater security. This type of approach is especially used in the case of forests with higher added value, whose wood is intended for multiple uses, as is the case with *Araucaria angustifolia*. The objective of the work was to test three of the probability density functions and to relate the parameters of the best adherence function to the attributes of the stand $G \text{ m}^2$ (basal area), N_i (number of individuals), with data from a continuous forest inventory, with period of measurements of 14 years, from 1999 to 2013. Data from 4 permanent plots were used, plots 03, 04, 05, and 06. The tested functions were Weibull 3 parameters, Beta 4 parameters and the Function Normal. For the adjustment of the functions and the recovery of the parameters, the StatGraphics statistical software was used and for the recovery of the parameters, the Stepwise method was used. In this step, only the portions 03 and 05 were worked, because for the 03 the function that adjusted was Weibull 3P, and installment 05 the adjusted Function was Beta 4P. Functional adherence was tested using the Kolmogorov-Smirnov test. In addition, the difference between the observed and estimated data was observed through the dispersion graphs of the residues and the precision of the model was obtained by statistical analysis. Based on the adjusted R^2 and SYX% statistical analysis, the function that had the best adjustment was the Beta 4P function with precise adjustment and good flexibility in relation to the parameters of the forests, especially with the (number of individuals) N of Araucária. The Weibull 3P function failed in the statistical analysis with unsatisfactory results, the year 2008 hampered the evolution of the parameters, presenting atypical values, which compromised the interpretation of the results.

Keywords: Modeling. Mathematical Models. Probability density function.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1 INGRESSO	10
2.2 MORTALIDADE	10
2.3 FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE	10
2.3.1 FUNÇÃO NORMAL	12
2.3.2 FUNÇÃO BETA	13
2.3.3 FUNÇÃO WEIBULL	13
2.4 TESTES DE ADERÊNCIA	15
3. OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GERAL	16
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	16
4. JUSTIFICATIVA	17
5. MATERIAL E MÉTODOS	18
5.1. ÁREA DE ESTUDO	18
6. RESULTADOS	21
7. CONCLUSÃO	31
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1. INTRODUÇÃO

A Araucária (*Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze.) é a árvore símbolo dos estados do sul do Brasil. Durante milhares de anos, essa árvore exuberante sustentou diversos grupos indígenas que dependiam fundamentalmente dos seus generosos pinhões para sobreviver aos invernos rigorosos. A Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucária sustenta ainda hoje uma considerável atividade extrativista, além de uma miríade de plantas e animais que ocorrem unicamente no bioma Mata Atlântica. Nas últimas décadas, a extração não sustentável da madeira de Araucária desfigurou por completamente a paisagem, transformando magníficas florestas em áreas agrícolas e urbanizadas. Essa transformação tem ameaçado não apenas a existência da Araucária, que já se encontra na lista de espécies ameaçadas de extinção, mas também toda a biodiversidade a ela associada, segundo Fonseca et al. (2009).

Sanquetta et al.(2003) afirmaram que proteger esses remanescentes é um grande desafio para toda a sociedade, requerendo medidas legislativas e fiscalizatórias mais rígidas e também ações de caráter científico, pois sem o conhecimento do funcionamento do ecossistema, torna-se difícil executar práticas conservacionistas.

O conhecimento da distribuição diamétrica é uma das ferramentas fundamentais de amparo ao manejo florestal. Permite definir em quais classes diamétricas as árvores são mais frequentes, prever a área basal, avaliar a tipologia florestal e, quando associada às informações de recrutamento por classes de diâmetro adjacentes, ou informações de incremento para todas as espécies, ou para uma espécie em especial, possibilita construir tabelas de produção presente e futura. Além disso, a partir das distribuições diamétricas de florestas mistas é possível analisar a intensidade de regeneração natural por espécie e para a floresta como um todo e avaliar a estrutura da floresta (ORELLANA,2009).

A distribuição diamétrica aliada ao crescimento da floresta, permitem que o técnico conduza o plano de manejo florestal, pois é partir desta que podemos definir quais as intervenções nas determinadas classes, quais as frequências de árvores é maior, sem desorganizar a estrutura da floresta.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo CARVALHO (1994), a Floresta com Araucária ocorre da latitude 19°15'S (Conselheiro Pena - MG, no alto rio Doce) a 31°30`S (Canguçu - RS). Com referência à longitude, estende-se desde 41°30`W até 54°30`L. Ocorre principalmente no Brasil e em pequenas manchas na Argentina (extremo nordeste, na província de Misiones) e no Paraguai (leste, no Departamento de Alto Paraná).

No Brasil a área original foi de cerca de 200.000 km², de formato irregular, ocorrendo principalmente nos Estados do Paraná (40% de sua superfície), Santa Catarina (31 %) e Rio Grande do Sul (25%) e com manchas esparsas no sul de São Paulo (3%), internando-se até o sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro em áreas de altitude elevadas (STEPKA, 2008a).

Segundo FIGUEIREDO et al (2010), o estudo da dinâmica florestal se baseia no crescimento, ingresso e mortalidade. Esses parâmetros estão entre os poucos que podem ser utilizados na predição do desenvolvimento de uma floresta natural (FERREIRA, 1997). As estimativas desses parâmetros são obtidas, principalmente, por meio de inventário florestal contínuo com parcelas permanentes monitoradas a médio e longo prazo. Assim, o estudo da dinâmica pode possibilitar o entendimento dos processos por meio dos quais ocorrem as mudanças, em níveis de espécies e para a floresta como um todo.

Segundo Azevedo et al. (1995), modelos usados na predição do crescimento da floresta são tipicamente compostos por equações, que descrevem os componentes do crescimento (crescimento sobrevivente, mortalidade, colheita e ingresso), individualmente, e então, em combinação, fornece uma base para predição do crescimento total do povoamento (STEPKA, 2008b).

O ingresso, a mortalidade e o incremento em diâmetro estão entre os poucos parâmetros que podem ser utilizados na predição do desenvolvimento de uma floresta nativa inequidiana (FERREIRA, 1997).

Segundo HUSCH et al. (1982), o crescimento das árvores é influenciado pelas características da espécie interagindo com o ambiente.

Para PRODAN et al. (1997), as influências ambientais incluem fatores climáticos (temperatura, vento, precipitação e insolação), fatores pedológicos

(características físicas e químicas, umidade e microrganismos), características topográficas (inclinação, elevação e aspecto) e competição (influência de outras árvores, sub-bosque e animais), sendo que a soma destes fatores exprime o conceito de qualidade de sítio.

2.1 Ingresso

De acordo com ALDER e SYNNOTT (1992), ingresso é o processo pela qual as árvores "aparecem" nas classes diamétricas mensuráveis por crescerem acima do diâmetro mínimo considerado. O ingresso está diretamente ligado à regeneração, mas não são sinônimos, pois a regeneração é o processo, pelo qual, novas árvores são adicionadas à população através da germinação das sementes. Os mesmos autores citam que adicionalmente ao fato da palavra regeneração definir um processo, pode-se também usá-la para se referir às árvores com diâmetro menor que o limite de medição.

