

MAYARA DALLA LANA

**CARBONO EM VEGETAÇÃO LENHOSA DA CAATINGA E
VIABILIDADE ECONÔMICA DE MANEJO**

RECIFE
Pernambuco - Brasil
Fevereiro – 2017

MAYARA DALLA LANA

CARBONO EM VEGETAÇÃO LENHOSA DA CAATINGA E
VIABILIDADE ECONÔMICA DE MANEJO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Ciências Florestais da Universidade Federal
Rural de Pernambuco, para obtenção do título de
Doutor em Ciências Florestais, Área de
Concentração: Manejo Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira
Co-orientador (es): Prof. PhD José Antônio Aleixo da Silva
Prof. Dr. Gustavo Pereira Duda

RECIFE
Pernambuco - Brasil
Fevereiro - 2017

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

L243c Lana, Mayara Dalla
Carbono em vegetação lenhosa da caatinga e viabilidade econômica de manejo / Mayara Dalla Lana. – 2017.
141 f. : il.

Orientador: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.
Coorientadores: José Antônio Aleixo da Silva, Gustavo Pereira Duda.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Recife, BR-PE, 2017.
Inclui referências e apêndice(s).

1. Teores de carbono 2. Pagamento por serviços ambientais
3. Mudanças climáticas I. Ferreira, Rinaldo Luiz Caraciolo, orient.
II. Silva, José Antônio Aleixo da, coorient. III. Duda, Gustavo Pereira, coorient. IV. Título

CDD 634.9

MAYARA DALLA LANA

**CARBONO EM VEGETAÇÃO LENHOSA DA CAATINGA E
VIABILIDADE ECONÔMICA DE MANEJO**

APROVADA em 17/02/2017

Banca Examinadora

Prof. Dr. Gabriel Paes Marangon
CECA/UFAL

Prof. Dr. Mário de Andrade Lira Júnior-
Departamento de Agronomia/UFRPE

Prof. Dr. José de Lima Albuquerque
Departamento de Administração/UFRPE

Prof^a. Dr^a. Isabelle Maria Jacqueline Meunier
Departamento de Ciência Florestal/UFRPE

Orientador:

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

**RECIFE-PE
Fevereiro / 2017**

A minha tese é dedicada à minha mãe Terezinha, ao meu pai Guilherme, à minha irmã Marília e ao meu esposo Carlos.

“Família: minha base, meu alicerce.”

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela bolsa de estudos concedida e pelo financiamento desta pesquisa.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), sobretudo ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF), pela oportunidade de ingresso no doutorado e aos professores deste departamento por terem contribuído para a minha formação e auxiliado nos momentos de dificuldade.

Ao Professor Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, meu orientador, agradeço pelo apoio, confiança e valiosos ensinamentos.

Ao meu co-orientador, Professor Dr. José Antônio Aleixo da Silva pela disponibilidade e ensinamentos.

Ao Professor Dr. Gustavo Pereira Duda pela ajuda e disponibilidade de infra-estrutura e materiais para as análises de carbono na Universidade Federal Rural de Pernambuco-Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE-UAG).

Aos colegas Francisco Tarcísio Alves Jr., Anderson Francisco, Nattan Tavares e Paulo Fernando pela ajuda nas coletas de dados em campo e preparação das amostras. Sem a colaboração de vocês, este trabalho não teria sido concluído.

Ao colega Uemeson José, pela ajuda inestimável nas análises de carbono na UFRPE-UAG.

Aos colegas Guera Mariel e Régis Longhi por terem compartilhado os seus conhecimentos e sempre me ajudado nas dúvidas que surgiram nas análises dos dados.

Aos meus pais, Guilherme e Terezinha e, a minha irmã Marília, por sempre me apoiarem e incentivarem. O amor e a amizade de vocês três me ajudaram na realização de mais um objetivo de vida.

Ao meu esposo e companheiro, Carlos Frederico Brandão, pela lealdade, paciência, amor e incentivos nos momentos de fraqueza durante os quatro anos de tese.

Aos amigos Anderson Francisco, José Edson e Renata pela amizade sincera e pelo valioso convívio neste período.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, em especial ao Campus Garanhuns pelo apoio ao término deste trabalho.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

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

(Leon C. Megginson, 1963)

DALLA LANA, MAYARA. Carbono em vegetação lenhosa da Caatinga e viabilidade econômica de manejo. 2017. Orientador: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira. Co-orientadores: José Antônio Aleixo da Silva e Gustavo Pereira Duda.

RESUMO

Uma das melhores alternativas para reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO_2), um dos grandes responsáveis pelo aumento do efeito estufa, é a vegetação arbórea, que tem a capacidade de armazenar carbono durante o processo de produção de biomassa. O objetivo do presente estudo é analisar os estoques e a dinâmica do carbono (C) e o potencial de remoção de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ na vegetação lenhosa acima do solo, avaliando a viabilidade econômica da implantação de projetos de carbono, como alternativa de uso do solo em uma área de Caatinga. Para isso, o presente trabalho foi dividido em quatro capítulos com objetivos específicos. O primeiro capítulo quantifica os estoques e descreve equações de biomassa aérea seca para as espécies de maior densidade absoluta (indivíduos. ha^{-1}) e valor de importância (VI) na área de estudo. O segundo capítulo determina os teores de carbono (C) nos principais compartimentos (fuste, folhas e galhos) e verifica as diferenças estatísticas entre os teores. O terceiro capítulo analisa a dinâmica da estrutura, da biomassa e dos estoques de carbono (C) no componente arbóreo da vegetação entre os anos de 2008 e 2013. O quarto e último capítulo, avalia a viabilidade econômica entre a implantação de projetos de pagamento pelo serviço ambiental de sumidouro de carbono e à produção de lenha. A coleta dos dados foi realizada em uma área de Caatinga na Fazenda Itapemirim no município de Floresta, Pernambuco, onde, desde o ano de 2008, houve o estabelecimento e o monitoramento de 40 parcelas permanentes, sendo todos os indivíduos arbóreos com CAP ≥ 6 cm mensurados anualmente. As espécies avaliadas são as seguintes: *Anadenanthera colubrina*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Bauhinia cheilantha*, *Cnidocolus quercifolius*, *Croton heliotropiifolius*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Mimosa tenuiflora* e *Poincianella bracteosa*, representando 91,6% da densidade total da área em estudo. Um número de árvores representativo dessas espécies foi derrubado, pesado e cubado rigorosamente, ocorrendo a separação nos seguintes compartimentos: fuste, folhas, galhos finos (CAP < 6 cm) e galhos grossos (CAP ≥ 6 cm). Amostras foram coletadas para a determinação da biomassa seca e para as análises dos teores de carbono com auxílio do analisador elementar CHNS/O. Para o ajuste dos modelos matemáticos lineares e não lineares testados foi utilizado os dados de biomassa total seca acima do solo (B_i em kg) como variável dependente e as variáveis independentes foram o diâmetro a altura do peito (DAP_i em cm) e a altura total (HT_i em m) dos indivíduos por espécie. Para a análise da dinâmica do estoque de carbono na área foram utilizados as equações ajustadas e os teores de carbono obtidos para cada espécie, bem como os dados dendrométricos obtidos nos anos de 2008 e de 2013 durante as medições das parcelas permanentes. O fator 3,67 foi utilizado para a conversão de estoque de carbono (t. ha^{-1}) em dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$ t. ha^{-1}). A análise de viabilidade econômica foi realizada com base em dois cenários: (1) Área de vegetação de Caatinga para a produção de lenha para atender a demanda energética da região, por meio de plano de manejo regulamentado e (2) Área de vegetação de Caatinga preservada como possível fonte pagadora pelo serviço ambiental prestado pela geração de créditos de carbono. O horizonte de planejamento dos projetos foi de 15 anos e o critério de avaliação econômica adotado foi o Valor Presente Líquido (VPL). Os resultados mostraram que

os estoques de biomassa aérea seca das oito espécies variam de 0,5 kg a 99,4 kg por indivíduo e que equações foram desenvolvidas para cada uma das espécies e para todas as espécies juntas com boas estatísticas de precisão. Os teores de carbono foram determinados e foi possível obter um único valor de 46,4% para *A. colubrina*, *A. pyriformis*, *B. cheilantha*, *C. quercifolius*, *M. ophthalmocentra* e *M. tenuiflora* sem ocorrer distinções entre fuste, galhos e folhas. Mas para *C. heliotropiifolius* e *P. bracteosa* há que se utilizar valores distintos por compartimento para os seus indivíduos, para que não haja tendências nas estimativas de estoques de carbono. Na análise da dinâmica observou-se que a taxa de mortalidade foi três vezes maior que a taxa de recrutamento e esse comportamento foi influenciado pelo déficit hídrico ocorrido entre os anos de 2012 e 2013, como consequência houve mudanças significativas na estrutura e crescimento das espécies, principalmente de *M. ophthalmocentra*, que impactou no decréscimo da densidade, dominância, área basal, biomassa e estoques de carbono durante os cinco anos analisados. Em anos com boa incidência de chuvas e baixa mortalidade, a área mostrou-se com capacidade de fixar carbono, mas em períodos com déficit hídrico e alta mortalidade, foi fonte de carbono. A análise econômica mostrou que os projetos de PSA-Carbono são mais atrativos economicamente do que a produção de lenha em áreas pequenas, mas em áreas maiores devido a baixa remuneração da mão de obra na exploração da lenha os Planos de Manejo Florestal se destacam. Mesmo assim, há um potencial inexplorável de sumidouro de carbono na Caatinga, devendo ser aproveitado tanto em projetos de pequena como de média escala a nível estadual, nacional e mundial, colaborando na mitigação das mudanças climáticas globais.

Palavras-chave: Teores de carbono. Pagamento por serviços ambientais. Mudanças climáticas.

DALLA LANA, MAYARA. Carbon in woody vegetation of the Caatinga and economic viability of management. 2017. Adviser: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira. Comit e: José Antônio Aleixo da Silva e Gustavo Pereira Duda.

ABSTRACT

The best alternative to reduce carbon dioxide (CO₂) emissions, one of the responsible gases for the increase of the greenhouse effect, is the arboreal vegetation, which has the capacity to store carbon during the biomass production process. The objective of the present study is to analyze carbon stocks and dynamics and CO_{2eq} removal potential in above-ground biomass, evaluating the economic viability of implementing carbon projects as an alternative to land use in a Caatinga. For this, the present study was divided into four chapters with specific objectives. The first chapter quantifies stocks and describes equations of dry above-ground biomass for the species of highest absolute density and importance value in the study area. The second chapter determines the carbon contents (C) in the stem, leaf and branch compartments and checks the statistical differences between the values. The third chapter analyzes the dynamics of the structure, biomass and carbon stocks in the in above-ground biomass between the years 2008 and 2013. The fourth chapter to evaluate the economic viability between the implementation of payment for the environmental service projects the of carbon sink and the production of firewood. Data collection was made in an area of Caatinga in the municipality of Floresta, Pernambuco, where, since 2008, 40 permanent plots were established and monitored, all tree individuals with CAP ≥ 6 cm were measured annually. The species evaluated are: *Anadenanthera colubrina*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Bauhinia cheilantha*, *Cnidoscolus quercifolius*, *Croton heliotropiifolius*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Mimosa tenuiflora* and *Poincianella bracteosa*, representing 91.6% of the total of the study area. Trees representative of these species were cut, weighed and cubed, with the separation in the following compartments: stem, leaves, thin branches (CAP <6 cm) and thick branches (CAP ≥ 6 cm). Samples were collected for the determination of the dry biomass and for the analyzes of the carbon contents using the CHNS/O elemental analyzer. For the adjustment of the linear and non-linear mathematical models tested, the data of total dry above-ground biomass as dependent variable were used and the independent variables were the diameter at breast height and the total height of individuals per species. For the analysis of the dynamics of the carbon stock in the area, the adjusted equations and the carbon contents obtained for each species were used, as well as the dendrometric data obtained in the years 2008 and 2013 during the measurements of the permanent plots. Factor 3.67 was used to convert carbon stock (C) to equivalent carbon dioxide (CO_{2eq}). The economic viability analysis was based on two scenarios: (1) Caatinga for the production of firewood to provide the energy demand of the region, through a regulated management plan and (2) Caatinga preserved as a possible source of payment for the environmental service by the generation of credits of carbon. The planning of the projects was 15 years and the economic evaluation criterion adopted was the Net Present Value (NPV). The results showed that the dry above-ground biomass stocks of the eight species vary from 0.5 kg to 99.4 kg per individual and that equations were developed for each species and for all species together with good precision statistics. The carbon contents were determined and it was possible to obtain a single value of 46.4% for *A. colubrina*, *A. pyrifolium*, *B. cheilantha*, *C. quercifolius*, *M. ophthalmocentra* and *M. tenuiflora* without distinguishing between

stem, branches and leaves. But for *C. heliotropiifolius* and *P. bracteosa* it is necessary to use distinct values per compartment, so that there are no bias in the estimates of carbon stocks. In the analysis of the dynamics it was observed that the mortality rate was three times higher than the recruitment rate and this behavior was influenced by the water deficit occurred between the years of 2012 and 2013, as a consequence there were significant changes in the structure and growth of the species, mainly *M. ophthalmocentra*, which affected the decrease of density, dominance, basal area, biomass and carbon stocks during the five years analyzed. In years with a good incidence of rainfall and low mortality, the area was able to fix carbon, but in periods with water deficit and high mortality, it was carbon source. The economic analysis showed that the payment for the environmental service by carbon projects are more economically attractive than the production of firewood in small areas, but in larger areas due to the low remuneration of the firewood exploitation the forest management plans are better. Nevertheless, there is great potential carbon sink in the Caatinga and should be appropriate into small and medium scale projects at the state, national, and global levels, helping to mitigate global climate change.

Keywords: Carbon content. Payment for environmental services. Climate changes.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Caatinga.....	17
2.2 Biomassa na Caatinga.....	19
2.3 Equações de biomassa na Caatinga.....	23
2.4 Mudanças climáticas e mercado de carbono.....	26
2.5 Pagamento por serviços ambientais.....	31
2.6 Planos de manejo na Caatinga	34
3. METODOLOGIA GERAL.....	39
3.1 Características gerais da área de estudo.....	39
3.2 Estrutura amostral e coleta de dados.....	40
3.3 Espécies arbóreas analisadas	41
REFERÊNCIAS.....	44
CAPÍTULO 1: ESTOQUES E EQUAÇÕES DE BIOMASSA DE ESPÉCIES ARBUSTIVO-ARBÓREAS DA CAATINGA.....	53
1. INTRODUÇÃO.....	53
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	54
2.1 Área de estudo	54
2.2 Coleta dos dados.....	54
2.3 Ajuste de equações de biomassa aérea seca.....	56
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.1 Biomassa aérea seca.....	57
3.2 Equações de biomassa.....	67
4 CONCLUSÕES.....	74
REFERÊNCIAS.....	74
CAPÍTULO 2: TEORES DE CARBONO EM ESPÉCIES ARBUSTIVO-ARBÓREAS DA CAATINGA	78
1. INTRODUÇÃO.....	78
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	79
2.1 Área de estudo	79
2.2 Determinação dos teores de C	80

2.3 Análise estatística dos dados	81
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
4. CONCLUSÕES	89
REFERÊNCIAS	89
CAPÍTULO 3: DINÂMICA DA ESTRUTURA E DO ESTOQUE DE CARBONO DE UMA ÁREA DE CAATINGA ARBUSTIVO-ARBÓREA	93
1. INTRODUÇÃO	93
2. MATERIAL E MÉTODOS	95
2.1 Área de estudo	95
2.2 Estrutura e dinâmica do crescimento arbóreo	95
2.3 Dinâmica e estoques de Biomassa e Carbono	96
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	98
3.1 Dinâmica do crescimento arbóreo	98
3.2 Dinâmica e estoques de Biomassa e Carbono	108
4. CONCLUSÕES	113
REFERÊNCIAS	113
CAPÍTULO 4: ANÁLISE ECONÔMICA DE USOS E CICLO DE CORTE EM UMA ÁREA DE CAATINGA ARBUSTIVO-ARBÓREA	119
1. INTRODUÇÃO	119
2. MATERIAL E MÉTODOS	121
2.1 Área de estudo	121
2.2 Coleta e análise de dados	121
2.2.1 Cenários analisados	121
2.2.2 Fatores de conversão dos parâmetros	123
2.2.3 Tempo de recuperação do estoque e taxa de incremento	124
2.2.4 Análise econômica	125
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	126
3.1 Tempo de recuperação do estoque e taxa de incremento	126
3.2 Análise econômica	127
4. CONCLUSÕES	130
CONSIDERAÇÕES FINAIS	131
REFERÊNCIAS	132
APÊNDICE	135

1. INTRODUÇÃO GERAL

A estimativa anual de emissões de gases do efeito estufa (GEE's) no Brasil, entre os anos de 2005 e 2012, mostra que a mudança do uso da terra e florestas contribuiu com 15% nas emissões de CO_{2eq}, uma redução de quase 75% quando comparado ao intervalo de 1990 a 2005 (58%). Já a queima de combustíveis para energia, a agropecuária, os processos industriais e o tratamento de resíduos sólidos contribuíram com 37%, 37%, 7% e 4%, respectivamente (MCT, 2014).

No ano de 2012, o Cerrado emitiu 67,8% do total das emissões de CO_{2eq}, seguida da Amazônia (20,5%), Pampa (9,9%), Caatinga (3,7%), Pantanal (1,2%) e Mata Atlântica (-3,1%). Esse domínio do Cerrado deve-se as significativas estratégias, desde 2004, de reduções de desmatamento na Amazônia (MCT, 2014).

Não é recente a descrição do semiárido nordestino como a região mais afetada pelos impactos das mudanças climáticas e a desertificação, principalmente por suas condições edafoclimáticas, os baixos índices de desenvolvimento social e econômico, a agricultura com baixo grau de tecnificação e elevada dependência da disponibilidade de recursos naturais (IPCC, 2007). As alterações no clima da região podem diminuir os níveis de água, trazer problemas na já complicada agricultura de subsistência, comprometer a saúde da população e ocasionar perdas na biodiversidade (INPE, 2007).

Os diferentes ecossistemas existentes podem ser fonte ou reservatório de carbono, isto vai depender de como e com que propósito são manejados e, como são utilizados seus produtos. Quando houver desmatamento e uso inadequado da terra, haverá emissões para a atmosfera, mas o manejo conservacionista do solo e boas práticas de manejo florestal e da agricultura conseguem capturar e armazenar carbono na vegetação (AREVALO; ALEGRE; VILCAHUAMAN, 2002).

A grande dificuldade encontrada é a quantificação desse carbono nas distintas vegetações e usos, já que a sua precisão e credibilidade requerem métodos robustos. Métodos diretos, como o inventário e a derrubada e pesagem das partes de todas as árvores, apresentam informações mais precisas, mas seus custos e as grandes extensões de áreas tornam essa estratégia inviável. Há a opção de métodos de sensoriamento remoto, com calibração por meio de medições de campo, e as equações alométricas, sendo que os erros dessas opções exigem uso cuidadoso para

estimativa do carbono nas distintas áreas, apesar de gerarem estimativas confiáveis (SANQUETTA; BALBINOT, 2004; GONZALEZ; KROLL; VARGAS, 2014).

As equações alométricas escolhidas devem levar em consideração o local onde foram desenvolvidas, espécies incluídas, nível de amostragem considerado, classes de tamanho e idade, erros sujeitos pelas estimativas entre outros (SOMOGY et al., 2006). De posse de equações precisas se pode analisar as alterações da biomassa, por meio de variáveis dendrométricas oriundas dos inventários, que multiplicadas pela fração de carbono da vegetação informam os estoques de carbono na área (IPCC, 2007). A compreensão do comportamento do carbono de cada compartimento da vegetação é extremamente importante para a confiabilidade das estimativas (CHAMBERS et al., 2000; CHAMBERS et al., 2001).

O uso econômico da terra em áreas de Caatinga é baseado na agricultura, nas pastagens nativas e plantadas, na exploração legal e ilegal da vegetação para a produção de lenha e carvão, principalmente para abastecer a demanda industrial e residencial da própria região (SAMPAIO, 2002; GIULIETTI et al., 2004). As centenas de anos explorando essa vegetação de maneira não sustentável vem contribuindo para os processos de degradação dos solos, desertificação e redução do potencial de produção (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002; LEAL et al., 2005). Esse uso precisa ser melhorado e o pagamento por serviços ambientais (PSA) de sumidouro de carbono, por exemplo, torna-se um instrumento importante que há um tempo vem ganhando destaque, mundialmente como ferramenta nas políticas públicas para o meio ambiente já que alinha o desenvolvimento econômico a conservação ambiental.

O PSA é um instrumento econômico que lida com a falha de mercado relativa à tendência à sub-oferta de serviços ambientais em decorrência da falta de interesse por parte de agentes econômicos em atividades de proteção e uso sustentável dos recursos naturais. O objetivo é estimular a proteção, o manejo e o uso sustentável da vegetação que se encontram sob forte pressão por desmatamento e degradação e que abrigam populações rurais carentes, principalmente nos países em desenvolvimento (MMA, 2011).

O pagamento influencia na escolha entre alternativas de uso da terra, ou seja, o ganho econômico deve compensar o custo de oportunidade do produtor (PAGIOLA; PLATAIS, 2007). A valoração econômica tem o potencial de demonstrar os benefícios econômicos de uma determinada atividade em comparação com uma atividade tradicional alternativa. Esses valores econômicos devem servir como apoio à

sensibilização da sociedade, dando suporte à tomada de decisão sobre questões que envolvem serviços ambientais (MMA, 2011).

Nesse contexto é importante a realização de avaliações econômicas do uso atual das propriedades rurais do semiárido nordestino. A análise econômica de um investimento envolve o uso de técnicas e critérios de avaliação baseado em seu fluxo de caixa, que consiste nos custos e nas receitas distribuídos ao longo da vida útil do empreendimento, visando decidir se este deve ou não ser implementado (REZENDE; OLIVEIRA, 2001; SILVA; JACOVINE; VALEVERDE, 2005).

Lacunas em relação ao conhecimento e a avaliação econômica da produção da biomassa arbórea, estoques de carbono e pagamentos por serviços ambientais na vegetação da Caatinga, ainda são expressivas. Logo, há uma necessidade de se desenvolver estudos científicos que analisem esses parâmetros, sendo que a preservação da vegetação nativa é uma forma de mitigar os impactos no meio ambiente em relação às mudanças climáticas.

Diante do exposto, o objetivo geral desse estudo é analisar os estoques e a dinâmica do carbono (C), bem como o potencial de remoção de CO_{2eq} da vegetação lenhosa acima do solo, avaliando a viabilidade econômica da implantação de projetos de carbono, como alternativa de uso do solo em uma área de Caatinga no município de Floresta, PE.

Os objetivos específicos são:

- Ajustar equações de biomassa para algumas espécies arbustivo-arbóreas da Caatinga.
- Determinar os teores de carbono no fuste, folhas e galhos de algumas espécies arbustivo-arbóreas da Caatinga.
- Verificar diferenças entre os teores de carbono nos compartimentos dos indivíduos de cada espécie e entre espécie analisada.
- Avaliar a dinâmica e os estoques de carbono na vegetação lenhosa ao longo de cinco anos (2008-2013).
- Avaliar a viabilidade econômica entre a implantação de projetos de carbono e à produção de lenha por meio de plano de manejo sustentável.

- Sugerir estratégias de uso da terra em prol do desenvolvimento sustentável e da conservação ambiental em propriedades rurais na Caatinga.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caatinga

A Caatinga está presente em todos os estados da região Nordeste e em Minas Gerais, totalizando 11% do território brasileiro ou 844.453 km², com grande importância sócio-econômica e ecológica. É considerada, entre os biomas brasileiros, como uma formação tropical seca que apresenta elevada diversidade de espécies e grande heterogeneidade quanto às condições de habitat (ARAÚJO, 2005a). Em Pernambuco ocupa a maior zona fitogeográfica do estado (ANDRADE-LIMA, 2007).

Na maior parte de sua extensão, o bioma Caatinga é caracterizado por um clima quente e semi-árido do tipo BSh, segundo a classificação climática de Köppen, fortemente sazonal, com menos de 1.000 mm de chuva por ano, distribuídos quase todos em um período de três a seis meses, geralmente consecutivos no período de novembro a junho (verão ou verão-outono) (ANDRADE-LIMA, 1981; VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002). Mas o regime de chuvas tem como característica também, precipitações intensas, muitas vezes ultrapassando 100 mm em um único dia, e sazonalidade irregular, com a época de chuvas podendo iniciar-se em meses distintos, prolongar-se por períodos incertos e encerrar-se em meses diferentes de um ano para outro (SAMPAIO, 2010).

Há uma grande variação dos totais de chuva de ano para ano e, em intervalos de dez a vinte anos, caem a menos de metade da média, às vezes durante três a cinco anos seguidos, fenômeno conhecido como a “seca” (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002). A evapotranspiração potencial fica entre 1.500 e 2.000 mm por ano. O resultado da soma desses fatores é uma deficiência hídrica sazonal agravada nos anos de seca.

Por se situar toda entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, a Caatinga dispõe de abundante intensidade luminosa, em todo seu território, durante todo o ano. As temperaturas são altas e pouco variáveis, espacial e temporalmente, com médias anuais entre 25 °C e 30 °C e poucos graus de diferença entre as médias dos meses mais frios e mais quentes (SAMPAIO, 2003).

Os solos dessa região têm uma distribuição espacial complexa, formando um mosaico muito retalhado e com tipos muito diferentes, variando muito em relação ao material de origem. Eles vão dos solos rasos e pedregosos associados à imagem

típica do sertão seco coberto de cactáceas, aos solos arenosos e profundos que dão lugar às caatingas de areia e a grandes vazios demográficos, podendo ser de baixa ou de alta fertilidade (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002).

