

**DJAILSON SILVA DA COSTA JÚNIOR**

**PADRÕES DE CRESCIMENTO EM FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE  
SECA EM RELAÇÃO À VARIABILIDADE AMBIENTAL NO SEMIÁRIDO  
PERNAMBUCANO**

RECIFE  
Pernambuco - Brasil  
Setembro – 2021

DJAILSON SILVA DA COSTA JÚNIOR

PADRÕES DE CRESCIMENTO EM FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE  
SECA EM RELAÇÃO À VARIABILIDADE AMBIENTAL NO SEMIÁRIDO  
PERNAMBUCANO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais, Linha de Pesquisa Manejo Florestal e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

Coorientador: Prof. PhD. José Antônio Aleixo da Silva

RECIFE  
Pernambuco - Brasil  
Setembro - 2021

## Ficha catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

### Ficha Catalográfica

-

C837p Costa Júnior, Djailson Silva da.  
Padrões de crescimento em floresta tropical sazonalmente seca em relação  
à variabilidade ambiental no semiárido pernambucano / Djailson Silva da  
Costa Júnior. –

2021.

170 f.: il.

Orientador: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

Co-orientador: José Antônio Aleixo da Silva

Tese (Doutorado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-  
Graduação em Ciências Florestais, Recife, BR-PE, 2021.

Inclui referências e apêndice(s).

1. Área basal. 2. Caatinga. 3. Variáveis do clima. I. Ferreira, Rinaldo Luiz  
Caraciolo, oriente. II. Silva, José Antônio Aleixo da, co-orient.

CDD: 634.9

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que seja para fins  
acadêmicos ou científicos, e citada a fonte – O autor”**

DJAILSON SILVA DA COSTA JÚNIOR

**PADRÕES DE CRESCIMENTO EM FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE  
SECA EM RELAÇÃO À VARIABILIDADE AMBIENTAL NO SEMIÁRIDO  
PERNAMBUCANO**

**APROVADA em 30/09/2021**

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Givanildo de Gois  
(Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR)

---

Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva  
(Universidade Federal do Espírito Santo – UFES)

---

Prof.<sup>a</sup> Elisiane Alba  
(Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE)

---

Prof. Dr. Emanuel Araújo Silva  
(Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE)

**Orientador:**

---

Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira  
(Departamento de Ciência Florestal / UFRPE)

**RECIFE  
Pernambuco - Brasil  
2021**

## DEDICATÓRIA

### **Oração de São Francisco de Assis**

*Senhor, fazei-me instrumento da vossa paz  
Onde houver ódio, que eu leve o amor  
Onde houver ofensa, que eu leve o perdão  
Onde houver discórdia, que eu leve a união  
Onde houver dúvida, que eu leve a fé  
Onde houver erro, que eu leve a verdade  
Onde houver desespero, que eu leve a esperança  
Onde houver tristeza, que eu leve alegria  
Onde houver trevas, que eu leve a luz  
Ó mestre, fazei que eu procure mais  
Consolar que ser consolado  
Compreender que ser compreendido  
Amar que ser amado  
Pois, é dando que se recebe  
É perdoando que se é perdoado  
E é morrendo que se vive  
Para a vida eterna  
Ó mestre, fazei que eu procure mais  
Consolar que ser consolado  
Compreender que ser compreendido  
Amar que ser amado  
Pois, é dando que se recebe  
É perdoando que se é perdoado  
E é morrendo que se vive  
Para a vida eterna...*

Homenagear quem partiu para o plano celestial, é manter vivo o afeto daqueles que nunca nos saiu da memória, ao ouvir esta oração impossível não lembrar da senhora, para sempre Tia Dilza.

*“Tá vendo esse aqui?  
Esse é o meu orgulho!  
Meu sobrinho!  
O meu Doutor!”*

Dilza Silva da Costa Maciel  
(in memorian)  
Dedico

*“Não são as espécies mais fortes que sobrevivem nem as mais inteligentes, e sim as mais suscetíveis a mudanças.”*

Charles Darwin

*“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças.”*

Leon C. Megginson

## AGRADECIMENTOS

A Deus sobre todas as coisas, a razão das razões de tudo existir. Obrigado Deus, por ter a força de unir pessoas. Por aquilo que nos conecta e que nos interliga. Pois só assim é possível obter frutos, graças às pontes estabelecidas.

*Porque assim como em um corpo temos muitos membros, e nem todos os membros têm a mesma operação.*

(Romanos 2:4).

Aos meus pais: Lindinalva Nóbrega Barros da Costa e Djailson Silva da Costa; e toda minha família, pois têm sido fontes de consolo e de renovação, emanando sempre boas energias. Obrigado pelo apoio e dedicação sempre. O apoio de todos foi e continua sendo essencial em minha trajetória acadêmica/profissional. Tenham a plena certeza de que esta vitória alcançada também é de vocês.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, por oferecer a seus discentes estrutura para formação de recursos humanos, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais – PPGCF, e todos os docentes do PPGCF-UFRPE, pelo ensino e contribuições.

Agradecimento fundamental à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, para o desenvolvimento desta pesquisa, por meio do apoio financeiro, código de financiamento 001.

À empresa Agrimex – Agro Industrial Mercantil Excelsior S.A., por conceder a área experimental.

Em especial à secretária do PPGCF, Juliana Pereira, pela prestação de seus serviços, além de sempre transmitir boas energias sempre para conosco.

Agradecimento especial ao meu orientador Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira e ao coorientador Prof. PhD. José Antônio Aleixo, pela oportunidade, confiança e paciência em todo o processo.

*Não há docência sem discência, as duas se aplicam, e seus sujeitos apesar das diferenças não se reduzem a condição do objeto, quem ensina aprende, quem aprende ensina, ou seja, as diferenças do objeto professor e aluno não distanciam do processo aprendido, pelo contrário eles se somam, se complementam, na for horizontal.*

(Paulo Freire).

Aos membros de todas as bancas de avaliações, pelas colaborações, ensinamentos e aprendizados. Muito obrigado.

Agradeço aos colegas do Laboratório de Manejo de Florestas Naturais “José Serafim Feitosa Ferraz”: Anderson Almeida, Anderson Silva, Ane Finger, Cláudio Neto, Fernanda Vanilly, Gabriela Salami, Géssyca Sena, Iran Lopes, Jessé Moura, João Mateus, Júlia Silva, Mayara Pessoa, Nathan Adler e Victor Silva, por todo apoio e tempo cedido para realização das pesquisas.

Aos amigos do PPGCF: Joselane Priscila, Lorena Melo, Luan Henrique; em especial à turma de 2017.1: Adão Araújo, Anália Carmem, César Henrique, Diogo Pimentel, Emmanoella Guaraná, Giselle Lemos, Josias Divino, Lúcia Rodrigues, Lucidalva Sobrinho, Marília Silva, Nathan Fonseca, Paulyne Celestino, Thiago Silva, Uaine Santos, Vanessa Sousa, Weydson Raulino e Yana Lopes.

Aos Índios da Tribo Kambiwá (atualmente comunidade Aldeia Travessão do Ouro), agradeço em especial, pela dedicação e companheirismo de equipe, onde contribuem desde o início de todas as pesquisas realizadas, em especial às seguintes pessoas: Ademir, Danilo, Galego, José e Marcelo.

Em especial os amigos: Ana Yara, Gabriela Salami, Givanildo de Gois, Vanessa Sousa, José Wesley Lima, Mayara Pessoa, por toda a força e companheirismo, vocês foram luz.

Os agradecimentos de algo na vida são fruto de uma trajetória, por tanto, quero deixar registrado os singelos agradecimentos à equipe DIFLOR/SUDEMA, em especial a Dona Emicléia Dantas e meu querido amigo Gilberto Souto, ‘Giba’ para os amigos, agradecimento este, pelo fato de poder conhecer melhor os ambientes de Caatinga no estado da Paraíba, e todo conhecimento compartilhado entre os membros desta equipe, onde despertou a sede de conhecimento pela Caatinga e incentivos.

Ao amigo Django Belo, em que algumas vezes de aflições, pude desabafar e compartilhar os momentos, no qual sempre contribuiu com palavras gratificantes, saiba que por mais simples que pense, foi muito significativo.

A todos que de maneira direta ou indireta contribuíram em todo o processo de formação e execução, os meus sinceros agradecimentos. Muitas pessoas não foram citadas, mas saibam que todas possuem um agradecimento especial.

Serei eternamente grato a todos que trilharam em meu trajeto, meu muito **OBRIGADO!**



COSTA JÚNIOR, DJAILSON SILVA DA. **Padrões de crescimento em floresta tropical sazonalmente seca em relação à variabilidade ambiental no semiárido pernambucano**. 2021. Orientador: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira. Coorientador: José Antônio Aleixo da Silva.

## RESUMO

Objetivou-se avaliar a vegetação e as condições ambientais, para compreensão do comportamento, em floresta tropical sazonalmente seca do Nordeste brasileiro, Caatinga. Inicialmente avaliou-se a variabilidade anual e mensal da chuva e temperatura média do ar; quantificou-se o déficit hídrico por meio do Balanço Hídrico Climatológico (BHC). Identificou elevado déficit hídrico, alta variabilidade de chuvas, média de precipitação de 520,70 mm, e temperatura média do ar com valores anual de 30,66 °C, ocorrência de seca cíclica, não houve excedente hídrico no solo em todos os anos, valores elevados na evapotranspiração potencial de 1563,44 mm.ano<sup>-1</sup>, superior a precipitação, o que caracterizou num clima do tipo (DdA'a'). Em seguida, avaliou-se a estrutura e dinâmica, e crescimento em área basal, em ambiente de Caatinga, em áreas de históricos distintos, em Floresta – PE, Brasil. Sendo A1 (menos preservada), com vegetação suprimida em 1986 e A2 (preservada), sem histórico de significância de perturbação. Foram implantadas 40 parcelas de (20 m x 20 m) para o inventário florestal contínuo – IFC, medidos os indivíduos com circunferência a 1,30 m do solo ≥ 6 cm. Ocorreram diminuição no nº de famílias, gêneros e espécies, com atenção para as altas taxas de mortalidade, superiores as de ingressos, no entanto, foi percebido aumento na área basal para a (A1), inicialmente (2008) com 3,1 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, e (2019) com valor de 4,6 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, já na (A2) foi de 8,3 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> para 7,0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, desta forma percebe-se maior influência da seca em termos da área basal na A2, em destaque para o período de baixa precipitação de 2012 a 2015. Por último avaliou as influências de variáveis ambientais no incremento corrente anual – ICA da área basal, por meio de modelo linear misto. Foi utilizada Correlação de Spearman para verificar a existência de correlação com as variáveis ambientais. A análise de variância com efeitos mistos foi realizada considerando como efeito aleatório o período (tempo) e a espécie, já as variáveis de efeitos fixos foram consideradas as dendrométricas: nº de fustes, ingressos, mortalidade, diâmetro equivalente e as variáveis ambientais, em seguida foi criado o seguinte modelo linear misto:  $ICA_i = (\beta_0 + \alpha_{período} + \lambda_{espécie}) + \beta_n Vdend_n + \beta_m Vclim_m + \epsilon_i$ . Os pressupostos da ANOVA mista foi realizada com base na análise dos resíduos. Foi percebido que existe a correlação entre a precipitação e fator sazonal, associada a temperatura e os índices de seca. No entanto o acumulado de chuvas anual e semestrais não apresentam relação forte com o ICA. Notou-se influência para a (A1) em relação as variáveis ambientais nos parâmetros de efeitos fixos, já na (A2), foi notado apenas influências significativas nos efeitos fixos para as variáveis dendrométricas. Em geral, o modelo linear misto mostrou-se de boa performance para ambas as áreas, apresentando boas distribuições dos resíduos, sem a presença de outliers. Conclui-se que o crescimento da vegetação é influenciado pelas variáveis ambientais, embora tenha percebido tal fato apenas para a área (A1 – menos preservada), para a área (A2 – preservada) não foram notadas tais influências, o que possivelmente remete a fatores intrínsecos dos indivíduos. Entretanto, é necessária a continuidade do monitoramento da vegetação a longo prazo que englobe as variáveis estudadas.

**Palavras-chave:** Área basal, Caatinga, Variáveis do clima.

COSTA JÚNIOR, DJAILSON SILVA DA. **Growth patterns in seasonally dry tropical forest in relation to environmental variability in the semiarid of Pernambuco.** 2021. Advisor: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira. CoAdvisor: José Antônio Aleixo da Silva.

## ABSTRACT

This study aims to evaluate the relation of the vegetation to its environmental conditions, in order to understand its behavior, in the seasonally dry tropical forest of Caatinga, in northeastern Brazil. Initially, the annual and monthly variability of rainfall and average air temperature were evaluated and the water deficit was quantified through Climatological Water Balance (CWB). It identified high water deficit, high rainfall variability, an average rainfall of 520.70 mm, and an average annual air temperature of 30.66 °C. Because of the cyclical drought, there was no soil water surplus in all years studied. The values of potential evapotranspiration of 1563.44 mm.year<sup>-1</sup> were higher than the values of precipitation, characteristics of a climate of the type (DdA'a'). Then, the structure, dynamics and growth in basal area of two distinct zones in a Caatinga environment located in Floresta – PE, Brazil were evaluated. They were: A1 (the least preserved), that suffered loss of vegetation in 1986, and A2 (the most preserved), with no substantial history of disturbance. Forty plots (20 m x 20 m) were implanted for the continuous forest inventory – CFI, measuring individual plants with a circumference at 1.30 m from the ground  $\geq 6$  cm. There was a decrease in the number of families, gender, and species, with mortality rates higher than those of entrances. However, an increase was noticed in the basal area for (A1), initially (2008) with 3.1 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> and in 2019 with a value of 4.6 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. While (A2) came from 8.3 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> to 7.0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Thus, a greater influence of drought can be seen on A2, because of a period of low rainfall from 2012 to 2015. Finally, the influence of environmental variables on the periodic annual increment - PAI of the basal area was analyzed using a mixed linear model. Spearman's correlation was used to verify the existence of correlation with environmental variables. The analysis of variance with mixed effects was performed considering period (time) and species as a random effect, while the fixed effects variables were considered as dendrometric: number of shafts, inlets, mortality, equivalent diameter and environmental variables, then the following mixed linear model was created:  $PAI_i = (\beta_0 + \alpha_{period} + \lambda_{species}) + \beta_n Vdend_n + \beta_n Vclim_m + \epsilon_i$ . The mixed ANOVA assumptions were performed based on the analysis of residues. It was noticed that there is a correlation between precipitation and seasonal factor, associated with temperature and drought indices. However, the accumulated annual and semiannual rainfall do not show a strong relationship with the PAI. There was an influence for (A1) in relation to environmental variables in fixed effects parameters, whereas in (A2), only significant influences were noted in the fixed effects for dendrometric variables. In general, the mixed linear model showed good performance for both areas, presenting good residual distributions, without the presence of outliers. It is concluded that vegetation growth is influenced by environmental variables, although this fact was perceived only for A1 (less preserved), for A2 (preserved) such influences were not noted, possibly because of intrinsic individual traits. However, in the long term it is necessary to continue monitoring the vegetation through the studied variables.

**Keywords:** Basal area, Caatinga, Climate variables.

## LISTA DE FIGURAS

Página

### REVISÃO DE LITERATURA

<b>Figura 1</b> - Distribuição das florestas mundiais.....	20
<b>Figura 2</b> - Distribuição da vegetação brasileira. ....	22

### CAPÍTULO I

<b>Figura 1</b> - Localização de Pernambuco e da estação meteorológica, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil.....	51
<b>Figura 2</b> - Climograma e classificação climática de Köppen (1948), Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil.....	52
<b>Figura 3</b> - Percentual de falhas nos dados de precipitação e temperatura do Ar, da série temporal de 1990 a 2019, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil.....	59
<b>Figura 4</b> - Boxplot da precipitação acumulada (mm), variabilidade anual (a), e mensal (b), da série temporal de 1990 a 2019, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil. ....	61
<b>Figura 5</b> - Boxplot da variabilidade da temperatura do ar média anual (a), e mensal (b), da série temporal de 2000 a 2019, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil. ....	63
<b>Figura 6</b> - Precipitação acumulada média anual (mm), em Poço da Cruz, Ibimirim-PE (a) e valores dos quantis (%) de chuva anual (b) para o período de 1990 a 2019. ....	64
<b>Figura 7</b> - Precipitação mensal acumulada (a) e percentual por quantis (b), da série temporal de 1990 a 2019, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil. ....	65
<b>Figura 8</b> - Temperatura média anual em Poço da Cruz, Ibimirim-PE (a) e valores dos quantis (%) da temperatura média anual (b) para o período de 1990 a 2019. ....	65
<b>Figura 9</b> - Temperatura média mensal em Poço da Cruz, Ibimirim-PE (a), percentual por quantis da temperatura média do ar mensal, da série temporal de 2000 a 2019, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil. ....	66
<b>Figura 10</b> Distribuição anual do Standardized Precipitation Index (SPI), SPI-12, de 1990 a 2019, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil. ....	68
<b>Figura 11</b> - Precipitação acumulada mensal (mm), evapotranspiração potencial - ETP (mm) e de referência – ETR (mm) média mensal, de 1990 a 2019, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil. ....	70
<b>Figura 12</b> - Níveis (mensais) de excedente hídrico - EXC (mm) e deficiência hídrica - DEF (mm), Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil. ....	71

### CAPÍTULO II

<b>Figura 1</b> - Localização e delimitação geográfica das áreas de estudo (A, B, C e D), da Fazenda Itapemirim e Áreas de Pesquisas.....	84
<b>Figura 2</b> - Croqui de localização das áreas de pesquisas e alocação das parcelas inventariadas da Fazenda Itapemirim, Floresta-PE. ....	85
<b>Figura 3</b> – Climograma anual, valores de precipitação (a) e temperatura (b) de 1990 a 2019, com base nos dados da estação Poço da Cruz, Ibimirim-PE.....	86
<b>Figura 4</b> - Valores anuais da área basal, no período de 2008 a 2019, na Área A1 (menos preservada), Fazenda Itapemirim, Floresta – PE, Brasil. ....	122
<b>Figura 5</b> - Valores anuais da área basal, no período de 2008 a 2019, na Área A2 (preservada), Fazenda Itapemirim, Floresta – PE, Brasil.....	122

### CAPÍTULO III

<b>Figura 1</b> – Temperatura média de 1961-1990 (a); e 1981-2010 (b), Pernambuco, BR.....	136
<b>Figura 2</b> - Precipitação de 1961-1990 (a); e 1981-2010 (b), Pernambuco, BR.....	136
<b>Figura 3</b> - Número de árvores por classes de distribuição diamétrica ( $D_g$ ) (cm), e incremento periódico anual médio em área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) nas respectivas classes diamétricas, nas áreas A1 – menos preservada (a) e A2 – preservada (b), em floresta tropical sazonalmente seca, em Floresta – PE, Brasil. (ICA). .....	143
<b>Figura 4</b> - Cruzamento entre o ( $D_g$ ) médio (cm) das árvores e o incremento médio periódico anual em área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ), menos preservada (A1) (a) e preservada (A2) (b).....	144
<b>Figura 5</b> – a) Variáveis ambientais temporais (a); b) incremento corrente anual em área transversal – ICA -g na área A1 – menos preservada; e c) incremento corrente anual em área transversal – ICA – g na área A2 - preservada.....	145
<b>Figura 6</b> - Correlação de Spearman, entre as variáveis investigadas para a área de menos preservada (A1) vs. incremento corrente anual da área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ), no período de 2011 a 2019.....	146
<b>Figura 7</b> - Correlação de Spearman, entre as variáveis investigadas para a área preservada (A2) vs. incremento corrente anual da área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ), no período de 2011 a 2019. ....	150
<b>Figura 8</b> - Análise de resíduos para o modelo linear misto, para a área menos preservada – A1.....	158
<b>Figura 9</b> - Análise de resíduos para o modelo linear misto, para a área preservada – A2.....	159

## LISTA DE TABELAS

Página

### REVISÃO DE LITERATURA

<b>Tabela 1</b> - Principais indicadores utilizados para estimar fenômenos de secas.....	28
--	----

### CAPÍTULO I

<b>Tabela 1</b> - Classificação do “Standardized Precipitation Index” - SPI (McKee <i>et al.</i> , 1993; 1995).....	57
<b>Tabela 2</b> - Estatística descritiva dos parâmetros da série temporal de chuva no período de 1990 a 2019 em Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil.....	60
<b>Tabela 3</b> - Estatística descritiva dos parâmetros estatísticos da temperatura do ar da série temporal do período de 1990 a 2019, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil. ....	62
<b>Tabela 4</b> - Número de anos por décadas e percentual, de acordo com a classificação de períodos secos e úmidos com base nos valores obtidos de SPI-12, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil.....	67
<b>Tabela 5</b> - Balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite; Mather (1955), para estação Poço da Cruz, Ibimirim-PE, no período de 2000 a 2019.....	72

### CAPÍTULO II

<b>Tabela 1</b> - Índice de diversidade de Shannon-Wiener – $H'$ (nats . ind <sup>-1</sup> ), em diferentes áreas com distintas interferências antrópicas, em diferentes períodos	93
<b>Tabela 2</b> - Composição florística da A-1 e densidade absoluta de indivíduos (N° ind.ha <sup>-1</sup> ) e fustes (N°fustes.ha <sup>-1</sup> ), em floresta tropical sazonalmente seca nos anos de 2008, 2016, 2017 e 2019.....	97
<b>Tabela 3</b> - Composição florística da A-2 e densidade absoluta (N°Árvore.ha <sup>-1</sup> ), em floresta tropical sazonalmente seca entre 2008; 2016; 2017 e 2019.....	98
<b>Tabela 4</b> - Dinâmica da estrutura horizontal na área A1 entre 2008 a 2016, 2017 e 2019.....	102
<b>Tabela 5</b> - Dinâmica da estrutura horizontal na área A2 entre 2008 a 2016, 2017 e 2019.....	106
<b>Tabela 6</b> – Análise de variância de medidas repetidas para a estrutura horizontal entre os intervalos da dinâmica analisada, em duas áreas de Caatinga.....	112
<b>Tabela 7</b> - Dinâmica do crescimento na área (A1), entre os intervalos: 2008-2016; 2008-2017 e 2008-2019.....	112
<b>Tabela 8</b> - Dinâmica do crescimento na área (A2), entre os intervalos: 2008-2016; 2008-2017 e 2008-2019.....	116
<b>Tabela 9</b> – Análise de variância de medidas repetidas para a dinâmica de crescimento em área basal, em duas áreas de Caatinga.....	118

### CAPÍTULO III

<b>Tabela 1</b> - Variáveis ambientais da Estação Poço da Cruz, Ibimirim-PE, utilizadas para relação com área basal.....	137
<b>Tabela 2</b> - Espécies de maiores valor de importância (VI%), utilizadas como efeitos aleatórios, na identificação de variáveis significativas no modelo linear misto ...	140

<b>Tabela 3</b> - Quantitativo médio das espécies sobreviventes durante o período de 2011 a 2019, para as espécies de maior valor de importância e demais e espécies	142
<b>Tabela 4</b> - Medidas de tendência central e de dispersão para as variáveis relacionadas as árvores para as áreas menos preservada e preservada	142
<b>Tabela 5</b> – Correlação de Spearman, entre as variáveis analisadas para a área (A1) vs. ICA ( $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ), no período de 2011 a 2019	147
<b>Tabela 6</b> – Correlação de Spearman, entre as variáveis analisadas para a área (A2) vs. ICA ( $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ), no período de 2011 a 2019	151
<b>Tabela 7</b> - Parâmetros fixos da equação linear mista e indicadores de qualidade, nas áreas A1 e A2	156
<b>Tabela 8</b> - Parâmetros de efeitos aleatórios da equação linear mista, nas áreas A1 e A2	170

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A1 - Área Menos Preservada  
A2 - Área Preservada  
AB - Área Basal  
APAC - Agência Pernambucana de Águas e Climas  
BHC - Balanço Hídrico Climatológico  
CAP - Circunferência à Altura do Peito à 1,30 m de Altura  
DA - Densidade Absoluta  
DAP - Diâmetro a Altura do Peito (1,30 m do solo)  
DEF - Deficiência Hídrica  
 $d_{eq}$  - Diâmetro Equivalente  
Dg - Diâmetro Quadrático  
DoA - Dominância Absoluta  
DoR - Dominância Relativa  
DR - Densidade Relativa  
EC - Índice de Efeito Climático  
EMA - Estação Meteorológica Automática  
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
ERSST - Extended Reconstructed Sea Surface Temperature  
ETP - Evapotranspiração Potencial  
ETPa - Evapotranspiração Potencial Anual  
ETPv - Evapotranspiração Potencial de Verão  
ETR - Evapotranspiração Relativa  
EXC - Excedente Hídrico  
FA - Frequência Absoluta  
FR - Frequência Relativa  
FTSS - Florestas Tropicais Sazonalmente Secas  
H' - Índice de Shannon – Wiener  
Ia - Índice de Aridez  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICA - G - Incremento Corrente Anual em Área Basal  
ICA – g – Incremento Corrente Anual em Área Transversal da Árvore  
IFC - Inventário Florestal Contínuo  
Ih - Índice Hídrico  
Im - Índice de Umidade  
Im' - Índice de Umidade'  
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia  
IPAg - Incremento Periódico Anual em Área Basal  
Iu – Índice de Umidade  
MICE - Multivariate Imputation by Chained Equations  
ONI - Oceanic Niño Index  
PCD - Plataforma de Coleta de Dados  
PDSI - Palmer Drought Severity Index  
SDTF - Seasonally Dry Tropical Forest  
SPI - Standardized Precipitation Index  
TRMM - Tropical Rainfall Measuring Mission  
TSM - Temperatura da Superfície do Mar  
UR - Umidade Relativa  
VI - Valor de Importância  
ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

# SUMÁRIO

	Página
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>17</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
2.1 Distribuição e características das florestas tropicais sazonalmente secas .....	20
2.2 Origem das séries temporais climáticas e preenchimento de falhas.....	24
2.3 Ocorrência de secas e alterações climáticas .....	25
2.4 Efeitos do clima na vegetação .....	29
2.4.1 Temperatura.....	30
2.4.2 Precipitação .....	31
2.4.3 Ciclo hidrológico.....	33
2.5 Influência do relevo nas condições ambientais e relação solo-água-plant.....	34
2.6 Modelos de crescimento aplicados em Florestas Tropicais Sazonalmente Secas .....	35
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>46</b>
<b>VARIABILIDADE AMBIENTAL DA CHUVA E TEMPERATURA DO AR ANUAL E MENSAL EM ÁREA DE FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA, PERNAMBUCO, BRASIL.....</b>	<b>46</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>51</b>
2.1 Área de estudo e caracterização.....	51
2.2 Série temporal climática e preenchimento de falhas.....	52
2.3 Consistência dos dados de chuva e temperatura .....	53
2.4 Aplicação da técnica dos quantis aos dados de clima .....	54
2.5 Cálculo do (Standardized Precipitation Index) SPI-12 e definição dos ENOS .....	54
2.6 Balanço hídrico climatológico.....	57
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>58</b>
3.1 Análise e preenchimento de falhas .....	58
3.2 Análise descritiva das chuvas e temperatura do ar.....	59
3.3 Análise temporal do índice de seca SPI-12.....	67
3.4 Análise do balanço hídrico climatológico – BHC.....	69
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>72</b>
<b>5. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>73</b>
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>79</b>
<b>ESTRUTURA, DINÂMICA E CRESCIMENTO EM FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO, BRASIL .....</b>	<b>79</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>82</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>83</b>
2.1 Área de estudo e caracterização.....	83
2.2 Coleta de dados em campo e obtenção de parâmetros estruturais .....	87
2.2.1 Índice de diversidade de Shannon - Wiener ( $H'$ ).....	88
2.2.2 Análise da estrutura horizontal da vegetação .....	88
2.3 Crescimento .....	90
2.3.1 Mortalidade .....	90
2.3.2 Ingresso .....	90
2.3.3 Crescimento bruto e líquido .....	91



2.3.4 Dinâmica do incremento periódico médio anual em área basal ( <i>IPG</i> ).....	92
2.4 Análise estatística .....	92
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>92</b>
3.1 Diversidade florística .....	92
3.1.1 Diversidade florística de 2008 -2016; 2008 - 2017 e 2008 - 2019, nas áreas A-1 e A-2 .....	92
3.2 Composição florística .....	94
3.2.1 Composição florística: 2008-2016; 2008-2017 e 2008-2019 na A-1 e A-2 .....	94
3.3 Dinâmica da estrutura horizontal na (A1) e (A2): 2008-2016; 2008-2017; e 2008-2019 .....	99
3.4. Dinâmica no crescimento em área basal na A1 e A2.....	110
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>123</b>
<b>5. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>124</b>
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>130</b>
<b>INFLUÊNCIAS AMBIENTAIS NO INCREMENTO CORRENTE ANUAL DA ÁREA BASAL, EM AMBIENTE DE CAATINGA</b>	<b>130</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>133</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>134</b>
2.1 Localização e caracterização da área de estudo .....	134
2.1.1 Caracterização climática .....	135
2.2 Obtenção de dados do clima.....	135
2.2.1 Variáveis utilizadas.....	137
2.3 Inventário florestal contínuo e obtenção da área basal.....	138
2.4 Relação incremento periódico anual da área basal vs. diâmetro médio quadrático .....	139
2.5 Modelo testado para identificação de influências no ICA.....	139
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>141</b>
3.1 Incremento periódico anual da área basal vs. diâmetro médio quadrático ...	141
3.2 Correlações do ICA vs. variáveis dendrométricas e ambientais .....	144
3.3 Análise dos efeitos fixos e influências no ICA .....	156
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>159</b>
<b>5. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>161</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>166</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>167</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O domínio fitogeográfico da Caatinga é constituído de diversos fragmentos florestais heterogêneos, vegetação esta também denominada de Florestas Tropicais Sazonalmente Secas – FTSS. As áreas que estão inseridas neste tipo de formação vegetal no Brasil em geral apresentam elevado déficit hídrico, altas taxas de insolação, elevada evapotranspiração, bem como precipitação reduzida, de ocorrência concentrada em curtos períodos, além de anos seguidos de secas, ou também conhecidos como eventos de secas cíclicas (ARAÚJO *et al.*, 2012).

Estudos sobre os impactos das mudanças das condições atmosféricas na vegetação em florestas tropicais sazonalmente secas são escassas, ou até então não tem sido explorado, especialmente no que diz respeito às respostas da vegetação ligada às condições climáticas. Devido às condições ambientais, o crescimento e desenvolvimento das espécies florestais têm sido fortemente afetado, seja pela disponibilidade de umidade do solo, nutrientes e radiação solar. Vale destacar que a precipitação é um componente importante do ciclo hidrológico para as plantas, que não tem sido extensivamente estudada para as espécies de ambientes semiáridos e subtropicais (MAITI *et al.*, 2016).

Desta forma, é de extrema importância pesquisas que abordem o comportamento da vegetação nos ambientes semiáridos numa escala temporal, atrelado às condições atmosféricas, nas quais possivelmente possam verificar-se as influências e respostas à vegetação.

As plantas se comportam de maneira distinta nas mais variadas condições em que são submetidas, condições estas que podem apresentar-se de maneira isolada ou por diversos fatores, sejam eles bióticos ou abióticos, o que acarreta em respostas por parte da vegetação. A exemplo disto, os estímulos das atividades meristemáticas das plantas, quando submetidas a condições favoráveis, ocorrem no aumento do sistema radicular e da parte aérea, por meio do acúmulo de tecido vegetal. Já sob condições adversas ocorre uma estagnação do crescimento (RODRIGUES; KERBAUY, 2009; TAIZ *et al.*, 2017).

Como fatores que contribuem para tais comportamentos, podem ser citados os bióticos (organismos vivos) e os abióticos presentes no ambiente, relacionados ao seu crescimento, como na distribuição das florestas, e no desenvolvimento dos seres vivos em geral. Desta forma, os elementos físico-químicos presentes no ambiente exercem influências no crescimento das florestas, como na disponibilidade de nutrientes,

condições edáficas, luz, radiação solar, direção e velocidade de vento, temperatura, água, etc. (LOPES *et al.*, 2009; CORDEIRO; SCHWARTZ; BARRO, 2020; VARGAS *et al.*, 2020).

Nas florestas tropicais sazonalmente secas, os fatores climáticos são considerados de maior impacto na influência da manutenção da biodiversidade e seus processos ecológicos e na compreensão de seu funcionamento, principalmente por apresentar forte influência sobre a dinâmica das populações, devido a seu clima sazonal (ARAÚJO, 2007).

Com base nas informações da vegetação e das condições ambientais, poderá ser possível compreender o comportamento da vegetação face as alterações ambientais por meio de análises da dinâmica estrutural da vegetação e monitoramento de seu crescimento, e assim auxiliar em estratégias de conservação, manejo e restauração de ecossistemas.

De modo geral, o conhecimento do crescimento de espécies da Caatinga ainda é uma linha de investigação pouco conhecida, principalmente atrelada às condições de adversidades ambientais. Neste contexto, para melhor compreensão a respeito do comportamento da vegetação e dada a importância da inclusão de dados ambientais (variáveis climáticas), foram utilizados dados de uma estação meteorológica mais próxima das áreas pesquisadas. Localizada no município de Ibimirim – PE, de modo a contemplar a inclusão de dados ambientais no monitoramento da vegetação.

Pelo fato de as áreas pesquisadas apresentarem diferentes históricos de uso, onde uma das áreas é considerada preservada, sem intervenção intensificada pelas ações do homem, e já outra área possui paisagem bastante alterada no passado, devido a supressão vegetal ocorrida por meio de tratores e correntes.

Portanto foram consideradas as seguintes hipóteses:

- O histórico de áreas, com usos distintos, apresenta diferentes taxas de crescimento. No qual, uma das áreas analisadas se encontra em processo de regeneração, desmatada há décadas com uso de correntões; e outra área, sem histórico de uso, é considerada como mais “preservada”;
- As variáveis ambientais influenciam diretamente no crescimento da vegetação, independente do histórico de uso das áreas analisadas.

Este trabalho de tese teve por objetivo analisar a dinâmica da estrutura horizontal e do crescimento em área basal em floresta tropical sazonalmente seca,

em função de variáveis ambientais, em duas áreas de Caatinga com diferentes históricos de uso.

Com os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a dinâmica da vegetação arbustivo-arbórea, antes do evento de secas contínuas (maior intensidade) e pós secas contínuas, durante os seguintes períodos: 2008-2016; 2008-2017; 2008-2019;
- Avaliar o crescimento da floresta tropical sazonalmente seca em área basal, em termos de remanescentes, ingressos e mortalidade; e sua influência na dinâmica (2008-2019) em função das variáveis ambientais.
- Avaliar o efeito das condições meteorológicas, sua variabilidade e suas possíveis influências, em termos de crescimento em área basal, numa escala temporal, de uma floresta tropical sazonalmente seca.
- Identificar variáveis significativas por meio de modelo linear misto, no crescimento em área basal, para espécies de maior Valor de Importância, em duas áreas de floresta tropical sazonalmente seca com distintos históricos.

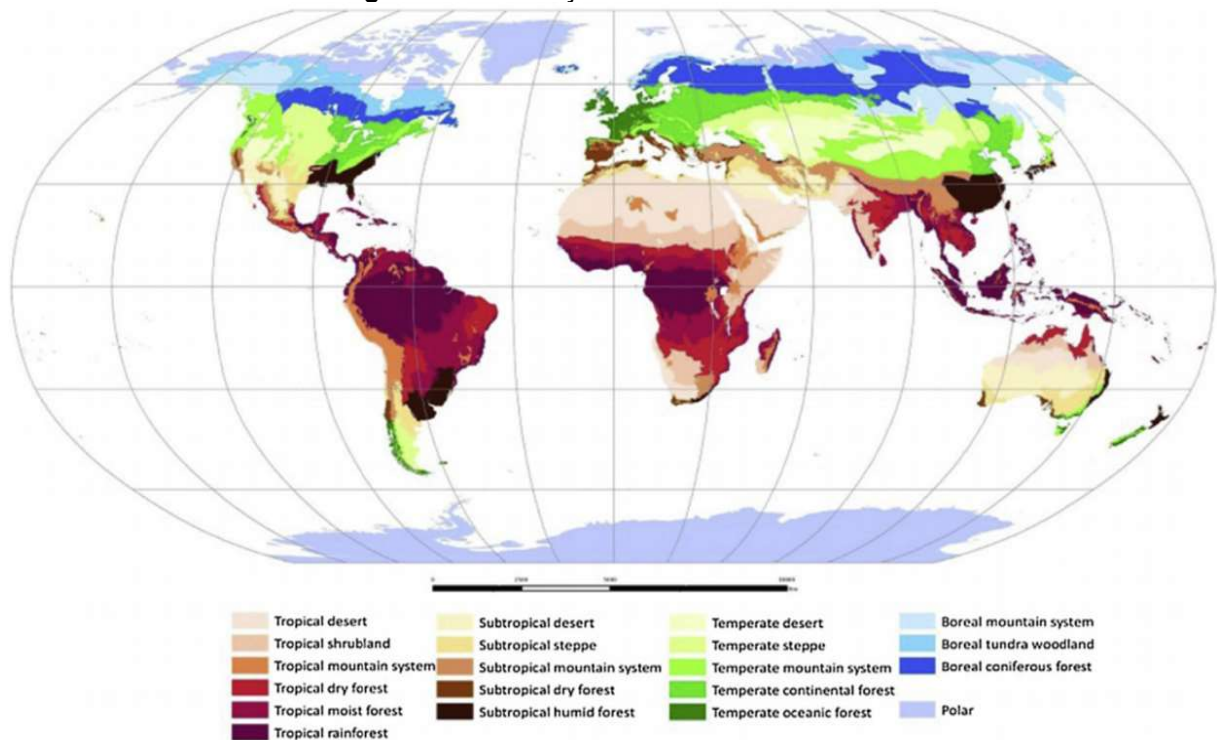
## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Distribuição e características das florestas tropicais sazonalmente secas

No período Pleistoceno ocorreram séries de flutuações climáticas, o que ocasionou mudanças nos padrões de diversidade e endemismo sobre a dinâmica das florestas tropicais (HAFFER; PRANCE, 2002; PENNINGTON; LAVIN; OLIVEIRA-FILHO, 2009). Essas mudanças climáticas ao longo de milhões de anos influenciaram na distribuição da flora neotropical, assim como as principais bacias hidrográficas e sedimentações, resultando em processos geomorfológicos e evolução das espécies (VELOSO; GÓES-FILHO, 1982). Isto fez com que algumas das espécies retraíssem e se expandissem na distribuição e formação de grupos vegetacionais, em condições mais frias e mais secas do que em outras regiões (VELOSO; GÓES-FILHO, 1982; MAYLE *et al.*, 2004).

É possível encontrar Florestas Tropicais Sazonalmente Secas – FTSS ou simplesmente conhecidas internacionalmente como *Seasonally Dry Tropical Forest - SDTF* em quase todos os continentes (Figura 1). Em especial, no Brasil são encontradas principalmente nas áreas de Cerrado e Caatinga (FAO, 2000; PENNINGTON; LAVIN; OLIVEIRA-FILHO, 2009; DRYFLOR *et al.*, 2016).

**Figura 1** - Distribuição das florestas mundiais.

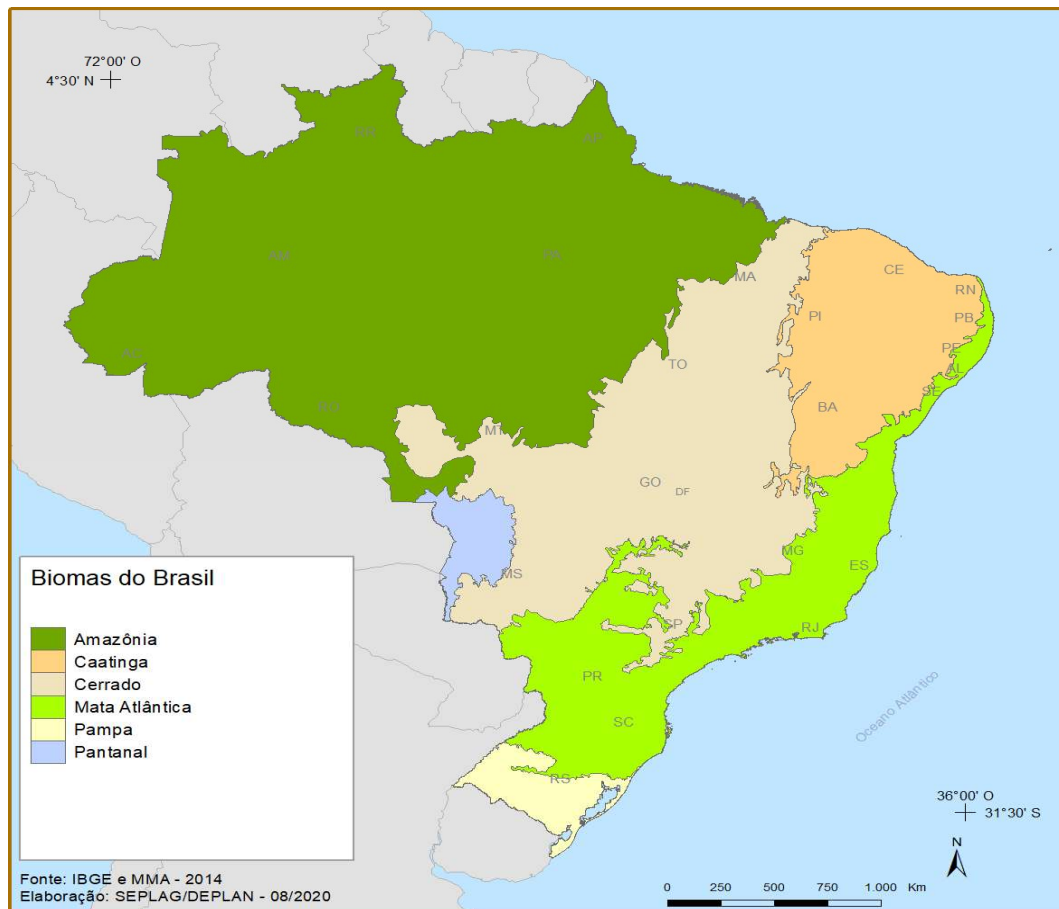


Fonte: FAO (2018).

Apesar das STDF's apresentarem distribuição ampla nos continentes, elas são dispostas de maneira consideravelmente fragmentada nos ambientes físicos, estando listadas entre as florestas mais ameaçadas, com algumas áreas com menos de 10% de seu território original. Sendo que no Brasil, especificamente em Caatinga, apenas 1,2% do total de sua extensão territorial está sob conservação (DRYFLOR *et al.*, 2016).

Quanto às FTSSs do Brasil, ressalta-se que a modificação da paisagem e a distribuição das espécies começaram a se formar e se fragmentar há cerca de 180 milhões de anos, desde a era Paleozóica. Iniciou com a fragmentação da Pangeia, resultando na América do Sul, quando começou a se distanciar da África, após movimentos de rotação na direção Leste-Oeste, segundo a teoria da deriva continental de Alfred Wegener de 1912 (BRANCO, 2016). Assim, o ambiente físico (clima e solo) é responsável pela sustentação da vida das plantas nos ecossistemas, e a diversidade climática ganha destaque como principal fator para determinar a distribuição vegetal, formando os diferentes ecossistemas e tipologias florestais (VELOSO; GÓES-FILHO, 1982; BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

Quando se fala de floresta tropical sazonalmente seca no Brasil, sabe-se que estão incluídos vários grupos de formações vegetacionais. Como exemplo o Cerrado, classificado mundialmente como savana, e a Caatinga, classificada como savana estépica, além das demais fitofisionomias presentes no Brasil, como de floresta estacional decidual e semidecidual, listadas e classificadas de acordo com a classificação vegetal e distribuição geográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2012), na qual pode ser observada a distribuição na (Figura 2).

**Figura 2 - Distribuição da vegetação brasileira.**

**Fonte:** SEPLAG/DEPLAN (2020).

As FTSSs são caracterizadas como florestas localizadas em áreas de baixas precipitações, inferior a  $1800 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$ , com período de estiagem de pelo menos 5 a 8 meses (SILVA *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2011; FAO, 2012). Com relação a sua fisiografia é possível encontrar florestas secas em áreas que variam desde planícies estreitas a áreas montanhosas até 1000 m de altitude, com solos de características oriundo de rochas calcárias, com textura variadas de argilosas a arenosas (PENNINGTON; LAVIN; OLIVEIRA-FILHO, 2009; FAO, 2012).

Quanto aos aspectos características morfológicas as FTSSs, possuem plantas decíduas durante o período de estiagem, com grau de perda de folha aumentado de acordo com o déficit hídrico (VELOSO; GÓES-FILHO, 1982). Elas apresentam dossel menor com áreas basais menores quando comparadas as florestas tropicais úmidas e muitas espécies com potencial de síndrome de dispersão do tipo anemocórica (SIQUEIRA FILHO; MACHADO, 2004; PIRANI; SANCHEZ; PEDRONI, 2009), ocorrendo em solos férteis, com pH moderado a elevado (PENNINGTON; LAVIN; OLIVEIRA-FILHO, 2009).

As espécies decíduas e semidecíduas são dominantes na formação da vegetação das florestas tropicais sazonalmente secas, com presença de árvores e arbustos, com alturas em média de 4 a 15 m de altura, com padrões de fisionomia distintos entre estações úmida e seca (FAO, 2000).

Os caracteres morfológicos das espécies florestais, assim como, as atividades cambiais de crescimento, reprodução e distribuição geográfica depende da disponibilidade hídrica (DINIZ NETO *et al.*, 2013; BACHTOLD; MELO JÚNIOR, 2015; MARTINKOSKI; VOGEL; JADOSKI, 2015). Diante disto, a FAO elaborou o zoneamento ecológico que levou em consideração aspectos climáticos e fisiográficos, para realização de sua classificação vegetacional mais detalhada, em função de propriedades mais intrínsecas à vegetação, como a fisionomia, fenologia, florística e dinâmica da vegetação, derivado de fatores ambientais ou de ambos (MUELLER-DOMBOIS ; ELLENBERG, 1974; FAO, 1989; FAO, 2012).

A região Semiárida do Brasil está inserida justamente numa zona tropical, onde a taxa de evapotranspiração é praticamente a mesma durante todo o ano, tal fato devido a sua posição geográfica, caracterizada em áreas de déficit hídrico (ANDRADE, 2017). As FTSSs do Brasil conhecidas como o Cerrado e Caatinga estão inseridas nesta zona geográfica, com sua vegetação bastante heterogênea quanto a suas fitofisionomias e estrutura (ANDRADE-LIMA, 1981; IBGE, 2012), sendo caracterizada por um mosaico de paisagens, com espécies xerófitas, decíduas e espinhosas (COUTINHO, 2006).

A Caatinga ocorre sob um clima quente e semiárido, com precipitação anual que varia cerca de 240 a 900 mm.ano<sup>-1</sup>, com chuvas torrenciais e distribuição irregular, com duração de 3 a 5 meses ao ano (SANTOS *et al.*, 2011). Outra FTSS do Brasil denominada de Cerrado ou simplesmente Savana, é encontrada em áreas com precipitação em torno de 1200 a 2000 mm.ano<sup>-1</sup> (SANTOS *et al.*, 2011).

Estes ambientes de florestas tropicais secas possuem certa proximidade, principalmente no tocante a sua sazonalidade. Porém, devido a suas características distintas, como diferenças de pluviosidade, baixa fertilidade dos solos dos ambientes de savanas (Cerrado), a maioria de suas árvores possuem características morfológicas do tipo esclerófila (COUTINHO, 2006).

No entanto, a diferenciação de Cerrado e Caatinga é complexa, visto que ambas ocorrem em regiões de clima sazonal e distribuição irregular das chuvas, e períodos de estiagens prolongados, além das características do ambiente a vegetação



apresentam estrutura e fisionomia pouco semelhantes. No entanto, torna-se difícil sua distinção com base em sua fisiografia. Ambas as localidades possuem espécies com características distintas, bem como as análises de agrupamento de espécies (MOONEY; BULLOCK; MEDINA, 1995; MAYLE *et al.*, 2004).

## 2.2 Origem das séries temporais climáticas e preenchimento de falhas

A curiosidade sobre a séries temporais climáticas tiveram origem por meio do filósofo Tales de Mileto (cerca de 625 a.C.–558 a.C.), o qual interpretou as condições climáticas locais com base nelas, e previu uma excelente produção de azeitonas (SOARES; BATISTA; TETTO, 2015). Inspirando filósofos gregos posteriores.

Aristóteles é um dos principais filósofos da antiguidade, ao lado de Sócrates e Platão. O termo Meteorologia vem do seu livro “Meteorológica”, que trata de temas como nuvens, chuva, neve, vento, granizo, trovão e furacões. (INVESTIGANDO A TERRA, 2005).

Os estudos do tempo e do clima são de extrema importância aos setores da agricultura e das ciências ambientais. O tempo e o clima influenciam diretamente no desenvolvimento das plantas, bem como na distribuição das espécies. Conforme elencado por Oliveira *et al.* (2017), tem-se percebido variações periódicas, desde períodos curtos (30 a 35 anos), a períodos mais remotos e seculares (mudanças climáticas).

As falhas existentes nas séries temporais em dados mensais podem ser verificadas e preenchidas por diversas metodologias, conforme classificado no Manual de Observações Meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (1999).

De maneira geral, é importante o conhecimento de séries históricas meteorológicas. Com isso, existem inúmeras técnicas de preenchimento de falhas. Podem ser citadas as principais técnicas, como: interpolação de dados geoespaciais, usando técnicas estatística como a krigagem ordinária; interpolação linear e médias; e métodos de correlação de acordo com FALGE *et al.*, 2001; GAIO *et al.*, 2008; DEUS *et al.*, 2010; ALMEIDA *et al.*, 2011. Outras técnicas possíveis de realizar o preenchimento é por meio de análise de regressão múltipla, média simples, Steurer, média de três estações, proporção normal e análise harmônica, conforme citado por FERNANDEZ, 2007; BRUBACHER; OLIVEIRA; GUASSELLI, 2020.

No entanto, devem ser atendidas algumas premissas. De acordo com Krusche, Saraiva e Reboita (2002), os valores médios diários e mensais devem respeitar as

seguintes regras: 1º - A regra dos 3/5 em que a média mensal não será obtida quando a falta de mais de 3 dados consecutivos, ou 5 alternados, num mesmo mês; 2º - Para a precipitação, a taxa de evaporação e a taxa de insolação não permite dado faltante.

Já na metodologia proposta por Eischeid *et al.* (2000), o critério de identificação de falhas é de que os dados da estação meteorológica não poderão ter mais do que 48 meses faltantes, sendo um mês considerado faltante quando ocorre a falta de dados por 14 dias ou mais consecutivos.

As séries temporais com falhas podem ser preenchidas com dados de imagens de satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), por meio do produto de algoritmo 3B43 e de suas normais climatológicas fornecidas pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) (GOIS, 2017).

### **2.3 Ocorrência de secas e alterações climáticas**

A seca corresponde a um período de tempo em que as condições climáticas de um lugar mudam devido a uma falta anormal de chuvas, de forma que as necessidades das plantas, animais e humanos não podem ser atendidas (TAVARES; ARRUDA; SILVA, 2019). Ao contrário de outros desastres naturais que agem rapidamente e têm consequências imediatas, as secas têm características muito especiais porque começam lentamente e só chamam a atenção depois de instaladas e ocorrência de maneira intensa (SUPPIAH; WHETTON; WATTERSON, 2004).

No entanto, as secas no Semiárido brasileiro ocorrem de maneira heterogênea, com anos de estiagem total, com causas e efeitos em extensão maior, ou até mesmo secas parciais, e com impacto em apenas alguns pontos (TAVARES; ARRUDA; SILVA, 2019).

De acordo com Campos; Studart (2001), no que diz respeito aos tipos de ocorrência das secas, elas podem ser definidas como: Meteorológica, Agrícola e Hidrológica.

- A Seca Meteorológica refere-se à seca em um dado período e espaço, com deficiência em seu acumulado de chuvas em relação aos padrões em que ocorrem as chuvas quanto aos seus valores acumulados, denominados de períodos de padrões normais. A sua causa é devido à circulação atmosférica global, que tem como consequência a redução na produção agrícola e no abastecimento de água;

- A Seca Agrícola é identificada pelo sistema radicular das plantas, devido à deficiência de umidade no solo, devido a uma distribuição irregular das chuvas. Este tipo de seca é associado à rotação de culturas agrícolas, com perdas econômicas devido aos seus impactos causados pelas secas.
- A Seca Hidrológica é definida com relação à insuficiência ou redução do regime hídrico de rios e reservatórios. Tem como consequência direta os abastecimentos de centros urbanos.

Já com relação ao conceito de clima, inicialmente, pode-se definir como clima o resultado da interação de fatores meteorológicos num dado local durante um longo período, de no mínimo 30 a 35 anos (AYOADE, 1996). No qual utilizam-se dados básicos da meteorologia para sua caracterização climática. Costuma-se considerar o clima de uma região não somente os valores médios de temperatura, precipitação, vento, etc., mas devem-se levar em consideração as variações destas variáveis, assim como mudanças do tipo diurnas e estacionais (SOARES; BATISTA; TETTO, 2015).

A definição de clima engloba diversos elementos meteorológicos, no entanto, temperatura e precipitação são os principais elementos que controlam a sua magnitude, a partir do qual o clima define a diferenciação entre regiões e suas formações fitogeográficas (SOARES; BATISTA; TETTO, 2015).

As variabilidades de variáveis meteorológicas podem ser entendidas por efeito climático, sendo as mudanças abruptas de um clima diagnosticadas quando ocorre o cruzamento de níveis críticos de alguns elementos meteorológicos. O clima pode mudar de maneira rápida afetando a determinados recursos no processo de se adaptarem, ou até mesmo levando à extinção. Tais mudanças de clima causam variação nos padrões de diversidade e endemismo sobre a dinâmica das florestas (HAFFER; PRANCE, 2002; PENNINGTON; LAVIN; OLIVEIRA-FILHO, 2009).

Uma das principais observações das mudanças do clima refere-se à alteração do regime hídrico, como por exemplo devido aos fenômenos El Niño e La Niña, que trazem como consequência fortes alterações dos ventos e correntes marítimas (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017). O fenômeno El Niño tem demonstrado ser responsável por anomalias climáticas, em especial no Nordeste do Brasil com alterações na precipitação, embora a temperatura também possa ser modificada. Tal fenômeno está ligado à diminuição dos ventos alísios e ao aquecimento superficial do

Oceano Pacífico tropical. Já o La Niña é resultado dos efeitos inversos dos ventos e da temperatura das águas do Pacífico (BRITTO; BARLETTA; MENDONÇA, 2008).

Os fenômenos climáticos El Niño e La Niña são observados por meio de variáveis meteorológicas, que permitem rastrear alterações climáticas e seus possíveis efeitos em certas regiões. As modificações nos períodos dos fenômenos mencionados são perceptíveis na distinção de período mais e menos chuvosos, sendo possível visualizar para região do Nordeste do Brasil que na ocorrência do La Niña há maior precipitação, e o inverso ocorre durante o fenômeno El Niño (MOURA *et al.*, 2019). Como efeito notório destas distinções, ao analisar e comparar a produtividade de determinada cultura agrícola, nota-se que os períodos em que ocorrem estes fenômenos há um efeito na produtividade quando comparada ao período neutro, quando não ocorrem fenômenos climáticos com abruptas alterações (BERLATO; FARENZA; FONTANA, 2005).

Diante de alterações das variáveis meteorológicas, a água é um divisor importante nos ecossistemas terrestres, nos quais a dinâmica de ocorrência das chuvas é um aspecto chave para a estrutura e funcionamento de um ecossistema (CHAPIN III; MATSON; MOONEY, 2002). No entanto, são raras as pesquisas que envolvem caracterização hidrológica em florestas tropicais secas, a exemplo do México. Tal afirmação pode ser confirmada nos estudos de meta-análise realizados por Farrick (2014), nos quais foi visto que menos de 1% da literatura aborda sobre a hidrologia florestal.

