

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA FLORESTA  
NACIONAL DE CONTENDAS DO SINCORÁ, SUDOESTE DA BAHIA**

**JULIO CONCEIÇÃO DOS SANTOS NETO**

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA – BRASIL  
FEVEREIRO – 2020

**JULIO CONCEIÇÃO DOS SANTOS NETO**

**MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA FLORESTA  
NACIONAL DE CONTENDAS DO SINCORÁ, SUDOESTE DA BAHIA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

**Orientador: Prof. Robson Borges de Lima (UEAP)**

**Coorientador: Prof. Christian Dias Cabacinha (UFMG)**

VITÓRIA DA CONQUISTA  
BAHIA – BRASIL  
FEVEREIRO – 2020

S233m Santos Neto, Julio Conceição dos.

Modelos de distribuição diamétrica para floresta nacional de Contendas do Sincorá, Sudoeste da Bahia. / Julio Conceição dos Santos Neto, 2020.

47f.

Orientador (a): D.Sc. Robson Borges de Lima.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Vitória da Conquista, 2020.

Inclui referências. 42 - 47.

1. Manejo Florestal - Caatinga. 2. Modelagem. 3. Estimativa. 4. Akaike – Critério de informação. I. Lima, Robson Borges de. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. III. T.

CDD: 634.9

*Catálogo na fonte:* Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890

UESB – Campus Vitória da Conquista - BA

**JULIO CONCEIÇÃO DOS SANTOS NETO**

**MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA FLORESTA  
NACIONAL DE CONTENDAS DO SINCORÁ, SUDOESTE DA BAHIA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2020

Comissão examinadora

---

Prof. Deoclides Ricardo de Souza (D. SC., Ciências Florestais) – UFRB

---

Prof. Liniker Fernandes da Silva (D. SC., Ciências Florestais) – UFRB

---

Prof. Robson Borges de Lima (D. SC., Ciências Florestais) – UEAP  
Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, à minha esposa Sandy Oliveira, companheira de todas as horas, à minha mãe Luzia Gomes e meu pai José Francisco e toda a minha família, por torcer, acreditar e investir no meu sonho.

Agradecer ao professor Dr. Liniker Fernandes da Silva, pela orientação e ajuda na minha colação de grau na graduação, tornando possível o meu ingresso no Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Agradecer à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em especial ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, ao corpo docente, em especial aos professores Dr. Alessandro de Paula, Dr. Dalton Longue Júnior, Dr. Luís Carlos de Freitas, Dr. Robson Borges de Lima, Dra. Sylvana Naomi Matsumoto, Dr. Anselmo Eloy Silveira Viana, Dr. Quelmo Silva de Novais, Dr. Paulo Araquém Ramos Cairo, Dra. Brunela Pollastelli Rodrigues, Dr. Paulo Henrique Marques Monroe e à secretária Fabrícia Teixeira, pela oportunidade de aprender e realizar o curso de mestrado.

Agradecer aos amigos Breno, Felipe, Gabriel, Danilo, Fabrício, Eduardo, William e Sílvio, que ajudaram na minha chegada e estadia em Vitória da Conquista, entre os anos de 2018 e 2019.

Agradecer aos companheiros de turma Adriano, Antônio, Michele, Caio e Dráuzio pelos momentos de alegria dentro e fora da sala de aula.

Agradecer ao professor Dr. Christian Dias Cabacinha, pela orientação na construção do projeto de pesquisa.

Agradecer ao professor Dr. Robson Borges de Lima, por ter aceitado me orientar e conduzir com empenho, ética e seriedade em todas as atividades, pelo conhecimento científico passado com muita humildade e pela amizade e diálogo na realização desta pesquisa.

**Muito obrigado!**

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 HIPÓTESE</b> .....	4
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	5
<b>3.1 Objetivo Geral</b> .....	5
<b>3.2 Objetivos Específicos</b> .....	5
<b>4 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	6
<b>4.1 Caatinga – Floresta Tropical Seca</b> .....	6
<b>4.2 Floresta Nacional (FLONA) de Contendas do Sincorá</b> .....	8
<b>4.3 Legislação para o Manejo Florestal na Caatinga</b> .....	9
<b>4.4 Manejo Florestal na Caatinga</b> .....	10
<b>4.5 Distribuições Diamétrica e Funções de Densidade e Probabilidade</b> .....	12
<b>4.5.1 Função Normal</b> .....	15
<b>4.5.2 Função Log-normal</b> .....	17
<b>4.5.3 Função Gamma</b> .....	18
<b>4.5.4 Função Weibull</b> .....	19
<b>4.6 Assimetria</b> .....	21
<b>4.7 Curtose</b> .....	22
<b>4.8 O critério de informação de Akaike (AIC)</b> .....	22
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	23
<b>5.1 Área de estudo e Amostragem</b> .....	23
<b>5.2 Modelagem da Distribuição de Diâmetro</b> .....	25
<b>5.3 Teste de qualidade do ajuste</b> .....	27
<b>5.4 Assimetria e curtose</b> .....	28
<b>5.5 Validação das funções</b> .....	28
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	41
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	42

## RESUMO

SANTOS NETO, Julio Conceição dos, M. Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, fevereiro de 2020. **Modelos de distribuição diamétrica para Floresta Nacional de Contendas do Sincorá, Sudoeste da Bahia.** Orientador: Robson Borges de Lima. Coorientador: Christian Dias Cabacinha.

Para a confecção e execução de planos de manejo é necessária a utilização de técnicas que descrevam precisamente o comportamento da floresta, para a tomada de decisão. A Floresta Tropical Seca (Caatinga) é rica em biodiversidade, endemismo e elevada heterogeneidade, sendo muito importante para a sustentação da economia do Nordeste. O objetivo da presente pesquisa foi avaliar o ajuste e a aplicação de modelos de distribuição diamétrica para a Floresta Nacional (FLONA) de Contendas do Sincorá, pré e pós Colheita Seletiva por Espécies (CSE). Os dados foram coletados em uma área de Catinga na Floresta Nacional de Contendas do Sincorá, no Sudoeste da Bahia. Foram realizados dois inventários florestais (2015 e 2018) em uma área de 11.034,34 ha, em 3 áreas amostrais com 48 parcelas permanentes de 20x20m (400m<sup>2</sup>), totalizando uma área amostrada de 19.200 m, com inclusão das árvores com 5 cm. A variável amostrada foi o diâmetro a 1,3 m do solo (DAP); e para indivíduos bifurcados foi realizado o cálculo do diâmetro equivalente. As espécies com maior valor de importância (VI) foram selecionadas de acordo com a literatura. Os dados foram divididos, sendo que parte foi usada no ajuste das equações e a outra parte para a validação. A modelagem da distribuição diamétrica foi realizada através de funções de densidade e probabilidade, gerando curvas de frequências observadas e estimadas. A seleção dos modelos no ajuste e na validação foi realizada através do Critério de Informação de Akaike. A vegetação estudada apresentou comportamento típico de florestas nativas “J-invertido”, com a ocorrência de indivíduos nas classes de diâmetro menor apresentando assimetria positiva à direita. No ajuste da distribuição diamétrica, os modelos melhores foram Weibull 3P e Log-normal, com maior aderência nos critérios de avaliação e análise de curva de tendência tanto para o povoamento como para as espécies de maior VI. Na validação, a função Weibull 3P foi melhor para o povoamento e para as espécies *Aspidosperma pyrifolium* Mart e *Pseudobombax simplicifolium* A. Robyns, já a função Log-normal foi melhor para as espécies *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J. B. Gillett, *Manihot catinae* Ule e *Patagonula bahiensis* Moric., atestando todos os resultados anteriormente obtidos, recomendando-se funções de distribuição para explicar o comportamento da Caatinga.

**Palavras-chave:** Modelagem, Akaike, Diâmetro, Estimativa.

## ABSTRACT

SANTOS NETO, Julio Conceição dos, M. Sc., State University of Southwest Bahia, February 2020. **Diametric distribution models for the National Forest of Contendas do Sincorá, Southwest Bahia.** Advisor: Robson Borges de Lima. Coadvisor: Christian Dias Cabacinha.

For the preparation and execution of management plans it is necessary to use techniques that accurately describe the behavior of the forest for decision making. The Tropical Dry Forest (Caatinga) is rich in biodiversity, endemism and high heterogeneity, being very important to sustain the economy of the Northeast. The objective of this research was to evaluate the adjustment and application of diametric distribution models for the National Forest (FLONA) of Sincorá strife before and after Selective Harvesting by Species (CSE). Data were collected in an area of Catinga in the National Forest of Contendas do Sincorá in Southwest Bahia. Two forest inventories (2015 and 2018) were carried out in an area of 11,034.34 ha, in 3 sample areas with 48 permanent plots of 20x20m (400m<sup>2</sup>), totaling a sampled area of 19,200m with the inclusion of 5cm trees. The sampled variable was the diameter at 1.3 m from the ground (DBH) and for bifurcated individuals the equivalent diameter was calculated. The species with the highest importance value (VI) were selected according to the literature. The data were divided, with part used to adjust the equations and the other part for validation. The modeling of the diametric distribution was performed using probability density functions, generating observed and estimated frequency curves. The selection of models in the adjustment and validation was performed using the Akaike Information Criterion. The studied vegetation presented typical behavior of native "J-inverted" forests with the occurrence of individuals in the smaller diameter classes, presenting positive asymmetry on the right. In adjusting the diametric distribution, the best models were Weibull 3P and Log-normal with greater adherence to the evaluation criteria and trend curve analysis for both the stand and for the larger species (VI). In the validation, the Weibull 3P function was better for the population and for the species *Aspidosperma pyriforme* Mart and *Pseudobombax simplicifolium* A. Robyns, whereas the Log-normal function was better for the species *Commiphora leptophloeos* (Mart.) JB Gillett, *Manihot catingae* Ule and *Patagonula bahiensis* Moric. attesting all previously obtained results, recommended distribution functions to explain the behavior of the Caatinga.

**Keywords:** Modeling, Akaike, Diameter, Estimation.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Mapa de localização da Floresta Nacional de Contendas do Sincorá, com discriminação da localização em território nacional e estadual. ....23
- Figura 2** – Número de árvores por classe de diâmetro para (2015) e (2018). ....31
- Figura 3** – Todas as melhores funções plotadas por classe de diâmetro para o povoamento e para as cinco espécies de maior valor de importância. ....36
- Figura 4** – Validação das melhores funções para o povoamento e para as cinco espécies de maior valor de importância utilizando os dados de (2018). ....39

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Espécies com maior valor de importância da Floresta Nacional de Contendas de Sincorá em (2015).....	25
<b>Tabela 2</b> – Distribuições, Funções de densidade de probabilidade e métodos de estimação dos parâmetros. ....	27
<b>Tabela 3</b> – Estatísticas descritivas dos conjuntos de dados da variável DAP para o povoamento total e para as espécies de maior (VI) encontradas na Floresta Nacional de Contendas de Sincorá na região Sudoeste da Bahia (2015 e 2018).....	29
<b>Tabela 4</b> – Valores dos parâmetros das funções de Densidade e Probabilidade ajustadas com os dados de (2015). ....	33
<b>Tabela 5</b> – Qualidade do ajuste das funções de Densidade e Probabilidade ajustadas com os dados de (2015).....	34

# 1 INTRODUÇÃO

Dentre as categorias de Florestas Tropicais Secas (FTS) e subtropicais no mundo, a floresta de Caatinga é exclusivamente brasileira. Ocupa aproximadamente 11% do território nacional e é o maior e mais importante ecossistema existente na Região Nordeste do Brasil (PEREIRA JÚNIOR et al., 2014). Apesar de sua importância, está entre os ecossistemas florestais mais ameaçados e menos estudados, sofrendo conseqüentemente grande pressão antrópica (LIMA et al., 2017).

O bioma Caatinga é apontado como o mais crítico, em relação à conservação da biodiversidade, apresentando carência de estudos sobre a distribuição da sua cobertura atual, principalmente relacionados ao mapeamento fitogeográfico ao nível de semi-detalle (DIAS et al., 2014). A conversão de áreas na Caatinga para a utilização na agricultura, pecuária e produção de energia está suprimindo parte da sua cobertura vegetal, com isso o Manejo Florestal comunitário da Caatinga é uma opção de geração de trabalho e renda aos agricultores, gerando benefícios econômicos e vantagens ambientais por conta da manutenção de 63% da cobertura florestal (GARLET et al., 2018).

A Floresta Nacional (FLONA) de Contendas do Sincorá é uma unidade de conservação que apresenta uma formação florestal rara dentre outras comunidades de Caatinga existentes no estado da Bahia, é uma formação dotada de indivíduos arbóreos, apresentando muitos indivíduos bifurcados, com grande população por unidade de área com espécies de elevado valor econômico que podem ser utilizadas para diversos fins. Sendo assim, o presente estudo irá oferecer respostas através de funções de densidade e probabilidade sobre o comportamento dos diâmetros desta formação florestal tão única e importante para a região Sudoeste da Bahia e para o estudo das Ciências Florestais.