A Caatinga apresenta uma variedade de espécies que a distingue dos conjuntos que formam as outras tipologias brasileiras, que incluem um número expressivo de táxons raros e endêmicos, apesar de estar bastante alterada. As espécies dessa tipologia apresentam adaptações ao déficit hídrico da região como caducifolia, suculência, acúleos e espinhos, predominância de arbustos e árvores de pequeno a médio porte, cobertura descontínua de copas (GIULIETTI et al., 2004; ANDRADE-LIMA, 2007). Vários estudos apontam uma vegetação com diferentes fisionomias, que vai desde uma vegetação predominantemente herbácea até uma vegetação arbórea, com diferenças na composição florística entre cada tipo (PRADO, 2003; ALBUQUERQUE et al., 2012).

A Caatinga tem uma diversidade florística alta para um bioma com uma restrição forte ao crescimento como a deficiência hídrica. Em áreas de poucos hectares, em geral, há grande dominância de poucas espécies, frequentemente duas ou três delas englobando mais de 50% da densidade e da área basal, sendo que as espécies dominantes são diferentes de uma área para outra (SAMPALIO, 2010).

A luz e a temperatura não são fatores limitantes ao crescimento e a variabilidade das espécies vegetais em áreas de Caatinga (SAMPALIO, 2003). Essa grande variação, que dificulta até mesmo a sua classificação fisionômica, é uma resposta à variação das disponibilidades hídrica e dos solos somadas a interferência antrópica (SAMPALIO, 2010).

Devido a sua grande complexidade de estrutura e flora, foram várias as subdivisões feitas para a Caatinga durante os anos. Em levantamento bibliográfico, Sampaio (2010) cita algumas divisões feitas desde 1921 para esse Bioma. Por exemplo, as usadas nos trabalhos do Projeto RADAM (arbórea, arbustiva, parque); nos levantamentos de solo, dividindo em vegetação hiper e hipoxerófila; avaliações do estoque de lenha com categorias de porte (arbórea fechada, arbustiva arbórea fechada e arbustiva arbórea aberta); divisão do Bioma em oito ecorregiões, levando em conta aspectos ambientais e florísticos.

O excesso ou a falta de chuva funciona como um fator de estresse abiótico, interferindo no desempenho biológico das plantas na Caatinga, mas a disponibilidade destas para as plantas é dependente da topografia local e das características do solo.

Solos mais rasos e arenosos acumulam menos água quando comparados a solos mais profundos e argilosos (SAMPAIO, 2003).

Ambas as estações (chuvosa e seca) podem apresentar irregularidades na distribuição das chuvas, ou seja, períodos secos dentro da estação chuvosa (veranicos) e vice-versa. Também, pode ocorrer atrasos ou antecipações do início das estações chuvosa e seca e anos em que a estação chuvosa não ocorre. Estas variações são geralmente imprevisíveis e tal imprevisibilidade funciona como um fator de estresse adicional a sazonalidade climática, alterando os modelos demográficos das populações vegetais (ARAÚJO, 2005).

A Caatinga possui uma produção de biomassa considerada baixa em relação aos outros biomas. De maneira geral, isso ocorre em função da elevada temperatura e baixa umidade do ar e precipitação, e conseqüentemente, grandes perdas por evapotranspiração. Quando as perdas são mais elevadas que a capacidade de absorção de água pelas raízes e de condução nos caules, os tecidos fotossintetizantes se desidratam e os estômatos se fecham. Com isto as perdas de água são reduzidas e também a entrada de CO₂ e a produção de biomassa (MENEZES; SAMPAIO, 2000). Apesar das evidências de relação entre totais pluviométricos e atributos da vegetação, a literatura não indica o valor de precipitação utilizado para separar áreas mais ou menos chuvosas e nem como fazer para realizar tal separação (ANDRADE et al., 2009).

2.2 Biomassa na Caatinga

Os trabalhos que relatam os estoques diretos de biomassa arbórea seca na vegetação da Caatinga não são numerosos e, muito menores os de taxas de acúmulo no tempo. Dos existentes, a maioria faz estimativas com equações matemáticas, poucos fazem estimativas preliminares via revisão bibliográfica e mais raros os que relatam os estoques por meio das determinações diretas com derrubada e pesagem da vegetação. A carência de trabalhos sobre esse tema, segundo Sampaio e Freitas (2008) se deve, principalmente, ao número limitado de instituições e pesquisadores trabalhando com esse tipo de vegetação nativa, e também, pela grande variabilidade de situações encontradas, tornando pouco válida a extrapolação dos valores obtidos de um local para outro, mesmo quando próximos.

Em uma área de Caatinga considerada de bom porte em Serra Talhada-PE, Kauffman et al. (1993) quantificaram diretamente 74 Mg.ha^{-1} de biomassa aérea total sem separação de tronco, galhos e folhas nas plantas. Em outro estudo, Silva (1998) verificou que as estimativas de biomassa e as determinações das massas de lenha mostraram uma ampla variação em função do porte da vegetação, de 2 até 156 Mg.ha^{-1} , com 60% das áreas analisadas com menos de 20 Mg.ha^{-1} de biomassa total.

Na revisão de informações sobre as transformações de C e seus potenciais impactos sobre as trocas de CO_2 com a atmosfera em florestas secas, Tiessen et al. (1998) concluíram que na Caatinga a biomassa arbórea varia de 5 a 10 Mg.ha^{-1} em formações abertas e de 50 a 100 Mg.ha^{-1} em fechadas, sendo que a produção total de matéria seca varia em média de 3 a $5 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ com possibilidade de atingir valores máximos de 15 a $20 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Os mesmos autores relataram valores de produção de biomassa de serapilheira variando de 3 a $4 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, sendo que metade é decomposta e a outra metade consumida pelos animais. Em relação a biomassa de raízes, naquela época, pouco se sabia.

Em uma área de Caatinga cortada e queimada em Serra Talhada, Sampaio et al. (1998), dando continuidade aos estudos de Kauffman et al. (1993), acompanharam os efeitos do corte da vegetação sob três diferentes intensidades de combustão no desenvolvimento da biomassa após dois e seis anos dessas intervenções. Nos locais sem queima, as biomassas foram de $6,7 \text{ Mg.ha}^{-1}$ e $29,7 \text{ Mg.ha}^{-1}$, e na área com maior intensidade de queima as biomassas foram de $3,6 \text{ Mg.ha}^{-1}$ e $16,8 \text{ Mg.ha}^{-1}$ para os dois e seis anos, respectivamente. Logo, pode se dizer que a taxa de acúmulo anual variou de 3,3 a $4,9 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para área sem queima e de 1,8 a $2,8 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para a área com maior intensidade de queima, para os dois e seis anos, respectivamente.

Ao estudarem as estimativas da biomassa aérea da vegetação de Caatinga em uma área localizada na Estação do Seridó no município de Serra Negra do Norte (RN), por meio de equações alométricas, Amorim, Sampaio e Araújo (2005) concluíram que aquela vegetação é do tipo aberta e com baixa biomassa aérea, pois essa variou entre 20 e 25 Mg.ha^{-1} .

Durante revisão da literatura abrangente sobre os possíveis estoques e taxas de produção de biomassa na vegetação nativa do semiárido, Sampaio e Freitas (2008) concluíram que as biomassas aéreas vão de 2 a 160 Mg.ha^{-1} , sendo que na maioria dos locais, estas biomassas variam de 30 a 50 Mg.ha^{-1} . As biomassas radiculares podem variar de 3 a 12 Mg.ha^{-1} e devem ser somadas as biomassas aéreas com

alguma cautela, pois há poucas informações. A biomassa das folhas pode variar de 0,2 a 5,0 Mg.ha⁻¹. Os estoques de herbáceas são muito inferiores, não atingindo 1 Mg.ha⁻¹, em geral em vegetação dominada por arbustos e árvores, e chegando a 5 Mg.ha⁻¹, em locais desmatados ou quase sem arbustos e árvores. As produções podem variar de poucas centenas de kg.ha⁻¹ em anos de secas a 6-9 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e podem conter distintas combinações de lenhosas e de herbáceas. Para as áreas com domínio de arbustos e árvores, a biomassa de herbáceas não chega a 10% do total, mas para áreas mais abertas e desmatadas/destocadas a produção anual deve ser de 4-5 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹. Para esses mesmos autores as produções anuais de biomassa aérea variam no espaço e no tempo, principalmente em função dos totais e da distribuição das chuvas.

Ao descrever as características e potencialidades da Caatinga, Sampaio (2010) relata que em vegetação de Caatinga com condições ambientais mais favoráveis a biomassa total fica entre 50 e 150 Mg.ha⁻¹ e em vegetações com porte mais limitado pelas condições menos favoráveis e pela antropização, a biomassa varia de 20 Mg.ha⁻¹ a 80 Mg.ha⁻¹.

A biomassa aérea acumulada das espécies de maior valor de importância em duas áreas bem distintas em relação ao estágio sucessional (em regeneração e bem preservada) apresentou valores de 13,2 Mg.ha⁻¹ na área em regeneração, sendo que a maior parte foi de galhos (46,9%), fuste (39,4%) e folhas (13,7%). Já para a área preservada a biomassa acumulada foi de 29,6 Mg.ha⁻¹, sendo formada principalmente pelo fuste (48%), galhos (36,8%) e folhas (15,2%). Ambos os valores foram considerados baixos, quando comparada a estudos em outras áreas de Caatinga (ALVES, 2011).

Em estimativas preliminares em relação ao balanço de biomassa e carbono no semiárido nordestino, Sampaio e Costa (2011) consideraram que essa região se estende por 1 milhão de km² e que os principais usos da terra são a Caatinga, pastos nativos, pastos plantados e lavouras ocupando, aproximadamente, 40, 30, 15 e 15% da área total. As estimativas dos estoques de biomassa aérea e subterrânea para aquelas áreas foram de 47, 15, 2 e 1 Mg.ha⁻¹, produzindo estoques anuais de 9, 8, 8 e 5 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente.

Dados sobre os impactos das mudanças do uso da terra nos estoques e fluxos dos ciclos biogeoquímicos da Caatinga revisados por Menezes et al. (2012), mostram que os estoques médios de biomassa acima do solo variam entre 30 e 50 Mg.ha⁻¹,

mas que análises mais precisas não podem ser feitas, pois medições diretas dessa biomassa são praticamente inexistentes e estimativas indiretas variam de 2 a até 156 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Daquele montante cerca de 5 a 10% (2 a 6 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) correspondem a folhas e são renovadas a cada ano. Até o ano de 2012 somente quatro trabalhos tratavam de biomassa radicular de espécies nativas na vegetação da Caatinga, segundo esses autores, sendo que esses estoques variaram de 4 a 12 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Em relação a produtividade anual de biomassa acima do solo, Menezes et al. (2012) descrevem variações de 1 a 7 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, para serapilheira foi de 2 a 6 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ e para as raízes foi de 2,4 a 4,4 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$.

Ao estudarem a vegetação de três áreas em diferentes estádios de sucessão da Caatinga na depressão sertaneja paraibana, Cabral, Sampaio e Almeida-Cortez (2013) estimaram, com auxílio de equações específicas, valores de biomassa aérea total de, aproximadamente, 30,0; 37,6 e 49,5 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para estágio inicial, intermediário e tardio (>60 anos de regeneração), respectivamente.

A biomassa radicular e aérea em três estádios de regeneração com 18, 40 e > 60 anos, no semiárido da Paraíba, apresenta a tendência de haver um aumento com o avanço do estágio sucessional e que os estoques radiculares são de 2, 5 e 23 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (valores determinados por método destrutivo) e a aérea de 22, 28 e 60 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (estimada com auxílio de equação), sendo essa última significativamente maior que as demais em ambos os compartimentos, respectivamente para aquelas idades (COSTA et al., 2014).

Também ao estudar os estoques de biomassas radiculares, aéreas, herbáceas-subarbustivas e de serapilheira em fitofisionomias abertas e densas da Caatinga, em quatro classes de solos no semiárido de Pernambuco, Costa et al. (2014) encontraram estoques de biomassa médios de 5,7 e 13,1 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para as raízes, de 16,5 e 47,2 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para a aérea, de 0,8 e 0,4 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para a herbáceas-subarbustivas e de 2,7 e 5,7 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ na serapilheira acumulada sobre o solo, respectivamente, para vegetação aberta e densa. As biomassas das raízes, das herbáceas-subarbustivas e da serapilheira foram determinadas diretamente por método destrutivo e a aérea foi estimada com auxílio de equação.

Recentemente, Albuquerque et al. (2015) ao estudarem biomassa de raízes em diferentes áreas da Caatinga, encontraram valores de biomassa aérea variando de 33,3 a 61,6 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ com média de 46,5 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e de 18,4 a 33,7 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ com média de 25,6 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para as raízes, sendo que a biomassa das raízes abaixo do caule

correspondeu a cerca 40% do total das raízes e variaram de 10,6 a 15,0 Mg.ha⁻¹. Com esse resultado, os autores relatam que a biomassa total das raízes na Caatinga está sendo subestimada, já que os resultados até então obtidos não consideravam as raízes sob o caule, mas apenas as mais finas que eram extrapoladas para o todo.

Ao considerar as raízes sob a base do caule e a alta relação entre a biomassa da raiz e aérea (56%), Albuquerque et al. (2015) relatam que as estimativas feitas anteriormente, de biomassa radicular na Caatinga, têm que ser revistas e conseqüentemente a biomassa total também, segundo os autores deve aumentar em 32%. Ao compararem esse estudo com o de Sampaio e Costa (2011), para 400 km² de vegetação da Caatinga, aqueles autores dizem que o estoque da biomassa total deve passar de 1,88 Tg para 2,50 Tg, ou seja, de 47 Mg.ha⁻¹ para 62 Mg.ha⁻¹, sendo que esse aumento deve ser considerado na avaliação da sua capacidade de sequestro de carbono.

2.3 Equações de biomassa na Caatinga

Modelo, em estatística, é uma relação funcional a ser ajustada a dados de uma amostra (CAMPOS; LEITE, 2013). Essa expressão diz respeito a uma formulação matemática fundamentada em uma hipótese que tenta representar um fenômeno físico ou biológico, com a finalidade de gerar uma equação (resultado final do ajuste do modelo ao conjunto de dados) que possa estimar quantitativamente tal fenômeno com um nível de precisão conhecido (SILVA; SILVA, 2001).

Um modelo é composto de variáveis dependentes e independentes, parâmetros e um erro associado que depois de ajustado é considerado nulo na equação, já que se assume que o seu somatório tende a zero. Os modelos são classificados em: lineares e não lineares (simples ou múltiplos) sendo que os não lineares podem ser ainda intrinsecamente lineares e não lineares (SILVA; SILVA, 2001; SCOLFORO, 2005; FINGER, 2006; SCHNEIDER; SCHNEIDER; SOUZA, 2009; CAMPOS; LEITE, 2013).

A modelagem de regressão linear é um procedimento estatístico para ajustar um modelo matemático qualquer que envolve duas ou mais variáveis que se relacionam mutuamente, sendo que uma é a variável mais complexa de ser determinada (variável dependente) e as demais são facilmente determinadas (variável independente). A avaliação da equação ajustada é feita por vários testes estatísticos

(coeficiente de determinação, erro padrão da estimativa, análise gráfica dos resíduos, etc.) que permitem a escolha com a melhor precisão possível (SILVA; SILVA, 2001; SCOLFORO, 2005; FINGER, 2006; SCHNEIDER; SCHNEIDER; SOUZA, 2009; CAMPOS; LEITE, 2013).

Muitas informações dos ecossistemas conseguem ser obtidas, de forma precisa e eficiente, com a análise de regressão, reduzindo tempo e custos na coleta de informações (SCOLFORO, 2005; SCHNEIDER; SCHNEIDER; SOUZA, 2009). Uma das informações muito requerida e de difícil medição, tanto para pesquisa como para o manejo, é a biomassa verde ou seca de uma espécie ou conjunto de espécies em uma determinada região, que se coletada e separada em compartimentos (fuste, galhos e folhas) necessita de maiores recursos financeiros e tempo.

Diferentes tipos de modelos de regressão são utilizados para estimar a biomassa verde ou seca acima do solo na Caatinga. As variáveis independentes que se correlacionam bem com essa biomassa são geralmente o diâmetro a altura do peito, diâmetro ao nível do solo, a altura total, área basal ao nível do solo e do peito, densidade da madeira, área da copa, número de galhos ou a combinação dessas (SAMPAIO; SILVA, 2005; SILVA; SAMPAIO, 2008; ALVES JÚNIOR, 2010; SAMPAIO et al. 2010; FERRAZ, 2011; ABREU, 2012; SOUZA et al., 2013).

É comum que a adição de uma ou mais variáveis aumente a precisão das equações, mas nem sempre esse aumento justifica o custo e o tempo gastos na medição de mais variáveis. Ao comparar métodos estatísticos univariados e multivariados na seleção de 21 variáveis independentes em modelos volumétricos para *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, Araújo (2005b) concluiu que o julgamento subjetivo do pesquisador é um critério que deve ser levado em conta na hora de decidir sobre a seleção de variáveis em modelagem matemática, uma vez que a estatística e os processos matemáticos tratam todas as variáveis como sendo iguais em termos de custos e facilidade de mensuração.

Em um determinado ecossistema lenhoso, quando se quer estimar a biomassa total com precisão, é necessário conhecer a contribuição em biomassa das espécies dominantes e levar em consideração toda a faixa real das dimensões da espécie ou do conjunto de espécies naquela área (EAMUS; MCGUINNESS; BURROWS, 2000). Os ajustes de equações quando consideram a biomassa total são melhores do que os ajustes considerando partes distintas das espécies (fuste, galhos e folhas),

provavelmente porque naquela os desvios de uma parte são compensados por desvios de sentido oposto de outra parte (SILVA; SAMPAIO, 2008).

Para a Caatinga não são numerosos os estudos que desenvolvem equações de biomassa para espécies, grupos de espécies e até mesmo para as diferentes partes das plantas. Equações de biomassa seca acima do solo para 10 espécies dessa tipologia foram ajustadas por Sampaio e Silva (2005) de maneira separada ou em conjunto, usando a equação de potência para diferentes variáveis independentes e suas combinações e foi encontrado valores de coeficiente de determinação (R^2) entre 70 a 98%, não havendo outras estatísticas de avaliação para as equações.

Equações alométricas para diferentes partes das plantas de nove espécies arbustivas-arbóreas separadas em pequeno e grande porte, coletadas em duas regiões com características ambientais similares localizadas na Depressão Sertaneja, Santaluz/BA e Petrolina/PE foram ajustadas por Silva e Sampaio (2008). As equações que melhor se ajustaram para as diferentes partes foram do tipo Potência (*power*), usando a variável isolada DAP (cm) com coeficiente de determinação (R^2) variando de 74% a 85% e de 55% a 72% para pequeno e grande porte, respectivamente. No entanto, ao considerar a biomassa aérea total ao invés das partes, as equações se mostraram muito melhores com R^2 de 95% para espécies de grande porte e de 82% para as de pequeno porte.

As quatro espécies mais utilizadas para a produção de lenha na região de Serra Talhada e Sertânia no estado de Pernambuco tiveram equações alométricas ajustadas para a biomassa seca, utilizando o diâmetro a altura do peito (DAP), diâmetro na base (DAB), altura, densidade da madeira e área de copa como variáveis independentes de forma individual ou combinada em modelos do tipo linear, quadrático, potência, exponencial e logarítmico. Os resultados apontaram que as equações de potência com a variável independente DAP apresentaram os melhores ajustes com R^2 entre 62 a 81% para as quatro espécies (SAMPAIO et al., 2010).

Ao buscar informações que subsidiem o manejo florestal sustentável da Caatinga, Alves Júnior (2010) ajustou equações de biomassa verde de um conjunto de espécies com importância madeireira e encontrou valores de R_{aj}^2 entre 67 e 98% e de erro padrão da estimativa absoluto entre 3,4 a 13,3. A melhor equação encontrada por esse autor teve como variáveis independentes a circunferência a altura do peito (cm), número de galhos e circunferência na base do galho maior.

Ao testar 20 modelos matemáticos para estimar a biomassa verde total e por compartimento (fuste, galhos e folhas) das cinco principais espécies da Caatinga em uma área no município de Floresta/PE, Abreu (2012) encontrou bons ajustes para equações de biomassa total para as espécies com valores entre 78 e 95% para o coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2) e de 12 a 29% para erro padrão da estimativa (S_{yx} %). Já para cada compartimento não foi possível ajustar equações para todas as espécies por não apresentarem resultados satisfatórios quanto as estatísticas de avaliação.

Equações de biomassa aérea seca total para 10 espécies de Caatinga arbustiva-arbórea localizada no norte da Bahia foram ajustadas por Souza et al. (2013) individualmente e por classe de diâmetro, utilizando variáveis independentes como o DAP (cm) e a altura (m). Os resultados apresentaram equações com coeficientes de determinação entre 39,8 a 99,6% e erro padrão da estimativa variando de 7,5% a 44,2%. Os autores recomendaram o uso das equações apenas para as espécies analisadas naquela região e para indivíduos com diâmetro dentro da amplitude analisada.

2.4 Mudanças climáticas e mercado de carbono

A atmosfera, camada de ar ao redor da Terra, é formada por vários tipos de gases, principalmente Nitrogênio e Oxigênio. Também fazem parte da atmosfera os chamados Gases de Efeito Estufa (GEE's) que são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o ozônio (O_3), os hidrofluorcarbonos (HFC's), o hexafluoreto de enxofre (SF_6), os perfluorcarbonos (PFC's) e também o vapor d'água. O CO_2 é o mais abundante (CAMPOS, 2009; MMA, 2016a).

O efeito estufa é um fenômeno natural e benéfico, responsável por segurar o calor na atmosfera para que a Terra fique aquecida. Os GEE's deixam que os raios do sol atravessem a atmosfera e cheguem à superfície da Terra, mas não deixam sair a radiação emitida pela Terra, impedindo assim que o calor seja lançado para o espaço, causando o aquecimento de nosso planeta, do contrário o nosso planeta seria frio demais e não haveria possibilidade de vida. Porém, o aumento desenfreado da intensidade do efeito estufa, devido ao aumento das concentrações dos GEE's, leva ao fenômeno chamado de aquecimento global, ou seja, aumento acima do normal da

temperatura média da Terra que ocasiona as mudanças climáticas globais (CAMPOS, 2009; MMA, 2016a).

A mudança climática é considerada como qualquer alteração no clima, resultado da variabilidade natural ou das atividades antrópicas (ANGELOTTI; SIGNOR; GIONGO, 2015). Essas alterações podem ocasionar aquecimento do planeta, redução das chuvas em determinadas regiões geográficas, aumento da intensidade de furacões, ciclones e até mesmo secas (CAMPOS, 2009).

Os aumentos globais nas concentrações de CO_{2eq} são devidos, principalmente, ao uso dos combustíveis fósseis, sendo que a mudança do uso da terra e a agricultura contribuem com taxas menores, mas significativas (IPCC, 2007). Há uma tendência global que a grande maioria das emissões dos países industrializados é resultado da queima de combustíveis fósseis e nos países em desenvolvimento, as emissões são decorrentes das mudanças no uso da terra, ou seja, do desmatamento das florestas (CAMPOS, 2009).

Os ecossistemas florestais são a melhor alternativa para mitigar o aumento da concentração de gás carbônico (CO₂) na atmosfera, via fixação do carbono pelas plantas e seu armazenamento na biomassa e no solo (GATTO et al., 2011). As plantas absorvem carbono do CO₂ atmosférico e liberam oxigênio (O₂), através da fotossíntese. Nas florestas em crescimento, o montante de carbono sequestrado aumenta, estabilizando quando elas chegam à maturidade. Entretanto, ainda não há um consenso sobre a quantidade de carbono que é estocado dessa forma (CAMPOS, 2009).

O problema mundial sobre as mudanças climáticas globais foi reconhecido em 1979 na primeira Conferência Mundial sobre o Clima. Em 1988, com os avanços dessa problemática foi criado, pela Organização Meteorológica Mundial e pelo Programa Ambiental das Nações Unidas, o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC*) que tem como objetivo central fornecer informações sobre os impactos, riscos futuros e opções para adaptação e mitigação da humanidade sobre as mudanças climáticas globais, mas sem deliberações (IPCC, 2016).

Em 1992 foi criada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC*) cujo objetivo é a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático.

Essa Convenção estabeleceu a Conferência das Partes (*Conference of the parties - COP*) que acontece anualmente, desde 1995, em diferentes países e é onde são feitas as negociações intergovernamentais e as tomadas de decisão para a redução das mudanças climáticas (MMA, 2016b).

Para atingir o objetivo da *UNFCCC*, em 1997 na terceira COP que ocorreu em Quioto no Japão, os países desenvolvidos e industrializados ratificaram o Protocolo de Quioto cujo objetivo era reduzir em 5,2%, em relação ao ano de 1990, as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE's), entre os anos de 2008 e 2012 (primeiro período de compromissos). Os países em desenvolvimento, na época, não assinaram esse acordo (CRUZ, 2012; MMA, 2016b).

O primeiro período de compromissos falhou e na COP 18 (2012) em Doha, no Qatar, houve a prorrogação do protocolo de Quioto até 2020 onde as partes signatárias se comprometeram a reduzir as emissões de GEE's, em pelo menos 18% abaixo dos níveis de 1990, entre os anos de 2013 a 2020 (segundo período de compromissos), mas houve pouca adesão dos países (MMA, 2016a).

Na COP 21 em 2015 foi aprovado o Acordo de Paris pelos 195 países Parte da *UNFCCC* para reduzir as emissões de GEE's mundiais. Basicamente, o objetivo é assegurar que o aumento da temperatura média global fique 2°C abaixo dos níveis pré-industriais e prosseguir os esforços para limitar o aumento da temperatura a até 1,5°C acima dos níveis pré-industriais a partir de 2020. Para atingir esse objetivo, os governos construíram seus próprios compromissos de reduções de emissões de GEE's, seguindo o que cada governo considera viável a partir do cenário social e econômico local (MMA, 2016a; *UNFCCC*, 2016).