Assim, a previsão de secas e seu monitoramento são instrumentos desafiantes para gestão dos recursos hídricos e prevenção de desastres naturais, a qual está ligada a variáveis como temperatura, precipitação, umidade e velocidade do vento (SUPPIAH; WHETTON; WATTERSON, 2004). Tal previsão necessita de uma série histórica de dados, no mínimo de temperatura e precipitação, com intuito de estimar a intensidade deste fenômeno e magnitude (HEIM *et al.*, 2000).

Diante da necessidade de estimadores deste fenômeno, foram desenvolvidas várias maneiras de quantificar as secas e umidade numa escala temporal, simplesmente denominados de índices de seca, de precipitação, de umidade etc. Constando na literatura mais de 100 desses indicadores (LLOYD-HUGHES, 2014). Alguns dos variados índices mais utilizados são apresentados na Tabela 1, e suas principais vantagens e desvantagens, para quantificação e previsões da seca.

**Tabela 1** - Principais indicadores utilizados para estimar fenômenos de secas.

Índice / Autor(es)	Descrição	Vantagens	Desvantagens
Índice de Precipitação Padronizado (SPI) / McKee <i>et al.</i> (1993).	Baseado na distribuição de probabilidade da precipitação.	Calculado para diferentes escalas de tempo; Possibilita prever eventos de seca; É menos complexo que o PDSI.	Necessita de séries históricas longas; Baseado em dados preliminares que podem variar.
Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) / Palmer (1965).	Conceitos de balanço entre demanda e suprimento de água (utiliza a precipitação e temperatura).	Utiliza um algoritmo para calcular o balanço hídrico e a umidade do solo; Útil em aplicações agrícolas.	Os valores podem não identificar as secas tão facilmente como outros índices; A metodologia é complexa.
Deciles / Gibbs e Mather (1967).	Dividir os dados de precipitação em 10 escalas, numa ordem ascendente e descendente.	Fornecer uma medida estatística exata da precipitação.	Exige no mínimo 30 anos de registro de dados.
Índice hídrico / Thornthwaite (1948).	Baseado no Balanço Hídrico Climatológico, por meio da precipitação e evapotranspiração potencial.	Calculado para diferentes escalas de tempo.	Difícil obtenção em regiões muito secas, pois não realiza o Balanço Hídrico climatológico.
Índice aridez / Thornthwaite (1948).	Baseado no Balanço Hídrico Climatológico, por meio da precipitação e evapotranspiração potencial.	Calculado para diferentes escalas de tempo.	Difícil obtenção em regiões muito secas, pois não realiza o Balanço Hídrico climatológico.
Índice umidade / Thornthwaite (1948) e (1955).	Baseado no Balanço Hídrico Climatológico, por meio dos índices hídrico e de aridez.	Calculado para diferentes escalas de tempo.	Difícil obtenção em regiões muito secas, pois não realiza o Balanço Hídrico climatológico.

Devido a sua característica de obtenção, vale destacar o *Standardized Precipitation Index* (SPI), por utilizar apenas a variável dependente precipitação, o que torna o cálculo e obtenção desta variável mais simples, quando comparado a outros índices (MCKEE *et al.*, 1993; MCKEE *et al.*, 1995). Com a obtenção deste índice é possível quantificar o déficit ou o excesso de chuva em diferentes escalas de tempo. Tais características do SPI mostram que é uma valiosa ferramenta em estudo de curta ou longa duração da disponibilidade hídrica, usados para a identificação de eventos de seca, bem como na caracterização de sua duração (HAYES *et al.*, 1999). Ele tem sido amplamente utilizado no mundo para identificação de períodos que apresentem déficit de precipitação (EDWARDS, 1997).

A caracterização de eventos de secas e prognoses de eventos futuros é de suma importância, principalmente pelo fato de que os eventos climáticos e seus

períodos cíclicos de seca influenciam no crescimento e desenvolvimento das espécies florestais. Conseqüentemente, também em seus incrementos e nas oscilações correntes anuais nas quais existe dependência no tempo e de condições climáticas de anos anteriores (BURGER, 1980), uma vez que altas taxas de mortalidade de indivíduos podem estar relacionadas principalmente por níveis de precipitação abaixo da média da normal climatológica, agravando o déficit hídrico (ÁLVAREZ-YÉPIZ *et al.*, 2018; MARENGO *et al.*, 2018).

A variação no ritmo de crescimento da vegetação pode ser prejudicada em anos mais secos e de anos contínuos (secas severas), o que acarreta ciclos com incrementos menores, devido à seca cíclica que ocorre. No entanto, os efeitos na vegetação perante tais variações são pouco compreendidos (PAZ; MEINZER, 2013). Sabe-se que a diminuição da cobertura vegetal está ligada a condições adversas, uma vez que baixas precipitações acumuladas anuais é fator primordial na dinâmica populacional, inclusive em períodos de secas prolongadas que apresentam baixas taxas de recrutamento de indivíduos (MARKESTEIJN *et al.*, 2011; PINEDA-GARCÍA; PAZ; MEINZER, 2013).

Inclusive existe na área forte influência sob secas severas em longos períodos, como exemplo a longa estiagem no período de 2010 a 2015 em todo o Semiárido nordestino (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016). Com isto, ressalta-se a importância de se avaliar a vegetação em longo prazo, uma vez que o crescimento e recrutamento dependem de valores de precipitação de anos anteriores (MAZA-VILLALOBOS; POORTER; MARTÍNEZ-RAMOS, 2013).

## **2.4 Efeitos do clima na vegetação**

A relação entre clima e vegetação é perceptível entre as distintas zonas climáticas, no espaço geográfico e na variação da radiação solar incidente na superfície terrestre (PILLAR, 1995). Bem como é um dos principais fatores que influenciam na formação da paisagem da vegetação (ANDRADE-LIMA, 1981). Assim, pode-se citar que são vários os fatores ambientais presentes nas zonas geográficas que influenciam diretamente no desenvolvimento dos seres vivos.

As zonas climáticas e assim os habitats existentes não possuem condições climáticas uniformes em toda sua extensão geográfica, mas geralmente apresentam médias similares, os quais dão às vezes uma ideia de homogeneidade climática local (ARAÚJO; CASTRO; ALBUQUERQUE, 2007; FAO, 2012).

Na análise de produtividade florestal em função de variáveis ambientais, Maestri (2003) verificou maior influência da precipitação pluviométrica, evapotranspiração potencial e temperaturas máxima e mínima. Já Stape (2002) correlaciona a produtividade com o aporte hídrico, como principal variável controladora na obtenção dos resultados, uma vez que, com ocorrência de déficit hídrico, a produção é afetada de maneira significativa.

Devido às modificações climáticas, tem-se desencadeado pesquisas em florestas tropicais secas no intuito de averiguar a influência delas no crescimento da vegetação. Como exemplo, Brienen *et al.* (2010) analisaram os anéis de crescimento de *Mimosa acantholoba* (Wild.) Poir., em florestas tropicais secas secundárias no Sul do México, e observaram correlação entre as variáveis climáticas com a largura dos anéis de crescimento.

Apesar de alguns pesquisadores relatarem sobre as modificações climáticas e causas de efeito na vegetação, onde as tendências de aquecimento global têm contribuído de alguma forma em seu crescimento, as respostas das florestas tropicais às mudanças atuais e futuras permanecem pouco compreendidas (MALHI; WRIGHT, 2004).

A lacuna existente no conhecimento sobre o impacto da ação antrópica, como o desmatamento, na alteração das respostas climáticas em florestas tropicais secas e, especificamente em áreas de domínio de Caatinga é incipiente, principalmente quanto a informações de possíveis interações de fatores climáticos com a vegetação.

#### **2.4.1 Temperatura**

Variações de temperaturas acima da média ou abaixo do valor ideal para as plantas podem causar situações de estresse, favorecendo condições adversas ao crescimento e desenvolvimento delas, com a capacidade de afetar a dinâmica populacional da flora local (ARAÚJO; CASTRO; ALBUQUERQUE, 2007). Vale ressaltar que a Terra tem passado por aquecimentos, com elevação da temperatura do ar ao longo de anos e com as temperaturas mais elevadas nos últimos 150 anos, com destaque especial para os últimos trinta anos (WANG *et al.*, 2019).

Devido a tais mudanças no clima e com o aquecimento do planeta, alguns autores mencionam que ocorreram modificações nos padrões de crescimento das árvores, em função das alterações de valores médios da temperatura (CHARNEY *et al.*, 2016; MADRIGAL-GONZÁLEZ *et al.*, 2018), bem como na distribuição de espécies

florestais, indicando a necessidade de se entender o efeito das mudanças de temperaturas no crescimento, visando prever a produtividade e ou estratégias de conservação de espécies florestais e sua dinâmica populacional.

As mudanças na temperatura podem afetar a taxa de crescimento da vegetação, causar danos em seus tecidos meristemáticos e interrupção do processo fotossintético. Influenciando em seu crescimento e limitando-o por processos fisiológicos, devido às alterações dos fatores abióticos, uma vez que o crescimento das plantas é uma resposta integrada de vários estresses de maneira contínua ou intermitente, estando ela sob tais condições ao longo de seu ciclo de vida (BORCHERT, 1994).

A alteração de temperaturas médias influencia no incremento médio anual em altura e volume das árvores, o aumento excessivo de temperaturas favorece o crescimento vegetal até certo ponto, onde temperaturas elevadas possivelmente estão relacionadas ao fechamento dos estômatos, e conseqüentemente a seu processo fotossintético e incremento, devido à interrupção do processo de transpiração. Vale destacar que o aumento excessivo de temperaturas pode causar déficits de pressão de vapor do ar, o que reflete na abertura e fechamento dos estômatos, sendo mais acentuada quando ocorre deficiência hídrica no solo (LANDSBERG, 2003).

#### **2.4.2 Precipitação**

Alterações no regime de chuvas podem influenciar a cobertura florestal, afetando como alterações no início, amplitude, comprimento e fim da estação de crescimento da vegetação, dessa forma, a sazonalidade climática, em especial a precipitação, influencia a sazonalidade da vegetação, com variações no ritmo de crescimento que podem variar de maneira interanual, em determinado período de anos, com ciclos de crescimento maior ou menor (BUSTAMANTE; ALVALÁ; RANDOW, 2012).

Os efeitos que a precipitação causa na vegetação, de acordo com a sua variação interanual em florestas tropicais secas, são considerados mal compreendidos (PINEDA-GARCÍA; PAZ; MEINZER, 2013) quando comparados a outras formações vegetacionais. Martínez-Ramos *et al.* (2018), investigando os efeitos da variação interanual de chuvas na dinâmica em florestas secas, notaram que a precipitação desempenha um papel fundamental na dinâmica populacional, tendo em



vista que em períodos de estiagem era bastante afetada a taxa de ingressos, ficando mais evidente tal influência em anos de ocorrência do fenômeno climático de maior déficit hídrico.

No entanto, fazem-se necessárias pesquisas para avaliar a influência da variação interanual em longo prazo, tendo em vista que anos com baixas precipitações e de maneira consecutivas podem intensificar a taxa de mortalidade (MARKESTEIJN *et al.*, 2011; PINEDA-GARCÍA; PAZ; MEINZER, 2013). Vale destacar a importância da análise a longo prazo, tendo em vista que o crescimento e recrutamento em um ano pode depender de chuvas de anos anteriores (MAZA-VILLALOBOS; POORTER; MARTÍNEZ-RAMOS, 2013).

Com isto, para tal evidência de influências de variações interanual das chuvas, foi notado crescimento reduzido num interior de um fragmento florestal, devido a suas condições meteorológicas serem desfavoráveis, sob as quais apresentaram baixas precipitações e temperaturas mais elevadas, bem como a influência de altas temperaturas do verão do ano anterior (HACKEN-PAIN *et al.*, 2016).

Conforme já exposto, algumas pesquisas têm abordado o clima versus crescimento florestal, no entanto, existe a lacuna de informações sobre o crescimento das árvores em ambientes de Caatinga, dessa forma, isto fez com que se desencadeassem pesquisas com objetivo de obtenção de informações sobre tal influência, assim foi possível confirmar tal hipótese por meio de técnicas de densitometria de raio-X e medidas de seus anéis de crescimento, nas quais foi diagnosticado que anéis mais largos foram formados em anos de maior disponibilidade hídrica, e anéis mais estreitos em condições adversas. O autor destacou ainda que quando a precipitação foi menor de 300 mm anual, as atividades cambiais foram mínimas ou inexistentes, com valores de largura dos anéis próximos de zero, já o contrário ocorreu em precipitação acumulada acima de 300 mm com larguras de no mínimo 1,0 cm até 2,5 cm em períodos de maiores taxas pluviométricas (SILVA, 2006).

No entanto, Mattos *et al.* (2012), ao analisar o crescimento em diâmetro de espécie endêmica da Caatinga, verificaram correlação baixa ( $r = 0,16$ ), entre a taxa de crescimento com a precipitação do ano da mensuração, mas existindo correlação com a precipitação do ano anterior ( $r = 0,88$ ). Esperava-se encontrar uma correlação positiva com a precipitação anual, mas o que se confirmou foi que o crescimento vegetal foi dependente de fontes de reservas d'água do ano anterior a sua medição.

Em pesquisa similar Aragão, Groenendijk e Lisi (2018) observaram alta correlação ( $r = 0,80$ ) da precipitação com os anéis anuais de crescimento, para *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc., *Sarcomphalus joazeiro* (Mart.) Hauenschild, *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. F ex S. Moore e *Libidibia férrea* (Mart. Tul.) L.P. Queiroz, em área de Caatinga no estado de Alagoas.

### 2.4.3 Ciclo hidrológico

Os eventos de clima que vêm ocorrendo nas últimas décadas acarretam alterações no ciclo hidrológico, devido a modificações principalmente na pluviosidade e evapotranspiração, o que influencia no grau de umidade do solo e, conseqüentemente, na disponibilidade de reservas subterrâneas (IPCC, 2001; IPCC, 2007). Estes efeitos poderão exercer impactos significativos sobre a vegetação, uma vez que quando submetida a condições adversas, seu crescimento pode ser fortemente influenciado (COTILLAS *et al.*, 2009; LINARES; CAMARERO; CARREIRA, 2009).

Apesar de seu crescimento ser fortemente influenciado quando as plantas são submetidas a essas condições de adversidade, elas apresentam certos tipos de mecanismos de resiliência às alterações do ciclo hidrológico, e a limitação devido ao déficit hídrico do solo, verificado por meio do balanço hídrico no solo. Tais condições tornam fator limitante e importante, pois a sazonalidade de chuvas interfere no processo fotossintético e de armazenamento de água no interior do caule (MENDIVELSO *et al.*, 2013). Neste contexto de limitação à atividade fotossintética e demais mecanismos fisiológicos da planta, se fazem necessárias pesquisas que envolvam variáveis do balanço hídrico do solo, visando evidenciar impactos na vegetação decorrentes das alterações do clima (SANTOS, 2004).

Existem técnicas para quantificar a existência de déficit hídrico do solo em escala variada de tempo, permitindo a caracterização do potencial agroclimático de uma área, por meio de informações básicas, como: a evapotranspiração, o excedente ou a deficiência hídrica, a água retida no solo (THORNTHWAITE; MATHER, 1955; SOUZA *et al.*, 2014). Que fornecem indicações valiosas sobre as condições edafoclimáticas em que a vegetação se encontra, bem como suas potencialidades hidrológicas do ambiente (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2005).

## 2.5 Influência do relevo nas condições ambientais e relação solo-água-plantas

A posição geográfica influencia na temperatura e precipitação, visto que a altitude, latitude e longitude interferem nos valores de temperatura, pois existem áreas em que a cada 100m de altitude ocorre a diminuição da temperatura em cerca de 1 °C, e outras a cada 180m (DURY, 1972). Como exemplo, na região Sul do Brasil, Maack (1981) traz informações do decréscimo de 0,5 °C a cada 100m de altitude, como um dado mais geral, Ometto (1981) cita a alteração de 0,6 °C para cada 100 m de altitude. O clima de uma região é determinado por valores médios em longo prazo, no qual a temperatura e a precipitação geralmente são as variáveis que melhor definem uma situação climática de uma região. No Brasil a temperatura e a precipitação variam consideravelmente em toda sua extensa distribuição geográfica.

No entanto, a relação de relevo com a vegetação está ligada a diversos fatores que vai além da posição geográfica, desde uma correlação forte com os gradientes de elevação, como a espessura do solo, temperatura e precipitação, fatores interligados, que fazem uma relação intrínseca entre solo-água-plantas. Diante disto, Samonil *et al.* (2017), constataram diferenças no crescimento de árvores em diferentes inclinações, com diferentes espessuras em seu solo, os pesquisadores notaram que quanto mais íngreme maior foi sua profundidade, o que resultou em maior enraizamento em áreas mais íngremes, devido maior espessura do solo. Já o inverso foi notado menor potencial de enraizamento, inclusive com inibição de raízes.

Sabe-se que a profundidade dos solos está inteiramente ligada ao armazenamento de água, no qual a escassez ou excesso de disponibilidade de água muitas das vezes prejudicam os processos fisiológicos e ou bioquímicos. O que acarreta prejuízos de seu crescimento, uma vez que, devido à retenção de água no solo, com base em sua textura física, o que torna com que a planta seja capaz de absorver e translocar os nutrientes solubilizados no solo, e conseqüentemente os demais processos fisiológicos e bioquímicos (XU *et al.*, 2008; TAIZ *et al.*, 2017).

Com base na literatura, pode-se afirmar que os elementos físicos não influenciam a vegetação de maneira isolada, mas sim trata-se de um conjunto de interação entre os elementos. Podem ser citados como os elementos que interagem entre si a água, a luz, os nutrientes e outros fatores, sejam isolados ou em combinação, podem ser fatores de disputa entre as plantas (BELSKY, 1994; CRAMER *et al.*, 2007; VAN DER WALL *et al.*, 2009).

Desta forma, pode-se também afirmar que o crescimento das plantas é afetado quando aumenta a competição por recursos básicos. Sua sensibilidade à competição aumenta com a diminuição da precipitação, especialmente nos indivíduos de portes menores. Este raciocínio está de acordo com Tilman (1988), que afirma que a competição aumenta quando os recursos são mais limitados.

Outro fator interessante é de que o aquecimento climático aumenta a competição pela água nas florestas, conforme destacado por Cotillas *et al.* (2009) e Linares; Camarero; Carreira (2010).

## **2.6 Modelos de crescimento aplicados em Florestas Tropicais Sazonalmente Secas**

Uma das maneiras de análise e expressão do crescimento dendrométrico é por meio de um modelo de crescimento, que podem ser dos tipos lineares e não lineares intrinsecamente lineares (SCOLFORO, 2005; SCOLFORO; MELO, 2006).

Com a aplicação de modelos é possível esboçar a prognose de crescimento, levando em consideração a influência dos variados fatores existentes, de modo a estimar de forma confiável sua predição (CAMPOS; LEITE, 2013). Para este fim, faz-se uso das análises de regressões, de modo a verificar a contribuição de uma variável ou múltiplas, em que uma ou mais variáveis podem assumir caráter preditora (NETER; WASSERMAN; KUTNER, 1996; KUTNER *et al.*, 2004).

O termo “modelo de crescimento” refere-se à predição de evolução por ordem de mudanças na composição da estrutura da floresta, por meio de sistemas de equações para predizer sobre um povoamento em função de uma série de condições e fatores. Com isto é possível esboçar uma prognose a respeito de seu crescimento, e assim prever sua exploração ao decorrer do tempo, além de permitir modelar com diversos fatores que interagem e influenciam no crescimento (VANCLAY, 1994).

Scolforo (2005) tem utilizado inclusive de modelos de árvores individuais para estimar o crescimento das árvores, são conhecidos como os de dupla entrada, onde são utilizados os dados de diâmetro a 1,30 m do solo, e a altura do fuste com destaque para os modelos de Spurr, Schumacher-Hall, Honner, Ogaya, Takata e Meyer (CAMPOS; LEITE, 2013; CASTRO *et al.*, 2016).

O modelo desenvolvido por Schumacher (1939) teve como principal função estimar o índice local, e a partir da sua vasta utilização, passou a ser usado por diversos pesquisadores das Ciências Florestais (SCOLFORO, 1997; CAMPOS;

LEITE, 2013) e demais áreas, para modelagem de crescimento e sobrevivência/mortalidade (MARTINS *et al.*, 2007). Agregado a este, Chapman-Richards propuseram um modelo que possibilitou a interpretação dos efeitos dos parâmetros. Modelo este apropriado ao se analisar as causas e fatores que influenciam no crescimento (MAESTRI *et al.*, 2013).

Em pesquisas com floresta tropical sazonalmente seca, em específico em domínio de Caatinga, para estimativas de volume e biomassa, têm sido aplicados principalmente os seguintes modelos: Schumacher e Hall, Spurr (na forma linearizada e não linear), Chapman-Richards, Power, Meyer, com bons ajustes (SOUZA *et al.*, 2016; DALLA LANA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2020).

Levando-se em consideração a escassez de informações sobre o crescimento e uso de modelos em espécies da Caatinga, com destaque para o fato de que em algumas áreas de Caatinga há espécies que correspondem a mais de 50% da área basal, assim necessitando de pesquisas que comprovem a eficiência de modelos e aplicação para indivíduos multifustes, devido a sua capacidade de resistência e dominância (SAMPAIO, 2010). Desta forma, fazem-se necessários estudos que comprovem o potencial de aplicação de modelos em prognose de crescimento para as espécies da Caatinga, principalmente as de maiores valores de importância.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A.Q. *et al.* Geoestatística no estudo de modelagem temporal da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 354-358, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000400004>.
- ÁLVAREZ-YÉPIZ, J. C. *et al.* Resilience of tropical dry forests to extreme disturbance events. **Forest Ecology and Management**, v. 426, p. 1-6, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.067>.
- ANDRADE, E. A floresta tropical seca, caatinga: As certezas e incertezas das águas. **Trim**, v. 1, n. 12, p. 11–20, 2017. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5922951>. Acesso em: 12 dez. 2020.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. *et al.* Classificação climática e regionalização do semi-árido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza (CE), v. 36, n. 2, p. 143-151, 2005. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/260>. Acesso em: 12 dez. 2020.
- ANDRADE-LIMA, D. The Caatingas Dominion. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 4, p. 149–153, 1981.
- ARAGÃO, J. R. V.; GROENENDIJK, P.; LISI, C. S. Dendrochronological potential of four neotropical dry-forest tree species: climate-growth correlations in Northeast Brazil. **Dendrochronologia**, v. 53, p. 5–16, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.10.011>
- ARAÚJO, B.A. *et al.* Estrutura fitossiológica em uma área de caatinga no Seridó paraibano. **Revista Educação Agrícola Superior**. v. 27, n. 1, p. 025-029, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.12722/0101-756X.v27n01a04>.
- ARAÚJO, L. V. C. **Composição florística, fitossociologia e influência dos solos na estrutura da vegetação em uma área de caatinga no semi-árido paraibano**. 2007. 111p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia (PB), 2007.
- ARAÚJO, E. D. L.; CASTRO, C. C.; ALBUQUERQUE, U. P. Dynamics of Brazilian Caatinga – A Review Concerning the Plants, Environment and People. **Functional Ecosystems and Communities**, v. 1, n. 1, p. 15–28, 2007. Disponível em: [https://www.academia.edu/24407307/Dynamics\\_of\\_Brazilian\\_Caatinga\\_A\\_Review\\_Concerning\\_the\\_Plants\\_Environment\\_and\\_People](https://www.academia.edu/24407307/Dynamics_of_Brazilian_Caatinga_A_Review_Concerning_the_Plants_Environment_and_People). Acesso em: 12 dez. 2020.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro (RJ): Bertrand Brasil, 1996. 332p.
- BACHTOLD, B. A.; MELO JÚNIOR, J. C. F. Camb. ( Calophyllaceae ) em duas formações de restinga no sul do Brasil. **Acta Biológica Catarinense**, v. 2, n. 2, p. 21–32, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/316570276\\_Plasticidade\\_morfologica\\_de\\_Calophyllum\\_brasiliense\\_Camb\\_Calophyllaceae\\_em\\_duas\\_formacoes\\_de\\_restinga\\_no\\_sul\\_do\\_Brasil](https://www.researchgate.net/publication/316570276_Plasticidade_morfologica_de_Calophyllum_brasiliense_Camb_Calophyllaceae_em_duas_formacoes_de_restinga_no_sul_do_Brasil). Acesso em: 12 dez. 2020.
- BELSKY A. J. Influences of trees on Savanna productivity: Tests of Shade, Nutrients, and tree-grass competition. **Ecology**, v. 75, n. 4, p. 922-932, 1994. DOI: <https://doi.org/10.2307/1939416>.

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As Plantas e o Clima: Princípios e aplicações**. 1º. ed. Guaíba (RS): Agrolivros, 2017. 352p.

BERLATO, M. A.; FARENZA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 40, n. 1, p. 423–432, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000500001>.

BORCHERT, R. Soil and Stem Water Storage Determine Phenology and Distribution of Tropical Dry Forest Trees. **Ecological Society of America**, v. 75, n. 5, p. 1437–1449, 1994. DOI: <https://doi.org/10.2307/1937467>.

BRANCO P. M. Breve História da Terra. **CPRM - Serviço Geológico do Brasil**, 2016. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/RedesInstitucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Breve-Historia-daTerra-1094.html>. Acesso em: 07 dez. 2018.

BRIENEN, R. J. W. *et al.* Climate-growth analysis for a Mexican dry forest tree shows strong impact of sea surface temperatures and predicts future growth declines. **Global Change Biology**, v. 16, n. 7, p. 2001–2012, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02059.x>.

BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade Espacial E Temporal Da Precipitação Pluvial No Rio Grande Do Sul: Influência Do Fenômeno El Niño Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, p. 37–48, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v3i0.25408>.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. Al. Preenchimento de Falhas em Séries Temporais de Precipitação Diária no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, p. 235–344, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786352035>.

BURGER, D. **Ordenamento Florestal1**: a produção florestal. 4. ed. Curitiba: FUPEF, 1980. 124p.

BUSTAMANTE, J. A. J. J. A.; ALVALÁ, R.; RANDOW, C. VON. Seasonal Variability of Vegetation and Its Relationship to Rainfall and Fire in the Brazilian Tropical Savanna. **Remote Sensing - Applications**, p. 77–98, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/35287>.

CAMPOS, J. C. C. Principais fatores do meio que afetam o crescimento das árvores. **Floresta**, v. 2, n. 3, p. 45-52, 1970. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v2i3.5684>.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 4º. ed. Viçosa (MG): Editora UFV, 2013. 605p.

CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. MC. **Secas no Nordeste do Brasil: origens, causas e soluções**. In: Fourth Inter-American Dialogue on Water Management, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais** do IV Diálogo Interamericano de. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. v. 01.

CASTRO, R. V. O. *et al.* Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de eucalyptus em nível de distribuição diamétrica utilizando índice de local. **Revista Árvore**, v. 40, n. 1, p. 107–116, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000100012>.

CHAPIN III, F. S.; MATSON, P. A.; MOONEY, H. **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**. 1. ed. Nova Iorque (EUA), 2002. 396p.

CHARNEY, N. D. *et al.* Observed forest sensitivity to climate implies large changes in 21st century North American forest growth. **Ecology letters**, v. 19, n. 9, p. 1119–1128, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12650>.

CORDEIRO, I. M.; SCHWARTZ, G.; BARROS, P. L. Efeitos do clima sobre o incremento diamétrico de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* - Fabaceae) em plantios comerciais. **Nativa**, v. 8, n. 2, p. 246–252, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i2.9009>.

COTILLAS, M.; SABATE, S.; GRACIA, C.; ESPELTA, J. M. Growth response of mixed Mediterranean oak coppices to rainfall reduction: could selective thinning have any influence on it. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 7, p. 1677–1683, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.07.033>.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Act. Bot. Bras**, v. 20, n. 1, p. 13–23, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000100002>.

CRAMER, M. D.; CHIMPHANGO, S. B. M.; VAN CAUTER, A.; WALDRAM, M. S.; BOND, W. J. Grass competition induces N<sub>2</sub> fixation in some species of African Acacia. **Journal of Ecology**, v. 95, n. 5, p. 1123–1133, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2007.01285.x>.

DALLA LANA, M. *et al.* Biomass equations for caatinga species. **Nativa**, v. 6, n. 5, p. 517–525, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i5.5361>.

DEUS, B. V. *et al.* Interpolação pluviométrica na bacia do alto e médio rio Teles Pires: uma análise de séries históricas e interpoladores. In: **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, 27–30, p. 0001, 2010.

DRYFLOR, K. B. *et al.* Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. **Science**, v. 353, n. 6306, p. 1383–1387, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aaf5080>.

DURY, G. H. High temperature extremes in Australia. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 62, n. 3, p. 388–400, 1972. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1972.tb00871.x>.

EDWARDS, D. C. **Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales**. 1997. 155p. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas) - Department of Atmospheric Science, Colorado State University. Fort Collins (CO, EUA), 1997.

EISCHED, J. K. *et al.* Creating a Serially Complete, National Daily Time Series of Temperature and Precipitation for the Western United States. **Journal Appl. Meteorol.**, v. 39, p. 1580–1591, 2000.

FALGE, E. *et al.* **Agricultural and Forest Meteorology**. 2001.

FAO. **Classificação e Mapeamento de Tipos de Vegetação na Ásia Tropical**. Roma (Itália): FAO, 1989.

FAO. **Management of Natural Forests in Dry Tropical Zones**. Roma (Itália): FAO, 2000. (FAO Conservation Guide, 32). ISBN 92-5-103970-4.

FAO. **Global ecological zones for FAO forest reporting: 2010 Update**. Roma (Itália): FAO, 2012. (Forest resources Assessment Working Paper, 179).



FAO. **World Ecozones**. Roma (Itália): FAO, 2018. Disponível em: <http://foris.fao.org/static/data/fra2010/ecozones2010.jpg>. Acesso em: 30 set. 2021.

FARRICK, K. K. **Runoff Generation In A Tropical Dry Forest Watershed: Processes, Patterns And Connectivity**. 2014. 120p. Tese (Doutorado em Geologia) - Western University, Ontario (Canadá), 2014.

FERNANDEZ, M. N. **Preenchimento de falhas em séries temporais**. 2007. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande (RS).

GAIO, D. C. *et al.* Utilização de geoestatística para análise e preenchimento de falhas em séries temporais longas. In: **Conferência Científica Internacional Amazônia em Perspectiva - Ciência Integrada para um Futuro Sustentável**, 2008, Manaus. Conference Abstract: International Scientific Conference Amazon in Perspective. Manaus.

GIBBS, W. J.; MAHER, J. V. **Rainfall deciles as drought indicators**. Melbourne (Austrália): Bureau of Meteorology, Commonwealth of Australia, 1967. (Bureau of Meteorology Bulletin, 48).

GOIS, G. **Catástrofes naturais no estado do Rio de Janeiro baseado em dados climáticos e produtos orbitais: uma abordagem estatística**. 2017. 312p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica (RJ), 2017.

HACKET-PAIN, A. J. *et al.* Consistent limitation of growth by high temperature and low precipitation from range core to southern edge of European beech indicates widespread vulnerability to changing climate. **European Journal of Forest Research**, v. 135, n. 5, p. 897–909, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0982-7>.

HAFFER, J.; PRANCE, G. T. P. Impulsos climáticos da evolução na Amazônia durante o Cenozóico: sobre a teoria dos Refúgios da diferenciação biótica. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 46, p. 175–206, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142002000300014>.

HAYES, M. J., SVOBODA, M. D.; WILHITE, D. A; VANYARKHO, O. V. Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 80, n. 3, p. 429-438, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1999\)080%3C0429:MTDUTS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080%3C0429:MTDUTS%3E2.0.CO;2).

HEIM, R. R. *et al.* Drought indices: a review. In: [\\_\\_\\_\\_\\_](#). **Drought: a global assessment**. Londres (Reino Unido): Routledge, 2000, p. 159-167.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro (RJ): IBGE, 2004. 1 carta topográfica, color., 18,6, pdf. Escala: 1:5.000.000. Disponível em: [http://www.terrabilis.org.br/ecotecadigital/index.php?option=com\\_abook&view=book&catid=7:mapas&id=539:brasil-Vegetacao](http://www.terrabilis.org.br/ecotecadigital/index.php?option=com_abook&view=book&catid=7:mapas&id=539:brasil-Vegetacao). Acesso em: 12 dez. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. Rio de Janeiro: IBGE - Diretoria de Geociências, 2012. 271p. (Manuais Técnicos de Geociências, 1).

INVESTIGANDO A TERRA. **METEOROLOGIA a ciência da atmosfera**. Disponível em [www.iag.usp.br/siae97/meteo.htm](http://www.iag.usp.br/siae97/meteo.htm). Acesso em: 30 mar. 2021.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Manual de Observações Meteorológicas**, Brasília, 3. ed., 1999.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. In: MCCARTHY, J.J. **Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge (Reino Unido): Cambridge University Press, 2001.1032p.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The physical science basis**. Cambridge (Reino Unido): IPCC, 2007. 18p.

KRUSCHE, N.; SARAIVA, M. B. J.; REBOITA, M. S. **Normais Climatológicas Provisórias de Rio Grande, no período de 1991 a 2000 para Rio Grande, RS**. 1. ed. Rio Grande (RS): FURG, 2002.

KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C.; NETER, J. **Applied linear regression models**. 5. ed. Nova Iorque (EUA): McGraw-Hill/Irwin, 2004. 1415p.

LANDSBERG, J. Physiology in forest models: History and the future. **Fbmis**, v. 1, p. 49–63, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228906709\\_Physiology\\_in\\_forest\\_models\\_History\\_and\\_the\\_future](https://www.researchgate.net/publication/228906709_Physiology_in_forest_models_History_and_the_future). Acesso em: 12 dez. 2020.

LIMA, R. B. *et al.* Estimating Tree Volume of Dry Tropical Forest in the Brazilian Semi-Arid Region: A Comparison Between Regression and Artificial Neural Networks. **Journal of Sustainable Forestry**, 1540-756X, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1754241>.

LINARES, J. C.; CAMARERO, J. J.; CARREIRA, J. A. Interacting effects of changes in climate and forest cover on mortality and growth of the southernmost European fir forests. **Global Ecology and Biogeography**, v. 18, n. 4, p. 485–497, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00465.x007/s10342-016-0982-7>.

LISI, C. S. *et al.* Tree-Ring Formation, Radial Increment Periodicity, and Phenology of Tree Species From a Seasonal Semi-Deciduous Forest in Southeast Brazil. **Iawa Journal**, v. 29, n. 2, p. 189–207, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1163/22941932-90000179>.

LLOYD-HUGHES, B. The impracticality of a universal drought definition. **Theoretical and applied climatology**, v. 117, n. 3-4, p. 607- 611, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-013-1025-7>.

LOPES, J. L. W. *et al.* Influência dos fatores bióticos e abióticos na sobrevivência de eucalipto em função do solo e do manejo de viveiro. **Biotemas**, v. 22, n. 2, p. 29-38, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2009v22n2p29>.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro (RJ): Livraria José Olympio Ed., 1981. 442p.

MADRIGAL-GONZÁLEZ, J. *et al.* Disentangling the relative role of climate change on tree growth in an extreme Mediterranean environment. **Science of the Total Environment**, v. 642, p. 619–628, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.064>.

MAESTRI, R. *et al.* Modelagem Do Crescimento Florestal Considerando Variáveis Do

Ambiente: Revisão. **Scientia Agraria**, v. 1125, n. 3, p. 103–110, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v14i3.40908>.

MAESTRI, R. **Modelo de crescimento e produção para povoamentos clonais de Eucalyptus grandis considerando variáveis ambientais**. 2003. 143p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR).

MAITI, R. *et al.* Vegetation and biodiversity. In: MAITI, R.; GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, H.; IVANOVA, N. S (Eds.). **Autoecology and ecophysiology of woody shrubs and trees: concepts and applications**. Oxford (Reino Unido): John Wiley and Sons, 2016. p. 25-30.

MALHI, Y.; WRIGHT, J. Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 359, n. 1443, p. 311–329, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1433>.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanálise**, v. 4, n. 1, p. 49–54, 2016. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/marengoetal.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2020.

MARENGO J. A. *et al.* Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1973-1985, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>.

MARKESTEIJN, L. *et al.* Hydraulics and life history of tropical dry forest tree species: Coordination of species' drought and shade tolerance. **New Phytologist**, v. 191, n. 2, p. 480–495, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03708.x>.

MARTÍNEZ-RAMOS, M. *et al.* Effects of long-term inter-annual rainfall variation on the dynamics of regenerative communities during the old-field succession of a neotropical dry forest. **Forest Ecology and Management**, v. 426, p. 91–100, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.048>.

MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F.; JADOSKI, S. O. Influência do clima no crescimento diamétrico de Araucária angustifolia: revisão bibliográfica. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 8, n. 2, p. 104–111, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5935/PAeT.V8.N2.12>.

MARTINS, E. F. P. *et al.* Curvas de índice de sitio para leucena [*Leucaena leucocephala* (lam.) de wit] no agreste de Pernambuco. **Ciência Florestal, Santa Maria (RS)**, v. 17, n. 4, p. 365–376, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050981968>.

MATTOS, P. P. *et al.* Crescimento diamétrico de jurema-preta em Limoeiro do Norte, CE. **Embrapa Florestas**, v. 310, p. 1–3, 2012. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4273.3602>.

MAYLE, F. E. *et al.* Responses of Amazonian ecosystems to climatic and atmospheric carbon dioxide changes since the last glacial maximum. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B**, v. 359, n. 1443, p. 499–514, mar. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1434>.

MAZA-VILLALOBOS, S.; POORTER, L.; MARTÍNEZ-RAMOS, M. Effects of ENSO and temporal rainfall variation on the dynamics of successional communities in old-field succession of a tropical dry forest. **PLoS ONE**, v. 8, n. 12, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082040>.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. Drought monitoring with multiple time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 9. 1995, Dallas, TX (EUA). p. 233-236.

McKEE, T.B. *et al.* The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8. 1993, Anaheim, CA (EUA).

MENDIVELSO, H. A. *et al.* Differential Growth Responses to Water Balance of Coexisting Deciduous Tree Species Are Linked to Wood Density in a Bolivian Tropical Dry Forest. **PLoS ONE**, v. 8, n. 10, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073855>.

MOONEY, H. A.; BULLOCK, S. H.; MEDINA, E. Introduction. In: BULLOCK, S. H.; MOONEY, H. A.; MEDINA, E. (Ed.). **Seasonally dry tropical forests**. Cambridge (Reino Unido): Cambridge University Press, 1995. p. 1–8.

MOURA, M. M. *et al.* Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 1639–1651, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.242>.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. Nova Iorque (EUA): Wiley & Sons, 1974. 547p.

NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. **Applied linear statistical models**. 4. ed. Homewood, Illinois (EUA): Irwin, 1996. 561p.

DINIZ NETO, M. A. *et al.* Disponibilidade hídrica de dois solos e diferentes idades de corte no comportamento agrônomo da Jureminha. **Revista de Ciência Agrônoma**, v. 44, n. 1, p. 24–33, 2013. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1367>. Acesso em: 12 dez. 2020.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo (SP): Ed. Agrônoma Ceres. 1981. 129-132 p.

OLIVEIRA, M. J. *et al.* Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. **Terrae Didática**, v. 13, n. 3, p. 149-184, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20396/td.v13i3.8650958>.

PALMER, W. C. **Meteorological drought**. Washington (EUA), 1965. 58p. (US Weather Bureau Res, 45).

PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; OLIVEIRA-FILHO, A. Woody Plant Diversity, Evolution, and Ecology in the Tropics: Perspectives from Seasonally Dry Tropical Forests. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 40, n. 1, p. 437–457, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120327>.

PILLAR, V. D. P. **Clima e vegetação**. Porto Alegre (RS): Departamento de Botânica da UFRGS, 1995. (Ecoqua, Março). Disponível em: [http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Reprints&Manuscripts/Manuscripts&Misc/6\\_Clima\\_9\\_5Nov07.pdf](http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Reprints&Manuscripts/Manuscripts&Misc/6_Clima_9_5Nov07.pdf). Acesso em: 12 dez. 2020.

PINEDA-GARCÍA, F.; PAZ, H.; MEINZER, F. C. Drought resistance in early and late secondary successional species from a tropical dry forest: The interplay between xylem resistance to embolism, sapwood water storage and leaf shedding. **Plant, Cell and Environment**, v. 36, n. 2, p. 405–418, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02582.x>.

PIRANI, F. R.; SANCHEZ, M.; PEDRONI, F. Fenologia de uma comunidade arbórea em cerrado sentido restrito, Barra do Garças, MT, Brasil. **Acta bot. bras.**, v. 23, n. 4, p. 1096–1109, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062009000400019>.

PEREIRA, J. E. S.; *et al.* Form Quotient in Estimating Caatinga Tree Volume. **Journal of Sustainable Forestry**, p. 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1779090>.

RODRIGUES, M. A.; KERBAUY, G. B. Meristemas: fontes de juventude e plasticidade no desenvolvimento vegetal. **Hoehnea**, v. 36, n. 4, p. 525–549, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S2236-89062009000400001>.

SAMONIL, P. *et al.* Breakage or uprooting: How tree death type affects hillslope processes in old-growth temperate forests. **Geomorphology**, v. 299, p. 76–84, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.09.023>.

SANTOS, J. C.; *et al.* Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest Jean. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 276–286, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1177%2F194008291100400306>.

SCHUMACHER, F. X. A new growth curve and its application to timber yield studies. **Journal Forestry**, v. 37, p. 819–820, 1939.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: métodos para classificação de sítios florestais**. Lavras (MG): UFLA/FAEPE, 1997. 151p.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário Florestal**. Lavras (MG): Editora UFLA, 2006, 526p.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal: Parte I: Modelos de regressão linear e não linear, Parte II: Modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca**. Lavras (MG): UFLA/FAEPE. 2005, 352p.

SEPLAG - SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GOVERNANÇA E GESTÃO - SEPLAG. Porto Alegre: Departamento de Planejamento - DEPLAN, 2020. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/midia/imagem/map-biomas-br>. Acesso em: 15 set. 2021.

SILVA, L. B. DA. **Variação Na Estrutura Da Madeira De Quatro Espécies Da Caatinga Nordestina E Seu Potencial Para O Desenvolvimento Sustentável**. 2006. 115p. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Estadual De Feira De Santana, Feira de Santana (BA), 2006.

SILVA, L. L. *et al.* Influence of precipitations on agricultural productivity in Paraíba State. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 454–461, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000400013>.

SIQUEIRA FILHO, J. A.; MACHADO, I. C. Síndromes de Polinização de uma Comunidade de Bromeliaceae e Biologia Floral de *Vriesea psittacina* (Hooker) Lindley (Bromeliaceae) em Brejo dos Cavalos, Caruaru, Pernambuco. In: **Brejos de Altitude em Pernambuco e Paraíba: História natural, Ecologia e Conservação** (K.C. PORTO, J. J. P. CABRAL & M. TABARELLI, Orgs.). Ministério do Meio Ambiente, Brasília (DF), p.227-284.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; TETTO, A. F. **Meteorologia e Climatologia Florestal**. 1. ed. Curitiba (PR): Os Autores, 2015. 215p.

SOUZA, P. F. DE *et al.* Estudos fitossociológicos e dendrométricos em um fragmento de caatinga, São José de Espinharas – PB. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1317–1330, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509825152>.

SOUZA, S. O.; CORREA, W. S. C.; FILETI, R. B.; VALE, C. C. Balanço Hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio Caravelas (BA) como Subsídio ao Planejamento Agrícola. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 1, p. 83-92, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20140003>.

STAPE, J. L. **Production ecology of clonal *Eucalyptus* plantations in northeastern Brazil**. 2002. 225p. Ph.D. Thesis. (Doctor of Philosophy) - Colorado State University, Colorado (EUA).

SUPPIAH, R.; WHETTON, P. H.; WATTERSON, I. G. **Climate change in Victoria: assessment of climate change for Victoria: 2001-2002**. Melbourne (Austrália): CSIRO Atmospheric Research, 2004.

TAVARES, V. C.; ARRUDA, I. R. P.; SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, v. 34, n. 70, p. 385–405, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p385>.

TILMAN, D. **Plant Strategies and the Dynamics and Structure of Plant Communities**. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1988.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geogr. Rev**, v. 38, p. 55-94, 1948. DOI: <https://doi.org/10.2307/210739>.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Nova Jersey (EUA): Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in climatology, v.8)

VANCLAY, J. K. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. **Southern Cross University**, p. 312, 1994. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228768502\\_Modelling\\_Forest\\_Growth\\_and\\_Yield\\_Applications\\_to\\_Mixed\\_Tropical\\_Forests](https://www.researchgate.net/publication/228768502_Modelling_Forest_Growth_and_Yield_Applications_to_Mixed_Tropical_Forests).

VAN DER WAAL, C. *et al.* Water and nutrients alter herbaceous competitive effects on the seedlings in a semi-arid savanna. **Journal of Ecology**, v. 97, p. 430-439, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01498.x>.

VARGAS, G. R. *et al.* Atributos químicos e microbiológicos do solo em plantios clonais de eucalipto. **Nativa**, v. 8, n. 2, p. 216–223, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i2.7860>.

VELOSO, H. P.; GÓES-FILHO, L. **Fitogeografia Brasileira. Classificação Fisionômico-Ecológica da Vegetação Neotropical**. Salvador (BA): IBGE, Bol. Téc. Projeto RADAMBRASIL, 1982. 86p.

WANG, X. *et al.* Recent rising temperatures drive younger and southern Korean pine growth decline. **Science of the Total Environment**, v. 649, p. 1105–1116, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.393>.

XU, X. L. *et al.* Relationships between vegetation and soil and topography in a dry warm river valley, SW China. **Catena**, v. 75, n. 2, p. 138–145, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.04.016>.

## **CAPÍTULO I**

**VARIABILIDADE AMBIENTAL DA CHUVA E TEMPERATURA DO AR ANUAL E MENSAL EM ÁREA DE FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA, PERNAMBUCO, BRASIL**

## RESUMO

A análise da variabilidade das chuvas que ocorrem no semiárido do Nordeste brasileiro, tem se tornado cada vez mais importante, tendo em vista da escassez hídrica da região, atrelada as alterações do clima, em escalas globais e locais, visto que os fenômenos climáticos interferem na variabilidade interanual. Teve por objetivos: avaliar a variabilidade anual e mensal da precipitação acumulada, temperatura média do ar e quantificar o déficit hídrico por meio do balanço hídrico climático (BHC) e sua classificação climática baseada nos índices de aridez e de umidade. Utilizou-se dados da série histórica de precipitação e temperatura de 1990 a 2019 do município de Ibimirim-PE, fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC), as falhas existentes foram preenchidas via software em ambiente R. Em seguida os dados foram analisados por meio de estatística descritiva e exploratória, balanço hídrico climatológico – BHC, em seguida aplicado a metodologia de acordo com classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), com base nos valores dos índices: hídrico (Ih), aridez (Ia), e umidade (Iu). Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir a existência de uma alta variabilidade das chuvas, cujos valores dos coeficientes de variação (CV) foram elevados para a chuva mensal, no período menos chuvoso acima de 120%, apesar do mês de janeiro apresentar valor alto. A estatística descritiva dos dados de chuva mensal mostrou que a média foi superior a mediana varia entre 7,96 a 111,33 mm nos meses de setembro e março, respectivamente, valor histórico médio anual de 520,70 mm, e em relação a temperatura média do ar, os valores oscilaram entre 22,62 a 28,14 °C, nos meses de julho e dezembro, respectivamente. Apesar da discrepância das temperaturas os valores de coeficientes de variação foram baixos, apresentaram certa similaridade entre os demais meses. De maneira geral, foi identificado um elevado déficit hídrico ao longo dos anos, com destaque para os meses de agosto a outubro. Os meses de maior concentração de chuvas foi de janeiro a maio. Apesar de existir um período mais chuvoso, verificou-se que não houve excedente hídrico para fins de reposição de água no solo, com valores de evapotranspiração potencial média anual de 1563,44 mm.ano<sup>-1</sup>, valor este superior a precipitação anual, classificado como clima do tipo (DdA'a').

**Palavras-chave:** Chuva, Déficit hídrico, Períodos secos e chuvosos, Temperatura.



## ABSTRACT

The rainfall variability analysis that occurs in the semi-arid region of the Brazilian Northeast, has become increasingly important, in view of the region's water scarcity, linked to climate changes, on global and local scales, since climatic phenomena interfere with interannual variability. Thus, its objectives were: to evaluate the annual and monthly variability of accumulated precipitation, mean air temperature and to quantify the water deficit through the climatic water balance (CWB) and its climatic classification based on aridity and humidity indexes. We used data from the historical series of precipitation and temperature from 1990 to 2019 in the municipality of Ibimirim-PE, provided by the National Institute of Meteorology (INMET) and the Pernambuco Agency of Waters and Climates (APAC), existing missing data were filled in using software in R environment. Then the data were analyzed using descriptive and exploratory statistics, Climatological Water Balance - CWB, then applied the methodology according to the climatic classification of Thornthwaite and Mather (1955), based on the index values: hydric (Ih), aridity (Ia), and humidity (Iu). The results obtained in this work allowed to conclude the existence of a high variability of rainfall, whose coefficients of variation (CV) values were high for the monthly rainfall, in the less rainy period above 120%, despite the high value of January. The monthly rainfall descriptive statistics of the data showed that the mean was higher than the median, varying between 7.96 to 111.33 mm in the months of September and March, respectively, an annual mean historical value of 520.70 mm, and regarding the air mean temperature, the values oscillated between 22.62 to 28.14 °C, in the months of July and December, respectively, despite the temperature discrepancy the values of coefficients of variation were low, showed some similarity between the other months, in general a high water deficit was identified over the years, with emphasis on the months of August to October, the months with the highest concentration of rains were from January to May, although there was a rainier period, it was found that there was no water surplus for the purpose of replacing water in the soil, with mean annual potential evapotranspiration values of 1563.44 mm.year<sup>-1</sup>, which is higher than the annual precipitation, classified as a climate type (DdA'a ').

**Key words:** Rain, Water deficit, Dry and rainy periods, Temperature.

## 1. INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas da América do Sul ocorrem na Venezuela, Colômbia, Argentina, Chile, Equador e no Brasil, especificamente no Nordeste Brasileiro. Vale destacar que, o Nordeste do Brasil é a região mais sensível às alterações do clima, devido à existência dos processos severos de secas, aridez, desertificação e mudanças na paisagem (MATALLO JÚNIOR, 2001; MARENGO *et al.*, 2011), principalmente perante os cenários de dias com baixas taxas pluviométricas e elevadas temperaturas do ar seguidas de eventos de secas mais frequentes, ou cíclicas (MARENGO *et al.*, 2016; MARENGO *et al.*, 2018).

Embora as secas não se restrinjam ao Nordeste do Brasil, como elencado por diversos pesquisadores (BARRA *et al.*, 2002; GOIS *et al.*, 2020; LYRA; OLIVEIRA JÚNIOR; ZERI, 2014), os estados nordestinos brasileiros sofrem por processos de secas mais prolongadas (MARENGO *et al.*, 2015).

Perante os cenários existentes de secas nas regiões semiáridas, nos quais projetam-se impactos negativos para as diversas atividades agrícolas, assim como na vegetação nativa ou exótica, devido ao aumento do déficit hídrico no solo, afeta-se sua biodiversidade e todo o funcionamento de seus ecossistemas (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

Não diferente desta realidade, os relatórios sobre mudanças climáticas globais indicam aumentos da temperatura e redução de precipitação nas regiões tropical e subtropical (IPCC, 2001; IPCC, 2007). Tal realidade climática inclui o Nordeste do Brasil como área de ocorrência de desastre natural, devido aos seus eventos climatológicos, dos quais a seca corresponde a 71,3% deles, e impactam na região (FIOCRUZ, 2018). Justamente o que agrava a situação, como tem sido observado em várias pesquisas, cujos cenários são de secas de longa duração no decorrer dos anos, inclusive nos meses com histórico de maiores precipitações com distribuições irregulares (MEDEIROS, FRANCISCO, BANDEIRA, 2012; FRANCISCO, MEDEIROS, SANTOS, 2015; LOPES *et al.*, 2016; MANIÇOBA *et al.*, 2017).

Nas últimas décadas, diversos eventos climáticos de secas têm acarretado alterações nos ciclos hidrológicos, influenciando no grau de umidade do solo, e consequentemente na disponibilidade de reservas subterrâneas de água (IPCC, 2001; IPCC, 2007).

Os cenários de mudanças climáticas e do uso do alternativo do solo com supressões vegetais têm sido responsáveis pelas alterações hídricas no solo, que

muitas das vezes podem limitar o desenvolvimento da vegetação, em destaque nas regiões áridas e semiáridas (YU *et al.*, 2018). Barros *et al.* (2012) destacaram que, além da chuva, outros fatores meteorológicos como: temperatura, umidade do ar, radiação solar e a evapotranspiração potencial afetam o clima.

O conhecimento dos mais variados fatores ambientais é premissa básica para avaliar os recursos hídricos disponíveis em uma região, pois não se pode afirmar se uma região é considerada seca ou úmida apenas com base nas informações disponíveis de acumulados de chuva, sendo, portanto, necessário o conhecimento das condições hídricas do solo, por meio do Balanço Hídrico Climático (BHC) (GOIS *et al.*, 2019).

O BHC é uma ferramenta essencial na tomada de decisões por parte dos gestores de políticas de combate as secas, que atingem diversas regiões do mundo (GARRIDO, 1999; MEDEIROS *et al.*, 2013; REZAEI; MOHAMMADI, 2017; CASSETARI; QUEIROZ, 2020). Desta forma, diversos pesquisadores abordam o BHC, diante das informações relevantes quanto aos quantitativos geradas pelos elementos climáticos como chuva e temperatura do ar. Tais decisões são aplicadas, por exemplo, por agrossilvicultores em regiões áridas e semiáridas (OLIVEIRA *et al.*, 2010; JILLO *et al.*, 2017; ALBUQUERQUE *et al.*, 2020).

Algumas pesquisas têm evidenciado a presença de seca severa na região semiárida brasileira, com histórico de elevadas taxas de evapotranspiração e alto déficit hídrico ao decorrer dos anos (MEDEIROS, FRANCISCO, BANDEIRA, 2012; LOPES *et al.*, 2016; MEDEIROS, 2018). A qual apresenta alta variabilidade interanual e intrasazonal da chuva, com a influência térmica dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropical controlando os períodos de anos de seca e enchentes (MOURA; SHUKLA, 1981; ROPELEWSK; JONES, 1987; ROPELEWSK; HALPERT, 1987).

Desta forma, vários estudos sobre clima e sua variabilidade interanual e intrasazonal das chuvas no Nordeste do Brasil têm sido realizados desde os anos 90 (HASTERATH; GREISCHAR, 1993; NOBRE; SHUKLA, 1996). Sabe-se que, o período chuvoso, na sua porção mais semiárida, é curto se concentrando nos primeiros seis meses do ano, com um período mais seco nos últimos seis meses, refletindo no acúmulo de água à superfície, que é escoada para os reservatórios hídricos da região (ALVES *et al.*, 2009).