2.2 Mortalidade

Nas florestas as árvores morrem continuamente. Esse fato comprova-se pela típica distribuição diamétrica em J-invertido apresentada pelas florestas naturais, que mostra que apenas uma pequena fração da regeneração (0-10 cm de DAP) sobreviverá até atingir dimensões comerciais (STEPKA, 2008).

Segundo CARVALHO (1999), a mortalidade pode ser causada por muitos fatores, como ataque de patógenos, parasitas e herbívoros, tempestades, danos causados por fortes chuvas, principalmente em árvores emergentes, exploração florestal, durante a operação e principalmente nos primeiros cinco anos seguintes, e morte por idade avançada, considerando que todo ser vivo tem um período de vida finito (STEPKA, 2008).

2.3 Funções densidade de probabilidade

Conforme Mayrinck (2017), a estrutura horizontal de um povoamento, normalmente obtida por função densidade de probabilidade, é conhecida por meio

de sua distribuição diamétrica e ou de área basal. É por meio da modelagem desta, que se pode fazer a prognose, conhecer a priori o efeito de práticas de manejo no povoamento, além de planejar intervenções e a negociação da madeira com maior segurança. O ajuste de uma função densidade de probabilidade permite que se conheça a probabilidade da ocorrência de árvores em determinada classe de diâmetro e, além disso, que se relacionem os parâmetros da função com os atributos do povoamento, o que pode deixar sistemas de prognose mais simples, acessíveis e práticos.

As distribuições probabilísticas constituem conceitos fundamentais na estatística com aplicações práticas e teóricas cujas frequências esperadas de ocorrência da variável aleatória são estimadas pelas funções probabilísticas. Essas funções são classificadas, de acordo com as variáveis aleatórias envolvidas como discretas e contínuas, nas quais o número de ocorrências é finito e infinito, respectivamente (ORELLANA, 2009).

As funções probabilísticas contínuas, também conhecidas como funções densidade de probabilidade (fdp), podem ser agrupadas quanto aos picos de frequência (unimodal ou multimodais), simetria (simétricas ou assimétricas), tipo de curvatura (rígida ou flexível) e número de variáveis aleatórias (univariadas ou multivariadas) (ORELLANA, 2009).

Segundo Bussab e Morettin (1987), a característica principal de uma variável aleatória contínua é que, sendo resultado de uma mensuração, o seu valor pode ser pensado como pertencendo a um intervalo ao redor do valor efetivamente observado (ORELLANA, 2009).

Uma função probabilística contínua e univariada $f(x)$ apresenta as seguintes propriedades (EMBRAPA, 2002):

1. $f(x) \geq 0$ para todos os valores de x dentro de um intervalo considerado
2. $\int f(x) dx = 1$
3. $f(x) = 0$, se x está contido fora do intervalo considerado

Assim a probabilidade de x ocorrer num intervalo, depende da integral:

$$p = [a \leq x \leq b] = \int_a^b f(x) dx \quad (1)$$

Integrando-se $f(x)$ resulta na função de distribuição acumulada $F(x)$ e esta

resulta na probabilidade que a variável x assume até este ponto. A $F(x)$ apresenta as seguintes propriedades:

1. Não é decrescente;
2. Quando x tende a mais infinito $F(x) = 1$;
3. Quando x tende a menos infinito $F(x) = 0$.

$$P(a \leq x \leq b) = F(b) - F(a) \quad (2)$$

Para $a < b$

2.3.1 Função Normal

Segundo Araújo et al (2010) a distribuição normal tem sua função densidade de probabilidade da seguinte forma:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \varepsilon\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right); \text{ para } -\infty < x < +\infty \quad (3)$$

Onde,

μ - Média,

σ - Desvio padrão da variável aleatória.

A probabilidade de que uma variável x assumira valores menores ou iguais a x quando ela tem $N(\mu, \sigma^2)$, distribuição Normal com média μ e variância σ^2 , é estimada por:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \varepsilon\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad (4)$$

Essa equação não pode ser resolvida analiticamente sem o uso de métodos de integração aproximada. Por esse motivo, usa-se a transformação $Z = (x - \mu)/\sigma$, a variável Z tem distribuição Normal com média zero e variância um [$N(0,1)$]. A variável Z é chamada variável reduzida e a Equação pode ser reescrita na seguinte forma:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \varepsilon\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz; \text{ para } -\infty < z < +\infty \quad (5)$$

2.3.2 Função Beta

A distribuição Beta foi desenvolvida por Pearson em 1894 e introduzida na área florestal por Zöhner, (FINGER, 1992). É muito flexível e pode assumir várias formas (ORELLANA, 2009).

Finger (1992) citou que a função Beta pode gerar uma grande variedade de formas de distribuições decrescentes e unimodais, dependendo da magnitude dos expoentes. Porém, tem sua utilização limitada pelo fato de não fornecer estimativas para $x = 0$ (origem) e de ter sua aplicação dependente da variação do eixo x entre os limites de 0 e 1 (ORELLANA, 2009).

Se $\alpha = \beta$ a distribuição é simétrica; se $\alpha > \beta$ a assimetria é negativa e no caso de $\alpha < \beta$ a assimetria é positiva.

A função Beta pode ser ajustada por meio do método dos momentos, Máxima Verossimilhança e regressão, dentre outros (ORELLANA, 2009).

$$f(x) = \left(\frac{1}{B(\gamma_1, \gamma_2)} \right) \left(\frac{(x - \alpha)^{\gamma_1 - 1} (b - x)^{\gamma_2 - 1}}{(b - \alpha)^{\gamma_1 + \gamma_2 - 1}} \right) \quad (6)$$

2.3.3 Função Weibull

A função Weibull foi desenvolvida por Fischer e Tippett em 1928 e aplicada por Weibull em 1939 (PRODAN et al., 1997). Em 1973, Bailey e Dell apresentaram a função Weibull aplicada à modelagem em florestas, considerando-a matematicamente simples e flexível e mais fácil de ser utilizada (ORELLANA, 2009).

É uma das funções mais destacadas e utilizadas no campo florestal. Pode ser apresentada e ajustada de duas maneiras: Weibull com dois parâmetros, neste caso, o parâmetro de locação a é igual a zero; e Weibull de três parâmetros onde os parâmetros a , b e c são responsáveis pela locação, escala e forma da distribuição, respectivamente (ORELLANA, 2009).

Alguns autores (PALAHI et al., 2006; PALAHI et al., 2007, ZUTTER, 1982) utilizaram a Weibull 2 Parâmetros modificada, conhecida como Weibull truncada à

esquerda, onde o ponto de truncamento é o diâmetro mínimo medido na floresta (ORELLANA, 2009).