Para o Brasil o compromisso é ambicioso, pois se comprometeu a reduzir em 37% e em 43% as emissões de GEE's, abaixo dos níveis de 2005, até 2025 e 2030, respectivamente. As estratégias para alcançar esse objetivo são: aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética para aproximadamente 18% até 2030; restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas e alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030 (MMA, 2016a).

Para reverter o curso das mudanças climáticas globais, diversas iniciativas mundiais têm sido colocadas em prática, como o Mercado de Carbono (MC). O MC é um mecanismo de controle e um instrumento econômico orientado para estimular a redução das emissões de GEE's. Existem duas vertentes do mercado de carbono, o

regulado (MCR) e o voluntário (MVC), onde se transaciona créditos de carbono que legitimam em algum grau o “direito de poluir” para seus adquirentes (GOULART, 2013).

Os créditos de carbono são certificados emitidos quando ocorre a redução de emissão de gases do efeito estufa, por convenção, foi estabelecido que uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO_2 equivalente) corresponde a um crédito de carbono. Assim, os créditos de carbono criaram um mercado para a redução de gases de efeito estufa colocando um “valor monetário” associado à redução da poluição e ao combate das mudanças climáticas (CAMPOS, 2009).

No MCR são negociadas as Reduções Certificadas de Emissões (RCE's), que tem suas diretrizes estabelecidas no Protocolo de Quioto e, mais especificamente, no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Já no MVC são negociadas as Reduções Verificadas de Emissões (RVE's), que consiste em um ambiente em que os créditos são negociados entre agentes (governo, empresas, ONGs, etc.), a partir de interesses específicos desses, que não estão vinculados às metas estabelecidas pelo Protocolo (SOUZA et al., 2012; GOULART, 2013; TELESFORO et al., 2014). Uma RCE ou uma RVE corresponde a 1 (uma) tonelada de CO_2 equivalente, ou 1 (um) crédito de carbono.

Na primeira etapa de compromissos do Protocolo de Quioto houve a criação dos Mecanismos de Flexibilização (Comércio de Emissões, Implementação Conjunta e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo). O MDL visa a elaboração de projetos, a serem implantados em países em desenvolvimento, com a finalidade de diminuir as emissões de GEE's por meio da transferência de tecnologia mais limpa de países desenvolvidos e a promoção do desenvolvimento sustentável nesses países, gerando créditos de carbono, ou seja, RCE's (TELESFORO et al., 2014).

Os requisitos básicos do MDL são a adicionalidade (reduções de emissões de GEE's adicionais ao que ocorreria na ausência do projeto) e voluntariedade (participação voluntária de ambas as partes). Resumidamente, as etapas para a elaboração de um projeto são: 1º) Elaboração do documento de concepção do projeto; 2º) Linha de Base; 3º) Validação; 4º) Registro; 5º) Monitoramento; 6º) Verificação; 7º) Certificação; 8º) Emissão do Certificado. Cada projeto pode se enquadrar em quinze escopos, entre eles está o *Florestamento e Reflorestamento*, mas a conservação das florestas nativas não foi contemplada no primeiro período de compromissos do Protocolo de Quioto (RIBEIRO, 2007; CRUZ, 2012; GOULART, 2013;).

O mercado de carbono voluntário (MCV) pode ser conceitualmente entendido como um ambiente no qual as regras e normas emergem das relações entre os agentes participantes desse mercado (empresas, governos, organizações da sociedade civil e organizações não governamentais-ONG's), cujos projetos de mitigação e/ou redução de GEE's estão submetidos a padrões internacionais (PI's) que fixam regras próprias para concepção (IBRI, 2009; SOUZA, 2011). O MCV Brasileiro é formado basicamente por Instituições e Organizações (PAIVA; GOULART; ANDRADE, 2012; GOULART, 2013).

As Instituições são representadas pelos padrões internacionais (PI's) que tem a função de prover as regras, orientando a atuação das organizações. Exemplos de Instituições: *Voluntary Carbon Standard (VCS)*, *Social Carbon (SC)*, *Chicago Climate Exchang (CCX)*, *Climate Community and Biodiversity Standards (CCBS)*, *American Carbon Registry (ACR)*, *Golden Standard (GS)* (GOULART, 2013).

As Organizações são formadas pelos Setores Proponentes (empresas de pequeno e médio porte concentradas em setores específicos da economia como a suinocultura, cerâmica, florestal e de energia); Consultorias (empresas que apoiam os setores proponentes durante desenvolvimento do projeto); Auditorias (empresas multinacionais que verificam se o processo de redução das emissões vem ocorrendo conforme o planejamento); Registros (empresas multinacionais que oferecem o serviço de rastreamento de créditos de carbono para evitar falhas no mercado); Bancos e financeiras (fomentam o mercado) e Compradores (empresas e organizações estrangeiras, na sua maioria, interessados em neutralizar suas emissões criando demanda por créditos e carbono) (GOULART, 2013).

Os mercados de carbono (regulado e voluntário) surgem como iniciativas que visam à promoção de ações que contribuam para a minimização dos impactos que o meio ambiente vem sofrendo em relação as mudanças climáticas globais, gerando benefícios ambientais, econômicos, sociais e tecnológicos (SOUZA, 2011). A preocupação dos investidores no MC é o gerenciamento de seus impactos em relação às mudanças do clima, sua imagem, sua reputação, seus interesses em inovações tecnológicas para redução de GEE's, legitimidade, necessidade de se prepararem para uma possível regulação futura e para planos de revenda de créditos de carbono lucrando com as comercializações (IBRI, 2009).

2.5 Pagamento por serviços ambientais

Os bens e serviços ambientais são os benefícios que os seres humanos obtêm dos ecossistemas e são classificados em quatro categorias fundamentais: provisão, regulação, cultural e de suporte (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). Também são considerados serviços ambientais os benefícios resultantes de intervenções intencionais da sociedade na dinâmica dos ecossistemas, tais como, práticas de agricultura sustentável, gestão de paisagens rurais e recuperação de áreas degradadas (MURADIAN et al., 2010).

Os serviços de provisão abrangem os produtos obtidos diretamente dos ecossistemas para os seres humanos (alimentos, água, fibras, madeira, material genético e fitofármacos). Já os serviços de suporte são os que dão condições necessárias para que os demais serviços possam ser disponibilizados à sociedade, sendo que os benefícios ocorrem de maneira indireta e em longo prazo, na sua maioria (manutenção da biodiversidade, ciclagem de nutrientes, ciclo da água, fotossíntese e formação dos solos). Os serviços reguladores são os benefícios obtidos a partir de processos naturais que regulam as condições ambientais que sustentam a vida humana (purificação e regulação dos fluxos de água, regulação do clima, controle de enchentes e de erosão, controle de pragas e doenças, polinização). E os serviços culturais estão relacionados com a importância dos ecossistemas em oferecer benefícios não materiais tais como os recreacionais, educacionais, estéticos e espirituais (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005).

O conceito mais difundido sobre Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) é o de uma transação voluntária, na qual um serviço ambiental bem definido, ou um uso da terra que assegure este serviço, é adquirido por, pelo menos, um comprador de no mínimo, um provedor, sob a condição de que ele garanta a provisão do serviço (WUNDER, 2005). Na prática, alcançar esses critérios em um projeto de PSA não é fácil e o mais comum é encontrar projetos “tipo-PSA” no mundo, que apenas atendem alguns dos critérios (MMA, 2011).

Existem quatro modalidades de PSA, baseadas principalmente na maneira de fornecer serviços ambientais, sendo elas: 1) PSA-restrição de uso, onde o pagamento é destinado a compensar um agricultor por ele renunciar ao uso de uma área, geralmente coberta por vegetação nativa; 2) PSA- restauração, em que o pagamento visa dar uma contribuição aos custos de recomposição da vegetação em áreas já

desmatadas; 3) PSA-valorização de práticas tradicionais, que busca recompensar práticas de gestão do meio-ambiente ou práticas agroextrativistas de baixo impacto que já são de domínio das populações locais; 4) PSA-transição, onde ocorrem incentivos a adoção de práticas agrícolas sustentáveis e a diversificação produtiva (ELOY; COUDEL; TONI, 2013).

Os serviços ambientais mais comercializados no mundo, atualmente, são: água, biodiversidade, beleza cênica e carbono, sendo que o pagamento é feito, respectivamente, pela manutenção ou aumento da quantidade e qualidade da água, por espécies ou por hectare de habitat protegido, por serviços de turismo e permissões de fotografia e por tonelada de CO₂ não emitido para atmosfera ou sequestrado (MMA, 2011).

Como iniciativas de PSA no Brasil, destacam-se a conservação dos solos, a implantação e conservação de florestas, de áreas de proteção permanente (APP's) e de reserva legal (RL), o saneamento ambiental, a conservação de recursos hídricos, a preservação e proteção da biodiversidade, a redução das emissões de gases de efeito estufa e sequestro de carbono, entre outras (MMA, 2011; NOVAES, 2014).

Em relação a políticas públicas, esquemas de PSA no Brasil tem recebido uma atenção crescente nos últimos anos, pois funcionam como um incentivo para a gestão sustentável dos recursos naturais, melhorando o nível de vida das populações que nelas vivem, principalmente as mais carentes, e promovendo a conservação das florestas (PARRON et al., 2015). Em muitos estados e municípios brasileiros, há várias iniciativas legislativas sobre PSA, mas no âmbito federal ainda tramita no Congresso Nacional Projeto de Lei nº 792/2007, que visa instituir uma Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. Em 2012, com a adoção da Lei de Proteção da Vegetação Nativa ou Novo Código Florestal (Lei 12.651/2012) foi instituído, no seu 41º artigo, o programa de apoio e incentivo à conservação do meio ambiente, sendo que uma das categorias é a de pagamento ou incentivo a serviços ambientais como retribuição, monetária ou não, às atividades de conservação e melhoria dos ecossistemas e que gerassem serviços ambientais (BRASIL, 2012). Mas ainda não houve qualquer regulamentação.

Apesar de ser um instrumento econômico voluntário, o PSA pode ser utilizado de maneira integrada aos mecanismos de comando e controle para resolver os problemas ambientais crescentes no Brasil (MAY, 2011). Assim, esses instrumentos mediam a conservação e restauração florestal, seja para recuperação de APP's e

RL's, seja pelos sistemas de compensação florestal definidos pelo Novo Código Florestal (ELOY; COUDEL; TONI, 2013).

A implantação de projetos de PSA em uma determinada região permite que se reconheçam e incentivem financeiramente e de outras formas os provedores de serviços ambientais, garantindo a conservação dos ecossistemas (PAGIOLA; GLEHN; TAFFARELLO, 2013). No Brasil, existem várias iniciativas de PSA pulverizadas na forma de projetos-piloto, normalmente financiados por recursos governamentais, em diferentes biomas (SANTOS; VIVIAN, 2012).

Em um levantamento de casos de PSA até o ano de 2012 que ofereciam incentivos econômicos para a manutenção e geração de serviços de regulação do clima, em especial ao armazenamento ou o sequestro de carbono (PSA-Carbono) na Caatinga, Santos e Vivian (2012) encontraram 11 projetos, mas nenhum é de PSA especificamente. A maioria (70%) não foi concebida com preocupação de venda dos serviços ambientais e o restante (30%) foi classificado como preparatório para PSA. Esses projetos estão concentrados, principalmente, no Ceará (77%), sendo os demais distribuídos entre os Estados da Bahia, de Pernambuco e da Paraíba. Destaque para o Projeto Riachos do Velho Chico em Pernambuco e Projeto Caatinga Preservada que garantem segurança hídrica e emissão de Carbono evitado no Semiárido do Ceará.

O desenvolvimento de projetos de PSA no Semiárido Brasileiro pode ser considerada uma estratégia tecnológica, administrativa e até mesmo política para minimizar os efeitos das mudanças climáticas sobre a região, ao mesmo tempo em que pode contribuir para o desenvolvimento agropecuário, ambiental e social. As instituições governamentais a nível nacional, estadual ou municipal, devem adotar políticas públicas para garantir o êxito do desenvolvimento sustentável dessa região. Estratégias como a recomposição de áreas de vegetação nativa nas margens de rios, tanto temporários quanto permanentes; incentivo à implantação de sistemas silvipastoris que contemplem a recuperação de pastagens plantadas e o manejo adequado de áreas de Caatinga pastejadas poderiam ser áreas de atuação contempladas em futuros programas de PSA (ANGELOTTI; SIGNOR; GIONGO, 2015).

Levantamentos de iniciativas de PSA-Carbono, PSA-Água e PSA-Biodiversidade foram feitos em toda a Mata Atlântica brasileira pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011). Para PSA-Carbono foram encontradas 33 iniciativas, sendo que 15 projetos estão em execução (com certificação/verificação de Carbono,

financiamento e, em alguns casos, pagamentos por serviços ambientais), 15 projetos estão em desenvolvimento (com fontes de recursos e locais identificados para implantação de ações, mas sem implementação) e 3 projetos com interesse ou intenção de procurar oportunidade no mercado de carbono. Quanto ao PSA-Água foram levantados 41 projetos ao todo, mas apenas 8 projetos em execução, 21 projetos em desenvolvimento e 12 projetos em elaboração. As iniciativas de PSA-Biodiversidade na Mata Atlântica, ainda são bem escassas, sendo que foram levantados apenas 5 projetos e desses apenas 2 projetos estão em execução e os demais em elaboração.

Ao buscar na literatura sobre Programas e Políticas de PSA (PPPSA's) em atividade no Brasil até outubro de 2013, Novaes (2014) encontrou 42 projetos em andamento cujos pagamentos ou compensações estivessem ocorrendo. Desses 42 projetos, 23 projetos (55%) tem foco principal no uso do solo voltado para a conservação e recuperação de cobertura da vegetação nativa (APP's, RL, Unidades de Conservação), 1 projeto (2%) com foco específico em uso produtivo do solo e 18 (43%) adotam ambas as abordagens. Em relação ao foco do programa de PSA, 16 projetos (38%) são de água, 18 projetos (43%) para carbono e 8 projetos (19%) são com foco múltiplo (carbono, água e biodiversidade). Com relação ao tipo de produtor rural provedor dos serviços ambientais, 19 PPPSA's (45%) têm, entre seus objetivos, princípios ou diretrizes, a priorização ou mesmo exclusividade para agricultores familiares, populações tradicionais ou pequenos produtores. Outros 15 PPPSA's (36%) explicitam destinarem-se a todo e qualquer produtor, proprietário ou posseiro rural, independentemente do tamanho de suas propriedades ou posses e da forma de exploração da terra, o restante dos programas não mencionam o tipo de produtor rural.

2.6 Planos de manejo na Caatinga

A utilização da vegetação da Caatinga se destaca nas atividades de extrativismo, pecuária e atividade agrícola, estando sob forte pressão antrópica, principalmente, devido às atividades para abastecer a demanda industrial e residencial da própria região por lenha e carvão vegetal (SAMPAIO, 2002; GIULIETTI et al., 2004), sendo esse o principal produto obtido nessa tipologia. A exploração da vegetação de Caatinga ocorre de três maneiras (PAREYN, 2010): desmatamento legal que prevê o uso alternativo do solo para a abertura de pastagens e agricultura;

manejo florestal sustentável com autorização prévia dos órgãos competentes via plano de manejo e o desmatamento ilegal, para fins de uso alternativo do solo e produção de madeira.

A elevada burocracia do Órgão Ambiental, os custos e as restrições para a exploração da vegetação da Caatinga tornam a adoção dos Planos de Manejo Florestal Sustentável pouco atrativos aos produtores. Além disso, a fiscalização ambiental frágil e escassa incentiva o desmatamento e a comercialização da lenha e do carvão vegetal ilegal, já que não são emitidas infrações e multas ambientais. Logo, os produtores só serão estimulados a enfrentar todo o procedimento de legalização para a exploração da vegetação nativa, se houver preço diferenciado dos produtos e fiscalização eficaz (PAREYN, 2010).

Entre os anos de 2010 e 2011, 64 Planos de Manejo Florestal estavam autorizados a realizar exploração anual no estado de Pernambuco, cujo volume de corte autorizado era de 442.083,86 st. Já entre os anos de 2012 e 2013, 68 PMF tinham autorização de corte, sendo 45 referentes aos planos ativos em 2010 e 2011 e os demais eram novos planos, representando um volume de 429.277,66 st (MEUNIER, 2014).

O Órgão Ambiental que licencia os Planos de Manejo Florestal (PMF) em Pernambuco é a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH). A elaboração e licenciamento desses planos são disciplinados pela Instrução Normativa (IN) nº 007/2006 que estabelece os procedimentos referentes à aprovação da localização da Reserva Legal em propriedades e posses rurais; à autorização para supressão de vegetação e intervenção em Áreas de Preservação Permanente (APP) e à autorização para o desenvolvimento das atividades florestais no Estado de Pernambuco (a exploração florestal, nas formas de manejo sustentável e/ou supressão de vegetação para uso alternativo do solo; o uso controlado do fogo e a reposição florestal) (CPRH, 2015). Segundo Meunier (2014) essa IN é apenas de cunho administrativo, já que complementa as legislações superiores, estabelecendo procedimentos para fazer cumprir as competências da CPRH.

O proprietário de terra interessado em licenciar um Plano de Manejo Florestal (PMF) para sua propriedade precisa apresentar a seguinte documentação no protocolo do pedido de licença na CPRH, segundo a IN 007/2006: (i) documentos pessoais do proprietário/requerente; (ii) cópia da escritura pública com certidão de inteiro teor do imóvel ou documento equivalente que comprove a justa posse da terra;

(iii) planta do imóvel com grade georreferenciada em escala adequada, indicando confrontantes, orientação, localização da Reserva Legal (RL), Áreas de Preservação Permanente quando existentes, área a ser manejada, localização/georreferenciamento das parcelas do inventário, com as devidas legendas; (iv) croqui de acesso e localização do imóvel, a partir do município mais próximo; (v) Plano de Manejo Sustentável e Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), devidamente preenchida por profissional habilitado para a elaboração e execução do projeto (CPRH, 2015).

Além disso, deve ser apresentado o pagamento do requerimento de Licença Simplificada (LS), segundo a Lei Estadual 14.249/2010. Também, o requerente tem a opção de pedir a autorização de exploração (Autex) do primeiro talhão, juntamente com o licenciamento, para a qual se exige pagamento de taxa, segundo valores definidos anualmente pelo CPRH (PERNAMBUCO, 2016).

Após a concessão da licença e da autorização, o requerente conta com 30 dias para providenciar a averbação em cartório do PMF. A exigência do certificado de averbação da Área da Reserva Legal registrada à margem da matrícula do imóvel em cartório competente de Registro de Imóveis foi substituída atualmente pelo Cadastro Ambiental Rural (CAR) que deve ser apresentado ao CPRH, podendo ser realizado pelo Técnico responsável pelo PMF.

Segundo a IN 007/2006 deverá ser emitido uma Autex a cada novo talhão explorado mediante apresentação de relatório das atividades realizadas, além da programação para o próximo período. No acesso principal da propriedade licenciada para PMF são obrigatórias a instalação e a manutenção de placa de identificação da área autorizada para exploração em forma de manejo sustentável.

Atualmente, um proprietário que deseja obter licença para efetuar PMF e as respectivas autorizações anuais de corte no estado de Pernambuco, tem os seguintes custos: (i) Elaboração do plano de manejo (inventário florestal, mapas, croqui, CAR, etc.); (ii) Taxa de requerimento de licença simplificada (LS); (iii) Autorização de exploração do talhão (Autex); (iv) Averbação do plano de manejo em cartório específico; (v) Colocação de placa de identificação do PMF; (vi) Assistência técnica e elaboração de relatório anual (CPRH, 2015).

A retirada da madeira nas áreas autorizadas ocorre por meio do corte raso, com eventuais restrições a árvores isoladas, em ciclo de corte de 15 anos, assumindo-se que a recuperação do estoque original dar-se-á pela regeneração natural,

principalmente por rebrota de cepas. Mas não há qualquer comprovação da suficiência desse tempo e realização de tratamentos silviculturais que auxiliem no desenvolvimento da vegetação sucessora para que os estoques, diversidade e ciclos ecológicos sejam reestabelecidos após o final desse ciclo (MEUNIER, 2014).

Apesar disso, os planos de manejo são descritos como alternativa de desenvolvimento e conservação da Caatinga, atuando como um instrumento promotor da adequação ambiental, na medida que promove o ordenamento do uso da terra, delimita e protege as Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva legal (RL), mantem a cobertura florestal (SILVA; SOARES; PAREYN, 2008) e permite o controle da exploração pelo órgão ambiental estadual (GARIGLIO et al., 2010). Esse manejo reduz o passivo ambiental, evita a degradação da Caatinga, propicia uma alternativa de trabalho e renda para o homem do campo, favorece sua fixação na zona rural e proporciona o uso sustentável dos recursos naturais e produção florestal legalizada (PAREYN, 2010).

Outra questão pouco discutida é a viabilidade econômica dos planos de manejo florestal, tanto em relação a diferentes cenários de exploração quanto as atividades de pecuária e agricultura. A maioria dos trabalhos encontrados na literatura está vinculada as áreas de assentamentos de reforma agrária que levam em consideração apenas os custos e receitas das atividades desenvolvidas pelos produtores, sem adotar indicadores de viabilidade econômica e incluir encargos sociais.

A baixa rentabilidade (R\$ 36,00/família/mês) do manejo florestal da Caatinga em assentamentos rurais no Rio Grande do Norte foi detectado por Francelino et al. (2003), principalmente pelo pequeno tamanho das áreas destinadas a exploração, indicando que essa atividade deveria servir apenas de complemento de renda dos assentados, uma vez que outras atividades apresentam maiores retornos econômicos, mas ela possui grande importância no contexto social, sendo fundamental para a manutenção dos assentamentos que não possuem infraestrutura produtiva (irrigação).

Em 13 projetos de assentamento no semiárido pernambucano, Silva, Soares e Pareyn (2008) encontraram uma renda média com a exploração florestal via plano de manejo de R\$ 890,00/ano para cada família e como o manejo florestal é realizado no período seco e independe das chuvas, a sua contribuição à renda familiar é significativa e importante.

Ao analisarem o potencial de renda dos Planos de Manejo Florestal Sustentável em 13 assentamentos da reforma agrária em Pernambuco, Gariglio e Barcellos (2010) estimaram uma renda média de R\$ 796,95/ano com um valor mínimo de R\$ 271,00 e máximo de R\$1.590,00 para 8,2 hectares manejados por família, valor que parece ser pouco significativo, mas que colabora com a renda familiar nessas áreas.

Em uma área de Manejo Florestal de 14,4 ha.ano⁻¹, de um total de 216 ha, 5 famílias de um projeto de assentamento agrário na região semiárida de Pernambuco lucram entre R\$ 573,00 a R\$ 3.380,00 por família/ano com a exploração da lenha, sem contabilizar a mão de obra envolvida e considerando apenas os custos com taxas e ferramentas (MARQUES; PAREYN; FIGUEIREDO, 2011).

Ao analisarem o impacto econômico-financeiro do manejo florestal sustentável sobre as atividades agrícolas e de pecuária em assentamentos da reforma agrária no município de Serra Talhada (PE), Gomes et al. (2013) observaram que a renda das famílias que participam do manejo florestal é de R\$ 2.013,71 e a das famílias que não participam do manejo é de R\$ 706,62, sem contabilizar a mão de obra. Mas ao contabiliza-la, observou-se que a agricultura e a pecuária são atividades de subsistência e não conseguem remunerar a mão de obra dedicada, sendo que apenas o manejo sustentável tem saldo positivo com receita de R\$ 454,82/ano por família de assentado.

A rentabilidade econômica de Planos de Manejo Florestal na região semiárida de Pernambuco foi avaliada por Meunier (2014) que concluiu que a extração de lenha tem sua viabilidade condicionada ao preço do produto e aos custos de exploração, além de depender da extensão da área explorada. Destacou-se que a atividade se torna viável economicamente devido aos baixos valores pagos às pessoas envolvidas na exploração e à informalidade do trabalho, já que a diária paga é inferior a baseada no salário mínimo, entre R\$ 9,00 e R\$ 19,00, e não há a inclusão de custos sociais para o trabalhador.

Em recente análise de rentabilidade da produção de carvão vegetal por meio de manejo florestal sustentável em um assentamento com 22 famílias no município de Serra Talhada, Pimentel et al. (2016) observaram uma exploração anual de 493,5 m³ de lenha em uma área de 14,2 ha, ao converter em carvão vegetal essa produção renderia R\$ 60.580,06 por talhão.ano⁻¹, ou seja, R\$ 2.753,64 por família.ano⁻¹, mas novamente nessa análise não são considerados os custos com a mão de obra envolvida e outros encargos, apenas as receitas.

3. METODOLOGIA GERAL

3.1 Características gerais da área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido em uma área de 50 ha dentro da Fazenda Itapemirim, de propriedade da Agrimex Agroindustrial Excelsior S. A. A fazenda possui uma área total de aproximadamente 6.000 ha e está localizada no município de Floresta, no estado de Pernambuco com acesso pelas rodovias PE-360, BR-232 e BR-110. A sede da fazenda está situada nas coordenadas geográficas $8^{\circ}33'20,9''\text{S}$ de Latitude e $37^{\circ}56'27,4''\text{W}$ de Longitude, distando cerca de 360 km da cidade do Recife (Figura 1).