Perante este contexto social e climático, a área de pesquisa está situada na região semiárida, com base nos dados da estação meteorológica de Ibimirim-PE. Ela

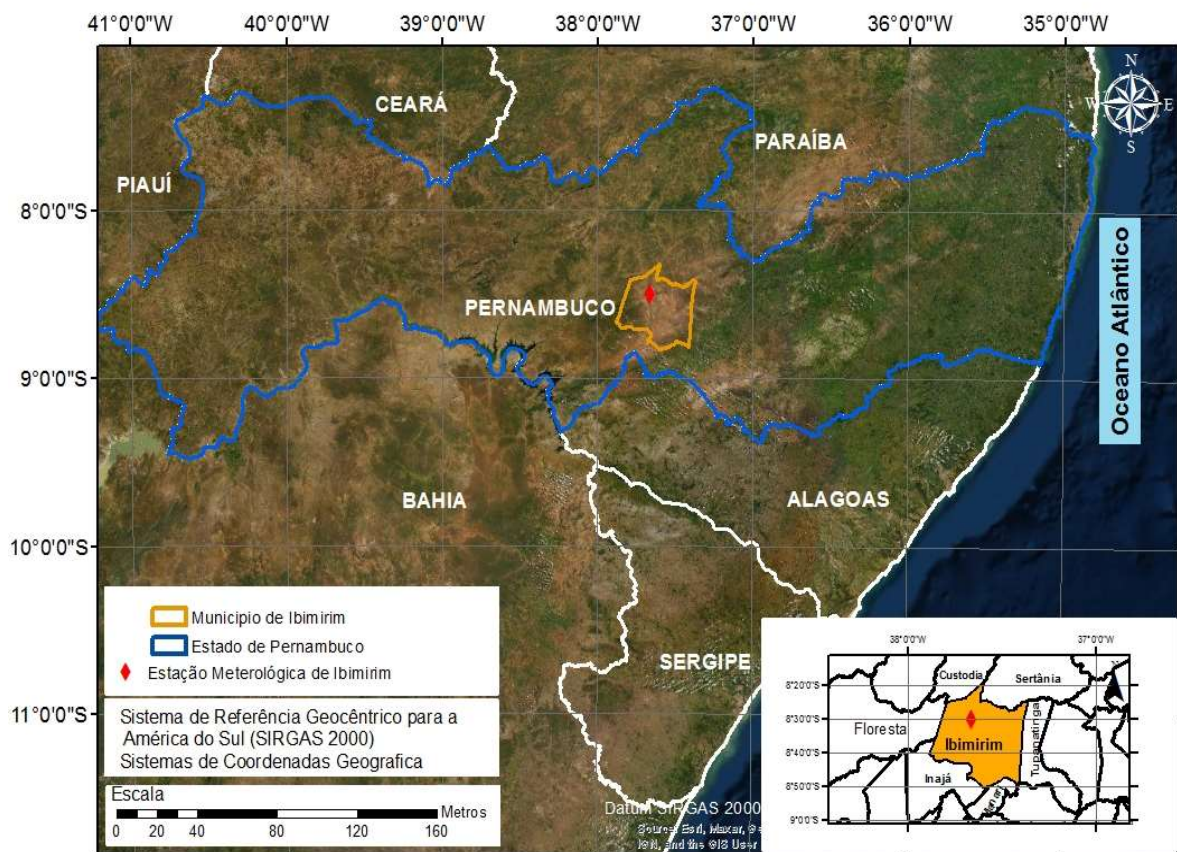
tem como objetivos principais: i) avaliar a variabilidade anual e mensal da chuva e temperatura média do ar na região; ii) quantificar o déficit hídrico do solo na região, por meio do Balanço Hídrico Climatológico (BHC).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo e caracterização

O município de Ibirimir está localizado no estado de Pernambuco (PE), na região Nordeste do Brasil, entre as latitudes 8° 32' 26" Sul (S) e longitudes 37° 41' 25" Oeste (O), e a uma altitude de 401 m. Ele possui uma área de 2033,59 km<sup>2</sup>. Limita-se ao Norte (N) com Sertânia e Custódia, ao Sul (S) com Inajá e Manari, ao Leste (L) com Tupanatinga, e a Oeste (O) com Floresta (Pernambuco) (Figura 1).

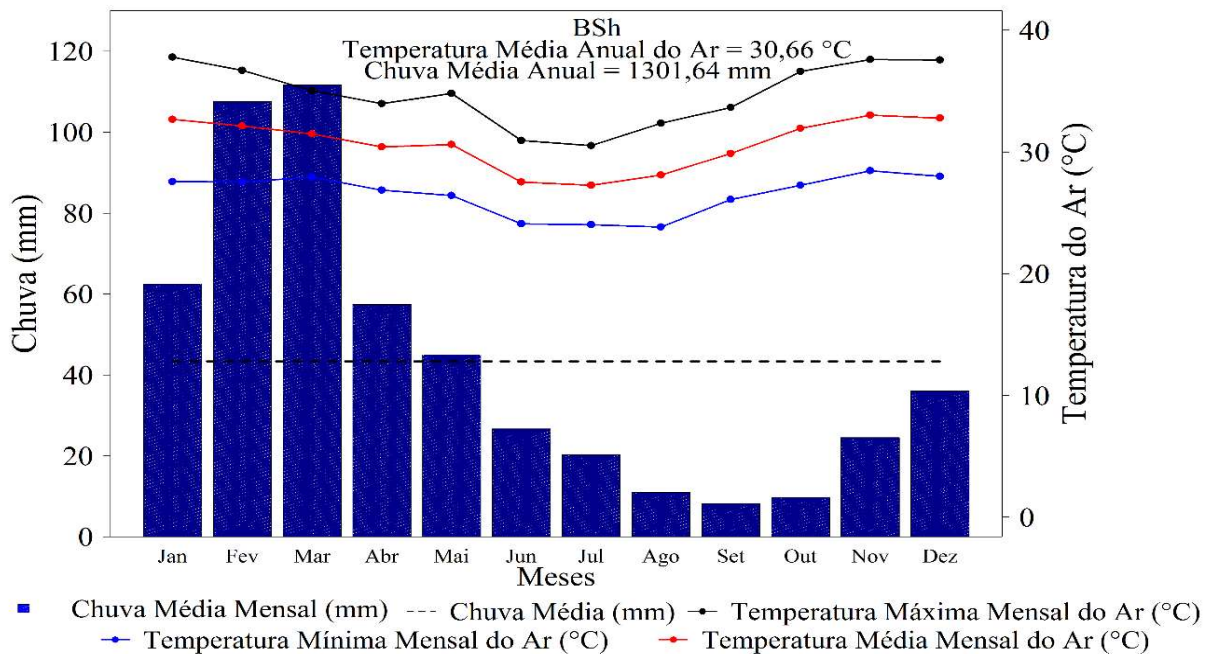
**Figura 1** - Localização de Pernambuco e da estação meteorológica, Poço da Cruz, Ibirimir-PE, Brasil.



Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima de Ibirimir é semiárido (BSh) com características intermediárias entre climas desérticos (BW) e climas úmidos. Ele possui potencial agrícola e ecológico, com chuva média mensal de 43,39 mm e média anual acumulada de 1301,64 mm ao longo de 30 anos. Os maiores

registros de chuvas ocorrem nos meses de janeiro a julho, com médias de 51,59 mm, e uma significativa redução das chuvas entre agosto a dezembro, nos quais as médias são inferiores a 17,90 mm. A temperatura média anual é em torno de 30,66 °C. A estação de verão é consideravelmente quente, com registro de temperaturas máximas entre 30,52 °C a 37,80 °C, com máximas que chegam aos 40 °C, e mínimas entre 23,85°C e 28,47 °C, já o período do inverno é ameno, com máximas entre 26 °C e 33 °C (Figura 2).

**Figura 2** - Climograma e classificação climática de Köppen (1948), Poço da Cruz, Ibirimir-PE, Brasil.



## 2.2 Série temporal climática e preenchimento de falhas

As séries temporais de chuva e temperatura do ar foram disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), que possuem uma estação meteorológica automática (EMA) em Ibirimir, estado de Pernambuco, com dados do período de janeiro de 1990 a dezembro de 2019. A referida EMA está situada a uma altitude de 448 m e nas coordenadas de 8° 32' 26" Sul (S) e longitudes 37° 41' 25" Oeste (Figura 1).

Foram contabilizados os percentuais de falhas nos dados de chuva e temperatura do ar, via função "mstats", e o posterior preenchimento as respectivas falhas pelo pacote (Multivariate Imputation by Chained Equations – MICE), "mtdsi"

(VAN; OUDSHOORN, 2000), conforme a sequência lógica descrita no (Apêndice 1), via software “R” versão 3.4.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017).

### **2.2.1 Escolha do Método de Imputação**

A escolha do melhor método de imputação de dados neste estudo se baseia na técnica sugerida por Harrel (2001), em que os percentuais (%) de dados faltantes da variável sobre análise seguem os seguintes critérios:

i) Percentual  $\leq 0,05$ : aplica-se a imputação única ou analisa somente os dados completos;

ii) Percentual entre 0,05 e 0,15: imputação única pode ser usada aqui provavelmente sem problemas, entretanto o uso da imputação múltipla é indicado;

iii) Percentual  $\geq 0,15$ : A imputação múltipla é indicada na maior parte dos casos.

Vale ressaltar que, se houver diversos preditores com dados faltantes, devem ser seguidos estes critérios. Mas os efeitos da imputação de dados serão mais pronunciados.

Baseado na metodologia de Harrel (2001) foi aplicado o processo de imputação múltipla, pelo pacote “MICE”, o qual se baseia na Especificação Condicional Total (ECT), segundo Buuren e Oudshoorn (2011). Vale ressaltar ainda que cada variável possui seu próprio modelo de imputação, e que são fornecidos para dados contínuos (correspondência média preditiva, normal) dados binários (regressão logística), dados categóricos não ordenados (regressão logística politômica) e dados categóricos ordenados (odds proporcionais).

O MICE também pode imputar dados contínuos de dois níveis (modelo normal, pan, variáveis de segundo nível). Assim, neste estudo foi utilizado o método “midastouch” (correspondência de média preditiva ponderada), para dados contínuos de chuva e temperatura do ar, de acordo com os procedimentos de 1 a 5, descritos no (Apêndice 2).

Maiores detalhes podem ser verificados no site: <https://cran.r-project.org/web/packages/mice/mice.pdf>.

### **2.3 Consistência dos dados de chuva e temperatura**

Os dados de chuva e temperatura do ar da série temporal oriundos do período de 1990 a 2019, após o preenchimento das falhas, foram avaliados por meio da análise da estatística descritiva, para os seguintes parâmetros estatísticos obtidos: média, mediana, desvio padrão, valor máximo, mínimo, amplitude total, limites

superiores, inferiores, coeficientes de variação, quantil inferior, quantil superior, e amplitude interquântica; seguido da análise exploratória de série temporal via Boxplot nas escalas mensais e anuais, por meio da aplicação do software R versão 3.4.3 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017).

#### **2.4 Aplicação da técnica dos quantis aos dados de clima**

Depois de realizadas as análises estatística e exploratória dos dados foi aplicada a técnica dos quantis. Por meio desta técnica foi possível verificar a ocorrência de períodos secos ou chuvosos do banco de dados da pluviometria, de acordo com a metodologia de Xavier e Xavier (1987), de modo a delimitar os percentis em cada quantil com as referidas frequências de ocorrência das chuvas e temperatura anual e mensal.

Os valores de temperatura e chuva total anual da estação meteorológica são considerados variáveis aleatórias contínuas. O quantil ( $Q_p$ ), para cada número  $p$  entre 0 e 1 é o valor satisfatório para temperatura e chuva, respectivamente, à condição probabilidade ( $x \leq Q_p = p$ ). Para cada valor observado  $x_0$ , o número ( $0 < p_0 < 1$ ) tal que  $f(x_0)$ , diz-se de ordem quântica  $p_0$ , associada a  $x_0$ .

Os intervalos adotados foram: 25%, 50%, 75%, 95%, 99% e 100%, conforme Souza, Azevedo e Araújo (2012), nos quais cada percentil representa as probabilidades ou frequências esperadas para os possíveis eventos que podem ocorrer na sequência de dados da série temporal (ANANIAS *et al.*, 2010).

#### **2.5 Cálculo do (Standardized Precipitation Index) SPI-12 e definição dos ENOS**

O SPI é baseado na metodologia proposta por McKee *et al.* (1993, 1995) e quantifica o déficit ou o excesso de chuva em multiescala temporal, cuja metodologia utiliza a distribuição Gama como artifício matemático para obtenção do SPI, no qual não se admite valor 0.

O 1º procedimento para o cálculo do SPI 12 meses é a determinação da probabilidade de distribuição de frequência da série histórica pluviométrica, a qual é calculada por meio da distribuição Gama incompleta. A função normal inversa (Gaussiana) é aplicada a essa probabilidade.

A distribuição Gama é definida pela função de densidade de probabilidade, conforme a (Expressão 1), e descrita na metodologia por McKee *et al.* (1993, 1995).

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

Em que:  $f(x)$  = função de densidade de probabilidade;  $\alpha > 0$  é o parâmetro de forma (adimensional);  $\beta > 0$  é o parâmetro de escala (adimensional);  $x > 0$  é o total de chuva (mm) e  $\Gamma(\alpha)$  é a Função gama definida pela (Expressão 2).

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (2)$$

Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da Função de Densidade de Probabilidade - FDP Gama para a estação de Ibimirim foram calculados e ajustados na escala mensal (SPI-12). Segundo a metodologia proposta por Thom (1966) e Assis *et al.* (1966), o Método da Máxima Verossimilhança (MMV) é o mais indicado para as estimativas dos parâmetros citados anteriormente (Expressões 3 e 4).

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{\frac{4A}{3}} \right) \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (4)$$

Em que,  $A$  é definido pela Expressão 5.

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \quad (5)$$

Em que,  $\bar{x}$  = Média aritmética da chuva (mm),  $\ln$  = logaritmo neperiano,  $n$  = número de observações.

Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  foram calculados para encontrar a probabilidade cumulativa de um evento de chuva média mensal, obtida com a aplicação das (Expressões 6 e 7).

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (6)$$

Substituindo o valor de  $t = \frac{x}{\beta}$ , na Expressão (6), temos a Expressão (7).

$$F(\beta t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \int_0^{\beta t} t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (7)$$

A Expressão (7) é definida como sendo a função Gama incompleta considerando que a função Gama incompleta não admite valores nulos. Visto que a distribuição Gama é indefinida para valores de chuva iguais a zero, a probabilidade cumulativa pode ser determinada em duas partes (Expressões 8 e 9).



$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (8)$$

As probabilidades cumulativas empíricas foram bem desenvolvidas por Panofsky; Brier (1958), segundo os quais os dados de chuva estão ordenados em ordem crescente de magnitude de forma que os valores são baixos, e o tamanho da amostra é dado pela (Expressão 9).

$$q = \frac{m}{n+1} \quad (9)$$

Em que:  $q$  = probabilidade de ocorrência de chuva zero;  $G(x)$  = distribuição cumulativa teórica, em que os parâmetros são estimados em dias chuvosos;  $m$  = número de observações com chuva igual a zero;  $n$  = número de observações com chuva maior do que zero.

A distribuição de probabilidade cumulativa  $H(x)$  é transformada em uma distribuição normal (valor final do SPI) para a variável ( $z$ ) aleatória, com média zero e variância um, em que a variável ( $z$ ) corresponde ao valor do SPI. Por meio das Expressões desenvolvidas por Abramowitz e Stegun (1965) (Expressões 10 e 11).

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (10)$$

$$Z = SPI = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (11)$$

Em que,  $t$  é definido pelas Expressões 12 e 13.

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{H(x)^2} \right]} \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (12)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{H(x)^2} \right]} \text{ para } 0,5 < H(x) \leq 1 \quad (13)$$

Sendo, os coeficientes  $c_0 = 2,515517$ ;  $c_1 = 0,802853$ ;  $c_2 = 0,010328$ ;  $d_1 = 1,432788$ ;  $d_2 = 0,189269$  e  $d_3 = 0,001308$ .

Segundo Blain e Brunini (2005), no caso da chuva de um determinado período se ajustar à distribuição normal, o SPI será simplesmente a variável reduzida ( $z_i$ ) da distribuição normal padronizada (Expressão 14).

$$Z_i = SPI = \frac{P_a - P_m}{\sigma} \quad (14)$$

Em que:  $P_0$  = Chuva acumulada no período;  $P_m$  = Chuva média do período em questão;  $\sigma$  = Desvio padrão da série histórica de chuva na escala em estudo.

Segundo Mckee *et al.* (1993), o período de ocorrência de uma seca se inicia quando o SPI se torna negativo e atinge o valor -1 e termina quando volta a apresentar valores positivos. Dentro desta escala, os valores de SPI menores ou iguais a -2 indicam secas extremas e os maiores ou iguais a +2 indicam chuvas extremas, conforme (Tabela 1), segundo proposto por Thornthwaite e Mather (1955), e categorizado de maneira arbitrariamente definida por McKee *et al.* (1993) e adaptado por Oliveira Júnior *et al.* (2017).

**Tabela 1** - Classificação do “Standardized Precipitation Index” - SPI (McKee *et al.*, 1993; 1995).

SPI	Categorias
> 2,00	Extremamente úmido
1,5 a 1,99	Muito úmido
1,00 a 1,49	Moderadamente úmido
0,10 a 0,99	Próximo ao normal
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco
-1,50 a -1,99	Muito seco
< -2,00	Extremamente seco

Após identificação das categorias identificadas por meio do SPI, foram verificados os dados da tabela do (*Oceanic Niño Index* - ONI), e associados os referidos anos à ocorrência da medida da variabilidade do ENOS (Terassi *et al.*, 2018). Os períodos quentes (vermelhos) e frios (azuis), conforme a tabela dos ENOS, os quais são baseados em um limiar de +/- 0,5 °C para uma média mensal de três meses de anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) via *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature* (ERSST) versão 5 na região Niño 3.4 (5° N-5° S, 120°-170° W), com base em períodos de 30 anos atualizados a cada 5 anos.

As informações sobre as fases do ENOS foram obtidas na base de dados da *National Oceanic and Atmospheric Administration Climate Prediction Center* - NOAA/CPC (NOAA, 2019).

## 2.6 Balanço hídrico climatológico

A precipitação pluviométrica está totalmente ligada à disponibilidade de água no solo. Assim, para avaliar as características hídricas do sistema, foi realizado o balanço hídrico climatológico (BHC), utilizando o método de Thornthwaite e Mather (1955).

O balanço hídrico climatológico (BHC) foi obtido por meio de planilha de dados do Excel desenvolvida por Rolim *et al.* (2007), calculado com base em dados de precipitação e temperatura do média do ar, cujo ano calculado foi o de maior

precipitação identificado, bem como a identificação da variabilidade do ENOS e SPI, em função da identificação pelo SPI, e tabela ONI. A capacidade de campo adotada foi de 100 mm. Em seguida, com base nos resultados do BHC, foram obtidos os índices hídrico, de aridez e de umidade (Expressões 15 a 18), conforme descrito por Thornthwaite (1948), citado por Sellers (1965) e Vianello e Alves (1991).

$$Ih = 100x \frac{EXC}{ETP} \quad (15)$$

$$Ia = 100x \frac{DEF}{ETP} \quad (16)$$

$$Im = Ih - Ia \quad (17)$$

$$Im' = Ih - 0.6 * Ia \quad (18)$$

Em que: Ih: índice hídrico (mm.ano<sup>-1</sup>); EXC: excedente hídrico anual (mm.ano<sup>-1</sup>); ETP: evapotranspiração potencial anual (mm.ano<sup>-1</sup>); Ia: índice de aridez (mm.ano<sup>-1</sup>); DEF: deficiência hídrica anual (mm.ano<sup>-1</sup>); Im: índice de umidade (mm.ano<sup>-1</sup>); Im': índice de umidade (mm.ano<sup>-1</sup>).

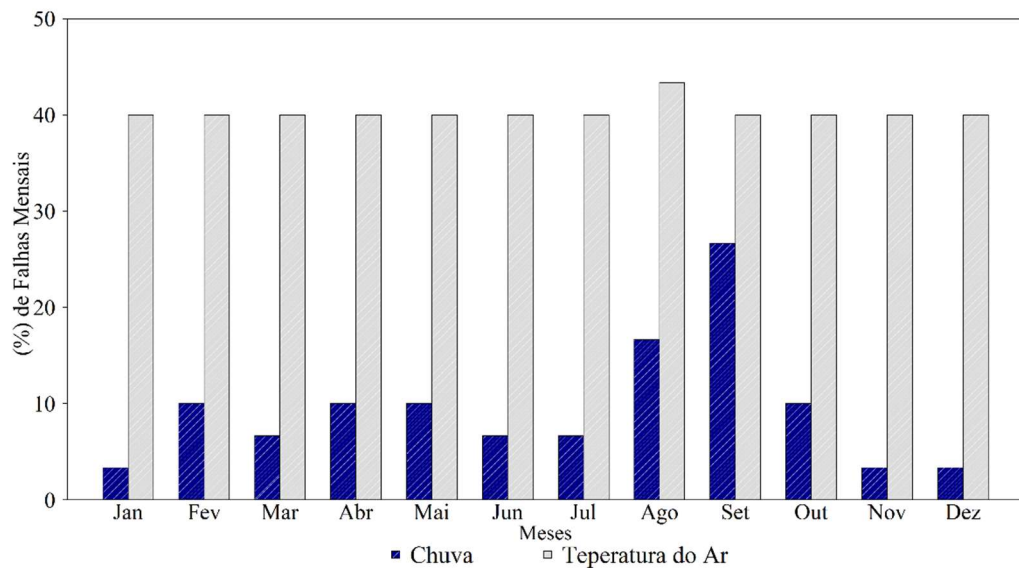
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise e preenchimento de falhas

Após seleção dos dados, com o preenchimento de falhas foi possível obter conjunto de dados íntegro, de modo a cobrir toda a série histórica analisada, para o município de Ibimirim – PE, no qual o conjunto analisado representa bem as condições pluviométricas da região. Silva *et al.* (2017) obtiveram dados de chuva e temperatura média do ar semelhantes ao da região, com uma obtenção com valores médios após preenchimento de falhas de precipitação e temperatura média do ar na região de Petrolina, localizada no alto Sertão pernambucano.

A análise de falhas dos dados de chuva e temperatura do ar (Figura 3) em Ibimirim (PE) mostrou uma similaridade quanto aos percentuais de falhas (~ 40%) nos dados de temperatura do ar ao longo dos meses do ano, porém, com percentual de falha superior a 43,33% observado no mês de agosto na série temporal de temperatura do ar. Quanto à chuva, observa-se uma significativa variabilidade dos seus valores nos respectivos meses de agosto (16,67%) e setembro (26,67%), seguidos de percentuais iguais de 3,33%; 10,00% e 6,67% nos demais meses da série temporal.

**Figura 3** - Percentual de falhas nos dados de precipitação e temperatura do ar, da série temporal de 1990 a 2019, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil.



### 3.2 Análise descritiva das chuvas e temperatura do ar

A análise descritiva da chuva indica que os menores volumes de chuva foram inferiores à mediana, inclusive em seis meses do ano com valores mínimo igual a zero, sem o acúmulo de chuva, registrados os valores mínimos entre 0,00 a 5,00 mm. Foi adotada a mediana como valor de referência pelo fato da existência de valores extremos de chuvas e temperaturas, onde valores superiores à mediana indicam estar ocorrendo chuvas com valores acumulados maiores, embora reflita na alta variabilidade.

Foram observados elevados coeficiente de variação em todos os meses da média histórica, com destaque para os meses com seca mais intensa, que corresponde de setembro a dezembro, e no mês de janeiro, o qual refere-se ao período mais chuvoso ao longo do ano. Vale destacar maiores valores de (CV) justamente no segundo semestre do ano, cujos valores ultrapassam 90%, demonstrando a alta variabilidade temporal das chuvas. Os meses que apresentaram os menores coeficientes de variação (CV) foram fevereiro (60,41%) e julho (67,61%), respectivamente. Porém, vale ressaltar que o mês de junho se destaca por apresentar as maiores variabilidades temporais, seguidas por baixos valores de chuvas historicamente (Tabela 2).

**Tabela 2** - Estatística descritiva dos parâmetros da série temporal de chuva no período de 1990 a 2019 em Poço da Cruz, Ibirimir-PE, Brasil.

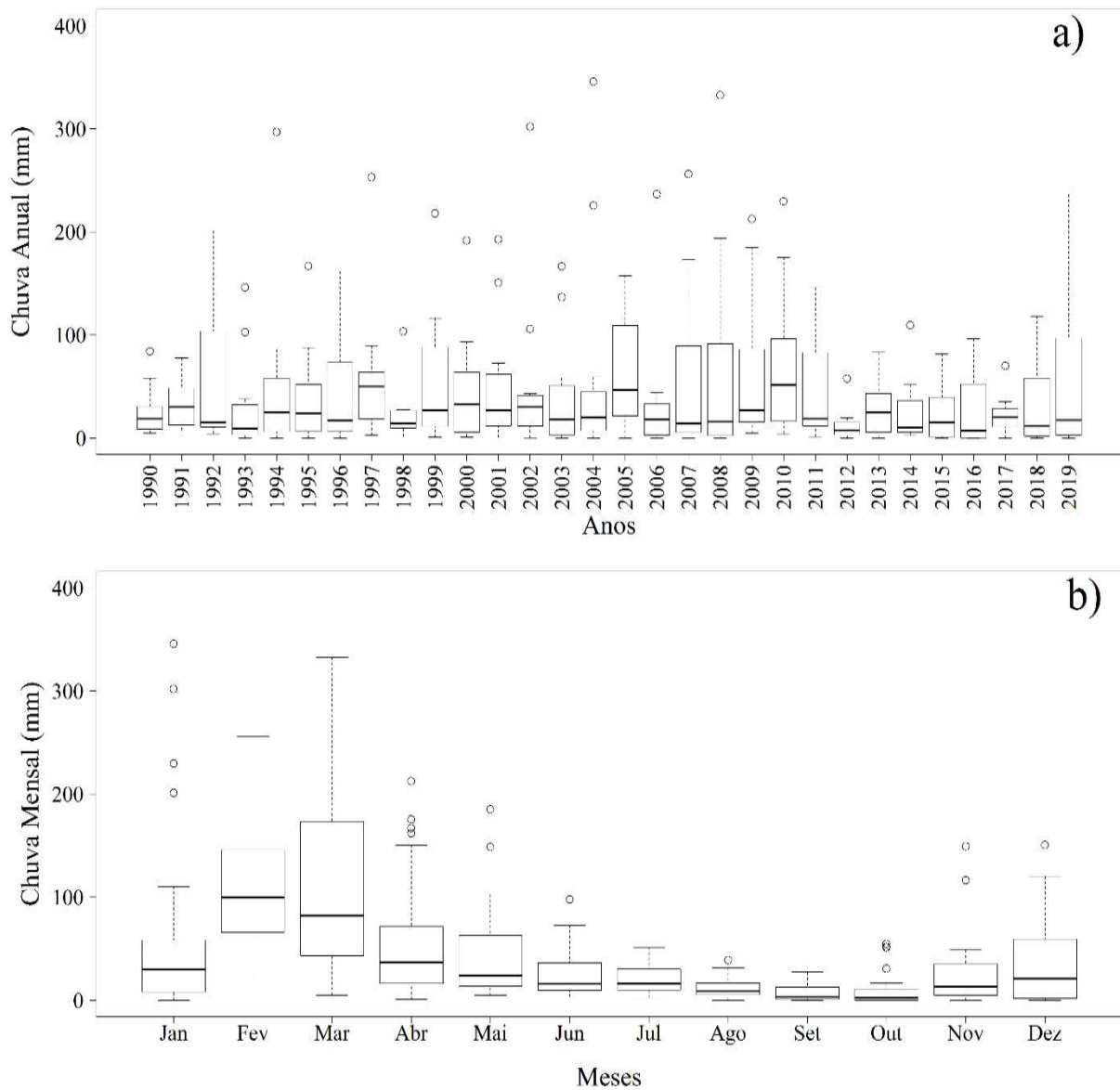
Meses	$\bar{x}$ (mm)	Md (mm)	Valores			Limites		CV (%)	Dp (mm)	Quartis		AIQ (mm)
			Vmi (mm)	Vma (mm)	At (mm)	Li (mm)	Ls (mm)			Q1 (mm)	Q3 (mm)	
JAN	62,16	29,00	0,00	345,00	345,00	-61,00	80,00	143,26	89,05	9,50	56,50	47,00
FEV	107,23	99,50	3,00	256,00	253,00	-47,12	184,62	60,41	64,78	68,75	146,00	77,25
MAR	111,33	81,50	5,00	332,00	327,00	-145,62	234,62	83,17	92,59	44,50	171,25	126,75
ABR	57,06	36,50	0,00	212,00	212,00	-61,87	96,37	102,05	58,23	17,25	70,00	52,75
MAI	44,60	23,50	4,00	185,00	181,00	-55,50	82,50	101,02	45,05	13,50	59,50	46,00
JUN	26,20	15,50	3,00	97,00	94,00	-27,50	46,00	93,72	24,55	9,25	33,75	24,50
JUL	19,86	15,50	2,00	51,00	49,00	-19,37	39,87	67,61	13,43	10,25	30,00	19,75
AGO	10,63	8,00	0,00	39,00	39,00	-9,75	20,25	86,35	9,18	5,25	15,25	10,00
SET	7,96	2,50	0,00	27,00	27,00	-14,37	16,37	128,45	10,23	1,00	11,25	10,25
OUT	9,53	2,50	0,00	54,00	54,00	-16,12	16,12	168,30	16,04	0,00	10,75	10,75
NOV	24,26	13,00	0,00	149,00	149,00	-37,37	47,37	136,95	33,23	5,00	33,25	28,25
DEZ	35,63	20,00	0,00	150,00	150,00	-81,62	87,12	111,50	39,73	2,75	59,00	56,25

Em que: média ( $\bar{x}$ ), mediana (Md), valor mínimo (VMi) e máximo (VMa), amplitude total (At), limites inferior (Li) e superior (Ls), coeficientes de variação (CV), desvio padrão (DP), quartil inferior (Q1) e superior (Q3), amplitude interquartilica (AIQ).

A análise descritiva da chuva para a estação Poço da Cruz, revelou que os meses de agosto e setembro apresentaram menores valores de DP e AIQ para a precipitação média mensal. Já os maiores valores de DP e AIQ coincidiram com os meses de março e janeiro, respectivamente, justamente maiores valores nos meses em que ocorre maior chuva acumulada e consequentemente maiores variabilidades ao longo de 30 anos. Isto demonstra que os meses de maior seca possuem menor variabilidade temporal quando comparado com os demais meses, que são historicamente meses de maior concentração de chuvas acumuladas, o que reflete numa alta variabilidade de ocorrência de chuvas, mesmo nos meses de maior incidência dessas chuvas.

Verificou-se uma alta variabilidade com presença forte de outliers durante a série histórica temporal, a presença maior dos valores de outliers ocorreu justamente nos anos em que a chuva acumulada anual foi superior à média histórica anual de 520,70 mm (Figura 4a). O mesmo ocorreu quando foram observadas as chuvas acumuladas mensais, onde a presença de outliers foi mais forte justamente nos meses em que ocorrem as maiores chuvas ao longo do ano (Figura 4b). Desta forma, tal variabilidade anual e mensal revela as incertezas de ocorrência de chuvas na região estudada, que possivelmente está associada à ocorrência e alterações dos ventos e correntes marítimas (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

**Figura 4** - Boxplot da precipitação acumulada (mm), variabilidade anual (a), e mensal (b), da série temporal de 1990 a 2019, Poço da Cruz, Ibirimir-PE, Brasil.



Os resultados obtidos mostram a distinção de período mais e menos seco em Ibirimir – PE. O mais seco ocorre entre os meses de junho a dezembro, com destaque de seca mais intensa de agosto a outubro. Vale salientar que o Sertão nordestino está localizado a Oeste do Oceano Atlântico, e quanto mais se distancia do Leste ao continente mais a precipitação diminui (REBOITA *et al.*, 2016). Tal diminuição é devido a circulações de sistemas atmosféricos e de brisa neste período, em que no primeiro semestre ocorre a incidência dos ventos alísios do Sul; e o inverso no período de menos chuvas, quando ocorrem os movimentos subsidentes de uma célula de circulação global atmosféricas no plano vertical-zonal (oeste-leste), denominado de célula de Wakker. Desta forma, os sistemas atmosféricos podem influenciar na

variabilidade das chuvas na região semiárida, uma vez que anomalias positivas na temperatura das águas da superfície do Oceano Atlântico causam condições secas sobre a região (MOURA; SHUKLA, 1981).

Com relação à temperatura do ar (Tabela 3) foram observados valores mínimos abaixo da mediana em todos os meses da série histórica analisada. Com valores extremos de 21,14 e 26,79 °C para os meses de julho e dezembro, respectivamente, a maioria destes valores pertencentes ao primeiro quartil de acordo com a estatística descritiva, com relação aos valores da temperatura média mensal com valores de 22,67 a 28,28 °C, para julho e dezembro, respectivamente, com destaque de temperaturas média a menos entre os meses de maio a julho.

A maioria dos valores das medianas foram acima da média mensal, quanto à presença de temperaturas mais elevadas, o mesmo foi observado por Fernandes *et al.* (2020), que verificaram aumento em cerca de 2 °C durante os meses de agosto a novembro, ao analisarem as normais climatológicas em região semiárida no Piauí, indicando e evidenciando a temperatura da seca presente na área de estudo. Foram observados baixos coeficientes de variação para todos os meses, com valores inferiores a 6%, demonstrando a baixa variabilidade temporal da temperatura média do ar, o período com CV menor foi o dos meses mais secos do ano. Já a época de maiores variações coincide com o início do período de maior precipitação, cujos valores de CV variaram de 2,34 a 5,02 (Tabela 3).

**Tabela 3** - Estatística descritiva dos parâmetros estatísticos da temperatura do ar da série temporal do período de 1990 a 2019, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil.

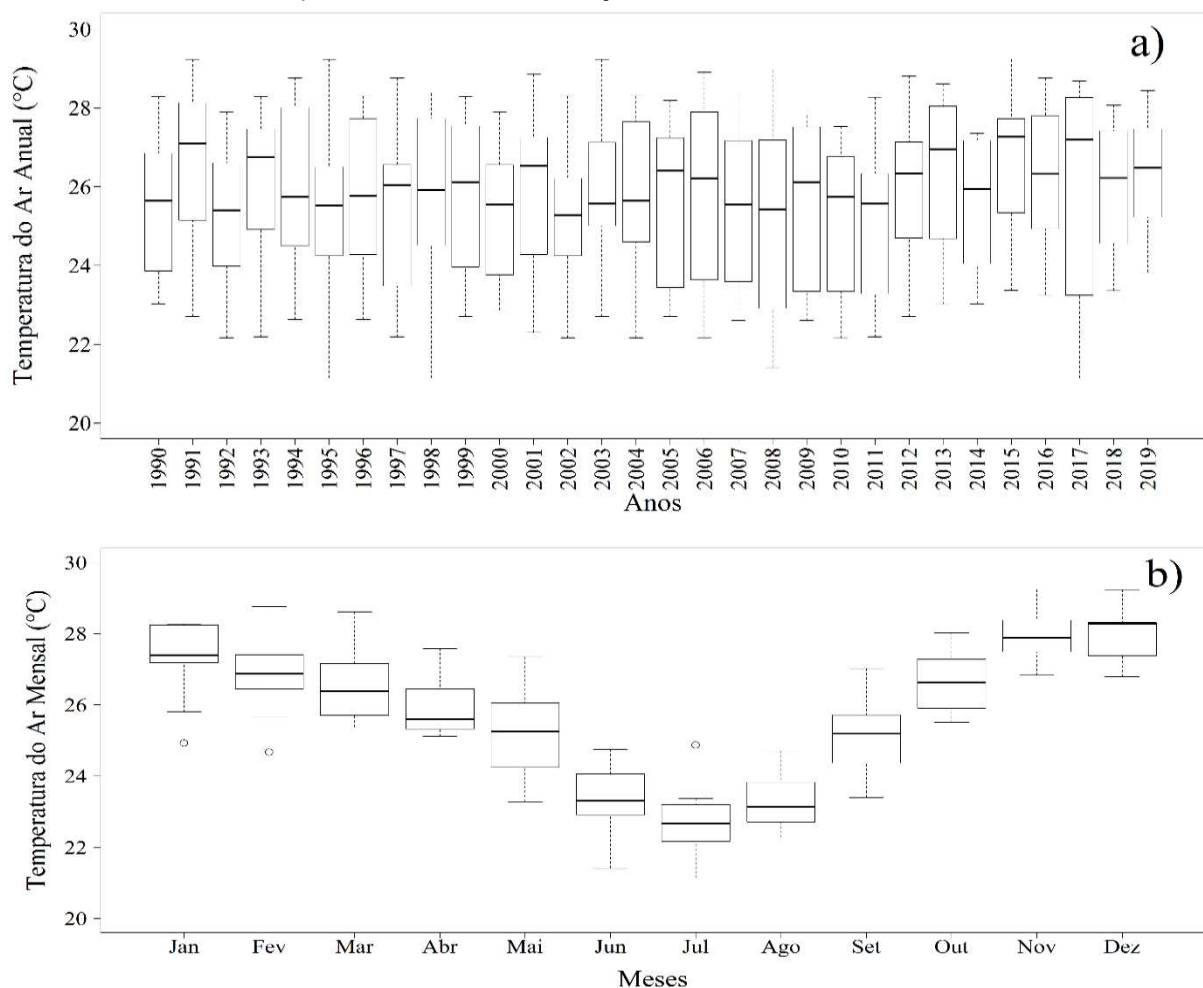
Meses	$\bar{x}$ (°C)	Md (°C)	Valores			Limites		CV (%)	Dp (°C)	Quartis		
			Vmi (°C)	Vma (°C)	At (°C)	Li (°C)	Ls (°C)			Q1 (°C)	Q3 (°C)	AIQ (°C)
JAN	27,41	27,40	24,92	28,27	3,35	-61,00	80,00	3,16	0,09	27,19	28,24	1,05
FEV	26,95	26,87	24,67	28,76	4,09	-47,13	184,63	3,89	0,10	26,46	27,40	0,09
MAR	26,52	26,39	25,38	28,61	3,23	-145,63	234,63	3,58	0,09	25,70	27,14	1,44
ABR	25,91	25,59	25,12	27,58	2,46	-61,88	96,38	3,16	0,08	25,32	26,43	1,11
MAI	25,29	25,25	23,28	27,35	4,07	-55,50	82,50	5,02	0,13	24,27	25,99	1,72
JUN	23,45	23,32	21,41	24,75	3,34	-27,50	46,00	3,34	0,08	22,95	24,01	1,06
JUL	22,62	22,67	21,14	24,87	3,73	-19,38	39,88	3,43	0,08	22,18	23,16	0,10
AGO	23,37	23,14	22,28	24,71	2,43	-9,75	20,25	3,32	0,08	22,77	23,82	1,06
SET	25,04	25,20	23,40	27,02	3,62	-14,38	16,38	3,70	0,09	24,37	25,71	1,34
OUT	26,68	26,64	25,51	28,02	2,51	-16,13	16,13	2,84	0,08	25,91	27,25	1,34
NOV	27,92	27,89	26,83	29,24	2,41	-37,38	47,38	2,37	0,07	27,50	28,38	0,09
DEZ	28,14	28,28	26,79	29,23	2,44	-81,63	87,13	2,34	0,07	27,51	28,31	0,08

Em que: média ( $\bar{x}$ ), mediana (Md), valor mínimo (VMi) e máximo (VMa), amplitude total (At), limites inferior (Li) e superior (Ls), coeficientes de variação (CV), desvio padrão (DP), quartil inferior (Q1) e superior (Q3), amplitude interquartilica (AIQ).

Os valores de DP e AIQ para temperatura foram baixos, o que indica que no período avaliado os dados tiveram uma leve modificação. Os valores de DP variaram de (0,07 a 0,13), e AIQ (0,08 a 1,44). Alguns dos maiores valores de DP e AIQ foram observados para os meses de maio e fevereiro. Conseqüentemente, maiores valores de amplitude total, respectivamente, o que possivelmente está relacionado ao início e término de estações do ano, uma vez que períodos distintos apresentam variabilidades diferentes (GURGEL; FERREIRA; LUIZ, 2003).

Quanto à variabilidade nos dados de temperatura anual, notou-se uma leve oscilação das temperaturas anuais (Figura 5a), sem a presença de valores outliers. Entretanto, quando verificadas as médias mensais, notou-se a presença de outliers apenas para os meses de janeiro, fevereiro e julho (Figura 5b), valores estes com temperaturas mais baixas que o normal, quando comparado a sua média mensal. Outro destaque é para a diminuição da temperatura de maio a julho, assim como o acréscimo, os quais coincidem com o final e início das chuvas, respectivamente.

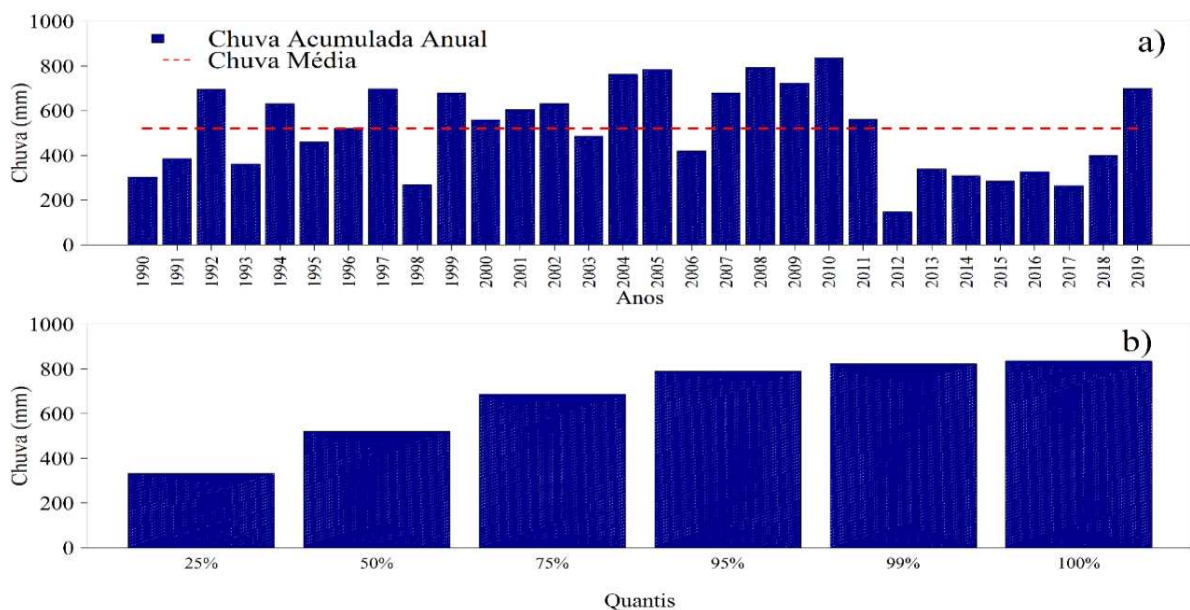
**Figura 5** - Boxplot da variabilidade da temperatura do ar média anual (a), e mensal (b), da série temporal de 2000 a 2019, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil.





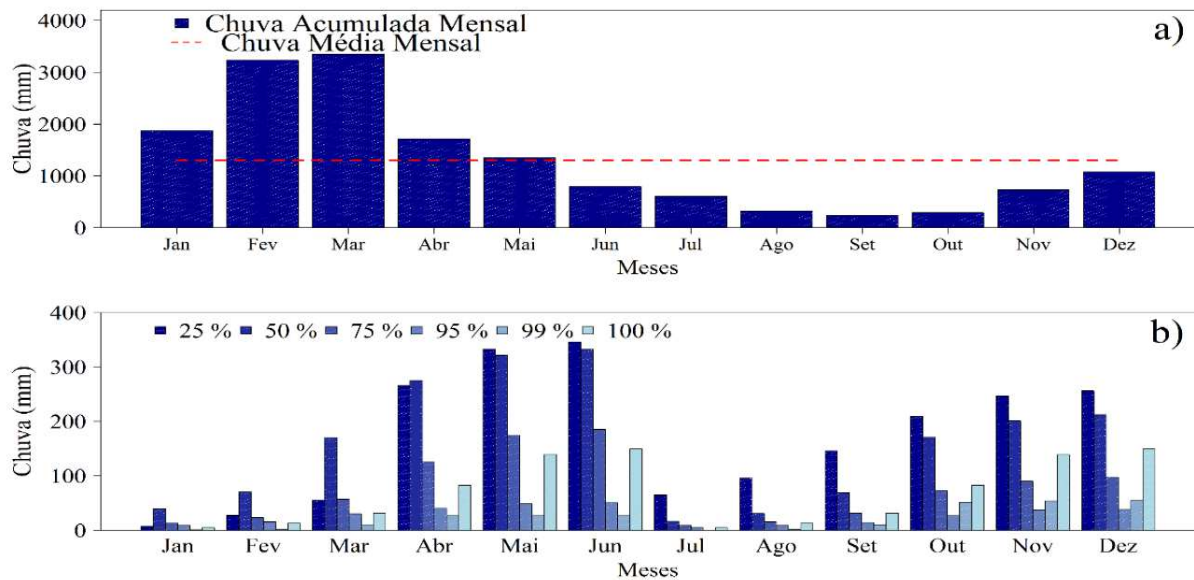
Com relação à variabilidade anual da chuva, observaram-se valores acima da média acumulada anual nos seguintes anos: 1992, 1994, 1996, 1997, 1999-2002, 2004, 2005, 2007-2011 e 2019 (Figura 6a). As menores diferenças anuais pluviométricas acumuladas foram registradas abaixo da média nos percentis do quantil de 25% (344,00 mm) da média e mediana. Enquanto as maiores diferenças superiores à média foram observadas nos percentis de 50% (540,00 mm), 75% (692,00 mm) e 100% (836,00 mm), dos quantis da mediana (Figura 6b).

**Figura 6** - Precipitação acumulada média anual (mm), em Poço da Cruz, Ibimirim-PE (a) e valores dos quantis (%) de chuva anual (b) para o período de 1990 a 2019.



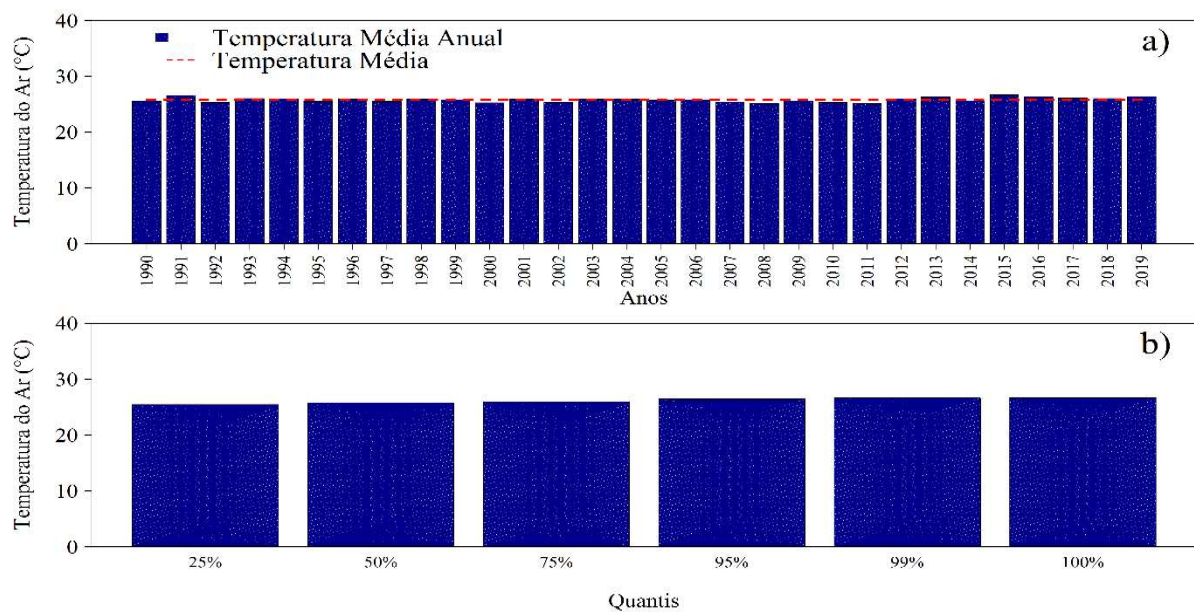
Na escala mensal, a análise da variabilidade da chuva média no período da série temporal mostrou que existem períodos distintos (Figura 7a) cujas chuvas ocorrem em maior intensidade dos meses de janeiro a maio. O inverso de junho a dezembro, cujos valores foram abaixo da chuva média mensal com (43,39 mm). Tais meses abaixo da média são: (26,67 mm) junho, (20,24 mm) julho, (10,97 mm) agosto, (8,27 mm) setembro, (9,77 mm) outubro, (24,53 mm) novembro e (35,93 mm) dezembro. Já nos meses de janeiro a maio, as chuvas ocorrem acima da média mensal, portanto as chuvas da região estudada são divididas em períodos distintos de seca. Quanto aos percentis dos quantis observam-se na (Figura 7b) valores acima da média para a maioria dos meses, principalmente nos primeiros quantis. A maior frequência foi verificada nos quantis de 25%, 50% e 75%, e os maiores valores justamente para alguns dos meses em que ocorrem mais chuvas na região.

**Figura 7** - Precipitação mensal acumulada (a) e percentual por quantis (b), da série temporal de 1990 a 2019, Poço da Cruz, Ibirimir-PE, Brasil.

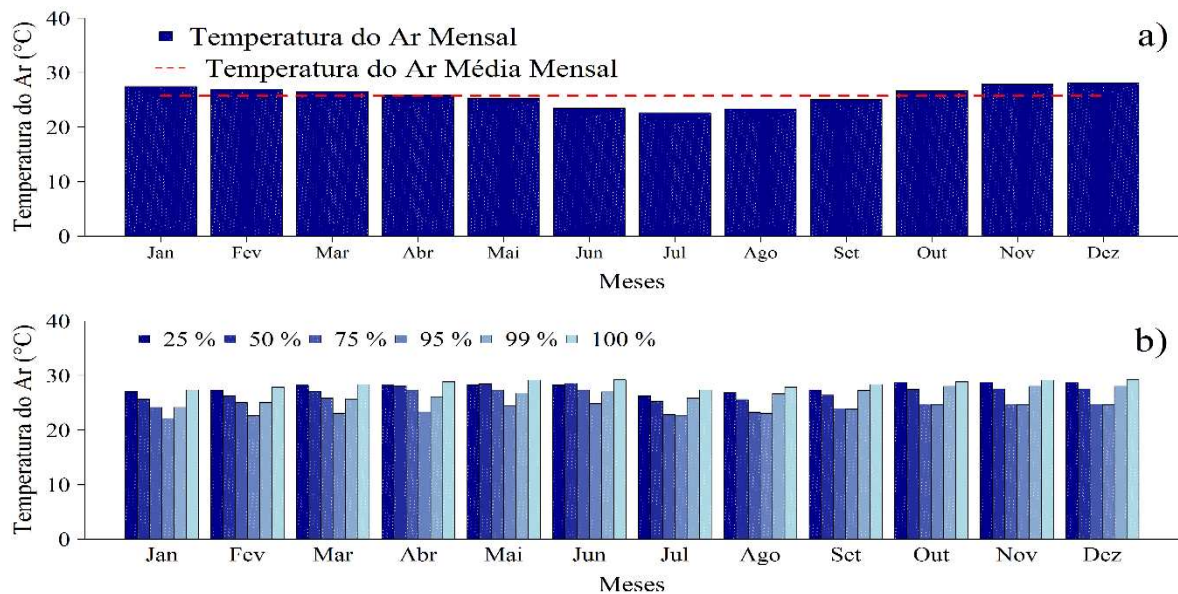


Com relação à temperatura, verificou-se uma similaridade de valores médios e de distribuição igualitária entre os quantis quando avaliadas as temperaturas médias anuais (Figura 8a e 8b). Já para os dados mensais, observam-se temperaturas mais baixas entre os meses de junho a agosto, variando de 22,62 °C a 23,45 °C (Figura 9a), valores inferiores à média anual. A maior concentração ocorre nos três primeiros quantis. Verificou-se similaridade em todos os meses do ano (Figura 9b).

**Figura 8** - Temperatura média anual em Poço da Cruz, Ibirimir-PE (a) e valores dos quantis (%) da temperatura média anual (b) para o período de 1990 a 2019.



**Figura 9** - Temperatura média mensal em Poço da Cruz, Ibimirim-PE (a), percentual por quantis da temperatura média do ar mensal, da série temporal de 2000 a 2019, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil.



Os menores totais de chuva foram superiores à mediana registrada no intervalo entre 7,96 e 111,33 mm, enquanto a temperatura do ar foi abaixo da mediana, no intervalo entre 22,62 e 28,14°C, ambas entre o 1º e o 3º quartil, respectivamente (Figuras 7 e 9). Diversas pesquisas associam a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre as latitudes Sul, e as variações de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos tropicais à variabilidade interanual no semiárido do Nordeste brasileiro (HASTENRATH, 1984; MARENGO *et al.*, 2011).

Apesar da existência da alta variabilidade e déficit hídrico, vale ressaltar que a região semiárida do Brasil é considerada umas das regiões de maiores taxas de pluviosidade desses ambientes semiáridos, categorizada inclusive como um dos semiáridos mais chuvosos de todos os continentes. No entanto, a incerteza dos eventos climáticos e a presença de eventos extremos é o que torna preocupante o cenário, devido às altas taxas de evapotranspiração, que variam de 1500 mm a 3000 mm, que faz com que esta região seja semiárida. Na região, a taxa de insolação é elevada, o que faz com que a evapotranspiração supere a precipitação, atrelado à alta variabilidade e períodos extensos sem chuvas (ANDRADE, 2017).

As chuvas mensais que ocorrem em maior concentração têm as seguintes precipitações acumuladas: janeiro (62,50 mm), fevereiro (107,60 mm), março (111,72 mm), abril (57,42 mm) e maio (45,00 mm). Os demais meses com menores valores de precipitação, em destaque aos meses de agosto a outubro. Algo semelhante foi

encontrado por Aquino e Oliveira (2013) ao analisar a distribuição da precipitação em diversos municípios da região semiárida do estado do Piauí, inclusive de mesmas características de maior déficit hídrico entre os meses de agosto a outubro, assim como a maior ocorrência das chuvas de janeiro a maio.

Uma das principais observações destas mudanças do clima ao longo dos anos refere-se à alteração do regime hídrico. Como ocorre, por exemplo, devido aos fenômenos El Niño e La Niña, em consequência das fortes alterações dos ventos e correntes marítimas (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017). O fenômeno El Niño tem demonstrado que é responsável por anomalias climáticas, em especial no Nordeste do Brasil, causando principalmente alterações na precipitação. Embora a temperatura possa ser modificada, tal fenômeno está ligado à diminuição dos ventos alísios; e, além disso, do aquecimento superficial do Pacífico Tropical. Já o La Niña ocorre devido aos efeitos inversos dos ventos e da temperatura das águas do Pacífico (BRITTO; BARLETTA; MENDONÇA, 2008).

### 3.3 Análise temporal do índice de seca SPI-12

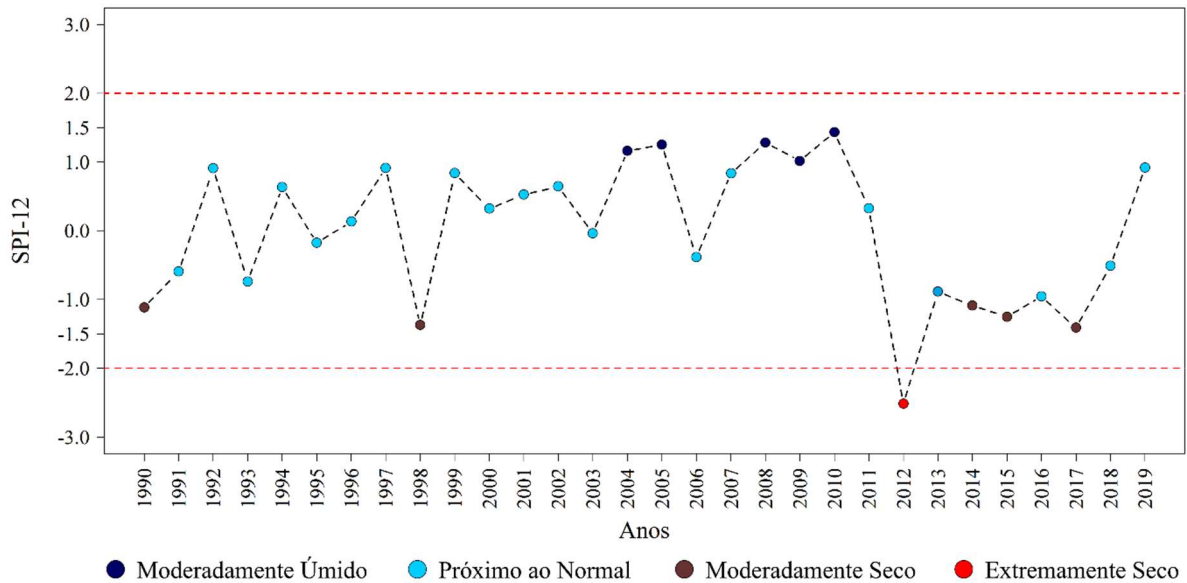
A análise temporal do SPI-12 nas décadas de 1990, 2000 e 2010 no município de Ibimirim – PE (Tabela 4 e Figura 10) registrou 5 eventos na categoria moderadamente úmido, 19 próxima ao normal, 5 moderadamente seca e 1 extremamente seco. Os maiores registros de eventos foram na categoria próxima ao normal para todas as décadas analisadas conforme descrito o percentual na (Tabela 4).