A distribuição Weibull pode ter uma variedade de formas determinadas pelo parâmetro c . Quando $c < 1$, a função é decrescente de maneira abrupta; quando $c = 1$ a função é exponencial negativa; para valores onde $c > 1$ a função é unimodal; quando $1 < c < 3,6$ a distribuição tem assimetria positiva; quando $c = 3,6$ é aproximadamente uma distribuição normal e quando $c > 3,6$ a distribuição tem assimetria negativa (BAKER et al., 2005). Nos últimos anos algumas formas modificadas da função Weibull foram desenvolvidas incluindo-se um maior número de parâmetros (ORELLANA, 2009).

Zhang e Liu (2006) ajustaram as funções Weibull 2P, Weibull 2P com potência modificada e “Weibull combinada” para descrever distribuições diamétricas irregulares, como bimodais e “sigmóide girado” (distribuição decrescente com a presença de uma moda nas classes superiores) e concluíram que a “Weibull combinada” foi a melhor função para descrever distribuições diamétricas irregulares (ORELLANA, 2009).

Westphal et al. (2006) testaram a função exponencial, Weibull com 3 parâmetros e Weibull bimodal com 7 parâmetros para avaliar a distribuição diamétrica de florestas temperadas virgens de *Fagus* spp., no sudeste da Europa. Concluíram que a exponencial e a Weibull 3P subestimam o número de árvores nas classes intermediárias e em alguns casos houve distribuições bimodais onde a Weibull 7P apresentou melhores estimativas (ORELLANA, 2009).

Robinson (2004) testou a função Weibull reversa onde o parâmetro de locação é o valor máximo ao invés do valor mínimo. O autor acrescentou que esta função só pode ser aplicada onde a moda não está localizada nas extremidades, em casos onde o parâmetro de forma $c < 1$.

A função de distribuição de Weibull de três parâmetros é dada pela seguinte equação, em que a é o parâmetro de locação, β é o parâmetro de escala, γ é o parâmetro de forma, e x é o diâmetro ou área basal.

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - a}{\beta}\right)^\gamma\right] \quad (7)$$

2.4 Testes de Aderência

Para SCOLFORO 2006, se observar a aderência das funções de densidade de probabilidade, pode-se utilizar os testes de qui-quadrado, o teste G, Kolmogorov-Smirnov Anderson Darling, por exemplo. No teste do Qui-quadrado e teste G, há a inconveniência de que a frequência em qualquer classe deve ser maior que cinco (MAYRINCK, 2017).

O teste de Kolmogorov-Smirnov avalia a discrepância entre as frequências observadas e estimada em cada classe de diâmetro, sendo o maior valor encontrado chamado de D. Se o valor D for menor que o valor tabelado, diz-se que houve aderência da função densidade de probabilidade aos dados.

$$D = \text{SUP} [F(x) - S(x)]$$

O teste de Kolmogorov, apesar de ser o mais utilizado, apresenta alguns inconvenientes: tende a ser mais sensível na região próxima ao centro da distribuição do que na cauda e deve ser usado somente para distribuições contínuas. Entretanto, vários trabalhos vêm utilizando o teste de Kolmogorov de forma satisfatória (MAYRINCK, 2017).

Considerando que erros em maiores classes de diâmetro podem trazer maiores prejuízos, pode-se optar por considerar as somas de diâmetros observados e estimados do povoamento na forma relativa. A soma dos diâmetros elevada primeira, segunda, terceira ou quarta potência, dependendo da ênfase que se queira dar aos desvios diamétricos, desvios em área basal, em volume e no valor econômico da floresta, é também uma boa maneira de se avaliar a aderência das distribuições (MAYRINCK, 2017).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral analisar os dados de quatro parcelas permanentes instaladas em um remanescente de Floresta com Araucária, no sudoeste do Paraná. Do conjunto de dados existentes, analisou-se a Araucária sob os aspectos dinâmicos e sua distribuição diamétrica, visando subsidiar estratégias de manejo florestal sustentável e sua conservação.

3.2 Objetivo específico

- I. Análise e estratificação dos dados do inventário contínuo, com ajustes estatísticos;
- II. Testar três funções probabilísticas: Função Normal, Weibull 3P e Função Beta 4P;
- III. Utilizar um software estatístico para a modelagem dos dados;
- IV. Modelar os parâmetros das funções com base nas variáveis G e N;
- V. Aplicar a análise estatística para testar a precisão do modelo.

4. JUSTIFICATIVA

A floresta de Araucária vem sofrendo alterações e os espécimes que ainda restam estão sendo dizimados devido a ação exploratória, seu potencial madeireiro e valor econômico, o que gera preocupações devido ao desmatamento ilegal e o consumo ilícito da madeira da Araucária. Trabalhos que buscam avaliar o potencial madeireiro e econômico da floresta com Araucária, subsidiam informações para técnicos e proprietários de terras rurais a manejar de forma sustentável a floresta, mantendo o ciclo ecológico e econômico, garantindo novos reflorestamentos e a perpetuação da espécie.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Área de estudo

A área de estudo consiste em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista Montana localizados em propriedades das Indústrias Pizzatto, município de General Carneiro, extremo sul do estado do Paraná (Figura 1). O clima local é subtropical úmido mesotérmico (Cfb), com verões amenos e invernos com geadas frequentes (PARANÁ, 1987). Os principais solos na região são os Neossolos e Nitossolos (EMBRAPA, 2008) e o relevo predominante é o montanhoso, com partes onduladas e planas (RODRIGUES, 2016).

A vegetação predominante, conforme classificação do IBGE (2012), é a Floresta Ombrófila Mista Montana, composta majoritariamente por indivíduos de *A. angustifolia*, *Ilex paraguariensis* A.St.Hil., *Ocotea porosa* (Nees & Martius) Barroso, *Sapium glandulatum* (Vell. Pax) e *Drimys brasiliensis* Miers. Juntas, essas cinco espécies englobam aproximadamente 60% dos indivíduos da comunidade, (RODRIGUES, 2016).

Em 1999 foram instaladas oito unidades amostrais permanentes de 1 ha cada, distribuídas aleatoriamente sobre a área. As parcelas fazem parte do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD), Sítio 9, apoiado pelo CNPq. As áreas onde se localizam as parcelas permanentes apresentam diferentes graus de intervenção antrópica. De modo geral, no passado essas áreas foram sujeitas à exploração de espécies de valor comercial como a Araucária e a imbuia, além da exploração da erva-mate e criação de animais, conforme Barth Filho (2002). Esse autor, em trabalho desenvolvido na área, classificou previamente as 8 parcelas em três tipologias florestais principais:

- Formação mista de Araucária no dossel, com gramíneas no sobosque (parcelas 1 e 4);
- Formação florestal, com predomínio de Araucária no dossel (parcelas 2 e 6);
- Formação florestal natural mista de Araucária, com folhosas no dossel (parcelas 3, 5, 7 e 8), (RODRIGUES, 2016).