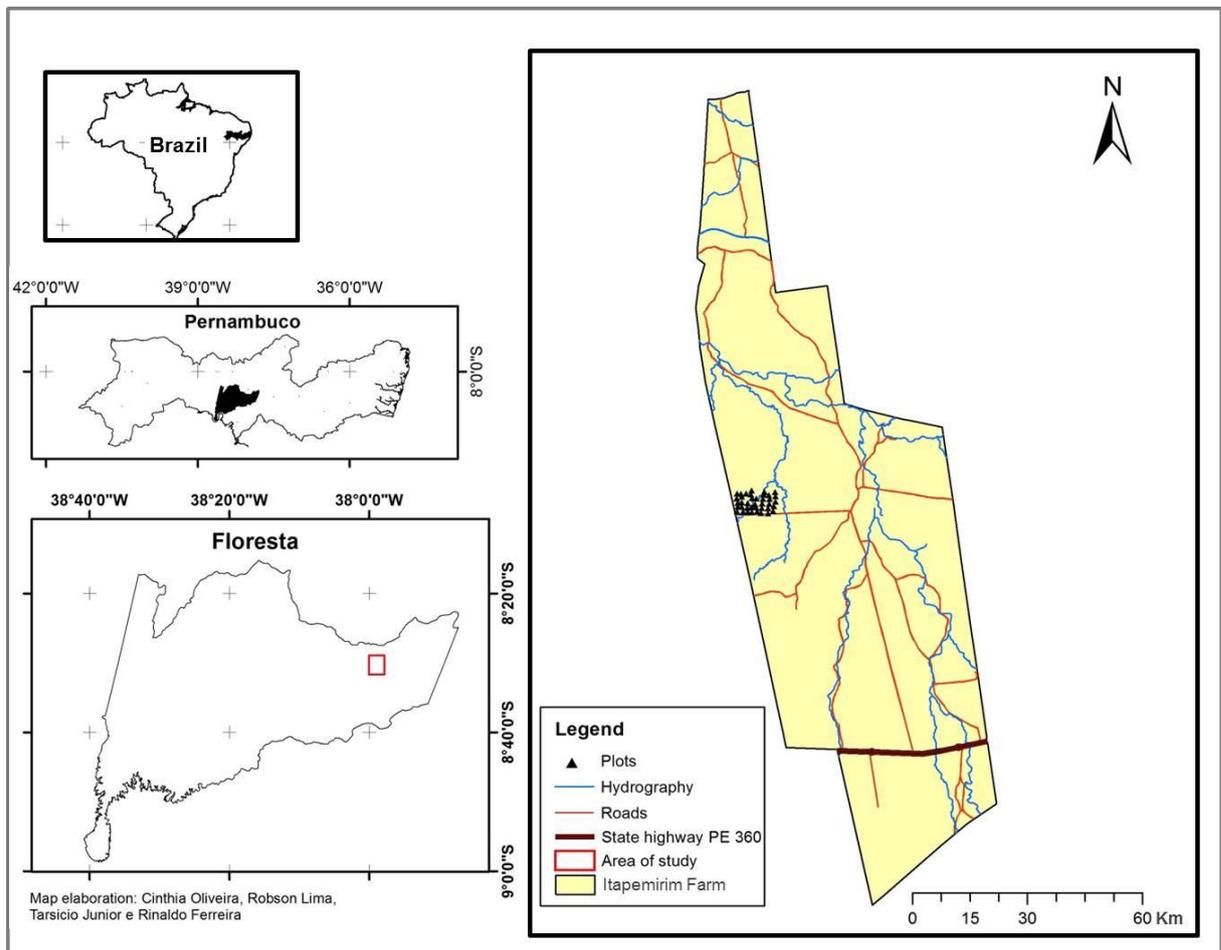


Figura 1 - Localização da área de estudo, no município de Floresta, estado de Pernambuco. Fonte: Lima (2014).

A área de estudo está inserida na ecorregião Depressão Sertaneja Meridional, a qual está entre as mais impactadas pela ação humana e com poucas áreas

protegidas, em termos de número, área total ou categoria de proteção (VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2002). O solo da região é classificado como Luvisolo Crômico, caracterizado por ser raso e apresentar usualmente mudança abrupta em sua textura (EMBRAPA, 2011).

A vegetação ocorrente na região pode ser classificada como Savana-Estépica Arborizada, sendo dividida em dois estratos: arbustivo-arbóreo superior, esparsos; e outro, inferior gramíneo-lenhoso (IBGE, 2012).

Pela classificação climática de Köppen o clima da região é do tipo BS'h, o que reporta a um clima semiárido quente, caracterizado pela aridez, deficiência hídrica com imprevisibilidade das precipitações pluviométricas, que variam de 268 a até 1000 mm, temperaturas médias anuais muito elevadas com valores entre 26 a 28°C (IBGE, 2012). Na Figura 2 apresenta a precipitação anual acumulada entre os anos de 1994 a 2014 do município de Floresta-PE (APAC, 2016), sendo que a média desse período foi de 468 mm.

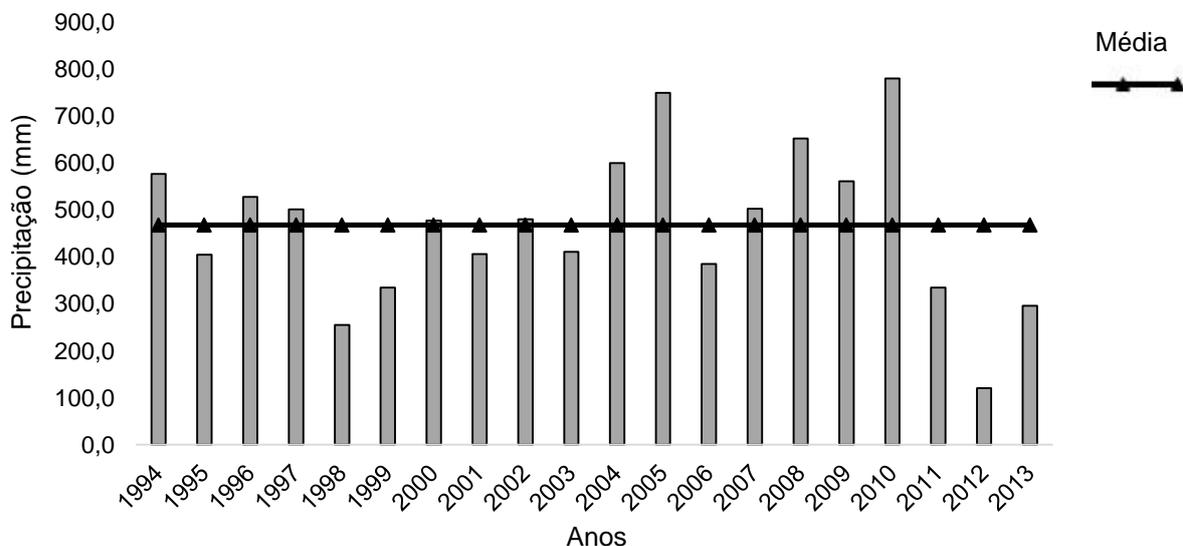


Figura 2 – Precipitação anual acumulada (mm) entre os anos de 1994 a 2014 no município de Floresta-PE. Fonte: Agencia Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2016).

3.2 Estrutura amostral e coleta de dados

O histórico dessa área de estudo retrata o estabelecimento e o monitoramento, desde o ano de 2008, de 40 parcelas permanentes de 20 x 20 m (400 m²) que estão distanciadas entre si 80 m, com 50 m da bordadura, totalizando uma área amostral de

1,6 ha (Figura 3). O local é considerado preservado (com pouco histórico de corte), provavelmente ocorrendo apenas a retirada de produtos florestais para eventuais manutenção das cercas que limitam a fazenda e o pastejo por animais, principalmente caprinos, de forma extensiva e não-controlada.

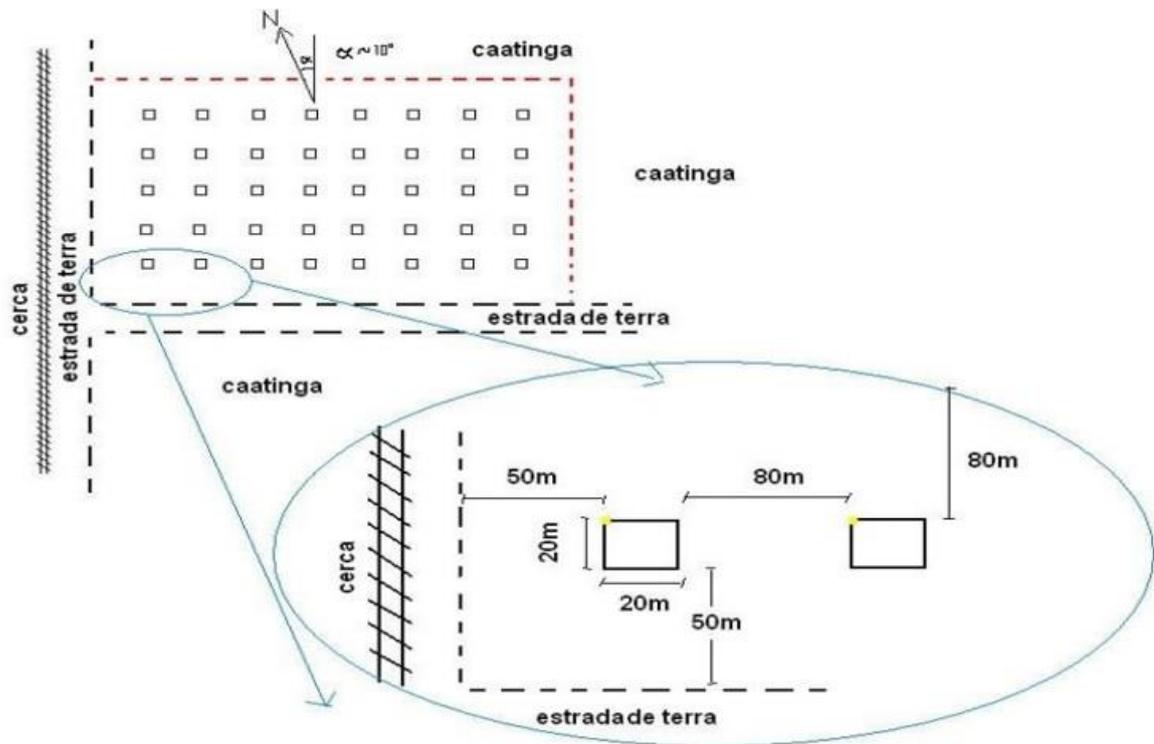


Figura 3 – Esquema da distribuição das parcelas na área de estudo, no município de Floresta, estado de Pernambuco. Fonte: Alves (2011).

Na instalação das parcelas em 2008 todos os indivíduos com circunferência à 1,30 m do solo (CAP) ≥ 6 cm foram identificados e etiquetados em sua CAP, visando padronizar o local da medição. As medições foram refeitas em 2011, 2012 e 2013, sendo inseridas no banco de dados os indivíduos recrutados, ou seja, os que atingiram a CAP mínima estipulada nos anos de remedição e também, foram registrados os mortos e caídos.

3. 3 Espécies arbóreas analisadas

Das 24 espécies registradas na área de estudo durante os cinco anos, foram selecionadas apenas as oito espécies de maior valor de importância e de maior

densidade absoluta para as análises, tomando como base o inventário fitossociológico realizado no ano de 2013 (Tabela 1).

As espécies selecionadas foram as seguintes: *Anadenanthera colubrina*, *Aspidosperma pyriformium*, *Bauhinia cheilantha*, *Cnidocolus quercifolius*, *Croton heliotropiifolius*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Mimosa tenuiflora* e *Poincianella bracteosa*. Essas espécies representam 91,6% da densidade total da área em estudo, considerando que um indivíduo corresponde a um fuste que pode ser proveniente de rebrotas ou bifurcações abaixo de 0,30 m de altura. As nomenclaturas seguem o padrão sugerido pelo Angiosperm Phylogeny Group III (APG III, 2009)

Myracrodruon urundeuva estava na quarta posição de maior valor de importância e tinha uma densidade de 101,3 ind.ha⁻¹, mas não foi incluída nas análises por se tratar de uma espécie que consta na lista oficial da Flora Brasileira ameaçadas de extinção, sendo o corte proibido.

Tabela 1 – Inventário fitossociológico no ano de 2013 em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil

Nome científico	Nome vulgar	DA* (ind./ha)	DR (%)	DoA (m ² /ha)	DoR (%)	FA (%)	FR (%)	VC (%)	VI (%)
<i>Poincianella bracteosa</i> (Tul.) L.P.Queiroz	Catingueira	1989,4	57,98	2,9461	50,5	100,0	11,6	108,4	120,0
<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart. ex Benth.	Jurema de embira	380,6	11,09	0,3548	6,1	95,0	11,0	17,2	28,2
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	Pereiro	301,9	8,80	0,4374	7,5	62,5	7,2	16,3	23,5
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Aroeira	101,3	2,95	0,4577	7,8	70,0	8,1	10,8	18,9
<i>Cnidoscopus quercifolius</i> Pohl	Faveleira	90,6	2,64	0,4087	7,0	65,0	7,5	9,6	17,2
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Griseb.) Altschul	Angico	79,4	2,31	0,2843	4,9	57,5	6,6	7,2	13,8
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	Mororó	130,6	3,81	0,0624	1,1	65,0	7,5	4,9	12,4
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Jurema preta	70,6	2,06	0,2237	3,8	42,5	4,9	5,9	10,8
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett	Imburana de cambão	25,0	0,73	0,2457	4,2	35,0	4,0	4,9	9,0
<i>Croton heliotropiifolius</i> Kunth	Quebra-faca	100,6	2,93	0,0480	0,8	45,0	5,2	3,8	9,0
<i>Manihot carthaginensis</i> subsp. <i>glaziovii</i> (Müll.Arg.) Allem	Maniçoba	28,1	0,82	0,0708	1,2	42,5	4,9	2,0	6,9
<i>Jatropha molissima</i> (Pohl) Baill.	Pinhão bravo	27,5	0,80	0,0164	0,3	47,5	5,5	1,1	6,6
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Jurema branca	46,9	1,37	0,0630	1,1	35,0	4,0	2,4	6,5
<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	Baraúna	11,9	0,35	0,0717	1,2	27,5	3,2	1,6	4,8
<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	Burra leiteira	11,3	0,33	0,0719	1,2	22,5	2,6	1,6	4,2
<i>Combretum glaucocarpum</i> (L.) Morong	Sipaúba	13,8	0,40	0,0066	0,1	20,0	2,3	0,5	2,8
<i>Spondias tuberosa</i> Arruda	Umbuzeiro	4,4	0,13	0,0435	0,7	2,5	0,3	0,9	1,2
<i>Senna macranthera</i> (DC. ex Collad.) H.S.Irwin & Barneby	Pau de besouro	3,8	0,11	0,0051	0,1	7,5	0,9	0,2	1,1
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	Pau ferro	1,9	0,05	0,0078	0,1	5,0	0,6	0,2	0,8
<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J.Presl	Feijão bravo	2,5	0,07	0,0054	0,1	5,0	0,6	0,2	0,7
<i>Erythrostemon calycina</i> (Benth.) L.P.Queiroz	Calicina	3,1	0,09	0,0017	0,0	5,0	0,6	0,1	0,7
<i>Cnidoscopus bahianus</i> (Ule) Pax & K.Hoffm.	Faveleira brava	5,0	0,15	0,0063	0,1	2,5	0,3	0,3	0,5
<i>Ximenia americana</i> L.	Ameixa	0,6	0,02	0,0002	0,0	2,5	0,3	0,0	0,3
Não identificada	-	0,6	0,02	0,0002	0,0	2,5	0,3	0,0	0,3
TOTAL	-	3431,3	100,0	5,8	100,0	865,0	100,0	200,0	300,0

Em que: DA = densidade absoluta; DR = densidade relativa; DoA = dominância absoluta; DoR = dominância relativa; FA = frequência absoluta; FR = frequência relativa; VC = valor de cobertura; VI = valor de importância.

REFERÊNCIAS

- ABREU, J. C. **Modelagem de biomassa e de nutrientes de espécies da caatinga no município de Floresta-PE**. 2012. 111f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2012.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). **Sistema de Geoinformação Hidrometeorológico de Pernambuco**. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/sighpe/>. Acesso em: 20 ago. 2016.
- ALBUQUERQUE, U. P. et al. Caatinga revisited: Ecology and Conservation of an Important Seasonal Dry Forest. **The Scientific World Journal**, 2012. 18 p.
- ALBUQUERQUE, E. R. G. M. et al. Root biomass under stem bases and at different distances from trees. **Journal of Arid Environments**, n. 116, p. 82-88, 2015.
- ALVES JUNIOR, F. T. **Estrutura, biomassa e volumetria de uma área de Caatinga, Floresta-PE**. 2010. 151f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010.
- ALVES; A. R. **Quantificação de biomassa e ciclagem de nutrientes em áreas de vegetação de caatinga no município de Floresta, Pernambuco**. 2011. 116 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustiva-arbórea de uma área de caatinga do Sériado, RN, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, São Paulo-SP, v. 19, n. 3, p. 615-623, 2005.
- ANDRADE-LIMA, D. A. The caatinga dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo-SP, v. 4, n. 1, p. 149-153, 1981.
- ANDRADE-LIMA, D. Estudos Fitogeográficos de Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife-PE, v. 4, p. 243-274, 2007.
- ANDRADE, W. M. et al. Influência da precipitação na abundância de populações de plantas da Caatinga. **Revista de Geografia**, Recife, PE, v. 26, n. 2, p. 161-184, 2009.
- ANGELOTTI, F., SIGNOR, D., GIONGO, V. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Experiências e Oportunidades para o Desenvolvimento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, v. 08, n. 4, p. 484-495, 2015.

APG III - ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP III. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v.161, p.105-121, 2009.

ARAÚJO, E. L. Estresse abióticos e bióticos como forças modeladoras da dinâmica de populações vegetais da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO L. G.; CAVALCANTI, U. M. T. (Eds.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: Imprensa Universitária da UFRPE, 2005a. p. 50-64.

ARAÚJO, A. G. **Comparação entre métodos univariados e multivariados na seleção de variáveis independentes, na construção de tabelas volumétricas para *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit**. 2005b. 91f. Dissertação (Mestrado em Biometria) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005.

AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M. **Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra**. Documentos, n. 73. Colombo: Embrapa Florestas, 2002.

BRASIL, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, 25 mai. 2012.

CABRAL, G. A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. Estrutura espacial e biomassa da parte aérea em diferentes estádios sucessionais de caatinga, em Santa Terezinha, Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, v. 6, n. 3, p. 566-574, 2013.

CAMPOS, M. T. **Aprendendo sobre serviços ambientais**. Ecosystem Marketplace. 2009. 35p. Disponível em: http://www.katoombagroup.org/documents/events/event33/Aprendendo_sobre_Servicios_Ambientais.pdf. Acesso em: 10 out. 2016.

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

CHAMBERS, J. Q. et al. Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon. **Oecologia**, n. 122, p. 380-388, 2000.

CHAMBERS, J. Q. et al. Carbon sink for a century. **Nature**, v. 410, p. 429, 2001.

COSTA, T. L. et al. Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. **Plant and Soil**, v. 378, p.113-123, 2014.

CPRH - AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Instrução Normativa CPRH Nº 007/2006**. Disciplina os procedimentos da CPRH referentes à aprovação da localização da Reserva Legal em propriedades e posses rurais; à autorização para supressão de vegetação e intervenção em Áreas de Preservação Permanente e à autorização para o desenvolvimento das atividades florestais no Estado de Pernambuco. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/IN%20007%202006;140606;20100420.pdf> Acesso em: 29 abr. 2015.

CRUZ, S. R. S. **Mercado de carbono em aterros sanitários como instrumento para a inovação em serviços públicos**. 2012. 176f. Dissertação (Mestrado em Geociências) Universidade Estadual de Campinas, 2012.

EAMUS, D.; McGUINNESS, K.; BURROWS, W. **Review of Allometric Relationships for Estimating Woody Biomass for Queensland, the Northern Territory and Western Australia**. Australian Greenhouse Office, n. 5, 2000. Disponível em: <http://www.fullcam.com/FullCAMServer/Help/reps/TR5A%20Review%20of%20Allometric%20Relationships%20for%20Estimating%20Woody%20Biomass%20for%20Queensland,%20the%20Northern%20Territory%20and%20Western%20Australia.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2016.

ELOY, L., COUDEL, E., TONI, F. Implementando Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil: caminhos para uma reflexão críticas. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v. 4, n. 1, p. 21-42, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011.

FERRAZ, J. S. F **Análise da vegetação de Caatinga arbustivo-arbórea em Floresta, PE, como subsidio ao manejo florestal**. 2012.134f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2012.

FINGER, C. A. G. **Biometria Florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 2006.

FRANCELINO, M. R. et al. Contribuição da Caatinga na sustentabilidade de projetos de assentamentos no Sertão Norte-Rio-Grandense. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 1, p. 79 -86, 2003.

GARIGLIO, M. A. et al. (Eds.) **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro/MMA, 2010.

GARIGLIO, M. A.; BARCELLOS, N. D. E. Manejo florestal sustentável em assentamentos rurais na Caatinga – estudo de caso na Paraíba e Pernambuco. In: GARIGLIO, M. A. et al.

(Org.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro/MMA, 2010. p. 116-127.

GATTO, A. et al. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 4, p. 895-905, 2011.

GIULIETTI, A. M. et al. Vegetação: áreas e ações prioritárias para a conservação da Caatinga. In: SILVA, J. M. C. et al. (Org.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 113-131.

GOMES, M. J. S. et al. Geração de renda e o manejo florestal em assentamentos de Pernambuco. **Revista de Política Agrícola**, Brasília-DF, v. 22, n. 4, p.56 - 66, 2013.

GONZALEZ, P.; KROLL, B. VARGAS, C. R. Tropical rainforest biodiversity and aboveground carbon changes and uncertainties in the Selva Central, Peru. **Forest Ecology and Management**, v. 312, p. 78–9, 2014.

GOULART, R. C. **Mercado voluntário de carbono no Brasil: um estudo exploratório**. 2013. 146f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal da Bahia, 2013.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE RELAÇÕES COM INVESTIDORES (IBRI). **O Mercado de Carbono**. Cadernos IBRI: Série Sustentabilidade. 1. ed. 2009. Disponível em: <http://www.ibri.com.br/download/publicacoes/IBRI_Caderno_1.pdf>. Acesso em: 17 de mai. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade**. Brasília: CPTEC/INPE, 2007.

INTERGOVERNMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: Synthesis Report Summary**. Valencia, Spain, 2007.

INTERGOVERNMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **About IPCC**. Disponível em: https://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/factsheets/FS_what_ipcc.pdf. Acesso em: 30 set. 2016.

KAUFFMAN, J. B. et al. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. **Ecology**, v. 74, n.1, p. 140-151, 1993.

LEAL, I. R. et al. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, p. 139-146, 2005.

LIMA, R. B. **Distribuição diamétrica e volumetria em vegetação de caatinga arbustiva-arbórea, Floresta-PE**. 2014. 138f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014.

MARQUES, M. W. C. F.; PAREYN, F. G. C.; FIGUEIREDO, M. A. B. A composição de renda e a contribuição do manejo florestal em dois projetos de assentamento no Sertão de Pernambuco. **Revista Econômica do Nordeste**, v.42, n. 2, p. 247 -258, 2011.

MAY, P. H. Mecanismos de mercado para uma economia verde. **Política Ambiental**, n.8, p. 170-177, 2011.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Agricultura sustentável no semiárido nordestino. In OLIVEIRA, T. S. et al. (Eds.). **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, p. 20-46.

MENEZES, R. S. C. et al. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 3, p. 643-653, 2012.

MEUNIER, I. M. J. **Análises de sustentabilidade de planos de manejo florestal em Pernambuco**. 2014. 127f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Island Press, Washington, DC, 2005, 137 p. Disponível em: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>. Acesso em 17 mai. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica: Lições aprendidas e desafios**. Série Biodiversidade, n. 42, Brasília, 2011, 272 p. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/202/_arquivos/psa_na_mata_atlantica_licoes_aprendidas_e_desafios_202.pdf. Acesso em: 02 de mar. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Efeito estufa e aquecimento global**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global>. Acesso em: 01 de nov. de 2016a.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima** (UNFCCC). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas>. Acesso em: 01 de nov. de 2016b.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **Estimativas anuais de emissões de gases do efeito estufa no Brasil**. 2ª ed. Brasília-DF. 2014.

MURADIAN, R. et al. Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological Economics**, n. 69, p. 1202–1208, 2010.

NOVAES, R. M. L. Monitoramento em programas e políticas de pagamentos por serviços ambientais em atividade no Brasil. **Estudos Sociedade e Agricultura**, Rio de Janeiro-RJ, v. 22, n. 2, p. 408-431. 2014.

PAGIOLA, S.; PLATAIS, G. **Payments for Environmental Services: From Theory to Practice**. Washington: World Bank, 2007.

PAGIOLA, S., GLEHN, H. C., TAFFARELLO, D. **Brazil's Experience with Payments for Environmental Services**. Latin America and Caribbean Sustainable Development Department, Washington: World Bank, 2013.

PAIVA, D. S.; GOULART, R. C.; ANDRADE, J. C. Estrutura e Funcionamento do Mercado Brasileiro de Voluntários de Carbono. **Anais do VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. Rio de Janeiro-RJ, p. 1 – 21, 2012.

PAREYN, F. G. C. Os recursos florestais nativos e a sua gestão no estado de Pernambuco: o papel do manejo florestal sustentável. In: GARIGLIO, M. A. et al. (Org.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro/MMA, 2010. p. 99-115.

PARRON, L. M. et al. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

PERNAMBUCO, Lei 14.249, de 17 de dezembro de 2010. Dispõe sobre licenciamento ambiental, infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial [de Pernambuco]**, Recife, 17 dez. 2012. Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/legislacao/leis/leis_estaduais/39804%3B65468%3B141010%3B0%3B0.asp. Acesso em: 25/04/2016.