A confecção de Plano de Manejo Florestal Sustentável, previsto na lei nº 12.651, de 25 de maio de (2012), referente ao Código Florestal Brasileiro (CFB), e os Decretos nº 15.180, de 02 de julho de 2014 e nº 18.215, de 26 de janeiro de 2018, dependem da aplicação de técnicas para a descrição do comportamento do meio em que se deseja manejar. O presente estudo, através do ajuste, seleção e aplicação de

funções de densidade e probabilidade (FDP), proporcionará aos técnicos responsáveis pela tomada de decisão no Manejo Florestal uma opção de ferramenta estatisticamente confiável para a avaliação de quantas e quais espécies devem ser colhidas ou conservadas para manter a integridade da floresta.

Existem poucos pesquisadores que trabalham com a modelagem da distribuição diamétrica em FTS no Brasil, isto gera uma carência de estudos científicos na literatura para o método e para a Caatinga, além do fato que a formação florestal estudada é rara. O presente estudo também é inédito para a Caatinga arbórea e para o estado da Bahia, com isso o presente trabalho tem a incumbência de iniciar uma sequência de estudos que busquem explicar o comportamento dos diâmetros, crescimento e produção da FLONA de Contendas do Sincorá.

Existem diversos modelos de distribuição de diâmetros desenvolvidos ao longo do tempo, sendo que a eficiência na aplicação destes depende muito do tipo de formação florestal, tipo de análise de aderência, tipo de banco de dados e tipos de ajustes. Dentro do conjunto de equações de um modelo de distribuição diamétrica existe a FDP, que é utilizada para estimar o número de árvores por classe de diâmetro (CAMPOS e LEITE, 2017). O presente estudo utilizou as FDPs Normal, Log-normal, Gamma Weibull 2P e Weibull 3P, para a modelagem dos diâmetros da comunidade arbórea e das cinco espécies de maior valor de importância (VI) da FLONA de Contendas do Sincorá.

Existe um comportamento na distribuição de diâmetros característico em florestas naturais, denominado de forma de “J invertido”, que é uma distribuição exponencial; com isso, espera-se que a função Normal esteja sempre mal ranqueada em relação às outras funções, o que pode ser observado em diversos trabalhos, como os de Alves et al. (2013); Marangon et al. (2016); Santana et al. (2011); Batista (2017); Marangon et al. (2013); Sabino et al. (2016); Alves et al. (2013); Guedes et al. (2012); Lima et al. (2017) e Medeiros et al. (2018).

Segundo Medeiros et al. (2018), as funções acima citadas são de uso frequente na modelagem da distribuição dos diâmetros de florestas nativas e plantadas; e de acordo com Lima et al. (2017), a distribuição dos diâmetros é uma das avaliações mais utilizadas para retratar o comportamento estrutural de uma comunidade arbórea,

sendo que o diâmetro é, na maioria das vezes, bem correlacionado com variáveis importantes da comunidade, tais como volume, área basal e sortimentos.

## 2 HIPÓTESE

Espera-se que o ajuste e aplicação das funções Weibull 3P e Log-normal a dados de diâmetro pré e pós Colheita Seletiva por Espécies (CSE) tenham melhor desempenho estatístico e melhor disposição em histogramas (estimado sobre observado) para a comunidade arbórea e cinco espécies de maior VI da FLONA de Contendas do Sincorá.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Avaliar o ajuste e aplicação de funções de distribuição diamétrica aos dados de diâmetro pré e pós CSE da FLONA de Contendas do Sincorá.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

Analisar o ajuste e aplicação das principais funções de distribuição diamétrica para os dados de inventário pré e pós CSE da comunidade arbórea e das cinco principais espécies de maior VI da FLONA de Contendas do Sincorá.

Avaliar em histogramas (estimados sobre observados) a disposição das curvas de tendência das funções de distribuição diamétrica para ajuste e aplicação.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Caatinga – Floresta Tropical Seca

A origem do termo Caatinga é indígena, da tribo tupi, em que *KAA* significa floresta, mata; e o sufixo *TINGA* significa branco, claro. O termo Caatinga dá nome a uma formação florestal arborescente, xerófila e caducifólia, que está disposta geograficamente em terras semiáridas no Nordeste do Brasil (ALVES, 2007). Mesmo sendo reconhecida como uma das 37 maiores regiões naturais do planeta, o bioma Caatinga tem uma das vegetações mais desconhecidas do Brasil, de acordo com o estudo coordenado pela “*Conservation Internacional*” (LIMA e COELHO, 2015).

Uma ideia antiga acreditava que a Caatinga seria o resultado da deterioração de formações vegetais mais estruturadas e exuberantes, como a Floresta Amazônica e Mata Atlântica. Isso fez com que surgisse uma ideia distorcida de que a Caatinga teria homogeneidade, com biota pobre, sem endemismo de espécies e com baixo nível de antropização, desde o período de colonização do Brasil. Porém vários estudos apontam a Caatinga como detentora de alta biodiversidade, endemismo, heterogeneidade e considerando-a um bioma extremamente frágil (ALVES, 2007).

O histórico de devastação da Caatinga é preocupante, cerca de 40.000 km<sup>2</sup> do bioma foram transformados em áreas improdutivas (desertos) por conta da atividade humana. De acordo com o Sistema Estadual de Informações Ambientais da Bahia (SEIA), 100.000 ha de Caatinga são antropizados anualmente, sendo que na realidade áreas consideradas como primárias na verdade são o resultado da interação do homem com o bioma, que dura desde o século XVI (ALVES, 2007).

As espécies da Caatinga são muito importantes para a sustentação da economia do Nordeste, com utilização na geração de energia para o setor industrial e consumo residencial de lenha e utilização dos recursos florestais não-madeireiros (forragem para animais, mel proveniente da apicultura, frutos, fibras, dentre outros), que são alternativas de renda para as famílias que habitam no bioma (FERRAZ et al., 2013).

A Caatinga tem um domínio ecogeográfico que ocupa uma área de aproximadamente 750.000 km<sup>2</sup>, compreendida entre as latitudes subequatorial 2° 45' e 17° 21' latitude Sul, e está situada em territórios dentro dos estados de Pernambuco, Piauí, Maranhão, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Alagoas, Minas Gerais, Sergipe e Bahia. Correspondendo a 54% da região Nordeste e 11% do território nacional, constituindo a área do Polígono das Secas (ALVES, 2009; MARANGON et al., 2013; GUERRA et al., 2014).

Os climas predominantes na Caatinga variam de semiáridos, sub-úmidos e secos, são caracterizados pela precipitação concentrada em apenas um período (3 a 5 meses), com médias anuais de 250 a 900 milímetros, não regulares para sua distribuição no tempo e espaço. Apresenta temperaturas anuais relativamente elevadas, de 26 °C a 29 °C, insolação média de 2.800 horas por ano, umidade relativa do ar com 50% e evaporação de 2.000 mm por ano (ALVES, 2007).

Os solos da Caatinga têm boas reservas subterrâneas, com terrenos cristalinos, tendo impermeabilidade e sedimentação de 50% (ALVES, 2007). Tem solos pouco desenvolvidos, com raras exceções, com riqueza em minerais pedregosos, pouco espessos e com baixa retenção de água, o que limita a produção primária para o bioma (ALVES, 2009). Além disso, os solos têm afloramentos rochosos, resultado do balanço hídrico da área e ocorrência de rios intermitentes (ALBUQUERQUE et al., 2010; PRADO, 2003).

O relevo da Caatinga leva o nome de Escudo Nordestino, com seu núcleo arqueado e falhado. Nesse sentido, tem a Borborema, com cobertura sedimentar nos estados do Piauí e Maranhão; a dorsal, na Bahia, com cobertura sedimentar na Chapada Diamantina e ainda com as bacias mesozoicas do Recôncavo, Apodi, Araripe, Jatobá, dentre outras, tendo em suas grandes linhas tabuleiros elaborados e Plio-pleistocênicos da Formação Barreiras (ALVES, 2009).

A vegetação do bioma Caatinga, em sua maioria, tem formações xerófilas e caducifólias, altamente diversificadas pelas razões antrópicas, edáficas, climáticas e topográficas. São difíceis de definir e classificar por conta da heterogeneidade não só fisionômica da composição florística e condições estacionais, como também pelo grande período de atividade antrópica na agricultura, pecuária, exploração mineral e extrativismo vegetal (ALVES, 2007).

Nas características mais fortes têm árvores e arbustos baixos, ramificados, com espinhos e folhagem decídua quando está em estação seca, tendo ainda formas de vidas bem particulares, como cactos colunares e bromélias terrestres (FERRAZ et al., 2013). Próximas a estas formações arbóreas-arbustivas ocorrem também as florestas perenifólias, sub-perenifólias, florestas ripárias e os cerrados (ALVES, 2007). A Caatinga é a principal formação vegetal no Nordeste, com número considerável de táxons raros e ou de ocorrência apenas na Caatinga (endêmicos) (PEREIRA JÚNIOR et al., 2014).

A vegetação da Caatinga desenvolveu estratégias para suportar as adversidades climáticas do semiárido, como o fechamento de estômatos, queda das folhas (diminuição de fotossíntese), modificação no ciclo bioquímico, dentre outras características, para não sofrer com a alta evapotranspiração e precipitação irregular, que ocasionam perdas de água para o meio em que habitam (BRILHANTE, 2017; ALVES et al., 2010); como também a alta riqueza no processo de regeneração (FERRAZ et al., 2014a). Tendo em vista que o Nordeste brasileiro tem a Caatinga como vegetação principal (RAMALHO et al., 2009), a mesma precisa ser estudada e entendida em âmbito científico para que sejam adotadas as melhores estratégias de manejo e conservação das espécies.

#### **4.2 Floresta Nacional (FLONA) de Contendas do Sincorá**

A Floresta Nacional de Contendas do Sincorá foi criada por Decreto presidencial de 21 de setembro de 1999 e está dentro do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), constituído pelo conjunto das unidades de conservação federais, estaduais e municipais, de acordo com a lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Foi batizada como Floresta Nacional Contendas do Sincorá, tem sede situada às margens da rodovia BA 026, km 22, entre as coordenadas geográficas latitude: 13° 45' 44" Sul, longitude: 41° 02' 33" Oeste, com uma área de 11.215,93 hectares, no município de Contendas do Sincorá, na região Sudoeste da Bahia (MMA, 2006).

A história da FLONA de Contendas do Sincorá é marcada pela exploração mineral. Em 1981, a área foi adquirida pela empresa Magnesita S.A, para a retirada

de magnésio e carvão. Com o insucesso financeiro, a área foi vendida para a Siderúrgica Itaminas S.A, que manteve o projeto da Magnesita na exploração de Carvão até o ano de 1997, ano em que a Siderúrgica Itaminas S.A, depois de também ter resultados financeiros negativos, negociou com o IBAMA a troca da área por Créditos de Reposição Florestal, ação que tornou possível a criação da FLONA de Contendas do Sincorá (MMA, 2006).

A classificação climática é de clima semiárido, que pode ser entendida como clima quente, com chuvas escassas e de ocorrência irregular, concentradas no verão. O relevo do local é um vale que foi formado ao leste da Serra das Grotas e ao oeste por serras agrupadas chamadas de Serra da Cabeça Inchada, mais precisamente na Serra do Cipó. São depressões onduladas, com altitudes em torno de 300 m a 400 m. Os solos presentes na região são classificados como Argissolos (podzólico vermelho-amarelo eutrófico), tendo uma porção localizada ao sudeste, que apresenta Latossolos. A hidrografia tem o córrego da Garapa, que corta toda a área da FLONA, desaguando no rio de contas, onde encontra o córrego da Goiabeira (MMA, 2006).

### **4.3 Legislação para o Manejo Florestal na Caatinga**

As legislações que tratam da exploração de florestas nativas são a lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal Brasileiro) e os Decretos nº 15.180, de 02 de julho de 2014 e nº 18.215, de 26 de janeiro de 2018, que tratam da exploração florestal. Ambas dizem que a exploração está condicionada ao licenciamento pelo órgão responsável, mediante aprovação do Plano de Manejo Florestal Sustentável, que tenha técnicas de condução, exploração, reposição florestal e manejo, para a sustentabilidade dos ecossistemas.

O Plano de Manejo Florestal Sustentável deve ter uma caracterização dos meios físico e biológico, determinação do estoque existente, intensidade de exploração alinhada com os recursos existentes, ciclo de corte alinhado com o reestabelecimento do volume extraído da comunidade florestal, promoção da regeneração da comunidade florestal, sistema silvicultural adequado, sistema de exploração adequado, monitoramento da floresta remanescente, bem como adoção de práticas de diminuição dos impactos ambientais e sociais.

A avaliação da distribuição diamétrica em florestas oferece muitas informações importantes a respeito das mesmas, como identificação de espécies por conta do inventário florestal (procedimento padrão de amostragem) com avaliações botânicas, que são indispensáveis para a identificação de espécies, avaliação da estrutura vertical e horizontal (Fitossociologia) para florestas nativas, sendo este um procedimento padrão para o entendimento da mesma, já que oferece parâmetros como frequência absoluta e relativa, porcentagem de amostragem, valor de importância para a comunidade, dentre outros. Enfim, a estrutura diamétrica oferece informações a respeito da variável mais importante dentro de um povoamento quando se trata de exploração florestal, que vem acompanhada das funções de densidade e probabilidade, usadas para otimizar com estimativas o entendimento do comportamento da floresta através do banco de dados amostrado.