Em geral, o SPI-12 contabilizou o maior registro na categoria próxima ao normal, num total de 19 anos da série histórica, o que corresponde a 63,33% dos anos analisados, seguido das demais categorias: moderadamente úmido, 5 anos (16,66%); moderadamente seco, 5 anos (16,66%); e extremamente seco, 1 ano (3,33%).

**Tabela 4** - Número de anos por décadas e percentual, de acordo com a classificação de períodos secos e úmidos com base nos valores obtidos de SPI-12, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil.

Período / Categoria	Moderadamente úmido	Próxima ao normal	Moderadamente seco	Extremamente seco	Total
1990-1999	0(0,00%)	8(42,11%)	2(40,00%)	0(0,00%)	-
2000-2009	4(80,00%)	6(31,58%)	0(0,00%)	0(0,00%)	-
2010-2019	1(20,00%)	5(26,32%)	3(60,00%)	1(100,00%)	-
<b>Total</b>	<b>5(100%)</b>	<b>19(100%)</b>	<b>5(100%)</b>	<b>1(100%)</b>	<b>30 anos</b>

**Figura 10** - Distribuição anual do Standardized Precipitation Index (SPI), SPI-12, de 1990 a 2019, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil.



Com base nos valores de SPI-12 e chuva acumulada anual, os anos foram categorizados como: (moderadamente úmidos: 2004, 2005, 2008-2010); (próximo ao normal: 1992-1997, 1999-2003, 2006, 2007 e 2019); (moderadamente secos: 1990 e 1998); e (extremamente seco: 2012). Os anos de menor e maior chuva acumulada anual coincidiram com as ocorrências dos eventos climáticos como El Niño e La Niña, tais coincidências foram confirmadas por (GUEDES; MACEDO; SOUSA, 2012; GOIS *et al.*, 2013), ao analisar o SPI em regiões susceptíveis ao déficit hídrico, onde corroboraram com a categorização ONI (°C). Já com relação à temperatura o mesmo não foi notado, tendo em vista que a temperatura média mensal foi praticamente a mesma durante os meses do ano.

Os resultados da análise do Índice de Precipitação Padronizado SPI-12 revelaram que os anos de 1990, 1998 e 2012 foram os mais secos da série histórica temporal (Figura 10), com os menores valores obtidos do SPI-12, respectivamente, os quais coincidiram com o evento climático de La Niña moderada. Com base nos valores do SPI-12 vale destacar o agravamento da seca na última década, em destaque entre os anos de 2012 a 2017, cujo valor obtido do SPI-12 no ano de 2012 foi de (-2,25), o que equivaleu a uma seca extrema. Os demais valores categorizados como moderadamente secos da série histórica para os anos de 1990 e 1998, cujos valores variaram de (-1,12) e (-1,37), respectivamente.

A categoria “moderadamente seco” se sobressaiu na última década analisada, o que demonstra seca presente durante a série temporal analisada, com alguns anos

de secas mais severas pertencente a categoria “extremamente seca”. Valem destacar-se as menores precipitações de 2012 a 2018 (Figura 10), os quais foram abaixo da média anual. O mesmo fenômeno tem sido notado por Alves *et al.* (2017), o que valida a região semiárida brasileira como local com altos valores de déficit hídrico no solo ao longo dos anos analisados.

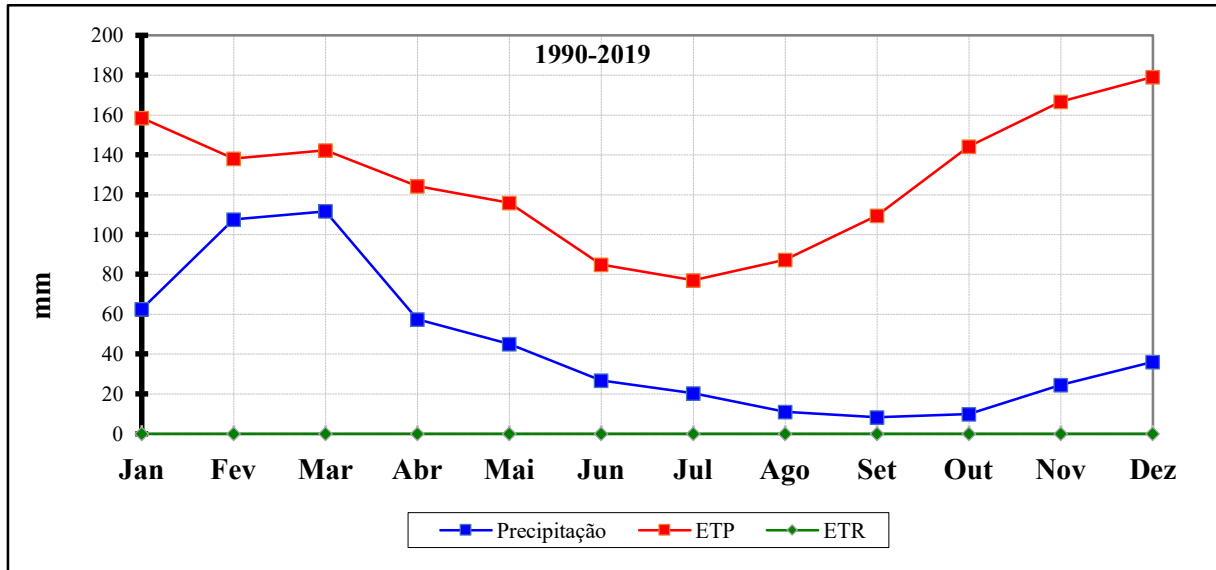
A alta variabilidade interanual da chuva para o município analisado pelo SPI-12 foram observados, assim como a atuação dos fatores de mudanças climáticas globais, como os eventos de atuação de El Niño e La Niña. Foi verificado em anos de La Niña que houve tendência próximo ao normal, a moderadamente úmido. Os maiores valores de chuva anual em destaque foram os seguintes anos: 1992, 1994, 1996, 1997, 1999-2002, 2004, 2005, 2007-2011 e 2019 (são categorizados como anos de ocorrência de La Niña, na maioria dos casos). Os menores registros ocorreram nos demais anos da série temporal analisada, com destaque para os anos de seca severa (com características de secas, meteorológicas, agrícolas e hidrológicas): 1993, 1994 e 2012 (são categorizados como anos de ocorrência de La Niña e Neutro de acordo com a categorização ONI (°C)).

### **3.4 Análise do balanço hídrico climatológico - BHC**

De acordo com Oliveira *et al.* (2010), ao realizarem estudo na região do Moxotó, em específico no município de Sertânia, verificou-se em sua série temporal a tendência de concentração de chuvas entre os meses de janeiro a maio. Corroborando assim com os dados da série temporal analisada, inclusive com a alta variabilidade ao decorrer dos dias dos meses, característica das chuvas que ocorrem na região.

Os valores de Evapotranspiração Potencial - ETP foram superiores aos valores de precipitação em todos os meses, apesar dos valores de ETP de junho a agosto serem menores que o resto do ano, provavelmente devido às menores temperaturas registradas nesse período. Os valores de precipitação não conseguiram superar os valores médios do volume de água que foi retirada do solo, como se pode observar na (Figura 11).

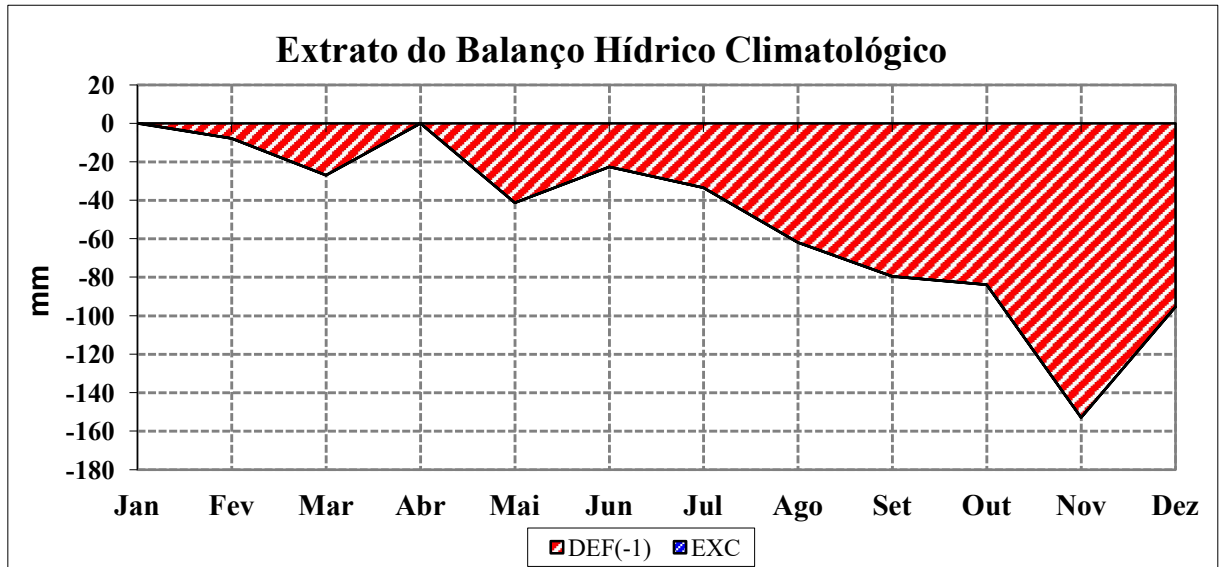
**Figura 11** - Precipitação acumulada mensal (mm), evapotranspiração potencial - ETP (mm) e de referência – ETR (mm) média mensal, de 1990 a 2019, Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil.



O extrato do BHC para a estação Poço da Cruz, no município de Ibimirim-PE, referiu-se aos anos mais chuvosos, numa série histórica de 30 anos, incluindo valores dos elementos climatológicos de entrada: temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e precipitação (mm); já os elementos de saída foram: evapotranspiração potencial (mm), armazenamento de água no solo (mm), evapotranspiração real (mm), excedente hídrico (mm) e deficiência hídrica (mm).

Foi possível identificar os anos de maior influência de La Niña da série histórica analisada, como os anos de 1999, 2000 e 2010, cujo valor de SPI os classificaram como próximo ao normal a moderadamente úmido baseada no SPI-12, com valores satisfatórios de chuva, quando comparado aos outros anos. E valores esses registrados em especial durante os meses de janeiro a maio, em anos do fenômeno de La Niña. No entanto, foi verificada a presença severa de seca ao longo dos anos, como destaque e exemplo o ano de 2010, com maior precipitação acumulada anual de 835,00 mm, que não apresentou excedente hídrico em nenhum dos meses do ano (Figura 12).

**Figura 12-** Níveis (mensais) de excedente hídrico - EXC (mm) e deficiência hídrica - DEF (mm), Poço da Cruz, Ibimirim-PE, Brasil.



Para a série temporal foi verificada uma temperatura média anual de 25,8 °C, valor mínimo de média mensal de 22,6 °C para o mês de julho, e máxima de 28,1 °C para o mês de dezembro. A precipitação pluviométrica ao longo de trinta anos apresentou um total médio anual das médias acumuladas de 520,70 mm e média mensal de 43,40 mm, com distribuição mais acentuada acima da média de janeiro a maio, e valores baixos no restante dos meses, com destaque para seca severa para os meses de agosto ao término de outubro, quando comparado com a média histórica.

Por mais que existam maiores precipitações durante os meses de janeiro a maio, o volume de água no solo é insuficiente para suprir as taxas de evapotranspiração na região. A sua deficiência ocorre em todos os meses do ano, como observado no BHC, indicando que para atividades agrossilviculturais é necessária a disponibilização de tecnologias de irrigação hídrica ao longo do ano. Com isso, os saldos de excedente e reposição não suprem a necessidade da retirada de água do sistema.

Com relação aos índices hídricos, de aridez e de umidade foi possível realizar a classificação climática com base na metodologia de Thornthwaite e Mather (1955). Tais valores dos índices estão descritos na (Tabela 5), de acordo com a chave para a classificação, em que o valor de (lu) foi de (-64,55), categorizado como “D”, indicando um clima Semiárido; perante a segunda chave de classificação de acordo com o índice de aridez (la), cujo valor foi de (66,73) e o índice hídrico (lh) igual a (2,17) foi



categorizado como (d), indicando deficiência hídrica no período de maior concentração de chuvas; quanto a classificação da terceira chave, em virtude do valor da Evapotranspiração potencial anual - ETP que foi de (1563,4 mm), foi classificada do tipo (A), com características de clima megatérmico; a quarta chave de classificação foi em virtude da evapotranspiração potencial de verão - ETPv igual a 866,2 mm, obtido pelo somatório da ETP de (junho a dezembro), assim a ETPv/ETPanual foi igual a 44,59%, de acordo com a chave é do tipo (a).

**Tabela 5** - Balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite; Mather (1955), para estação Poço da Cruz, Ibimirim-PE, no período de 2000 a 2019.

Ih (%)	Ia (%)	Iu (%)	ETPanual	ETPv/ETPa(%)
2,17	66,73	-64,55	1563,44	44,59
-	d	D	A'	a'

De acordo com a metodologia aplicada, o clima para a cidade de Ibimirim-PE é do tipo (DdA'a'), com características semiárida e de alta deficiência hídrica, a mesma classificação foi verificada por Francisco *et al.* (2015) ao Norte do polígono da região semiárida, mais especificamente no estado da Paraíba.

#### 4. CONCLUSÃO

Foi identificado déficit hídrico em todo o ano, com período mais crítico entre agosto a outubro e período de mais chuvas de janeiro a maio. Com alta variabilidade pluviométrica, inclusive nos meses de menores acumulados de chuvas, devido à ocorrência de chuvas fora de época, e até mesmo de maiores concentrações. Já os valores médios para temperatura se mostraram constantes.

Com base no SPI-12, mostrou-se uma alta variabilidade na série analisada, com categorias variadas ao longo das décadas, e predominância na categoria próximo ao normal, com secas mais intensas nos anos de 1990, 1993, 1998 e 2012.

A chuva acumulada mensal e anual é altamente variável para o município de Ibimirim-PE. Observou-se um alto déficit hídrico, considerado como seca agrícola e hidrológica, o que remete a características de impactos de stress hídrico às plantas e redução de biomassa, classificado como clima do tipo (DdA'a').

## 5. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. E. P. *et al.* **Caracterização do balanço hídrico climatológico decenal na Fazenda Santa Luzia, município de Jaborandi, BA.** Sete Lagoas (MG): EMBRAPA – Milho e Sorgo, 2020. 14p. (EMBRAPA-Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 1º edição). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/211970/1/Cot-242.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2020.
- ALVES, J. M. B. *et al.* Eventos Extremos Diários de Chuva no Nordeste do Brasil e Características Atmosféricas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 2, p. 225-236, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863220012>.
- ALVES, J. M. B.; SERVAIN, J.; CAMPOS, J. N. B. Relationship Between Ocean Climate Variability and Rain Fed Agriculture in Northeast Brazil. **Climate Research**, v. 38, p. 225-236, 2009. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr00786>.
- ANANIAS, D. S.; *et al.* Climatologia da estrutura vertical da atmosfera em novembro para Belém - PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo (SP), v. 25, n. 2, p. 218-226, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862010000200006>.
- ANDRADE, E. M. A floresta tropical seca, caatinga: as certezas e incertezas das águas. **Trim**, v. 12, p. 11–20. 2017. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5922951>. Acesso em: 12 dez. 2020.
- AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. Emprego do Método de Thornthwaite & Mather (1955) para Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico do Núcleo de Degradação de São Raimundo Nonato - Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 1, p. 79-90, 2013. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v06.1.p079-090>.
- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações estatísticas de climatologia: teoria e prática.** Pelotas (RS): Editora Universitária/UFPel, 1966. 161p.
- BARRA, T. S.; *et al.* Caracterização climatológica da severidade de secas do estado do Ceará-Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande (PB), v. 6, n. 1, p. 266-272, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000200015>.
- BARROS, A. H. C. *et al.* 2012. **Climatologia do Estado de Alagoas.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n.211. Recife (PE): Embrapa Solos, 32p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/950797/climatologia-do-estado-de-alagoas>. Acesso em: 12 dez. 2020.
- BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As Plantas e o Clima: Princípios e aplicações.** 1. ed. Guaíba (RS): Agrolivros, 2017. 352p.
- BLAIN, G. C.; BRUNINI, O. Avaliação e adaptação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) e do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) às condições climáticas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 64, n. 4, p. 695-705, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000400020>.
- BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade Espacial E Temporal Da Precipitação Pluvial No Rio Grande Do Sul: Influência Do Fenômeno El Niño Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, p. 37–48, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v3i0.25408>.

CASSETARI, G. A.; QUEIROZ, T. M. Balanço hídrico e classificação climática na bacia do Rio Jauquara, região de transição entre o Cerrado e Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 70-88, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.59513>.

FERNANDES, G. S. T. *et al.* Classificação climática e aptidão agrícola para Bom Jesus-PI em diferentes cenários climáticos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, p. 38-48, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2801.038-048>.

FREITAS, C M (Org.). **Guia de Preparação e Respostas do Setor Saúde aos Desastres**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2018.

FRANCISCO, P. R. M. *et al.* Classificação Climática de Koppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 1006-1016, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150049>.

FRANCISCO, P. R. M.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, D. Oscilações pluviométricas dentre os regimes diferenciados de precipitação no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 6, p. 360-371, 2015. DOI: <https://doi.org/10.7127/rbai.v9n600354>.

GARRIDO, C. África, catástrofes naturais e desenvolvimento. **Africana Studia**, n. 2, p. 153-162, 1999. Disponível em: [https://ojs.letras.up.pt/ojs/index.php/1\\_Africana\\_2/article/viewFile/7077/6500](https://ojs.letras.up.pt/ojs/index.php/1_Africana_2/article/viewFile/7077/6500). Acesso em: 22 jul. 2020.

GOIS, G. *et al.* Variabilidade pluviométrica, indicadores de seca e a aplicação do índice SPI para a região do médio vale Paraíba do Sul no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 122-157, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.66703>.

GOIS, G. *et al.* Variabilidade anual e mensal da chuva e da temperatura do ar no município de Resende, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 67-88, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v24i0.61611>.

GOIS, G. *et al.* Severidade da seca no estado do Tocantins e suas relações com os eventos de El Niño. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 1973-1989, 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/244476905\\_Drought\\_severity\\_on\\_tocantins\\_state\\_and\\_its\\_relations\\_with\\_el\\_nino\\_events](https://www.researchgate.net/publication/244476905_Drought_severity_on_tocantins_state_and_its_relations_with_el_nino_events). Acesso em: 12 dez. 2020.

GUEDES, R. V. S.; MACEDO, M. H.; SOUSA, F. A. S. Análise Espacial de Eventos de Secas com base no Índice Padronizado de Precipitação e Análise de Agrupamento. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 23, p. 55-65, 2012. Disponível em: [http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes\\_RBCIAMB/article/view/332](http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/332). Acesso em: 12 dez. 2020.

GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 85-90, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000100014>.

HARRELL, F. E. JR. **Regression modeling strategies with applications to linear models, logistic regression and survival analysis**. Nova Iorque (EUA): Springer-Verlag, 2001. 522p. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-19425-7>. Acesso em: 1 jul. 2020.

HASTENRATH, S.; GREISCHAR, L. Circulation mechanisms related to northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Geophysical Research**, v. 98, p. 5093-5102, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1029/92JD02646>.

HASTENRATH, S. Interannual variability and annual cycle: Mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic sector. **Monthly Weather Review**, v. 112, n. 6, p. 1097-1107, 1984. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1984\)112%3C1097:IVAACM%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1984)112%3C1097:IVAACM%3E2.0.CO;2).

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. In: MCCARTHY, J.J. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, Cambridge, p. 1032, 2001.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The physical science basis**. Cambridge: IPCC, p. 18, 2007.

JILLO, A.Y. *et al.* Characterization of regional variability of seasonal water balance within Omo-Ghibe River Basin, Ethiopia. **Hydrological Sciences Journal**, v. 62, n. 8, p. 1200-1215, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1313419>.

LOPES, I. *et al.* Espacialização da precipitação para a região do submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 5, p. 892-903, 2016. DOI: <https://doi.org/10.7127/rbai.v10n500459>.

LYRA, G. B.; OLIVEIRA-JÚNIOR J. F.; ZERI M. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Alagoas state, Northeast of Brazil. **International Journal of Climatology**, Londres (Reino Unido), v. 34, n. 13, p. 3546-3558, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.3926>.

MANIÇOBA, R. M. *et al.* Índice de anomalias de chuva para diferentes mesorregiões do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 110-1119, 2017. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbqf.v10.4.p1110-1119>.

MARENGO J. A. *et al.* Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1973-1985, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>.

MARENGO J. A.; *et al.* A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, São Paulo (SP), v. 106, n. 1, p. 31-44, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p31-44>.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. 2011. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, P. S. (Orgs.). **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande (PB): INSA, 2011. p. 443.

MARENGO, J. A.; *et al.* 2011. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro, In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande (PB): Instituto Nacional do Semiárido-INSA, 2011. p. 384-422.

MATALLO JÚNIOR, H. A desertificação no mundo e no Brasil. In: SCHENKEL, C. S. e MATALLO JR, H. (Org.). **Desertificação**. Brasília (DF): UNESCO, 2003.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. Drought monitoring with multiple time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 9. 1995, Dallas, TX (EUA). p. 233-236.

McKEE, T.B. *et al.* The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8. 1993, Anaheim, CA (EUA).

MEDEIROS, R.M.; *et al.* Classificação climática e zoneamento agroclimático para o município de Amarante-Pi. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 2, p. 170-180, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v7n200011>.

MEDEIROS, R. M.; FRANCISCO, P. R. M.; BANDEIRA, M. M. Balanço Hídrico Climatológico, em Decorrência do Aquecimento Global, no Município de Picuí - Semiárido Paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, p. 59-72, 2012. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i1.232757>.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journals of the Atmospheric Sciences**, v. 38, n. 12, p. 2653-2675, 1981. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1981\)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1981)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2).

NOAA/CPC (National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Prediction Center). **Cold and Warm episodes by season**. 2019. Disponível em: [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). Acesso em: 1 jul. 2020.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperatures, wind stress, and rainfall over the tropical over the tropical Atlantic and South America. **Journals of the Atmospheric Sciences**, v. 9, n. 10, p. 2464-2479, 1996. DOI: [https://doi.org/10.21175/1520-0442\(1996\)009<2464:VOSSTW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.21175/1520-0442(1996)009<2464:VOSSTW>2.0.CO;2).

OLIVEIRA, T. H. *et al.* Índice de Umidade (NDWI) e Análise Espaço-Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 55-69, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1984-2295.20100009>.

QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2020. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 12 dez. 2020.

SANTOS, J. C. *et al.* Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest Jean. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 276–286, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1177/194008291100400306>.

SILVA, A. R. *et al.* Variações no índice de anomalia de chuva no semiárido. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, p. 377-384, 2017. DOI: <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1420.377-384>.

SILVA, L. L. DA; *et al.* Influence of precipitations on agricultural productivity in Paraíba State. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 454–461, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000400013>.

SELLERS, W. D., **Physical climatology**. Chicago (EUA) & Londres (Reino Unido): Universidade de Chicago, 1965. 272p.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; ARAÚJO, L. E. Classificação da precipitação diária e impactos decorrentes dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife - PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife (PE), v. 5, n. 2, p. 250-268, 2012. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i2.232788>.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. 2017. R Foundation for Statistical Computing, Viena (Áustria). Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 01 jul. 2020.

REBOITA, M. S. *et al.* Causas da semi-aridez do sertão nordestino. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.19, p. 254-277, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v19i0.42091>.

REZAEI, A.; MOHAMMADI, Z. Annual safe groundwater yield in a semiarid basin using combination of water balance equation and water table fluctuation. **Journals of African Sciences**, v. 134, p. 241-248, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.06.029>.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas (SP), v. 66, n. 4, p. 257-533, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400022>.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, p. 1606-1626, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-043\(1987\)115<1606:GARSPP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-043(1987)115<1606:GARSPP>2.0.CO;2).

ROPELEWSKI, C. F.; JONES, P. D. An Extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index. **Monthly Weather Review**, v. 15, p. 2161-2165, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115%3C2161:AEOTTS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115%3C2161:AEOTTS%3E2.0.CO;2).

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre (RS): Artmed, 2017. 888p.

TERASSI, P. M. B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; GALVANI, E. Variabilidade do Índice de Precipitação Padronizada na Região Norte do Estado do Paraná Associada aos Eventos de El Niño-Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo (SP), v. 33, n. 1, p. 11-25, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786331002>.

THOM, H. C. S. **Some methods of climatological analysis**. Genebra (Suíça): World Meteorological Organization, 1966. 53p.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geogr. Rev**, v. 38, p. 55-94, 1948. DOI: <https://doi.org/10.2307/210739>.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Nova Jersey (EUA): Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in climatology, v.8)

VAN, B.; OUDSHOORN, C. G. M. **Multivariate imputation by chained equations. MICE V1.0 User's Manual**. Report PG/VGZ/00.038. Leiden: TNO Preventie en Gezondheid, 2000.

U, B. *et al.* Soil moisture variations at different topographic domains and land use types. In: User's Manu the semi-arid Loess Plateau, China. **Catena**, v. 165, p. 125-132, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.01.020>.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa (MG): Imprensa Universitária, 1991. 449p.

YU, B. *et al.* Soil moisture variations at different topographic domains and land use types in the semi-arid Loess Plateau, China. **Catena**, v. 165, p. 125-132, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.01.020>.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S. Classificação e Monitoração de Períodos Secos e Chuvosos e Cálculo de Índices Pluviométricos para a Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia/Cadernos de Recursos Hídricos**, Porto Alegre (RS), v. 5, n. 2, p. 7-31, 1987.

## **CAPÍTULO II**

### **ESTRUTURA, DINÂMICA E CRESCIMENTO EM FLORESTA TROPICAL SAZONALMENTE SECA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO, BRASIL**



## RESUMO

Analisou-se a dinâmica da estrutura horizontal da vegetação arbórea, nos períodos: 2008–2016; 2008 –2017 e 2008 – 2019, em duas áreas de fragmento de Caatinga, denominadas: (A1) (desmatada com uso de correntões) em 1987; e (A2) (“mais preservada”), sem histórico de desmatamento, em Floresta – PE. Foi verificada a precipitação anual em virtude de que os fenômenos ambientais possam influenciar a vegetação. Foram consultados dados do Instituto Nacional de Meteorologia e Agência Pernambucana de Águas e Climas. Para monitoramento da vegetação instalaram-se 40 parcelas permanentes de (20 m x 20 m), com coleta de dados em (2008 e 2011 a 2019). Foram considerados apenas indivíduos e fustes com circunferência a 1,30 m do solo  $\geq 6$  cm. Foram avaliados os nº de indivíduos e de fustes, listagem florística, densidade, frequência, dominância, valor de importância, índice de diversidade de Shannon, alterações na área basal ao longo dos anos, taxas de ingresso, mortalidade e crescimento líquido e bruto. Foi realizada análise de regressão linear simples, para verificar influências de escalas espaciais. O índice de diversidade de Shannon na (A1) inicialmente foi de 1,94 nats.ind<sup>-1</sup>, com decréscimos para os anos seguintes, na última ocasião de 1,75 nats.ind<sup>-1</sup>. O mesmo ocorreu na (A2), inicialmente com 1,94 nats.ind<sup>-1</sup>, e na última ocasião com 1,75 nats.ind<sup>-1</sup>. Foram encontrados inicialmente na (A1): 9 famílias, 19 gêneros e 22 espécies; já no ano de 2019 eram 7 famílias, 16 gêneros e 19 espécies. Não diferente, na (A2) houve decréscimo também. Em 2008, (A2) apresentou 11 famílias, 24 gêneros e 26 espécies, e na última ocasião foram 8 famílias, 23 gêneros e 23 espécies. A densidade absoluta na A1 para os períodos de 2008, 2016, 2017 e 2019 foram: 660 indivíduos.ha<sup>-1</sup>, 585 indivíduos.ha<sup>-1</sup>, 556 indivíduos.ha<sup>-1</sup> e 552 indivíduos.ha<sup>-1</sup>. Já para (A2) foram: 1.382 indivíduos.ha<sup>-1</sup>, 909 indivíduos.ha<sup>-1</sup>, 874 indivíduos.ha<sup>-1</sup> e 846 indivíduos.ha<sup>-1</sup>. As espécies que apresentaram maiores valores de importância nos intervalos avaliados na dinâmica, para (A1): *Cenostigma bracteosum*, *Jatropha mollissima* e *Astronium urundeuva*; Já na (A2) foram: *C. bracteosum*, *Astronium urundeuva* e *Mimosa ophthalmocentra*, durante o decorrer dos anos para ambas as áreas as espécies alternaram a posição no valor de importância, exceto a *C. bracteosum*. As taxas de mortalidade superaram as taxas de ingressos. Apesar das taxas de mortalidade terem sido superiores a de ingressos, foi percebido aumento na área basal para a (A1), onde os anos de 2008, 2016, 2017 e 2019 apresentaram os seguintes valores: 3,1 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, 3,8 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, 3,9 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> e 4,6 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, já na (A2) foi de 8,3 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, 6,4 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, 6,4 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, e 7,0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. No entanto, na (A2) ficou mais evidente a influência das chuvas em termos da área basal, pois nos anos de menores valores de precipitação houve tendência de diminuição, e o inverso ocorreu favorecendo aumento de sua área basal. Foram verificados menores valores de área basal nos anos de menos chuvas, em destaque para o período de baixas ocorrência de chuvas de 2012 a 2015, abaixo da média climatológica. E nos anos de maiores precipitações notou-se tendência de aumento na área basal.

**Palavras-chave:** Crescimento, Densidade, Dominância, Estágio de regeneração, Frequência e mortalidade.

## ABSTRACT

The dynamics of the horizontal structure of the arboreal vegetation was analyzed, in three periods: 2008 – 2016; 2008 – 2017 and 2008 – 2019, in two zones of the Caatinga region, named as: A1 (deforested using chains in tractors - correntões) in 1987; and A2 (the “most preserved”), with no history of deforestation, both in Floresta – PE, Brazil. The annual precipitation was verified, since environmental phenomena can influence the vegetation, with data from the National Institute of Meteorology and the Agency of Waters and Climates of Pernambuco. 40 permanent plots (20 m x 20 m) were installed for the monitoring of the vegetation, with data collection in 2008 and from 2011 to 2019. Only individuals and stem shapes with a circumference at 1.30 m from the ground  $\geq 6$  cm were considered. The number of individuals and stems, floristic listing, density, frequency, dominance, importance value, Shannon diversity index, changes in basal area over the years, ingress rates, mortality and net and gross growth were evaluated. Simple linear regression analysis was performed to verify influences of spatial scales. The Shannon diversity index in A1 was initially 1.94 nats.ind<sup>-1</sup>, decreasing the following years, at the last year with the index of 1.75 nats.ind<sup>-1</sup>. The same occurred in A2, going from 1.94 nats.ind<sup>-1</sup> to 1.75 nats.ind<sup>-1</sup>. Initially were found in A1: 9 families, 19 genera and 22 species; in the last year there were 7 families, 16 genera and 19 species. In A2 there was also a decrease. In 2008, A2 presented 11 families, 24 genera and 26 species, and on the last year (2019) there were 8 families, 23 genera and 23 species. The absolute density in A1 for 2008, 2016, 2017 and 2019 were: 660 individuals.ha<sup>-1</sup>, 585 individuals.ha<sup>-1</sup>, 556 individuals.ha<sup>-1</sup> and 552 individuals.ha<sup>-1</sup>. For A2, they were: 1,382 individuals.ha<sup>-1</sup>, 909 individuals.ha<sup>-1</sup>, 874 individuals.ha<sup>-1</sup> and 846 individuals.ha<sup>-1</sup>. The species that stood out in A1 were: *Cenostigma bracteosum*, *Jatropha mollissima* and *Astronium urundeuva*. In A2 they were: *C. bracteosum*, *Astronium urundeuva* and *Mimosa ophthalmocentra*, over the years the species alternated position in their importance in both zones, except for *C. bracteosum*. Mortality rates exceeded entrance rates. Although the mortality rates were higher than entrance rates, an increase was noted in the basal area for A1, with the following values for 2008, 2016, 2017 and 2019: 3.1 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, 3.8 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, 3.9 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> and 4.6 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, respectively. In A2 they were: 8.3 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, 6.4 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, 6.4 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, and 7.0 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, respectively. However, in A2 the influence of rainfall in the growth of the basal area was more evident, as in years with lower precipitation values there was a tendency to decrease, and as the opposite occurred there was an increase in its basal area. Lower basal area values were found in years with less rainfall, especially in the period of low rainfall from 2012 to 2015, below the climatological average. And in years of greater rainfall, a trend towards an increase in the basal area was noted.

**Key words:** Growth, Density, Dominance, Stage of regeneration, Frequency and mortality.

## 1. INTRODUÇÃO

As regiões com clima semiárido possuem características como elevado déficit hídrico, irregularidade das chuvas e precipitação mal distribuída ao longo do ano e espacialmente (MARENGO; TORRES; ALVES, 2017). A heterogeneidade espacial das chuvas influencia na heterogeneidade e fertilidade dos solos e na retenção d'água (ARAÚJO; FERRAZ, 2003). Além destas peculiaridades, existem os eventos extremos de clima, como exemplo a existência de secas em anos contínuos, o que muitas vezes é denominado de secas severas (CABRAL *et al.*, 2013).

Arelado a estas condições de adversidades, a região semiárida do Brasil é considerada a mais populosa do mundo (MARENGO *et al.*, 2008; RUFINO; SILVA, 2017), e como consequência, ocorreu uma maior pressão antrópica sob seus recursos naturais desde a sua colonização (CASTELLETTI *et al.*, 2004; DRUMOND *et al.*, 2008). Tal pressão antrópica pode ser citada por meio de diversos exemplos, desde explorações para subsistência, para fins de cocção de alimentos, até a exploração e comercialização ilegal da vegetação, principalmente pelo fato da maior parte de sua população estar sujeita a uma alta vulnerabilidade social (GIODA, 2019).

Atualmente a vegetação de Caatinga passa por um processo de degradação ambiental elevado, com desmatamento indiscriminado, no qual cerca de 46% de sua área do domínio fitogeográfico foi suprimida (MMA, 2020). A maioria das florestas tem passado por processos de perturbações de causas naturais e antrópicas, o que tem causado alterações em sua estrutura e variabilidade elevada em sua dinâmica.

Devido aos fatos mencionados, diversos pesquisadores têm abordado a necessidade de realizar pesquisas com análise estrutural, de modo a contemplar os parâmetros fitossociológicos, estrutura paramétrica e dinâmica populacional, de maneira a fornecer resultados e que assim possa se compreender a situação e possam-se subsidiar práticas de conservação e manejo (AQUINO *et al.*, 2007). Vale destacar que a existência de eventos de secas severas, como elevadas temperaturas e precipitação variadas, têm sido fatores determinantes na variabilidade em sua dinâmica florestal (COELHO; DUARTE; COELHO, 2015; ZHAO *et al.*, 2017; ZHAO *et al.*, 2018).

A fim de verificar a variabilidade da dinâmica da floresta é necessário avaliá-la em uma escala de tempo, por meio de Inventário Florestal Contínuo (PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). E com isto obter informações sobre a floresta em termos de estrutura populacional (horizontal e vertical), taxas de crescimento, assim como

alterações em sua composição florística. Porém, as causas das variações em curto, médio e longo prazo de tempo em sua dinâmica populacional são consideradas pouco conhecidas.

A avaliação por meio da dinâmica é de extrema importância para a compreensão do funcionamento de um ecossistema, pois permite observar as mudanças em termos do crescimento florestal, levando em consideração a mortalidade (egresso) e ingresso dos indivíduos (SANQUETTA *et al.*, 1996; ARAÚJO; FERRAZ, 2003; AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2005). Com o monitoramento é possível observar não apenas o seu crescimento, mas também a existência de espécies com taxa nula, bem como a exclusão e o surgimento de espécies florestais, o que acarreta na alteração de sua diversidade (PHILLIPS *et al.*, 1994; REES *et al.*, 2014).

Uma vez que o crescimento das árvores é bastante influenciado pela ocorrência de distúrbios, sejam pontuais ou em escala temporal prolongada, muitas das vezes tais distúrbios interferem nos processos funcionais das plantas, nas quais a primeira resposta ao déficit hídrico é a redução e inibição do crescimento do caule (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

Desta forma, estudos sobre mudanças de estoque e crescimento em um período maior são necessários para fornecer conhecimento sobre taxas de mortalidade, recrutamento, crescimento e produção. Dada a importância de se avaliar a dinâmica florestal a longo prazo, um entendimento está em desenvolvimento a respeito do comportamento da vegetação, em específico para as regiões semiáridas. No entanto, é difícil de ser estudado em escala espacial, devido a sua extensão territorial.

Objetivou-se analisar a estrutura, dinâmica populacional e crescimento em área basal de uma Floresta Tropical Sazonalmente Seca, com históricos distintos de distúrbios, em diferentes intervalos de monitoramento, no município de Floresta – PE, Brasil.

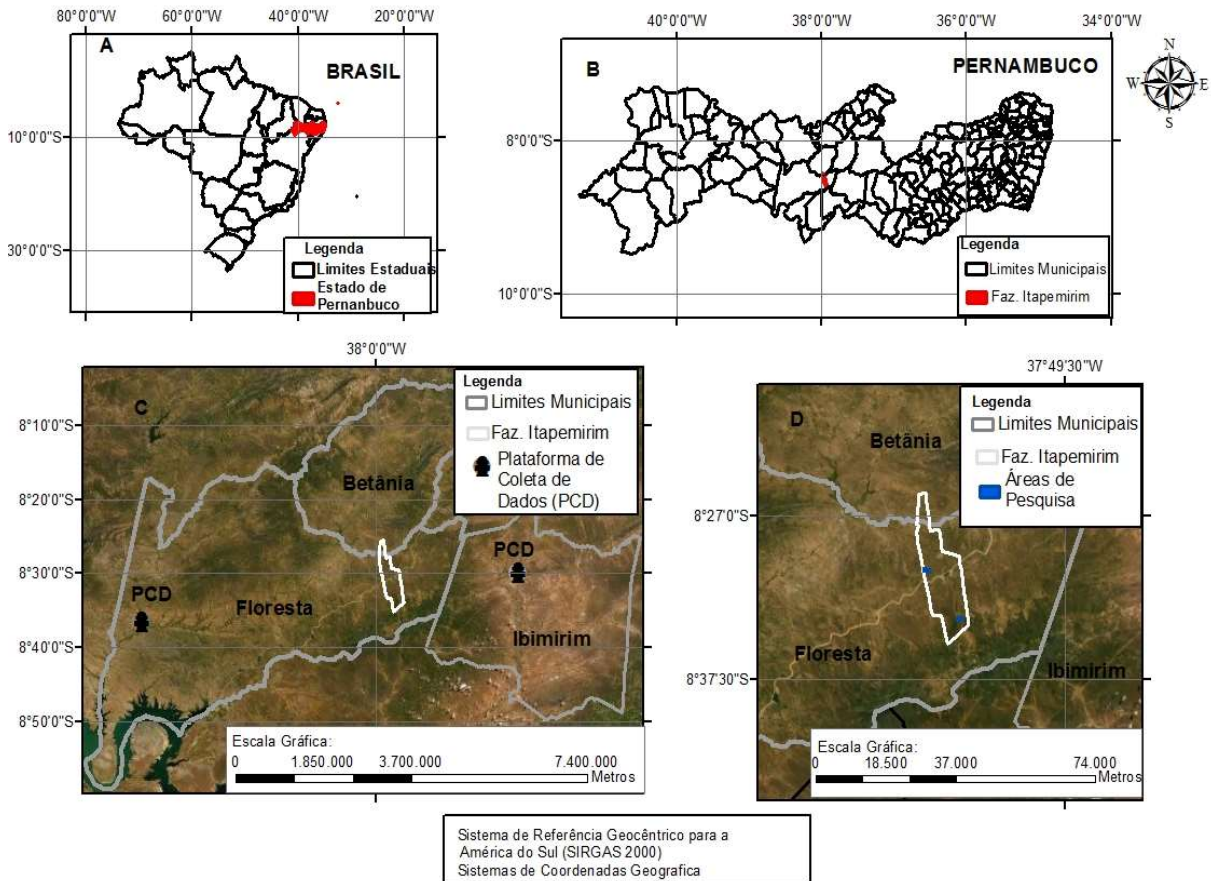
## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo e caracterização**

A área de estudo está inserida na mesorregião do São Francisco Pernambucano e microrregião de Itaparica, na bacia do Rio Pajeú, município de

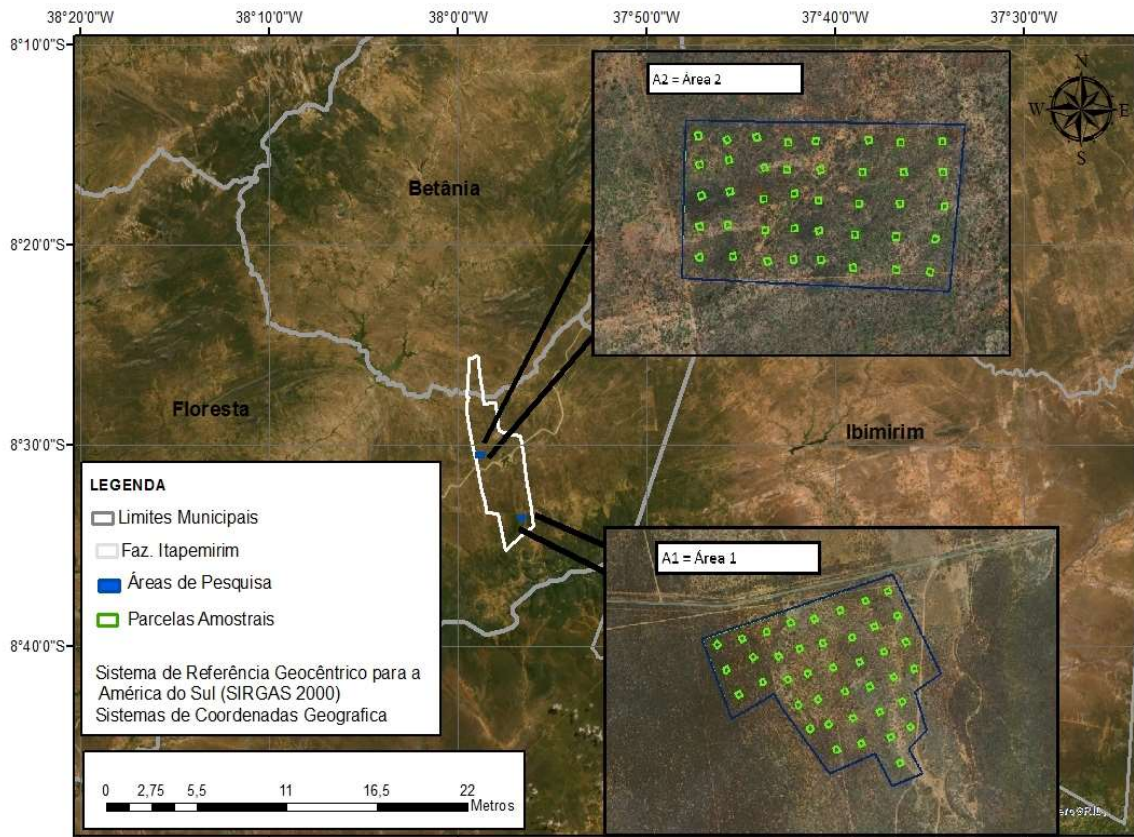
Floresta - PE (Figura 1), há 433 km da capital pernambucana, situada sob as coordenadas 08° 30' 49.03'' Latitude Sul, e 37° 57' 44.02'' Longitude Oeste.

**Figura 1** - Localização e delimitação geográfica das áreas de estudo (A, B, C e D), da Fazenda Itapemirim e Áreas de Pesquisas.



Foram utilizadas duas áreas (Figura 2), com usos distintos: Área 1 - A1 (menos preservada), com histórico de desmatamento desde o ano de 1963, conforme imagens históricas de satélites, com intensificação de desmatamento em meados de 1986, e consecutivo abandono de área que encontra-se em estágio regenerativo, localizada nas coordenadas 08° 33' 33.00'' Latitude Sul e 37° 58' 38.00'' Longitude Oeste; Área 2 - A2 (preservada) com vegetação em estágio de regeneração desde 1962, localizada nas coordenadas 08° 30' 19.90'' Latitude Sul e 37° 58' 54.59'' Longitude Oeste.

**Figura 2** - Croqui de localização das áreas de pesquisas e alocação das parcelas inventariadas, da Fazenda Itapemirim, Floresta-PE.



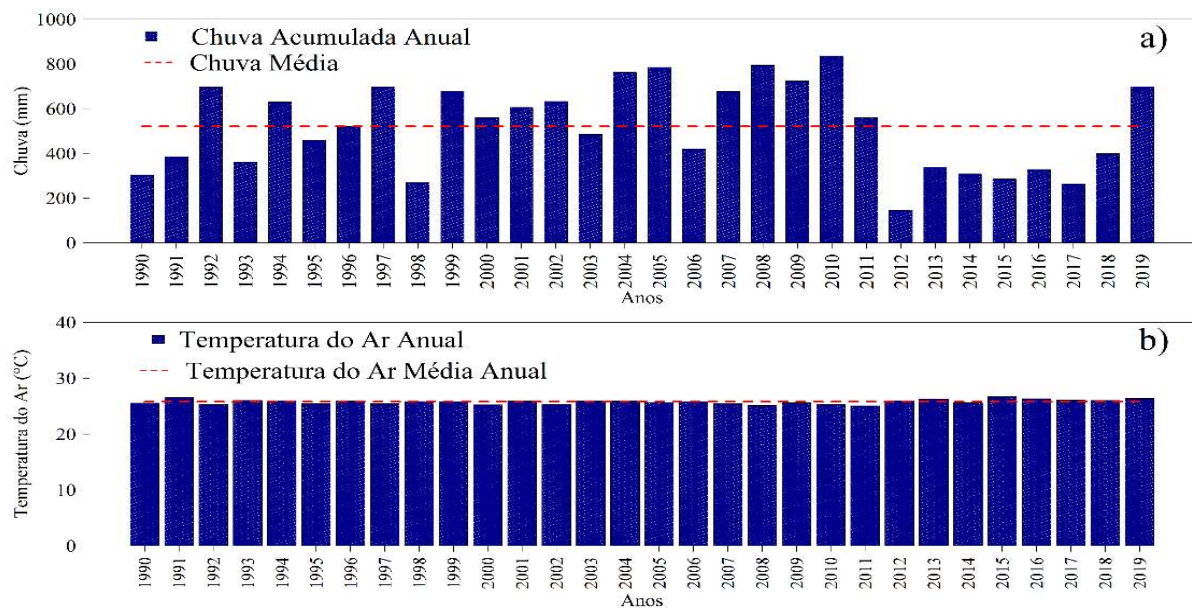
A primeira área denominada de A-1 está localizada à margem da rodovia estadual PE-360, e tem como histórico de utilização do solo com limpeza da vegetação com auxílio de tratores e correntes no ano de 1986, com a finalidade da implantação de povoamentos de Eucalipto (informação repassada pela vizinhança do entorno da fazenda Itapemirim). No entanto, tal projeto não foi executado, com consequente “abandono da área”, deixando-a em processo de regeneração natural. A segunda área, denominada de A-2, está inserida no interior da fazenda e é considerada (com pouco histórico de corte seletivo de indivíduos), provavelmente ocorrendo apenas a retirada de produtos florestais para eventuais manutenções das cercas que limitam a fazenda. Cada área possui, aproximadamente, 50 ha, e ambas são pastejadas por animais, principalmente caprinos, de forma extensiva.

Pela classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo BSh', o que significa um clima do tipo semiárido quente. Quanto à precipitação anual, elas apresentam maior concentração de chuvas entre os meses de novembro a abril, compreendida entre 380 e 760 mm e com média anual de 520,70 mm (Figura 3). A

temperatura do ar anual é maior do que a temperatura do ar média anual de 25,8 °C, sendo a do mês mais quente 33,9 °C e a cada mês mais frio 18,3 °C, altitude de 316 m.

A obtenção dos dados de precipitação e temperatura foram obtidos em banco de dados fornecido pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, dos anos de 1990 a 2019. Foram utilizados os dados do climograma (Figura 3) da estação meteorológica localizada no município de Ibimirim-PE, denominada da estação Poço da Cruz, selecionada esta por apresentar menor raio de distância, localizada numa distância média de 30 km das áreas de pesquisas. Foi adotado para escolha da estação o critério de distância máxima admitida de 100 km, conforme (CAMARGO *et al.*, 2005; BABA; VAZ; COSTA, 2014).

**Figura 3** – Climograma anual, valores de precipitação (a), e temperatura (b) de 1990 a 2019, com base nos dados da estação Poço da Cruz, Ibimirim-PE.



De acordo com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira do IBGE (2012), a vegetação local é do tipo arbustivo-arbórea, com ocorrência de cactáceas e estrato herbáceo, além da ocorrência de espécies de bromeliáceas, como a macambira (*Bromelia laciniosa* Mart. ex Schultes f.) e caroá (*Neoglaziovia variegata* (Arr. Cam.) Mez.). A vegetação arbustivo-arbórea da região é denominada de Caatinga Hiperxerófila, com ocorrência de espécies caducifólias, fitofisionomia típica de uma savana estépica.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, o solo da região é classificado como Luvissole Crômico, caracterizado por ser raso e apresentar usualmente mudança abrupta em sua textura (EMBRAPA, 2013).

## **2.2 Coleta de dados em campo e obtenção de parâmetros estruturais**

Em 2008 foram instaladas e amostradas 40 parcelas de maneira sistemática, distanciadas entre si em 80 m, com 50 m da bordadura. Nas áreas A1 e A2, cada parcela possui 20 m x 20 m (400 m<sup>2</sup>), totalizando 1,6 ha de área inventariada.

Na instalação das parcelas em 2008, todos os indivíduos com circunferência à altura do peito (CAP) a 1,30 m do solo, igual ou maior que 6 cm de circunferência foram medidos, identificados e etiquetados. Repetido em seguida nos anos de 2011 a 2019. Dados estes inseridos no banco de dados do Laboratório de Manejo de Florestas Naturais “José Serafim Feitosa Ferraz” com os indivíduos ou fustes que atingiram a CAP mínima pré-estabelecida de acordo com os critérios de inclusão.

Nas 40 parcelas permanentes de cada área, os indivíduos lenhosos adultos com (circunferência a 1,30 m do solo - CAP  $\geq$  6 cm) foram mensurados, assim como os novos indivíduos (ingressos) que alcançaram o nível de inclusão em 2017, 2018 e 2019, visando estimar o crescimento e parâmetros fitossociológicos nos períodos de 2008 a 2019.

As espécies arbustivo-arbórea foram mensuradas e identificadas no ano de 2008, com nome popular, no qual se realizaram coletas de material botânico para posterior identificação e herborização no Herbário Sérgio Tavares do Departamento de Ciência Florestal da UFRPE, com base na lista de composição florística de Alves Júnior (2010) e Ferraz (2011). Quanto à atualização da sinonímia e a grafia das taxonomias, foram realizadas mediante consulta à literatura e ao banco de dados do Herbário Virtual do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (REFLORA, 2020). Para separação das espécies ao nível de famílias foi adotado o sistema de classificação *Angiosperm Phylogeny Group* (APG IV, 2016).

Foram estimados os seguintes parâmetros fitossociológicos: Densidade, Frequência, Dominância, Valor de Importância. O índice de Shannon – Wiener (H') foi obtido conforme descrito nas equações por Souza e Soares (2013). Os indivíduos foram classificados em classes diamétricas a partir de 1,9 cm e uma amplitude igual a 3 cm. Em seguida os dados foram processados com o auxílio do *software* Mata



Nativa 4.04, seguido das orientações básicas do manual do Mata Nativa CIENTEC (2013).

### 2.2.1 Índice de diversidade de Shannon - Wiener ( $H'$ )

O índice de Shannon ( $H'$ ), também denominado de Shannon-Weaver ou de Shannon-Wiener, é um índice não-paramétrico, baseado na abundância proporcional de espécies, que busca unir a riqueza de espécies e a similaridade em uma única informação. Quanto maior for o valor de  $H'$ , maior será a diversidade da área, conforme descrito por Souza e Soares (2013). Para seu cálculo foi utilizado logaritmo na base neperiana ( $e$ ), conforme a (Expressão 1).

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

Em que:  $n_i$  = número de indivíduos amostrados da  $i$ -ésima espécie;  $N$  = número total de indivíduos amostrados;  $S$  = número de espécies amostradas;  $\ln$  = logaritmo neperiano ( $e = 2,71828\dots$ ).

### 2.2.2 Análise da estrutura horizontal da vegetação

Na análise da estrutura horizontal da vegetação foram calculados os seguintes parâmetros: Densidade, dominância, frequência e valor de importância; de acordo com (LAMPRECTH, 1964; SOUZA; SOARES, 2013).

#### 2.2.2.1 Densidade ou abundância absoluta e relativa

A densidade é uma variável quantitativa dos indivíduos de cada espécie dentro de uma população (LAMPRECTH, 1964; SOUZA; SOARES, 2013). A abundância absoluta é o somatório dos indivíduos de espécie  $i$  por unidade de área, já a relativa é o percentual do número total de indivíduos de espécie  $i$ , correspondente ao total de indivíduos. Para o cálculo das densidades absoluta e relativa foram utilizadas as Expressões 2 e 3.

$$DA_i = \frac{n_i}{A} \quad (2)$$

$$DR_i = \frac{n_i}{N} \cdot 100 \quad (3)$$

Em que:  $DA_i$  = densidade absoluta da  $i$ -ésima espécie, em número de indivíduos por hectare;  $n_i$  = número de indivíduos da  $i$ -ésima espécie;  $A$  = área total, em hectare;  $DR_i$  = densidade relativa (%) da  $i$ -ésima espécie na comunidade vegetal;  $N$  = densidade total, em número de indivíduos por hectare (soma das densidades de todas as espécies).

### 2.2.2.2 Frequência absoluta e relativa

A frequência informa a distribuição de cada espécie dentro das parcelas (LAMPRECTH, 1964; SOUZA; SOARES, 2013). A frequência absoluta (Expressão 4) é a porcentagem de parcelas em que ocorre a espécie  $i$  e a frequência relativa (Expressão 5) é a porcentagem da frequência de uma espécie  $i$  pelo somatório das frequências absolutas de todas as espécies.

$$FA_i = \frac{U_i}{U_T} \cdot 100 \quad (4)$$

$$FR_i = \frac{FA_i}{\sum_{i=1}^S FA_i} \cdot 100 \quad (5)$$

Em que:  $FA_i$  = frequência absoluta da  $i$ -ésima espécie;  $U_i$  = número de unidades amostrais em que a  $i$ -ésima espécie ocorre;  $U_T$  = número total de unidades amostrais;  $FR_i$  = frequência relativa da  $i$ -ésima espécie na comunidade vegetal;  $S$  = número de espécies amostradas.