PIMENTEL, D. J. et al. Análise de rentabilidade de manejo florestal sustentável no assentamento Catolé, em Serra Talhada-PE. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**. v. 3, n.1, p.42-49, 2016.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; CARDOSO, J. M. S. (Ed.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. p. 3-74.

REZENDE, J. L. P; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 2. ed., Viçosa: Editora UFV, 2001.

RIBEIRO, S. C. **Quantificação do estoque de biomassa e análise econômica da implementação de projetos visando a geração de créditos de carbono em pastagem, capoeira e floresta primária**. 2007. 128f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal Rural de Viçosa, 2007.

SAMPAIO, E. V. S. B. et al. Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima em Serra Talhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.5, p.621-632, 1998.

SAMPAIO, E. V. S. B. Uso das plantas da caatinga. In: SAMPAIO, E. V. S. B. et al. (Orgs.). **Vegetação e Flora da Caatinga**. Recife: APNE/ CNIP, 2002, p. 49 – 90.

SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. In: SALES, V. C. (Org.). **Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2003. p. 129-142.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA, G. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. **Acta Botânica Brasílica**. v. 4, n.19, p. 935-943, 2005.

SAMPAIO, E. V. S. B.; FREITAS, A. D. S. Produção de biomassa na vegetação nativa do semi-árido nordestino. In: MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. (Orgs.). **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2008. v. 1, p. 11-26.

SAMPAIO, E. V. S. Características e potencialidades. In: GARIGLIO, M. A. et al. (Orgs.) **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 29-42.

SAMPAIO, E. V. S. B. et al. Tree biomass estimation in regenerating areas of tropical dry vegetation in northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 259, p.1135–1140, 2010.

SAMPAIO, E. V. S.; COSTA, T. L. Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordeste: Estimativas Preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, v. 6, p. 1275-1291, 2011.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R; ZILLIOTTO, M. A. (Orgs.) **Fixação de Carbono: Atualidades, projetos e pesquisas**, Curitiba, 2004. p. 77-94.

SANTOS, R. F.; VIVAN, J. L. **Pagamento por Serviços Ecossistêmicos em perspectiva comparada: recomendações para tomada de decisão**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2012. Disponível em: http://sectordialogues.org/sites/default/files/mmaa_-_publicacao_-_4_conv.pdf. Acesso em: 22 fev. 2016.

SCHNEIDER, P. R; SCHNEIDER, P. S. P; SOUZA, C. A. M. S. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**, 2.ed. Santa Maria: UFSM/FACOS, 2009.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal: Modelos de Regressão linear e não linear**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005.

SILVA, G. C. **Relações alométricas de dez espécies vegetais e estimativas de biomassas aéreas da caatinga**. 1998. 163 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1998.

SILVA, I. P.; SILVA, J. A. A. **Métodos estatísticos aplicados à pesquisa científica: uma abordagem para profissionais da pesquisa agropecuária**. Recife: UFRPE, 2001.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALEVERDE, S. R. **Economia florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2005.

SILVA, G. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomassas de partes aéreas em plantas da caatinga. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 32, n. 3, p. 567-575, 2008.

SILVA, J. P. F.; SOARES, D. G.; PAREYN, F. G. C. Manejo florestal da Caatinga: uma alternativa de desenvolvimento sustentável em projetos de assentamento rurais do semi-árido em Pernambuco. **Estatística Florestal da Caatinga**, Natal-RN, v. 1, p.6-17, 2008.

SOMOGYI, Z. et al. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. **European Journal of Forest Research**, v. 126, n. 2, p. 197-207, 2006.

SOUZA, A. R. **Perfil do mercado de carbono no Brasil: análise comparativa entre os mercados regulado e voluntário**. 2011. 177 f. Dissertação (Mestrado profissional em Administração) - Universidade Federal da Bahia, 2011.

SOUZA, A. L. et al. O mercado internacional de créditos de carbono: Estudo comparativo entre as vertentes regulada e voluntária no Brasil no período de 2004 a 2011. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v.7, n. 4, p. 526-544, 2012.

SOUZA, J. S. et al. Estimação de biomassa aérea da caatinga do norte da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo-PR, v. 33, n. 76, p. 355-368, 2013.

TELESFORO, A. C. O. et al. Análise das Contribuições dos Projetos do Mercado de Carbono para o Desenvolvimento Sustentável do Semiárido Brasileiro. **Revista Interdisciplinar de Gestão Social**, v. 3, n. 2, p. 243-261, 2014.

TIESSSEN, H. et al. P. Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forests. **Climatic Change**, v. 40, p.105-117, 1998.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Paris Agreement**. Disponível em: <http://newsroom.unfccc.int/paris-agreement/>. Acesso em: 30 set. 2016.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B; PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões propostas para o Bioma Caatinga**. Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental: The Nature Conservancy do Brasil, 2002. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/203/_arquivos/ecorregioes_site_203.pdf. Acesso em: 26 de mai. 2014.

WUNDER, S. **Payments for environmental services: some nuts and bolts**. Indonésia: CIFOR, Occasional Paper, n. 42, 2005. Disponível em: http://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-42.pdf. Acesso em: 12 set. 2016.

CAPÍTULO 1: ESTOQUES E EQUAÇÕES DE BIOMASSA DE ESPÉCIES ARBUSTIVO-ARBÓREAS DA CAATINGA

1. INTRODUÇÃO

A quantificação da biomassa de um indivíduo arbustivo-arbóreo, de uma espécie arbustivo-arbórea ou de um ecossistema florestal pode ser feita por meio de métodos diretos ou indiretos. Basicamente, o método direto implica no corte e na pesagem de todos os compartimentos (raízes, fuste, galhos e folhas) dos indivíduos existentes em uma determinada área, dependendo do nível de amostragem que se quer alcançar. Apesar de apresentar resultados mais robustos, os custos, o tempo, o tamanho da área, a diversidade de espécies e a não possibilidade de corte da maioria das tipologias vegetacionais, devido a legislação brasileira, acabam dificultando a prática desse método.

Já os métodos indiretos, baseado em equações matemáticas (análise de regressão), tornam-se alternativa confiável e robusta para a estimativa da biomassa, apesar da determinação direta ser necessária no primeiro momento para o ajuste das equações. Ao utilizar esse método o nível de abrangência das estimativas aumenta, diminuindo os custos financeiros de obtenção da biomassa arbustivo-arbórea de uma área. De modo geral, os ajustes dos modelos podem ser realizados para cada compartimento (raiz, folha, galho ou fuste) ou de todo o conjunto, dependendo do nível de informações que se quer obter. As equações matemáticas escolhidas devem levar em consideração o local onde foram desenvolvidas, espécies incluídas, nível de amostragem considerado, classes de tamanho e idade, erros sujeitos pelas estimativas, entre outros (SOMOGY et al., 2006).

As estimativas de biomassa dos ecossistemas são informações imprescindíveis nas questões ligadas às áreas de manejo florestal e do clima, sendo um instrumento útil na avaliação da ciclagem de nutrientes, absorção e armazenagem de carbono, por exemplo (HIGUCHI et al., 1998). O importante é avaliar a produção e distribuição de biomassa das espécies arbustivo-arbóreas de uso múltiplo, visando aumentar a disponibilidade de madeira e forragem em uma determinada região, possibilitando a sua exploração racional, e que contribuam com a preservação das espécies nativas (GOLLEY et al., 1978).

Para a Caatinga há trabalhos que estimam de forma direta ou indireta a biomassa da sua vegetação, tanto aérea como subterrânea (KAUFFMAN et al., 1993; TIESSEN et al., 1998; SAMPAIO et al., 1998; AMORIM, SAMPAIO e ARAÚJO et al., 2005; SAMPAIO; FREITAS, 2008; SAMPAIO, 2010; ALVES, 2011; SAMPAIO; COSTA, 2011; MENEZES et al., 2012; CABRAL, SAMPAIO e ALMEIDA-CORTEZ, 2013; COSTA et al., 2014;

ALBUQUERQUE et al., 2015). Mas são poucos os estudos que desenvolvem equações de biomassa para espécies, grupos de espécies e até mesmo para as diferentes partes das plantas nessa tipologia (SAMPAIO e SILVA, 2005; SILVA e SAMPAIO, 2008; ALVES Jr., 2010; SAMPAIO et al. 2010; FERRAZ, 2011; ABREU, 2012; SOUZA et al., 2013).

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi quantificar os estoques e ajustar equações de biomassa aérea seca para oito espécies arbustivo-arbóreas de maior densidade absoluta (indivíduos.ha⁻¹) e valor de importância (VI) em uma área de Caatinga.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido em uma área de 50 ha de Savana-Estépica Arborizada dentro da Fazenda Itapemirim, de propriedade da Agrimex Agroindustrial Excelsior S.A. localizada no município de Floresta, no estado de Pernambuco, conforme descrito na metodologia geral.

2.2 Coleta dos dados

A coleta e a determinação da biomassa de *Anadenanthera colubrina*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Bauhinia cheilantha*, *Cnidoscolus quercifolius*, *Croton heliotropiifolius*, *Mimosa ophthalmocentra*, *Mimosa tenuiflora* e *Poincianella bracteosa* foram feitas com base na estrutura encontrada nos inventários florestais e, que vem sendo aplicada em estudos nessa área, conforme Alves (2011) e Abreu (2012). Cada espécie teve indivíduos amostrados em 5 classes de circunferência a 1,30m do solo (CAP) com amplitudes de 6 cm, a partir de CAP mínima de 6 cm (Tabela 2).

Tabela 2- Número de classes e suas amplitudes de CAP utilizados nesse estudo, em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil

Classe de CAP (cm)	Amplitude (cm)
I	6,0-12,0
II	12,1-18,0
III	18,1-24,0
IV	24,1-30,0
V	> 30,0

O número de indivíduos abatidos e com a biomassa aérea total determinada foi de 15 para *A. colubrina*, *A. pyriformis*, *C. quercifolius*, *M. ophthalmocentra*, *M. tenuiflora* e *P. bracteosa* e, de 30 árvores para *B. cheilantha* e *C. heliotropiifolius*. A coleta dessas informações em campo ocorreu entre os meses de março a maio de 2014, após as primeiras chuvas para que houvesse tempo das folhas se desenvolverem em cada um dos indivíduos, já que as oito espécies são caducifólias e perdem suas folhas na estação seca.

A derrubada dos indivíduos foi realizada em um talhão próximo ao das parcelas permanentes, descritas na metodologia geral. Esse talhão possui autorização para o corte pela Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH), via plano de manejo. A escolha dos indivíduos foi feita de forma aleatória, evitando-se plantas parcialmente cortadas, queimadas ou tombadas e na tentativa de cobrir a amplitude das classes de circunferência previstas na Tabela 2.

As árvores foram derrubadas e houve a separação dos indivíduos nos seguintes compartimentos: fuste, folhas, galhos finos (CAP < 6 cm) e grossos (CAP ≥ 6 cm), e, então, a pesagem (peso úmido em kg) com auxílio de balança digital portátil. Para cada compartimento foi retirado uma amostra aleatória e representativa, sendo essa pesada em campo (peso úmido da amostra em kg). Os pesos das amostras variaram de 0,05 até 2,0 kg. No caso dos fustes, a amostra foi representada por um pequeno torete de 20 cm de comprimento retirado a 1,30 m do solo. Também houve a cubagem rigorosa pelo método de Smalian, sendo medida a altura total (HT) e as circunferências do fuste nas seguintes alturas: 0,30; 0,50; 0,70; 0,90; 1,10; 1,30; 1,50; 1,70; 2,30 metros (m); e, daí por diante de 1,0 m em 1,0 m.

Todas as amostras úmidas foram etiquetadas e levadas ao Laboratório de Dendrologia do Departamento de Engenharia Florestal da UFRPE, onde houve a secagem em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 70° C até a estabilização do peso seco (peso seco da amostra em kg).

A determinação da biomassa seca de cada componente da parte aérea dos indivíduos arbustivo-arbóreos amostrados foi obtida pela seguinte expressão:

$$BS = \frac{Pu_c * Ps_a}{Pu_a} \quad (01)$$

Em que: BS = biomassa total seca acima do solo (kg); Pu_c = peso úmido total no campo (kg); Ps_a = peso seco da amostra (kg); Pu_a = peso úmido da amostra (kg).

2.3 Ajuste de equações de biomassa aérea seca

Para o ajuste dos modelos matemáticos para as oito espécies em análise foram utilizadas as informações de biomassa total seca acima do solo como variável dependente e as variáveis independentes foram o diâmetro a altura do peito (DAP_i em cm) e a altura total (HT_i em m) de cada indivíduo por espécie analisada.

O banco de dados inicial para o ajuste das equações foi formado pelos dados dos indivíduos arbustivo-arbóreos coletados e citados no item anterior, somadas com as informações de biomassa total seca acima do solo, diâmetro e altura disponibilizados nos estudos de Alves (2011) e Abreu (2012) e que foram coletados seguindo a mesma metodologia e espécies em áreas adjacentes a deste estudo (Tabela 3).

Tabela 3 – Número de árvores por espécie disponibilizadas para o ajuste das equações de biomassa total seca acima do solo em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil

Espécie	Indivíduos presente estudo	Indivíduos por Alves (2011)	Indivíduos por Abreu (2012)	Total
<i>A. colubrina</i>	15	15	5	35
<i>A. pyrifolium</i>	15	15	5	35
<i>B. cheilantha</i>	30	-	-	30
<i>C. quercifolius</i>	15	15	5	35
<i>C. heliotropiifolius</i>	30	-	-	30
<i>M. ophthalmocentra</i>	15	15	5	35
<i>M. tenuiflora</i>	15	-	-	15
<i>P. bracteosa</i>	15	15	5	35
TOTAL	150	75	25	250

Após uma análise do banco de dados da Tabela 3 foram retiradas 5 árvores amostras para o ajuste das equações das espécies *A. colubrina*, *A. pyrifolium*, *C. quercifolius*, *M. ophthalmocentra* e *P. bracteosa*, consideradas com valores extremos (“outliers”), provavelmente devido a algum erro amostral. No total, para o ajuste das equações foram utilizados 30 pares de dados para cada uma das espécies, com exceção de *M. tenuiflora* que foram apenas 15 pares. No ajuste das equações para todas as espécies foram utilizados 225 pares de dados.

Na Tabela 4 estão apresentados os modelos lineares e não lineares testados para a obtenção da biomassa total seca acima do solo para cada uma das espécies estudadas.

Para a análise de regressão foram testadas as seguintes condicionantes, como citado por Schneider, Schneider e Souza (2009): homogeneidade da variância, normalidade e independência dos resíduos com os Testes de Bartlett, Shapiro-Wilk e Durbin-Watson, respectivamente.

Na seleção da melhor equação para cada uma das espécies se utilizaram os tradicionais critérios estatísticos, conforme Schneider, Schneider e Souza (2009): coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), erro padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$), análise gráfica da distribuição dos resíduos ($\hat{E}_i\%$) e o Índice de Furnival (%) corrigido por Silva e Bailey (1991) para que fosse possível a comparação entre equações com as variáveis dependentes de diferentes naturezas.

Tabela 4 – Modelos matemáticos testados para obtenção de equações de biomassa total seca acima do solo para oito espécies em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil

Nº	Modelo	Autor
1	$Y_i = \beta_0 * (DAP_i^{\beta_1}) * (HT_i^{\beta_2}) + \varepsilon_i$	Shumacher-Hall
2	$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 * \ln(DAP_i) + \beta_2 * \ln(HT_i) + \varepsilon_i$	Shumacher-Hall (linear)
3	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 * (DAP_i^2 * HT_i) + \varepsilon_i$	Spurr
4	$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 * \ln(DAP_i^2 * HT_i) + \varepsilon_i$	Spurr (linear)
5	$Y_i = \beta_0 * [1 - \exp(-\beta_1 * DAP_i)]^{\beta_2} + \varepsilon_i$	Chapman-Richards
6	$Y_i = \beta_0 * (DAP_i)^{\beta_1} + \varepsilon_i$	Potência
7	$Y_i = \beta_0 * (DAP_i^2)^{\beta_1} + \varepsilon_i$	Potência
8	$Y_i = \beta_0 * (DAP_i^2 * HT_i)^{\beta_1} + \varepsilon_i$	Potência

Em que: Y_i = massa total seca acima do solo (kg); β_0, β_1 e β_2 = parâmetros dos modelos; DAP = diâmetro a altura do peito (cm); HT = altura total (m) e ε_i = erro aleatório.

O coeficiente de determinação expressa a quantidade da variação total explicada pela regressão, quanto maior o seu valor, melhor será a equação. Já o Índice de Furnival corrigido dá uma ideia da dispersão entre os valores observados e estimados, logo, quanto menor, melhor será a equação (SCHNEIDER; SCHNEIDER; SOUZA, 2009),

Todas as análises dos dados foram feitas por meio dos softwares IBM SPSS 20.0, SAS 9.0 e Microsoft Excel (2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Biomassa aérea seca

Na Tabela 5 é possível observar que não foram encontrados o mesmo número de indivíduos em toda as classes de CAP (cm) para *A. pyrifolium*, *B. cheilantha*, *C. heliotropiifolius*, *M. ophthalmocentra* e *P. bracteosa*. Ao analisar as informações das 40 parcelas permanentes durante os cinco anos de medição verificou-se que *B. cheilantha* e

C. heliotropiifolius apresentaram CAP máxima de 14 e 13 cm, respectivamente. Já *A. pyriformium* e *M. ophthalmocentra* tiveram apenas cinco indivíduos com mais de 30 cm de CAP. Como a amostragem tende a ser representativa do todo, fica evidente a dificuldade em encontrar indivíduos dessas espécies em todas as classes analisadas.

Tabela 5- Número de indivíduos amostrados por classe de CAP (cm) para oito espécies em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil

Espécie	Número de indivíduos por classe de CAP (cm)					TOTAL
	I	II	III	IV	V	
<i>A. colubrina</i>	3	3	3	3	3	15
<i>A. pyriformium</i>	3	3	4	4	1	15
<i>B. cheilantha</i>	29	1	-	-	-	30
<i>C. quercifolius</i>	3	3	3	3	3	15
<i>C. heliotropiifolius</i>	30	-	-	-	-	30
<i>M. ophthalmocentra</i>	3	3	3	4	2	15
<i>M. tenuiflora</i>	3	3	3	3	3	15
<i>P. bracteosa</i>	3	3	3	3	3	15
TOTAL	77	19	19	21	14	150

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados das estatísticas descritivas apenas dos 15 indivíduos abatidos para *A. colubrina*, *A. pyriformium*, *C. quercifolius*, *M. ophthalmocentra*, *M. tenuiflora* e *P. bracteosa* e, dos 30 indivíduos de *B. cheilantha* e *C. heliotropiifolius* neste estudo, sem considerar as informações de biomassa aérea seca de Alves (2011) e Abreu (2012).

A menor CAP registrada foi de 6,0 cm (classe I) para *B. cheilantha* e *C. heliotropiifolius* e a máxima de 45,0 cm (classe de V) para *A. colubrina*. A altura mínima registrada foi de 2,2 m para *C. heliotropiifolius* e de 7,9 m para *C. quercifolius* e *M. ophthalmocentra* (Tabela 6).

A biomassa média dos fustes aumentou com o aumento das classes. A maior variação foi de *A. colubrina*, que chegou a 17 vezes (1,2 a 20,9 kg) e, também, apresentou o indivíduo com a maior biomassa de fuste (32,7 kg). *B. cheilantha* apresentou o menor valor médio e mínimo com, respectivamente, 0,7 e 0,3 kg (classe I) (Tabela 6).

Para a biomassa média dos galhos grossos também houve aumento no decorrer das classes, com exceção de *C. quercifolius*. Na classe I a maioria das espécies apresentou indivíduos sem a presença de galhos grossos, sendo que o peso máximo encontrado foi de 55,7 kg para *P. bracteosa* (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores médios de CAP (cm), altura (m), biomassa dos compartimentos (fuste, galhos grossos, galhos finos e folhas) e biomassa total (kg) por classe de circunferência dos indivíduos cortados para cada uma das oito espécies em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil

Espécies	CAP (cm)																			
	I (6-12,0 cm)				II (12,1-18,0 cm)				III (18,1-24,0 cm)				IV (24,1-30,0 cm)				V (>30,0 cm)			
	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.
<i>A. colubrina</i>	8,6	8,0	9,8	12,1	15,3	13,0	17,0	13,6	20,3	18,5	23,0	11,6	26,6	24,2	30,0	11,5	35,8	30,5	45,0	22,3
<i>A. pyrifolium</i>	9,5	8,5	10,5	14,9	13,9	10,5	16,5	18,0	17,8	8,5	22,0	35,2	26,6	25,0	29,0	6,8	30,2	-	-	-
<i>B. cheilantha</i>	7,3	6,0	12,0	21,3	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. quercifolius</i>	11,1	8,0	16,0	33,3	16,0	15,0	17,0	8,8	20,8	18,5	24,0	13,6	27,3	26,0	29,0	5,6	32,2	30,5	34,0	5,5
<i>C. heliotropiifolius</i>	7,8	6,0	12,0	18,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>M. ophthalmocentra</i>	9,2	7,5	11,0	19,2	13,5	13,0	14,5	6,4	20,5	19,0	22,5	8,8	26,2	26,0	26,5	4,6	31,6	30,5	34,0	6,5
<i>M. tenuiflora</i>	9,0	7,0	10,0	19,2	15,3	14,5	17,0	9,5	22,2	20,5	24,0	7,9	26,5	25,0	28,5	6,8	33,2	30,1	39,0	15,1
<i>P. bracteosa</i>	10,7	10,0	11,0	5,4	13,5	13,0	14,5	6,4	21,2	19,5	24,0	11,7	26,5	25,0	29,0	6,5	38,3	33,5	43,0	12,4
Espécies	ALTURA (m)																			
	I (6-12,0 cm)				II (12,1-18,0 cm)				III (18,1-24,0 cm)				IV (24,1-30,0 cm)				V (>30,0 cm)			
	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.
<i>A. colubrina</i>	3,9	3,8	4,1	4,4	5,3	4,6	6,6	21,3	5,5	5,0	6,0	9,1	6,2	5,5	6,6	9,5	6,5	4,6	7,5	25,2
<i>A. pyrifolium</i>	3,2	2,8	3,6	17,7	3,9	3,7	4,2	5,9	4,4	2,3	5,5	33,2	4,9	3,9	5,8	14,2	4,4	-	-	-
<i>B. cheilantha</i>	3,5	2,5	4,9	15,7	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. quercifolius</i>	3,8	3,1	4,8	19,1	4,6	4,4	4,7	4,7	5,5	4,2	6,4	21,2	6,1	5,5	6,5	8,5	6,5	5,6	7,9	18,7
<i>C. heliotropiifolius</i>	3,5	2,2	5,2	17,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>M. ophthalmocentra</i>	3,5	2,5	4,3	26,2	4,4	3,9	4,8	10,4	4,6	4,2	5,0	8,8	4,5	4,2	5,2	15,0	5,4	5,6	7,9	14,7
<i>M. tenuiflora</i>	3,6	3,4	3,7	4,4	3,8	3,3	4,4	16,3	4,9	4,8	5,0	2,3	4,7	4,3	5,3	11,8	5,3	4,5	6,2	15,8
<i>P. bracteosa</i>	3,6	3,0	4,1	15,5	3,9	3,4	4,2	11,2	4,9	4,5	5,5	10,8	5,5	4,3	6,0	15,1	6,5	5,4	7,5	16,3

Continua...

Tabela 6 - Valores médios de CAP (cm), altura (m), biomassa dos compartimentos (fuste, galhos grossos, galhos finos e folhas) e biomassa total (kg) por classe de circunferência dos indivíduos cortados para cada uma das oito espécies em uma área uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil

BIOMASSA FUSTE (kg)																				
	I (6-12,0 cm)				II (12,1-18,0 cm)				III (18,1-24,0 cm)				IV (24,1-30,0 cm)				V (>30,0 cm)			
Espécies	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.
<i>A. colubrina</i>	1,2	0,9	1,7	36,8	4,7	3,0	6,5	37,8	6,9	5,8	8,8	23,5	10,5	7,7	13,0	25,3	20,9	11,3	32,7	51,9
<i>A. pyrifolium</i>	1,1	1,1	1,1	0,7	2,4	1,5	3,6	37,7	4,6	0,9	6,4	54,9	9,1	6,0	17,0	50,7	8,4	-	-	-
<i>B. cheilantha</i>	0,7	0,3	1,8	53,8	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. quercifolius</i>	1,2	0,6	2,0	50,6	2,9	2,9	2,9	0,3	5,2	2,5	9,0	66,0	8,6	6,8	10,2	19,9	11,4	8,7	14,1	24,0
<i>C. heliotropiifolius</i>	1,1	0,6	2,3	41,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>M. ophthalmocentra</i>	1,3	0,8	1,8	35,9	3,1	2,9	6,5	76,5	8,2	7,1	9,6	15,5	10,9	9,4	11,8	12,4	12,8	8,7	14,1	36,7
<i>M. tenuiflora</i>	1,5	0,7	2,3	53,8	3,5	2,8	5,3	41,5	9,4	9,2	9,6	2,7	10,5	8,9	12,0	15,0	14,1	11,4	17,8	23,5
<i>P. bracteosa</i>	1,6	1,1	2,3	37,4	2,8	1,9	3,5	30,3	7,1	6,4	8,4	15,8	11,1	6,4	16,3	37,8	23,4	16,6	30,1	28,9
BIOMASSA GALHOS GROSSOS (Kg)																				
	I (6-12,0 cm)				II (12,1-18,0 cm)				III (18,1-24,0 cm)				IV (24,1-30,0 cm)				V (>30,0 cm)			
Espécies	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.
<i>A. colubrina</i>	0,05	0,0	0,1	173,2	1,0	0,6	1,2	30,1	2,8	1,6	4,0	41,4	6,7	3,7	8,9	40,5	12,0	6,7	19,8	57,1
<i>A. pyrifolium</i>	0,1	0,1	0,1	41,1	0,7	0,3	1,3	69,4	1,6	0,0	2,8	77,0	6,2	2,1	15,9	90,8	9,8	-	-	-
<i>B. cheilantha</i>	0,1	0,0	1,2	241,4	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. quercifolius</i>	0,1	0,0	0,4	122,8	2,1	1,6	2,6	35,0	4,1	2,4	5,1	36,7	1,7	0,5	3,0	74,1	7,2	6,5	8,2	12,5
<i>C. heliotropiifolius</i>	0,2	0,0	1,2	178,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>M. ophthalmocentra</i>	0,2	0,0	0,6	122,1	1,3	1,0	2,8	81,1	4,1	1,8	5,4	48,4	7,8	5,2	13,0	61,9	10,0	6,5	8,2	21,6
<i>M. tenuiflora</i>	0,5	0,0	1,5	173,2	0,5	0,5	2,7	278,7	3,1	2,1	5,2	57,0	4,6	3,2	4,6	29,7	9,7	6,6	14,6	43,9
<i>P. bracteosa</i>	0,1	0,0	0,2	93,1	1,6	0,4	3,1	81,0	2,5	2,1	3,3	29,5	6,8	1,1	13,9	82,5	30,6	5,6	55,7	81,4

Continua...