#### **4.4 Manejo Florestal na Caatinga**

O Nordeste do Brasil tem atividade florestal de caráter extrativista na região semiárida, que é desenvolvida legalmente de acordo com a elaboração, aprovação e execução de Planos de Manejo Florestal, para que os recursos florestais atendam à demanda por lenha e carvão, possibilitando a regeneração natural da FTS (GÓIS, 2018).

De acordo com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (2002), o Manejo Florestal Sustentável, desenvolvido em florestas nativas, sem homogeneidade, constitui-se de uma exploração realizada com planejamento, com a realização de tratamentos silviculturais na floresta e com a retirada de espécies que passaram por uma seleção prévia (GÓIS, 2018).

O Manejo Florestal Sustentável apresenta a possibilidade de aumentar a produtividade de extração de madeira, diminuindo o ciclo de corte e a área explorada, mantendo a preservação da biodiversidade e a qualidade dos recursos naturais (água e ar), com a geração de benefícios socioeconômicos (GÓIS, 2018).

O Manejo Florestal atualmente é uma técnica mais abrangente quando comparado com a aplicação básica de técnicas de exploração de recursos florestais, mais especificamente madeira (BNDES, 2002). Deste modo, vem sendo cada vez

mais visto como paisagismo, integral e de usos variados, conduzindo à obtenção de renda sustentável de produtos variados, bens e serviços da comunidade arbórea (GÓIS, 2018). De acordo com o estudo de Silva et al. (2008), trabalhando com Manejo Florestal da Caatinga em assentamentos rurais do semiárido pernambucano, os autores chegaram à conclusão de que o Manejo Florestal Sustentável é uma alternativa viável para ser desenvolvida no Nordeste, recomendando a promoção da técnica nos assentamentos rurais.

Para o estudo de Garlet et al. (2018), avaliando o Manejo Florestal da Caatinga em assentamentos na Paraíba, indicou-se o Manejo Florestal como alternativa de geração de renda aos agricultores em um determinado período do ano, relatando ainda que além de vantagens econômicas, a organização do uso do solo, resultado do Manejo Florestal, implica em vantagem ambientais, já que 63% da cobertura florestal é mantida.

Um resultado muito interessante encontrado por Ferraz et al. (2014b), estudando a estrutura do componente arbustivo-arbóreo em duas áreas de Caatinga, em Pernambuco, sendo que uma área foi considerada como conservada e outra como desmatada, concluiu que a vegetação modificada em processo de regeneração apresentou maior riqueza de espécies do que a área considerada como conservada, com proporções de número de indivíduos semelhantes variando com o estado de conservação; além disso, com base na área basal, os autores concluíram que a vegetação secundária da Caatinga após o desmatamento severo consegue recuperar o estoque original em 40 anos.

Pesquisadores do Rio Grande do Norte, estudando a cobertura vegetal na Caatinga em diferentes formas de manejo, concluíram que em uma área de Reserva Legal as espécies apresentam vantagem no quesito quantidade, porém uma segunda área onde vem sendo realizado o Manejo Pastoril com a Caatinga apresentou maior diversidade para as famílias e espécies, sendo que os diâmetros da área conservada foram maiores do que da área manejada (PESSOA et al., 2008).

Fortalecendo esta ideia, o estudo de Aguiar et al. (2019), de florística e estrutura vegetal em diferentes áreas de Caatinga, no Ceará, concluiu que o Manejo de sistemas agroflorestais promove mudanças na estrutura da Caatinga. Quando compararam as áreas, as consideradas como preservadas apresentaram o

favorecimento de árvores com diâmetros maiores e a redução da densidade de frequência para as espécies; quando avaliaram o manejo tradicional, constataram que o mesmo altera a composição florística, modificando a frequência e a densidade, favorecendo ainda a diversificação das espécies. Assim, o Manejo Florestal Sustentável da Caatinga é de suma importância para a sustentabilidade de áreas já utilizadas e o não comprometimento da permanência de espécies no bioma.

#### **4.5 Distribuições Diamétrica e Funções de Densidade e Probabilidade**

Segundo Silva (2003), a tomada de decisão nas Ciências Florestais é, na maioria das vezes, baseada em análises e estudos de uma parte do total que envolve o problema. A estatística dá embasamento para o desenvolvimento da ciência, com seus conceitos, medidas e testes, com o objetivo de diagnosticar situações e fazer previsões para dar aporte para a tomada de decisão.

As informações a respeito das distribuições dos diâmetros são usadas para prever a produção em volume, variável mais interessante para gerentes florestais, e ainda são importantes na projeção da produção de multiprodutos em uma comunidade arbórea (WANG e RENNOLLS, 2005).

O diâmetro é uma medida que tem boa correlação com outras variáveis de suma importância para povoamentos florestais, como sortimentos, altura, volume e área basal. Segundo Ferreira (2011), obtém-se a distribuição diamétrica com o agrupamento em certos intervalos de classes de diâmetro medidos a 1,3 m do solo (DAP), para florestas nativas e plantadas. Segundo Scolforo (2006), a distribuição diamétrica de um povoamento permite obter a probabilidade de ocorrência das árvores dentro de intervalos ou classes de diâmetro, com a condição que exista um limite superior e inferior (amplitude).

As distribuições dos diâmetros assumem importância específica no levantamento da estrutura horizontal de um povoamento florestal, pela capacidade de caracterizar uma formação florestal, e ainda por ser um potencial indicador do sortimento de madeira em desenvolvimento na floresta, além de prover subsídios para o planejamento do manejo da floresta (MACHADO et al., 2009a).

Assim, as distribuições de diâmetro tornam-se instrumentos de análise estratégicos para os técnicos no Manejo Florestal. Elas afetam diretamente a tomada de decisões relativas aos tratamentos silviculturais e colheita da floresta (LIMA et al., 2017).

As distribuições probabilísticas estabelecem conceitos fundamentais na estatística com aplicabilidades tanto práticas como teóricas, onde as frequências estimadas de ocorrência de variável mensurada (diâmetro) são estimadas pelas funções de densidade e probabilidade. A utilização destas funções vem sendo aplicada frequentemente e o que tem influenciado a sua escolha é a facilidade no cálculo dos parâmetros dos modelos não lineares (GUIMARÃES, 2002).

As funções de densidade e probabilidade possibilitam a obtenção da probabilidade de ocorrência de árvores dentro de uma faixa de agrupamento (intervalo de classes diamétricas), e são consideradas a melhor forma para o entendimento da estrutura diamétrica de uma espécie ou de uma comunidade arbórea, permitindo estimativas do comportamento das variáveis de interesse para a implantação de planos de manejo (TÉO et al., 2015; JESUS, 2016).

De acordo com Orellana et al. (2014), existem muitos modelos matemáticos adequados para descrever a distribuição da frequência de variáveis (diâmetro) por unidade de área em relação às classes sequenciais de diâmetro, e os mais difundidos são as funções de densidade e probabilidade.

Devido às particularidades de cada espécie florestal, surge a necessidade de que as funções de densidade e probabilidade para descrever a estrutura diamétrica da floresta sejam devidamente ajustadas e selecionadas de forma a indicar qual delas proporciona maior coerência na descrição do comportamento da variável de interesse (MACHADO et al., 2010a). De acordo com Ferreira (2011), na Engenharia Florestal existe uma demanda de descrição e interpretação das distribuições de diâmetros em comunidades arbóreas, o que indica a utilização de funções de densidade probabilísticas.

Dentre os tipos de distribuição diamétrica, temos a unimodal, que ocorre principalmente em povoamentos jovens; a distribuição decrescente ou distribuição em “J-invertido”, que tem maior ocorrência em árvores nas classes com diâmetros

menores do que em classes diamétricas maiores, característica de florestas nativas; a multimodal tem mais de um ponto de maior ocorrência dos diâmetros, podendo ser consequência da qualidade do solo, tratos silviculturais, desempenho ou idade (TÉO et al., 2015).

As funções probabilísticas contínuas, também denominadas de funções de densidade e probabilidade, são distinguidas quanto aos picos de frequência unimodal ou multimodal; quanto à simetria, podem ser simétricas ou assimétricas; para o tipo de curva rígida ou flexível e para a quantidade de variáveis aleatórias, podem ser univariadas ou multivariadas (GUIMARÃES, 2002).

Segundo Guimarães (2002) e Scolforo (2006), as funções de densidade e probabilidade (contínua e univariada) precisam atender a algumas condições em suas propriedades para a afirmação de sua natureza, como:

- a) A equação (1) é a probabilidade de  $x$  estar entre os pontos (a) e (b) (GUIMARÃES, 2002).

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

Em outras palavras, segundo Scolforo (2006), a função de densidade e probabilidade será zero ( $f(x) = 0$ ) se  $x$  estiver contido fora do intervalo entre (a) e (b). Sendo assim, a probabilidade de  $x$  vier a ocorrer em um determinado intervalo depende da integral:

- b) A função probabilística é não negativa para conjunto real de  $x$  completo (GUIMARÃES, 2002), ou seja,  $f(x) \geq 0$  para todos os valores de  $x$  que ocorrem no intervalo entre (a) e (b), porque não há probabilidade negativa (SCOLFORO, 2006).
- c) A integral da função de densidade e probabilidade é igual a 1 (Equação 2) (GUIMARÃES, 2002), o que segundo Scolforo (2006) determina que toda a área entre a curva representativa da função  $f(x)$ , na totalidade do intervalo, seja igual a 1.

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1 \quad (2)$$

Associada a cada função probabilística contínua há uma função de distribuição acumulada  $F(x)$  (Equação 3), que é a consequência da integral da função probabilística contínua (SCOLFORO, 2006). A área demarcada entre o intervalo (a e b), obtida sob a curva, estabelece a probabilidade de as árvores ocorrerem nele. Este é o resultado proveniente da função de distribuição acumulativa (CAMPOS e LEITE, 2017).

$$F(x) = \int_a^b f(t)dt \quad (3)$$

De acordo com as afirmações de Silva et al. (2003), se  $x$  for uma variável aleatória contínua com função probabilística contínua  $f$ , a expectativa matemática de  $x$  será dada pela equação (4):

$$E(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx \quad (4)$$

Assim, a variância será dada pela equação (5):

$$E(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 f(x)dx - [E(x)]^2 \quad (5)$$

Com o avanço das pesquisas na área da computação em técnicas de cálculos facilitando a utilização de modelos complexos, foram desenvolvidos e aperfeiçoados vários modelos com o objetivo de descrever as distribuições diamétricas em florestas.

#### **4.5.1 Função Normal**

A função Normal foi estudada, a princípio, no século XVIII, quando um estudo de erros experimentais gerou uma curva de função em forma de sino. Ainda que ela tenha sido utilizada primeiramente no ano de 1733, por De Moivre, a função de distribuição Normal é batizada de distribuição gaussiana, para homenagear o primeiro cientista a aplicá-la, o alemão Karl Friedrich Gauss, no ano de 1809, tendo ainda as suas propriedades matemáticas posteriormente estudadas por De Moivre, Laplace e Gauss (LIMA, 2014).

A função probabilística de distribuição Normal é uma das funções mais importantes no âmbito da estatística, porque diversos fenômenos podem ser explicados pela Função Normal, além do que muitas funções tendem para ela, como,

por exemplo, as funções probabilísticas de Poisson e Binomial (MEYER, 1974). De acordo com Stepka et al. (2011), o que afirma a grande importância da distribuição Normal é o alinhamento de comportamento com muitas variáveis contínuas.

A função Normal pode descrever uma série de fenômenos de natureza física e financeira, com capacidade de prover, por exemplo, boa convergência no comportamento de curvas de frequência para variáveis de dimensão e caráter humano, como a altura ocorrente em população e valores de aferição de pressão arterial (NETTO, 2008).

Além disso, ela é plenamente explicada pelos resultados da média e desvio padrão, ou seja, com os resultados destes parâmetros, pode-se determinar qualquer probabilidade de distribuição em uma curva Normal. Porém, para algumas situações, não é indicada a utilização da função Normal, porque alguns conjuntos de dados têm a capacidade de gerar assimetria na curva da função, o que pode ocorrer em florestas naturais, onde as espécies não são controladas, podendo ocasionar uma grande variabilidade (JESUS, 2016).

De acordo com Scolforo (2006) e Campos e Leite (2017), a distribuição Normal é representada pela função probabilística descrita pela equação (6):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right]^2\right) \quad (6)$$

Em que:

$f(x)$  é a função densidade;

$\sigma^2$  é a variância;

$\sigma$  é o desvio padrão;

$\mu$  é a média.

Tendo  $\mu = 0$  e  $\sigma^2 = 1$ , pode-se obter ordenadas da função probabilística contínua por meio da equação (7):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp -1/2x^2 \quad (7)$$

A função probabilística de distribuição cumulativa é descrita pela equação (8):

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right) dx \quad (8)$$

A distribuição Normal tem autopotencial de aplicação no âmbito da estatística experimental, porque a maioria das variáveis contínuas se distribui de acordo com esta função probabilística. Na área Florestal, povoamentos ou outras situações também apresentam conformidade com o modelo Normal. Contudo, existem situações em que o conjunto de dados produz uma curva assimétrica, com estes resultados é improvável que o modelo Normal tenha um bom ajuste. Em formações florestais naturais, por exemplo, de acordo com a situação estudada, é improvável que a função probabilística contínua Normal seja aderente, pois, sem o controle das espécies, pode ocorrer assimetria para os dados obtidos devido à grande variabilidade característica (SILVA, 2003).