### 2.2.2.3 Dominância absoluta, relativa e total

A dominância é a medida da projeção da área basal dos indivíduos sobre a superfície do terreno, por hectare (LAMPRECTH, 1964; SOUZA; SOARES, 2013). A dominância absoluta é o somatório das áreas transversais dos indivíduos de uma espécie por unidade de área, e a relativa é calculada pelo somatório das dominâncias absolutas pela área basal total por unidade de área, utilizadas as (Expressões 6 a 12).

$$g_i = \frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{DAP_j}{100} \right)^2 = \frac{\pi}{40000} \cdot DAP^2 \quad (6)$$

$$G_i = \sum_{j=1}^{n_i} g_j \quad (7)$$

$$G_T = \sum_{j=1}^N g_j = \sum_{i=1}^S G_i \quad (8)$$

$$N = \sum_{i=1}^S n_i \quad (9)$$

$$DoA_i = \frac{G_i}{A} \quad (10)$$

$$DoT = \sum_{i=1}^S DoA_i = \frac{G_T}{A} \quad (11)$$

$$DoR_i = \frac{DoA_i}{DoT} \cdot 100 = \frac{G_i}{G_T} \cdot 100 \quad (12)$$

Em que:  $DAP_j$  = diâmetro a altura do peito (1,30 m do solo), da  $j$ -ésima árvore, em cm;  $j= 1,2, \dots, N$ ;  $i= 1,2, \dots, S$ ;  $g_j$  = área transversal de cada árvore da  $j$ -ésima árvore, em m<sup>2</sup>;  $G_i$  = área basal da  $i$ -ésima

espécie, em m<sup>2</sup>; G<sub>T</sub>= área basal de todos os indivíduos; da *i*-ésima espécie, em m<sup>2</sup>; A = área amostrada, em hectare; DoA<sub>i</sub> = dominância absoluta da *i*-ésima espécie, em m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>; n<sub>i</sub>= número de indivíduos amostrados da *i*-ésima espécie; DoT= dominância total, em m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>; DoR<sub>i</sub> = dominância relativa (%) da *i*-ésima espécie na comunidade vegetal.

#### 2.2.2.4 Valor de importância

Procura expressar a importância ecológica de cada espécie dentro da composição vegetal, por meio dos valores da densidade relativa, da dominância relativa e da frequência relativa (LAMPRECTH, 1964; SOUZA; SOARES, 2013), obtidos por meio da (Expressão 13).

$$VI_i = \frac{DR_i + DoR_i + FR_i}{3} \quad (13)$$

Em que:  $VI_i$  = valor de Importância de uma espécie *i*, expresso em %;  $DR_i$  = densidade relativa de uma espécie *i*, expresso em %;  $DoR_i$  = dominância relativa de uma espécie *i*, expresso em %;  $FR_i$  = frequência relativa de uma espécie *i* em uma comunidade vegetal, expresso em %; *i* = espécie *i*, podendo variar de 1 a n espécies.

### 2.3 Crescimento

As estimativas de crescimento foram obtidas por meio da metodologia de Beers (1962) e adaptada por Ferreira *et al.* (2014). Os incrementos periódicos anuais foram obtidos considerando-se como a razão entre os crescimentos brutos e líquidos (incluindo e excluindo ingressos), respectivamente, e o intervalo entre ocasiões de mensuração.

#### 2.3.1 Mortalidade

A partir das estimativas do número de árvores mortas por hectare, por espécie e por classe de diâmetro, estima-se a taxa de mortalidade por meio das (Expressões 14 e 15).

$$M_i = \left( \frac{n_i}{N_i} \right) \cdot 100 \quad (14)$$

$$M_{ih} = \left( \frac{n_{ih}}{N_{ih}} \right) \cdot 100 \quad (15)$$

Em que:  $n_i$  = número de árvores mortas da *i*-ésima espécie, entre duas ocasiões sucessivas ( $j; j + 1$ );  $N_i$  = número de árvores vivas da *i*-ésima espécie, na primeira ocasião ( $j$ );  $n_{ih}$  = número de árvores mortas da *i*-ésima espécie, na *h*-ésima classe de DAP, entre duas medições sucessivas ( $j; j + 1$ ); e  $N_{ih}$  = número de árvores vivas da *i*-ésima espécie, na *h*-ésima classe de DAP, na primeira ocasião ( $j$ ).

#### 2.3.2 Ingresso

Para obter as estimativas de ingresso em número de árvores, em área basal e em volume, respectivamente, por classe de diâmetro, por espécie, por grupo de

espécie e por período de monitoramento, considera-se como ingresso a árvore viva que apresenta *DAP* menor que o nível de inclusão na *j*-ésima ocasião de monitoramento e que, na ocasião seguinte (*j*+1), apresenta *DAP* superior ao nível de inclusão. A partir das estimativas do número de árvores que ingressaram, por hectare, por espécie e por classe de diâmetro, estima-se a taxa de ingresso, por meio das (Expressões 16 e 17).

$$I_i = \left( \frac{n_i}{N_i} \right) \cdot 100 \quad (16)$$

$$I_{ih} = \left( \frac{n_{ih}}{N_{ih}} \right) \cdot 100 \quad (17)$$

Em que:  $n_i$  = número de árvores que ingressaram da *i*-ésima espécie, entre duas medições sucessivas (*j*; *j* + 1);  $N_i$  = número de árvores vivas da *i*-ésima espécie na ocasião seguinte (*j* + 1);  $n_{ih}$  = número de árvores que ingressaram da *i*-ésima espécie, na *h*-ésima classe de *DAP*, entre duas medições sucessivas (*j*; *j* + 1); e  $N_{ih}$  = número de árvores vivas da *i*-ésima espécie, na *h*-ésima classe de *DAP*, na ocasião seguinte (*j* + 1).

Para obter as estimativas de mortalidade em número de árvores, em área basal e em volume, respectivamente, por classe de diâmetro, por espécie, por grupo de espécie e por período de monitoramento, considera-se como morta a árvore viva na *j*-ésima ocasião de monitoramento e que estiver morta na ocasião seguinte (*j*+1).

### 2.3.3 Crescimento bruto e líquido

As estimativas de crescimento em área basal foram obtidas por meio da metodologia de Beers (1962) e adaptada por Ferreira *et al.* (2014), obtidas por meio das (Expressões 18 a 21).

$$Cb = G_2 + M + MF + C + CF - GI - G_1 \quad (18)$$

$$Cbi = G_2 + M + MF + C + CF - G_1 \quad (19)$$

Em que: Cb = crescimento bruto excluindo os ingressos ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ );  $G_2$  = área basal de indivíduos vivos no final do período de mensuração ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ );  $M$  = área basal de indivíduos mortos durante o período ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ );  $MF$  = área basal de fustes mortos durante o período ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ );  $C$  = área basal de indivíduos colhidos durante o período ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ );  $CF$  = área basal de fustes colhidos durante o período ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ );  $GI$  = área basal de indivíduos ingressos no período ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ );  $G_1$  = área basal de indivíduos vivos no início do período de mensuração ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ); Cbi = crescimento bruto incluindo-se ingressos ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ).

$$Cl = G_2 + C + CF - GI - G_1 \quad (20)$$

$$Cli = G_2 + C + CF - G_1 \quad (21)$$

Em que:  $CI$  = crescimento líquido excluindo-se ingressos ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ );  $Cl_i$  = crescimento líquido incluindo-se ingressos ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ).

Observação: Para o ( $CF$ ) colheita de fuste durante o período ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ), foi considerado nulo, pois não houve colheita de fustes nos indivíduos em ambas as áreas, no entanto é considerado no cálculo para possíveis intervenções antrópicas nas áreas de pesquisas.

### 2.3.4 Dinâmica do incremento periódico médio anual em área basal ( $IPG$ )

Os incrementos periódicos anuais em área basal ( $IPG$ ,  $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) foram obtidos considerando como a razão entre  $C_{bi}$ ,  $C_b$ ,  $Cl_i$  e  $CI$ , respectivamente, e o intervalo entre ocasiões de mensuração.

A partir da estimativa de  $C_b$ , será estimado o incremento periódico médio anual em diâmetro, por meio da (Expressão 22).

$$\overline{IPG} = \frac{1}{n \cdot a} \cdot \sqrt{\frac{40000 \cdot C_b}{\pi}} \quad (22)$$

Em que:  $IPG$  = incremento médio anual em área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ );  $C_b$  = crescimento bruto, excluindo-se ingressos ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ );  $n$  = número de indivíduos ( $n \cdot ha^{-1}$ );  $a$  = intervalo entre ocasiões de mensuração.

## 2.4 Análise estatística

A priori foram verificados: a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk (p-Valor > 0,05), a distribuição gráfica dos resíduos (com presença de valores extremos) e a homogeneidade de variância. Inclusive testada nos dados a transformação de Box-Cox. No entanto, não foi possível chegar à normalidade dos dados.

Visto que os dados analisados a priori não atendem aos pressupostos de normalidade, foi realizada análise de variância de medidas repetidas sem considerar a necessidade de correção por esfericidade. Em seguida foi feito o teste de esfericidade de Mauchly, e as devidas correções para os graus de liberdade, por meio das metodologias de Greenhouse e Geisser (GGe) e Huynh e Feldt (HFe). Logo depois foi aplicado o teste não paramétrico de Friedman (p-Valor > 0,05), e teste de Dunn com correção pelo post hoc de Bonferroni.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Diversidade florística

#### 3.1.1 Diversidade florística de 2008 -2016; 2008 - 2017 e 2008 - 2019, nas áreas A-1 e A-2

Foram verificados valores médios decrescentes ao decorrer do tempo no índice de diversidade de Shannon – Wiener ( $H'$ ), para ambas as áreas. No ano de 2008 as

áreas apresentaram valor de 1,94 nats ind<sup>-1</sup> (Tabela 1), tal fato devido a própria diminuição na composição florística de suas espécies. Outros trabalhos realizados na propriedade objeto de pesquisa corroboram com tais resultados, conforme relatado por Alves Junior *et al.* (2013) e Melo (2016), cujo valor encontrado foi de 1,91 nats ind<sup>-1</sup> na mesma área objeto de pesquisa, especificamente na A-1 no ano de 2011, evidenciando uma diminuição gradativa em sua diversidade ao longo do tempo.

Existem diversas pesquisas no âmbito de Caatinga que vem abordando e quantificando o nível de diversidade das espécies florestais (MARANGON *et al.*, 2013; CALIXTO JÚNIOR; DRUMOND, 2014; FERRAZ *et al.*, 2014; HOLANDA *et al.*, 2015; SOUZA *et al.*, 2016). Como comparação podem ser citados os seguintes achados científicos: pesquisas realizadas no estado da Paraíba, por Sabino; Cunha e Santana (2016) encontraram valores de Shannon-Wiener de 1,76 a 1,92 (nats ind<sup>-1</sup>) em duas áreas com históricos de ações antrópicas distintos; já Lemos e Rodal (2002) em uma área de pesquisa no Piauí, obtiveram valor de Shannon de 3,00 (nats ind<sup>-1</sup>); outro valor intermediário foi encontrado por Guedes *et al.* (2012), valor de 2,54 (nats ind<sup>-1</sup>). De acordo com (CALIXTO JÚNIOR; DRUMOND, 2011), estes valores são frequentemente encontrados em áreas antropizados. No entanto devem-se ter precauções ao comparar tais resultados, devido à intensidade amostral ser distinta, assim como os fatores adversos sofridos pela vegetação.

**Tabela 1** - Índice de diversidade de Shannon-Wiener – ( $H'$ ) (nats . ind<sup>-1</sup>), em diferentes áreas com distintas interferências antrópicas, em diferentes períodos.

Área /Ano	2008	2016	2017	2019
A1 (Área “menos preservada”)	1,94	1,77	1,72	1,67
A2 (Área “preservada”)	1,94	1,79	1,76	1,75

O índice de diversidade ( $H'$ ) em florestas tropicais secas do Brasil, em específico em domínios de Caatinga, varia em média de 1,5 a 3,0 (nats ind<sup>-1</sup>), no qual os resultados exibidos estão dentro dos limites, das florestas de Caatinga, conforme apresentados em diversos achados científicos (SAMPAIO, 2010; CALIXTO JÚNIOR; DRUMOND, 2011). Vale salientar que o índice ( $H'$ ) é considerado como uma das métricas que fornecem ferramentas para avaliação do estado de conservação (LELLI *et al.*, 2019), no entanto boa parte destas pesquisas não levam em consideração a heterogeneidade ou dominância (AMORIM; SAMPAIO; ARAÚJO, 2005). Os valores obtidos de ( $H'$ ) têm decrescido ano após ano. Com certa semelhança, tal diminuição

do valor médio foi observada por (PIMENTEL, 2012; ALVES JUNIOR *et al.*, 2013; MELO, 2016).

### **3.2 Composição florística**

#### **3.2.1 Composição florística: 2008-2016; 2008-2017 e 2008-2019 na A-1 e A-2**

Percebeu-se diminuição gradativa da vegetação em termos de indivíduos ou fustes possivelmente está atrelada às condições adversas da vegetação sob secas severas e de extensão de anos consecutivos (2012 a 2018). Cujas precipitações no intervalo citado foi abaixo da média normal climatológica. Em ambas as áreas estudadas o número de indivíduos sofreu redução gradativa. Coincidentemente Marengo; Cunha e Alves (2016) têm abordado a longa estiagem no período de 2010 a 2015 em todo o Semiárido nordestino.

As condições climáticas são responsáveis pela manutenção e variação do crescimento e desenvolvimento florestal, e além da precipitação como fator responsável direto, podem ser citados outros elementos, como a temperatura média do ar, umidade e radiação solar, os quais podem interferir diretamente no crescimento e perpetuação de indivíduos.

Os efeitos que a precipitação causa na vegetação, de acordo com as variações interanual em florestas tropicais secas são considerados mal compreendidos (PINEDA-GARCÍA; PAZ; MEINZER, 2013). Além da ocorrência de baixas precipitações, a região semiárida está inserida num polígono conhecido como cinturão solar, de maiores valores de radiação e temperaturas do ar elevadas, o que interfere e contribui para maiores taxas de evapotranspiração e conseqüentemente deficiência hídrica do solo (DEF), o qual consiste no decréscimo em seu crescimento, devido ao fechamento de estômatos, bem como a senescência de suas folhas (TAIZ *et al.*, 2017).

Devido ao baixo abastecimento de água no solo e à alta demanda de água pelas plantas, o consumo médio de cada indivíduo na área de cobertura vegetal supera o abastecimento, ou seja, a quantidade e capacidade de água existente, que se caracteriza numa situação de estresse hídrico. Martínez-Ramos *et al.* (2018) ao analisarem o efeito do clima na dinâmica populacional em florestas secas, notaram a importância da precipitação e sua variação interanual, tendo em vista que em períodos distintos a seca é mais severa.

Vale destacar que após o período de seca destacado por Marengo; Cunha e Alves (2016), dos anos de 2010 a 2015, a vegetação continuou a sofrer redução. Assim, espera-se que o número de indivíduos nos próximos anos tenda a aumentar, devido ao aumento da precipitação desde o ano de 2017, uma vez que a dinâmica da vegetação é fortemente influenciada pelo ano anterior de precipitação favorável ao seu desenvolvimento.

Apesar de que houve aumento na precipitação acumulada a partir do ano de 2017, não se sobressaiu a média climatológica, mas seu acumulado foi de maneira mais acentuada, e não foi suficientemente para que a vegetação apresentasse resultados satisfatórios, em termos de menores taxas de mortalidades, aumento de ingressos, bem como o próprio crescimento da vegetação em termos de área basal. O que possivelmente está relacionado com a existência contínua do déficit hídrico do solo.

Vale ressaltar que, embora em determinado ano seu acumulado de chuvas se sobressaia à média climatológica, isto não significa melhores condições meteorológicas ao longo do ano para a planta, devido às chuvas serem concentradas em curto período e serem de má distribuição. Com destaque para maiores valores de precipitação entre os meses de janeiro a maio.

Apesar da existência desse período ao longo dos anos, a demanda de água no solo é maior do que a sua oferta, o que implica em condições de estresse hídrico praticamente durante todo o ano, o que não supre a necessidade de água pelo ecossistema, conforme pode ser observado no extrato do balanço hídrico climatológico – BHC.

Conforme pode ser verificado na A-1 em sua composição florística de 2008-2016. Houve ocorrência de 9 famílias em 2008, sendo 19 gêneros e 22 espécies; em 2016, de 7 famílias, com 17 gêneros e 20 espécies; o ano de 2017 corroborou com o ano anterior; e no ano de 2019 foram 7 famílias, com 16 gêneros e 19 espécies (Tabela 2). Nos períodos de 2008-2016, 2008-2017 e 2008-2019, houve diminuições do número de indivíduos, sendo que em 2008 o número era de 660 ind.ha<sup>-1</sup>, no ano de 2016 de 585 ind.ha<sup>-1</sup>, no ano de 2017 de 556 ind.ha<sup>-1</sup> e no último ano analisado (2019) foram de 552 ind.ha<sup>-1</sup>. Quanto à dinâmica do número de fustes foi similar a diminuição conforme o número de indivíduos presentes na área. Verificou-se que o número foi de 1906 fustes.ha<sup>-1</sup> (2008), 1771 fustes.ha<sup>-1</sup> (2016), 1678 fustes.ha<sup>-1</sup> (2017) e 1666 fustes.ha<sup>-1</sup> (2019), respectivamente para os anos analisados.



Já na A-2 foi verificada na composição florística da vegetação arbustivo-arbórea de 2008-2016 a ocorrência de 11 famílias em 2008, sendo 24 gêneros e 26 espécies; em 2016, de 8 famílias, com 23 gêneros e 23 espécies, o mesmo ocorreu no ano seguinte (Tabela 3). Foi verificada uma diminuição do número de indivíduos, onde nos anos de 2008; 2016; 2017 e 2019, o número foi 1382 ind.ha<sup>-1</sup>, 909 ind.ha<sup>-1</sup>, 874 ind.ha<sup>-1</sup>, e 846 ind.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Quanto à dinâmica do número de fustes foi similar a diminuição do número de indivíduos, verificou-se que o número foi de 3804 fustes.ha<sup>-1</sup>, 2334 fustes.ha<sup>-1</sup>, 2236 fustes.ha<sup>-1</sup> e 2100 fustes.ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para os anos analisados.

**Tabela 2** - Composição florística da A-1 e densidade absoluta de indivíduos (Nº ind.ha<sup>-1</sup>) e fustes (Nºfustes.ha<sup>-1</sup>), em floresta tropical sazonalmente seca nos anos de 2008, 2016, 2017 e 2019.

Família / Nome Científico	Nome Comum	Nº ind.ha <sup>-1</sup>				Nº fustes.ha <sup>-1</sup>			
		2008	2016	2017	2019	2008	2016	2017	2019
<b>Anacardiaceae</b>									
<i>Astronium urundeuva</i> (Allemão) Engl.	Aroeira	16	19	19	17	32	31	32	28
<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	Baraúna	4	4	4	4	9	8	8	6
<b>Apocynaceae</b>									
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. & Zucc.	Pereiro	7	9	9	9	24	33	33	33
<b>Boraginaceae</b>									
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B. Gillett	Imburana de Cambão	3	3	3	3	4	4	4	4
<i>Varronia leucocephala</i> (Moric.) JS Mill.	Moleque Duro	2	0	0	0	4	0	0	0
<b>Combretaceae</b>									
<i>Combretum glaucocarpum</i> (Mart.)	Sipaúba	44	28	26	13	57	34	33	17
<b>Euphorbiaceae</b>									
<i>Cnidoscolus bahianus</i> (Ule) Pax & L. Hoffm.	Favela Brava	1	2	2	2	3	5	6	6
<i>Cnidoscolus phyllacanthus</i> (Müll. Arg.) Pax & L. Hoffm.	Favela	28	24	15	16	74	65	41	41
<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	Marmeleiro	38	37	23	21	64	58	38	30
<i>Croton heliotropiifolius</i> Kunth.	Quebra Faca	6	4	5	5	9	7	8	8
<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	Pinhão Bravo	52	21	35	66	78	32	53	124
<i>Manihot glaziovii</i> Müll.Arg.	Maniçoba	4	3	3	1	4	4	3	2
<b>Fabaceae</b>									
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Griseb.) Altschul	Angico	4	3	3	3	5	4	4	4
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong). Steud.	Mororó	3	3	1	0	3	3	1	0
<i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G.P. Lewis	Catingueira	312	312	308	306	1067	1149	1121	1108
<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart. ex Benth.	Jurema de Embira	64	37	33	30	282	176	159	130
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Jurema Preta	6	1	1	1	43	4	4	4
<i>Piptadenia retusa</i> (Jacq.) P.G.Ribeiro, Seigler & Ebinger	Jurema Branca	4	1	1	1	8	1	1	1
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & Jobson	Quipembe	58	69	61	53	122	142	124	114
<i>Senna macranthera</i> (DC. Ex Collad.) H.S. Irwin & Barneby	Pau de Besouro	4	4	3	3	8	8	5	4
<b>Sapotaceae</b>									
<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Humb. ex Roem. & Schult.) T.D. Penn.	Quixabeira Brava	1	1	1	1	4	3	3	3
<b>Verbenaceae</b>									
<i>Lippia origanoides</i> Kunth.	Alecrim de Vaqueiro	2	0	0	0	5	0	0	0
<b>Total</b>		660	585	556	552	1906	1771	1678	1666

**Tabela 3** - Composição florística da A-2 e densidade absoluta (N Árvore.ha<sup>-1</sup>), em floresta tropical sazonalmente seca entre 2008; 2016; 2017 e 2019.

Família / Nome Científico	Nome Comum	N° ind.ha <sup>-1</sup>				N° fustes.ha <sup>-1</sup>			
		2008	2016	2017	2019	2008	2016	2017	2019
<b>Anacardiaceae</b>									
<i>Astronium urundeuva</i> (Allemão) Engl.	Aroeira	43	42	41	38	91	86	82	74
<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	Baraúna	9	8	8	6	12	10	10	8
<i>Spondias tuberosa</i> Arruda	Umbuzeiro	1	1	1	1	4	4	4	4
<b>Apocynaceae</b>									
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. & Zucc.	Pereiro	64	57	54	48	277	247	226	178
<b>Boraginaceae</b>									
<i>Varronia leucocephala</i> (Moric.) J.S.Mill.	Moleque duro	2	0	0	0	4	0	0	0
<b>Burseraceae</b>									
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett	Imburana de cambão	14	10	10	9	24	19	19	18
<b>Capparaceae</b>									
<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J. Presl	Feijão bravo	2	1	1	1	4	3	3	1
<i>Neocalyptocalyx longifolium</i> (Pohl) Baill.	Icó	0	1	1	1	0	2	1	1
<b>Combretaceae</b>									
<i>Combretum glaucocarpum</i> Mart.	Sipaúba	6	4	3	3	11	7	6	3
<b>Euphorbiaceae</b>									
<i>Cnidocolus bahianus</i> (Ule) Pax & K.Hoffm.	Faveleira brava	1	1	1	0	6	1	1	0
<i>Cnidocolus quercifolius</i> Pohl	Faveleira	41	38	36	34	93	86	84	87
<i>Croton heliotropiifolius</i> Kunth	Quebra faca	41	26	26	23	83	51	48	41
<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	Pinhão bravo	24	33	36	74	27	36	41	118
<i>Manihot glaziovii</i> Müll.Arg.	Maniçoba	48	9	6	5	58	10	8	6
<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	Burra leiteira	6	3	2	2	11	6	3	3
<b>Fabaceae</b>									
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Griseb.) Altschul	Angico	62	37	35	31	81	44	43	36
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Walp.	Mororó	71	38	31	21	111	56	46	29
<i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G.P. Lewis	Catingueira	660	510	495	468	1996	1472	1421	1306
<i>Erythrostemon calycinus</i> (Benth.) L.P.Queiroz	Calycina	6	1	1	1	14	1	1	1
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	Pau ferro	2	2	1	1	3	3	2	2
<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart. ex Benth.	Jurema de embira	226	65	64	63	730	143	146	151
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Jurema preta	33	11	10	7	102	18	15	11
<i>Piptadenia retusa</i> (Jacq.) P.G.Ribeiro, Seigler & Ebinger	Jurema branca	19	13	11	9	56	30	26	23
<i>Senna macranthera</i> (DC. Ex Collad.) H.S. Irwin & Barneby	Pau de besouro	1	0	0	0	3	0	0	0
<b>Malpighiaceae</b>									
<i>Ptilochaeta bahiensis</i> Turcz.	Ptilochaeta	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Rhamnaceae</b>									
<i>Sarcomphalus joazeiro</i> (Mart.) Hauenschild	Juazeiro	1	0	0	0	1	0	0	0
<b>Ximeniaceae</b>									
<i>Ximenia americana</i> L.	Ameixa	1	0	0	0	4	0	0	0
<b>Total</b>		1382	909	874	846	3804	2334	2236	2100

### 3.3 Dinâmica da estrutura horizontal na (A1) e (A2): 2008-2016; 2008-2017; e 2008-2019

Foi observado que o número de indivíduos e fustes tem se reduzido gradativamente, em todos os períodos analisados. Assim como a mortalidade provocou redução em todos os parâmetros de sua estrutura horizontal.

Na (A1), os parâmetros de sua estrutura horizontal têm apresentado decréscimo para a maioria das espécies, em função da mortalidade de indivíduos. No entanto, a área basal tem apresentado acréscimo, apesar de algumas espécies apresentarem valores mínimos em área basal e estagnação em seu crescimento. Já na (A2), o mesmo foi percebido em relação ao decréscimo nos parâmetros estruturais, inclusive com redução gradativa de sua área basal, evidenciando que nesta área a mortalidade dos indivíduos foi mais intensificada. Este resultado foi bastante intrigante, tendo em vista que a área em questão é considerada “mais preservada”, em função da inexistência de exploração antrópica desenfreada. Em contrapartida, a área (A1), apesar de seu histórico, demonstrou ser menos impactada de acordo com os resultados encontrados.

A dinâmica estrutural das espécies florestais é resultado de respostas e processos causados pelo mecanismo de perturbação no espaço (GHALANDARAYESHI *et al.*, 2017). Inclusive Seddon *et al.* (2016) afirmam que os ambientes de Caatinga possuem características de alta sensibilidade ecológica devido à variabilidade climática existente. Provavelmente o fator clima tenha influenciado na sua dinâmica, até mesmo como forma de minimização dos efeitos de competição entre indivíduos, onde a mortalidade de indivíduos possa ser um mecanismo de minimização de competição.

A ocorrência de altas taxas de mortalidade é um fator que tem causado implicações para dinâmica florestal, em destaque à diminuição gradativa de seus parâmetros estruturais. Desta forma devem-se conhecer quais são os fatores de risco causantes de altas taxas de mortalidade, para que assim possam-se desenvolver modelos preditivos da dinâmica (HURST *et al.*, 2012).

Quanto aos detalhes na dinâmica por espécie na área (A1), as espécies que tiveram as maiores densidades absolutas em 2008, foram *C. bracteosum*, *M. ophthalmocentra* e *P. moniliformis*, com o equivalente a 311,88 (47,25%), 63,75 (9,66%) e 58,12 (8,80%) indivíduos por hectare. Em 2016, as maiores densidades absolutas foram *C. bracteosum*, *P. moniliformis*, com o equivalente a 311,25 (53,20%);

69,37 (11,85%); e *C. blanchetianus* e *M. ophthalmocentra* com 36,87 (6,30%), respectivamente, indivíduos por hectare (Tabela 4). Percebe-se que as três primeiras espécies de maior densidade absoluta inicialmente foram as mesmas no ano de 2016, no entanto alternância de espécies e inclusão da *C. blanchetianus*.

Já no período de 2008-2017, as espécies que tiveram as maiores densidades absolutas no ano de 2017 foram *C. bracteosum*, *P. moniliformis* e *J. molíssima*, com o equivalente a 308,13 (55,45%), 61,25 (11,02%); e 35,00 (6,29%) indivíduos por hectare. No ano seguinte do monitoramento da dinâmica (2008-2019), houve alternância na ordem das espécies de maior densidade, sendo as espécies *C. bracteosum*, *J. mollissima* e *P. moniliformis* com o equivalente a 305,62 (55,37%), 65,62 (11,89%); e 53,12 (9,62%) indivíduos por hectare.

Quanto às espécies que apresentaram os maiores valores de importância (VI), no intervalo de 2008-2016 foram *C. bracteosum* (40,84%), *M. ophthalmocentra* (10,94%), *J. molíssima* (7,39%), *C. phyllacanthus* (6,17%), e *C. glaucocarpum* (5,81%), que reunidas representam 71,15%. Já no ano de 2016 foram *C. bracteosum* (47,50%), *M. ophthalmocentra* (8,27%), *P. moniliformis* (7,23%), *J. molíssima* (5,29%), e *A. urundeuva* (5,23%), que representam 73,52% do VI. Como pode se observar houve mudanças de espécies de maior densidade na área.

Para medições realizadas em 2017, as cinco espécies que apresentaram maiores valores de importância foram *C. bracteosum* (48,76%), *M. ophthalmocentra* (7,59%), *P. moniliformis* (6,81%), *J. molíssima* (6,56%), e *A. urundeuva* (5,42%), que representam 75,14% do VI. Foi observado que não houve mudanças expressivas no valor de importância das espécies. No entanto, houve mortalidade de algumas delas, o que fez com que se alterasse a estrutura e ordem das cinco espécies no valor de importância. Percebe-se que as duas primeiras espécies de maior VI inicialmente foram as mesmas no ano de 2017, no entanto, houve alternância na espécie *J. moniliformis*, que passou a apresentar maior VI. No último ano de intervalo de dinâmica monitorado, as cinco espécies que apresentaram maiores valores de importância foram *C. bracteosum* (49,53%), *J. mollissima* (10,75%), *M. ophthalmocentra* (6,72%), *P. moniliformis* (6,44%) e *A. urundeuva* (5,35%), que representam 78,79% do VI.

Inicialmente, foram estimados 660 indivíduos.ha<sup>-1</sup>. Após oito anos de monitoramento notou-se que houve uma redução para 585 indivíduos.ha<sup>-1</sup>. Nove anos após a primeira coleta, o número de indivíduos reduziu para 556. E no último ano do

monitoramento, se observou na área a estimativa de 552 indivíduos.ha<sup>-1</sup>, ou seja, uma redução de 16,36%. Apesar da diminuição de indivíduos, a população da A-1 estudada apresentou aumento em termos de área basal, com acréscimo final total de 1,5 (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>), no primeiro monitoramento foi notado um acréscimo de 0,7; comparado 2016-2017 apenas um acréscimo de 0,1 (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>), já ao passar de dois anos houve um aumento de 0,7 (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>), em termos de área basal.

**Tabela 4** - Dinâmica da estrutura horizontal na área A1 entre 2008 a 2016, 2017 e 2019.

Nome Científico	AB				DA				DR				FA				FR			
	2008	2016	2017	2019	2008	2016	2017	2019	2008	2016	2017	2019	2008	2016	2017	2019	2008	2016	2017	2019
<i>C. bracteosum</i>	1,651	2,418	2,515	3,058	311,88	311,88	308,13	305,63	47,25	53,31	55,46	55,38	97,50	97,50	97,50	97,50	22,81	25,83	26,00	26,00
<i>M. ophthalmocentra</i>	0,397	0,327	0,316	0,305	63,75	36,88	33,13	30,00	9,66	6,30	5,96	5,44	45,00	37,50	32,50	30,00	10,53	9,93	8,67	8,00
<i>J. mollissima</i>	0,100	0,037	0,053	0,169	51,88	21,25	35,00	65,63	7,86	3,63	6,30	11,89	47,50	42,50	45,00	62,50	11,11	11,26	12,00	16,67
<i>C. phyllacanthus</i>	0,246	0,208	0,193	0,242	28,13	24,38	15,00	15,63	4,26	4,17	2,70	2,83	27,50	22,50	25,00	25,00	6,43	5,96	6,67	6,67
<i>C. glaucocarpum</i>	0,042	0,038	0,034	0,017	44,38	28,13	26,25	13,13	6,72	4,81	4,72	2,38	40,00	27,50	27,50	22,50	9,36	7,28	7,33	6,00
<i>P. moniliformis</i>	0,135	0,249	0,235	0,290	58,13	69,38	61,25	53,13	8,81	11,86	11,02	9,63	15,00	12,50	12,50	12,50	3,51	3,31	3,33	3,33
<i>A. urundeuva</i>	0,115	0,148	0,159	0,196	16,25	18,75	19,38	16,88	2,46	3,21	3,49	3,06	32,50	32,50	32,50	32,50	7,60	8,61	8,67	8,67
<i>C. blanchetianus</i>	0,036	0,054	0,033	0,024	37,50	36,88	22,50	20,63	5,68	6,30	4,05	3,74	12,50	12,50	12,50	12,50	2,92	3,31	3,33	3,33
<i>C. leptophloeos</i>	0,172	0,193	0,195	0,076	2,50	2,50	2,50	2,50	0,38	0,43	0,45	0,45	10,00	10,00	10,00	10,00	2,34	2,65	2,67	2,67
<i>M. tenuiflora</i>	0,108	0,005	0,006	0,007	5,63	0,63	0,63	0,63	0,85	0,11	0,11	0,11	7,50	2,50	2,50	2,50	1,75	0,66	0,67	0,67
<i>A. pyrifolium</i>	0,014	0,029	0,032	0,039	6,88	8,75	8,75	8,75	1,04	1,50	1,57	1,59	17,50	20,00	20,00	20,00	4,09	5,30	5,33	5,33
<i>S. brasiliensis</i>	0,062	0,067	0,070	0,078	4,38	4,38	4,38	3,75	0,66	0,75	0,79	0,68	12,50	12,50	12,50	12,50	2,92	3,31	3,33	3,33
<i>M. glaziovii</i>	0,027	0,004	0,003	0,005	3,75	3,13	2,50	1,25	0,57	0,53	0,45	0,23	10,00	5,00	5,00	2,50	2,34	1,32	1,33	0,67
<i>S. macranthera</i>	0,005	0,009	0,005	0,004	3,75	3,75	3,13	2,50	0,57	0,64	0,56	0,45	12,50	12,50	10,00	7,50	2,92	3,31	2,67	2,00
<i>C. heliotropiifolius</i>	0,006	0,005	0,005	0,006	5,63	4,38	5,00	5,00	0,85	0,75	0,90	0,91	7,50	10,00	10,00	10,00	1,75	2,65	2,67	2,67
<i>P. retusa</i>	0,004	0,001	0,002	0,002	3,75	1,25	1,25	1,25	0,57	0,21	0,22	0,23	7,50	5,00	5,00	5,00	1,75	1,32	1,33	1,33
<i>A. colubrina var. cebil</i>	0,014	0,013	0,013	0,020	3,75	3,13	3,13	3,13	0,57	0,53	0,56	0,57	5,00	5,00	5,00	5,00	1,17	1,32	1,33	1,33
<i>V. leucocephala</i>	0,005	0,000	0,000	0,000	1,88	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	1,17	0,00	0,00	0,00
<i>B. cheilantha</i>	0,001	0,003	0,001	0,000	2,50	3,13	1,25	0,00	0,38	0,53	0,22	0,00	5,00	5,00	5,00	0,00	1,17	1,32	1,33	0,00
<i>L. organoides</i>	0,002	0,000	0,000	0,000	1,88	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	1,17	0,00	0,00	0,00
<i>C. bahianus</i>	0,001	0,005	0,006	0,009	1,25	1,88	1,88	1,88	0,19	0,32	0,34	0,34	2,50	2,50	2,50	2,50	0,58	0,66	0,67	0,67
<i>S. obtusifolium</i>	0,002	0,003	0,003	0,003	0,63	0,63	0,63	0,63	0,09	0,11	0,11	0,11	2,50	2,50	2,50	2,50	0,58	0,66	0,67	0,67
<b>Total</b>	<b>3,15</b>	<b>3,82</b>	<b>3,88</b>	<b>4,55</b>	<b>660,00</b>	<b>585,00</b>	<b>555,63</b>	<b>551,88</b>	<b>99,98</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>427,50</b>	<b>377,50</b>	<b>375,00</b>	<b>375,00</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Continua...

Tabela 4 – Continuação.

Nome Científico	DoA				DoR				VI			
	2008	2016	2017	2019	2008	2016	2017	2019	2008	2016	2017	2019
<i>C. bracteosum</i>	1,03	1,51	1,57	1,91	52,45	63,37	64,82	67,21	40,84	47,50	48,76	49,53
<i>M. ophthalmocentra</i>	0,25	0,20	0,20	0,19	12,63	8,57	8,15	6,71	10,94	8,27	7,59	6,72
<i>J. mollissima</i>	0,06	0,02	0,03	0,11	3,19	0,98	1,37	3,71	7,39	5,29	6,56	10,75
<i>C. phyllacanthus</i>	0,15	0,13	0,12	0,15	7,83	5,46	4,98	5,32	6,17	5,19	4,78	4,94
<i>C. glaucocarpum</i>	0,03	0,02	0,02	0,01	1,35	0,99	0,88	0,38	5,81	4,36	4,31	2,92
<i>P. moniliformis</i>	0,09	0,16	0,15	0,18	4,30	6,52	6,06	6,37	5,54	7,23	6,81	6,44
<i>A. urundeuva</i>	0,07	0,09	0,10	0,12	3,65	3,88	4,11	4,32	4,57	5,23	5,42	5,35
<i>C. blanchetianus</i>	0,02	0,03	0,02	0,02	1,13	1,43	0,85	0,53	3,24	3,68	2,74	2,53
<i>C. leptophloeos</i>	0,11	0,12	0,12	0,05	5,47	5,05	5,03	1,67	2,73	2,71	2,72	1,60
<i>M. tenuiflora</i>	0,07	0,00	0,00	0,00	3,42	0,14	0,16	0,15	2,01	0,30	0,31	0,31
<i>A. pyriformis</i>	0,01	0,02	0,02	0,03	0,44	0,75	0,82	0,87	1,86	2,52	2,58	2,60
<i>S. brasiliensis</i>	0,04	0,04	0,04	0,05	1,96	1,76	1,81	1,71	1,85	1,94	1,98	1,91
<i>M. glaziovii</i>	0,02	0,00	0,00	0,00	0,86	0,10	0,08	0,10	1,26	0,65	0,62	0,33
<i>S. macranthera</i>	0,00	0,01	0,00	0,00	0,17	0,23	0,13	0,10	1,22	1,39	1,12	0,85
<i>C. heliotropiifolius</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,12	0,14	0,13	0,93	1,17	1,24	1,24
<i>P. retusa</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,04	0,04	0,04	0,82	0,53	0,53	0,53
<i>A. colubrina var. cebil</i>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,45	0,33	0,33	0,43	0,73	0,73	0,74	0,78
<i>V. leucocephala</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00
<i>B. cheilantha</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,08	0,03	0,00	0,53	0,64	0,53	0,00
<i>L. organoides</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00
<i>C. bahianus</i>	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,13	0,14	0,19	0,27	0,37	0,38	0,40
<i>S. obtusifolium</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	0,07	0,06	0,25	0,28	0,28	0,28
<b>Total</b>	<b>1,97</b>	<b>2,38</b>	<b>2,43</b>	<b>2,84</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Em que: AB = Área basal (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); DA = Densidade absoluta (ind.ha<sup>-1</sup>); DR = Densidade relativa (%); FA = Frequência absoluta; FR = Frequência relativa (%); DoA = Dominância absoluta (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); DoR = Dominância relativa (%); VI = Valor de importância (%).



Com relação à Área 2, as espécies que tiveram as maiores densidades absolutas no ano de 2008 foram *C. bracteosum*, *M. ophthalmocentra* e *B. cheilantha*, com o equivalente a 660,00 (47,76%), 225,62 (16,32%) e 70,62 (5,11%) indivíduos por hectare. Em 2016, as maiores densidades absolutas foram registradas por *C. bracteosum*, *M. ophthalmocentra*, e *A. pyriformium*, com o equivalente a 510,00 (56,08%); 65,00 (7,14%); e 56,87 (6,25%) indivíduos por hectare, respectivamente (Tabela 5). Percebe-se que as duas primeiras espécies de maior densidade absoluta inicialmente foram as mesmas no ano de 2016, apenas com alternância de espécies.

Já no período de 2008-2017, as espécies que tiveram as maiores densidades absolutas no ano de 2017 foram *C. bracteosum*, *J. mollissima* e *A. pyriformium* equivalente a 495,00 (56,61%), 64,37 (7,36%); e 53,75 (6,14%) indivíduos por hectare. No ano seguinte do monitoramento da dinâmica (2008-2019), houve alternância na ordem das espécies de maior densidade, sendo as espécies *C. bracteosum*, *J. mollissima* e *M. ophthalmocentra* com o equivalente a 468,12 (55,36%), 73,75 (8,72%); e 63,12 (7,46%) indivíduos por hectare.

Quanto às espécies que apresentaram os maiores valores de importância (VI) no intervalo de 2008-2016 foram *C. bracteosum* (34,67%), *M. ophthalmocentra* (13,06%), *A. urundeuva* (6,37%), *A. pyriformium* (5,75%), e *C. quercifolius* (5,72%). Já no ano de 2016 foram *C. bracteosum* (40,17%), *A. urundeuva* (8,33%), *C. quercifolius* (7,83%), *A. pyriformium* (7,5%) e *M. ophthalmocentra* (6,87%), como pode observar houve mudanças apenas de ordem de posição do VI.

Para medições realizadas em 2017, as cinco espécies que apresentaram maiores valores de importância foram *C. bracteosum* (40,57%), *A. urundeuva* (8,40%), *C. quercifolius* (7,96%), *M. ophthalmocentra* (7,17%) e *A. pyriformium* (7,07%), que representam 71,17% do VI. Foi observado que não houve mudanças expressivas no valor de importância das espécies. No entanto, houve mortalidade de algumas espécies, o que fez que se alterasse a estrutura e a ordem das cinco espécies no valor de importância. Percebe-se que as três primeiras espécies de maior VI inicialmente foram as mesmas no ano de 2016. No último ano de intervalo de dinâmica monitorado as cinco espécies que apresentaram maiores valores de importância foram *C. bracteosum* (40,17%), *A. urundeuva* (8,43%), *M. ophthalmocentra* (8,08%), *J. mollissima* (7,38%) e *M. ophthalmocentra* (7,21%), que representam 71,27% do VI. Vale destacar que a espécie *J. mollissima* ocupou uma posição destacada no ano de 2019, e as três principais espécies mantiveram suas posições.

Inicialmente, foram estimados 1382 indivíduos.ha<sup>-1</sup> no ano de 2008, oito anos de monitoramento se notou que houve redução para 909 indivíduos.ha<sup>-1</sup> no ano de 2016, assim como sua diminuição gradativa, e no último ano do monitoramento se observou na área a estimativa de 846 indivíduos.ha<sup>-1</sup> para o ano de 2019. Quanto ao segundo ano de intervalo monitorado, nove anos após a primeira coleta, na segunda ocasião o número de indivíduos reduziu para 874 indivíduos.ha<sup>-1</sup>, ou seja, uma redução de 36,75%. No entanto, a população da A-2 estudada apresentou diminuição em termos de área basal, com diminuição de 1,9 (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>), assim como no ano seguinte, com o acréscimo de um ano no monitoramento de 2019 houve um pequeno aumento de 0,6 (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>), mas comparado ao ano inicial do monitoramento foi observado perda de 1,3 (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>) de área basal.

Pimentel (2012), ao analisar a vegetação num período anterior a seca severa ou simplesmente seca agrícola e hidrológica que ocorreu de 2012 a 2015, conforme destacado por Marengo; Cunha e Alves (2016), obteve aumento na densidade populacional da vegetação, com aumento de 19,3% com relação ao intervalo de 2008 a 2012. Fica evidente que, com a ocorrência da seca severa o número de indivíduos tem decrescido, evidenciando que a seca severa possa ter contribuído com tal dinâmica e sua estrutura. Porém, a população estudada apresentou crescimento em termos de área basal, possivelmente associado ao crescimento dos indivíduos que resistiram as adversidades, assim como os ingressos durante os anos.

Tabela 5 - Dinâmica da estrutura horizontal na área A2 entre 2008 a 2016, 2017 e 2019.

Nome Científico	AB				DA				DR				FA				FR			
	2008	2016	2017	2019	2008	2016	2017	2019	2008	2016	2017	2019	2008	2016	2017	2019	2008	2016	2017	2019
<i>C. bracteosum</i>	3,770	3,259	3,306	3,595	660,00	510,00	495,00	468,13	47,76	56,08	56,61	55,36	100,00	100,00	100,00	100,00	11,05	13,25	13,51	14,08
<i>M. ophthalmocentra</i>	0,985	0,161	0,171	0,228	225,63	65,00	64,38	63,13	16,33	7,15	7,36	7,46	100,00	82,50	85,00	77,50	11,05	10,93	11,49	10,92
<i>A. urundeuva</i>	0,666	0,707	0,707	0,768	43,13	41,88	41,25	38,13	3,12	4,60	4,72	4,51	72,50	70,00	70,00	70,00	8,01	9,27	9,46	9,86
<i>A. pyrifolium</i>	0,474	0,483	0,467	0,405	64,38	56,88	53,75	47,50	4,66	6,25	6,15	5,62	62,50	57,50	57,50	57,50	6,91	7,62	7,77	8,10
<i>C. quercifolius</i>	0,584	0,702	0,723	0,875	41,25	38,13	36,25	34,38	2,99	4,19	4,15	4,07	65,00	62,50	62,50	55,00	7,18	8,28	8,45	7,75
<i>A. colubrina</i>	0,345	0,174	0,172	0,194	61,88	36,88	35,00	31,25	4,48	4,05	4,00	3,70	60,00	50,00	50,00	47,50	6,63	6,62	6,76	6,69
<i>B. cheilantha</i>	0,067	0,038	0,033	0,024	70,63	37,50	31,25	20,63	5,11	4,12	3,57	2,44	62,50	52,50	52,50	45,00	6,91	6,95	7,09	6,34
<i>M. tenuiflora</i>	0,389	0,066	0,056	0,048	32,50	11,25	10,00	6,88	2,35	1,24	1,14	0,81	47,50	25,00	25,00	17,50	5,25	3,31	3,38	2,46
<i>M. carthaginensis</i>	0,168	0,036	0,036	0,042	47,50	8,75	6,25	5,00	3,44	0,96	0,71	0,59	50,00	25,00	20,00	17,50	5,52	3,31	2,70	2,46
<i>C. leptophloeos</i>	0,380	0,394	0,401	0,449	13,75	10,00	10,00	9,38	1,00	1,10	1,14	1,11	37,50	32,50	32,50	32,50	4,14	4,30	4,39	4,58
<i>C. heliotropiifolius</i>	0,051	0,035	0,033	0,033	41,25	26,25	26,25	23,13	2,99	2,89	3,00	2,73	40,00	42,50	40,00	37,50	4,42	5,63	5,41	5,28
<i>J. mollissima</i>	0,022	0,035	0,044	0,151	23,75	32,50	36,25	73,75	1,72	3,57	4,15	8,72	52,50	57,50	62,50	80,00	5,80	7,62	8,45	11,27
<i>P. retusa</i>	0,098	0,047	0,042	0,052	18,75	13,13	10,63	9,38	1,36	1,44	1,22	1,11	42,50	25,00	17,50	17,50	4,70	3,31	2,36	2,46
<i>S. brasiliensis</i>	0,086	0,101	0,101	0,056	8,75	7,50	7,50	5,63	0,63	0,82	0,86	0,67	27,50	22,50	22,50	17,50	3,04	2,98	3,04	2,46
<i>S. glandulosum</i>	0,133	0,023	0,013	0,019	6,25	3,13	1,88	1,88	0,45	0,34	0,21	0,22	20,00	12,50	7,50	7,50	2,21	1,66	1,01	1,06
<i>C. glaucocarpum</i>	0,007	0,005	0,004	0,003	5,63	3,75	3,13	3,13	0,41	0,41	0,36	0,37	20,00	15,00	12,50	12,50	2,21	1,99	1,69	1,76
<i>E. calycinus</i>	0,017	0,001	0,001	0,001	5,63	0,63	0,63	0,63	0,41	0,07	0,07	0,07	10,00	2,50	2,50	2,50	1,10	0,33	0,34	0,35
<i>S. tuberosa</i>	0,066	0,000	0,076	0,082	0,63	0,00	0,63	0,63	0,05	0,00	0,07	0,07	2,50	0,00	2,50	2,50	0,28	0,00	0,34	0,35
<i>L. ferrea</i>	0,010	0,013	0,013	0,014	1,88	1,88	1,25	1,25	0,14	0,21	0,14	0,15	5,00	5,00	5,00	5,00	0,55	0,66	0,68	0,70
<i>C. flexuosa</i>	0,007	0,007	0,008	0,003	1,88	1,25	1,25	0,63	0,14	0,14	0,14	0,07	5,00	5,00	5,00	2,50	0,55	0,66	0,68	0,35
<i>C. bahianus</i>	0,009	0,002	0,002	0,000	1,25	0,63	0,63	0,00	0,09	0,07	0,07	0,00	5,00	2,50	2,50	0,00	0,55	0,33	0,34	0,00
<i>V. leucocephala</i>	0,004	0,000	0,000	0,000	1,88	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00
<i>S. macranthera</i>	0,001	0,075	0,000	0,000	1,25	0,63	0,00	0,00	0,09	0,07	0,00	0,00	5,00	2,50	0,00	0,00	0,55	0,33	0,00	0,00
<i>X. americana</i>	0,003	0,000	0,000	0,000	1,25	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00
<i>P. bahiensis</i>	0,000	0,001	0,001	0,001	0,63	0,63	0,63	0,63	0,05	0,07	0,07	0,07	2,50	2,50	2,50	2,50	0,28	0,33	0,34	0,35
<i>S. joazeiro</i>	0,001	0,000	0,000	0,000	0,63	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00
<i>N. longifolium</i>	-	0,001	0,000	0,001	-	1,25	0,63	0,63	-	0,14	0,07	0,07	-	2,50	2,50	2,50	-	0,33	0,34	0,35
<b>Total</b>	<b>8,3</b>	<b>6,4</b>	<b>6,4</b>	<b>7,0</b>	<b>1381,9</b>	<b>909,4</b>	<b>874,4</b>	<b>845,6</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>905</b>	<b>755</b>	<b>740</b>	<b>710</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Continua...

Tabela 5 – Continuação.

Nome Científico	DoA				DoR				VI			
	2008	2016	2017	2019	2008	2016	2017	2019	2008	2016	2017	2019
<i>C. bracteosum</i>	2,36	2,04	2,07	2,25	45,19	51,20	51,57	51,05	34,67	40,17	40,57	40,17
<i>M. ophthalmocentra</i>	0,62	0,10	0,11	0,14	11,81	2,53	2,67	3,24	13,06	6,87	7,17	7,21
<i>A. urundeuva</i>	0,42	0,44	0,44	0,48	7,98	11,11	11,02	10,91	6,37	8,33	8,40	8,43
<i>A. pyrifolium.</i>	0,30	0,30	0,29	0,25	5,68	7,59	7,28	5,75	5,75	7,15	7,07	6,49
<i>C. quercifolius</i>	0,37	0,44	0,45	0,55	7,00	11,02	11,28	12,43	5,72	7,83	7,96	8,08
<i>A. colubrina</i>	0,22	0,11	0,11	0,12	4,13	2,73	2,68	2,75	5,08	4,47	4,48	4,38
<i>B. cheilantha</i>	0,04	0,02	0,02	0,02	0,80	0,59	0,52	0,35	4,27	3,89	3,73	3,04
<i>M. tenuiflora</i>	0,24	0,04	0,04	0,03	4,66	1,03	0,88	0,69	4,09	1,86	1,80	1,32
<i>M. carthaginensis</i>	0,11	0,02	0,02	0,03	2,02	0,56	0,56	0,59	3,66	1,61	1,33	1,22
<i>C. leptophloeos</i>	0,24	0,25	0,25	0,28	4,56	6,18	6,26	6,38	3,23	3,86	3,93	4,02
<i>C. heliotropiifolius</i>	0,03	0,02	0,02	0,02	0,62	0,54	0,51	0,47	2,67	3,02	2,97	2,83
<i>J. mollissima</i>	0,01	0,02	0,03	0,09	0,26	0,56	0,69	2,14	2,59	3,92	4,43	7,38
<i>P. retusa</i>	0,06	0,03	0,03	0,03	1,18	0,74	0,66	0,74	2,41	1,83	1,41	1,44
<i>S. brasiliensis</i>	0,05	0,06	0,06	0,04	1,03	1,59	1,58	0,80	1,57	1,80	1,83	1,31
<i>S. glandulosum</i>	0,08	0,02	0,01	0,01	1,60	0,37	0,20	0,26	1,42	0,79	0,48	0,51
<i>C. glaucocarpum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,08	0,07	0,04	0,90	0,82	0,70	0,72
<i>E. calycinus</i>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,21	0,02	0,02	0,01	0,57	0,14	0,14	0,15
<i>S. tuberosa</i>	0,04	0,00	0,05	0,05	0,79	0,00	1,18	1,16	0,37	0,00	0,53	0,53
<i>L. ferrea</i>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,12	0,21	0,20	0,20	0,27	0,36	0,34	0,35
<i>C. flexuosa</i>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,09	0,11	0,13	0,04	0,26	0,30	0,31	0,16
<i>C. bahianus</i>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,10	0,03	0,03	0,00	0,25	0,14	0,15	0,00
<i>V. leucocephala</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00
<i>S. macranthera</i>	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01	1,19	0,00	0,00	0,22	0,53	0,00	0,00
<i>X. americana</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00
<i>P. bahiensis</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,11	0,14	0,14	0,15
<i>S. joazeiro.</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00
<i>N. longifolium</i>	-	0,00	0,00	0,00	-	0,02	0,01	0,01	-	0,16	0,14	0,14
<b>Total</b>	<b>5,2</b>	<b>4,0</b>	<b>4,0</b>	<b>4,4</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Em que: AB = Área basal (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); DA = Densidade absoluta (ind.ha<sup>-1</sup>); DR = Densidade relativa (%); FA = Frequência absoluta; FR = Frequência relativa (%); DoA = Dominância absoluta (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); DoR = Dominância relativa (%); VI = Valor de importância(%).

Na (Tabela 6), podem ser visualizados os resultados iniciais da estatística F univariada, para a dinâmica da estrutura horizontal, que indicou que entre os anos em geral não existem diferenças significativas na maioria dos parâmetros estruturais, a um nível de significância de 5% em ambas as áreas estudadas.

**Tabela 6** – Análise de variância de medidas repetidas para a estrutura horizontal entre os intervalos da dinâmica analisada, em duas áreas de Caatinga.