Tabela 6 - Valores médios de CAP (cm), altura (m), biomassa dos compartimentos (fuste, galhos grossos, galhos finos e folhas) e biomassa total (kg) por classe de circunferência dos indivíduos cortados para cada uma das oito espécies em uma área uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil

BIOMASSA GALHOS FINOS (Kg)																				
	I (6-12,0 cm)				II (12,1-18,0 cm)				III (18,1-24,0 cm)				IV (24,1-30,0 cm)				V (>30,0 cm)			
Espécies	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.
<i>A. colubrina</i>	0,4	0,3	0,5	23,7	1,1	0,8	1,5	32,3	2,0	1,6	1,7	30,5	2,9	1,8	4,7	54,1	2,8	1,7	4,1	43,7
<i>A. pyrifolium</i>	1,1	0,7	1,4	41,9	1,8	0,9	2,9	60,4	1,4	0,9	1,8	29,9	3,9	2,0	6,0	47,6	5,8	-	-	-
<i>B. cheilantha</i>	0,6	0,2	2,1	83,7	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. quercifolius</i>	0,3	0,1	0,7	82,1	1,2	1,1	1,2	3,0	1,6	1,3	1,8	18,5	1,3	1,1	1,8	30,3	2,2	1,7	3,0	30,8
<i>C. heliotropiifolius</i>	0,7	0,2	1,6	43,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>M. ophthalmocentra</i>	1,6	1,2	2,0	26,1	4,1	4,0	9,8	97,9	5,7	4,6	6,5	17,7	10,4	9,9	12,5	14,8	10,4	10,2	10,7	3,1
<i>M. tenuiflora</i>	1,1	0,5	1,6	48,8	1,5	0,8	3,0	83,3	2,4	2,0	3,1	24,2	2,6	0,9	4,3	65,0	5,1	3,3	6,6	33,5
<i>P. bracteosa</i>	0,5	0,4	0,7	23,9	1,3	0,7	1,7	39,6	1,8	1,4	2,0	17,7	3,5	1,4	6,8	65,5	7,6	3,7	11,6	51,1
BIOMASSA FOLHAS (Kg)																				
	I (6-12,0 cm)				II (12,1-18,0 cm)				III (18,1-24,0 cm)				IV (24,1-30,0 cm)				V (>30,0 cm)			
Espécies	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.
<i>A. colubrina</i>	0,1	0,1	0,2	51,1	0,4	0,3	0,4	22,7	0,3	0,1	0,4	64,3	0,9	0,4	1,2	46,6	0,8	0,3	1,1	53,9
<i>A. pyrifolium</i>	0,3	0,1	0,5	90,9	0,2	0,03	0,4	95,0	0,2	0,2	0,3	25,2	0,4	0,2	0,9	66,3	0,5	-	-	-
<i>B. cheilantha</i>	0,1	0,004	0,3	68,8	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. quercifolius</i>	0,2	0,1	0,3	52,8	0,6	0,3	0,9	68,6	1,0	0,6	1,4	43,3	0,6	0,4	0,8	37,8	0,9	0,8	1,2	23,9
<i>C. heliotropiifolius</i>	0,1	0,005	0,2	57,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>M. ophthalmocentra</i>	0,2	0,1	0,3	75,8	0,3	0,3	0,3	5,6	0,3	0,1	0,7	88,4	0,3	0,3	0,6	55,6	0,7	0,8	1,2	22,1
<i>M. tenuiflora</i>	0,2	0,1	0,5	111,8	0,5	0,2	0,5	48,9	0,6	0,5	0,7	16,6	0,5	0,3	0,9	61,7	0,6	0,6	0,6	5,4
<i>P. bracteosa</i>	0,2	0,1	0,3	50,7	0,3	0,2	0,5	58,2	0,5	0,3	0,7	37,8	0,6	0,1	1,4	106,7	1,3	0,5	2,1	63,8

Continua...

Tabela 6 - Valores médios de CAP (cm), altura (m), biomassa dos compartimentos (fuste, galhos grossos, galhos finos e folhas) e biomassa total (kg) por classe de circunferência dos indivíduos cortados para cada uma das oito espécies em uma área uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil

Espécies	BIOMASSA TOTAL (Kg)																			
	FUSTE				G. GROSSOS				G. FINOS				FOLHAS				TOTAL			
	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.
<i>A. colubrina</i>	8,8	0,9	32,7	92,9	4,5	0,0	19,8	119,0	1,8	0,3	4,7	68,8	0,5	0,1	1,2	77,0	15,7	1,4	57,6	94,1
<i>A. pyriformium</i>	5,2	0,9	17,0	79,2	3,1	0,0	15,9	137,5	2,5	0,7	6,0	73,0	0,3	0,03	0,9	73,4	11,2	1,9	39,4	90,0
<i>B. cheilantha</i>	0,8	0,3	2,0	58,7	0,1	0,0	1,2	225,4	0,7	0,2	2,1	87,6	0,1	0,004	0,3	68,3	1,7	0,5	5,1	80,1
<i>C. quercifolius</i>	5,7	0,6	14,1	75,4	2,9	0,0	8,2	94,5	1,3	0,1	3,0	60,3	0,6	0,1	1,4	60,4	10,5	1,0	23,5	71,2
<i>C. heliotropiifolius</i>	1,1	0,6	2,3	41,4	0,2	0,0	1,2	178,3	0,7	0,2	1,6	43,1	0,1	0,005	0,2	57,0	2,1	0,9	4,4	40,4
<i>M. ophthalmocentra</i>	7,4	0,8	16,1	61,5	5,0	0,0	13,0	88,3	7,0	1,2	12,5	55,5	0,4	0,1	0,8	62,2	19,7	2,6	37,1	62,3
<i>M. tenuiflora</i>	7,9	0,7	17,8	62,6	3,8	0,0	14,6	101,4	2,6	0,5	6,6	65,1	0,5	0,1	0,9	48,6	14,9	1,3	39,7	68,2
<i>P. bracteosa</i>	8,4	1,1	30,1	93,4	6,8	0,0	55,7	207,2	2,7	0,4	11,6	109,9	0,5	0,1	2,1	111,1	18,3	1,9	99,4	134,4

Os valores mínimos e máximos de biomassa média de galhos finos foi de 0,3 kg (classe I) e 10,4 kg (classe IV e V), respectivamente, para *C. quercifolius* e *M. ophthalmocentra*. Já os pesos determinados para as folhas chegaram a variar de 0,004 a até 2,1 kg, respectivamente, para *B. cheilantha* e *P. bracteosa*.

Ao analisar a biomassa total de todas as espécies (Tabela 6), observa-se que *B. cheilantha* e *C. heliotropiifolius* apresentam indivíduos com peso máximo de até 5 kg, devido as suas próprias características de porte e dimensões, o que não reduz a importância ecológica que elas exercem dentro da Caatinga. Já espécies como *A. colubrina*, *M. ophthalmocentra* e *P. bracteosa*, apresentam valores médios superiores a 15 kg por indivíduos, chegando a até 99 kg no caso dessa última. Essa alta produção de biomassa é muito importante no equilíbrio e no armazenamento de carbono na vegetação.

Silva e Sampaio (2008) encontraram valores de biomassa média entre 3 a 63 kg em nove espécies da Caatinga com DAP entre 5 e 17,5 cm, intervalo semelhante ao do presente estudo. Isso nos mostra que em áreas de vegetação de Caatinga com características edafoclimáticas semelhantes o comportamento da biomassa apresenta similaridades, diferente de outras formações vegetais arbóreas tropicais. Produtividades maiores do que as do semiárido nordestino são obtidas em regiões com maiores disponibilidades dos fatores de crescimento, principalmente água (SAMPAIO; COSTA, 2011). Um maior grau de preservação da vegetação, bem como o estágio sucessional mais avançado também podem apresentar maiores produções de biomassa em relação a áreas menos preservadas e em estágios sucessionais iniciais (WATZLAWICK et al., 2002; MENEZES, SAMPAIO e SALCEDO et al., 2008; SAMPAIO et al., 2010).

Ao analisar as proporções médias de biomassa seca total acima do solo (%) em cada compartimento, pode-se observar que a amplitude de variação dos percentuais de biomassa dos compartimentos em relação ao todo é menor do que nos valores absolutos, mostrando que essas espécies crescem de forma proporcional, aproximadamente, e apresentam semelhança entre algumas espécies (Figura 4 e 5).

A. colubrina, *A. pyriformis*, *C. quercifolius*, *M. tenuiflora* e *P. bracteosa* apresentaram uma maior proporção de fuste em relação aos demais compartimentos em todas as classes de CAP, com exceção da classe V para *A. pyriformis* e *P. bracteosa*. Nas classes inferiores a proporção de galhos finos e folhas é maior do que de galhos grossos, mas com o aumento da CAP esse padrão se inverte. A proporção média total foi de aproximadamente 50% para fuste, entre 20 e 25% para galhos grossos, entre 15 e 25% para galhos finos e de 5% para folhas (Figura 4 e 5).

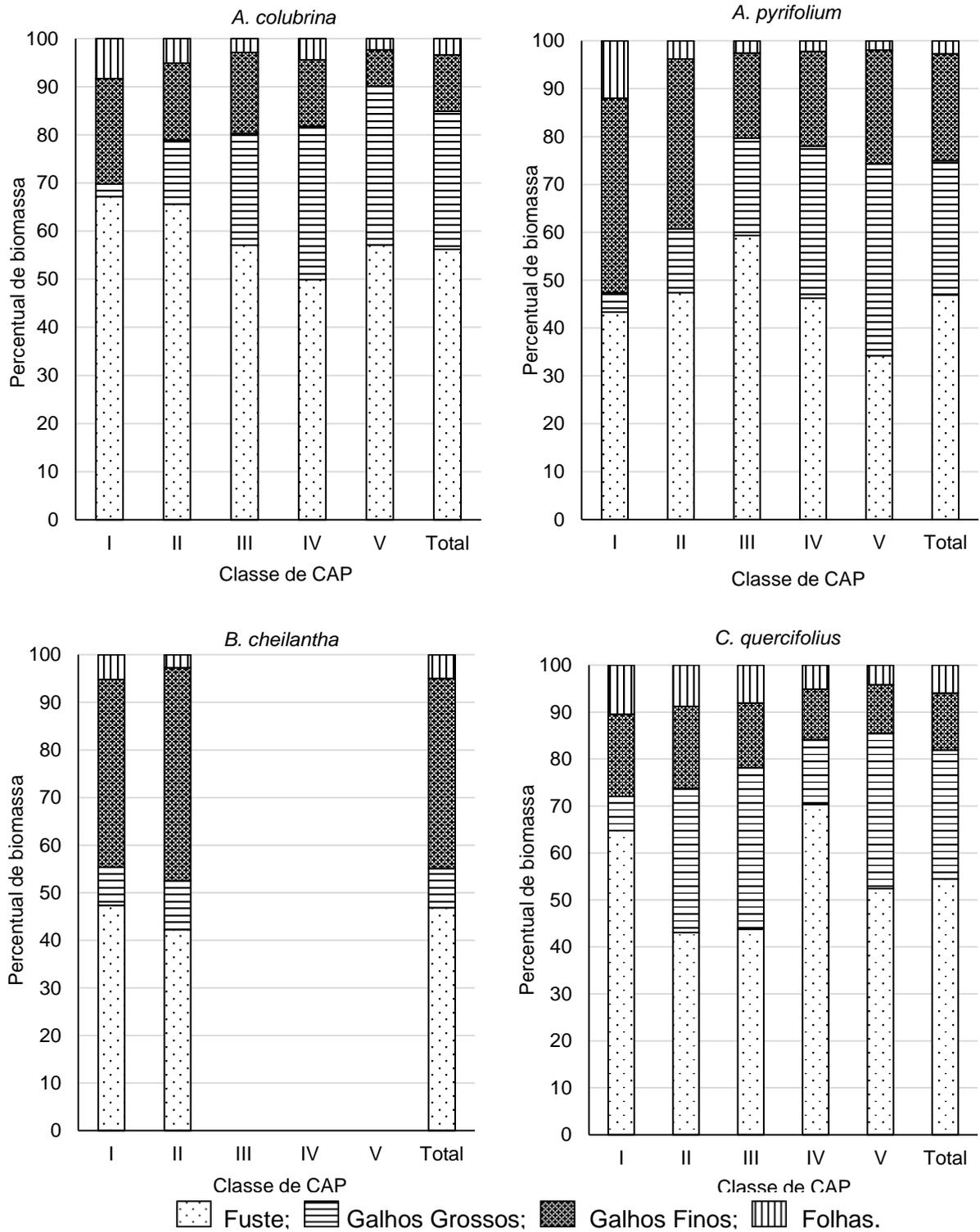


Figura 4 – Proporção de biomassa seca total acima do solo (%) em cada compartimento por classe de CAP (cm) para *A. colubrina*, *A. pyrifolium*, *B. cheilantha* e *C. quercifolius* em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil.

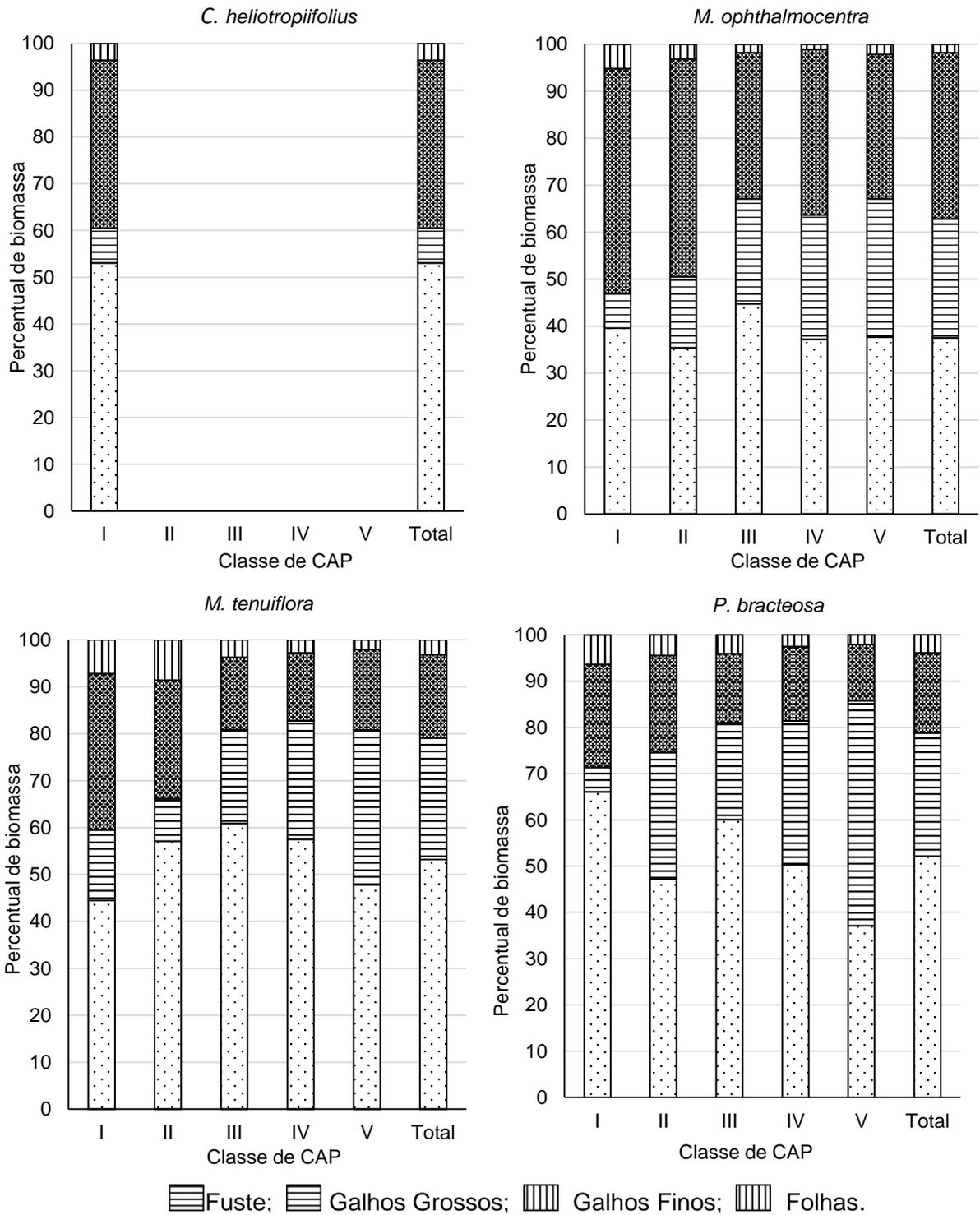


Figura 5 – Proporção de biomassa seca total acima do solo (%) em cada compartimento por classe de CAP (cm) para *C. heliotropiifolius*, *M. ophthalmocentra*, *M. tenuiflora* e *P. bracteosa* em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil.

M. ophthalmocentra apresentou padrão diferente das demais espécies (Figura 5). A proporção de biomassa de fuste não ultrapassou os 45% nas cinco classes, ficando na maioria inferior aos 40%. Os percentuais de galhos grossos aumentam e as de galhos finos e folhas diminuem no decorrer das classes, mas a proporção de galhos finos é superior à de fuste nas duas primeiras classes. Na média de biomassa total essa espécie apresenta proporções idênticas de fuste e galhos finos (38%), apenas 20% de galhos grossos e algo entorno de 3% para folhas.

B. cheilantha e *C. heliotropiifolius* são espécies arbustivo-arbóreas que não apresentaram grandes dimensões. As proporções indicam que *B. cheilantha* apresenta proporções de fuste e galhos finos muito próximas (aproximadamente 45%) e galhos grossos e folhas, não ultrapassando 10 e 5 %, respectivamente. Já *C. heliotropiifolius* a biomassa de fuste fica acima dos 50% e de galhos finos próximo a 35%, galhos grossos e folhas apresentam o mesmo padrão de *B. cheilantha* (Figura 4 e 5).

No geral, as proporções médias de biomassa seca total acima do solo (%) em cada compartimento variam devido ao padrão de crescimento de cada espécie, não sendo prudente atribuir semelhanças entre gêneros e as famílias botânicas devido a as características próprias de cada espécie, principalmente de *M. ophthalmocentra*.

Apesar disso, há alguns estudos relatados na literatura com padrão semelhante ao encontrado neste trabalho, como o de Drummond et al. (2008) que avaliaram a biomassa de *M. tenuiflora* em uma região semi-árida e encontraram uma produção de 48,3% para o tronco, 44,4% para galhos e de 6 % para folhas. Já para espécies como *Anadenanthera macrocarpa*, *Poincianella pyramidalis*, *Maytenus rigida*, *Mimosa hostilis*, *Myracrodruon urundeuva* e *Schinopsis glabra* foram encontradas proporções de 70% em caules e galhos maiores que 5 cm de diâmetro, 20% em galhos entre 1 e 5 cm, 5% em ramos < 1 cm e 5% em folhas (SILVA; SAMPAIO, 2008).

A comparação tanto dos valores absolutos como das proporções de biomassa entre diferentes espécies e/ou regiões, devem ser feitas de forma criteriosa, pois além das distintas metodologias utilizadas, outros fatores podem influenciar na produção. Para Barichello, Schumacher e Vogel (2005) o acúmulo de biomassa, além dos fatores ambientais, pode ser influenciado por fatores da própria planta, principalmente os que afetam a fotossíntese e a respiração (luminosidade, temperatura, concentração de CO₂ no ar, concentração de água, fertilidade do solo, doenças, idade, estrutura e

disposição das folhas, distribuição e comportamento dos estômatos, teor de clorofila, e acumulação de hidratos de carbono).

Os estudos sobre os estoques e taxas de produções e acúmulo de biomassa na vegetação da Caatinga são informações imprescindíveis para avaliar a capacidade de produção de lenha, o tempo de pousio da agricultura itinerante, a capacidade de sequestro de carbono e o potencial de produtividade dos sistemas, bem como seus respectivos ganhos financeiros (SAMPAIO e FREITAS, 2008).

3.2 Equações de biomassa

O ajuste dos 8 modelos (Tabela 4) para cada uma das oito espécies analisadas resultou em distintas equações para cada espécie, sendo que a maioria superestimou a biomassa das árvores com menor massa. Essa grande variação pode ser atribuída a forma, altura, tamanho das copas, número e tamanho dos galhos dos indivíduos das espécies arbustivo-arbóreas da Caatinga ou a remanescentes de outros estágios sucessionais.

Quando comparadas com equações ajustadas em outros estudos para as mesmas espécies ou outras espécies em diferentes regiões da Caatinga, os resultados encontrados são considerados dentro dos limites registrados (SAMPAIO; SILVA, 2005; SILVA; SAMPAIO, 2008; SAMPAIO et al., 2010; ALVES Jr., 2010; FERRAZ, 2011; ABREU, 2012; SOUZA et al., 2013).

Para *A. colubrina* as melhores equações foram a 5 e a 6 de Chapman-Richards e Potência, respectivamente (Tabela 7). A equação indicada para essa espécie foi a 5, pois apresentou maior R_{aj}^2 e menor $IF\%$, sendo que a distribuição dos resíduos foi a mais homogênea (Figura 6).

A. pyrifolium teve selecionada as equações 1 e 8 de Shumacher – Hall e Potência, respectivamente (Tabela 7). A dispersão dos resíduos (Figura 6) e o $IF\%$ mostraram semelhanças entre ambas, mas a indicada para a estimativa da biomassa foi a equação 8 pois apresentou um maior R_{aj}^2 . Essa espécie foi a que apresentou as menores estatísticas em relação as 8 espécies analisadas, corroborando com Abreu (2012) que registrou aproximadamente 78% de R_{aj}^2 e 19% de $S_{yx}(\%)$ para as duas melhores equações.

Tabela 7 – Número, parâmetros e estatísticas das equações de biomassa total seca acima do solo selecionadas para cada uma das oito espécies em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil

<i>Anadenanthera colubrina</i>					
N°	Equações	R_{aj}^2	S_{yx}	$S_{yx}(\%)$	IF(%)
5	$BS = 48,7255 * [1 - \exp(-0,1435 * DAP)]^{2,4096}$	0,89	3,2047	20,69	32,5
6	$BS = 1,7527 * (DAP)^{1,1265}$	0,86	3,5536	22,94	36,6
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>					
N°	Equações	R_{aj}^2	S_{yx}	$S_{yx}(\%)$	IF(%)
1	$BS = 0,7271 * (DAP)^{0,8176} * (HT)^{0,6229}$	0,74	2,1832	27,10	42,4
8	$BS = 0,7858 * (DAP^2 * HT)^{0,4550}$	0,75	2,1536	26,64	42,5
<i>Bauhinia cheilantha</i>					
N°	Equações	R_{aj}^2	S_{yx}	$S_{yx}(\%)$	IF(%)
1	$BS = 0,0669 * (DAP^{2,2115}) * (HT^{0,8155})$	0,97	0,1824	12,09	19,0
8	$BS = 0,0568 * (DAP^2 * HT)^{1,0531}$	0,97	0,1891	12,54	20,0
<i>Cnidocolus quercifolius</i>					
N°	Equações	R_{aj}^2	S_{yx}	$S_{yx}(\%)$	IF(%)
1	$BS = 0,5413 * (DAP^{1,2900}) * (HT^{0,2252})$	0,82	2,2764	25,66	40,2
6	$BS = 0,6064 * (DAP^{1,4216})$	0,82	2,2630	25,51	40,6
<i>Croton heliotropiifolius</i>					
N°	Equações	R_{aj}^2	S_{yx}	$S_{yx}(\%)$	IF(%)
1	$BS = 0,1868 * (DAP^{1,2764}) * (HT^{0,9401})$	0,76	0,3808	18,96	29,7
3	$BS = 0,2219 + 0,7065 * (DAP^2 * HT)$	0,76	0,3846	19,15	30,5
<i>Mimosa ophthalmocentra</i>					
N°	Equações	R_{aj}^2	S_{yx}	$S_{yx}(\%)$	IF(%)
1	$BS = 6,0137 * (DAP^{1,7250}) * (HT^{-1,3380})$	0,90	3,3810	19,80	31,0
2	$\ln BS = 1,1118 + 1,7371 * \ln(DAP) - 0,9536 * \ln(HT)$	0,89	0,2370	9,04	30,0
<i>Mimosa tenuiflora</i>					
N°	Equações	R_{aj}^2	S_{yx}	$S_{yx}(\%)$	IF(%)
4	$\ln BS = -1,6100 + 0,7850 * \ln(DAP^2 * HT)$	0,92	0,2533	10,58	29,4
6	$BS = 0,5084 * (DAP^{1,7121})$	0,94	2,4427	16,79	25,9
<i>Poincianella bracteosa</i>					
N°	Equações	R_{aj}^2	S_{yx}	$S_{yx}(\%)$	IF(%)
3	$BS = 6,6205 + 0,0341 * (DAP^2 * HT)$	0,85	4,2043	23,40	37,3
8	$BS = 0,6173 * (DAP^2 * HT)^{0,5957}$	0,84	4,3262	24,08	38,4
<i>Todas as espécies</i>					
N°	Equações	R_{aj}^2	S_{yx}	$S_{yx}(\%)$	IF(%)
2	$\ln BS = -1,2884 + 1,6102 * \ln(DAP) + 0,4343 * \ln(HT)$	0,85	0,4329	23,46	42,9
4	$\ln BS = -1,4991 + 0,7290 * \ln(DAP^2 * HT)$	0,84	0,4372	23,69	43,5

Em que: BS= massa total seca acima do solo (kg); DAP = diâmetro a altura do peito (cm); HT = altura total (m); R_{aj}^2 (%) = coeficiente de determinação ajustado em percentagem; S_{yx} = erro padrão da estimativa; $S_{yx}(\%)$ = erro padrão da estimativa em percentagem e IF(%)= Índice de Fournival em percentagem.