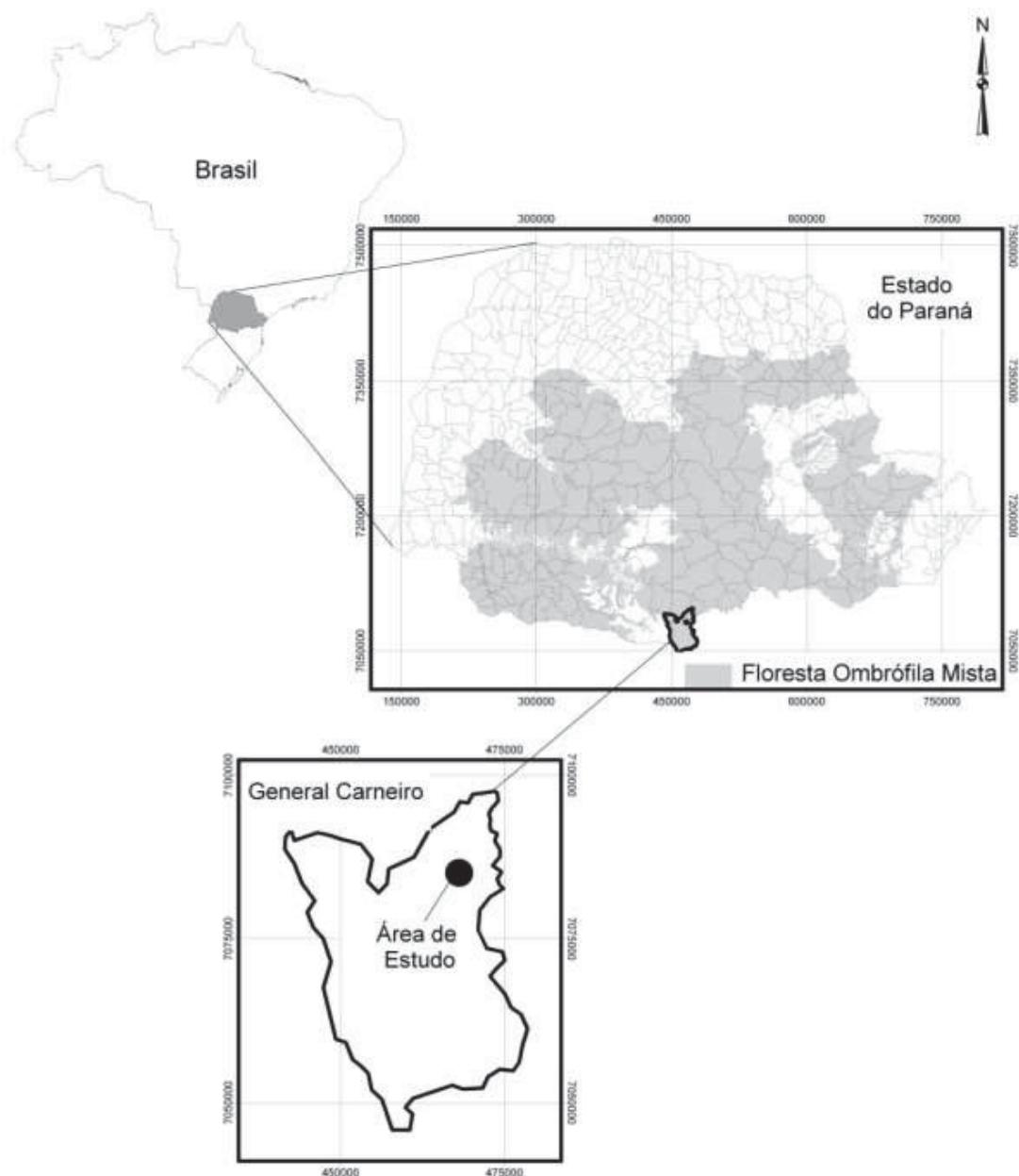


FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO MUNICÍPIO DE GENERAL CARNEIRO, EXTREMO SUL DO ESTADO DO PARANÁ. FONTE: RODRIGUES (2016).

Nas parcelas, todos os indivíduos com diâmetro à altura do peito (dap - 1,30 m) igual ou maior que 10 cm foram identificados botanicamente (APG III, 2009), medidos e plaqueteados, para permitir o monitoramento individual. As principais características de cada unidade estão apresentadas na Tabela 1, tendo o ano de 2013 como referência (RODRIGUES, 2016).

TABELA 1 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS PARCELAS AMOSTRADAS (ANO DE 2013).

Parcela	G (m ² . ha-1)	N(N.ha-1)	E(E.ha-1)(cm)	dap médio (cm)	dap min(cm)	dap max(cm)
1	17,57	212	19	24,97	10	86,74
2	20,32	491	27	17,22	10	97,4
3	31,69	844	34	16,32	10	154,06
4	29,36	406	26	23,88	10	78,3
5	42,69	1215	48	15,3	10	183,98
6	23,95	511	30	19,64	10	68,75
7	38,66	823	38	17,82	10	144,19
8	26,48	490	37	17,43	10	140,69
Média	28,84	624,00	32,38	19,07	10,00	119,26

Em que: G= área basal; N = número de indivíduos; E = número de espécies; dap médio = média do dap; dap min = diâmetro mínimo; dap max = diâmetro máximo.

FONTE: RODRIGUES (2016).

Os dados das mensurações são do ano de 1999 a 2013, 14 anos de medição. As parcelas estudadas são 03, 04, 05, e 06. Para a modelagem das informações foi utilizado um software estatístico Statgraphics Centurion XV , além de planilhas em Excel.

A aderência das distribuições testadas foram julgadas com base na significância indicada pelo teste Kolmogorov-Smirnov. Após a identificação da melhor função testou-se a recuperação de seus parâmetros com base nos dados conhecidos da floresta G (área basal em m²) e N (número de indivíduos), como variáveis independentes, por meio do método STEPWISE.

6. RESULTADOS

Na tabela 02 são apresentados os resultados da distribuição diamétrica das Araucárias no ano de 2013. Nota-se que o maior número de árvores está presente nas classes iniciais.

TABELA 02: Distribuição diamétrica das Araucárias no ano de 2013.

Parcela	Classe diamétrica (cm)							
	15	25	35	45	55	65	75	
3	62,00	40,00	36,00	17,00	7,00	0,00	1,00	
4	20,00	37,00	30,00	43,00	24,00	15,00	7,00	
5	14,00	34,00	36,00	29,00	21,00	12,00	4,00	
6	87,00	64,00	31,00	33,00	25,00	4,00	0,00	
Soma	183,00	175,00	133,00	122,00	77,00	31,00	12,00	733,00