#### 4.5.2 Função Log-normal

A distribuição Log-normal é definida pelo logaritmo natural da distribuição de uma variável fortuita que alinha-se a uma distribuição Normal, ou seja, objetiva-se avaliar se a função  $\ln(x)$  tem normalidade em sua distribuição, com especificação da natureza de acordo com a média e o desvio-padrão, para as mesmas variáveis empregadas na distribuição Normal (NETTO, 2008).

É muito utilizada em bancos de dados referentes a fenômenos meteorológicos, para estudos de precipitações ou de velocidade de vento e chuva. No entanto, a área florestal de modo geral não apresenta superioridade na aderência quando comparada a outras distribuições. Como característica peculiar dessa distribuição, tem a capacidade de apresentar sensibilidade quando modela o tamanho da amostra (NETTO, 2008).

Segundo Guimarães (2002), como já está explícito em seu nome, a função Log-normal nada mais é do que a transformação logarítmica da variável  $x$ , exposta na distribuição Normal, de acordo com a equação (9):

$$f(x) \frac{1}{x \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (9)$$

Ou de acordo com Ferreira (2011), equação (10):

$$f(X) = \frac{\exp - \frac{1}{2} \left( \frac{\ln x - \mu}{\sigma} \right)^2}{x \sigma \sqrt{2\pi}}, x \geq 0 \quad (10)$$

Para Guimarães (2002), descrever apenas curvas com assimetria positiva é uma limitação para o uso da Log-normal. Segundo Scolforo (2006), esta distribuição é uma opção à distribuição Normal, visto que a tendência do logaritmo dos diâmetros tende a uma distribuição Normal. Neste caso, o que a diferencia da distribuição Normal é que para a obtenção da média ( $\mu$ ) e a variância ( $\sigma^2$ ), transforma-se anteriormente os valores de diâmetro para o logaritmo dos diâmetros de acordo com a equação (11):

$$Y_i = \ln(d_i) \quad (11)$$

A função probabilística de distribuição cumulativa é representada pela equação (12):

$$F(X) = \frac{1}{x \sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^x \exp \left( \frac{1}{2\sigma^2} \right) \cdot (\ln x - \mu)^2 \quad (12)$$

#### 4.5.3 Função Gamma

A função probabilística Gamma trata-se de uma generalização da função fatorial e foi desenvolvida no ano de 1972, juntamente com a função probabilística Beta, pelo célebre matemático Leonard Euler (GUIMARÃES, 2002). De acordo com Scolforo (2006), a função Gamma apresenta flexibilidade com potencial para aplicação tanto em florestas nativas quanto em florestas plantadas, ajustando-se a distintos tipos de curva e percorrendo por diversos graus de assimetria.

A função probabilística Gamma, em sua forma original, tem os coeficientes do denominador ligados ao numerador. Deste modo, a função pode vir a ser mais rígida em comparação a um modelo em que o denominador não está ligado ao seu numerador (MACHADO et al., 2009b). De acordo com Guimarães (2002), a função Gamma pode ser descrita de acordo com a equação (13):

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} X^{\alpha-1} \cdot e^{(-X/\beta)} \quad (13)$$

Ou de acordo com Ferreira (2011), expressa pela equação (14):

$$f(X) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}, \Gamma(\gamma) = \int_0^\infty u^{\alpha-1} e^{-u} dx \quad (14)$$

Em que:

$\beta$  é o parâmetro escala;

$\alpha$  é o parâmetro determinante na forma da distribuição;

$\Gamma$  é a função Gamma;  $\alpha \geq 0$ ;

$e$  é a exponencial;

$\alpha \leq 2$ : valor obtido em tabela fatorial;

$\alpha > 2$ :  $\Gamma(\alpha) = (\alpha - 1)! = (\alpha - 1)(\alpha - 2)\dots(\alpha - k)\Gamma(\alpha - k)$

A função probabilística Gamma molda curvas de assimetria positiva, sendo que a distribuição Normal é o seu limite extremo (GUIMARÃES, 2002). A função probabilística de distribuição cumulativa da função Gamma é representada pela equação (15):

$$F(X) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^\alpha e^{-x/\beta} dx \quad (15)$$

#### 4.5.4 Função Weibull

A função probabilística de Weibull foi implementada por Fischer e Tippert, no ano de 1928, e desenvolvida de forma independente pelo físico sueco Waloddi Weibull, no ano de 1951, em um estudo científico de resistência de materiais (SCOLFORO, 2006). De acordo com Guimarães (2002), sua grande aceitação tem relação com a capacidade de descrever famílias de distribuições univariadas de assimetrias positivas e negativas, além de pontos de inflexão variando nos intervalos entre zero e 1-1, o que corresponde a aproximadamente 63% do parâmetro assintótico.

Na área florestal, os pesquisadores Bailey e Dell (1972) utilizaram a princípio esta função na modelagem de distribuição diamétrica e ressaltaram que as vantagens

do modelo estão relacionadas à flexibilidade e simplicidade matemática. A distribuição de Weibull tem evoluído em relação à sua utilização no setor florestal, demonstrando ser altamente flexível e adequada para o ajuste das distribuições diamétricas assimétricas (SILVA, 2003).

Segundo Netto (2008) e Campos e Leite (2017), por conta da flexibilidade da função de Weibull, ela tem a capacidade de assumir uma Gamma de formas de distribuição de frequência para as classes diamétricas, com assimetrias positivas ou negativas, de acordo com a tendência dos valores da variável dependente as quais são os parâmetros da função.

A função de Weibull pode ser considerada como uma forma mais genérica da distribuição exponencial por conta da ocorrência dos parâmetros que expressam a amplitude, forma e os momentos (SILVA, 2003). A função probabilística contínua Weibull pode ser de 2 parâmetros (Weibull 2P) ou 3 parâmetros (Weibull 3P), o parâmetro de locação na função Weibull 2P é igual a zero, a função probabilística contínua Weibull 3P apresenta os três parâmetros que, respectivamente, são incumbidos da locação, escala e forma da distribuição diamétrica (BARRA et al., 2004).

A função Weibull é não linear e tem uma dificuldade de não ser linearizável para permitir o cálculo dos preditores dos parâmetros pelo método dos mínimos quadrados ordinários (SILVA, 2003).

Segundo Campos e Leite (2017), as funções probabilísticas de Weibull 2P (Equação 18) e Weibull 3P (Equação 19) podem ser descritas, respectivamente, da seguinte forma:

$$f(X) = \left(\frac{\gamma}{\beta}\right) \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma\right] \quad (18)$$

$x \geq 0$ ,  $\beta > 0$  e  $\gamma > 0$

$$f(X) = \left(\frac{\gamma}{\beta}\right) \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^\gamma\right] \quad (19)$$

$\alpha \leq 0$ ,  $\beta > 0$  e  $\gamma > 0$

Em que:

$\alpha$  é o parâmetro de locação;

$\beta$  é o parâmetro de escala;

$\gamma$  é o parâmetro de forma;

$x$  é a variável de interesse (diâmetro).

As funções cumulativas de Weibull 2P (Equação 20) e Weibull 3P (Equação 21) podem ser descritas, respectivamente, da seguinte forma:

$$F(X) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{x}{\beta} \right)^\gamma \right] \quad (20)$$

$$F(X) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{x-\alpha}{\beta} \right)^\gamma \right] \quad (21)$$

#### 4.6 Assimetria

O coeficiente de assimetria caracteriza a falta de simetria da distribuição apresentada. A distribuição Normal tem coeficiente de assimetria igual a zero, propiciando o espalhamento da curva de distribuição.

Uma distribuição com assimetria negativa possui curva de frequência alongada e afinada no lado esquerdo da média, e curta e grossa no lado direito da média.

A assimetria positiva, diferentemente, caracteriza-se por ter uma cauda longa e fina no lado direito da média (evidenciando ganhos elevados) e curta e grossa no lado esquerdo da média. O terceiro momento é uma denominação utilizada para a assimetria (MILANI e CERETTA, 2014).

Segundo Moreira (2018), a assimetria é definida pela equação (22):

$$\mu_3 = E\{(x - \bar{x})^3\} = \int f(x)(x - \bar{x})^3 dx \quad (22)$$

Considera-se:

Se  $Assimetria < 0$  a distribuição será assimétrica negativa;

Se  $Assimetria > 0$  a distribuição será assimétrica positiva;

Se  $Assimetria = 0$  a distribuição será simétrica.

## 4.7 Curtose

A curtose é uma medida que descreve o achatamento da curva da função de distribuição probabilística, mostrando o limite em que a curva representativa de uma distribuição se demonstra como mais aguda ou mais achatada em relação à curva Normal, de altura média (MORETO, 2008).

Segundo Moreto (2008), a curtose é muito utilizada em diferentes áreas de aplicação por conta da sua simplicidade e propriedade, podendo ser descrita pela equação (23):

$$curtose(x) = E\{x^4\} - 3E\{x^2\}^2 \quad (23)$$

Se  $K < 0$  a distribuição será do tipo curva platicúrtica; quando o valor da curtose é menor que zero, é uma curva inferior em relação à altura do que a função Normal, tem o topo achatado, significando igualdade de frequência entre várias classes.

Se  $K = 0$  será curva mesocúrtica, quando o valor da curtose for igual a zero, é tida como curva padrão, pois apresenta achatamento semelhante ao da distribuição Normal ou Gaussiana.

Se  $K > 0$  será curva leptocúrtica, quando o valor da curtose for maior que zero, é uma curva superior em relação à altura que a função Normal, tem o topo relativamente alto, significando que os valores se agrupam preferencialmente em torno da moda. A curva leptocúrtica também apresenta caudas grossas, por conta da grande amplitude de alguns valores, com sinal negativo e/ou positivo.

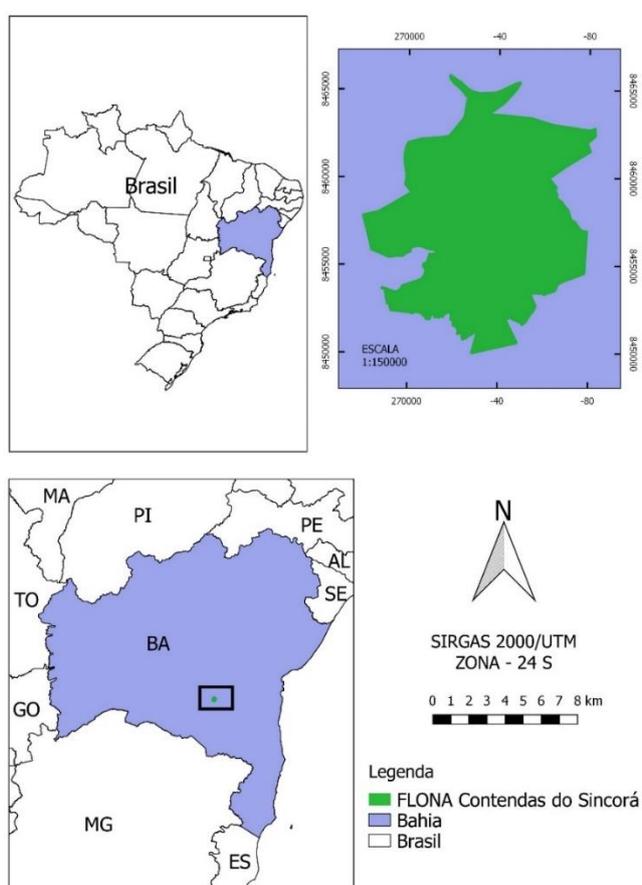
## 4.8 O critério de informação de Akaike (AIC)

O critério de informação de Akaike (AIC) (AKAIKE, 1983) é um arranjo do ajuste do modelo (mensurado pelo logaritmo da máxima verossimilhança) e de sua complexidade (mensurada pela quantidade de parâmetros) (PEREIRA et al., 2016). O AIC mede a distância entre o observado e o estimado da variável de interesse, ou seja, quanto menor a distância, mais adequado é o modelo (BURNHAM e ANDERSON, 2002). Segundo Zuur et al. (2013), os resultados do AIC de modelos com diferentes arranjos de covariáveis podem ser comparados, uma vez que quanto menor for o valor do resultado do AIC, melhor será o modelo.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Área de estudo e Amostragem

Os dados do presente estudo são provenientes de inventário florestal realizado nos anos de 2015 e 2018, em uma unidade experimental de manejo da FLONA de Contendas do Sincorá, com área total de 11.215,93 hectares, localizada no município de Contendas do Sincorá, entre as coordenadas geográficas latitude: 13° 45' 44" Sul, longitude: 41° 02' 33" Oeste, na região Sudoeste da Bahia (Figura1).



**Figura 1** – Mapa de localização da Floresta Nacional de Contendas do Sincorá, com discriminação da localização em território nacional e estadual.  
Fonte: Confeccionado pelos autores, 2019.

A vegetação predominante na FLONA de Contendas do Sincorá, de acordo com a classificação fitogeográfica considerada pelo IBGE (2012), é de Caatinga arbórea, Floresta Tropical Seca (FTS), que segundo Virgens et al. (2017) encontra-se

em estágio sucessional tardio. O clima da região é semiárido quente (tipo BSw), segundo a classificação de Köppen, com períodos chuvosos de novembro a janeiro. A oscilação na precipitação varia de 500 a 1.000 mm anuais e a temperatura entre 21 °C e 28 °C, com umidade relativa variando entre 60% e 70% (VIRGENS et al., 2017).