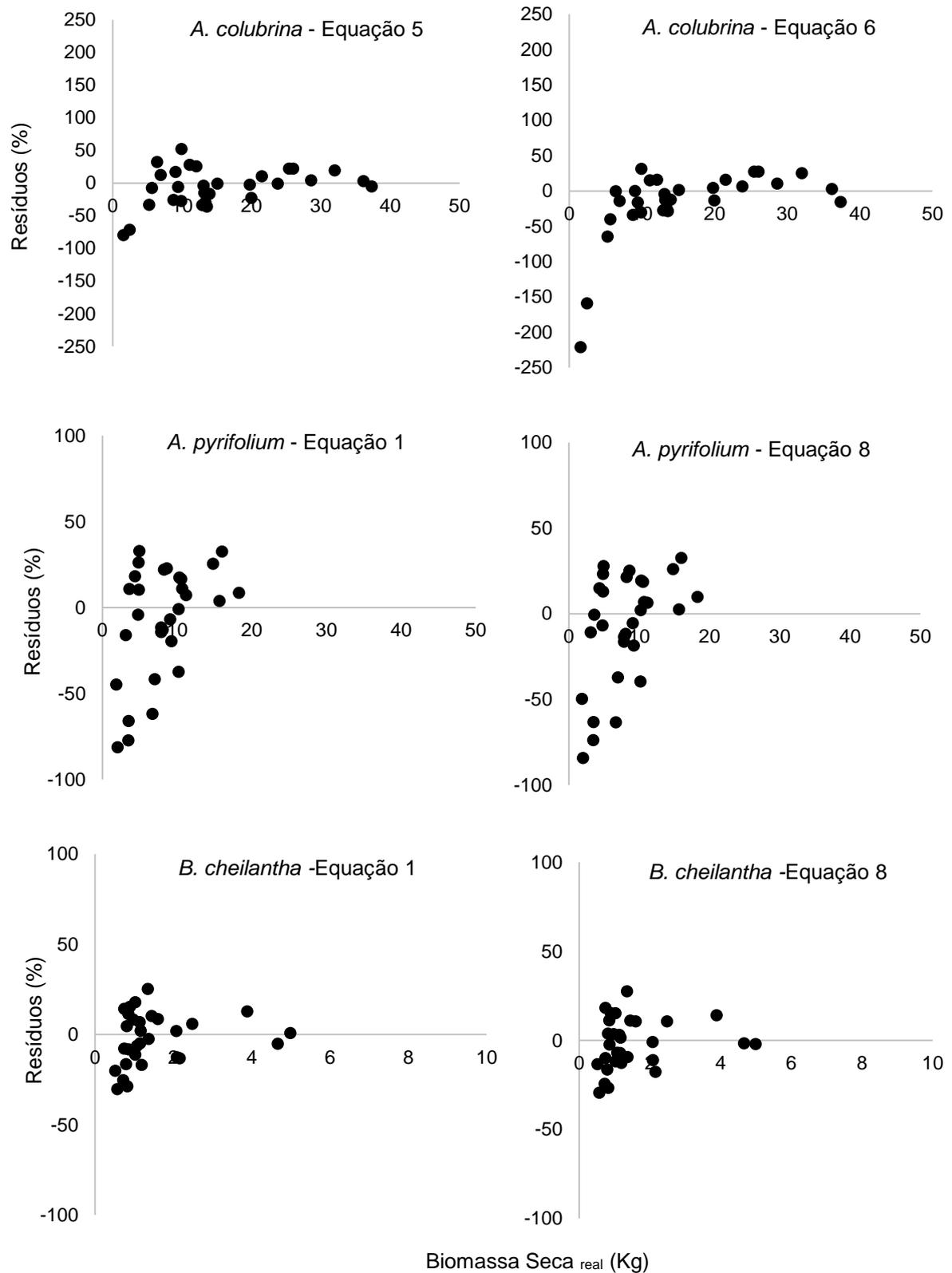


Figura 6 – Distribuição gráfica dos resíduos das equações selecionadas para biomassa seca total acima do solo de *A. colubrina*, *A. pyrifolium* e *B. cheilantha* em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil.

Ao observar que o presente estudo usou os dados utilizados por Abreu (2012) acrescidos de mais amostras, podemos inferir que o aumento da intensidade amostral nem sempre aumenta a precisão das equações. Segundo Ferraz (2011) essa maior ou menor precisão das equações está relacionada às características das espécies arbustivo-arbóreas da Caatinga, já que elas apresentam uma grande variação de forma, altura de esgalhamento e no número e tamanho dos galhos, cujo material lenhoso é considerado nas avaliações.

Para *B. cheilantha*, destacam-se as equações 1 e 8 (Tabela 7). Nesse caso a indicada foi a equação 1, pois apesar da distribuição semelhante dos resíduos (Figura 6) e o mesmo valor do R_{aj}^2 (0,97), o $IF\%$ foi menor (19,0%). Essa espécie, entre as oito, foi a que apresentou valores mais altos de R_{aj}^2 (%) e mais baixos de $IF\%$. A alta correlação entre as variáveis independente e a dependente corroborou com esse resultado, pois a medida que o diâmetro aumenta, também aumenta a massa seca de forma linear positiva.

Segundo Carvalho (2010), *B. cheilantha* é uma espécie arbustivo-arbórea e as maiores árvores atingem cerca de 7,80 m de altura e 30 cm de DAP na idade adulta, sendo que o fuste é irregular, desde muito curto ou bifurcado. Na área em estudo o padrão dos indivíduos difere do que é registrado na literatura para essa espécie, já que os indivíduos analisados não apresentaram diâmetros, altura e biomassa seca superiores a 4,1 cm, 4,9 m e 5,0 kg, respectivamente, sendo que a maioria esteve concentrada na Classe I de CAP (cm), havendo baixa variação entre as variáveis dependentes e independentes, o que pode sugerir que se tratam de indivíduos jovens.

C. quercifolius teve como equações selecionadas a número 1 de Shumacher-Hall e a da Potência número 6 (Tabela 7), ambas com o R_{aj}^2 (%) iguais e o $IF(\%)$ e distribuição dos resíduos próximos (Figura 7). Devido a essas semelhanças, a equação indicada para calcular a estimativa da biomassa total seca foi a 6, por excluir a variável independente altura. Essa exclusão, bem como a de outras variáveis com maior dificuldade de obtenção, é uma estratégia muito utilizada em estudos de análise de regressão na área florestal, pois o acréscimo dessas variáveis na equação, quando apresentam melhores estatísticas, nem sempre compensam frente a oneração, maior tempo e erros de medição para a sua obtenção.

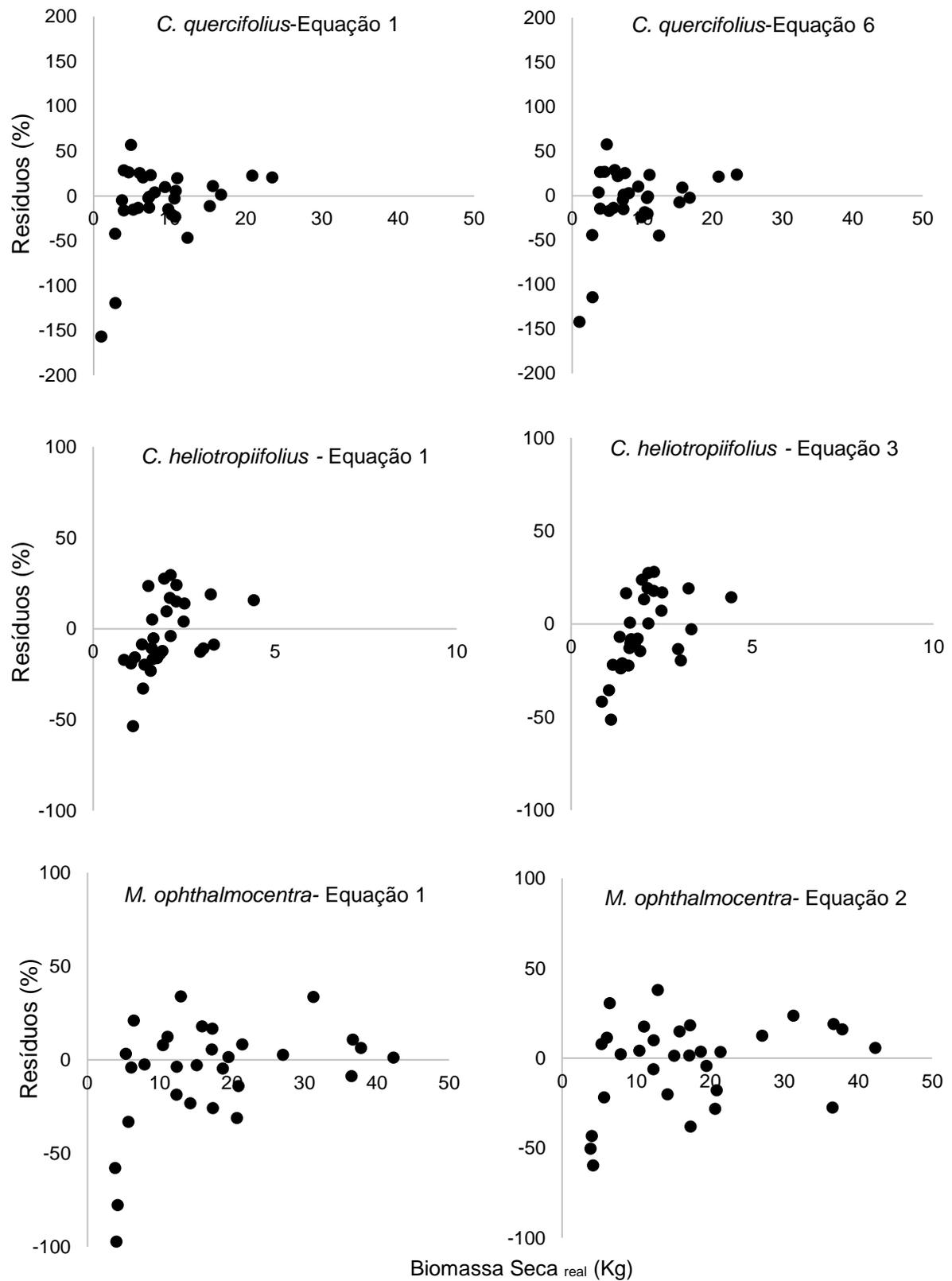


Figura 7– Distribuição gráfica dos resíduos das equações selecionadas para biomassa seca total acima do solo de *C. quercifolius*, *C. heliotropiifolius* e *M. ophthalmocentra* em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil.

Para *C. heliotropiifolius* as melhores equações foram 1 e 3 de Shumacher – Hall e Spurr, respectivamente (Tabela 7). A equação indicada foi a 1, pois apresenta menor $IF(\%)$, apesar da pequena diferença. A equação 3 também poderia ser utilizada, pois nessa situação a escolha entre uma ou outra leva em consideração pequenas diferenças entre as estatísticas de ajuste. Essa espécie é também arbustiva-arbórea como *B. cheilantha* e apresentou apenas indivíduos na Classe I de CAP (cm) com Dap (cm), H (m) e BS (kg) máximo de 3,8 cm, 5,2 m e 4,4 kg, respectivamente.

O ajuste dos modelos para *M. ophthalmocentra* resultaram na seleção das equações 1 e 2 (Tabela 7), sendo que a mais adequada para a estimativa da biomassa é a número 2, por apresentar menor $IF(\%)$ e resíduos mais homogêneos (Figura 7). Diferente desse resultado, Sampaio et al. (2010) ajustaram equações de potência como a melhor opção de estimativa de biomassa seca entre modelos lineares, quadráticos, exponencial e logarítmicos para *M. ophthalmocentra*, mas os resultados de coeficiente de determinação foram menores para as variáveis independentes DAP (cm) isolado, combinação de DAP (cm) e H (m) e, DAP (cm) e área da copa (m^2), do que os encontrados aqui, respectivamente de 81, 73 e 59%, no entanto não são citadas as estimativas de erro para essas equações.

Os dados de *M. tenuiflora* ajustaram-se melhor as equações 4 e 6 (Tabela 7), mas a indicada para o cálculo da biomassa é a 6, pois apresenta maior R_{aj}^2 (%) e menor $IF(\%)$, apesar da distribuição dos resíduos ser semelhante (Figura 8). Corroborando com esse resultado, Sampaio et al. (2010) indicaram como melhor equação a de potência para essa espécie, utilizando apenas o DAP como variável independente, em duas áreas de Caatinga em Serra Talhada e Sertânia/PE, no entanto o nível de precisão é menor.

Para *P. bracteosa* os ajustes indicaram como melhores equações a número 3 e 8 de Spurr e Power, respectivamente (Tabela 7). A equação eleita foi a 3, pois apresenta maior coeficiente de determinação (85%), menor $IF(\%)$ e resíduos mais homogêneos (Figura 8). Os resultados das estatísticas de precisão corroboram com o encontrado por Ferraz (2011) que ao estudar estimativas de biomassa seca de 30 indivíduos de *P. bracteosa* em uma área de Caatinga (Floresta/PE), obteve 24 equações com erros entre 18,06 e 32,42% e R_{aj}^2 maior que 76%, chegando a 93,5%.

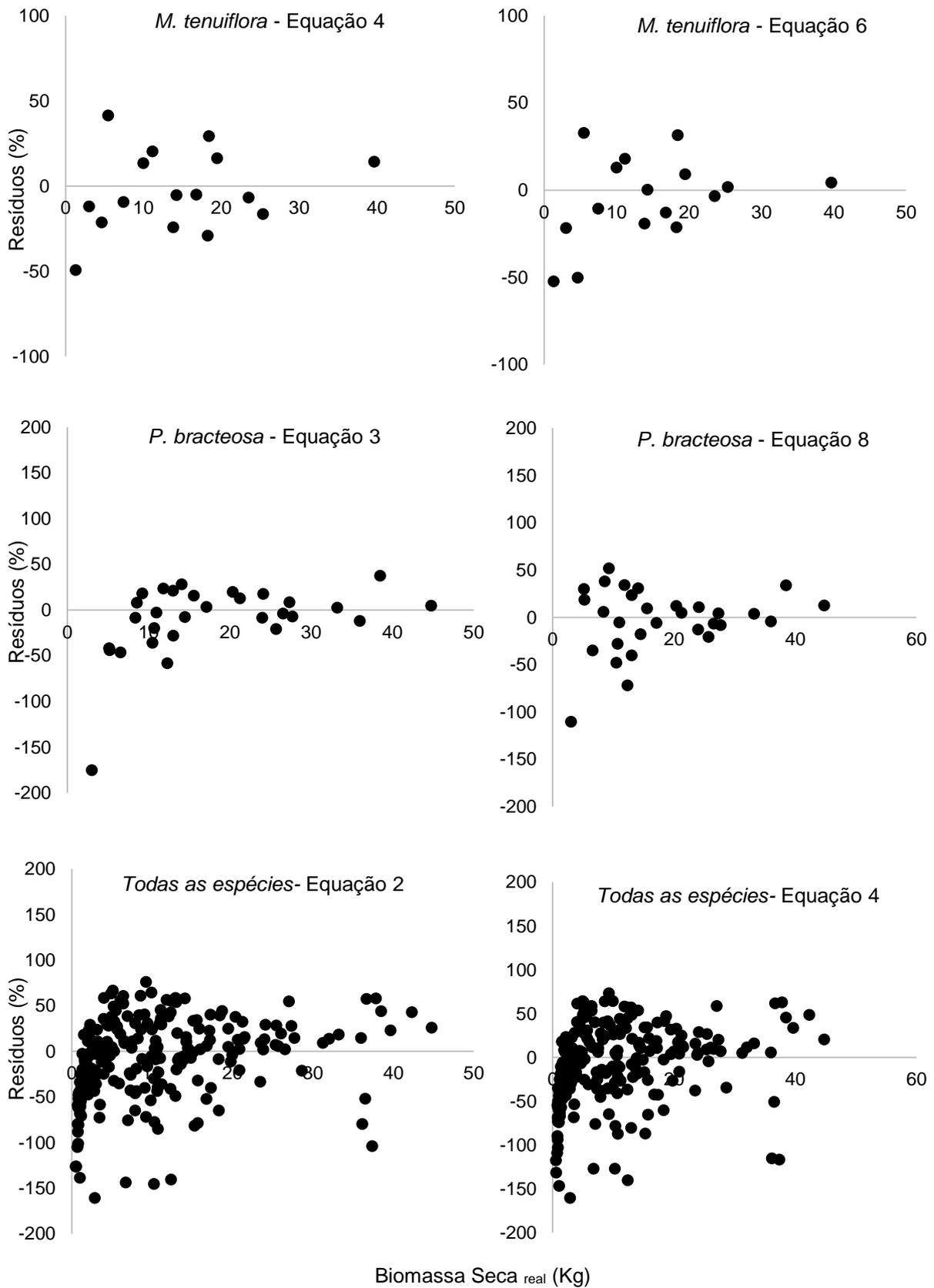


Figura 8 – Distribuição gráfica dos resíduos das equações selecionadas para biomassa seca total acima do solo de *M. tenuiflora*, *P. bracteosa* e para *todas as espécies* em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil.

Para todas as espécies, as melhores equações foram a 2 e a 4, Shumacher-Hall e Spurr logaritimizadas, respectivamente (Tabela 7). A equação escolhida foi a 2 por apresentar maior coeficiente de determinação e menor *IF* (%), sendo que a distribuição dos resíduos foi semelhante. Na distribuição dos resíduos ficou evidente a tendência de superestimava da biomassa nas árvores com menor massa (Figura 8), assim como na grande maioria das espécies analisadas separadamente.

A equação geral apresentou melhores estatísticas de precisão quando comparada com as espécies *A. pyrifolium*, *C. quercifolius* e *C. heliotropiifolius*. Isso pode ser atribuído a compensação dos desvios da biomassa de uma espécie em relação a outra espécie, mas esse resultado não impede que sejam usadas as equações próprias de cada uma dessas espécies.

4 CONCLUSÕES

Os estoques de biomassa aérea seca de oito espécies representativas da vegetação da Caatinga foram quantificados, tanto para seus compartimentos (fuste, folhas, galhos grossos e finos) quanto para o total. Os resultados mostraram uma grande variação entre espécies e indivíduos da mesma espécie, devido as suas características de porte e dimensões.

Equações de biomassa aérea seca foram desenvolvidas para *A. colubrina*, *A. pyrifolium*, *B. cheilantha*, *C. quercifolius*, *C. heliotropiifolius*, *M. ophthalmocentra*, *M. tenuiflora* e *P. bracteosa* e para todas as espécies com boas estatísticas de precisão, podendo ser utilizadas para a estimativa dessa variável de maneira confiável em regiões de Caatinga com características similares a deste estudo.

REFERÊNCIAS

ABREU, J. C. **Modelagem de biomassa e de nutrientes de espécies da caatinga no município de Floresta-PE**. 2012. 111f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2012.

ALBUQUERQUE, E. R. G. M. et al. Root biomass under stem bases and at different distances from trees. **Journal of Arid Environments**, n. 116, p. 82-88, 2015.

ALVES JUNIOR, F. T. **Estrutura, biomassa e volumetria de uma área de Caatinga, Floresta-PE.** 2010. 151f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010.

ALVES; A. R. **Quantificação de biomassa e ciclagem de nutrientes em áreas de vegetação de caatinga no município de Floresta, Pernambuco.** 2011. 116 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011.

AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustiva-arbórea de uma área de caatinga do Sériado, RN, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, São Paulo-SP, v. 19, n. 3, p. 615-623, 2005.

BARICHELO, L. R.; SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. L. M. Quantificação da biomassa de um povoamento de *Acacia mearnsii* de Wild. Na região sul do Brasil. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria - RS, v. 15, n. 2, p. 129-135, 2005.

CABRAL, G. A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. Estrutura espacial e biomassa da parte aérea em diferentes estádios sucessionais de caatinga, em Santa Terezinha, Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, v. 6, n. 3, p. 566-574, 2013.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Colombo-PR: Embrapa Florestas, v.4. 2010.

COSTA, T. L. et al. Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. **Plant and Soil**, v. 378, p.113-123, 2014.

DRUMOND, M. A et al. Produção e distribuição de biomassa de espécies arbóreas no semi-árido Brasileiro. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 32, n. 4, p. 665-669, 2008.

FERRAZ, J. S. F **Análise da vegetação de Caatinga arbustivo-arbórea em Floresta, PE, como subsidio ao manejo florestal.** 2011.134f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011.

GOLLEY, F. B., et al. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida.** São Paulo: EDUSP, 1978.

HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus-AM, v. 28, n. 2, p.153-166, 1998.

KAUFFMAN, J. B. et al. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. **Ecology**, v. 74, n.1, p. 140-151, 1993.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semiárido**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2008.

MENEZES, R. S. C. et al. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 3, p. 643-653, 2012.

SAMPAIO, E. V. S. B. et al. Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima em Serra Talhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.5, p.621-632, 1998.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA, G. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. **Acta Botânica Brasílica**. v. 4, n.19, p. 935-943, 2005.

SAMPAIO, E. V. S. B.; FREITAS, A. D. S. Produção de biomassa na vegetação nativa do semi-árido nordestino. In: MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. (Orgs.). **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2008. v. 1, p. 11-26.

SAMPAIO, E. V. S. Características e potencialidades. In: GARIGLIO, M. A. et al. (Orgs.) **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 29-42.

SAMPAIO, E. V. S. B. et al. Tree biomass estimation in regenerating areas of tropical dry vegetation in northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 259, p.1135–1140, 2010.

SAMPAIO, E. V. S.; COSTA, T. L. Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordeste: Estimativas Preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, v. 6, p. 1275-1291, 2011.

SCHNEIDER, P. R; SCHNEIDER, P. S. P; SOUZA, C. A. M. S. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**, 2.ed. Santa Maria: UFSM/FACOS, 2009.

SILVA, J. A. A.; BAILEY, R. L. Considerações teóricas sobre o uso correto do índice de furnival na seleção de equações volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 15, n. 3, p. 323-327, 1991.

SILVA, G. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomassas de partes aéreas em plantas da caatinga. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 32, n. 3, p. 567-575, 2008.

SOMOGYI, Z. et al. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. **European Journal of Forest Research**, v. 126, n. 2, p. 197-207, 2006.

SOUZA, J. S. et al. Estimação de biomassa aérea da caatinga do norte da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo-PR, v. 33, n. 76, p. 355-368, 2013.

TIESEN, H. et al. P. Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forests. **Climatic Change**, v. 40, p.105-117, 1998.

WATZLAWICK, L. F. et al. Fixação de carbono em Floresta Ombrófila Mista em diferentes estágios de regeneração. In: SANQUETTA, C. R. et al (Orgs.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: 2002, p.153-173.

CAPÍTULO 2: TEORES DE CARBONO EM ESPÉCIES ARBUSTIVO- ARBÓREAS DA CAATINGA

1. INTRODUÇÃO

O aumento das concentrações dos gases do efeito estufa, principalmente o CO₂, na atmosfera e sua influência nos processos de mudanças climáticas globais ocasionaram um grande interesse na fixação biológica do carbono na vegetação e nos solos, como forma de mitigação daquele impacto ambiental. Os ecossistemas naturais podem ser fonte ou reservatório desse elemento e essa diferença é determinada pela maneira como os recursos são manejados. O desmatamento e o uso inadequado dos solos ocasionarão emissões, por exemplo, mas o manejo conservacionista do solo, das florestas e da agricultura, juntamente com a restauração das áreas degradadas irá capturar e armazenar carbono nesses ambientes.

Nas estratégias básicas para avaliar o potencial de mitigação de emissões de carbono pelos ecossistemas naturais são necessárias as seguintes informações: (i) disponibilidade de terra, (ii) quantidade de carbono que pode ser sequestrada e conservada na vegetação e no solo por unidade de área e, (iii) o período de tempo que o carbono ficará armazenado em cada local (BROWN, 1996).

Há muitas incertezas para se estimar, com um nível de precisão alto, os fluxos e potencial de armazenamento de carbono na vegetação. Estudos que envolvam essas análises, utilizam basicamente duas informações: biomassa seca e a concentração de carbono dos distintos compartimentos das plantas (raízes, fuste, galhos e folhas). Uma das grandes dificuldades encontradas é a obtenção dos teores de carbono devido à grande variação de espécies existente dentro e entre essas áreas e das poucas pesquisas sobre esse assunto.