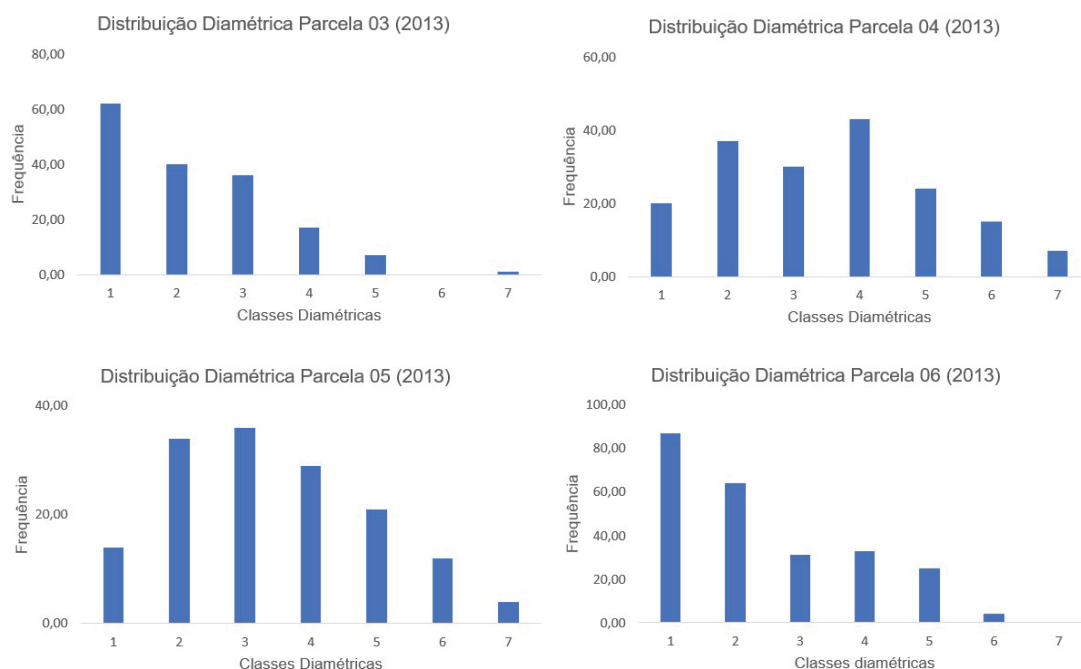


FIGURA 02: Distribuição diamétrica das Araucárias nas parcelas 03, 04, 05 e 06.
 FONTE: O autor (2020).

Observa-se que nas parcelas 03 e 06 o gráfico da distribuição diamétrica apresentou o formato de “J” invertido, característico de florestas naturais, a distribuição diamétrica em florestas nativas heterogêneas e multiêneas ocorre sob a forma decrescente ou “J” invertido, indicando que a regeneração ocorre continuamente.

Foram testadas as funções nos 14 anos de medições e 4 parcelas, os resultados são apresentados a seguir:

Para a parcela 03 a função probabilística que ajustou foi a função Weibull 3P, o ano de 2008 não teve ajuste de nenhuma das funções testadas. A parcela 04 teve três funções com bons resultados, a Função Normal teve melhores resultados para os anos de 2005 e 2006, nos anos de 2010 e 2012 a melhor função foi a Beta 4P, e os demais anos a função Weibull 3P. A parcela 05 foi a função Beta 4P para todos os anos de medição. A parcela 06 teve duas funções ajustadas, a função Weibull 3P para os anos de 1999, 2005, 2011, 2012, e 2013, para os demais anos a função Beta 4P.

Com base nos testes de Kolmogorov-Smirnov foi testada a aderência do modelo para cada parcela e o ano correspondente.

Nas tabelas 02 e 03 são apresentadas as informações de $G \text{ m}^2$ (área basal) e o N (número de indivíduos) reais da floresta. Nas tabelas 04 e 05 os dados da área basal e número de indivíduos da *Araucaria angustifolia*.

TABELA 02: Área basal $G \text{ m}^2$ do total da Floresta

Tabela resumo dos dados de $G \text{ m}^2$ para o total da floresta								
Ano								
Parcela	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
3	31,14	31,08	31,43	31,97	31,93	31,98	32,19	
4	25,43	25,31	25,55	25,98	25,57	25,85	26,09	
5	39,08	39,34	40,04	40,77	40,95	41,00	41,52	
6	17,01	17,64	18,43	19,21	19,46	20,09	20,48	
Ano								
Parcela	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
3	32,14	32,10	32,24	32,57	32,59	32,26	32,52	31,69
4	26,06	26,44	26,86	27,71	28,27	28,90	29,25	29,36
5	41,38	41,82	41,33	43,18	43,52	44,47	43,15	42,69
6	20,73	21,55	22,01	23,00	23,06	23,57	23,61	23,95

FONTE: O autor (2020).

TABELA 03: NI para o total da floresta.

Tabela resumo dos dados de N para o total da floresta								
Ano								
Parcela	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
3	691	690	695	696	686	681	682	
4	280	275	283	282	271	272	272	
5	862	899	909	913	906	900	911	
6	292	325	349	355	360	371	373	
Ano								
Parcela	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
3	682	666	671	668	649	626	636	613
4	275	292	301	312	320	329	342	344
5	926	935	910	924	924	935	932	900
6	382	394	418	427	423	419	421	442

FONTE: O autor (2020).

TABELA 04: G m² das Araucaria.

Tabela resumo dos dados de G m ² das Araucárias								
Ano								
Parcela	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
3	14,93	14,93	15,03	15,31	15,27	15,17	15,29	
4	22,77	22,94	23,07	23,49	23,52	23,75	23,94	
5	19,40	19,53	19,71	19,99	19,99	20,09	20,21	
6	15,63	16,10	16,67	17,29	17,46	17,89	18,18	
Ano								
Parcela	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
3	15,10	15,19	15,36	15,64	15,75	15,84	15,86	13,47
4	23,87	23,99	24,23	24,80	25,19	25,54	25,71	25,72
5	20,05	20,16	20,15	20,30	20,55	20,76	21,00	20,68
6	18,27	18,83	18,92	19,50	19,51	19,86	19,92	19,99

FONTE: O autor (2020).

TABELA 05: NI para a Araucária.

Tabela resumo dos dados de N das Araucárias							
Ano							
Parcela	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
3	203	202	200	199	192	189	187
4	172	174	174	174	173	174	174
5	160	161	161	160	159	158	158
6	226	236	243	247	249	251	250

Continua...

Parcela	Ano							
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
3	182	178	178	177	175	172	170	166
4	175	175	175	175	175	175	176	176
5	157	158	152	152	151	150	152	150
6	250	251	252	252	250	248	246	244

FONTE: O autor (2020).

Para a recuperação dos parâmetros foram escolhidas as parcelas 3 e 5, pois as funções ajustadas foram a Weibull 3 P e Beta 4P. O método de ajuste foi o Forward Stepwise. As variáveis dependentes são os próprios parâmetros das funções, e como variáveis independentes a área basal e número de indivíduos, do total da população e das Araucárias. Os dados originais dos parâmetros das funções são apresentados nas tabelas 06 e 07.

TABELA 06: Coeficientes e estatística da função Weibull 3 P para os dados de DAP do ano de 1999 a 2013, parcela 3.

Coeficientes e estatística da função Weibull 3 P para os dados de DAP dos anos de 1999 a 2013, parcela 3.