A FLONA de Contendas do Sincorá forma um vale composto da Serra das Grotas, Serra da Cabeça Inchada e Serra do Cipó, com depressões pouco onduladas, e variação de altitude de 300 m a 400 m (MMA, 2006).

Os solos são classificados como Argissolos (podzólico vermelho-amarelo eutrófico), com uma pequena parte localizada ao Sudoeste composta por Latossolos (MMA, 2006).

A hidrologia na FLONA de Contendas do Sincorá tem dois córregos principais, o córrego da Garapa, afluente do Rio de Contas local, desaguando no córrego da Goiabeira (MMA, 2006).

O inventário florestal foi composto de duas etapas, inventário pré (2015) e pós CSE (2018), realizados em três unidades amostrais, com 16 parcelas de 20x20 m (400 m<sup>2</sup>) em cada unidade, de acordo com o protocolo da rede de manejo da Caatinga, totalizando 48 parcelas, com área amostrada de aproximadamente 19.200 m<sup>2</sup> (BATISTA, 2017).

Nas unidades amostrais foram inventariadas todas as árvores vivas que apresentaram diâmetro a 1,3 m do solo maior ou igual a cinco centímetros (DAP ≥ 5 cm), mensurado com suta e fita métrica. As árvores mensuradas receberam uma placa de alumínio com numeração e tiveram o material botânico coletado de acordo com procedimentos de Batista (2017). As árvores que apresentaram mais de um fuste (Bifurcação) tiveram o DAP calculado pelo diâmetro equivalente (BURKHART e TOMÉ, 2012).

A vegetação apresentou muitos indivíduos com ramificação na altura de 1,30 (bifurcação, trifurcação e até mais galhos). De acordo com Souza et al. (2016), o diâmetro equivalente foi obtido pela seguinte equação (24):

$$DEq = \sqrt{\sum DAP^2} \quad (24)$$

Em que DEq é o diâmetro equivalente em cm, e DAP é o diâmetro com casca medido a 1,30 m do solo, em cm.

O diâmetro equivalente é uma variável calculada nos estudos florestais. Esta variável é inexistente na floresta, porém, para obtenção da mesma, é primordial que uma planta possua pelo menos uma bifurcação a uma altura de 1,30 m do solo (SOUZA et al., 2016).

A identificação das espécies inventariadas foi realizada no laboratório de Manejo Florestal da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), no *campus* de Vitória da Conquista-Bahia, através de bibliografia especializada e comparação das exsicatas com o acervo do herbário da UESB.

Batista (2017) utilizou os dados de DAP do inventário florestal pré CSE de (2015) e o software FITOPAC 2.1 (SHEPHERD, 2010) para obter os parâmetros da estrutura horizontal da comunidade arbórea estudada. Foram utilizados os resultados do valor de importância (VI) (Tabela 1) para ajuste das funções entre as espécies. O VI é resultado do somatório de três parâmetros: frequência, densidade e dominância (MARANGON et al., 2016).

**Tabela 1** – Espécies com maior valor de importância da Floresta Nacional de Contendas do Sincorá em (2015).

<b>Espécies</b>	<b>Família</b>	<b>Valor de Importância</b>
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J. B. Gillett	Burseraceae	53,64
<i>Manihot catingae</i> Ule	Euphorbiaceae	30,08
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	Apocynaceae	28,54
<i>Pseudobombax simplicifolium</i> A. Robyns	Malvaceae	24,51
<i>Patagonula bahiensis</i> Moric	Boraginaceae	21,61

Fonte: Adaptado de Batista (2017).

## 5.2 Modelagem da Distribuição de Diâmetro

A distribuição diamétrica é a frequência do DAP de árvores em um histograma (MEDEIROS et al., 2018), sendo proveniente do ajuste de funções de densidade de probabilidade (CAMPOS e LEITE, 2017). Diversos estudos na literatura indicam as funções de densidade e probabilidade para descrever o comportamento da frequência

dos diâmetros das árvores (MARANGON et al., 2016; ORELLANA et al., 2014; MACHADO et al., 2009a; LIMA et al., 2017; TÉO et al., 2015; MEDEIROS et al., 2018; MACHADO et al., 2010a; MACHADO et al., 2010b; FERREIRA, 2011; JESUS, 2016; EBLING et al., 2014; LIMA, 2014).

Para o cálculo dos coeficientes de assimetria e curtose, variância, coeficiente de variação, desvio padrão, moda, mediana, erro padrão, média e frequência absoluta (MARANGON et al., 2016), utilizou-se a planilha do Microsoft Office Excel® 2010 em Dados>análise de dados>estatística descritiva. O objetivo da obtenção da estatística descritiva foi realizar um levantamento dos componentes quantitativos do conjunto de dados, para a obtenção de informações preliminares da estrutura diamétrica da FLONA de Contendas do Sincorá.

As classes de diâmetro e a amplitude foram definidas de acordo com Sturges (1926) adaptado por Spiegel (2006) (Equações 25, 26 e 27):

$$IC = \frac{K}{H} \quad (25)$$

$$K = 1 + 3,33 \log N \quad (26)$$

$$H = d_{max} - d_{min} \quad (27)$$

Onde:

K é o número de classes;

N é o número total de indivíduos;

H é a amplitude entre o diâmetro maior e o menor;

IC é o intervalo entre as classes.

Neste estudo foram testadas as funções de densidade e probabilidade de Weibull 2P, Weibull 3P, Normal, Log-normal e Gamma (Tabela 2). Segundo Medeiros et al. (2018), estas funções são de uso frequente na modelagem da distribuição dos diâmetros de florestas nativas e plantadas.

Para a compilação dos dados e estimativa dos parâmetros pelo método da máxima verossimilhança das funções Normal, Log-normal, Gamma, Weibull 2P e Weibull 3P, foi utilizado o software R (R core Team, 2017), por meio dos pacotes Fitdistribplus e Mass.

**Tabela 2** – Distribuições, Funções de densidade de probabilidade e métodos de estimação dos parâmetros.

Função	Fórmula	Métodos de estimação dos parâmetros
Normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right]^2\right)$	Máxima Verossimilhança
Log-normal	$f(x) = \frac{1}{x \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(X) - \mu}{\sigma}\right)^2\right]$	Máxima Verossimilhança
Gamma	$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} X^{\alpha-1} \cdot e^{(-x/\beta)}$	Máxima Verossimilhança
Weibull 2P	$f(X) = \left(\frac{\gamma}{\beta}\right) \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\gamma\right]$	Máxima Verossimilhança
Weibull 3P	$f(X) = \left(\frac{\gamma}{\beta}\right) \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^\gamma\right]$	Máxima Verossimilhança

Fonte: Confeccionado pelos autores, 2019.

Através de Histogramas (estimado sobre observado) foram traçadas as curvas de tendência das frequências dos diâmetros estimados sobre observados. A análise destas frequências foi concluída através da utilização do teste de qualidade do ajuste entre as funções de densidade e probabilidade, para avaliar qual função teve melhor similaridade e aderência (MACHADO et al., 2009a).

### 5.3 Teste de qualidade do ajuste

O AIC (AKAIKE, 1973) foi utilizado, de acordo com Pereira et al. (2016), para avaliar a qualidade entre os modelos. O AIC mede a distância do modelo ajustado tendo como referência o modelo que gerou os dados, ou seja, quanto menor a distância melhor é o modelo (BURNHAM e ANDERSON, 2002).

Segundo Pereira et al. (2016), o AIC é definido pela equação (28):

$$AIC = -2 \log(L) + 2p \quad (28)$$

Em que:

L é o valor maximizado da função de verossimilhança e

P é o número de parâmetros no modelo.

#### **5.4 Assimetria e curtose**

Os coeficientes de assimetria e curtose foram calculados de acordo com a metodologia recomendada por Machado et al. (2009b), que estabelece os seguintes critérios: inclinação positiva ou direita se a moda < mediana < média aritmética e inclinação esquerda ou negativa se moda > mediana > média aritmética. Se o coeficiente de assimetria no módulo estiver entre 0,15 e 1, a inclinação será considerada moderada. Se for maior que 1, a inclinação é forte.

A curtose, por sua vez, é o grau de achatamento ou elevação relativa de uma distribuição, avaliada em relação a uma distribuição Normal. As curvas podem ser denominadas de: 1) leptocúrtica, se tiver um pico relativamente alto, excesso negativo e coeficiente de curtose < 0,263; 2) platicúrtica, se a curva tiver um topo mais achatado, com excesso positivo e um coeficiente de curtose > 0,226; e 3) mesocúrtica, se tiver um coeficiente de curtose = 0,263.

#### **5.5 Validação das funções**

A análise de validação consistiu em prever as frequências por classe de diâmetro com base nos parâmetros de função obtidos no ajuste. As funções que mostram a melhor qualidade de ajuste no AIC, com os dados pré CSE (2015) foram submetidas a um processo de aplicação (validação) com o banco de dados pós CSE de 2018.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nota-se que houve uma redução de 32,51% no número de indivíduos, entre 2015 e 2018, devido ao CSE realizado na área, refletindo principalmente nos valores de assimetria e curtose que explicam a forma da estrutura diamétrica no intervalo entre os inventários florestais realizados (Tabela 3).

Os coeficientes de assimetria para a comunidade arbórea para as cinco espécies de maior VI têm valores maiores que 1 (Tabela 3), o que significa que a inclinação da curva é mais acentuada, isso ocorre porque em todos os valores obtidos a mediana é menor que a média aritmética. Estes valores indicam assimetria positiva na distribuição dos diâmetros, ou seja, a calda do gráfico sofre influência da faixa de concentração dos diâmetros com deslocamento mais à direita do que à esquerda, este deslocamento sofre influência direta da média aritmética, com a ocorrência das observações sempre abaixo dela.

O comportamento positivo para o coeficiente de assimetria em FTS, no Nordeste, está de acordo com Lima et al. (2017) e Marangon et al. (2016), que obtiveram resultados positivos para o coeficiente de assimetria, tanto para o povoamento total como para espécies de maior VI.

**Tabela 3** – Estatísticas descritivas dos conjuntos de dados da variável DAP para o povoamento total e para as espécies de maior VI encontradas na Floresta Nacional de Contendas do Sincorá, na região Sudoeste da Bahia (2015 e 2018).

Medidas descritivas	Espécies											
	Comunidade arbórea		<i>Commiphora leptophloeos</i>		<i>Manihot catingae</i>		<i>Aspidosperma pyrifolium</i>		<i>Pseudobombax simplicifolium</i>		<i>Patagonula bahiensis</i>	
	2015	2018	2015	2018	2015	2018	2015	2018	2015	2018	2015	2018
Frequência Absoluta	3518	1144	250	92	247	108	212	75	113	51	292	44
Média	8,20	8,23	10,30	8,76	8,98	8,56	8,53	8,68	8,82	8,56	8,57	8,50
Erro Padrão	0,07	0,07	0,29	0,15	0,20	0,14	0,23	0,15	0,15	0,13	0,15	0,14
Mediana	6,80	6,80	8,50	7,10	7,10	7,00	7,65	7,10	7,20	7,00	7,00	7,00
Moda	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,50	5,00	5,00
Desvio Padrão	4,71	4,67	6,28	5,31	5,45	5,16	3,38	5,10	5,11	5,14	4,84	5,11
CV%	57,50	56,73	60,94	60,66	60,75	60,34	39,67	58,70	57,91	60,05	56,52	60,14
Amplitude	61,11	61,11	48,29	60,50	48,29	60,90	19,49	50,40	48,29	60,90	48,29	60,90
Variância	22,22	21,82	39,41	28,21	29,74	26,68	11,45	25,96	26,10	26,44	23,45	26,16

Assimetria	3,51	3,38	2,74	3,61	3,31	3,72	1,45	3,27	3,39	3,65	3,62	3,74
Curtose	20,69	18,70	10,35	20,16	15,21	21,46	2,53	15,59	16,16	20,84	19,06	21,82

CV% coeficiente de variação.

Fonte: Confeccionado pelos autores, 2019.

Os resultados de curtose obtidos para a comunidade arbórea e para as cinco espécies de maior VI são positivos (Tabela 3). Esta medida expressa o comportamento da curva da função probabilística em relação à curva Normal (MACHADO et al., 2006). Os resultados da presente pesquisa corroboram os resultados dos estudos de Lima et al. (2017) e Marangon et al. (2016), que apresentam coeficiente de curtose positivo para povoamento de Caatinga.

No geral, quando o coeficiente de curtose é maior que zero, configura-se a distribuição platicúrtica, com curva mais achatada (MACHADO et al., 2009a). A curtose é o principal parâmetro indicador da faixa de concentração das frequências de diâmetro, para FTS; a dinâmica da comunidade arbórea pode influenciar no comportamento dos diâmetros, caracterizados pela assimetria e curtose (LIMA et al., 2017).