		<b>A1 – área menos preservada</b>							
<b>Variável</b>	<b>F.V</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>G-G</b>	<b>H-F</b>	<b>Friedman</b>
AB	Nº de intervalos	3	0,045	0,015	0,929	0,431	0,349	0,349	0,535
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	63	1,015	0,016	-	-	-	-	-
	Total	66	1,060	-	-	-	-	-	-
DA	Nº de intervalos	3	343,004	114,335	2,787	<b>0,047*</b>	0,071	0,064	<b>0,001*</b>
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	63	2584,339	41,021	-	-	-	-	-
	Total	66	2927,343	-	-	-	-	-	-
DoA	Nº de intervalos	3	0,017	0,006	0,922	0,435	0,351	0,352	0,549
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	63	0,396	0,006	-	-	-	-	-
	Total	66	0,414	-	-	-	-	-	-
DoR	Nº de intervalos	3	3,41e <sup>-6</sup>	1,14e <sup>-6</sup>	<b>3,97e<sup>-7*</sup></b>	1,000	1,000	1,000	0,066
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	63	180,378	2,863	-	-	-	-	-
	Total	66	180,378	-	-	-	-	-	-
DR	Nº de intervalos	3	5,0e <sup>-5</sup>	1,67e <sup>-5</sup>	9,125	1,000	1,000	1,000	0,901
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	63	115,065	1,826	-	-	-	-	-
	Total	66	115,065	-	-	-	-	-	-
FA	Nº de intervalos	3	91,193	30,398	3,178	<b>0,030*</b>	<b>0,062*</b>	<b>0,058*</b>	<b>0,004*</b>
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	63	602,557	9,564	-	-	-	-	-
	Total	66	693,750	-	-	-	-	-	-
FR	Nº de intervalos	3	5,8e <sup>-5</sup>	1,93e <sup>-5</sup>	<b>2,54e<sup>-5*</sup></b>	1,000	1,000	1,000	<b>0,025*</b>
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	63	47,945	0,761	-	-	-	-	-
	Total	66	47,945	-	-	-	-	-	-
VI	Nº de intervalos	3	2,73e <sup>-5</sup>	9,09e <sup>-6</sup>	<b>6,61e<sup>-6*</sup></b>	1,000	1,000	1,000	0,879
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	63	86,584	1,374	-	-	-	-	-
	Total	66	86,584	-	-	-	-	-	-
		<b>A2 – área mais preservada</b>							
<b>Variável</b>	<b>F.V</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>G-G</b>	<b>H-F</b>	<b>Friedman</b>
AB	Nº de intervalos	3	0,094	0,031	3,198	<b>0,028*</b>	0,073	0,072	0,116
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	78	0,768	0,010	-	-	-	-	-
	Total	81	0,862	-	-	-	-	-	-
DA	Nº de intervalos	3	7171,224	2390,408	4,626	<b>0,005*</b>	<b>0,038*</b>	<b>0,038*</b>	<b>0,000*</b>
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	78	40304,360	516,723	-	-	-	-	-
	Total	81	47475,584	-	-	-	-	-	-
DoA	Nº de intervalos	3	0,037	0,012	3,187	0,028	0,074	0,072	0,104
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	78	0,300	0,004	-	-	-	-	-
	Total	81	0,337	-	-	-	-	-	-
DoR	Nº de intervalos	3	3,70e <sup>-6</sup>	1,23e <sup>-6</sup>	<b>6,98e<sup>-7*</sup></b>	1,000	1,000	1,000	0,250
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	78	138,005	1,769	-	-	-	-	-
	Total	81	138,005	-	-	-	-	-	-
DR	Nº de intervalos	3	1,26e <sup>-4</sup>	4,20e <sup>-5</sup>	<b>2,12e<sup>-5*</sup></b>	1,000	0,999	0,999	0,069
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	78	154,795	1,985	-	-	-	-	-
	Total	81	154,795	-	-	-	-	-	-
FA	Nº de intervalos	3	841,667	280,556	10,303	<b>0,000*</b>	<b>0,002*</b>	<b>0,001*</b>	<b>0,000*</b>
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	78	2123,958	27,230	-	-	-	-	-
	Total	81	2965,625	-	-	-	-	-	-
FR	Nº de intervalos	3	2,96e <sup>-5</sup>	9,88e <sup>-6</sup>	<b>1,82e<sup>-5*</sup></b>	1,000	0,999	0,999	0,567
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	78	42,279	0,542	-	-	-	-	-
	Total	81	42,279	-	-	-	-	-	-
VI	Nº de intervalos	3	3,24e <sup>-5</sup>	1,08e <sup>-5</sup>	<b>1,01e<sup>-5*</sup></b>	1,000	0,999	0,999	0,741
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	78	83,319	1,068	-	-	-	-	-
	Total	81	83,320	-	-	-	-	-	-

Em que: AB = Área basal; DA = Densidade absoluta; DR = Densidade relativa; FA = Frequência absoluta; FR = Frequência relativa; DoA = Dominância absoluta; DoR = Dominância relativa; VI = Valor de importância; F.V = Fonte de variação; G.L = Graus de liberdade; SQ = Soma dos quadrados; QM = Quadrado médio; F= Valor de Teste “F” calculado; P = Valor de teste “P” calculado; G-G= Valor de teste Greenhouse e Geisser calculado; e H-F = Huynh e Feldt calculado; Friedman = Valor do teste de Friedman calculado; e \* = significativo ao nível de 5% de significância.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas foi executada para verificar as variáveis da estrutura horizontal, na qual a variável resposta (tratamento) foi acompanhada ao longo do tempo (dados longitudinais), conforme os pressupostos mencionados na metodologia. Vale ressaltar que para medidas repetidas foi considerada a correção do F (Von Ende, 1993), por meio das correções de Greenhouse e Geisser (G-G) ( $\epsilon < 0,75$ ); e Huynh e Feldt (H-F), para inferir em cada fonte de variação.

Para afirmar que a estrutura horizontal é influenciada com o passar dos anos os valores obtidos em geral não são significativos, com algumas exceções, como o valor de ( $p=0,047$ ), e ( $p=0,005$ ), na densidade absoluta, em ambas as áreas, respectivamente. As mudanças ocorridas ao longo do tempo foram semelhantes nas duas áreas, com destaque em alterações apenas na densidade absoluta, frequência absoluta e relativa em cada área.

Inicialmente, os resultados obtidos para as variáveis de ambas as áreas indicaram não haver diferença significativa, conforme verificado na ANOVA de medidas repetidas sem considerar a necessidade de correção por esfericidade, no qual foi verificado não haver diferença significativa para as variáveis analisadas. Considerando a correção de Greenhouse e Geisser ( $\epsilon < 0,75$ ), apesar dos valores de G-G ter sido semelhante aos valores de H-F, os valores de G-G descritos na (Tabela 6), tendem a ser mais conservadores do que H-F.

Apesar do teste de Friedman indicar significância estatística, quando aplicado o teste post hoc de Dunn com correção de Bonferroni, os principais resultados na área (A1): a densidade absoluta entre os anos de 2008 a 2019, com valor de p de (0,0034), os demais intervalos sem diferença estatística, evidenciando a dependência temporal. Já na frequência absoluta não foram identificadas diferenças significativas. Para a frequência relativa foi obtido valor de (0,043) entre os anos de 2016 a 2017. Para a área (A2) a densidade absoluta entre os anos de 2008, 2016, 2017 e 2019, apresentou diferenças significativas, de acordo com o post hoc de Dunn, com correção de Bonferroni, com valores de p ajustado de (0,0034), ( $7,3e^{-05}$ ) e ( $5,8e^{-09}$ ),

respectivamente. Isso foi notado na frequência absoluta, com valores de p ajustado de (0,0225), (0,0045) e (5,8e<sup>-06</sup>), respectivamente. Para a frequência relativa não houve diferenças, com valores de p (1,00).

### 3.4. Dinâmica no crescimento em área basal na A1 e A2

Sabe-se que o Nordeste é uma região de elevado déficit hídrico, de escala temporal de distribuição de chuvas altamente variável (ÁLVAREZ-YÉPIZ *et al.*, 2018; MARENGO *et al.*, 2018). Inclusive, vale destacar que o domínio de Caatinga é considerado a região semiárida que mais passa por processos de modificações em sua vegetação devido à existência de heterogeneidade das condições adversas (SILVA; SOUZA, 2018; QUEIROZ *et al.*, 2017).

Quanto aos valores de crescimento em área basal por espécies (Tabela 7), na (A1) as espécies que apresentaram os maiores valores de crescimento líquido em área basal com ingressos (Cli) no período 2008-2016 foram: *C. bracteosum* com 0,4792 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, *P. moniliformis* 0,00709 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, *A. urundeuva* 0,0208 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, *C. leptophloeos* 0,0128 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> e *C. blanchetianus* 0,0118 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Já as espécies de menores valores de crescimento foram: *S. obtusifolium* 0,0001 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, *B. cheilantha* 0,0009 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, e *S. macranthera* 0,0021 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, seguido das demais espécies, além das espécies com área basal negativada, devido ao seu crescimento natural negativo.

Quanto ao crescimento líquido sem ingressos (Ci), foram a sequência das mesmas espécies do (Cli), com os seguintes valores de (Ci): *C. bracteosum* com 0,3743 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, *P. moniliformis* 0,0468 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> e *A. urundeuva* 0,0193 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Já as espécies de menores valores de crescimento foram também as mesmas, com os seguintes valores: *S. obtusifolium* 0,0001 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, *B. cheilantha* 0,0001 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, e *S. macranthera* 0,0003 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, seguido das demais espécies, além das espécies com balanço de área basal negativada, com crescimento natural negativo, devido a altas taxas de mortalidade. Tal mortalidade das espécies em geral resultou numa perda de número de árvores de 11,36%. As espécies que apresentaram maior mortalidade foram: *C. bracteosum*, *M. ophthalmocentra*, *M. tenuiflora*, *C. phyllacanthus* e *J. mollissima*.

No período de 2008 a 2017, as espécies que apresentaram as maiores taxas de crescimento líquido com ingressos (Cli) foram: *C. bracteosum* com 0,5398 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, *P. moniliformis* 0,0622 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> e *A. urundeuva* com 0,0278 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, *C. leptophloeos* 0,0145 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> e *A. pyrifolium* 0,0112 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Já as espécies de menores valores de

crescimento foram: *S. obtusifolium* 0,0002 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, *C. bahianus* 0,0026 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, e *S. brasiliensis* 0,0054m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, seguido das demais espécies com balanço negativo, em seu crescimento natural negativo.

Quanto ao crescimento líquido sem ingressos (CI), foram a sequência das mesmas espécies do (Cli), com os seguintes valores de (CI): *C. bracteosum* 0,4343 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, *P. moniliformis* 0,0396 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> e *A. urundeuva* 0,0261 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Já as espécies de menores valores de crescimento foram: *S. obtusifolium* 0,0002 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, *S. brasiliensis* 0,0044m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> e *C. bahianus* 0,0026 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, seguido das demais espécies, além das espécies com valor de crescimento natural negativo. Nesse período a mortalidade das espécies em geral foi de 15,75%. As espécies que apresentaram maior mortalidade foram: *C. bracteosum*, *M. ophthalmocentra*, *C. phyllacanthus*, *M. tenuiflora* e *J. mollissima*.

No período de 2008 a 2019, as espécies que apresentaram as maiores taxas de crescimento líquido com ingressos (Cli) foram: *C. bracteosum* com 0,8792 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, *P. moniliformis* 0,0964 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, *A. urundeuva* 0,0510 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, com destaque para a espécie *J. mollissima* 0,0427 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, onde nos demais intervalos era observado apenas balanço negativo desta espécie, seguido da *A. pyriformis* 0,0160 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Já as espécies de menores valores de crescimento foram: *S. obtusifolium* 0,0001 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, destaque para espécie *C. heliotropiifolius* 0,0003 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, e *A. columbrina var. cebil* 0,0035 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, que assim como a *J. mollissima* era apenas observadas com valores negativos, seguido de demais espécies, além das espécies com crescimento natural negativo.

Quanto ao crescimento líquido sem ingressos (CI), foram a sequência das mesmas espécies do (Cli), com os seguintes valores de (CI): *C. bracteosum* 0,7314 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, *P. moniliformis* 0,0664 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> e *A. urundeuva* 0,0499 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Já as espécies de menores valores de crescimento foram: *S. obtusifolium* 0,001 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, *S. brasiliensis* 0,009 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> e *A. columbrina var. cebil* 0,0035 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, seguido das demais espécies, além das espécies com área basal de valores negativos. Nesse período a mortalidade acumulada dos indivíduos foi de 16,36%. E as espécies que apresentaram maior mortalidade foram: *C. bracteosum*, *M. ophthalmocentra*, *C. phyllacanthus*, *M. tenuiflora* e *J. mollissima*.



Tabela 7 - Dinâmica do crescimento na área (A1), entre os intervalos: 2008-2016; 2008-2017 e 2008-2019.

Nome Científico	Gi	Gf	Gf	Gf	I	I	I	M	M	M
	(2008)	(2016)	(2017)	(2019)	(2008-2016)	(2008-2017)	(2008-2019)	(2008-2016)	(2008-2017)	(2008-2019)
<i>A. colubrina var. cebil</i>	0,0088	0,0078	0,0081	0,0123	0	0	0	0,0034	0,0034	0,0034
<i>A. pyrifolium</i>	0,0087	0,018	0,0199	0,0247	0,0026	0,0028	0,0042	0	0	0
<i>B. cheilantha</i>	0,0009	0,0018	0,0008	0	0,0008	0	0	0	0	0,0003
<i>C. bahianus</i>	0,0009	0,0031	0,0035	0,0055	0	0	0	0	0	0
<i>C. bracteosum</i>	1,0319	1,5111	1,5718	1,9111	0,1049	0,1055	0,1478	0,1196	0,1222	0,1439
<i>C. phyllacanthus</i>	0,154	0,1301	0,1207	0,1514	0,0081	0,0032	0,0085	0,0621	0,0664	0,0664
<i>C. leptophloeos</i>	0,1076	0,1204	0,1221	0,0474	0	0	0	0	0	0
<i>C. blanchetianus</i>	0,0222	0,034	0,0205	0,0151	0,0089	0,0028	0,0073	0,0038	0,0075	0,0101
<i>C. heliotropiifolius</i>	0,0035	0,0029	0,0034	0,0038	0,0004	0,0004	0,0011	0,0004	0,0004	0,0004
<i>J. molíssima</i>	0,0627	0,0234	0,0332	0,1054	0,0072	0,0136	0,0894	0,0502	0,0498	0,0534
<i>L. origanoides</i>	0,0014	0	0	0	0	0	0	0,0013	0,0013	0,0013
<i>M. glaziovii</i>	0,017	0,0023	0,0019	0,0029	0,0017	0,0014	0,0029	0,0163	0,0163	0,0166
<i>M. ophthalmocentra</i>	0,2484	0,2044	0,1976	0,1908	0,0054	0,0052	0,0079	0,1019	0,113	0,1208
<i>M. tenuiflora</i>	0,0673	0,0034	0,0038	0,0043	0	0	0	0,0635	0,0635	0,0635
<i>A. urundeuva</i>	0,0718	0,0926	0,0996	0,1228	0,0016	0,0017	0,0011	0,0007	0,0007	0,0016
<i>P. retusa</i>	0,0025	0,0009	0,001	0,0011	0	0	0,0004	0,0014	0,0014	0,0014
<i>P. moniliformis</i>	0,0847	0,1555	0,1469	0,1811	0,0241	0,0226	0,03	0,0023	0,0075	0,0141
<i>S. brasiliensis</i>	0,0385	0,042	0,0439	0,0487	0,0008	0,001	0,0011	0,0063	0,0063	0,0078
<i>S. macranthera</i>	0,0034	0,0054	0,0031	0,0028	0,0017	0,001	0,002	0	0,001	0,0021
<i>S. obtusifolium</i>	0,0015	0,0016	0,0017	0,0016	0	0	0	0	0	0
<i>C. glaucocarpum</i>	0,0265	0,0236	0,0213	0,0107	0,0062	0,007	0,0059	0,0112	0,0128	0,0186
<i>V. leucocephala</i>	0,0032	0	0	0	0	0	0	0,003	0,003	0,003
<b>Total</b>	<b>1,9673</b>	<b>2,3846</b>	<b>2,4249</b>	<b>2,8434</b>	<b>0,1744</b>	<b>0,1683</b>	<b>0,3096</b>	<b>0,4473</b>	<b>0,4766</b>	<b>0,5287</b>

Continua...

Tabela 7 – Continuação.

Nome Científico	Cbi	Cbi	Cbi	Cb	Cb	Cb	Cli	Cli	Cli	CI	CI	CI
	(2008-2016)	(2008-2017)	(2008-2019)	(2008-2016)	(2008-2017)	(2008-2019)	(2008-2016)	(2008-2017)	(2008-2019)	(2008-2016)	(2008-2017)	(2008-2019)
<i>A. colubrina var. cebil</i>	0,0025	0,0027	0,0069	0,0025	0,0027	0,0069	-0,0009	-0,0007	0,0035	-0,0009	-0,0007	0,0035
<i>A. pyrifolium</i>	0,0093	0,0112	0,016	0,0067	0,0084	0,0117	0,0093	0,0112	0,016	0,0067	0,0084	0,0117
<i>B. cheilantha</i>	0,0009	-0,0001	-0,0006	0,0001	-0,0001	-0,0006	0,0009	-0,0001	-0,0009	0,0001	-0,0001	-0,0009
<i>C. bahianus</i>	0,0022	0,0026	0,0046	0,0022	0,0026	0,0046	0,0022	0,0026	0,0046	0,0022	0,0026	0,0046
<i>C. bracteosum</i>	0,5988	0,662	1,0231	0,4939	0,5565	0,8752	0,4792	0,5398	0,8792	0,3743	0,4343	0,7314
<i>C. phyllacanthus</i>	0,0383	0,0331	0,0638	0,0302	0,0299	0,0553	-0,0239	-0,0332	-0,0026	-0,0319	-0,0365	-0,0111
<i>C. leptophloeos</i>	0,0128	0,0145	-0,0602	0,0128	0,0145	-0,0602	0,0128	0,0145	-0,0602	0,0128	0,0145	-0,0602
<i>C. blanchetianus</i>	0,0156	0,0059	0,0029	0,0067	0,0031	-0,0043	0,0118	-0,0016	-0,0071	0,0029	-0,0045	-0,0144
<i>C. heliotropiifolius</i>	-0,0001	0,0004	0,0007	-0,0005	-0,0001	-0,0004	-0,0006	-0,0001	0,0003	-0,001	-0,0005	-0,0008
<i>J. molíssima</i>	0,0109	0,0203	0,0961	0,0037	0,0067	0,0067	-0,0393	-0,0295	0,0427	-0,0465	-0,0431	-0,0467
<i>L. origanoides</i>	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0014	-0,0014	-0,0014	-0,0014	-0,0014	-0,0014
<i>M. glaziovii</i>	0,0016	0,0012	0,0026	-0,0002	-0,0002	-0,0004	-0,0147	-0,0151	-0,0141	-0,0165	-0,0165	-0,017
<i>M. ophthalmocentra</i>	0,0579	0,0623	0,0632	0,0525	0,0571	0,0554	-0,044	-0,0508	-0,0576	-0,0494	-0,0559	-0,0655
<i>M. tenuiflora</i>	-0,0003	0,0001	0,0005	-0,0003	0,0001	0,0005	-0,0638	-0,0635	-0,063	-0,0638	-0,0635	-0,063
<i>A. urundeuva</i>	0,0215	0,0285	0,0526	0,02	0,0268	0,0515	0,0208	0,0278	0,051	0,0193	0,0261	0,0499
<i>P. retusa</i>	-0,0002	-0,0001	0,0001	-0,0002	-0,0001	-0,0003	-0,0016	-0,0015	-0,0014	-0,0016	-0,0015	-0,0017
<i>P. moniliformis</i>	0,0732	0,0697	0,1105	0,0491	0,0471	0,0805	0,0709	0,0622	0,0964	0,0468	0,0396	0,0664
<i>S. brasiliensis</i>	0,0097	0,0116	0,018	0,0089	0,0107	0,0169	0,0034	0,0054	0,0102	0,0026	0,0044	0,009
<i>S. macranthera</i>	0,0021	0,0007	0,0015	0,0003	-0,0003	-0,0004	0,0021	-0,0003	-0,0006	0,0003	-0,0013	-0,0025
<i>S. obtusifolium</i>	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001
<i>C. glaucocarpum</i>	0,0083	0,0076	0,0027	0,0021	0,0006	-0,0032	-0,0029	-0,0052	-0,0158	-0,009	-0,0122	-0,0218
<i>V. leucocephala</i>	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0032	-0,0032	-0,0032	-0,0032	-0,0032	-0,0032
<b>Total</b>	<b>0,8646</b>	<b>0,9341</b>	<b>1,4048</b>	<b>0,6902</b>	<b>0,7658</b>	<b>1,0952</b>	<b>0,4172</b>	<b>0,4575</b>	<b>0,876</b>	<b>0,2429</b>	<b>0,2892</b>	<b>0,5665</b>

Em que: Gi= Área basal inicial (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); Gf= Área basal final(m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); I = ingresso (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); M = mortalidade (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); Cbi = Crescimento bruto incluindo o ingresso (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); Cb = Crescimento bruto excluindo o ingresso (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); Cli = Crescimento líquido incluindo o ingresso (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); CI = Crescimento líquido excluindo o ingresso (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>).

Na (A2) as espécies que apresentaram as maiores taxas de crescimento líquido com ingressos (Cli) no período 2008-2016 foram: *C. quercifolius* com  $0,0733 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *A. urundeuva*  $0,0256 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *S. brasiliensis*  $0,0092 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *J. mollissima*  $0,0086 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  e *C. leptophloeos*  $0,0085 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  (Tabela 8). Já as espécies de menores valores de crescimento foram: *Ptilochaeta bahiensis*  $0,0001 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *N. longifolium*  $0,0008 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *L. ferrea*  $0,0022 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *A. pyrifolium*  $0,0058 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  e *S. tuberosa*  $0,0061 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , além das espécies com crescimento natural negativo.

Quanto ao crescimento líquido sem considerar o número de indivíduos ingressantes (CI), as espécies que apresentaram maiores valores de crescimento em área basal foram: *C. quercifolius* com  $0,0723 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *A. urundeuva*  $0,0230 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *C. leptophloeos*  $0,0085 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *S. brasiliensis*  $0,0094 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  e *S. tuberosa*  $0,0061 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ . Já as espécies de menores valores de crescimento foram: *N. longifolium*  $0,0002 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *A. pyrifolium*  $0,0012 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *L. ferrea*  $0,0019 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ . A espécie *C. flexuosa* não apresentou crescimento, pois não houve ingressos de fustes e nem novos indivíduos, nem mortalidade de fuste, o que houve foi uma estagnação no crescimento desta espécie. As demais espécies tiveram seu balanço da área basal negativa. A mortalidade das espécies em geral foi de 34,22% quanto ao número de indivíduos. As espécies que apresentaram maior mortalidade foram: *C. bracteosum*, *M. ophthalmocentra*, *M. tenuiflora*, *A. pyrifolium* e *M. carthaginensis subsp. glaziovi*.

No período 2008 a 2017, as espécies que apresentaram as maiores taxas de crescimento líquido com ingressos (Cli) foram: *C. quercifolius* com  $0,08691 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *A. urundeuva* com  $0,0254 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *J. mollissima*  $0,0141 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *C. leptophloeos*  $0,0085 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ . Já as espécies de menores valores de crescimento foram: *Ptilochaeta bahiensis*  $0,0001 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *N. longifolium*  $0,0002 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *C. flemortuosa*  $0,0005 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  e *L. ferrea*  $0,0021 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , seguido das demais espécies com balanço negativo.

Quanto ao crescimento líquido sem ingressos (CI): *C. quercifolius*  $0,0858 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *A. urundeuva*  $0,0213 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , *C. leptophloeos*  $0,0132 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *S. brasiliensis*  $0,0085 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  e *S. tuberosa*  $0,0062 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ . Já as espécies de menores valores de crescimento foram: *N. longifolium*  $0,0002 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *C. flemortuosa*  $0,0005 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  e *L. ferrea*  $0,0021 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , seguido das demais espécies com valores negativos. Neste período a mortalidade dos indivíduos em geral foi de 36,75%. As espécies que apresentaram maior mortalidade foram: *C. bracteosum*, *M. ophthalmocentra*, *M. tenuiflora*, *A. columbrina var. cebil* e *M. carthaginensis subsp. glaziovi*.

No período 2008 a 2019, as espécies que apresentaram as maiores taxas de crescimento líquido com ingressos (Cli) foram: *C. quercifolius* com  $0,1816 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *J. mollissima*  $0,0806 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *A. urundeuva* com  $0,0638 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *C. leptophloeos*  $0,0431 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  e *L. ferrea*  $0,0027 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ . Já as espécies de menores valores de crescimento foram: *Ptilochaeta bahiensis*  $0,0002 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *N. longifolium*  $0,0003 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  e *S. tuberosa*  $0,0100 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , seguido das demais espécies com valores negativos.

Quanto ao crescimento líquido sem ingressos (Cl), foram os seguintes valores: *C. quercifolius* com  $0,1795 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *A. urundeuva* com  $0,0568 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *C. leptophloeos*  $0,0425 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , *S. tuberosa*  $0,0100 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$  e *L. ferrea*  $0,0027 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ , já as demais espécies com balanço natural negativo da área basal, com exceção da espécie *N. longifolium* que neste período não apresentou taxa de mortalidade e sim de indivíduos ingressantes, no entanto teve seu crescimento cessado quando analisado ao longo do período. Neste período, a mortalidade foi de 38,78% quanto ao número de ingresso de indivíduos. As espécies que apresentaram maior mortalidade foram: *C. bracteosum*, *M. ophthalmocentra*, *M. tenuiflora*, *A. columbrina var. cebil* e *A. pyriformis*. Apesar de algumas dessas espécies apresentaram os maiores valores de mortalidade, as mesmas apresentam os maiores valores de ingresso, no entanto nem sempre o número de ingresso supera ao de egressos, o que acarreta valores negativos no balanço de crescimento em área basal.

As espécies com mais indivíduos registrados foram *C. bracteosum*, *M. ophthalmocentra*, *C. blanchetianus* e *P. moniliformis*. Conseqüentemente foram as espécies que mais contribuíram em incremento final de área basal, com exceção da *C. blanchetianus*, que teve a taxa de mortalidade maior do que a de ingresso, o que favoreceu na diminuição do crescimento. No entanto, de maneira geral, verifica-se a tendência de que as espécies de maiores densidades absolutas são as que mais contribuem para incremento em área basal. Como visto, várias foram as espécies que apresentaram crescimento líquido natural negativo, tal fato é explicado pela alta taxa de mortalidade que foi influenciada por períodos prolongados de estiagens conforme definido por Marengo; Cunha e Alves (2016).

Tabela 8 - Dinâmica do crescimento na área (A2), entre os intervalos: 2008-2016; 2008-2017 e 2008-2019.

Nome Científico	Gi	Gf	Gf	Gf	I	I	I	M	M	M
	(2008)	(2016)	(2017)	(2019)	(2008-2016)	(2008-2017)	(2008-2019)	(2008-2016)	(2008-2017)	(2008-2019)
<i>A. colubrina</i> var. <i>cebil</i>	0,2153	0,1086	0,1072	0,1212	0,0049	0,0067	0,0114	0,1177	0,124	0,1318
<i>A. pyrifolium</i>	0,2961	0,3018	0,2917	0,2529	0,0046	0,004	0,0086	0,0771	0,0856	0,1196
<i>B. cheilantha</i>	0,0419	0,0236	0,0209	0,0153	0,0098	0,0086	0,0086	0,0182	0,0182	0,0251
<i>C. bahianus</i>	0,0053	0,0013	0,0013	0	0	0	0	0	0	0,0051
<i>C. bracteosum</i>	2,3559	2,0367	2,0662	2,2465	0,038	0,0406	0,0962	0,5322	0,5605	0,6571
<i>C. flexuosa</i>	0,0045	0,0045	0,005	0,0017	0	0	0	0	0	0,0035
<i>C. glaucocarpum</i>	0,0043	0,003	0,0026	0,0017	0	0	0,0003	0,0018	0,0018	0,0021
<i>C. heliotropiifolius</i>	0,0321	0,0216	0,0205	0,0206	0,0102	0,0098	0,0103	0,018	0,0184	0,0186
<i>C. leptophloeos</i>	0,2375	0,2461	0,2507	0,2806	0	0	0,0005	0,0197	0,0197	0,023
<i>C. quercifolius</i>	0,3652	0,4385	0,4521	0,5468	0,001	0,0011	0,0021	0,0074	0,0166	0,0261
<i>E. calycinus</i>	0,0108	0,0006	0,0006	0,0005	0	0	0	0,0097	0,0097	0,0097
<i>J. molíssima</i>	0,0135	0,0221	0,0276	0,0941	0,0093	0,0141	0,0814	0,0049	0,0049	0,0063
<i>L. férrea</i>	0,006	0,0083	0,0081	0,0088	0,0003	0	0	0	0	0
<i>M. carthaginensis</i> subsp. <i>glaziovii</i>	0,1051	0,0224	0,0225	0,026	0	0	0	0,0873	0,088	0,0913
<i>M. ophthalmocentra</i>	0,6156	0,1006	0,1069	0,1424	0,0116	0,0202	0,0476	0,5059	0,5178	0,5321
<i>M. tenuiflora</i>	0,243	0,0411	0,0352	0,0303	0	0	0	0,1849	0,2066	0,2146
<i>A. urundeuva</i>	0,4162	0,4418	0,4416	0,48	0,0027	0,0041	0,007	0,0403	0,042	0,0613
<i>N. longifolium</i>	0	0,0008	0,0002	0,0003	0,0006	0	0,0003	0	0	0
<i>P. retusa</i>	0,0613	0,0295	0,0263	0,0324	0,0007	0,0011	0,003	0,0252	0,0384	0,0389
<i>P. bahiensis</i>	0,0002	0,0003	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004	0	0	0
<i>S. brasiliensis</i>	0,0539	0,0632	0,0633	0,0353	0,0009	0,0009	0,0011	0,0013	0,0017	0,0273
<i>S. glandulosum</i>	0,0833	0,0147	0,008	0,0116	0	0	0	0,0725	0,0777	0,0777
<i>S. macranthera</i>	0,0007	0	0	0	0	0	0	0,0005	0,0005	0,0005
<i>S. tuberosa</i>	0,0411	0,0472	0,0472	0,051	0	0	0	0	0	0
<i>V. leucocephala</i>	0,0026	0	0	0	0	0	0	0,0026	0,0026	0,0026
<i>X. americana</i>	0,0018	0	0	0	0	0	0	0,0017	0,0017	0,0017
<i>S. joazeiro</i>	0,0003	0	0	0	0	0	0	0,0003	0,0003	0,0003
<b>Total</b>	<b>5,2136</b>	<b>3,9783</b>	<b>4,0064</b>	<b>4,4003</b>	<b>0,0948</b>	<b>0,1117</b>	<b>0,279</b>	<b>1,7292</b>	<b>1,8365</b>	<b>2,0763</b>

Continua...

Tabela 8 – Continuação.

Nome Científico	Cbi	Cbi	Cbi	Cb	Cb	Cb	Cli	Cli	Cli	Cl	Cl	Cl
	(2008-2016)	(2008-2017)	(2008-2019)	(2008-2016)	(2008-2017)	(2008-2019)	(2008-2016)	(2008-2017)	(2008-2019)	(2008-2016)	(2008-2017)	(2008-2019)
<i>A. colubrina var. cebil</i>	0,0109	0,0158	0,0376	0,006	0,0091	0,0262	-0,1068	-0,1081	-0,0942	-0,1116	-0,1148	-0,1056
<i>A. pyrifolium</i>	0,0829	0,0812	0,0765	0,0783	0,0771	0,0679	0,0058	-0,0044	-0,0431	0,0012	-0,0084	-0,0518
<i>B. cheilantha</i>	0	-0,0028	-0,0015	-0,0099	-0,0114	-0,0101	-0,0183	-0,021	-0,0266	-0,0281	-0,0296	-0,0352
<i>C. bahianus</i>	-0,0041	-0,004	-0,0002	-0,0041	-0,004	-0,0002	-0,0041	-0,004	-0,0053	-0,0041	-0,004	-0,0053
<i>C. bracteosum</i>	0,2131	0,2708	0,5477	0,1751	0,2302	0,4515	-0,3192	-0,2897	-0,1094	-0,3572	-0,3303	-0,2056
<i>C. flexuosa</i>	0	0,0005	0,0008	0	0,0005	0,0008	0	0,0005	-0,0027	0	0,0005	-0,0027
<i>C. glaucocarpum</i>	0,0005	0,0001	-0,0005	0,0005	0,0001	-0,0008	-0,0013	-0,0017	-0,0026	-0,0013	-0,0017	-0,0029
<i>C. heliotropiifolius</i>	0,0075	0,0068	0,007	-0,0027	-0,003	-0,0033	-0,0105	-0,0116	-0,0116	-0,0207	-0,0214	-0,0219
<i>C. leptophloeos</i>	0,0282	0,0329	0,0661	0,0282	0,0329	0,0655	0,0085	0,0132	0,0431	0,0085	0,0132	0,0425
<i>C. quercifolius</i>	0,0807	0,1035	0,2077	0,0798	0,1024	0,2056	0,0733	0,0869	0,1816	0,0723	0,0858	0,1795
<i>E. calycinus</i>	-0,0005	-0,0005	-0,0007	-0,0005	-0,0005	-0,0007	-0,0102	-0,0102	-0,0104	-0,0102	-0,0102	-0,0104
<i>J. molíssima</i>	0,0135	0,019	0,0869	0,0041	0,0048	0,0054	0,0086	0,0141	0,0806	-0,0008	-0,0001	-0,0008
<i>L. férrea</i>	0,0022	0,0021	0,0027	0,0019	0,0021	0,0027	0,0022	0,0021	0,0027	0,0019	0,0021	0,0027
<i>M. carthaginensis subsp. glaziovii</i>	0,0046	0,0054	0,0122	0,0046	0,0054	0,0122	-0,0827	-0,0826	-0,079	-0,0827	-0,0826	-0,079
<i>M. ophthalmocentra</i>	-0,0091	0,0091	0,0589	-0,0207	-0,0111	0,0113	-0,515	-0,5087	-0,4732	-0,5266	-0,5289	-0,5208
<i>M. tenuiflora</i>	-0,017	-0,0012	0,0018	-0,017	-0,0012	0,0018	-0,2019	-0,2078	-0,2128	-0,2019	-0,2078	-0,2128
<i>A. urundeuva</i>	0,0659	0,0674	0,1252	0,0633	0,0632	0,1181	0,0256	0,0254	0,0638	0,023	0,0213	0,0568
<i>N. longifolium</i>	0,0008	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002	0	0,0008	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002	0
<i>P. retusa</i>	-0,0066	0,0035	0,01	-0,0073	0,0024	0,007	-0,0318	-0,0349	-0,0289	-0,0325	-0,036	-0,0319
<i>P. bahiensis</i>	0,0001	0,0001	0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002
<i>S. brasiliensis</i>	0,0105	0,0111	0,0087	0,0096	0,0102	0,0076	0,0092	0,0094	-0,0186	0,0084	0,0085	-0,0197
<i>S. glandulosum</i>	0,0039	0,0024	0,006	0,0039	0,0024	0,006	-0,0686	-0,0753	-0,0717	-0,0686	-0,0753	-0,0717
<i>S. macranthera</i>	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0007	-0,0007	-0,0007	-0,0007	-0,0007	-0,0007
<i>S. tuberosa</i>	0,0061	0,0062	0,01	0,0061	0,0062	0,01	0,0061	0,0062	0,01	0,0061	0,0062	0,01
<i>V. leucocephala</i>	0	0	0	0	0	0	-0,0026	-0,0026	-0,0026	-0,0026	-0,0026	-0,0026
<i>X. americana</i>	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0002	-0,0018	-0,0018	-0,0018	-0,0018	-0,0018	-0,0018
<i>S. joazeiro</i>	0	0	0	0	0	0	-0,0003	-0,0003	-0,0003	-0,0003	-0,0003	-0,0003
<b>Total</b>	<b>0,4939</b>	<b>0,6293</b>	<b>1,2631</b>	<b>0,3991</b>	<b>0,5176</b>	<b>0,9841</b>	<b>-1,2353</b>	<b>-1,2072</b>	<b>-0,8132</b>	<b>-1,3301</b>	<b>-1,3189</b>	<b>-1,0922</b>

Em que: Gi= Área basal inicial (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); Gf= Área basal final(m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); I = ingresso (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); M = mortalidade (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); Cbi = Crescimento bruto incluindo o ingresso(m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); Cb = Crescimento bruto excluindo o ingresso (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); Cli = Crescimento líquido incluindo o ingresso (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>); Cl = Crescimento líquido excluindo o ingresso (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>).

Na (Tabela 9) podem ser visualizados os resultados iniciais da estatística F univariada para a dinâmica do crescimento em área basal. Que indicou que entre os anos em geral não existem diferenças significativas, a um nível de significância de 5% em ambas as áreas estudadas, com destaque para a taxa de mortalidade em ambas as áreas.

**Tabela 9** – Análise de variância de medidas repetidas para a dinâmica de crescimento em área basal, em duas áreas de Caatinga.

<b>A1 – área menos preservada</b>									
Variável	F.V	GL	SQ	QM	F	P	G-G	H-F	Friedman
Cb	Nº de intervalos	2	0,004	0,002	1,042	0,362	0,502	0,502	0,234
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	42	0,085	0,002	-	-	-	-	-
	Total	44	0,089	-	-	-	-	-	-
Cbi	Nº de intervalos	2	0,008	0,004	1,537	0,227	0,502	0,229	<b>0,022*</b>
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	42	0,107	0,003	-	-	-	-	-
	Total	44	0,115	-	-	-	-	-	-
Cl	Nº de intervalos	2	0,003	0,001	0,772	0,469	0,503	0,504	0,576
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	42	0,076	0,002	-	-	-	-	-
	Total	44	0,078	-	-	-	-	-	-
Cli	Nº de intervalos	2	0,006	0,003	1,273	0,290	0,503	0,504	0,156
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	42	0,097	0,002	-	-	-	-	-
	Total	44	0,103	-	-	-	-	-	-
G	Nº de intervalos	2	0,006	0,003	0,685	0,510	0,502	0,502	0,722
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	42	0,179	0,004	-	-	-	-	-
	Total	44	0,184	-	-	-	-	-	-
I	Nº de intervalos	2	0,001	0,000	2,494	0,095	0,507	0,508	<b>0,020*</b>
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	42	0,005	0,000	-	-	-	-	-
	Total	44	0,005	-	-	-	-	-	-
M	Nº de intervalos	2	1,54e <sup>-4</sup>	7,71e <sup>-5</sup>	6,147	<b>0,005*</b>	0,588	0,602	<b>0,037*</b>
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	42	0,001	1,25e <sup>-5</sup>	-	-	-	-	-
	Total	44	0,001	-	-	-	-	-	-
<b>A2 – área mais preservada</b>									
Variável	F.V	GL	SQ	QM	F	P	G-G	H-F	Friedman
Cb	Nº de intervalos	2	0,007	0,004	3,779	0,029	0,504	0,505	<b>0,034*</b>
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	52	0,049	0,001	-	-	-	-	-
	Total	54	0,056	-	-	-	-	-	-
Cbi	Nº de intervalos	2	0,012	0,006	4,609	<b>0,014*</b>	0,503	0,504	<b>0,007*</b>
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	52	0,070	0,001	-	-	-	-	-
	Total	54	0,083	-	-	-	-	-	-
Cl	Nº de intervalos	2	0,001	0,001	1,551	0,222	0,504	0,505	0,988
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	52	0,022	4,31e <sup>-4</sup>	-	-	-	-	-
	Total	54	0,024	-	-	-	-	-	-
Cli	Nº de intervalos	2	0,004	0,002	2,928	0,062	0,502	0,502	0,577
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	52	0,037	0,001	-	-	-	-	-
	Total	54	0,041	-	-	-	-	-	-
G	Nº de intervalos	2	0,037	0,018	3,831	<b>0,028*</b>	0,502	0,503	0,246
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	52	0,250	0,005	-	-	-	-	-
	Total	54	0,287	-	-	-	-	-	-
I	Nº de intervalos	2	0,001	3,83e <sup>-4</sup>	3,689	<b>0,032*</b>	0,504	0,505	<b>0,001*</b>
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	52	0,005	1,04e <sup>-4</sup>	-	-	-	-	-
	Total	54	0,006	-	-	-	-	-	-
M	Nº de intervalos	2	0,002	0,001	6,559	<b>0,003*</b>	0,529	0,532	<b>0,000*</b>
	Erro(Nº de espécies x Nº de intervalos -1)	52	0,009	1,78e <sup>-4</sup>	-	-	-	-	-
	Total	54	0,012	-	-	-	-	-	-

Em que: Cb = Crescimento bruto em área basal; Cbi = Crescimento bruto incluindo ingressos; Cl = Crescimento líquido; Cli = Crescimento líquido incluindo ingressos; G = Área basal; I = número de ingressos; M = número de mortalidade; F.V = Fonte de variação; G.L = Graus de liberdade; SQ = Soma dos quadrados; QM = Quadrado médio; F= Valor de Teste “F” calculado; P = Valor de teste “P”

calculado; G-G= Valor de teste Greenhouse e Geisser calculado; e H-F = Huynh e Feldt calculado; Friedman = Valor do teste de Friedman calculado; e \* = significativo ao nível de 5% de significância.

Para afirmar de que o crescimento é influenciado com o decorrer dos anos, pode-se afirmar que os valores obtidos em geral são não significativos, com algumas exceções, quando verificado pelo teste de Friedman, em ambas as áreas, para algumas das variáveis analisadas.

Após o teste de Friedman indicar significância estatística para o Cbi na área menos preservada, quando aplicado o teste de post hoc de Dunn com correção de Bonferroni foi notada diferença estatística entre os anos de 2008 a 2019, com valor de p (0,031). Já ao analisar a taxa de ingresso não houve diferença, com valores acima de (p= 0,17). Para a taxa de mortalidade foi notada diferença significativa entre os anos de 2008 a 2019 (p= 0,006), o que tem afetado no crescimento em área basal.

Já na A2, por meio do teste de post hoc de Dunn com correção de Bonferroni, não foi notada diferença estatística entre os anos analisados para o crescimento bruto excluindo ingressos com valor de p acima de (p= 0,062). Já no crescimento incluindo ingressos o valor de p foi de (0,019) entre os anos de (2008-2019). Foram notadas diferenças significativas nas taxas de ingresso e mortalidade, com valores de p (0,043) e (0,019), respectivamente, entre os anos de 2008 a 2019.

Vale destacar que em ambas as áreas a mortalidade de fustes e indivíduos foi intensa. O que fez com que houvesse a redução no crescimento e diminuição da população, uma vez que suas taxas de ingressos foram inferiores a suas mortalidades.

Sabe-se que a estiagem causa forte impacto nas plantas (WORBES, 1999). Justamente o que tem ocorrido na última década na região, com a existência de eventos de secas severas, como a ocorrida entre os anos de 2010 a 2015 (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016), o que pode ter contribuído consideravelmente na dinâmica florestal, com reflexo em altas taxas de mortalidade de indivíduos e fustes. Assim influenciando em seu crescimento, devido à limitação por recursos minerais, fazendo com que ocorra até mesmo a competição entre indivíduos. De acordo com Vanclay *et al.* (2013), a competição é o processo mais importante que afeta o desenvolvimento das plantas.

A alta mortalidade e a redução do crescimento líquido, com valores negativados nos balanços, podem ser compreendidas pela diminuição da densidade populacional. Tal diminuição se dá devido às ações de eventos de secas, o que evidencia a



exigência das espécies por condições climáticas favoráveis. No entanto, em geral as espécies apresentaram as maiores perdas de área basal, tal fato pode ter sido suprimido pelo crescimento de fustes dos indivíduos sobreviventes.

Notou-se que para todos os períodos avaliados a maioria das espécies apresentaram balanço líquido negativo, uma vez que a mortalidade e crescimento de algumas espécies florestais de ambientes semiáridos pode ocorrer quando elas são submetidas a situações de estresses hídricos (WORBES, 1999). É tanto que Pimentel (2012), ao estudar o comportamento do crescimento da vegetação no período de 2008 a 2011, obteve crescimento líquido positivo, com destaque para a espécie *C. bracteosum*, que por sua vez é dominante e apresentou maiores taxas de crescimento, devido a sua alta resiliência e alto poder de rebrota. Vale destacar que o período analisado foi anterior a um evento de seca severa e mesmo assim as taxas de mortalidade superam as de ingressos.

Existem pesquisas que abordam a complexidade do comportamento da vegetação em relação à sazonalidade climática e sua duração, onde diversos fenômenos podem influenciar não apenas no crescimento dos indivíduos, mas em toda a sua estrutura de comunidade, riqueza florística, seu funcionamento e equilíbrio ecológico (CHAPIN III; MATSON; MOONEY, 2002). Assim como na própria dinâmica florestal as alterações da precipitação e ocorrência de secas severas têm sido fatores limitantes quanto ao seu desenvolvimento (CAO *et al.*, 2018; ZHAO *et al.*, 2018).

Os resultados observados indicam que a área basal e as taxas de crescimento foram distintas nas áreas estudadas, possivelmente relacionado a menor competição por recursos minerais devido a diferença da densidade populacional ou devido ao próprio processo de sucessão florestal. No entanto, vale destacar que os valores da área basal e de crescimento bruto/líquido para o intervalo de (2008-2019) foi maior quando comparado com os intervalos anteriores (2008-2016 e 2008-2017), o que possivelmente está relacionado aos maiores índices de precipitações que ocorreram nos anos de 2018 e 2019, refletindo em maiores taxas de crescimento em anos de maiores valores de acumulado de precipitação, tendo em vista a ocorrência de seca mais severa entre 2012 e 2015. As baixas precipitações que ocorreram na maior parte do tempo pesquisado podem ter sido fator determinante para o ritmo de crescimento e resiliência dos indivíduos, além dos mais variados fatores em que a vegetação possa estar submetida.

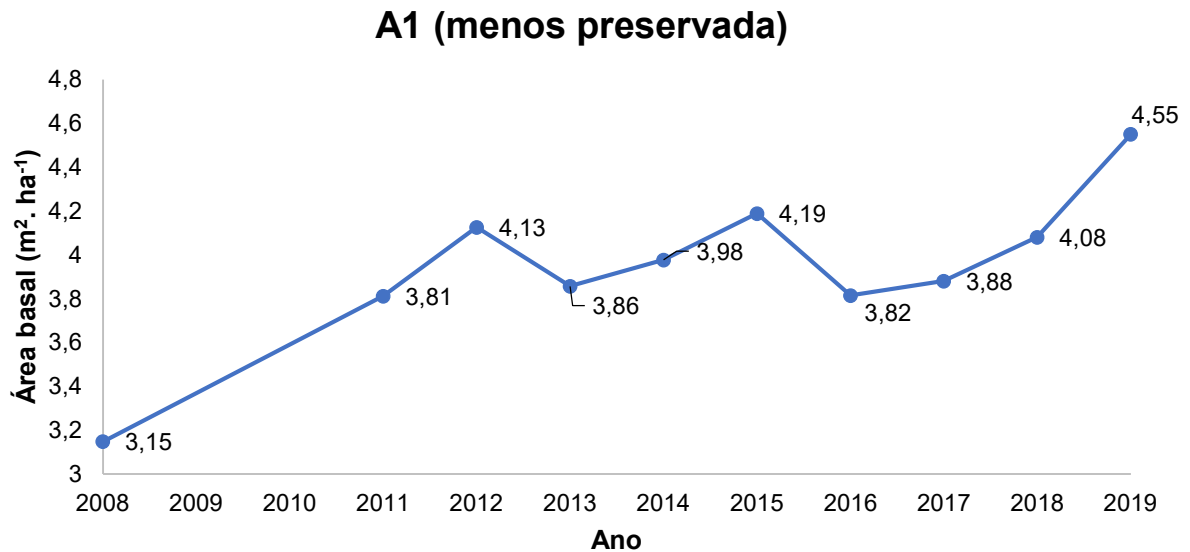
Possivelmente, o fator clima, em especial a precipitação, pode ter contribuído consideravelmente na mortalidade dos indivíduos. A A-1, apesar de todo o histórico de perturbação, de acordo com os intervalos analisados, tem se sobressaído em termos de crescimento em área basal. Algumas espécies apresentaram aumento ou até mesmo estagnação em sua área basal numa escala temporal. Já na A2, foi notado o inverso, onde ocorre decréscimo acentuado, com o passar dos anos, apesar de ser considerada “mais preservada”.

As alterações detectadas da área basal na série temporal podem ser atribuídas à condição temporal e associada às condições ambientais, além de outros fatores, como por exemplo: o histórico de antropização local, supressão de áreas, e os mais variados fatores em que a vegetação estudada estar submetida.

Sabe-se que a frequência dos eventos extremos de secas, como precipitação abaixo da média climatológica, elevadas taxas de evapotranspiração, altas temperaturas, alto déficit hídrico, e demais variáveis, são condições desfavoráveis a esta vegetação. Este resultado acende um sinal de alerta, com a necessidade da adoção de medidas frente às consequências devido às mudanças do tempo, embora se note a existência de espécies altamente resilientes, uma vez que as altas taxas de mortalidade influenciam na dinâmica e ritmo de crescimento da floresta.

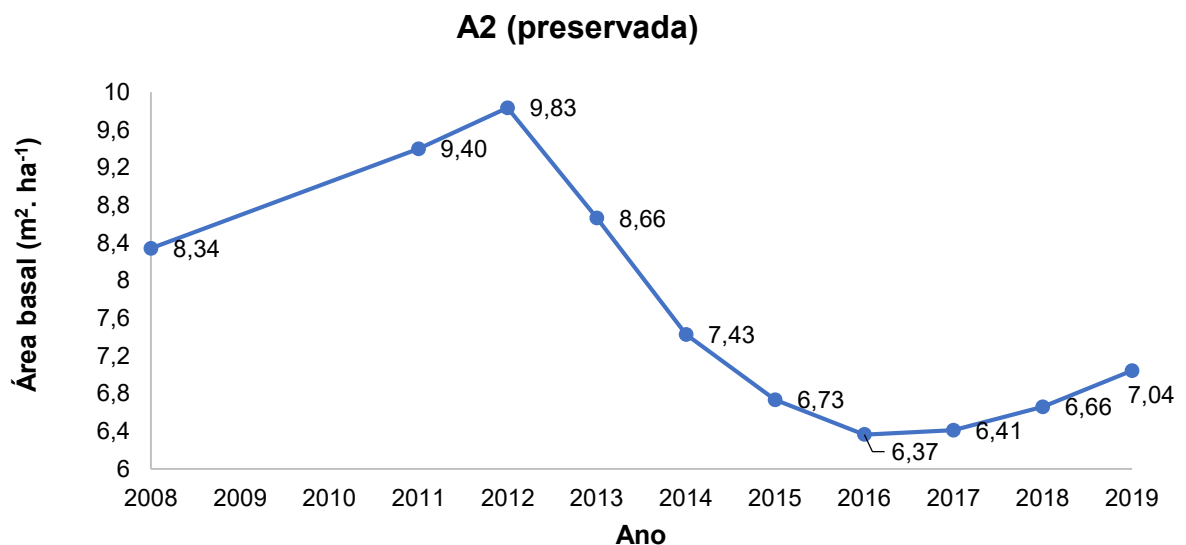
A análise gráfica dos dados da área basal anual de maneira geral para população na (A1) compreende uma certa “tendência” de aumento, independente das condições de adversidades ocorridas. Vale ressaltar de que houve decréscimo em sua área basal no ano de 2013 (Figura 4), possivelmente um reflexo do agravamento da seca na região estudada no ano de 2012. Nota-se uma forte oscilação (positiva) nos dados, apesar da existência da seca severa de 2012 a 2015, a vegetação conseguiu se sobressair, em saldo positivo no crescimento, nos anos seguintes.

**Figura 4** - Valores anuais da área basal, no período de 2008 a 2019, na Área A1 (menos preservada), Fazenda Itapemirim, Floresta – PE, Brasil.



A análise gráfica dos dados da área basal anual de maneira geral para população na (A2) compreende uma certa “tendência” de decréscimo, principalmente nas condições adversidades severas ocorridas (2012 a 2015), com leve aumento a partir do ano de 2017 (Figura 5). No entanto, não tem tido período suficiente para total recuperação da área basal inicial, o que fez com que os intervalos da dinâmica da área basal tenham decrescido ano a ano.

**Figura 5** - Valores anuais da área basal, no período de 2008 a 2019, na Área A2 (preservada), Fazenda Itapemirim, Floresta – PE, Brasil.



#### 4. CONCLUSÃO

A vegetação arbustivo-arbórea de ambas as áreas não apresentou alterações drásticas em sua composição florística, no entanto tem apresentado diminuições no número de indivíduos em suas áreas ao decorrer dos intervalos analisados.

As espécies de maior valor de importância (VI), encontradas no ano inicial são as mesmas, durante todos os períodos analisados, embora elas alternem suas posições, em termos dos parâmetros de sua estrutura horizontal.

A seca prolongada que ocorreu no intervalo de 2012 a 2018, com agravamento de 2012 a 2015, e mais especificamente a falta de chuvas por longos períodos, possivelmente contribuiu nas modificações estruturais da vegetação e em seu crescimento. Conforme foi visto ao verificar os dados do ano inicial do monitoramento (2008) e os finais dos intervalos estabelecidos (2016, 2017, 2019).

O crescimento líquido em área basal das espécies foi afetado por altas taxas de mortalidade. No entanto, algumas espécies obtiveram crescimento com saldo positivo, apesar das adversidades, em especial da existência de seca severa na região.

Apesar da (A1) apresentar histórico de maior perturbação antrópica, foi a área que se sobressaiu, em termos de crescimento, mesmo com elevadas taxas de mortalidades de indivíduos. Possivelmente a eliminação de competição tenha favorecido no crescimento de alguns indivíduos ou até mesmo o próprio processo de regeneração.

## 5. REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ-YÉPIZ, J. C. *et al.* Resilience of tropical dry forests to extreme disturbance events. **Forest Ecology and Management**, v. 426, p. 1-6, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.067>.
- ALVES JUNIOR, F. T. *et al.* Regeneração natural de uma área de Caatinga no sertão Pernambucano, Nordeste do Brasil. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 229–235, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000200006>.
- ALVES JÚNIOR, F. T. **Estrutura, biomassa e volumetria de uma área de caatinga, Floresta - PE**. 2010. 123p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife (PE), 2010.
- AMORIM, I. L. DE; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, D. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Botanica Brasileira**, v. 19, n. 3, p. 615–623, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000300023>.
- APG IV. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, n. 1, p. 1-20, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/boj.12385>.
- AQUINO, F. G.; WALTER, B. M. T.; RIBEIRO, J. F. 2007. Dinâmica de populações de espécies lenhosas de cerrado, Balsas, Maranhão. **Revista Árvore**, v. 31, p. 793-803. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622007000500003>.
- ARAÚJO, E. L; FERRAZ, E. M. N. 2003. Processos ecológicos mantenedores da diversidade vegetal na caatinga: estado atual do crescimento. In: CLAUDINO SALES, V. (Org.) **Ecosistemas brasileiros: manejo e conservação**. Fortaleza (CE): Expressão Gráfica, p. 115- 128.
- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações estatísticas de climatologia: teoria e prática**. Pelotas (RS): Ed. Universitária/UFPel, 1966. 161p.
- BABA, R. K.; VAZ, M. S. M.; COSTA, J. Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo (SP), v. 29, n. 4, p. 515-526, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-778620130611>.
- BEERS, T. W. Components of forest growth. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 60, n. 4, p. 245-248, 1962. DOI: <https://doi.org/10.1093/jof/60.4.245>.
- BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As Plantas e o Clima: Princípios e aplicações**. 1. ed. Guaíba (RS): Agrolivros, 2017. 352p.
- CABRAL, S. L. *et al.* Análise da modelagem dinâmica da precipitação em uma bacia hidrográfica no semiárido. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves (RS). **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Porto Alegre (RS): ABRH, v. 1, 2013.
- CALIXTO JÚNIOR, J. T.; DRUMOND, M. A. Estrutura fitossociológica de um fragmento de caatinga sensu stricto 30 anos após corte raso, Petrolina-PE, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 67–74, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/1917>. Acesso em: 12 dez. 2020.

CALIXTO JÚNIOR, J. T.; DRUMOND, M. A. Estudo comparativo da estrutura fitossociológica de dois fragmentos de Caatinga em níveis diferentes de conservação. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 345–355, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.4336/2014.pfb.34.80.670>.

CAMARGO, M. B. P. *et al.* Variabilidade espacial e temporal de dados termopluviométricos diários da rede de estações agrometeorológicas do Instituto Agrônomo (IAC). **Bragantia**, Campinas (SP), v. 64, n. 3, p. 473-482, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000300018>.

CASTELLETTI, C. H. M.; CARDOSO, J. M. S.; TABARELLI, M.; MELO, A. M. S. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: TABARELLI, M.; CARDOSO, J. M. S. **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Recife (PE): MMA, UFPE, 2004. p. 91-100.