FUNÇÕES TESTADAS	COEFICIENTES				Teste de Kolmogorov Smirnov
	Ano	Forma	Escala	Limiar Inferior	
Weibull 3P	1999	0,9450	14,2912	10,1859	0,3092
	2000	0,9673	15,0766	10,1859	0,7752
	2001	0,9828	15,5535	10,1859	0,7129
	2002	0,9532	15,6901	10,1859	0,5127
	2003	1,0436	16,9101	10,1772	0,6016
	2004	1,0579	17,1188	10,1795	0,5049
	2005	1,0719	17,4931	10,209	0,5482
	2006	1,0852	17,8771	10,1098	0,5576
	2007	1,0763	18,1936	10,1653	0,4916
	2008	--	--	--	--
	2009	1,0580	18,5424	10,1711	0,4590
	2010	1,0735	18,9529	10,1659	0,5655
	2011	1,0908	19,4678	10,1583	0,5586
	2012	1,1256	19,9704	10,1624	0,5183
2013	1,2510	19,6613	9,96876	0,8450	

FONTE: O autor (2020).

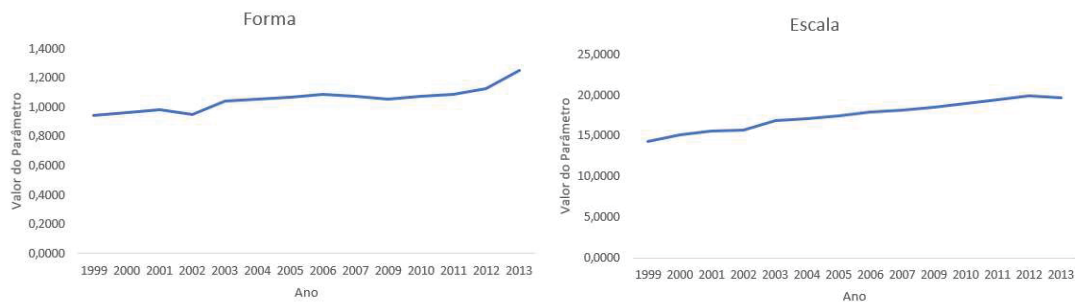


FIGURA 2: Evolução dos Parâmetros da Função Weibull 3P para a parcela 03.
 FONTE: O autor (2020).

Observa-se que o ano de 2008 não ajustou e para não causar prejuízo no desempenho dos parâmetros da função Weibull 3P este ano foi retirado dos resultados.

TABELA 07: Coeficientes e estatística da função Beta 4 P para os dados de DAP do ano de 1999 a 2013, parcela 5.

Coeficientes e estatística da função Beta 4 P para os dados de DAP dos anos de 1999 a 2013, parcela 5

FUNÇÕES TESTADAS	COEFICIENTES				Teste de Kolgomorov Smirnov	
	Ano	Forma 1	Forma 2	Limiar Inferior		Limiar Superior
Beta 4P	1999	1,6198	2,5005	9,5430	78,0076	0,9949
	2000	1,6227	2,5147	9,4666	78,2636	0,9948
	2001	1,5928	2,4623	9,7715	78,1528	0,9950
	2002	1,6088	2,4494	9,7591	78,5535	0,9859
	2003	1,6055	2,4514	10,1419	78,5190	0,9307
	2004	1,6412	2,5172	10,1906	79,2387	0,9217
	2005	1,6218	2,5014	10,3491	79,5099	0,9318
	2006	1,5950	2,4830	10,4079	79,6325	0,9514
	2007	1,6765	2,5641	9,4513	80,1869	0,9537
	2008	2,0000	3,0698	9,1005	83,3131	0,9733
	2009	2,0000	3,0529	9,1102	83,4106	0,9478
	2010	1,7920	2,7078	9,9264	82,4696	0,9334
	2011	2,0000	3,0455	9,4362	84,6560	0,8502
	2012	2,0000	2,9869	9,3799	83,8033	0,9167
2013	2,0000	3,1264	9,5372	85,4633	0,8966	

FONTE: O autor (2020).

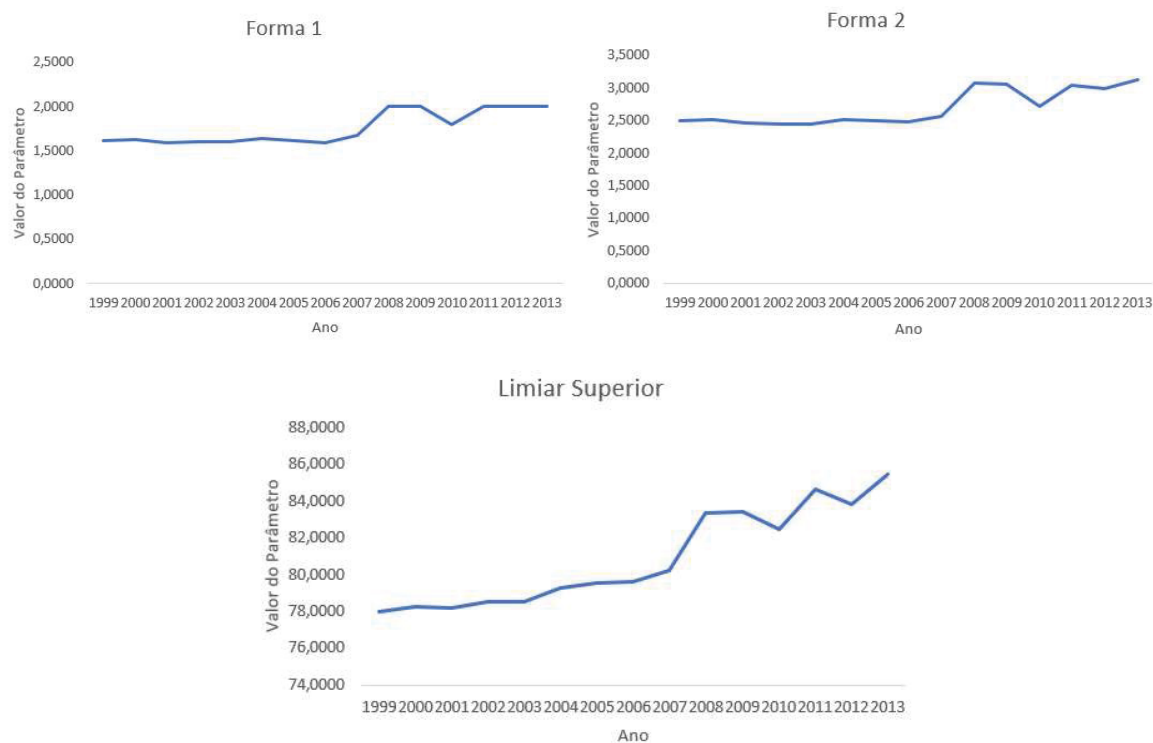


FIGURA 3: Evolução dos Parâmetros da Função BETA 4P para a parcela 05.
 FONTE: O autor (2020).

As figuras 02 e 03 demonstram a evolução dos parâmetros das funções no decorrer dos anos, ou seja, ao passo que a floresta ganha incremento das suas variáveis ou novos indivíduos são recrutados, as funções acompanham o desenvolvimento da floresta.