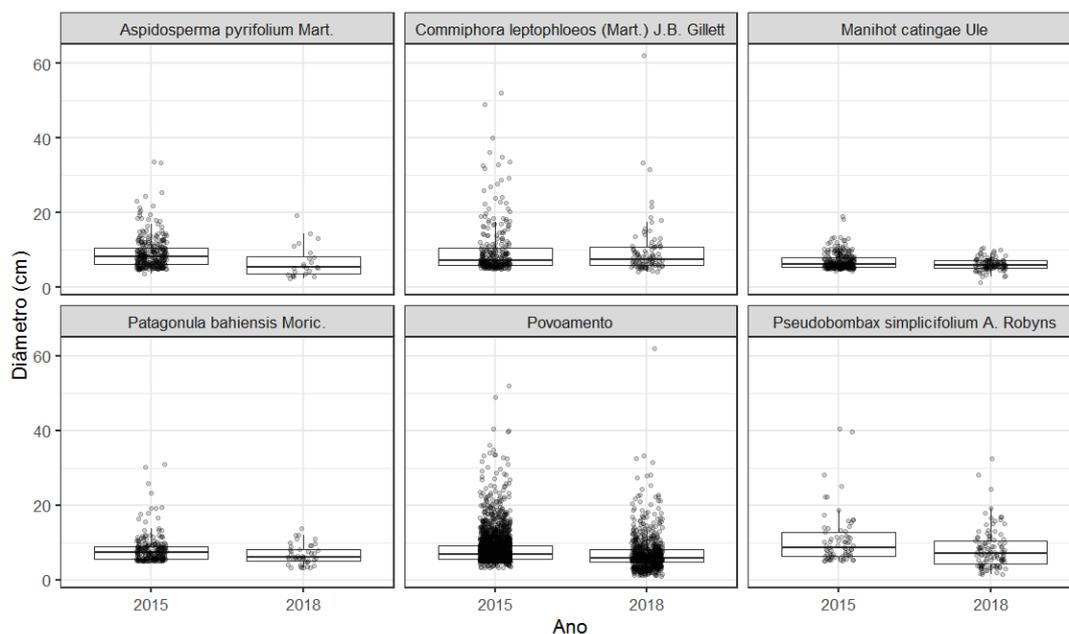
Pode-se observar na Figura 2 que a frequência absoluta é decrescente entre as espécies de maior VI. Os resultados da presente pesquisa estão de acordo com Medeiros et al. (2018), os autores trabalharam com modelagem da distribuição de diâmetros na Caatinga da Paraíba e encontraram predominância de um extrato inferior, composto de árvores baixas em classes de diâmetros menores.

Juntas, as estatísticas moda, mediana e média aritmética fornecem informações importantes a respeito do comportamento dos diâmetros (Tabela 3). Quando a moda é menor que a mediana e a mediana é menor que a média aritmética, caracterizam-se distribuições unimodais (a moda é igual para todas as espécies) com assimetria positiva e um só “pico”.

De acordo com Marangon et al. (2016), as distribuições unimodais refletem a existência de algum fator que está prejudicando a regeneração natural das espécies, o que pode ser consequência da alteração da composição natural, resultado de perturbações frequentes; para o caso da FLONA, este comportamento pode estar associado ao manejo da floresta.

Observa-se na Tabela 3 que a amplitude observada para a comunidade arbórea foi igual para os dois inventários. Para as espécies de maior VI, a amplitude foi menor no ano de 2015, em relação a 2018; isso pode estar associado ao crescimento da floresta, por causa da diminuição da competição por conta da retirada das árvores no CSE. As espécies que apresentaram maior amplitude de diâmetro foram *Manihot catingae* Ule, *Patagonula bahiensis* Moric e *Pseudobombax simplicifolium* A. Robyns.

A *Aspidosperma pyrifolium* Mart apresentou menor valor de amplitude, bem como melhores resultados estatísticos para desvio padrão, coeficiente de variação e variância, isso se deve à homogeneidade dos dados de distribuição diamétrica desta espécie.



**Figura 2** – Número de árvores por classe de diâmetro para 2015 e 2018.  
Fonte: Confeccionado pelos autores, 2019.

A espécie com maior VI, a *Commiphora leptophloeos*, também foi a espécie que apresentou inferioridade nos resultados estatísticos (Tabela 3), erro padrão, coeficiente de variação, desvio padrão e variância, por conta da heterogeneidade dos dados, já que a espécie acima citada teve 15,31% dos indivíduos amostrados, o que pode causar uma variação elevada. A espécie que apresentou o menor erro padrão foi a *Pseudobombax simplicifolium* A. Robyns, o que se deve à frequência absoluta,

em que a espécie apresenta os menores valores, visto que a espécie com maior frequência absoluta apresentou inferioridade nos resultados estatísticos.

A Figura 2 mostra o número de árvores por classe de diâmetro para a comunidade arbórea e para as espécies com maior VI, referentes aos dados de inventário pré CSE (2015) que foram utilizados para o ajuste, e pós CSE (2018), que foram utilizados para a validação.

Observa-se na Figura 2 que tanto para a comunidade arbórea quanto para as espécies com maior VI a ocorrência dos indivíduos é maior nas classes de diâmetro menores. Nota-se também que ocorrência dos indivíduos vai diminuindo de acordo com o aumento do diâmetro, o que está relacionado à característica da área da Caatinga da FLONA. A área estudada tem uma formação florestal fechada que culmina na ocorrência de muitos indivíduos por unidade de área, diminuindo o diâmetro da floresta por conta da concorrência.

De acordo com Campos e Leite (2017) e Medeiros et al. (2018), a ocorrência de indivíduos em classes de diâmetro menor é um comportamento típico de florestas nativas, denominado forma de “J invertido”. Para Medeiros et al. (2018), quanto maior o número de indivíduos nas classes inferiores de diâmetros, maior a possibilidade destes indivíduos estarem presentes na comunidade arbórea adulta. Para Dantas et al. (2010), este comportamento indica que na floresta ocorre regeneração contínua, o que Lima et al. (2017) atribuem como consequência do potencial de adaptação da espécie em ambientes extremamente secos.

Na Tabela 4 estão os resultados dos parâmetros obtidos no ajuste das funções de distribuição diamétrica. Estes valores de coeficientes foram utilizados integralmente nas funções de densidade e probabilidade para estimativa da frequência das classes de diâmetro da comunidade arbórea e das cinco espécies com maior VI.

**Tabela 4** – Valores dos parâmetros das funções de Densidade e Probabilidade ajustadas com os dados de 2015.

Função	Parâmetro	Povoamento	Espécies				
			<i>A. pyriformium</i>	<i>C. leptophloeos</i>	<i>M. catingae</i>	<i>P. bahiensis</i>	<i>P. simplicifolium</i>
Normal	$\mu$	8,3281	9,1911	10,1412	7,0327	8,2171	11,0053
	$\sigma$	4,3586	4,3226	7,2397	2,1499	3,8048	7,0364
Log-normal	$\mu$	2,0327	2,1340	2,1618	1,9133	2,0355	22,5899
	$\sigma$	0,3827	0,3915	0,5010	0,2606	0,3470	0,4918
Gamma	$\beta$	5,9123	6,0977	3,3874	13,5624	7,2349	3,7448
	$\gamma$	0,7100	0,6634	0,3340	1,9285	0,8804	0,3403
Weibull 2P	$\beta$	2,0196	2,2153	1,6145	3,1247	2,2096	1,7426
	$\gamma$	9,4253	10,3977	11,4624	7,8049	9,2756	12,4746
Weibull 3P	$\alpha$	3,1983	3,6978	2,0725	4,3927	4,3983	4,3298
	$\beta$	5,6962	6,0763	5,9228	2,8984	3,7955	6,3293
	$\gamma$	1,3993	1,4070	2,1709	1,3505	1,4959	1,2802

Fonte: Confeccionado pelos autores, 2019.

A dissimilaridade da estimativa dos parâmetros de uma mesma função entre as diferentes espécies (Tabela 4) se deve às características das mesmas. Os estudos de Lima (2014), Marangon et al. (2016) e Medeiros et al. (2018) também não encontraram similaridade entre as estimativas dos parâmetros de funções de densidade e probabilidade para FTS.

Segundo Marangon et al. (2016), tendo em vista a discrepância dos parâmetros, recomenda-se que as funções sejam empregadas para as espécies separadamente, pois com as características de cada espécie, torna-se importante a seleção do modelo que descreva com qualidade o desempenho da variável de interesse.

De acordo com o AIC (Tabela 5), a função Weibull 3P foi estatisticamente melhor para estimar a frequência dos diâmetros da comunidade arbórea e das espécies de maior VI, seguida das funções Log-normal e Gamma que, de acordo com o resultado do AIC, sempre aparecem como segunda e terceira melhores colocadas de acordo com o AIC. Para esta situação específica, as funções Normal e Weibull 2P não se ajustaram bem aos dados, tendo a função Weibull 2P apresentado o pior resultado para a espécie *Manihot catingae* Ule.

A função Weibull 3P se adequa às diferentes distribuições por conta dos parâmetros da função. Cada parâmetro da função (escala, locação e forma) está ligado a uma característica do povoamento. Com isto, a função apresenta alta flexibilidade e adequação a diferentes bancos de dados.

**Tabela 5** – Qualidade do ajuste das funções de Densidade e Probabilidade ajustadas com os dados de 2015.

Funções	Estat.	CA	Espécies				
			A. <i>pyrifolium</i>	C. <i>leptophloeos</i>	M. <i>catingae</i>	P. <i>bahiensis</i>	P. <i>simplicifolium</i>
Normal	(AIC)	13904,37	1658,72	1818,81	1152,96	1260,38	4690,66
Log-normal	(AIC)	11980,96	1505,09	1547,07	1049,33	1096,56	4136,27
Gamma	(AIC)	12462,49	1540,24	1616,53	1077,44	1138,49	4265,46
Weibull 2P	(AIC)	13251,96	1610,30	1675,75	1169,68	1220,07	4407,40
Weibull 3P	(AIC)	1045,95	1501,54	1404,22	1001,63	1011,58	4106,98

Estat. = Estatística; CA = Comunidade arbórea.

Fonte: Confeccionado pelos autores, 2019.

A função Gamma é a terceira melhor ranqueada de acordo com o AIC. Porém, apesar da boa estimativa para a comunidade arbórea, não apresentou aderência satisfatória em comparação às funções mais flexíveis.

De acordo com o AIC, a função Normal seguida da Weibull 2P não são indicadas para a representação da frequência dos diâmetros da comunidade arbórea estudada, já que tiveram os maiores valores para este critério em relação às funções melhor ranqueadas.

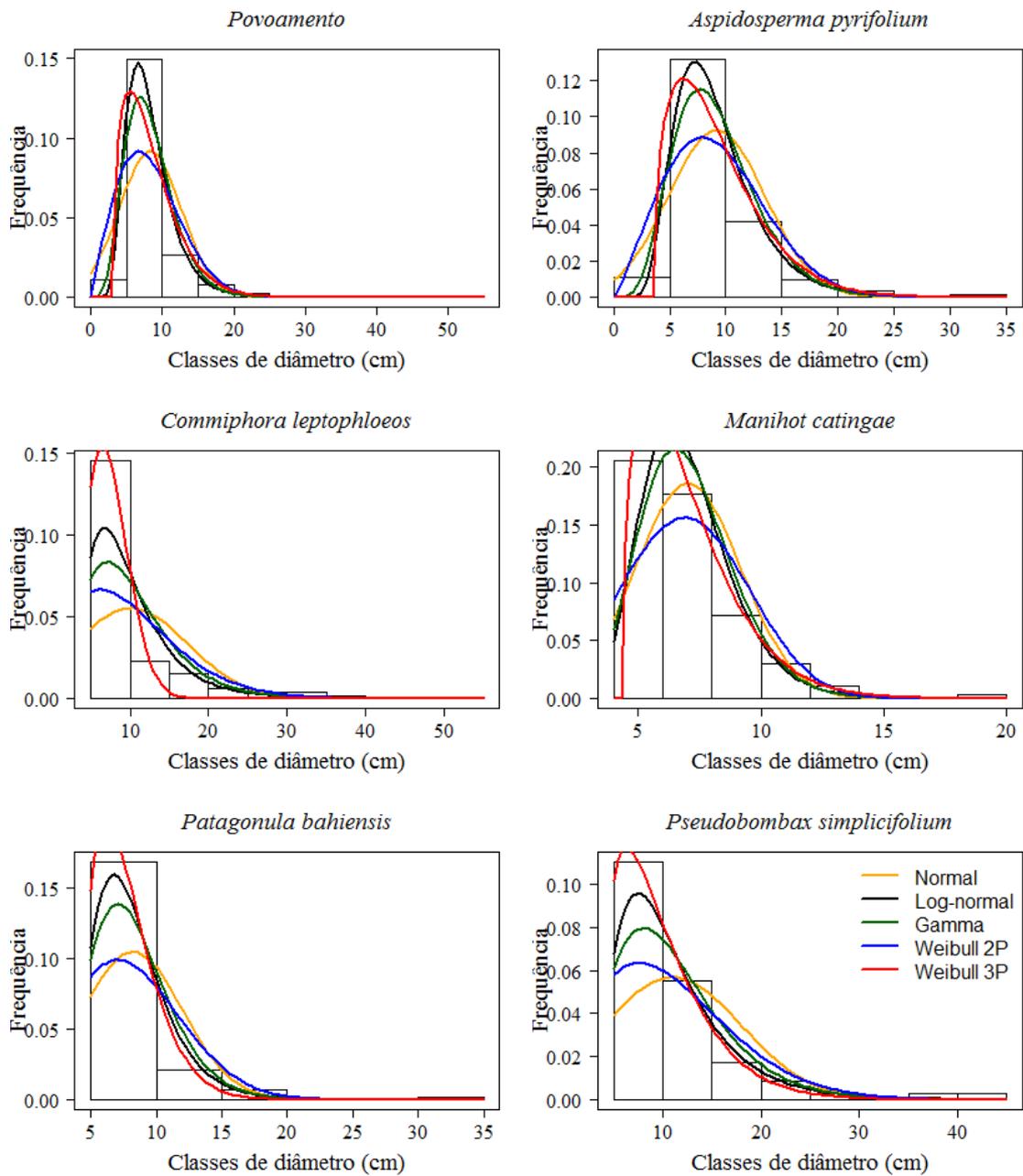
Para completar e fortalecer a decisão na seleção das funções que melhor descrevam o comportamento da distribuição dos diâmetros, foram plotadas as curvas de frequências estimadas pelas funções probabilísticas sobre as frequências observadas (Figura 3). Essa análise gráfica proporcionou uma maior clareza na avaliação da tendenciosidade das funções de distribuição diamétrica ajustadas.