CAO, Z. *et al.* When and where did the Loess Plateau turn “green”? Analysis of the tendency and breakpoints of the normalized difference vegetation index. **Land Degradation and Development**, v. 29, n. 1, p. 162–175, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.2852>.

CHAPIN III, F. S.; MATSON, P. A.; MOONEY, H. **Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology**. 1. ed. Nova Iorque (EUA): 2002. 396p.

CIENTEC. **Mata Nativa versão 2.0. Manual do usuário**. Viçosa (MG): CIENTEC, p. 295, 2013.

COELHO, I. A.; DUARTE, S. M. A.; COELHO, O. A. M. Estudo da dinâmica da cobertura vegetal no município de Floresta / PE através de processamento digital de imagens. **Revista GEAMA**, v. 1, n. 2, p. 187–204, 2015. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/486>. Acesso em: 12 dez. 2020.

DRUMOND, M. A.; PIRES, I. E.; OLIVEIRA, V. R.; OLIVEIRA, A. R. ALVAREZ, I. A. Produção e distribuição de biomassa de espécies arbóreas no semiárido brasileiro. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 32, n. 4, p. 665-669, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000400007>.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro (RJ): EMBRAPA, 2013. 353p.

FERRAZ, J. S. F. **Análise da vegetação de caatinga arbustivo-arbórea em Floresta, PE, como subsídio ao manejo florestal**. 2011. 131p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife (PE), 2011.

FERRAZ, J. S. F. *et al.* 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. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000600010>.

FERREIRA, R. L. C. *et al.* Components of growth for tropical dry deciduous forest, Brazil. In: ASA, CSSA & SSSA INTERNATIONAL ANNUAL MEETING, 2014, Long Beach (EUA). **Proceedings...** Long Beach (EUA): ASA; CSSA; SSSA, 2014. CD Rom. Disponível em: <https://scisoc.confex.com/crops/2014am/webprogram/Paper87174.html>. Acesso em: 04 set. 2017.

GHALANDARAYESHI, S.; NORD-LARSEN, T.; JOHANNSEN, V. K.; LARSEN, K. B. Spatial patterns of tree species in Suserup Skov – a semi-natural forest in Denmark. **Forest Ecology and Management**, v. 406, p. 391-401, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.020>.

GIODA, A. Características e procedência da lenha usada na cocção no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 33, n. 95, p. 133-150, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-4014.2019.3395.0009>.

GÓMEZ – APARICIO, L. *et al.* Disentangling the relative importance of climate, size and competition on tree growth in Iberian forests: implications for forest management under global change. **Global Change Biology**, v. 17, p. 2400-2414, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02421.x>.

GUEDES, R. DA S. *et al.* Caracterização florístico-fitosociológica do componente lenhoso de um trecho de caatinga no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 99–108, mar-jun. 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/2231>. Acesso em: 12 dez. 2020.

HOLANDA, A. C. *et al.* Estrutura da vegetação em remanescentes de caatinga com diferentes históricos de perturbação em Cajazeirinhas (PB). **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 142–150, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n416rc>.

HURST, J. M.; STEWART, G. H.; PERRY, G. L. W.; WISER, S. K.; NORTON, D. A. Determinants of tree mortality in mixed old-growth Nothofagus forest. **Forest Ecology and Management**, v. 270, p. 189-199, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.01.029>.

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

KOEPPEN, W. **Climatología: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de cultura económica, 1948. 478p.

LELLI, C. *et al.* Biodiversity response to forest structure and management: Comparing species richness, conservation relevant species and functional diversity as metrics in forest conservation. **Forest Ecology and Management**, v. 432, p. 707–717, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.057>.

LEMOS, J. R.; RODAL, M. J. N. Fitosociologia do componente lenhoso de um trecho da vegetação de caatinga 23. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 1, p. 23–42, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062002000100005>.

MARANGON, G. P. *et al.* Estrutura e padrão espacial da vegetação em uma área de caatinga. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 83–92, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v43i1.27807>.

MARENCO J. A. *et al.* Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1973-1985, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>.

MARENCO, J. A. *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Parcerias estratégicas**, v. 27, p. 385-422, 2008. Disponível em: [http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/view/329](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/329). Acesso em: 12 dez. 2020.

MARENCO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanálise**, v. 4, n. 1, p. 49–54, 2016. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/marengoetal.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2020.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3–4, p. 1189–1200, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>.

MARTÍNEZ-RAMOS, M. *et al.* Effects of long-term inter-annual rainfall variation on the dynamics of regenerative communities during the old-field succession of a neotropical dry forest. **Forest Ecology and Management**, v. 426, p. 91–100, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.048>.

MATALLO JÚNIOR, H. A desertificação no mundo e no Brasil. In: SCHENKEL, C. S. e MATALLO JR, H. (Org.). **Desertificação**. Brasília (DF): UNESCO, 2003.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. Drought monitoring with multiple time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 9. 1995, Dallas, TX (EUA), p. 233-236.

McKEE, T.B. *et al.* The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: EIGHTH CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY. 1993, Anaheim, CA (EUA).

MELO, C. L. S. M. S. **Dinâmica da vegetação arbustivo-arbórea no semiárido Pernambucano**. 2016. 105p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife (PE).

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caatinga**. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20200501153632/https://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>  
Acesso em: 12 dez. 2020.

OLIVEIRA, C. P. **Biomassa e carbono por meio de inventário convencional e Lidar em floresta seca no Nordeste do Brasil**. 2019. 105p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife (PE), 2019.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba: Editado pelos autores. 1997. 316p.

PHILLIPS, O. L. *et al.* Dynamics and species richness of tropical rain forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 91, n. 7, p. 2805–2809, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.91.7.2805>.

PIMENTEL, D. J. O. **Dinâmica da vegetação lenhosa em área de caatinga, Floresta - PE**. 2012. 62p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife (PE).

PINEDA-GARCÍA, F.; PAZ, H.; MEINZER, F. C. Drought resistance in early and late secondary successional species from a tropical dry forest: The interplay between xylem resistance to embolism, sapwood water storage and leaf shedding. **Plant, Cell and Environment**, v. 36, n. 2, p. 405–418, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02582.x>.

QUEIROZ, L. P. *et al.* Diversity and Evolution of Flowering Plants of the Caatinga Domain. In: SILVA J. M. C., LEAL I., TABARELLI, M. **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America**. Cham (Alemanha): Springer, 2017.

REES, M. *et al.* Long-Term Studies of Vegetation Dynamics. **Science**, v. 650, n. 2001, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.1126/science.1062586>.

REFLORA. **Herbário Virtual**. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/>. Acesso em: 26 jun. 2020.



RUFINO, I. A. A.; SILVA, S. T. Análise das relações entre dinâmica populacional, clima e vetores de mudança no semiárido brasileiro: uma abordagem metodológica. **Boletim de Ciências Geodésicas - BCG**, v. 23, n. 1, p. 166–181, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1982-21702017000100011>.

SABINO, F. G. DA S.; CUNHA, M. DO 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.017315>.

SAMPAIO, E. V. S. B. Características e Potencialidades. In: GARIGLIO, M. A. *et al.* (Org.) **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília (DF): Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 29-48.

SANQUETTA, C. R. *et al.* Matriz de transição para simulação da dinâmica de florestas naturais sob diferentes intensidades de corte. **Ciência Florestal, Santa Maria (RS)**, v.6, n.1, p.65–78, 1996. <https://doi.org/10.5902/19805098326>

SEDDON, A. W. R.; MACIAS-FAURIA, M.; LONG, P.R; BENZ, D.; WILLIS, K. J. Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. **Nature**, v. 531, p. 229-232, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/nature16986>.

SELLERS, W. D., **Physical climatology**. Chicago (EUA) & Londres (Reino Unido): Universidade de Chicago, 1965. 272p.

SILVA, A. C.; SOUZA, A. F. Aridity drives plant biogeographical sub regions in the Caatinga, the largest tropical dry forest and woodland block in South America. **PLoS One**, v. 13, p. e0196130, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196130>.

SOUZA, P. F. DE *et al.* Estudos fitossociológicos e dendrométricos em um fragmento de caatinga, São José de Espinharas – PB. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1317–1330, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509825152>.

SWAINE, M. D.; LIEBERMAN, D.; HALL, J. B. Structure and Dynamics of a Tropical Dry Forest in Ghana. **Vegetatio**, v. 88, n. 1, p. 31–51, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00032601>.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre (RS): Artmed, 2017. 888p.

THORNTON, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geogr. Rev**, v. 38, p. 55-94, 1948. DOI: <https://doi.org/10.2307/210739>.

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Nova Jersey (EUA): Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in climatology, v.8).

VANCLAY, J. K.; LAMB, D.; ERSKINE, P. D.; CAMERON, D. M. Spatially explicit competition in a mixed planting of *Araucaria cunninghamii* and *Flindersia brayleyana*. **Annals of Forest Science**, v. 70, p. 611-619, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1007/s13595-013-0304-x>.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa (MG): Imprensa Universitária, 1991. 449p.

VON ENDE, C. N. 1993. Repeated-Measures Analysis: Growth and Other Time-Dependent Measures. In: SCHEINER, S. M.; GUREVITCH, J.; CHAMPMAN & HALL (Orgs.). *Design and Analysis of Ecological Experiments*. p. 113-137.

WORBES, M. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. **Journal of Ecology**, v. 87, n. 3, p. 391–403, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00361.x>.

ZHAO, A. *et al.* Spatiotemporal variation of vegetation coverage before and after implementation of Grain for Green Program in Loess Plateau, China. **Ecological Engineering**, v. 104, p. 13–22, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.013>.

ZHAO, A. *et al.* Responses of vegetation productivity to multi-scale drought in Loess Plateau, China. **Catena**, v. 163, p. 165–171, abr. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.016>.

### **CAPÍTULO III**

#### **INFLUÊNCIAS AMBIENTAIS NO INCREMENTO CORRENTE ANUAL DA ÁREA BASAL, EM AMBIENTE DE CAATINGA**

## RESUMO

Objetivou-se avaliar as influências de variáveis ambientais no incremento corrente anual – ICA da área basal, por meio de modelo linear misto, em duas áreas de Caatinga, no semiárido Pernambucano, Brasil. Inicialmente foi utilizada a Correlação de Spearman para verificar a existência de correlação das variáveis ambientais com a área basal. A análise de variância com efeitos mistos foi realizada considerando como efeito aleatório o período (tempo) e a espécie florestal. Já as variáveis de efeitos fixos foram consideradas as dendrométricas: nº de fustes, ingressos, mortalidade, diâmetro equivalente e as variáveis ambientais. Em seguida, foi criado o seguinte modelo linear misto:  $ICA_i = (\beta_0 + \alpha_{período} + \lambda_{espécie}) + \beta_n Vdend_n + \beta_n Vclim_m + \epsilon_i$ . A avaliação dos pressupostos da ANOVA mista foi realizada com base na análise dos resíduos. Verificou-se certa tendência em incremento de área basal. No entanto, a área A1 apresenta valores maiores de incremento, possivelmente devido a maior distribuição espacial e menos competição por recursos minerais. Quanto maior o diâmetro médio dos indivíduos, maior foram os valores de incrementos. Foi percebida uma correlação entre a precipitação e fator sazonal, associada a temperatura e os índices de seca. Porém, o acumulado de chuvas anual e semestrais não apresentam relação forte com o ICA. Quanto à significância de variáveis no crescimento em área basal, notou-se influência para a (A1) em relação as variáveis ambientais nos parâmetros de efeitos fixos. Já na (A2) foram notadas apenas influências significativas nos efeitos fixos para as variáveis dendrométricas. Em geral, o modelo linear misto mostrou-se de boa performance para ambas as áreas, apresentando boas distribuições dos resíduos, sem a presença de outliers. Apesar de serem percebidas influências das variáveis ambientais na (A1), fazem-se necessários estudos que ultrapassem o período de seca severa, com dados climáticos futuros, tendo em vista o curto período analisado.

**Palavras-chave:** Crescimento, Condições climáticas, Floresta tropical sazonalmente seca.

## ABSTRACT

This study aims to evaluate the influence of environmental variables on the periodic annual increment – PAI of the basal area, using a mixed linear model, in two areas of Caatinga, in the semiarid region of Pernambuco, Brazil. Initially, Spearman's Correlation was used to verify the existence of correlation of environmental variables with the basal area. The analysis of variance with mixed effects was performed considering period (time) and forest species as a random effect, while the fixed effects variables were considered as dendrometric: number of stems, entrances, mortality, equivalent diameter and environmental variables. Then, the following mixed linear model was created:  $PAI_i = (\beta_0 + \alpha_{period} + \lambda_{species}) + \beta_n Vdend_n + \beta_m Vclim_m + \epsilon_i$ . The evaluation of the mixed ANOVA assumptions was carried out based on the analysis of the residues. There was a certain trend in the increase of basal area. However, A1 presents higher increment values, possibly due to greater spatial distribution and less competition for mineral resources. The greater the average diameter of the individuals, the greater the increment values. A correlation between precipitation and seasonal factor, associated with temperature and drought indexes, was noticed. However, the accumulated annual and semiannual rainfall do not show a strong connection with the PAI. As for the significance of variables in the growth in basal area, an influence was noted for A1 in relation to environmental variables in the fixed effects parameters. In A2, only significant influences on the fixed effects for dendrometric variables were noted. In general, the mixed linear model showed good performance for both areas, presenting good residual distributions, without the presence of outliers. Despite the perceived influences of environmental variables in A1, due to the short period analyzed, studies that go beyond the period of severe drought are necessary, with future climatic data.

**Key words:** Growth, Climatic conditions, Seasonally dry tropical forest.

## 1. INTRODUÇÃO

As regiões dos remanescentes de Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS) do Nordeste brasileiro é de aproximadamente 844.000 Km<sup>2</sup> e correspondente a 10% do território nacional (IBGE, 2012; DRYFLOR *et al.*, 2016; KOCH; ALMEIDA-CORTEZ; KLEINSCHMIT, 2017). São inseridas num polígono com clima quente e semiárido, cuja precipitação anual varia em média de 240 a 900 mm.ano<sup>-1</sup>, com chuvas torrenciais e distribuição irregular, com duração de 3 a 5 meses ao ano (DOMBROSKI *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2011; MUTTI *et al.*, 2019). Além disso, ocorrem eventos de secas cíclicas periódicas na região (ARAÚJO *et al.* 2012).

A estimativa do crescimento das árvores das (FTSS) do Nordeste do Brasil é de extrema relevância. Tendo em vista a importância de sua vegetação para o abastecimento energético de sua região, por meio de planos de manejo florestal sustentável – PMFS (CARVALHO *et al.*, 2020).

A maioria das espécies da Caatinga possuem as seguintes características: xerófitas, lenhosas, espinhosas, decíduas e semidecíduas (ARAÚJO; SAMPAIO; RODAL, 1995; FERNANDES; CARDOSO; QUEIROZ, 2019), o que favorece a adaptação perante o cenário de estiagens. Estes fatores podem ser considerados como mecanismos fisiológicos de crescimento, já que sua ativação meristemática depende diretamente da disponibilidade hídrica local (DINIZ NETO *et al.*, 2013; BACHTOLD; MELO JÚNIOR, 2015; MARTINKOSKI; VOGEL; JADOSKI, 2015).

De acordo com Vanclay (1994), modelos de crescimento e produção podem ser usados para testar suposições de crescimento, fazer previsões de produtividade e examinar a variabilidade das espécies. O avanço computacional, com capacidade maior de processamento de dados, fez com que técnicas mais exigentes destes recursos fossem aplicadas, como é possível verificar na aplicação de modelos mistos.

O uso de modelos mistos inclui os parâmetros de efeitos fixos e aleatórios, que exprimem os valores observados de maneira real, além do fato de ser o mais recomendado para o problema de medidas repetidas (PINHEIRO; BATES, 1996). No entanto, o uso de modelos mistos para predição do crescimento de floresta tropical sazonalmente seca no Brasil é escasso, apesar de serem modelos indicados devido à heterogeneidade desses ambientes.

Determinar os fatores que influenciam o crescimento em termos de tamanho das árvores permite traçar medidas ideais para o planejamento sustentável dos recursos florestais (COSTA; FINGER; HESS, 2015). Os fatores como variação

climática, tipo de relevo e solo, associados ao antropismo, influenciam diretamente o crescimento dos indivíduos, assim como sua composição florística e diferenciação morfológica em função da adaptação do ambiente (RODAL; SAMPAIO, 2002; ARAÚJO, 2007).

Os modelos de crescimento que englobem mais variáveis possíveis exprimem informações importantíssimas para o conhecimento da vegetação, e permitem analisar a relação entre duas ou mais variáveis, com a inclusão dos parâmetros fixos e aleatórios.

O objetivo deste trabalho foi identificar e avaliar as influências de variáveis ambientais no crescimento corrente anual em área basal, por meio de modelo linear misto, em ambiente de Caatinga, no semiárido do Pernambuco, Brasil.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização e caracterização da área de estudo**

A área objeto desta pesquisa pertence à Fazenda Itapemirim, localizada no município de Floresta - PE, cuja distância da capital Pernambucana é de 433 km, com área de 5.695,65 ha. A sede da fazenda está situada sob as coordenadas 08° 30' 49.03" Latitude Sul e 37° 57' 44.02" Longitude Oeste, inserida numa parte da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó, que possui área total de 9.752,71 Km<sup>2</sup>, integrando a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, no estado de Pernambuco. Está inserida nas microrregiões do Sertão do Moxotó (área de predominância) e do Vale do Ipanema e Itaparica, situada no eixo central do estado de Pernambuco, estendendo-se pelo oeste de Alagoas, dos quais 8.778,05 Km<sup>2</sup> fica em Pernambuco e 974,66 Km<sup>2</sup> em Alagoas (OLIVEIRA; GALVÍNIO, 2008).

A Fazenda Itapemirim possui duas áreas destinadas ao Projeto de Pesquisa intitulado como (Dinâmica de uma área de Caatinga submetida a ações antrópicas no Sertão Pernambucano). O projeto foi implantado em duas áreas com diferentes históricos de perturbações, denominadas: Área 1, com vegetação em estágio de regeneração desde 1986, localizada nas coordenadas 08° 33' 33.00" Latitude Sul e 37° 58' 38.00" Longitude Oeste, que teve sua vegetação suprimida por uso de "correntões"; e Área 2, com vegetação em estágio de regeneração desde 1962, sendo que nunca houve exploração por meio de corte raso, localizada nas coordenadas 08° 30' 19.90" Latitude Sul e 37° 58' 54.59" Longitude Oeste. Na (Área 2) a vegetação é considerada mais preservada, com existência de eventual corte seletivo, conforme

verificado em campo a existência de cepas de dimensões distintas de seus fustes, cada área com 50 hectares.

A vegetação local é do tipo arbustivo-arbórea, com ocorrência de cactáceas e estrato herbáceo, além da ocorrência de espécies de bromeliáceas, como a macambira (*Bromelia laciniosa* Mart. ex Schultes f.) e caroá (*Neoglaziovia variegata* (Arr. Cam.) Mez.), com ocorrência de espécies caducifólias, fitofisionomia típica de uma savana estépica (IBGE, 2012).

Quanto ao solo da região, ele é classificado como Luvisolo Crômico, caracterizado por ser raso e apresentar usualmente mudança abrupta em sua textura (EMBRAPA, 2013).

### **2.1.1 Caracterização climática**

Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima da região é semiárido (BSh), com características intermediárias entre climas desérticos (BW) e climas úmidos. Ele possui potencial agrícola e ecológico, com chuva média acumulada mensal de 43,39 mm e anual de 1301,64 mm (30 anos) segundo a série histórica de 1990 a 2019. Os maiores registros de chuvas ocorrem nos meses de janeiro a julho, com médias de 51,59 mm, e uma significativa redução das chuvas entre agosto a dezembro, nos quais as médias são inferiores a 17,90 mm. A temperatura média anual é em torno de 30,66 °C. A estação de verão é consideravelmente muito quente, com registro de temperaturas máximas entre 30,52 °C a 37,80 °C, chegando até os 40 °C, e mínimas entre 23,85°C e 28,47 °C. Já o período do inverno é ameno, com máximas entre 26 °C e 33 °C.

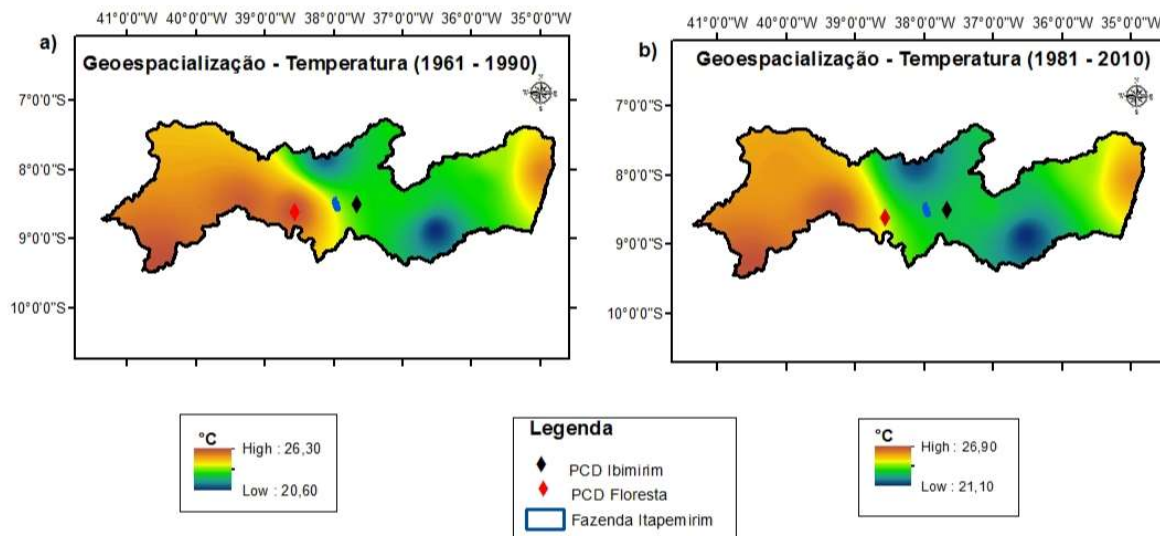
### **2.2 Obtenção de dados do clima**

Foram utilizados dados do clima da estação meteorológica mais próxima a área objeto de pesquisa, dados estes da Plataforma de Coleta de Dados – PCD Poço da Cruz, localizada no município de Ibimirim – PE. Portanto inicialmente, foram utilizados dados das normais climatológicas do estado de Pernambuco, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, referentes aos intervalos (1961-1990) e (1981-2010), da temperatura média anual do ar (Figura 1), e precipitação acumulada média anual (Figura 2), os referidos dados adquiridos foram espacializados para a presente pesquisa, pelo o inverso da distância ao quadrado, com uso da ferramenta IDW interpolation do software QGIS 3.12 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2020), respectivamente. Para que desta forma se possa visualizar as possíveis alterações

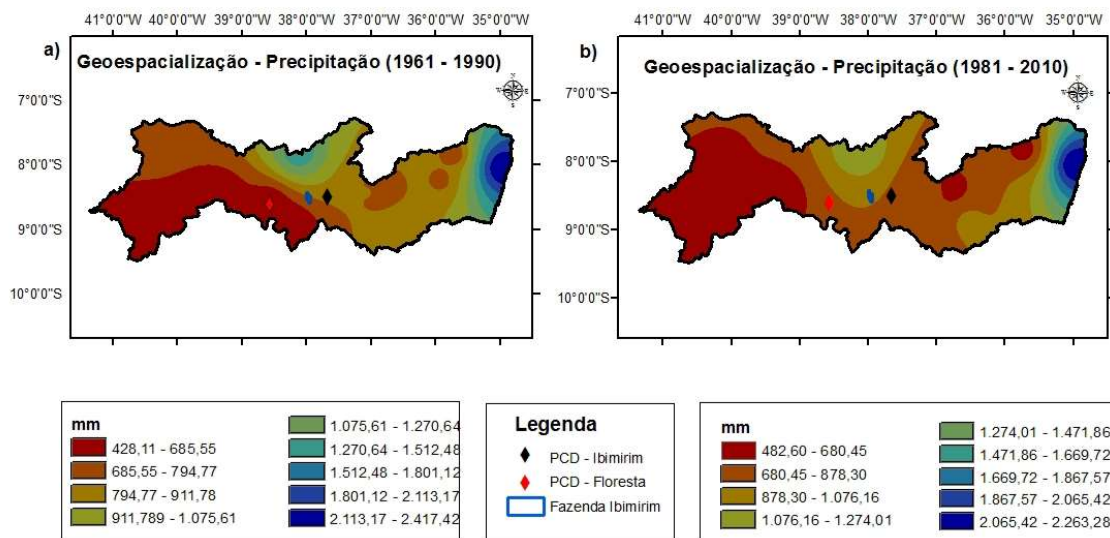


no clima, bem como os dados da estação meteorológica que é mais semelhante ao clima da Fazenda Itapemirim.

**Figura 1** – Temperatura média de 1961-1990 (a); e 1981-2010 (b), Pernambuco, BR.



**Figura 2** - Precipitação de 1961-1990 (a); e 1981-2010 (b), Pernambuco, BR.



Para compor o banco de dados do clima, foram utilizados dados do período de 1990 a 2019, da estação meteorológica Poço da Cruz/Ibimirim – PE, devido sua maior proximidade a área de pesquisa, cuja distância é em média de 30 km. As eventuais falhas de dados de chuva e temperatura foram preenchidas com uso da biblioteca de pacotes MICE, de acordo com procedimentos e técnicas da meteorologia de

imputação de dados, dados estes disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e a Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC.

### 2.2.1 Variáveis utilizadas

Foram utilizados dados diários de precipitação pluviométrica, temperatura média, mínima e máxima, radiação solar e déficit de pressão de vapor do ar, de 2011 a 2019 (Tabela 1). A precipitação pluviométrica está totalmente ligada a disponibilidade de água no solo. Assim, para avaliar as características hídricas do sistema foi realizado o balanço hídrico climatológico (BHC), utilizando o método de Thornthwaite e Mather (1955).

**Tabela 1** - Variáveis ambientais da Estação Poço da Cruz, Ibirimir-PE, utilizadas para relação com área basal.

Variável	Fonte	Unidade	Unidade anual
Precipitação pluviométrica anual	INMET e APAC	mm.mês <sup>-1</sup>	Somatório
Precipitação pluviométrica 1º Semestre	INMET e APAC	mm.mês <sup>-1</sup>	Somatório
Precipitação pluviométrica 2º Semestre	INMET e APAC	mm.mês <sup>-1</sup>	Somatório
Nº de dias de chuva anual	INMET e APAC	-	Somatório
Temperatura mínima	INMET	°C	Média anual
Temperatura média	INMET e APAC	°C	Média anual
Temperatura máxima	INMET	°C	Média anual
Radiação solar	INMET	MJ.m <sup>-2</sup>	Média anual
Pressão atmosférica	INMET	kPa	Média anual
Déficit de pressão de vapor do ar -DPV	INMET	kPa	Média anual
Índice de Precipitação Padronizado – SPI-12	McKee <i>et al.</i> (1993)	-	Média anual
Índice efeito climático – EC	Gómez-Aparício <i>et al.</i> (2011)	-	Média anual
Capacidade de armazenamento – ARM	Thornthwaite; Mather (1955)	mm.mês <sup>-1</sup>	Média anual
Evapotranspiração potencial – ETP	Thornthwaite; Mather (1955)	mm.mês <sup>-1</sup>	Média anual
Evapotranspiração relativa – ETR	Thornthwaite; Mather (1955)	mm.mês <sup>-1</sup>	Média anual
Deficiência climatológica de água – DEF	Thornthwaite; Mather (1955)	mm.mês <sup>-1</sup>	Média anual
Excedente climatológica de água – EXC	Thornthwaite; Mather (1955)	mm.mês <sup>-1</sup>	Média anual
Índice hídrico – Ih	Thornthwaite (1948)	mm.mês <sup>-1</sup>	Média anual
Índice de aridez – Ia	Thornthwaite (1948)	mm.mês <sup>-1</sup>	Média anual
Índice de umidade – Im'	Thornthwaite (1948)	mm.mês <sup>-1</sup>	Média anual
Índice de umidade – Im''	Thornthwaite; Mather (1955)	mm.mês <sup>-1</sup>	Média anual

O índice efeito climático - EC foi quantificado de acordo com metodologia proposta por Gómez-Aparício *et al.* (2011), ao analisar a influência de variáveis climáticas. Os efeitos climáticos foram estimados por meio de função *log-normal*, com uso de dados de temperatura média anual e mensal; precipitação média anual e mensal.

O efeito climático foi estimado usando uma função normal bivariada, conforme a (Expressão 1).

$$EC = \exp \left[ \frac{-1}{2} \left( \frac{T - X_{1a}}{X_{1b}} \right)^2 \right] * \exp \left[ \frac{-1}{2} \left( \frac{P - X_{2a}}{X_{2b}} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Em que: T = temperatura média anual;  $X1_a$  = temperatura média anual;  $X1_b$  = parâmetros estimados de controle da amplitude da função; P = precipitação média anual;  $X2_a$  = precipitação média anual;  $X2_b$  = parâmetros estimados de controle da amplitude da função.

### 2.3 Inventário florestal contínuo e obtenção da área basal

Para o inventário florestal contínuo (IFC) foram alocadas 40 parcelas de dimensões (20 m x 20 m), distanciadas em 80 m entre si, com 50 m de bordadura, com área amostral de 1,6 ha para cada área monitorada, totalizando em 80 parcelas permanentes medidas anualmente.

As medições analisadas foram do ano de 2011 a 2019. O critério de inclusão na instalação e monitoramento foi que todos os indivíduos e fustes que apresentassem circunferência a altura do peito (CAP) a 1,30 m do solo maior ou igual a 6 cm, conforme recomendações da Rede de Manejo Florestal Sustentável da Caatinga.

As espécies arbustivo-arbórea foram mensuradas e identificadas no ano de 2008, com nome popular, no qual realizaram coletas de material botânico para posterior identificação e herborização no Herbário Sérgio Tavares do Departamento de Ciência Florestal da UFRPE, com base na lista de composição florística de Alves Júnior (2010) e Ferraz (2011). A atualização da sinonímia e grafia das taxonomias foram realizadas mediante consulta a literatura e ao banco de dados do Herbário Virtual do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (REFLORA, 2020). Para separação das espécies ao nível de famílias foi adotado o sistema de classificação *Angiosperm Phylogeny Group* (APG IV, 2016).

No inventário foi considerado único o indivíduo em que as bifurcações dos fustes ou galhos denominados ocorreram em altura maior de 30 cm ao nível do solo, de acordo com o Protocolo da Rede de Manejo Florestal Sustentável da Caatinga. Consequentemente, indivíduos cuja bifurcação ocorreu em altura menor que 30 cm foram considerados como sendo indivíduos distintos. As bifurcações abaixo de 1,30 m em um mesmo indivíduo que apresentassem diâmetro no mínimo de 1,9 cm foram mensuradas e consideradas como fustes, deste modo foram encontrados nas áreas indivíduos de fuste único, e indivíduos multifustes.

Assim obtidos em campo por meio de fita métrica as circunferências a 1,30 m do solo (CAP), de todos os fustes, transformados em diâmetro, foi calculado o diâmetro equivalente ( $d_{eq}$ ) e diâmetro quadrático ( $D_g$ ), obtido por meio das (Expressões 2 e 3), respectivamente, considerando todas as bifurcações.

$$d_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^f DAP_i^2} \quad ; \quad D_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^f DAP_i^2}{n}} \quad (2); (3)$$

Em que:  $d_{eq}$ : Diâmetro equivalente do j-ésimo indivíduo (cm);  $D_g$ : Diâmetro médio quadrático;  $f$ : Número de fustes do j-ésimo indivíduo;  $DAP_i$ : Diâmetro a 1,30 m do solo do i-ésimo fuste ( $i= 1, 2, 3, \dots, f$ ) do j-ésimo indivíduo (cm).

Em seguida, foram calculadas a área transversal dos indivíduos, por meio da (Expressão 4).

$$G = \frac{\pi * D_g^2}{40000} \quad (4)$$

Em que:  $G$ : área basal em  $m^2 \cdot ha^{-1}$  do indivíduo;  $D_g$ : Diâmetro médio do j-ésimo indivíduo (cm).

O incremento corrente anual em área basal (ICA -  $G$ ) das árvores foi calculado para o período de (2011 a 2019), por meio da razão entre a diferença entre a área basal nas duas ocasiões e amplitude do período analisado (Expressão 5).

$$ICA_j = G_f - G_i \quad (5)$$

Em que:  $ICA_j$ : Incremento corrente anual do j-ésimo indivíduo ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ );  $G_f$ : área basal final do j-ésimo indivíduo;  $G_i$ : área basal inicial do j-ésimo indivíduo.

## 2.4 Relação incremento periódico anual da área basal vs. diâmetro médio quadrático

Os incrementos periódicos anuais em área basal (IPAg) da população foram associados às classes de diâmetro médio quadrático ( $D_g$ ), e ao número de indivíduos por classe diamétrica. Em seguida, os incrementos correntes anuais em área basal (ICA -  $G$ ) da população foram relacionados ao seu diâmetro médio quadrático, por meio da análise de correlação linear de Spearman, ao nível de 95% de probabilidade.

## 2.5 Modelo testado para identificação de influências no ICA

Depois de obtida a área basal das árvores em ambas as áreas, em seguida se buscou determinar os fatores relevantes para a previsibilidade e como estes influenciam na área basal de indivíduos (árvores), em duas áreas com histórico distinto de perturbação antrópica. Aplicou-se a técnica de análise de regressão.

Para identificar as melhores preditoras, observou-se a correlação das variáveis disponíveis com a variável resposta a partir do índice de correlação de Spearman, bem como a colinearidade entre as variáveis ambientais, que consegue medir relações não lineares entre duas variáveis, em especial, relações monotônicas

(SPEARMAN, 1904). A adequação do modelo foi feita a partir da análise dos resíduos Studentizados.

Foi feita a análise de regressão para as espécies de maior Valor de Importância (VI) e maior densidade absoluta ( $\text{ind.ha}^{-1}$ ), conforme mostra a (Tabela 2), além das demais espécies de cada área, parâmetros pré-estabelecidos de acordo com a metodologia de Mueller-Dombois e Ellenberg (1974), obtidos com o auxílio do software Mata Nativa 4.04 (CIENTEC, 2013).

**Tabela 2** - Espécies de maiores valor de importância (VI%), utilizadas como efeitos aleatórios, na identificação de variáveis significativas no modelo linear misto.

Espécie	Nome Popular	VI (%)
<b>Área 1</b>		
<i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G.P. Lewis	Catingueira	35,14
<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	Pinhão bravo	9,91
<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart. ex Benth.	Jurema de embira	5,41
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & Jobson	Quipembe	4,50
<i>Astronium urundeuva</i> (Allemão) Engl.	Aroeira	9,91
Demais espécies	-	35,14
<b>Área 2</b>		
<i>Cenostigma bracteosum</i> (Tul.) E. Gagnon & G.P. Lewis	Catingueira	18,43
<i>Astronium urundeuva</i> (Allemão) Engl.	Aroeira	12,44
<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	Pinhão bravo	4,61
<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart. ex Benth.	Jurema de embira	9,68
Demais espécies	-	54,84

Na análise de regressão há uma variável alvo a ser estudada (variável resposta) a qual se deseja explicar a sua variabilidade por meio de outras variáveis (variáveis explicativas). Neste trabalho, a variável resposta foi a área basal das árvores encontradas. As árvores apresentam número variado de espécies distintas. Como variáveis explicativas se utilizou o diâmetro equivalente  $d_{eq}$ , de acordo com as espécies a serem analisadas. Além disto, verificou-se a possível relação com vários indicadores climáticos.

Vale ressaltar que a área basal foi examinada ao longo de um período de 9 anos (2011 até 2019), o que implicou no uso de um modelo de regressão mais específico para esta análise, que é caracterizada na literatura como um problema de medidas repetidas. Em um problema deste tipo é necessário levar em consideração que a variável resposta está correlacionada ao longo do tempo. A matriz de correlação também deve ser estimada e neste caso, o formato da matriz de covariâncias utilizada foi a que estima a covariância intragrupos (PINHEIRO; BATES 1996).

Para resolver o problema de medidas repetidas, foi utilizado o modelo de regressão linear misto. Pois, para um problema de medidas repetidas, supõe-se que

o tempo afeta cada parcela de forma aleatória, daí, por definição, o tempo (em anos) é também uma variável explicativa sendo esta alocada na parte de efeitos aleatórios do modelo, assim como as espécies em que ocorrem nas áreas devido suas variabilidades genéticas. Tendo como variável independente o diâmetro equivalente ( $d_{eq}$ ), outras variáveis explicativas também pertencem à parcela de efeitos aleatórios.

A análise de variância com efeitos mistos foi realizada considerando como efeito aleatório o período (tempo) e a espécie florestal, já as variáveis de efeitos fixos foram consideradas as dendrométricas como: número de fustes, ingressos, mortalidade, diâmetro equivalente e as variáveis ambientais que apresentaram maior correlação.

O modelo final é constituído, conforme o modelo linear múltiplo (Expressão 6):

$$ICA_i = (\beta_0 + \alpha_{período} + \lambda_{espécie}) + \beta_n Vdend_n + \beta_m Vclim_m + \epsilon_i \quad (6)$$

Em que: ICA é o incremento corrente anual,  $\beta_0$ ,  $\beta_n$  e  $\beta_m$  são parâmetros dos efeitos fixos,  $\alpha$  é o parâmetro do efeito aleatório, referente ao período, este efeito segue uma distribuição normal com média 0 e desvio padrão estimado ( $\tau$ ) e  $\epsilon_i$  é o resíduo que segue uma distribuição normal com média 0 e desvio padrão  $\sigma$ .

A avaliação dos pressupostos da ANOVA mista foi realizada com base na análise dos resíduos.

Como foram coletados dados de duas áreas distintas (A1: menos preservada e A2: preservada), foram ajustados dois modelos distintos. Cada modelo poderá ter formas funcionais distintas.

Todos os cálculos e gráficos foram feitos utilizando a linguagem de programação R versão 3.6.1. Em especial, o pacote nlme versão 3.1.140 para a estimação dos modelos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Incremento periódico anual da área basal vs. diâmetro médio quadrático

A (Tabela 3) apresenta o quantitativo de árvores que sobreviveram durante o período analisado (2011 a 2019), com o número e percentual médio das espécies de maior valor de importância e demais espécies. O total de árvores na área preservada (A2) é maior, quase que o dobro se comparado a A1 (menos preservada). A porcentagem de espécies é bastante distinta em ambas as áreas, em que a Catingueira apresenta 90% de prevalência na área (menos preservada) em relação à A2 (preservada). Porém, a variação de espécies é maior na área preservada,

possivelmente devido ser considerada uma área de menos impacto antrópico, por ser “mais preservada”.

**Tabela 3** – Quantitativo médio das espécies sobreviventes durante o período de 2011 a 2019, para as espécies de maior valor de importância e demais espécies.

Espécies	Menos preservada (A1)		Preservada (A2)	
	Nº	%	Nº	%
Pinhão Bravo	11	9,91	10	4,61
Catingueira	39	35,14	40	18,43
Aroeira	11	9,91	27	12,44
Jurema de embira	6	5,41	21	9,68
Quipembe	5	4,50	-	-
Demais espécies	39	35,14	119	54,84
<b>Total</b>	<b>111</b>	<b>100</b>	<b>217</b>	<b>100</b>

A (Tabela 4) apresenta as estatísticas descritivas para as variáveis relacionadas as árvores estudadas em (A1) e (A2), em que a área basal aparece com grande variação em ambas as áreas (C.V. > 1), porém, com grande parte dos valores amostrados entre 0 e 0,05. A média do ( $D_g$ ) mostra-se com distribuições muito próximas no comparativo das áreas, com grandes mudanças apenas na amplitude, em que a (A2) aparece com valor máximo maior.

A tabela também apresenta o coeficiente de variação de ( $D_g$ ), em que a variação do ( $D_g$ ) é maior para as parcelas da A1, visto que a mediana está próxima a média, enquanto para A2 a mediana é próxima ao valor mínimo.

**Tabela 4** - Medidas de tendência central e de dispersão para as variáveis relacionadas as árvores para as áreas A1 e A2.

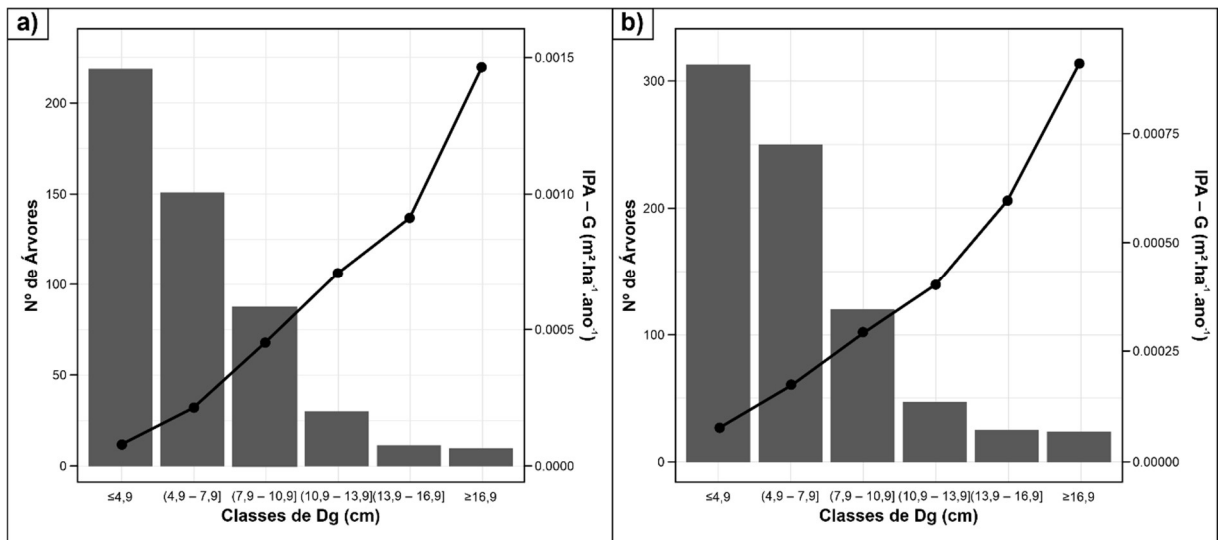
Variável	A1 - Área menos preservada						A2 - Área preservada					
	Mín.	Média	Mediana	Máx.	D.P.	C.V.	Mín.	Média	Mediana	Máx.	D.P.	C.V.
Área Basal	0,00	0,02	0,01	0,19	0,03	1,24	0,00	0,02	0,01	0,16	0,03	1,47
Média ( $D_g$ )	1,91	7,02	6,07	31,97	4,63	0,66	1,91	7,09	5,79	43,34	5,31	0,75
Nº de árvores	1,00	4,61	2,00	35,00	6,07	1,32	1,00	3,61	1,00	31,00	5,21	1,44

Em que: D.P. = Desvio Padrão; C.V. = Coeficiente de Variação.

Uma análise prévia dos dados pode ser visualizada nas (Figuras 3a e 3b). Efeitos de competição no crescimento das árvores, onde se tem maiores valores de incrementos em área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ), se dá justamente nas de maiores diâmetros. Conforme ilustrado, onde se mostra o quantitativo de árvores por classes para (A1) e (A2), é notório que para árvores inseridas nas faixas de menor ( $D_g$ ) o incremento médio é inferior em relação as árvores inseridas nas faixas de ( $D_g$ ) mais

elevadas, e que há uma relação de aumento entre os valores de ( $D_g$ ) e o incremento. Ainda, a área menos preservada (A1) apresenta menos árvores inseridas na faixa de 4,9 até 7,9 (em termos percentuais) em relação a A2.

**Figura 3** - Número de árvores por classes de distribuição diamétrica ( $D_g$ ) (cm), e incremento periódico anual médio em área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) nas respectivas classes diamétricas, nas áreas A1 – menos preservada (a) e A2 – preservada (b), em floresta tropical sazonalmente seca, em Floresta – PE, Brasil. (ICA).



Nas duas áreas, verificou-se certa tendência de incremento de área basal, de acordo com as classes de tamanhos maiores, incidindo-o em incrementos maiores, quando comparados os valores de IPAg. Conforme a (Figura 3), vimos que em geral os indivíduos de menor porte apresentam menores valores de IPAg. Verificou-se ainda a mesma tendência de crescimento em ambas as áreas. No entanto, a área A1 apresenta valores maiores de incremento. Possivelmente este cenário é devido a uma maior distribuição espacial, fazendo com que ocorra menos competição por recursos minerais, conforme elencado por Lucena (2019). Ao analisar o crescimento de árvores em função da competição, notou-se que sem a presença de indivíduos competidores, as árvores possuem incrementos médio superiores.

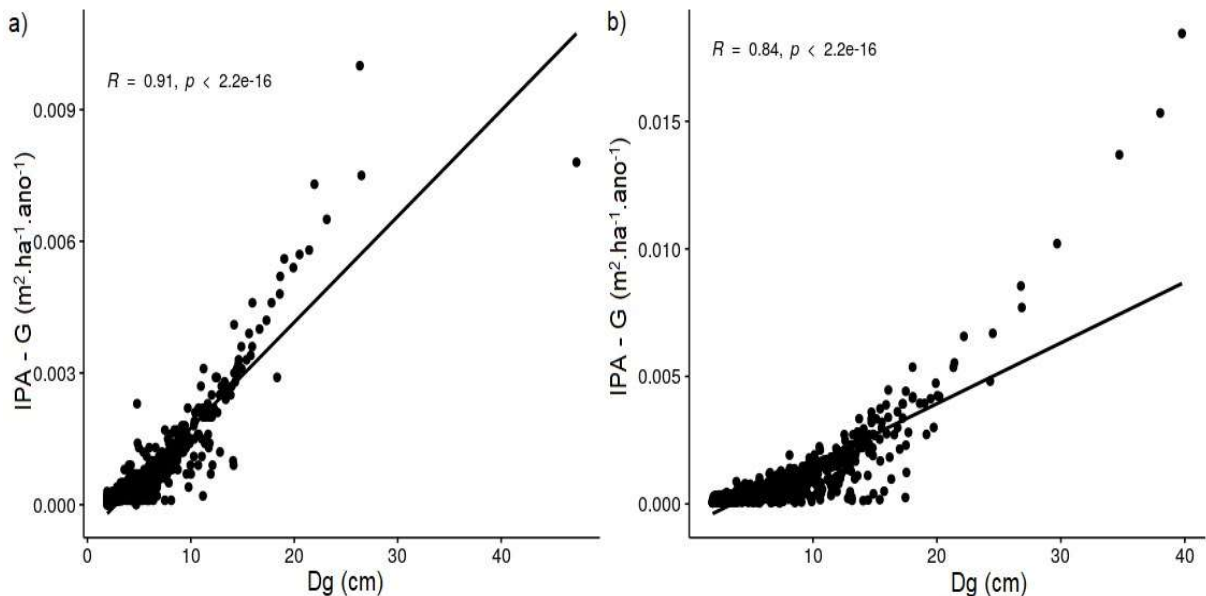
Alguns pesquisadores enfatizam que árvores de diâmetros maiores tendem a apresentar menores competição, por estarem localizadas em estratos superiores (MARTINS *et al.*, 2011; CUNHA, 2013; CASTRO *et al.*, 2014; VATRAZ; ALDER; SILVA, 2016). No entanto, em regiões semiáridas, em especial ambientes de Caatinga, o fator luz não interfere, devido a não formação de sub-bosques.

A (Figura 4) expressa a relação entre o diâmetro médio ( $D_g$  cm) e o incremento médio periódico anual em área basal (IPAg  $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ), do período estudado, onde



árvores que iniciaram com baixos valores de ( $D_g$ ) obtiveram incremento médio inferior àquelas que iniciam com valores de ( $D_g$ ) mais altos, onde a correlação constatada pode ser considerada forte (correlações acima de 0,8). Para algumas árvores foi notado que quanto maior o diâmetro médio dos indivíduos, maior foram os valores de incrementos. Em ambas as áreas se notam curvas de crescimento semelhante, no entanto os valores de incremento na (A1) tem sido maior. Possivelmente a própria intervenção antrópica tenha contribuído pelo fato de eliminar possível competição, fazendo com que as plantas se desenvolvam nesse ambiente de forma mais espaçada.

**Figura 4** - Cruzamento entre o ( $D_g$ ) médio (cm) das árvores e o incremento médio periódico anual em área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ), menos preservada (A1) (a) e preservada (A2) (b).



Estudos têm enfatizado a forte correlação positiva entre as variáveis do tamanho das árvores em diâmetro com o seu crescimento (FREITAS *et al.*, 2015; SILVA, *et al.*, 2017), no entanto, tal forte correlação reflete em efeitos de competição entre indivíduos, de acordo com Lorimer (1983).

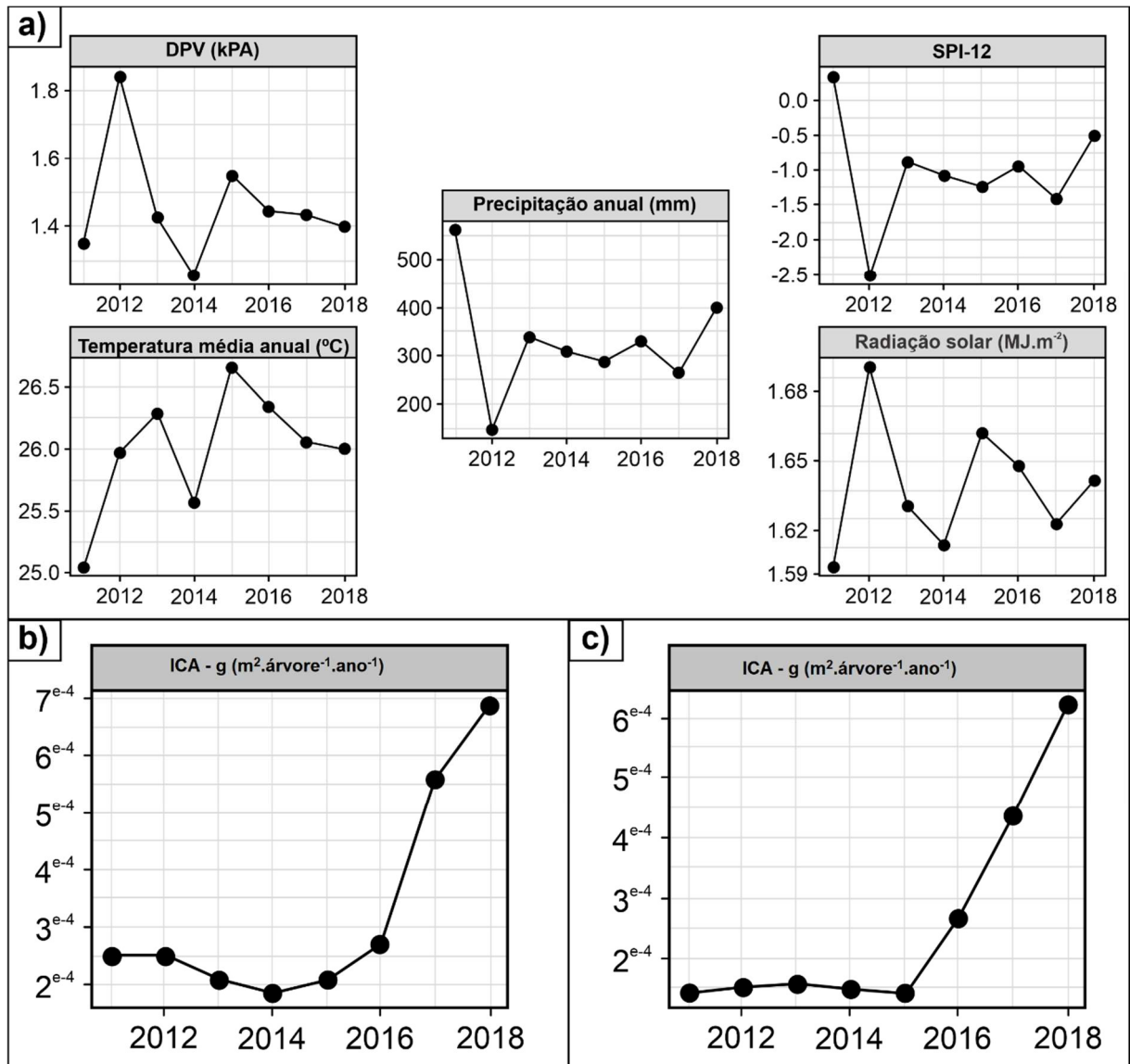
### 3.2 Correlações do ICA vs. variáveis dendrométricas e ambientais

Na (Figura 5a) são apresentadas algumas variáveis ambientais temporais e o incremento corrente anual – ICA – g (árvores), para a área A1 (Figura 5b) e área A2 (Figura 5c). Nota-se que para A1 o incremento médio corrente anual apresenta uma leve queda nos anos intermediários, e depois cresce de forma intensiva nos últimos 2

anos. Já para a A2, o mesmo acontece, só que o maior crescimento ocorre a partir de 2016.

Porém, pode ser observado que parece não haver relação direta entre as principais variáveis do clima com os valores de incremento, apesar de que existe um certo crescimento acentuado a partir do ano de 2016. Tal fato pode estar relacionado a duração de seca severa que ocorreu do ano de 2010 a 2015, de acordo com (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016).

**Figura 5** – a) Variáveis ambientais temporais; b) incremento corrente anual em área transversal – ICA -g na área A1 – menos preservada; e c) incremento corrente anual em área transversal – ICA -g na área A2 - preservada.



A seguir apresentam-se as correlações entre as variáveis explicativas e o incremento corrente anual (ICA) da área basal, em que mais se destacaram, sendo elas as variáveis dendrométricas com correlação positiva.

A (Figura 6) e a (Tabela 5) apresentam o correlograma contendo todas as variáveis que mais tiveram correlação para a área (A1). Nota-se que as variáveis explicativas ligadas as árvores estão todas correlacionadas entre si, principalmente a média de (deq). Além disto, nota-se baixa correlação entre as variáveis climáticas e a variável resposta, sendo que as variáveis climáticas apresentam uma estrutura de correlação forte entre si. O que, de acordo com Landsberg e Gower (1997), é considerado uma das características das variáveis ambientais.

**Figura 6** - Correlação de Spearman, entre as variáveis investigadas para a área de menos preservada (A1) vs. incremento corrente anual da área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ), no período de 2011 a 2019.