As tabelas 08 e 09 apresentam os dados estimados dos parâmetros como resultados do método Forward Stepwise.

TABELA 08: Coeficientes estimados da função Weibull 3 P para os dados de DAP do ano de 1999 a 2013, parcela 3.

Coeficientes estimados da função Weibull 3 P para os dados de DAP do ano de 1999 a 2013, parcela 3.

FUNÇÕES TESTADAS	COEFICIENTES ESTIMADOS			
	Ano	Forma	Escala	Limiar Inferior
Weibull 3P	1999	1,0072	16,3008	10
	2000	1,0072	16,3011	10
	2001	1,0178	16,5780	10
	2002	1,0455	17,2999	10
	2003	1,0415	17,1948	10
	2004	1,0314	16,9314	10
	2005	1,0437	17,2509	10
	2006	1,0247	16,7584	10
	2007	1,0338	16,9940	10
	2008	1,0502	17,4221	10
	2009	1,0781	18,1483	10
	2010	1,0897	18,4490	10
	2011	1,0983	18,6733	10
	2012	1,1007	18,7361	10
	2013	0,8611	12,4968	10

FONTE: O autor (2020).

A Limiar Inferior corresponde aos diâmetros iniciais do inventário. Este parâmetro pode ser definido pelo pesquisador de acordo com o inventário a ser realizado. Neste trabalho os critérios de inclusão dos diâmetros foram a partir de 10 cm de DAP, então o valor do limite inferior será estabelecido em 10, para ambas as funções Weibull 3P e Beta 4P.

TABELA 09: Coeficientes estimados da função Beta 4 P. para os dados de DAP do ano de 1999 a 2013, parcela 5.

Coeficientes estimados da função Beta 4 P., parcela 5.

FUNÇÕES TESTADAS	Ano	COEFICIENTES ESTIMADOS			
		Forma 1	Forma 2	Limiar Inferior	Limiar Superior
Beta 4P	1999	1,5964	2,4566	10,0000	78,3806
	2000	1,5565	2,3979	10,0000	77,7664
	2001	1,5565	2,3979	10,0000	77,7664
	2002	1,5964	2,4566	10,0000	78,3806
	2003	1,6362	2,5154	10,0000	78,9949
	2004	1,6761	2,5742	10,0000	79,6091
	2005	1,6761	2,5742	10,0000	79,6091
	2006	1,7159	2,6329	10,0000	80,2234
	2007	1,6761	2,5742	10,0000	79,6091
	2008	1,9151	2,9267	10,0000	83,2946
	2009	1,9151	2,9267	10,0000	83,2946
	2010	1,9550	2,9854	10,0000	83,9089
	2011	1,9948	3,0442	10,0000	84,5231
	2012	1,9151	2,9267	10,0000	83,2946
	2013	1,9948	3,0442	10,0000	84,5231

FONTE: O autor (2020).

Vale ressaltar o crescimento dos indivíduos ao longo do tempo como apresentado na tabela 07 e 09, podemos ver este fator através dos valores do limiar superior que corresponde aos diâmetros máximos do povoamento. As equações geradas pelo Stepwise são apresentadas a seguir.

Equações da parcela 03:

$$\text{Forma} = -0,487083 + 0,100103 \times g \text{ araucária} \quad (8)$$

$$\text{Escala} = -22,6141 + 2,60698 \times g \text{ araucária} \quad (9)$$

$$\text{Limiar Inferior} = 10 \quad (10)$$

A variável que melhor se relacionou com a função Weibull 3P foi a área basal da Araucária.

Equações da parcela 05:

$$\text{Forma 1} = 7,9721 - 0,0398484 \times n \text{ araucária} \quad (11)$$

$$\text{Forma 2} = 11,8573 - 0,0587541 \times n \text{ araucária} \quad (12)$$

$$\text{Limiar Superior} = 176 - 0,614246 \times n \text{ araucária} \quad (13)$$

$$\text{Limiar Inferior} = 10 \quad (14)$$

Vale destacar as mesmas considerações das equações 8 e 9, neste caso o parâmetro da floresta que melhor se relacionou com a função Beta 4P foi o número de indivíduos da Araucaria (n).

TABELA 10: Análise estatística das equações ajustadas pelo método Stepwise, função Weibull 3 P, Parcela 03.

	Forma	Escala	Limiar Inferior
Coefficiente de determinação (R ²)	26,9416	36,6842	
Coefficiente de determinação Ajustado (R ² ajustado)	21,3217	31,8137	x
Erro padrão da estimativa SYX %	0,0978	2,0313	
Erro médio absoluto	0,0560	1,2779	

FONTE: O autor (2020).

TABELA 11: Análise estatística das equações ajustadas pelo método Stepwise, função Beta 4P, Parcela 05.

	Forma 1	Forma 2	Limiar Inferior	Limiar Superior
Coefficiente de determinação (R ²)	84,1687	82,7717		95,0727
Coefficiente de determinação Ajustado (R ² ajustado)	82,9509	81,4465	x	94,6936
Erro padrão da estimativa SYX %	0,0756	0,1173		0,6119
Erro médio absoluto	0,0538	0,0851		0,4466

FONTE: O autor (2020).

Ao analisar as tabelas 10 e 11 observa-se que os resultados da função Weibull 3P apresentaram valores muito baixos do coeficiente de determinação R², prejudicando a precisão do modelo testado. A função Beta 4P atendeu as expectativas com resultados estatísticos precisos e demonstrou-se apta a sua aplicação em modelos de prognose para os dados testados.

A distribuição Beta é muito flexível (PRODAN, 1997; BAILEY; DELL, 1972), podendo assumir diversas formas em uma ampla variedade de diâmetros, aplicada a florestas nativas ou plantadas (SCOLFORO, 2006). Contudo, não há função de distribuição cumulativa para a função de densidade de probabilidade, assim, deve-se integrá-la numericamente, o que acaba por restringir seu uso, (MAYRINCK, 2017).

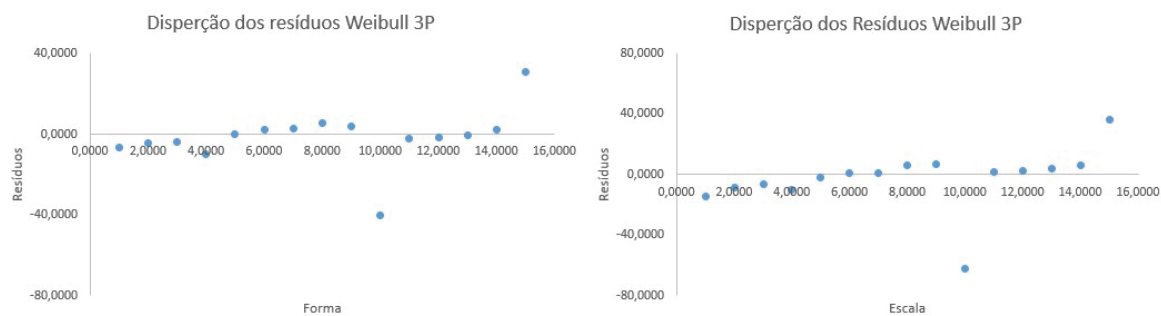


FIGURA 4 – Análise gráfica da distribuição dos resíduos do ajuste da Função Weibull 3P (Método Stepwise).
 FONTE: O autor (2020).