Observa-se na Figura 3 que para a comunidade arbórea as funções Weibull 3P e Log-normal apresentam convergência para as frequências de diâmetro estimado sobre observado, porém a função Log-normal teve melhor conformidade em classes de diâmetro menor em relação à função Weibull 3P, que subestimou os diâmetros nas

classes menores, para as classes de diâmetros menores; ambas as funções tiveram boa representação.

A função Weibull 3P superestimou as classes de diâmetros menores para as espécies *Commiphora leptophloeos*, *Manihot catingae*, *Pseudobombax simplicifolium* e *Pataggonula bahiensis*, bem como subestimou as classes de diâmetros inferiores para a espécie *Aspidosperma pyrifolium*; a mesma função apresentou boa conformidade para ambas as espécies em classes de diâmetro maiores.

A função Log-normal subestimou as classes de diâmetros inferiores para as espécies *Commiphora leptophloeos*, *Pseudobombax simplicifolium* A. Robyns e *Pataggonula bahiensis* Moric, bem como superestimou as classes de diâmetros inferiores para *Manihot catingae*; a mesma função teve boa disposição para a espécie *Aspidosperma pyrifolium* Mart em ambas as classes de diâmetro.



**Figura 3** – Todas as melhores funções plotadas por classe de diâmetro para o povoamento e para as cinco espécies de maior valor de importância. Fonte: Confeccionado pelos autores, 2019.

Avaliando o comportamento das curvas na Figura 3, nota-se a não aderência das funções Normal e Weibull 2P, que apresentaram alta tendenciosidade nas curvas plotadas, subestimando as classes inferiores e superestimando as classes de diâmetro superiores, atestando os resultados anteriormente encontrados do AIC, que não indicam a utilização destas funções para a descrição do comportamento da distribuição dos diâmetros.

A melhor função de distribuição diamétrica ajustada para a comunidade arbórea e cinco espécies de maior VI da Caatinga na FLONA de Contendas do Sincorá, no Sudoeste da Bahia, foi a Weibull 3P seguida da Log-normal, resultados que se alinham com Lima (2014) e Medeiros et al. (2018), que apontaram aderência destas funções para a modelagem da distribuição diamétrica para a vegetação de Caatinga.

A função de Weibull 3P foi a que melhor se ajustou à comunidade arbórea e às espécies de maior VI. Marangon et al. (2016), trabalhado com modelagem da distribuição diâétrica na Caatinga, em Pernambuco, encontraram aderência no ajuste da função Weibull 3P para espécies da Caatinga. De acordo com Medeiros et al. (2018), a função Weibull 3P pode ser indicada para descrever a distribuição dos diâmetros e auxiliar as estratégias de manejo e conservação das espécies.

A função Log-normal obteve resultados satisfatórios de acordo com o AIC, e na avaliação do comportamento da curva de tendência nos histogramas, o estudo de Lima et al. (2017) indicou a função Log-normal como a mais apropriada para a estimativa das frequências dos diâmetros em comunidade arbórea e espécies separadas da Caatinga de Pernambuco.

As funções Normal e Weibull 2P não apresentaram convergência com as frequências observadas para esta aplicação (Figura 3), as funções têm alta tendenciosidade e baixa flexibilidade, estes resultados corroboram os estudos de Lima et al. (2017) e Medeiros et al. (2018), que também encontraram resultados não satisfatórios no ajuste destas funções de distribuição diamétrica na vegetação de Caatinga.

A baixa aderência da função Weibull 2P pode ser explicada pela sua estrutura, que não usa o parâmetro de locação, o que corresponde ao diâmetro mínimo do povoamento; este parâmetro é o que posiciona a curva sobre o eixo das abcissas. De acordo com Lima et al. (2017), a baixa flexibilidade desta função é consequência da geração de curvas decrescentes.

A função Normal foi a pior função em todos os quesitos, tanto para o povoamento quanto para as espécies de maior VI, resultados que convergem com Medeiros et al. (2018), que também obteve resultados inconsistentes para o ajuste da função Normal na modelagem da distribuição diamétrica na Caatinga.

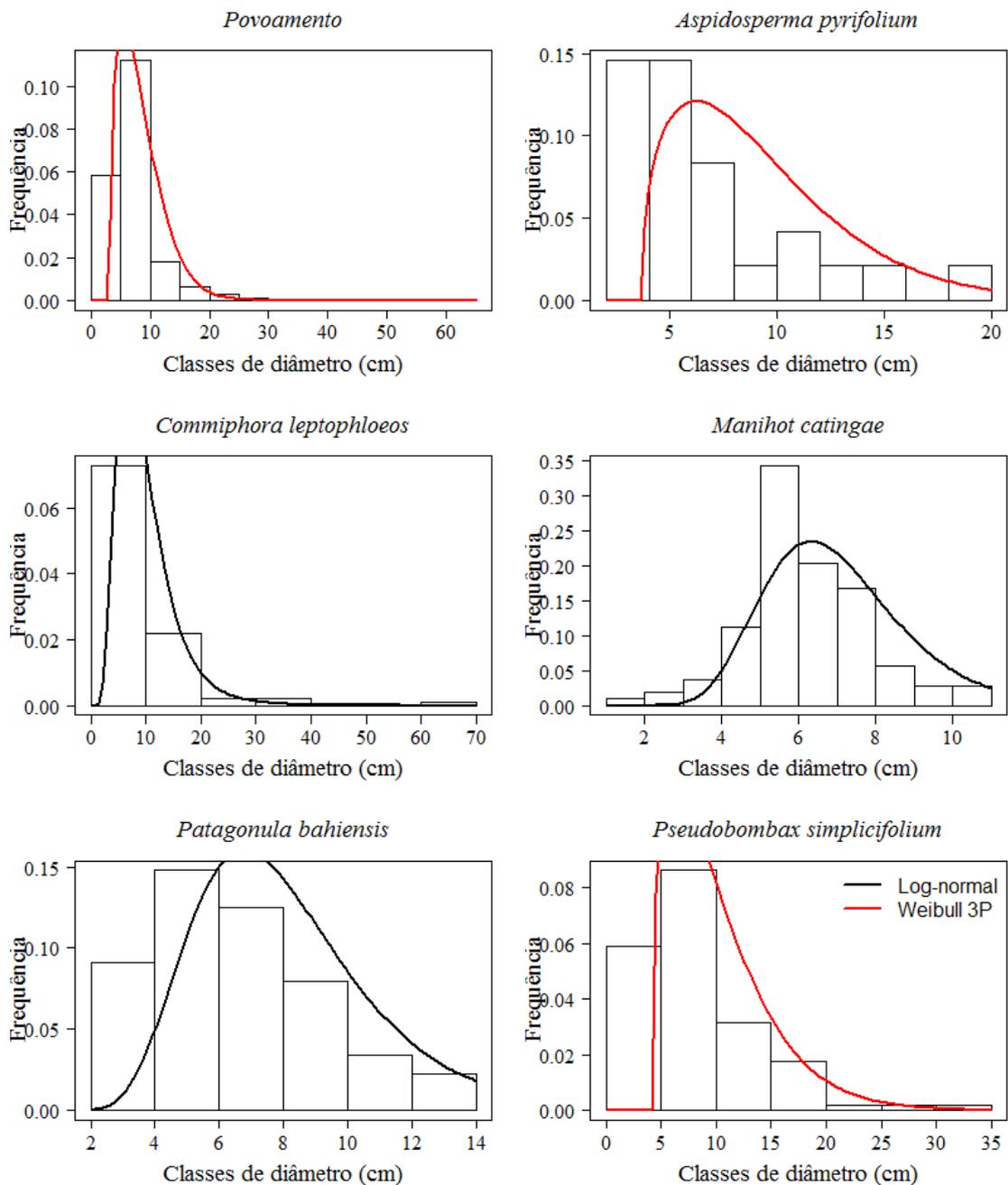
A baixa aderência da função Normal era esperada por conta dos valores da média e desvio padrão da população estudada, ou seja, a alta variabilidade observada entre os diâmetros pode explicar a não regularidade das distribuições dos diâmetros. A utilização de funções mais flexíveis, com transformações de variáveis mais otimizadas e automatizadas pode resolver.

Os histogramas da validação com as estimativas das melhores funções de distribuição diamétrica são apresentados na Figura 4. A utilização de outro banco de dados para a validação de funções de distribuição diamétrica é uma aplicação que testa a flexibilidade das funções para descrever a frequência dos diâmetros obtidos em épocas, comunidades e espécies diferentes, generalizando a utilização das melhores funções.

Segundo o resultado dos critérios de avaliação e análise dos histogramas do primeiro ajuste, as melhores funções para a estimativa da distribuição dos diâmetros foram Weibull 3P e Log-normal. Pode-se observar na Figura 4 que o posicionamento da linha de tendência da função Weibull 3P acompanha perfeitamente a distribuição observada, atestando a flexibilidade da função na geração de curvas com estruturas diferentes, pontos de inflexão e parâmetros de locação.

Para as espécies de maior VI é possível observar que o comportamento da distribuição de diâmetro na validação é diferente do observado no primeiro ajuste, com variação da estrutura da distribuição de um banco de dados para o outro, justificando a realização da validação com a utilização de uma nova base de dados, para testar as funções.

A função Log-normal foi a melhor para a espécie *Commiphora leptophloeos*, tendo linha de tendência que acompanha perfeitamente o comportamento da distribuição observada; para a *Manihot catingae*, o comportamento da distribuição de diâmetro observado tem distribuição Normal e, por conta disso, subestimou as árvores nas classes de diâmetro entre 5 a 6 cm; para a *Patagonula bahiensis*, a curva da função apresentou distribuição Normal, subestimando, por este motivo, as classes de diâmetro menores e superestimando as classes de diâmetro maiores.



**Figura 4** – Validação das melhores funções para o povoamento e para as cinco espécies de maior valor de importância utilizando os dados de 2018.  
 Fonte: Confeccionado pelos autores, 2019.

Os modelos de distribuição diamétrica são ferramentas importantes para a tomada de decisão no Manejo Florestal e conservação de florestas tropicais secas, o seu ajuste e validação é de suma relevância para a qualidade dos resultados obtidos, com o objetivo principal de sempre obter precisão e confiabilidade nas estimativas das variáveis dendrométricas. Com os resultados obtidos na validação, fica clara a necessidade de aplicação de modelos individuais para as espécies, sendo

indispensável a aplicação de modelos biométricos no Manejo Florestal, visando o Manejo Florestal Sustentável.

## 7 CONCLUSÃO

A melhor função de densidade e probabilidade para a estimativa da frequência dos diâmetros para a comunidade arbórea e espécies da Caatinga na FLONA de Contendas do Sincorá, Sudoeste da Bahia, é a Função Weibull 3P, seguida da função Log-normal, de acordo com o AIC e convergência das frequências dos diâmetros observados e estimados.

De acordo com os valores do AIC e análise de Histogramas (observado/estimado), as funções menos flexíveis formam a Normal e Weibull 2P, não sendo indicadas para a estimativa da frequência dos diâmetros para a FLONA de Contendas do Sincorá.

A aplicação (validação) das funções de densidade e probabilidade é indispensável para atestar a eficiência e flexibilidade das funções na estimativa das frequências dos diâmetros para a vegetação de Caatinga.