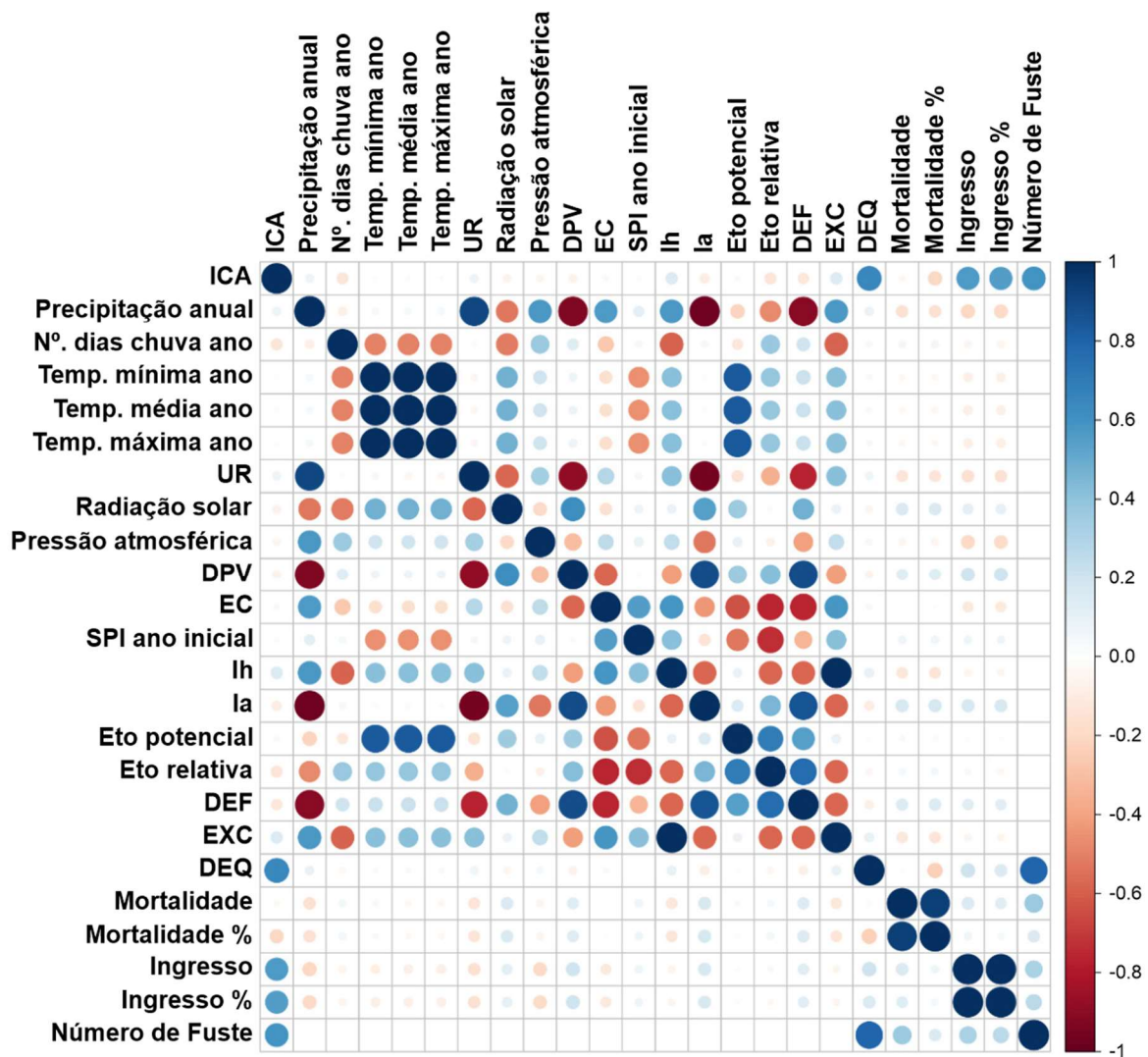


Tabela 5 – Correlação de Spearman, entre as variáveis analisadas para a área (A1) vs. ICA (m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), no período de 2011 a 2019.

	ICA	Precipitação anual	N. dias chuva ano	Temp. mínima ano	Temp. média ano	Temp. máxima ano	UR	Radiação solar
<b>ICA</b>	1,000	0,075	-0,138	-0,019	-0,019	-0,019	0,073	-0,066
<b>Precipitação anual</b>	0,075	1,000	-0,084	0,048	0,048	0,048	0,905	-0,524
<b>N. dias chuva ano</b>	-0,138	-0,084	1,000	-0,494	-0,494	-0,494	-0,024	-0,518
<b>Temp. mínima ano</b>	-0,019	0,048	-0,494	1,000	1,000	1,000	-0,048	0,476
<b>Temp. média ano</b>	-0,019	0,048	-0,494	1,000	1,000	1,000	-0,048	0,476
<b>Temp. máxima ano</b>	-0,019	0,048	-0,494	1,000	1,000	1,000	-0,048	0,476
<b>UR</b>	0,073	0,905	-0,024	-0,048	-0,048	-0,048	1,000	-0,571
<b>Radiação solar</b>	-0,066	-0,524	-0,518	0,476	0,476	0,476	-0,571	1,000
<b>Pressão atmosférica</b>	-0,059	0,571	0,361	0,190	0,190	0,190	0,333	-0,190
<b>DPV</b>	-0,070	-0,929	0,133	0,071	0,071	0,071	-0,881	0,619
<b>EC</b>	0,032	0,563	-0,267	-0,168	-0,168	-0,168	0,287	-0,156
<b>SPI ano inicial</b>	0,028	0,119	0,048	-0,452	-0,452	-0,452	0,048	0,071
<b>Ih</b>	0,150	0,577	-0,584	0,412	0,412	0,412	0,412	0,082
<b>Ia</b>	-0,098	-0,976	0,048	-0,024	-0,024	-0,024	-0,952	0,548
<b>ETo potencial</b>	-0,032	-0,214	-0,120	0,833	0,833	0,833	-0,143	0,357
<b>ETo relativa</b>	-0,139	-0,476	0,374	0,381	0,381	0,381	-0,357	0,024
<b>DEF</b>	-0,126	-0,905	0,193	0,214	0,214	0,214	-0,762	0,476
<b>EXC</b>	0,150	0,577	-0,584	0,412	0,412	0,412	0,412	0,082
<b>DEQ</b>	0,646	0,085	-0,038	0,031	0,031	0,031	0,069	-0,052
<b>Mortalidade</b>	-0,032	-0,151	0,054	-0,034	-0,034	-0,034	-0,137	0,155
<b>Mortalidade %</b>	-0,201	-0,154	0,059	-0,035	-0,035	-0,035	-0,138	0,153
<b>Ingresso</b>	0,562	-0,202	-0,059	-0,088	-0,088	-0,088	-0,155	0,115
<b>Ingresso %</b>	0,559	-0,195	-0,057	-0,088	-0,088	-0,088	-0,151	0,107
<b>Número de Fuste</b>	0,592	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Continua...

Tabela 5 – Continuação.

	<b>Pressão atmosférica</b>	<b>DPV</b>	<b>EC</b>	<b>SPI ano inicial</b>	<b>Ih</b>	<b>Ia</b>	<b>ETo potencial</b>	<b>ETo relativa</b>
<b>ICA</b>	-0,059	-0,070	0,032	0,028	0,150	-0,098	-0,032	-0,139
<b>Precipitação anual</b>	0,571	-0,929	0,563	0,119	0,577	-0,976	-0,214	-0,476
<b>N. dias chuva ano</b>	0,361	0,133	-0,267	0,048	-0,584	0,048	-0,120	0,374
<b>Temp. mínima ano</b>	0,190	0,071	-0,168	-0,452	0,412	-0,024	0,833	0,381
<b>Temp. média ano</b>	0,190	0,071	-0,168	-0,452	0,412	-0,024	0,833	0,381
<b>Temp. máxima ano</b>	0,190	0,071	-0,168	-0,452	0,412	-0,024	0,833	0,381
<b>UR</b>	0,333	-0,881	0,287	0,048	0,412	-0,952	-0,143	-0,357
<b>Radiação solar</b>	-0,190	0,619	-0,156	0,071	0,082	0,548	0,357	0,024
<b>Pressão atmosférica</b>	1,000	-0,310	0,252	0,095	0,247	-0,524	0,095	-0,071
<b>DPV</b>	-0,310	1,000	-0,575	0,024	-0,412	0,881	0,357	0,429
<b>EC</b>	0,252	-0,575	1,000	0,551	0,581	-0,431	-0,635	-0,755
<b>SPI ano inicial</b>	0,095	0,024	0,551	1,000	0,412	-0,143	-0,524	-0,738
<b>Ih</b>	0,247	-0,412	0,581	0,412	1,000	-0,577	0,082	-0,577
<b>Ia</b>	-0,524	0,881	-0,431	-0,143	-0,577	1,000	0,143	0,452
<b>ETo potencial</b>	0,095	0,357	-0,635	-0,524	0,082	0,143	1,000	0,690
<b>ETo relativa</b>	-0,071	0,429	-0,755	-0,738	-0,577	0,452	0,690	1,000
<b>DEF</b>	-0,405	0,881	-0,755	-0,333	-0,577	0,857	0,548	0,762
<b>EXC</b>	0,247	-0,412	0,581	0,412	1,000	-0,577	0,082	-0,577
<b>DEQ</b>	0,044	-0,068	0,033	0,000	0,093	-0,090	0,015	-0,044
<b>Mortalidade</b>	-0,056	0,135	-0,005	0,067	-0,128	0,169	-0,032	0,047
<b>Mortalidade %</b>	-0,055	0,139	-0,011	0,066	-0,132	0,170	-0,029	0,052
<b>Ingresso</b>	-0,192	0,197	-0,119	0,067	-0,055	0,169	-0,017	-0,036
<b>Ingresso %</b>	-0,186	0,192	-0,119	0,064	-0,052	0,163	-0,016	-0,036
<b>Número de Fuste</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Continua...

Tabela 5 – Continuação.

	DEF	EXC	DEQ	Mortalidade	Mortalidade %	Ingresso	Ingresso %	Número de Fuste
<b>ICA</b>	-0,126	0,150	0,646	-0,032	-0,201	0,562	0,559	0,592
<b>Precipitação anual</b>	-0,905	0,577	0,085	-0,151	-0,154	-0,202	-0,195	0,000
<b>N. dias chuva ano</b>	0,193	-0,584	-0,038	0,054	0,059	-0,059	-0,057	0,000
<b>Temp. mínima ano</b>	0,214	0,412	0,031	-0,034	-0,035	-0,088	-0,088	0,000
<b>Temp. média ano</b>	0,214	0,412	0,031	-0,034	-0,035	-0,088	-0,088	0,000
<b>Temp. máxima ano</b>	0,214	0,412	0,031	-0,034	-0,035	-0,088	-0,088	0,000
<b>UR</b>	-0,762	0,412	0,069	-0,137	-0,138	-0,155	-0,151	0,000
<b>Radiação solar</b>	0,476	0,082	-0,052	0,155	0,153	0,115	0,107	0,000
<b>Pressão atmosférica</b>	-0,405	0,247	0,044	-0,056	-0,055	-0,192	-0,186	0,000
<b>DPV</b>	0,881	-0,412	-0,068	0,135	0,139	0,197	0,192	0,000
<b>EC</b>	-0,755	0,581	0,033	-0,005	-0,011	-0,119	-0,119	0,000
<b>SPI ano inicial</b>	-0,333	0,412	0,000	0,067	0,066	0,067	0,064	0,000
<b>Ih</b>	-0,577	1,000	0,093	-0,128	-0,132	-0,055	-0,052	0,000
<b>Ia</b>	0,857	-0,577	-0,090	0,169	0,170	0,169	0,163	0,000
<b>ETo potencial</b>	0,548	0,082	0,015	-0,032	-0,029	-0,017	-0,016	0,000
<b>ETo relativa</b>	0,762	-0,577	-0,044	0,047	0,052	-0,036	-0,036	0,000
<b>DEF</b>	1,000	-0,577	-0,081	0,145	0,149	0,128	0,123	0,000
<b>EXC</b>	-0,577	1,000	0,093	-0,128	-0,132	-0,055	-0,052	0,000
<b>DEQ</b>	-0,081	0,093	1,000	-0,023	-0,235	0,208	0,160	0,798
<b>Mortalidade</b>	0,145	-0,128	-0,023	1,000	0,930	0,159	0,130	0,364
<b>Mortalidade %</b>	0,149	-0,132	-0,235	0,930	1,000	0,063	0,048	0,151
<b>Ingresso</b>	0,128	-0,055	0,208	0,159	0,063	1,000	0,990	0,317
<b>Ingresso %</b>	0,123	-0,052	0,160	0,130	0,048	0,990	1,000	0,266
<b>Número de Fuste</b>	0,000	0,000	0,798	0,364	0,151	0,317	0,266	1,000

Em que: ICA = Incremento corrente anual em área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ); UR = Umidade relativa; DPV = Déficit de pressão de vapor do ar; EC = Índice de efeito climático; SPI = Índice de Precipitação Padronizado; Ih = Índice hídrico; Ia = Índice de aridez; Eto = Evapotranspiração; DEF = Deficiência hídrica do solo; EXC = Excedente hídrico do solo; DEQ = Diâmetro equivalente.



**Tabela 6** – Correlação de Spearman, entre as variáveis analisadas para a área (A2) vs. ICA ( $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ), no período de 2011 a 2019.

	<b>ICA</b>	<b>Precipitação anual</b>	<b>N. dias chuva ano</b>	<b>Temp. mínima ano</b>	<b>Temp. média ano</b>	<b>Temp. máxima ano</b>	<b>UR</b>	<b>Radiação solar</b>
<b>ICA</b>	1,000	-0,079	-0,158	-0,065	-0,065	-0,065	-0,109	0,129
<b>Precipitação anual</b>	-0,079	1,000	-0,084	0,048	0,048	0,048	0,905	-0,524
<b>N. dias chuva ano</b>	-0,158	-0,084	1,000	-0,494	-0,494	-0,494	-0,024	-0,518
<b>Temp. mínima ano</b>	-0,065	0,048	-0,494	1,000	1,000	1,000	-0,048	0,476
<b>Temp. média ano</b>	-0,065	0,048	-0,494	1,000	1,000	1,000	-0,048	0,476
<b>Temp. máxima ano</b>	-0,065	0,048	-0,494	1,000	1,000	1,000	-0,048	0,476
<b>UR</b>	-0,109	0,905	-0,024	-0,048	-0,048	-0,048	1,000	-0,571
<b>Radiação solar</b>	0,129	-0,524	-0,518	0,476	0,476	0,476	-0,571	1,000
<b>Pressão atmosférica</b>	-0,094	0,571	0,361	0,190	0,190	0,190	0,333	-0,190
<b>DPV</b>	0,116	-0,929	0,133	0,071	0,071	0,071	-0,881	0,619
<b>EC</b>	0,135	0,381	-0,337	-0,095	-0,095	-0,095	0,048	0,048
<b>SPI ano inicial</b>	0,211	0,119	0,048	-0,452	-0,452	-0,452	0,048	0,071
<b>Ih</b>	0,149	0,577	-0,584	0,412	0,412	0,412	0,412	0,082
<b>Ia</b>	0,062	-0,976	0,048	-0,024	-0,024	-0,024	-0,952	0,548
<b>ETo potencial</b>	-0,062	0,976	-0,048	0,024	0,024	0,024	0,952	-0,548
<b>ETo relativa</b>	-0,087	-0,214	-0,120	0,833	0,833	0,833	-0,143	0,357
<b>DEF</b>	-0,222	-0,476	0,374	0,381	0,381	0,381	-0,357	0,024
<b>EXC</b>	-0,035	-0,905	0,193	0,214	0,214	0,214	-0,762	0,476
<b>DEQ</b>	0,336	-0,109	-0,049	-0,025	-0,025	-0,025	-0,093	0,104
<b>Mortalidade</b>	-0,322	0,191	0,078	0,061	0,061	0,061	0,170	-0,187
<b>Mortalidade %</b>	-0,466	0,245	0,092	0,065	0,065	0,065	0,214	-0,233
<b>Ingresso</b>	0,301	-0,114	-0,036	-0,082	-0,082	-0,082	-0,090	0,080
<b>Ingresso %</b>	0,307	-0,114	-0,038	-0,080	-0,080	-0,080	-0,091	0,082
<b>Número de Fuste</b>	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Continua...



Tabela 6 – Continuação.

	Pressão atmosférica	DPV	EC	SPI ano inicial	Ih	Ia	ETo potencial	ETo relativa
ICA	-0,094	0,116	0,135	0,211	0,149	0,062	-0,062	-0,087
Precipitação anual	0,571	-0,929	0,381	0,119	0,577	-0,976	0,976	-0,214
N. dias chuva ano	0,361	0,133	-0,337	0,048	-0,584	0,048	-0,048	-0,120
Temp. mínima ano	0,190	0,071	-0,095	-0,452	0,412	-0,024	0,024	0,833
Temp. média ano	0,190	0,071	-0,095	-0,452	0,412	-0,024	0,024	0,833
Temp. máxima ano	0,190	0,071	-0,095	-0,452	0,412	-0,024	0,024	0,833
UR	0,333	-0,881	0,048	0,048	0,412	-0,952	0,952	-0,143
Radiação solar	-0,190	0,619	0,048	0,071	0,082	0,548	-0,548	0,357
Pressão atmosférica	1,000	-0,310	0,238	0,095	0,247	-0,524	0,524	0,095
DPV	-0,310	1,000	-0,357	0,024	-0,412	0,881	-0,881	0,357
EC	0,238	-0,357	1,000	0,571	0,577	-0,238	0,238	-0,571
SPI ano inicial	0,095	0,024	0,571	1,000	0,412	-0,143	0,143	-0,524
Ih	0,247	-0,412	0,577	0,412	1,000	-0,577	0,577	0,082
Ia	-0,524	0,881	-0,238	-0,143	-0,577	1,000	-1,000	0,143
ETo potencial	0,524	-0,881	0,238	0,143	0,577	-1,000	1,000	-0,143
ETo relativa	0,095	0,357	-0,571	-0,524	0,082	0,143	-0,143	1,000
DEF	-0,071	0,429	-0,738	-0,738	-0,577	0,452	-0,452	0,690
EXC	-0,405	0,881	-0,619	-0,333	-0,577	0,857	-0,857	0,548
DEQ	-0,115	0,085	0,013	0,041	-0,041	0,114	-0,114	-0,032
Mortalidade	0,181	-0,161	-0,032	-0,092	0,069	-0,197	0,197	0,069
Mortalidade %	0,233	-0,200	-0,027	-0,096	0,101	-0,254	0,254	0,075
Ingresso	-0,121	0,105	0,002	0,089	-0,028	0,102	-0,102	-0,059
Ingresso %	-0,120	0,106	0,004	0,091	-0,025	0,102	-0,102	-0,058
Número de Fuste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Continua...

Tabela 6 – Continuação.

	DEF	EXC	DEQ	Mortalidade	Mortalidade %	Ingresso	Ingresso %	Número de Fuste
<b>ICA</b>	-0,222	-0,035	0,336	-0,322	-0,466	0,301	0,307	0,027
<b>Precipitação anual</b>	-0,476	-0,905	-0,109	0,191	0,245	-0,114	-0,114	0,000
<b>N. dias chuva ano</b>	0,374	0,193	-0,049	0,078	0,092	-0,036	-0,038	0,000
<b>Temp. mínima ano</b>	0,381	0,214	-0,025	0,061	0,065	-0,082	-0,080	0,000
<b>Temp. média ano</b>	0,381	0,214	-0,025	0,061	0,065	-0,082	-0,080	0,000
<b>Temp. máxima ano</b>	0,381	0,214	-0,025	0,061	0,065	-0,082	-0,080	0,000
<b>UR</b>	-0,357	-0,762	-0,093	0,170	0,214	-0,090	-0,091	0,000
<b>Radiação solar</b>	0,024	0,476	0,104	-0,187	-0,233	0,080	0,082	0,000
<b>Pressão atmosférica</b>	-0,071	-0,405	-0,115	0,181	0,233	-0,121	-0,120	0,000
<b>DPV</b>	0,429	0,881	0,085	-0,161	-0,200	0,105	0,106	0,000
<b>EC</b>	-0,738	-0,619	0,013	-0,032	-0,027	0,002	0,004	0,000
<b>SPI ano inicial</b>	-0,738	-0,333	0,041	-0,092	-0,096	0,089	0,091	0,000
<b>Ih</b>	-0,577	-0,577	-0,041	0,069	0,101	-0,028	-0,025	0,000
<b>Ia</b>	0,452	0,857	0,114	-0,197	-0,254	0,102	0,102	0,000
<b>ETo potencial</b>	-0,452	-0,857	-0,114	0,197	0,254	-0,102	-0,102	0,000
<b>ETo relativa</b>	0,690	0,548	-0,032	0,069	0,075	-0,059	-0,058	0,000
<b>DEF</b>	1,000	0,762	-0,013	0,044	0,031	-0,060	-0,062	0,000
<b>EXC</b>	0,762	1,000	0,076	-0,124	-0,170	0,058	0,057	0,000
<b>DEQ</b>	-0,013	0,076	1,000	0,054	-0,552	0,226	0,203	0,570
<b>Mortalidade</b>	0,044	-0,124	0,054	1,000	0,678	0,124	0,101	0,722
<b>Mortalidade %</b>	0,031	-0,170	-0,552	0,678	1,000	-0,125	-0,129	0,118
<b>Ingresso</b>	-0,060	0,058	0,226	0,124	-0,125	1,000	0,995	0,296
<b>Ingresso %</b>	-0,062	0,057	0,203	0,101	-0,129	0,995	1,000	0,270
<b>Número de Fuste</b>	0,000	0,000	0,570	0,722	0,118	0,296	0,270	1,000

Em que: ICA = Incremento corrente anual em área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ); UR = Umidade relativa; DPV = Déficit de pressão de vapor do ar; EC = Índice de efeito climático; SPI = Índice de Precipitação Padronizado; Ih = Índice hídrico; Ia = Índice de aridez; Eto = Evapotranspiração; DEF = Deficiência hídrica do solo; EXC = Excedente hídrico do solo; DEQ = Diâmetro equivalente.

As condições climáticas são responsáveis pela manutenção e variação do crescimento e desenvolvimento florestal. Além da precipitação como fator responsável direto, pode ser citados outros elementos, como a temperatura média do ar, umidade, radiação solar, nos quais podem interferir diretamente no crescimento (CORDEIRO; SCHWARTZ; BARROS, 2020).

De acordo com Landsberg (2003), as principais variáveis ambientais que controlam as trocas gasosas entre as plantas e a atmosfera são: temperatura do ar (atua no controle da diferença de pressão de vapor entre as câmaras estomáticas, controlando assim a difusão do vapor d'água entre os estômatos e a atmosfera); e radiação solar (fornece energia para evaporação e transpiração). A variação temporal e intensidade dos fenômenos meteorológicos em que ocorrem, afetam no crescimento das plantas.

Apesar de não haver correlação forte das variáveis com o crescimento da área basal, podem ser observados fatores para as variáveis como: temperatura, déficit de pressão de vapor e o déficit hídrico, com valores tendendo de zero a negativo, como já esperado, em ambas as áreas.

A região semiárida do Nordeste brasileiro não apresenta forte variação de condições de temperaturas, conforme visto nos valores de desvio padrão das médias mensais. Já para a precipitação acumulada anual e mensal, os valores encontrados na região são de altas variações temporais mensais e anuais. Conforme elencado por Landsberg e Gower (1997), variações fortes das condições meteorológicas ao decorrer do tempo oferecem impacto e mudança no crescimento das plantas.

De acordo com Felipe (1985), o crescimento das plantas é identificado por atributos físicos, com aumento progressivo, de maneira irreversível. É possível verificar mudanças em termos de tamanho, massa e volume. No entanto, nem sempre é possível identificar o seu crescimento desta forma, tendo em vista que alguns organismos utilizam as fontes de materiais de reservas, apenas para a produção de novas células, sem aumentar de extensão, tanto que, quando a planta é submetida a fatores exógenos, como o déficit hídrico, o crescimento em extensão é o mais afetado (PEIXOTO *et al.*, 2011).

Como fator exógeno pode ser destacada a água disponível no solo, (Excedente Hídrico do Solo – EXC), que é um dos fatores exógenos considerados mais importantes (LIRA *et al.*, 2015; BRITO *et al.*, 2017), pois é um elemento fundamental para o crescimento das plantas em geral. Como visto, não ocorre excedente hídrico

no solo da região, apesar da ocorrência de maiores valores de precipitação acumulada anual nos anos de 2016 a 2018, e o incremento em área basal não foi verificado, anos estes fora do período de seca severa, conforme destacado por (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016). No entanto, a vegetação tem aparentado maior resposta de crescimento, embora não tenha sido verificada correlação entre a precipitação e área basal durante o período de estudo.

A baixa precipitação e a existência de secas meteorológicas e hidrológicas existentes no ambiente fazem com que as plantas passem por estresse hídrico, havendo redução da sua biomassa e produção (WHILHITE; GLANTZ, 1987). Vale destacar que, conforme Marengo; Cunha; Alves (2016), os anos de secas de maior intensidade (2012 a 2015) coincidiram com o evento climático El Niño, o que justamente remeteu à existência de seca extrema (agrícola e hidrológica).

A precipitação, por sua vez, é um importante fator sazonal, associada à temperatura e aos índices de seca, em que fica clara a correlação entre as variáveis do clima. No entanto, o acumulado de chuvas anual não apresentou relação forte com o incremento corrente anual em área basal, desta forma, se infere que as espécies possam apresentar respostas diferentes de acordo com os níveis de precipitação (CAMARGO; MARENCO, 2017).

Com destaque que, com valores de precipitação anual abaixo dos 300 mm, as atividades cambiais são cessadas ou limitadas, e em regiões tropicais a redução cambial é natural, em virtude da diminuição ou cessamento das chuvas. Zanon e Finger (2010) destacam que os fatores climáticos interferem na atividade cambial e na formação de anéis de crescimento.

Desta forma, pode-se dizer que os fatores que influenciam no crescimento das plantas são os mais variados, sejam eles exógenos, como os já citados aqui, bem como a existência de fatores endógenos, como características adaptativas ou genéticas, bem como funcionais. Por sua vez se sabe que as características relevantes das plantas de ambientes semiáridos, em específico as de Caatinga, são de espécies que possuem estratégias e características morfológicas em sua maioria de maneira adaptadas, beneficiando a sua sobrevivência no tocante ao estresse por falta de recurso hídrico, até mesmo em espécies com sistema radicular bem desenvolvido, e ou com acúmulo de fontes de reservas em suas raízes.

Inclusive, de acordo com os dados obtidos, verificou-se que indivíduos em sua fase mais juvenil apresentaram maiores taxas de mortalidade, evidenciando a

existência de fatores endógenos, onde parece estar mais ligado ao crescimento das espécies. Talvez com relação à formação de raízes com sistema radicular bem desenvolvidos e bem adaptados à região de déficit hídrico, além do fator competição, com os seus supostos efeitos, conforme já elencado.

### 3.3 Análise dos efeitos fixos e influências no ICA

Com o objetivo de verificar a influência de variáveis no crescimento em área basal, foram obtidos os coeficientes dos efeitos fixos, conforme descritos na (Tabela 7), para as respectivas áreas. Inicialmente, foi ajustado o modelo de efeitos mistos com efeitos aleatórios (Tabela 8 – em Apêndice 3) nos três parâmetros pelo método de razão de verossimilhança. Várias estruturas foram testadas, porém não convergiam, por isso não foram apresentadas.

Com relação à precisão das influências das estimativas, verificou-se que a inserção de coeficientes é estatisticamente significativa para ambas as áreas. São apresentadas as estimativas dos parâmetros do modelo analisado de acordo com os critérios pré-estabelecidos. Percebe-se que as variáveis ambientais são significativas apenas para a área (A1), além das demais variáveis; já para a área (A2) houve significância apenas das variáveis dendrométricas, o que possivelmente esteja relacionado a maiores taxas de mortalidade para esta área. Os resultados dos testes realizados para identificar as variáveis significativas são apresentadas na (Tabela 7).

**Tabela 7** - Parâmetros fixos da equação linear mista e indicadores de qualidade, nas áreas A1 e A2.

Variável	A1 (menos preservada)			A2 (preservada)		
	Estimativa	t valor	p valor	Estimativa	t valor	p valor
(Intercepto)	-4,21e <sup>+03</sup>	-6,050	2,10e <sup>-09</sup> ***	8,41e <sup>-01</sup>	0,558	0,611
Nº de fuste	2,38e <sup>-01</sup>	7,992	4,37e <sup>-15</sup> ***	1,70e <sup>-02</sup>	6,563	7,73e <sup>-11</sup> ***
Ingresso	1,08e <sup>+01</sup>	11,169	< 2e <sup>-16</sup> ***	5,54e <sup>-01</sup>	6,802	1,36e <sup>-11</sup> ***
Mortalidade%	-1,21e <sup>+01</sup>	-7,084	3,34e <sup>-12</sup> ***	-1,11e <sup>+00</sup>	-12,072	< 2e <sup>-16</sup> ***
Precipitação	-3,16e <sup>-02</sup>	-3,666	0,000261 ***	7,96e <sup>-04</sup>	0,779	0,490
Nº dias de chuva	1,33e <sup>-01</sup>	3,368	0,000788 ***	-4,47e <sup>-03</sup>	-0,481	0,663
SPI	-7,77e <sup>+00</sup>	-4,775	2,09e <sup>-06</sup> ***	2,60e <sup>-01</sup>	0,838	0,462
ETP	-4,21e <sup>-02</sup>	-4,887	1,20e <sup>-06</sup> ***	2,28e <sup>-04</sup>	0,146	0,893
d <sub>eq</sub>	2,12e <sup>+00</sup>	6,072	1,84e <sup>-09</sup> ***	4,98e <sup>-02</sup>	10,908	< 2e <sup>-16</sup> ***

Sabe-se que a estiagem causa grande impacto às plantas (WORBES, 1999), justamente o que tem ocorrido na última década, com a existência de eventos de secas severas como a ocorrida entre os anos de 2010 e 2015 (MARENGO; CUNHA; ALVES, 2016), a qual contribuiu em sua dinâmica florestal, com reflexo em altas taxas de mortalidade de indivíduos e fustes, influenciando em seu crescimento, devido a

limitação por recursos minerais, e fazendo com que ocorra até mesmo a competição entre indivíduos. De acordo com Vanclay *et al.* (2013), a competição é o processo mais importante que afeta o desenvolvimento das plantas.

Conforme visto ao decorrer das discussões, a baixa disponibilidade hídrica afetou em ambas as áreas. Tanto ao crescimento, ingresso e mortalidade de indivíduos e fustes, como fator responsável direto, além das demais variáveis ambientais existentes e altamente correlacionadas com a precipitação, como em destaque o nº de dias de chuva, SPI e ETP.

A baixa disponibilidade hídrica no solo afeta, de alguma maneira, a todos os mecanismos fisiológicos das plantas. Seja na capacidade respiratória, ou até mesmo em assimilar carbono da atmosfera, e também às raízes pelo fato de deixar de absorver nutrientes. Inclusive, se tem como primeira reposta das plantas quando submetida a condições de estresse hídrico a redução ou cessamento de seu crescimento pelo fato de ocorrer a redução metabólica (BERGAMASCHI; BERGONCI 2017).

Uma vez que a indisponibilidade de solutos minerais devido à falta de água no solo impede a translocação de nutrientes pelos seus feixes vasculares, conseqüentemente a diminuição e cessamento de seu crescimento radicular e da parte aérea de acordo com Bang *et al.* (2020).

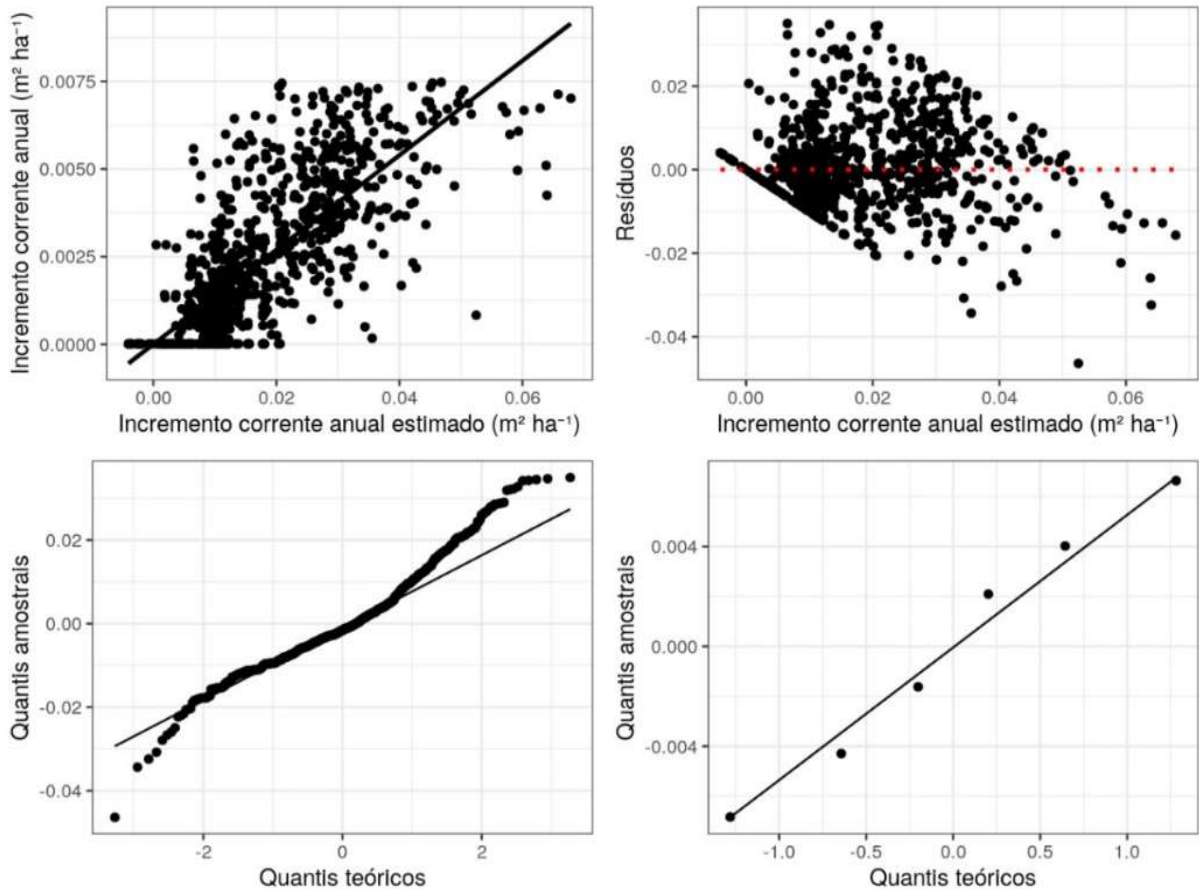
Outro fator importante é de que as florestas tropicais em geral, quando não manejadas, tendem a apresentar ritmo de crescimento estável, ou até mesmo diminuição de seu ritmo ao decorrer do tempo, inclusive com baixas taxas de recrutamento (ingressos) e com competição limitada por recursos disponíveis favoráveis ao seu crescimento (BECKERT; ROSOT; ROSOT, 2014). Desta forma, é possível identificar a significância das variáveis ambientais e dendrométricas, assim como justificar os maiores valores de crescimento para a área menos preservada (A1), bem como menores taxas de mortalidade, inclusive significância nas variáveis ambientais. Já o inverso foi percebido na área mais preservada (A2), na qual apresentaram significância apenas as variáveis dendrométricas, tal fato pode ser explicado pela mesma razão da maturidade da vegetação.

Quanto ao modelo linear misto em geral para a área (A1), ele se encontra bem ajustado, sem a presença de valores outliers. O que conseqüentemente não afetou o desempenho geral do modelo. Ficou notória a qualidade do ajuste por meio dos

gráficos de dispersão entre o incremento corrente anual (ICA), ajustado pelo modelo linear misto.

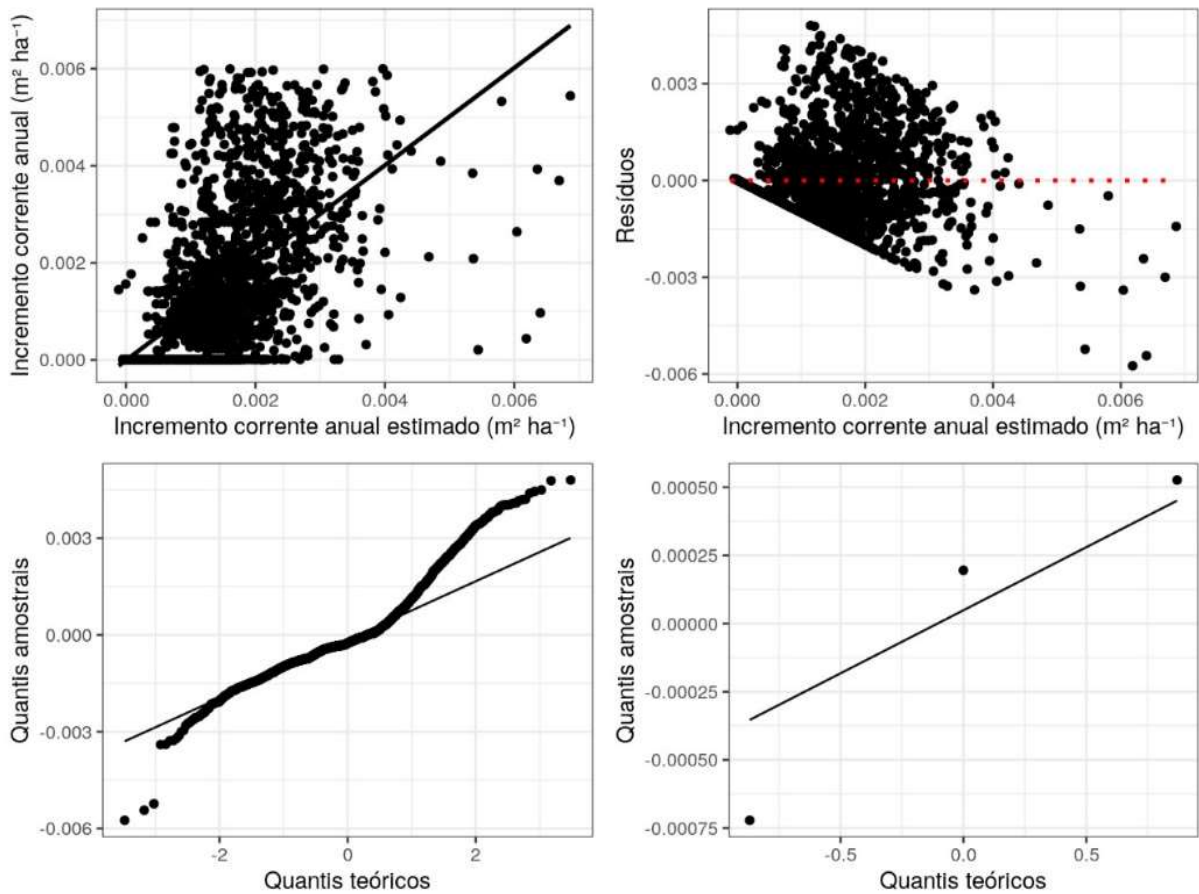
Os gráficos necessários para a análise dos resíduos do modelo para a área de menos preservada (A1), quanto aos resíduos podem ser observados na (Figura 8).

**Figura 8** - Análise de resíduos para o modelo linear misto, para a área menos preservada – A1.



Já a (Figura 9) apresenta os gráficos necessários para a análise dos resíduos do modelo linear misto, para a área preservada (A2). Quanto aos resíduos, observa-se que em geral o modelo está bem ajustado, tendendo a ser normal sua distribuição.

**Figura 9** - Análise de resíduos para o modelo linear misto, para a área preservada – A2.



#### 4. CONCLUSÃO

O incremento em área basal para a área (A1- menos preservada) foi maior, quando comparado a (A2 – preservada).

Existe influência das variáveis ambientais no crescimento corrente anual da área basal, em destaque às variáveis: precipitação, nº de dias de chuvas, SPI e EtoR, além de variáveis dendrométricas. No entanto apenas na (A1) as variáveis ambientais foram significativas.

Deve-se levar em consideração que a precipitação é a variável ambiental que mais influência em seu crescimento. No entanto, o déficit hídrico é maior que a taxa de precipitação, o que faz com que tenha ocorrido menores taxas de crescimento e cessamento, ao longo dos anos.

Apesar de ter percebido influências temporais das variáveis ambientais, são necessários estudos que ultrapassem o período de seca severa, com monitoramento em período maior, tendo em vista o curto período analisado.



O modelo linear misto obteve bons resultados, e foi possível verificar as influências no crescimento corrente anual apenas para a (A1) em relação as variáveis ambientais nos parâmetros de efeitos fixos. Já na (A2) foram notadas apenas influências significativas nos efeitos fixos para as variáveis dendrométricas, o que provavelmente remete a condições de competição por nutrientes.

## 5. REFERÊNCIAS

ALVES JÚNIOR, F. T. **Estrutura, biomassa e volumetria de uma área de caatinga, Floresta - PE**. 2010. 123p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife (PE), 2010.

APG IV. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 181, n. 1, p. 1-20, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/boj.12385>.

ARAÚJO, B. A. *et al.* Estrutura fitossociológica em uma área de caatinga no Seridó paraibano. **Revista Educação Agrícola Superior**. v. 27, n. 1, p. 025-029, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.12722/0101-756X.v27n01a04>.

ARAÚJO, E. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N. Composição florística e fitossociologia de três áreas de caatinga de Pernambuco. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 55, p. 595-607, 1995.

ARAÚJO, L. V. C. **Composição florística, fitossociologia e influência dos solos na estrutura da vegetação em uma área de caatinga no semi-árido paraibano**. 2007. 111p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia (PB), 2007.

BACHTOLD, B. A.; MELO JÚNIOR, J. C. F. Camb. (Calophyllaceae) em duas formações de restinga no sul do Brasil. **Acta Biológica Catarinense**, v. 2, n. 2, p. 21–32, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/316570276> Plasticidade morfológica de Calophyllum brasiliense Camb Calophyllaceae em duas formações de restinga no sul do Brasil. Acesso em: 12 dez. 2020.

BANG, T. C.; *et al.* The molecular-physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. **New Phytologist**, v. 229, p. 2446-2469, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.17074>.

BECKERT, S. M.; ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C. Crescimento e dinâmica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 209-218, 2014. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr102/cap05.pdf> Acesso em: 29 jul. 2021.

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As Plantas e o Clima: Princípios e aplicações**. 1. ed. Guaíba (RS): Agrolivros, 2017. 352p.

BRITO, P. V. S.; MORAIS, Y. C. B.; FERREIRA, H. S.; SILVA, J. F.; GALVÍNCIO, J. D. Análise comparativa da umidade da vegetação de áreas de caatinga preservada, agricultura irrigada e sequeiro. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 3, p. 493-498, 2017. DOI: <https://doi.org/10.24221/jeap.2.4.2017.1481.493-498>.

CAMARGO, M. A. B.; MARENCO, R. A. Tree growth over three years in response to monthly rainfall in central Amazonia. **Dendrobiology**, v. 78, p. 10-17, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.12657/denbio.078.002>.

CARVALHO, A. C. *et al.* Produção de energia da madeira de espécies da Caatinga aliada ao manejo florestal sustentável. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 126, e3086 p. 1-13, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.18671/scifor.v48n126.08>.

CASTRO, R. *et al.* Competição em nível de árvore individual em uma floresta estacional semidecidual. **Silva Lusitana**, Lisboa (Portugal), v. 22, n. 1, p. 43-66, 2014. Disponível em: [http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0870-63522014000100003&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-63522014000100003&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 12 dez. 2020.

CIENTEC. **Mata Nativa versão 4.04. Manual do usuário**. Viçosa (MG): CIENTEC, p. 295, 2013.

CORDEIRO, M. I.; SCHWARTZ, G.; BARROS, L. P. Efeitos do clima sobre o incremento diamétrico de Paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* – Fabaceae) em plantios comerciais. **Nativa**, Sinop (MT), v. 8, n. 2, p. 246-252, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i2.9009>.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; HESS, A. F. Modelo de incremento em área basal para árvores de araucária de uma floresta inequiana. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo (PR), v. 35, n. 83, p. 239-245, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4336/2015.pfb.35.83.792>.

CUNHA, T. A. Competição assimétrica e o incremento diamétrico de árvores individuais de *Cedrella odorata* L. na Amazônia ocidental. **Acta Amazonica**, Manaus (AM), v. 43, n. 1, p. 9-18, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000100002>.

DINIZ NETO, M. A. *et al.* Disponibilidade hídrica de dois solos e diferentes idades de corte no comportamento agronômico da Jureminha. **Revista de Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 24–33, 2013. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1367>. Acesso em: 12 dez. 2020.

DOMBROSKI, J. L. D. *et al.* Water relations of Caatinga trees in the dry season. **South African Journal of Botany**, v. 77, n. 2, p. 430-434, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2010.11.001>.

DRYFLOR, K. B. *et al.* Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. **Science**, v. 353, n. 6306, p. 1383–1387, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1126/science.aaf5080>.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro (RJ): EMBRAPA, 2013. 353p.

FELIPPE, G. M. Desenvolvimento. In: FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo (SP). EPU, 1985. v.1, p.1-37.

FERRAZ, J. S. F. **Análise da vegetação de caatinga arbustivo-arbórea em Floresta, PE, como subsídio ao manejo florestal**. 2011. 131p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife (PE), 2011.

FERREIRA, R. L. C. *et al.* Components of growth for tropical dry deciduous forest, Brazil. In: ASA, CSSA & SSSA INTERNATIONAL ANNUAL MEETING, 2014, Long Beach (EUA). **Proceedings...** Long Beach (EUA): ASA; CSSA; SSSA, 2014. CD Rom. Disponível em: <https://scisoc.confex.com/crops/2014am/webprogram/Paper87174.html>. Acesso em: 04 set. 2017.

FREITAS, T. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. G. M.; ARANTES, M. D. C. Correlações entre as características dendrométricas, anatômicas e densidade básica da madeira de *Liquidambar* SP. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 660-669, 2015. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/agrarias/correlacoes%20entre%20as%20caracteristicas.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2020.

GÓMEZ – APARICIO, L. *et al.* Disentangling the relative importance of climate, size and competition on tree growth in Iberian forests: implications for forest management under global change. **Global Change Biology**, v. 17, p. 2400-2414, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02421.x>.

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

KOCH, R.; ALMEIDA-CORTEZ, J.S.; KLEINSCHMIT, B. Revealing areas of high nature conservation importance in a seasonally dry tropical forest in Brazil: Combination of modelled plant diversity hot spots and threat patterns. **Nature Conservation**, v. 35, p. 24-39, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2016.11.004>.

LANDSBERG, J. J. Physiology in forest models: history and the future. **FBMIS**, v. 1, p. 49-63, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228906709\\_Physiology\\_in\\_forest\\_models\\_History\\_and\\_the\\_future](https://www.researchgate.net/publication/228906709_Physiology_in_forest_models_History_and_the_future). Acesso em: 30 jul. 2021.

LANDSBERG, J. J.; GOWER, S. T. **Applications of physiological ecology to forest management**. San Diego: Academic, 1997. 354p.

LIRA, R. M.; SANTOS, A. N.; FRANÇA E SILVA, E. F.; SILVA, J. S.; BARROS, M. S.; GORDIN, L. C. Cultivo de coentro em diferentes níveis de salinidade e umidade do solo. **Revista Geama**, v. 1, n. 3, p. 293-303, 2015. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/512>. Acesso em: 12 dez. 2020.

LORIMER, C. G. Tests of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. **Forest Ecology and Management**, v. 6, n. 4, p. 343-360, 1983. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(83\)90042-7](https://doi.org/10.1016/0378-1127(83)90042-7).

LUCENA, J. D. S. **Competição e dinâmica em floresta tropical seca no semiárido pernambucano**. 2019. 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife (PE), 2019.

MARANGON, G. P. *et al.* Análise de agrupamento de espécies lenhosas da Caatinga no Estado do Pernambuco. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, p. 347-353, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1030>.

MARENCO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanalise**, v. 4, n. 1, p. 49-54, 2016. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/marencoetal.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2020.

MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F.; JADOSKI, S. O. Influência do clima no crescimento diamétrico de Araucária angustifolia: revisão bibliográfica. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 8, n. 2, p. 104-111, 2015.

MARTINS, F. B. *et al.* Índices de competição em árvores individuais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília (DF), v. 46, n. 9, p. 1089-1098, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000900017>.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. Nova Iorque (EUA): Wiley & Sons, 1974. 547p.

MUTTI, P.R. *et al.* Basin scale rainfall-evapotranspiration dynamics in a tropical semiarid environment during dry and wet years. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 75, p. 29–43, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.10.007>.

PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V.; PEIXOTO, M. F. S. P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: Conceitos e Prática. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia (GO), v. 7, n. 13, p. 51-76, 2011. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2011b/ciencias%20agrarias/analise%20quantitativa.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2020.

PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M. Unconstrained Parametrizations for Variance-Covariance Matrices. **Statistics and Computing**, v. 6, p. 289-296, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00140873>.

OLIVEIRA, T. H.; GALVÍNCIO, J.D. Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Moxotó – PE usando sensoriamento remoto termal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.1, p.30-49, 2008. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v1i2.232620>.

REFLORA. **Herbário Virtual**. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/>. Acesso em: 26 jun. 2020.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B. A vegetação do bioma caatinga. In: SAMPAIO, E. V. S. B. *et al.* (Org). **Vegetação e flora da caatinga**. Recife (PE): APNE-CNIP, 2002, v.1, p.11-24.

SILVA, F. A.; FORTES, F. O.; RIVA, D.; SCHORR, L. P. B. Caracterização de índices morfométricos para *Araucaria angustifolia* plantada na Região Norte do Rio Grande do Sul. **Advances in Forestry Science**, v. 4, n. 3, p. 143-146, 2017. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/5111>. Acesso em: 12 dez. 2020.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa (MG): Editora UFV, 2013, 322p.

SPEARMAN, C. The Proof and Measurement of Association between Two Things. **The American Journal of Psychology**, v.15, n. 1, p. 72–101, 1904. DOI: <https://doi.org/10.2307/1412159>.

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Nova Jersey (EUA): Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in climatology, v.8).

WILHITE, D. D.; GLANTZ, M. H. **Understanding the drought phenomenon: The role definitions**. In: WILHITE *et al.* **Planning for drought toward a reduction of societal vulnerability**. Colorado (EUA): Westview, 1987. p. 11-14.

VANCLAY, J. K. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. **Southern Cross University**. 1994. 312p.

VATRAZ, S.; ALDER, D.; SILVA, J. N. M. Índices de competição dependentes da distância do estrato arbóreo na Amazônia brasileira. **Espacios**, Caracas (Venezuela), v. 37, n. 27, p. 3, 2016. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n27/16372703.html>. Acesso em: 12 dez. 2020.

WORBES, M. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. **Journal of Ecology**, v. 87, n. 3, p. 391–403, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00361x>.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. G. Relação de variáveis meteorológicas com o crescimento das árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em povoamentos implantados. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 3, p. 467-476, 2010. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/277093483\\_Relacao\\_de\\_variaveis\\_meteorologicas\\_com\\_o\\_crescimento\\_das\\_arvores\\_de\\_Araucaria\\_angustifolia\\_Bertol\\_Kuntze\\_em\\_povoamentos\\_implantados](https://www.researchgate.net/publication/277093483_Relacao_de_variaveis_meteorologicas_com_o_crescimento_das_arvores_de_Araucaria_angustifolia_Bertol_Kuntze_em_povoamentos_implantados). Acesso em: 12 dez. 2020.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na maioria dos anos de monitoramento da vegetação as chuvas tiveram valores anuais abaixo da normal climatológica, além da taxa de evapotranspiração ser superior à taxa de precipitação, na escala temporal mensal e anual.

Houve alteração na estrutura horizontal da vegetação, em ambas as áreas estudadas, com altas taxas de mortalidades e com destaque na área que passou por processos mais intensos de antropização (A1). Que se sobressaiu em valores de crescimento quando comparada a (A2). Provavelmente a eliminação de competição fez com que os indivíduos sobreviventes tenham apresentado melhores valores de crescimento em área basal.

A área mais impactada (A1 - menos preservada) pelo processo de antropização, apresentou melhores valores de incrementos quando comparada a área “mais preservada” (A2 – preservada). Com isso aceita-se a hipótese levantada de que áreas com diferentes históricos de uso apresentam diferentes taxas de crescimento.

Ficou evidente a existência de alta variabilidade climática na região, com períodos de secas severas, apesar do crescimento das plantas ser altamente dependente das chuvas. Percebeu-se que a precipitação demonstrou influência significativa em apenas uma das áreas, aceitando a hipótese inicialmente levantada quanto à influência das variáveis ambientais. Embora tenham sido identificadas influências significativas em apenas uma das áreas (A1 – menos preservada).

Apesar de não ter observado influência das variáveis ambientais na área preservada (A2), vale salientar de que a pesquisa ocorreu num curto período de monitoramento, marcado pela presença de seca intensa. No entanto, será necessário o monitoramento da vegetação num período que se estenda além do período de ocorrência de secas severas.

Foi possível obter informações do comportamento da vegetação em termos de dinâmica da estrutura horizontal e de seu crescimento em área basal em duas áreas com diferentes contextos de históricos de uso. Embora esta pesquisa tenha apresentado um dos primeiros dados para a vegetação de Caatinga referentes ao crescimento em área basal ao longo do tempo, também se constatou que é necessário maior tempo de monitoramento que englobe as variáveis ambientais.

## APÊNDICES



## Apêndice 1

Sequência lógica para contabilização e preenchimento de falhas nos dados de chuva e temperatura do ar, via função “mstats” e “mtsdi”.

```
### FALHAS DE DADOS "MISSING"-IBIMIRIM-CHUVA E TEMPERATURA
```

```
mstats(dados1)
```

```
### RESULTADO FINAL
```

```
FALHAS=c(mstats(dados1))
```

```
### TABELA DE RESULTADOS
```

```
(TAB_FALHAS_1=FALHAS$columns)
```

```
### SAIDA DE DADOS-MISSING-MENSAL-IBIMIRIM-CHUVA E TEMPERATURA
```

```
write.xlsx(TAB_FALHAS_1,"MISSING_1-1990-2019-MENSAL.xlsx", row.names = T)
```

Em que, a função “mstats” verifica o percentual das falhas (dados faltantes = missing).

## Apêndice 2

Sequência de imputação de dados pela biblioteca do pacote MICE, pelo método “midastouch” (correspondência de média preditiva ponderada).

```
library(mice) (1)
```

```
imp1 <- mice(dados1, method = "midastouch", m=3, maxit = 5) (2)
```

```
dslist1 <- complete(imp1, c(3,5), mild = TRUE) (3)
```

```
(P3=data.frame(dslist1$`3`)) (4)
```

```
write.xlsx(P3,"DADOS_3_IBIMIRIM-1.xlsx",col.names=TRUE) (5)
```

Em que: library (mice) = biblioteca do pacote MICE; dados1 = base de dados de chuva e temperatura do ar; Method= método de imputação da variável chuva e temperatura do ar mensal; m = número de interações para a variável chuva e temperatura do ar; maxit= número das interações máximas para a variável chuva e temperatura do ar; dslist1 = função empírica para variável chuva e temperatura do ar; P3 = tabela de dados imputados; write.xlsx = saída de dados com extensão para o Excel.

### Apêndice 3

**Tabela 8** - Parâmetros de efeitos aleatórios da equação linear mista, nas áreas A1 e A2.

<b>A1 - (menos preservada)</b>			
<b>Variável</b>	<b>Efeitos aleatórios</b>	<b>Intercepto</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Período	2011-2012	-4,32159e <sup>-05</sup>	0,000192944
Período	2012-2013	-0,000184372	0,000186042
Período	2013-2014	-0,000131895	0,000185175
Período	2014-2015	-0,000151529	0,000184026
Período	2015-2016	-0,000301666	0,000185403
Período	2016-2017	0,000211627	0,00018913
Período	2017-2018	0,000666073	0,000201139
Período	2018-2019	-6,50217e <sup>-5</sup>	0,000219745
Espécie Grupo	Aroeira	-0,000579346	0,000202838
Espécie Grupo	Catingueira	0,000889511	0,000178372
Espécie Grupo	Demais Espécies	-0,000918157	0,000163484
Espécie Grupo	Jurema de Embira	0,000540235	0,000216415
Espécie Grupo	Pinhão Bravo	-0,00020929	0,000185639
Espécie Grupo	Quipembe	0,000277047	0,000286559
<b>A2 - (mais preservada)</b>			
<b>Variável</b>	<b>Efeitos aleatórios</b>	<b>Intercepto</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Período	2011-2012	-1,51837e <sup>-05</sup>	0,000109538
Período	2012-2013	3,99959e <sup>-05</sup>	0,000114675
Período	2013-2014	-7,39068e <sup>-05</sup>	0,000114651
Período	2014-2015	-4,5283e <sup>-05</sup>	0,000111042
Período	2015-2016	-0,00033644	0,000110893
Período	2016-2017	0,000175673	0,000110991
Período	2017-2018	0,000146578	0,000113714
Período	2018-2019	0,000108566	0,000115503
Espécie Grupo	Aroeira	-0,000295431	0,000123784
Espécie Grupo	Catingueira	-0,000830042	0,000157533
Espécie Grupo	Demais Espécies	5,848e <sup>-6</sup>	9,33063e <sup>-5</sup>
Espécie Grupo	Jurema de embira	0,000724929	0,000138829
Espécie Grupo	Pinhão bravo	0,000394696	0,000125007