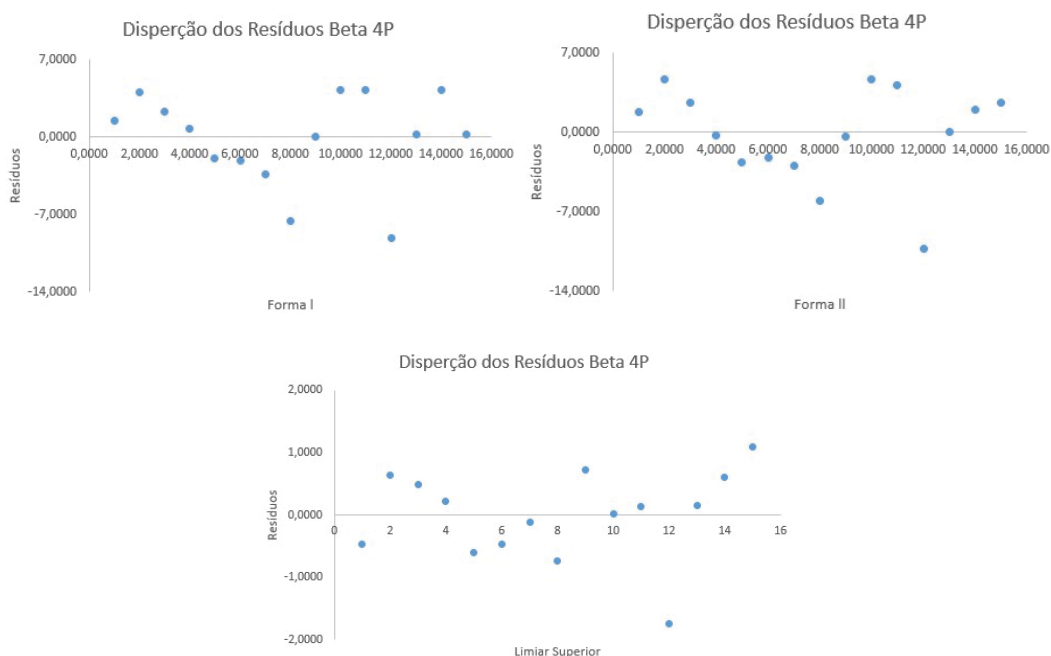


FIGURA 5 – Análise gráfica da distribuição dos resíduos do ajuste da Função Beta 4P (Método Stepwise).
 FONTE: O autor (2020).

7. CONCLUSÃO

Conforme os resultados obtidos, conclui-se para as condições estudadas que a função que melhor representou a evolução dos parâmetros e teve melhor flexibilidade em relação aos parâmetros da floresta foi a função probabilística Beta 4P, tendo os melhores resultados estatísticos de R^2 . Quando comparado a evolução dos seus parâmetros ao passar do tempo a função conseguiu ajustar-se ao ponto que as variáveis da floresta também crescem, como explicados na figura 03. A função Weibull 3P teve resultados estatísticos muito baixos, comprometendo a precisão do modelo e descartando o uso desta função, na tabela 06 e na figura 02 é possível ver que o ano de 2008 teve os parâmetros de Forma e Escala prejudicados, diminuindo o desempenho da função, acredita-se que houve um “outlier” nos resultados, e que demandaria de mais estudos no Statgraphics para corrigir este problema.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, E. M.; SILVA, I. N.; OLIVEIRA, J. B.; JUNIOR, C. G. E.; ALMEIDA, B. M.; Aplicação de seis distribuições de probabilidade a séries de temperatura máxima em Iguatu – CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 36-45, jan-mar, 2010.

ALDER, D.; SYNNOTT, T.J. **Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest**. Tropical Forestry Papers, Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford, n. 25, 1992.

FILHO, A. F, DIAS, A. N, STEPKA, F. T, SAWCZUK, R. A, **Crescimento, Mortalidade, Ingresso e Distribuição Diamétrica em Floresta Ombrófila Mista**. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/download/20328/13486>. Acesso em: 08/06/2020.

FONSECA, C. R. et al. **Floresta com Araucária. Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. Ribeirão Preto SP: Holos, Editora, 2009.

LINGNER, D. V.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, N. C.; DLUGOSZ, F. L.; **Caracterização da estrutura e da dinâmica de um remanescente de floresta com Araucária no Planalto norte Catarinense**, 2007.

MOGNON, F.; **Dinâmica do Estoque de carbono como serviço ambiental prestado por um fragmento de floresta Ombrófila Mista Montana localizada no sul do estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

ORELLANA, E.; **Funções densidade de probabilidade no ajuste da distribuição diamétrica de um fragmento de floresta ombrófila mista**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Estadual do centro Oeste Unicentro, Irapuã, 2009.

RODRIGUES, A.L.; **Dinâmica Demográfica, Crescimento e Simulações de Manejo em Remanescentes de Floresta Ombrófila Mista**. 2016. 27p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SANQUETTA, C.R.; CÔRTE, A.P.D.; EISFELD, R.L. **Crescimento, mortalidade e recrutamento em duas florestas de Araucária (Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze.) no Estado do Paraná**, Brasil, fevereiro de 2003.

SANQUETTA, C. R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Curitiba, FUPEF. 1996. 49 p. (Série Didática, n. 08).

SANQUETTA, C. R, CUNHA, U. S., WATZLAWICK, L. F, CAMPOS, M. L. B. **Projeção da distribuição diamétrica de fragmentos de florestas semidecíduas com matriz de transição.** Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol. 3, n.1, Jan/Jun 2001.

STEPKA, T. F.; **Modelagem da Dinâmica e prognose da estrutura diamétrica de uma floresta Ombrófila Mista por meio de Matriz de Transição e Razão de Movimentação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Estadual do centro Oeste Unicentro, Iрати, 2008., 5p., 8p, 10p, 11p.

FONSECA, C. R. et al. **Floresta com Araucária. Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável.** Ribeirão Preto SP: Holos, Editora, 2009. 9p. ARAÚJO, E.M.; SILVA, I.N.; OLIVEIRA, J.B.; JUNIOR, E. G. C.; e ALMEIDA, B. M. **Aplicação de seis distribuições de probabilidade a séries de temperatura máxima em Iguatu – CE.** Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rca/v41n1/1806-6690-rca-41-01-0036.pdf>. Acesso em: 12/02/2020.

MAYRINCK, R. C. **Funções de Densidade de probabilidade e métodos de predição de parâmetros para povoamentos de *Khaya ivorensis* no Brasil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2017. 7p., 29p.