Com a diferença natural nas características das espécies, entende-se que as funções devem ser utilizadas para as espécies separadamente, visando escolher a melhor função.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I.; FIALHO, J. S.; CAMPANHA, M. M.; OLIVEIRA, T. S. Florística e estrutura vegetal em áreas de Caatinga sob diferentes sistemas de manejo. **Pesq. flor. Bras**, v. 39, p. 1-11, 2019.
- AKAIKE, H. Information measures and model selection. **International Statistical Institute**, v. 44, p. 277-291, 1983.
- AKAIKE, H. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: PETROV, B. N.; CSAKI, F. (eds). **Second International Symposium on information theory**. Budapest: Akademiai Kiado, 1973. p. 267-281.
- ALBUQUERQUE, U. P.; NUNES, A. T.; ALMEIDA, A. L. S.; ALMEIDA, C. M. A. D. **Caatinga, biodiversidade e qualidade de vida**. 1. ed. Bauru: NUPEEA, 2010, 120 p.
- ALVES, A. R.; RIBEIRO, I. B.; SOUSA, J. R. L.; BARROS, S. S.; SOUSA, P. S. Análise da estrutura vegetacional em uma área de Caatinga no município de Bom Jesus, Piauí. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 4, p. 99-106, 2013.
- ALVES, J. J. A. Geocologia da Caatinga no semiárido do Nordeste brasileiro. **CLIMEP: Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v. 2, n. 1, p. 58-71, 2007.
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.
- ALVES, L. S.; HOLANDA, A. C.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUSA, J. S.; ALMEIDA, P. G. Regeneração Natural em uma área de Caatinga Situada no Município de Pombal – PB-Brasil. **Revista Verde**, v. 5, n. 2, p. 152-168, 2010.
- BAILEY, R. L. T; DELL, D. Quantifying diameter distributions with the Weibull Functions. **Forest Sci**, v. 19, p. 97-104, 1972.
- BARRA, O. S. V.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. A.; CORTE A. P. D. Proposta Metodológica para ajuste ótimo da distribuição diamétrica Weibull 3P. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n.3, p. 387-393, 2004.
- BARROS, P. L. C. de; MACHADO, S. A; BURGER, D; SIQUEIRA, J. D. P. Comparação de modelos descritivos da distribuição diamétrica em uma floresta tropical. **Revista Floresta**, v. 10, n. 2, p.19-32, 1979.
- BATISTA, W. C. A. **Composição florística e estrutura fitossociológica em Caatinga arbórea no Sudoeste da Bahia**. Vitória da Conquista-BA: UESB, 2017, 43 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Manejo da Floresta Nacional Contendas do Sincorá**, Brasília: MMA, 2006, 132 p.

BRILHANTE, F. S. **Estrutura da regeneração natural em Caatinga arbórea no Sudoeste da Bahia**. Vitória da Conquista-BA: UESB, 2019, 39 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

BURKHART, H. E.; TOMÉ, M. **Modeling Forest Trees and Stands**. Netherlands: Springer, 2012, 458 p.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Model selection and multi-model inference: a practical information theoretic approach**. 2. ed. New York: Springer, 2002, 485 p.

CAMPOS, J. C. C., LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 5. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017, 636 p.

DANTAS, J. G.; HOLANDA, A. C., SOUTO, L. S.; JAPIASSU, A.; HOLANDA, E. M. Estrutura do componente arbustivo/arbóreo de uma área de Caatinga situada no município de Pombal-PB. **Revista Verde**, v. 5, n. 1, p. 134-142, 2010.

DIAS, P. M. S.; DIODATO, M. A.; GRIGIO, A. M. Levantamento fitossociológico de remanescentes florestais no município de Mossoró – RN. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 183-190 2014.

EBLING, A. A.; PELISSARI, A. L.; ABRÃO, S. F.; BAMBERG, R. Prognose da estrutura diamétrica de remanescente de floresta com Araucária utilizando a função densidade de probabilidade Weibull. **Revista Agro@ambiente**, v. 8, n. 1, p.113-118, 2014.

FERRAZ, J. S. F.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; MEUNIER, I. M. J.; SANTOS, M. V. F. Estrutura do componente arbustivo-arbóreo da vegetação em duas áreas de Caatinga, no município de Floresta, Pernambuco. **Revista Árvore**, v. 38, n. 6, p. 1055-1064, 2014.

FERRAZ, R. C.; MELLO, A. A.; FERREIRA, R. A.; PRATA, A. P. N. Levantamento fitossociológico em área de Caatinga no monumento natural Grota do Angico, Sergipe, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 3, p. 89-98, 2013.

FERREIRA, J.C.S. **Análise da estrutura diamétrica em povoamentos de florestas plantadas a partir de funções de densidade de probabilidade**. Brasília-DF: UnB, 2011, 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília.

GARLET, A.; CANTO, J. L.; OLIVEIRA, P. R. S. O manejo florestal comunitário da Caatinga em assentamentos rurais no estado da Paraíba. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 735-745, 2018.

GÓIS, M. L. **Planos de manejo florestais sustentáveis na Paraíba**. João Pessoa-PB: UFPB, 2018, 105 p. Dissertação (Mestrado em Energias Alternativas e Renováveis) – Universidade Federal da Paraíba.

GUEDES, R. S.; ZANELLA, F. C. V.; COSTA JÚNIOR, J. E. V.; SANTANA, G. M.; SILVA, J. A. Caracterização florístico-fitosociológica do componente lenhoso de um trecho de Caatinga no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 99-108, 2012.

GUERRA, A. M. N. M.; PESSOA, M. F.; MARACAJÁ, P. B. Estudo fitossociológico em dois ambientes da Caatinga localizada no assentamento Moacir Lucena, Apodi RN – Brasil. **Revista Verde**, v. 9, n. 1, p. 141-150, 2014.

GUIMARÃES, D. P. **Uma função hiperbólica de distribuição probabilística de alta flexibilidade**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2002. (Documento, 79).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012, 271 p.

JESUS, C. M. **Funções de densidade de probabilidade para estimativa das distribuições de variáveis dendrométricas em um povoamento clonal de Eucalipto no Distrito Federal**. Brasília-DF: UnB, 2016, 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília.

LIMA, B. G.; COELHO, M. F. B. Estrutura do componente arbustivo-arbóreo de um remanescente de Caatinga no estado do Ceará, Brasil. **CERNE**, v. 21 n. 4, p. 665-672, 2015.

LIMA, R. B.; BUFALINO, L.; ALVES JÚNIOR, F. T.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C. Diameter distribution in a Brazilian tropical dry forest domain: predictions for the stand and species. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 2, p. 1189-1203, 2017.

LIMA, R. B. **Distribuição diamétrica e volumetria em vegetação de Caatinga arbustiva-arbórea, Floresta – PE**. Recife-PE: UFRPE, 2014, 134 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

MACHADO, S. A. Modelagem da Distribuição Diamétrica de Quatro Espécies de Lauraceae em um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Ciências Exatas e Naturais**, v. 12, n. 1, p. 91-105, 2010a.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; MIGUEL, E. P.; TÉO, S. J.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D. Distribution of total height, transverse area and individual volume for *Araucaria angustifolia* (bert.) O. Kuntze. **Revista Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 12-21, 2010b.

MACHADO, S. A.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; NASCIMENTO, R. G. M.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R.; MIGUEL, E. P.; TÉO, S. J. Distribuição diamétrica de *Araucaria*

*angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 2, p. 103-110, 2009a.

MACHADO, S. A.; AUGUSTYNCZIKII, A. L. D.; NASCIMENTO, R. G. M.; TÊO, S. J.; MIGUEL, E. P.; FIGURA, M. A.; SILVAI, L. C. R. Funções de distribuição diamétrica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Rural**, v. 39, n. 8, p. 2428-2434, 2009b.

MACHADO, S. A.; PLÁCIDO, A. C.; BARTOSZECK, S.; FILHO, A. F.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da distribuição diamétrica de Bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 759-768, 2006.

MARANGON, G. P.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; LIRA, D. F. S.; SILVA, E. A.; LOUREIRO, G. H. Estrutura e padrão espacial da vegetação em uma área de Caatinga. **Revista Floresta**, v. 43, n. 1, p. 83-92, 2013.

MARANGON, G. P.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; SCHNEIDER, P. R.; LOUREIRO, G. H. Modelagem da distribuição diamétrica de espécies lenhosas da Caatinga, Semiárido Pernambucano. **Ciência Florestal**, v. 26, p. 863-874, 2016.

MEDEIROS, F. S.; SOUZA, M. P.; CERQUEIRA, C. L.; ALVES, A. R.; SOUZA, M. S.; BORGES, C. H. A. Florística, fitossociologia e modelagem da distribuição diâométrica em um fragmento de Caatinga em São Mamede-PB. **ACSA**, v. 14, n. 2, p. 85-95, 2018.

MEYER, P. L. **Probabilidade**: aplicações à estatística. Rio de Janeiro: Ao livro Técnico, 1974, 391 p.

MILANI, B.; CERETTA, P. S. A influência da co-assimetria e da co-curtose no retorno de fundos de investimento brasileiros. **Estudos do CEPE**, n. 40, p. 49-77, 2014.

NETTO, C. C. **Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e espaçamentos**. Santa Maria-RS: UFSM, 2008, 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Santa Maria.

OLIVEIRA, T. W. G.; SCHMITZ, R.; CAMAÑO, J. D. Z.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Behavior of the diametric distribution of ecological groups in a mixed Ombrophilous Forest Fragment. **Revista Floresta**, v. 48, n. 3, p. 413-424, 2018.

ORELLANA, E.; FILHO, A. F.; NETTO, S. P.; DIAS, A. N. Modelagem da distribuição diamétrica de espécies florestais em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 297-308, 2014.

PEREIRA JÚNIOR, L. R.; ANDRADE, A. P.; ARAÚJO, K. D. BARBOSA, A. S.; BARBOSA, F. M. Espécies da Caatinga como alternativa para o desenvolvimento de novos fitofármacos. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 509-520, 2014.

- PEREIRA, J. C.; DIAS, P. A. S.; MERGULHÃO, R. C.; THIERSCH, C. R.; FARIA, L. C. Modelo de crescimento e produção de Clutter adicionado de uma variável latente para predição do volume em um plantio de com variáveis correlacionadas espacialmente. **Sci. For**, v. 44, n. 110, p. 393-403, 2016.
- PESSOA, M. F.; GUERRA, A. M. N. M.; MARACAJÁ, P. B.; LIRA, J. F. B.; FILHO, E. T. D. Estudo da cobertura vegetal em ambientes da Caatinga com diferentes formas de manejo no assentamento Moacir Lucena, Apodi – RN. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 3, p. 40-48, 2008.
- PRADO, D. E.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; DA SILVA, J. M. C. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Edição Universitária da UFPE, 2003, 822 p.
- RAMALHO, C. I.; ANDRADE, A. P.; FÉLIX, L. P.; LACERDA, A. V.; MARACAJÁ, P. B. Flora arbóreo-arbustiva em áreas de Caatinga no semiárido baiano, Brasil **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 182-190, 2009.
- SABINO, F. G. S.; CUNHA, M. C. L.; SANTANA, G. M. Estrutura da vegetação em dois fragmentos de Caatinga antropizada na paraíba. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 487-497, 2016.
- SANTANA, J. A. S.; VIEIRA, F. A.; PACHECO, M. V.; OLIVEIRA, P. R. S. Padrão de distribuição e estrutura diamétrica de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Catingueira) na Caatinga do Seridó. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 11, n. 1, p. 116-122, 2011.
- SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**: modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006, 393 p.
- SHEPHERD, G. J. **Fitopac**. Manual do usuário. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2010.
- SILVA, E. Q.; NETTO, S. P.; MACHADO, S. A.; SANQUETTA, C. R. Função densidade de probabilidade aplicáveis a ciência florestal. **Revista Floresta**, v. 33, n. 3, p. 285-297, 2003.
- SILVA, E. Q. **Nova função de densidade de probabilidade aplicável à Ciência Florestal**. Curitiba-PR: UFPR, 2003, 98 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná.
- SILVA, J. P. F.; SOARES, D. G.; PAREYN, F. G. C. Manejo Florestal da Caatinga: uma alternativa de desenvolvimento sustentável em projetos de assentamentos rurais do semiárido em Pernambuco. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Estatística Florestal da Caatinga**. Brasília: MMA, 2008. v. 1, p. 6-17.
- SOUZA, P. F.; SILVA, J. A.; LUCENA, D. S.; SANTOS, W. S.; HENRIQUES, I. G. N.; LUCENA, M. F. A.; SOUZA, A. D. Estudos Fitossociológicos e Dendrométricos em um Fragmento de Caatinga, São José de Espinharas – PB. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1317-1330, 2016.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. 3. ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 2006, 643 p.

STEPKA, T. F.; LISBOA, G. S.; KURCHAIT, S. M. Funções densidade de probabilidade para a estimativa da distribuição diamétrica em povoamento de *Eucalyptus* na região centro-sul do Paraná. **Ambiência**, v. 7, n. 3, p. 429-439, 2011.

TÉO, S. J.; MARCON, F.; SCHNEIDER, C. R.; SANTOS, F. B.; CHIARELLO, K. M. A.; FIORENTIN, L. D. Modelagem da distribuição diamétrica de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Lebon Régis, SC. **Revista Floresta**, v. 45, n. 2, p. 337-348, 2015.

VIRGENS, A. P.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; DE PAULA, A.; CARVALHO, F. F.; ARAGÃO, M. A.; MONROE, P. H. M. Biomassa de espécies florestais em área de Caatinga arbórea. **Pesq. Flor**, v. 37, n. 92, p. 555-561, 2017.

WANG, M.; RENNOLLS, K. Tree diameter distribution modelling: introducing the logit–logistic distribution. **Can. J. For. Res**, v. 35, n. 6, p. 1306-1313, 2005.

ZUUR, A. F.; HILBE, J.; IENO, E. N. A. **Beginner's Guide to GLM and GLMM with R: A Frequentist and Bayesian Perspective for Ecologists**. Newburgh: Highland Statistics, 2013, 270 p.