A composição química elementar da vegetação, tanto de espécies folhosas como de coníferas, apresenta de uma maneira geral cerca de 50% de Carbono (C), 45% de Oxigênio (O), 6% de Hidrogênio (H) e pequenas quantidades (inferior a 1%) de Nitrogênio (N) e outros minerais, sendo que inúmeros estudos apontam diferenças estatísticas dos teores de carbono dentro e entre as espécies de um mesmo bioma (ELIAS; POTVIN 2003; LAMLON; SAVIDGE, 2003; WEBER et al., 2006; VIEIRA et al. 2009; MARTIN; THOMAS, 2011; WATZLAWICK et al., 2011; THOMAS; MARTIN, 2012; PEREIRA JÚNIOR et al., 2016). Apesar disso, um valor fixo geral de 50% tem

sido utilizado nas estimativas de sequestro de carbono da vegetação, devido à falta de informações precisas sobre os teores de carbono das espécies, levando à valores de estoques de carbono sub ou superestimados aos reais nos projetos de créditos de carbono (LAIHO; LAINE, 1997; SANQUETTA, 2002; ELIAS; POTVIN, 2003; KOEHLER et al., 2005; THOMAS; MALCZEWSKI, 2007; THOMAS; MARTIN, 2012).

A Caatinga cobre 11% do território brasileiro e possui uma grande variedade de vegetação que a distingue dos conjuntos que formam as outras tipologias brasileiras, com elevado número de espécies e também remanescentes ainda bem preservados (GIULIETTI et al., 2004; ANDRADE-LIMA, 2007; SAMPAIO, 2010). Em suas tipologias vegetacionais há um potencial inexplorado de obtenção de recursos financeiros por meio de créditos de carbono (SAMPALIO; COSTA, 2011).

No entanto, são escassos estudos de teores de carbono de espécies da Caatinga (VIEIRA et al. 2009; PEREIRA JÚNIOR et al., 2016), já que esse é um dos biomas brasileiros mais negligenciados nas pesquisas científicas (SANTOS et al., 2011), comprometendo a compreensão e a precisão do processo de conversão de CO₂ nestes ecossistemas, subestimando a sua importância no mercado mundial de carbono. Logo, mais informações sobre os teores de carbono específicos de espécies da Caatinga são necessárias para melhorar a compreensão do potencial de armazenamento e fluxos de carbono para prever futuros cenários de manejo sustentável nesse bioma.

O objetivo desse trabalho foi determinar os teores de carbono (C) nos principais compartimentos (fuste, folhas e galhos) das espécies de maior densidade absoluta (indivíduos.ha⁻¹) e valor de importância (VI) em uma área de Caatinga, bem como verificar as diferenças estatísticas entre os teores de carbono nos compartimentos dos indivíduos de cada espécie e entre espécie, a fim de verificar a possibilidade de considerar um valor médio por espécie, para um grupo de espécies ou por compartimentos de uma mesma espécie.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido em uma área de 50 ha de Savana-Estépica Arborizada dentro da Fazenda Itapemirim, de propriedade da Agrimex

Agroindustrial Excelsior S.A. localizada no município de Floresta, no estado de Pernambuco, conforme descrito na metodologia geral.

2.2 Determinação dos teores de C

As análises foram feitas com as oito espécies de maior valor de importância e, conseqüentemente, as de maior densidade absoluta (indivíduos.ha⁻¹), tomando como base o inventário fitossociológico realizado no ano de 2013 (Tabela 1). Para a determinação dos teores de carbono nos compartimentos fuste, folhas, galhos grossos (≥ 6 cm) e galhos finos (≤ 6 cm) foram utilizadas as amostras de biomassa secas coletadas e preparadas, conforme metodologia descrita no Capítulo I.

Na Tabela 8 estão apresentados o número de amostras por compartimento para cada uma das espécies analisadas. As espécies *A. colubrina*, *A. pyriformis*, *C. quercifolius*, *M. ophthalmocentra*, *M. tenuiflora* e *P. bracteosa* tiveram aproximadamente 15 amostras por compartimento analisadas. Já *B. cheilantha* e *C. heliotropiifolius* foram 18 amostras cada.

Tabela 8 – Número de amostras analisadas por compartimento para cada uma das oito espécies em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil

Espécie	Fuste	Galhos		Folha	TOTAL
		Grosso	Fino		
<i>A. colubrina</i>	15	13	15	15	58
<i>A. pyriformis</i>	15	14	15	15	59
<i>B. cheilantha</i>	18	4	18	18	58
<i>C. quercifolius</i>	14	13	13	15	55
<i>C. heliotropiifolius</i>	18	9	17	18	62
<i>M. ophthalmocentra</i>	15	12	14	15	56
<i>M. tenuiflora</i>	15	11	14	15	55
<i>P. bracteosa</i>	14	13	13	15	55
TOTAL	124	89	119	126	458

Observa-se que para o compartimento galhos grossos, o número de amostras coletadas varia conforme a espécie. Essa variação deu-se, já que nem todos os indivíduos arbustivo-arbóreos apresentam galhos com CAP ≥ 6 cm, principalmente as espécies de pequeno porte e nas menores classes de CAP (cm). Nos demais compartimentos, as diferenças foram causadas devido a problemas de

armazenamento e controle das amostras, ocorrendo a perda de 9 mostras entre fuste e galhos finos.

As amostras de biomassa seca foram fracionadas e trituradas em moinho com peneiras metálicas até adquirir a consistência de pó, sendo pesadas novamente e armazenadas em potes plásticos identificados por espécie e seu respectivo compartimento.

A determinação dos teores de carbono foi realizada no Laboratório de Fertilidade dos Solos da Universidade Federal Rural de Pernambuco-Unidade Acadêmica Garanhuns (UFRPE-UAG) com auxílio do analisador elementar CHNS/O que é um equipamento dotado de analisador, impressora e ultramicrobalança Perkin-Elmer AD-6. Nesse equipamento, a amostra de uma grama é levada à combustão total (1000 °C), sendo que um sensor infravermelho detecta a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) gerado pela combustão, relacionando com a quantidade de C elementar da amostra. Ao final da combustão o resultado é emitido diretamente pelo software em percentual (%).

2.3 Análise estatística dos dados

A verificação de diferenças significativas dos teores de carbono entre compartimentos das diferentes espécies e entre compartimentos da mesma espécie foi testada por meio de análise de variância (ANOVA) pelo Teste F, cujo delineamento foi o inteiramente casualizado com diferentes números de repetições. Se o valor de F calculado é menor que o F_{tabelado} (1 ou 5% de probabilidade), aceita-se H₀ e as médias são iguais, caso contrário, rejeita-se H₀ e pelo menos duas médias dos tratamentos são diferentes (STORCK et al., 2006). Quando houve diferenças significativas entre as variáveis consideradas utilizou-se o teste de comparação de médias de Tukey-Kramer com auxílio do software IBM SPSS 20.0, a fim de verificar a possibilidade de considerar um valor médio por espécie, para um grupo de espécies ou por compartimentos de uma espécie.

Antes da aplicação da ANOVA testou-se os seus pressupostos básicos: (1) Amostras aleatórias e independentes; (2) Distribuição normal da população e (3) Variâncias da população homogêneas. Para testar a homogeneidade da variância foi utilizado o Teste de Bartlett e para a normalidade o Teste de Shapiro-Wilk

(SCHNEIDER, SCHNEIDER e SOUZA, 2009) com auxílio do programa estatístico ASSISTAT 7.7 (SILVA e AZEVEDO, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pressupostos da ANOVA foram atendidos para todas as variáveis, por meio dos testes de Bartlett e Shapiro-Wilk com grau de confiança de 95% (nível de significância de 5%), respectivamente, para homogeneidade da variância e normalidade.

Os teores médios de C para o fuste ficaram entre 44,8 a 48,5% para *P. bracteosa* e *C. heliotropiifolius*, respectivamente. O valor mínimo foi de 34,4% para *M. tenuiflora* e máximo foi de 57,6% para *C. heliotropiifolius*. As variações entre os teores de C do fuste nas espécies foram inferiores a 10%, com exceção de *M. tenuiflora* que apresentou um C.V. de 12,3% (Tabela 9).

Tabela 9 - Estatísticas descritivas dos teores de carbono (%) nos quatro compartimentos das oito espécies analisadas em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

Espécie	Fuste				Galhos Grossos				Galhos Finos				Folha			
	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.	\bar{x}	min.	max.	C.V.
<i>A. colubrina</i>	46,6	44,1	49,4	4,1	45,8	39,9	52,7	6,1	47,5	43,6	53,5	6,6	49,1	39,2	56,5	8,7
<i>A. pyrifolium</i>	47,4	42,1	53,2	7,0	44,8	36,8	49,0	8,5	45,9	42,1	54,0	7,3	47,1	36,8	57,3	11,5
<i>B. cheilantha</i>	46,1	40,7	51,2	6,0	44,6	40,7	49,2	7,9	47,5	42,9	48,6	3,3	44,7	38,6	51,4	7,3
<i>C. quercifolius</i>	46,8	42,7	54,2	6,4	44,4	35,5	53,7	12,4	45,2	39,9	48,8	5,3	44,3	40,3	49,6	8,9
<i>C. heliotropiifolius</i>	48,5	40,9	57,6	8,0	47,1	39,1	53,0	9,2	45,8	37,2	52,6	8,9	43,0	34,2	54,9	14,0
<i>M. ophthalmocentra</i>	47,5	42,9	54,4	7,8	45,2	39,3	52,8	9,5	47,8	42,2	55,6	6,7	45,5	38,2	52,8	10,2
<i>M. tenuiflora</i>	47,4	34,4	56,5	12,3	43,7	36,2	51,3	13,7	47,8	40,8	53,3	3,0	46,6	35,5	52,7	12,7
<i>P. bracteosa</i>	44,8	42,7	48,1	3,6	40,8	35,5	46,5	7,2	46,0	43,0	52,5	4,9	48,1	37,0	51,0	8,5

Para galhos grossos, a amplitude dos valores médios entre as espécies foi maior do que para os demais compartimentos, variando de 40,8% para *P. bracteosa* a 47,1% para *C. heliotropiifolius*. Com exceção de *B. cheilantha*, os teores mínimos dos galhos grossos foram inferiores à 40%. *C. quercifolius* apresentou o teor máximo de 53,7%. Os valores de C.V. desse compartimento apresentaram valores entre 6,1 e 13,7% (Tabela 9).

Os teores médios de galhos finos variaram de 45,2% para *C. quercifolius* a 47,8% para *M. ophthalmocentra* e *M. tenuiflora*. *C. heliotropiifolius* apresentou o menor valor (37,2%) e *M. ophthalmocentra* o maior valor (55,6%). Esse compartimento

apresentou valores entre 3,3 e 8,9% de C.V., sendo que para as espécies *B. cheilantha*, *C. quercifolius*, *M. ophthalmocentra*, *M. tenuiflora* e *P. bracteosa* foi o compartimento com menor variação entre os analisados (Tabela 9).

Por último, as folhas das oito espécies apresentaram teores médios de C variando de 43,0% para *C. heliotropiifolius* a 49,1% para *A. colubrina*. O valor mínimo foi de 34,2% e máximo de 57,3% para *A. pyriformium* e *C. heliotropiifolius*, respectivamente. Nesse compartimento houve C.V. entre 7,3 e 14,0%, sendo que para *A. colubrina*, *A. pyriformium*, *C. heliotropiifolius*, *M. ophthalmocentra* e *P. bracteosa* foi o compartimento com maior variação entre os analisados (Tabela 9).

Por meio da ANOVA entre os mesmos compartimentos das oito espécies, verificou-se que o $F_{\text{calculado}}$ é menor que o F_{tabelado} para os compartimentos fuste e galhos finos, ou seja, aceita-se H_0 e as médias entre as espécies são iguais. Já para os galhos grossos e folhas o $F_{\text{calculado}}$ é maior que o F_{tabelado} , logo rejeita-se H_0 e pelo menos duas médias de tratamentos diferem entre si (Tabela 10).

Tabela 10 – Resultados do teste F da ANOVA dos teores de Carbono (%) entre os compartimentos das oito espécies e entre os diferentes compartimentos de uma única espécie analisada em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

EFEITO DAS ESPÉCIES NOS COMPARTIMENTOS				
Compartimento	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado} (5%)	F_{tabelado} (1%)	p
Fuste	1,551 ^{ns}	2,089	2,796	0,1571
Galhos Grossos	2,126*	2,125	2,868	0,0499
Galhos Finos	0,482 ^{ns}	2,087	2,793	0,8459
Folhas	2,728*	2,087	2,793	0,0116
EFEITO DOS COMPARTIMENTOS NAS ESPÉCIES				
Espécie	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado} (5%)	F_{tabelado} (1%)	p
<i>A. colubrina</i>	2,659 ^{ns}	2,776	4,167	0,0574
<i>A. pyriformium</i>	1,226 ^{ns}	2,766	4,145	0,3086
<i>B. cheilantha</i>	2,008 ^{ns}	2,776	4,167	0,1237
<i>C. quercifolius</i>	1,358 ^{ns}	2,786	4,191	0,2665
<i>C. heliotropiifolius</i>	4,261**	2,764	4,138	0,0086
<i>M. ophthalmocentra</i>	0,946 ^{ns}	2,783	4,182	0,4253
<i>M. tenuiflora</i>	1,082 ^{ns}	2,786	4,191	0,3649
<i>P. bracteosa</i>	15,126**	2,786	4,191	< 0,0001

Onde: p = valor de p ; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 < p < .05$) e ns não significativo ($p \geq .05$).

Na comparação dentro das espécies, ou seja, entre os compartimentos de uma mesma espécie, observou-se pela ANOVA que o $F_{\text{calculado}}$ foi maior que o F_{tabelado}

apenas para *C. heliotropiifolius* e *P. bracteosa*, logo rejeita-se H_0 para essas duas espécies, ou seja, pelo menos as médias de dois compartimentos diferem entre si (Tabela 10).

Ao utilizar o teste de médias de Tukey-Kramer para os teores de C (%) dos compartimentos entre espécies, verificou-se que a diferença estatísticas para os galhos grossos foi entre *C. heliotropiifolius* e *P. bracteosa*. Para o compartimento folhas, as diferenças estão entre *A. colubrina* e *C. heliotropiifolius*. Já as demais espécies não apresentam diferenças significativas entre os compartimentos (Tabela 11).

Tabela 11 – Média dos teores de C (%) dos compartimentos entre e dentro de cada uma das oito espécies e resultados dos dois Testes de Tukey-Kramer independentes em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

Espécie	Fuste*	Galhos		Folhas*
		Grossos*	Finos*	
<i>A. colubrina</i>	46,6 Aa	45,9 ABa	47,5 Aa	49,0 A a
<i>A. pyriformium</i>	47,4 Aa	44,8 ABa	45,9 Aa	47,1 ABa
<i>B. cheilantha</i>	46,1 Aa	44,7 ABa	47,5 Aa	44,7 ABa
<i>C. quercifolius</i>	47,0 Aa	44,1 ABa	47,6 Aa	44,3 ABa
<i>C. heliotropiifolius</i>	48,5 Aa	47,1 A a b	45,8 Aab	43,0 B b
<i>M. ophthalmocentra</i>	47,5 Aa	45,2 ABa	47,8 Aa	45,5 ABa
<i>M. tenuiflora</i>	47,4 Aa	43,7 ABa	46,8 Aa	46,3 ABa
<i>P. bracteosa</i>	44,8 A b	40,8 B c	46,0 Aab	48,1 ABa

Onde: * Médias seguidas da mesma letra maiúscula na vertical (coluna) e minúscula na horizontal (linha) não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey-Kramer.

Na análise dos teores de C (%) dentro de cada espécie, verificou-se que para *C. heliotropiifolius* as variações ocorrem entre o compartimento fuste e as folhas apenas. Já *P. bracteosa* teve os teores de C do fuste, galhos grossos e folhas com diferenças significativas, os galhos finos apresentaram diferenças apenas entre os galhos grossos (Tabela 11).

Como *A. colubrina*, *A. pyriformium*, *B. cheilantha*, *C. quercifolius*, *M. ophthalmocentra* e *M. tenuiflora* não apresentaram diferenças significativas nos seus compartimentos dentro da espécie, a ANOVA mostrou que o $F_{\text{calculado}}$ é menor que o F_{tabelado} (2,2409), ou seja, aceita-se H_0 e as médias entre aquelas espécies são iguais, podendo ser utilizado apenas um valor médio para esse grupo de espécies (Tabela 12).

Tabela 12– Análise de variância dos teores de carbono entre *A. colubrina*, *A. pyrifolium*, *B. cheilantha*, *C. quercifolius*, *M. ophthalmocentra* e *M. tenuiflora* em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

FV	GL	SQ	QM	F calculado	F tabelado	p
Tratamentos	5	81,2992	16,2598	0,7626 ^{ns}	2,2409	>0,05
Resíduo	335	7142,3581	21,3205	-	-	
Total	340	-	-	-	-	

Onde = FV é o Fator de Variação; GL é Grau de Liberdade; SQ é Soma de Quadrados; QM é Quadrado Médio; F é Valor do Teste F e ns é não significativo ($p \geq 0,05$).

Para *A. colubrina*, *A. pyrifolium*, *B. cheilantha*, *C. quercifolius*, *M. ophthalmocentra* e *M. tenuiflora*, recomenda-se a utilização do valor médio do teor de carbono de 46,4%, sem a necessidade de valores distintos para os compartimentos. Já para *C. heliotropiifolius* deve-se utilizar os valores médios de 48,5%, 46,0% (valor intermediário) e 43,0% para fuste, galhos grossos e finos e folhas, respectivamente. Para *P. bracteosa* os valores indicados são 44,8%, 40,8%, 46,0% e 48,1% para fuste, galhos grossos, galhos finos e folhas, nessa ordem (Tabela 13).

Tabela 13 – Teores médios de carbono em percentual (%) indicados para cada uma das oito espécies em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

	Fuste	Galhos		Folhas
		Grossos	Finos	
<i>A. colubrina</i>	46,4	46,4	46,4	46,4
<i>A. pyrifolium</i>	46,4	46,4	46,4	46,4
<i>B. cheilantha</i>	46,4	46,4	46,4	46,4
<i>C. quercifolius</i>	46,4	46,4	46,4	46,4
<i>C. heliotropiifolius</i>	48,5	46,0	46,0	43,0
<i>M. ophthalmocentra</i>	46,4	46,4	46,4	46,4
<i>M. tenuiflora</i>	46,4	46,4	46,4	46,4
<i>P. bracteosa</i>	44,8	40,8	46,0	48,1

Pesquisas analisando os teores de carbono dessas oito espécies, especificamente, não foram encontradas para comparação e acredita-se que este estudo seja pioneiro, principalmente pelo nível da amostragem realizado.

Em um dos poucos estudos disponíveis de teores de carbono na Caatinga, Vieira et al. (2009) analisarem amostras de folhas, galhos, raízes, cascas e fustes de 30 espécies e encontraram teores médios de 47,4%, 44,7%, 44,4% 43,7% e 44,6%, respectivamente, sendo que os teores das folhas foram os maiores em relação ao restante da planta e isso, segundo os autores, é devido ao uso do carbono no processo metabólico e à imediata alocação desse elemento nas folhas. No presente

estudo a única espécie que apresentou esse comportamento foi *P. bracteosa*, mostrando que essa maior concentração nas folhas não é um padrão em todas as espécies.

Em outro estudo mais recente, de Pereira Júnior et al. (2016), foram analisados os teores de carbono do componente arbóreo de 18 espécies, serrapilheira, herbáceas e raízes (finas, médias e grossas) de uma área de Caatinga em processo de regeneração há 30 anos, no estado do Ceará, e registraram teores de $44,53 \pm 1,88\%$, $42,76 \pm 0,77\%$, $38,17 \pm 0,25\%$, $30,87 \pm 0,76\%$, $43,50 \pm 0,13\%$ e $45,11 \pm 0,24\%$, respectivamente. Esse valor do componente arbóreo está corroborando com o encontrado no presente estudo, mas não se pode fazer generalizações para as espécies da Caatinga. Os autores atribuem os baixos teores do componente herbáceo e das raízes finas, que diferiram dos demais, ao rápido crescimento e, conseqüentemente, a baixa densidade específica.

Além dessas espécies da Caatinga, na maioria dos estudos de teores médios de carbono em outras tipologias é comum valores inferiores a 50%. Em algumas espécies arbóreas da Amazônia, por exemplo, foi encontrado o valor médio de 48% (HIGUCHI e CARVALHO Jr., 1995). Yeboah, Burton e Storer (2014) ao estudarem os teores de carbono em espécies tropicais plantadas em Gana na África encontraram valores médios de 46,7%. Em Floresta Ombrófila Mista, Watzlawick et al. (2011) encontraram teores de carbono orgânico das folhas, galhos vivos, galhos mortos, casca e madeira de 39 espécies, entre 36,2 a 47,23%, 37,3 a 43,7%, 36,2 a 45,2%, 34,0 a 42,5% e 39,4 a 44,4%, respectivamente. Weber et al. (2006) registraram valores abaixo de 46,1% em distintos compartimentos para seis espécies dessa mesma tipologia vegetal.

No Cerrado, Vieira et al. (2009) encontraram teores médios de 43,2%, 42,1%, 40,1, 41,0% e 40,6% para folhas, galhos, raízes, cascas e fustes de 30 espécies, respectivamente, sendo que o valor máximo detectado foi de 48,3% nas folhas e houve diferenças estatísticas entre compartimentos. Para espécies de *Pinus* spp. (DALLA CORTE; SANQUETTA, 2007; BALBINOT et al. 2008; DALLAGNOL et al., 2011), *Mimosa scabrella* (DALLAGNOL et al., 2011; MELO et al. (2012), *Araucaria angustifolia*, *Eucalyptus grandis* e *Populus deltoides* (DALLAGNOL et al., 2011) os teores de carbono médios também são inferiores a 50% e os valores máximos raramente ultrapassam esse valor.

Vale salientar que espécies com teores médios de C inferiores a 50% não são a regra. Thomas e Martin (2012) ao revisarem 31 estudos sobre o C% nos fustes de 253 espécies em diferentes biomas, encontraram valores médios superiores a 50% em coníferas das Florestas Subtropical/Mediterrânea e Temperada/Boreal. Navarro et al. (2013) também detectaram valores médios chegando a até 55% em espécies tropicais distribuídas em diferentes estágios sucessionais na Costa Rica. Gao et al. (2016) ao estudarem as seis principais espécies da Floresta Boreal da América do Norte encontraram valores entre $49,0 \pm 0,1\%$ a $53,0 \pm 0,3\%$ nos fustes. Para Thomas e Malczewski (2007) a média geral dos teores de carbono de 3 espécies de coníferas é de $50,82 \pm 0,09$ enquanto a de 11 espécies de angiospermas é de $49,49 \pm 0,21\%$, apesar de haver algumas espécies de angiospermas que apresentaram valores médios individuais superiores a 50%. Mesmo com essas diferenças entre os teores de carbono nas distintas espécies, regiões e tipologias, as comparações devem ser feitas com cautela, pois a metodologia empregada varia em cada estudo e pode influenciar no resultado final.

A dispersão em relação à média expressa pelo coeficiente de variação se mostrou baixa para os compartimentos das oito espécies com uma amplitude de 3,0 a 14% apenas (Tabela 9), mostrando que os teores de C% se comportam de maneira similar entre os indivíduos da mesma espécie. Baixa dispersão entre teores de carbono de diferentes espécies e partes das plantas são registradas em outros trabalhos (ELIAS; POTVIN, 2003; THOMAS; MALCZEWSKI, 2007; VIEIRA et al. 2009; THOMAS; MARTIN, 2012; PEREIRA JÚNIOR et al., 2016), mas podem chegar a valores altos de até 38%, como os registrados por Navarro et al. (2013).

A igualdade estatística entre C% médio dos compartimentos de seis espécies analisadas que proporcionou a utilização de um único valor médio (46,4%), é um resultado de extrema relevância e que facilita as estimativas do potencial de sequestro de carbono na Caatinga. No entanto, em futuras estimativas as proporções de biomassa de fuste, galhos grossos, galhos finos e folhas devem ser separadas para a utilização de teores específicos nas espécies *C. heliotropiifolius* e *P. bracteosa* (Tabela 13).

O agrupamento de algumas espécies em diferentes tipologias, devido as semelhanças estatísticas entre os seus teores de carbono em um ou mais compartimento das plantas já vem sendo sugerido (WEBER et al., 2006; VIEIRA et al. 2009; DALLAGNOL et al., 2011; WATZLAWICK et al., 2011; PEREIRA JÚNIOR et al.,

2016), mas estudos mais específicos para entender se as diferenças e semelhanças entre os mesmos compartimentos de diferentes espécies são devido a fatores internos das espécies ou externos do ambiente, devem ser aperfeiçoados.

Além dos diferentes compartimentos e espécies, outros fatores, que não foram considerados neste estudo, são descritos na literatura com potencial para influenciar na variação dos teores de carbono, tais como: o estágio de sucessão da vegetação analisada (NAVARRO et al. 2013), o bioma a que pertencem (ELIAS e POTVIN 2003; THOMAS e MARTIN, 2012), espécies de coníferas ou de angiospermas (THOMAS e MALCZEWSKI, 2007; THOMAS e MARTIN, 2012), posição interna do tronco (YEBOAH; BURTON; STORER, 2014), lenho jovem ou tardio (LAMLOM e SAVIDGE, 2003), tolerância das espécies à sombra (GAO et al. 2016), taxa de crescimento e densidade específica da madeira (ELIAS e POTVIN, 2003; MARTIN e THOMAS, 2011; BECKER et al, 2012), são alguns exemplos.

No caso da densidade específica da madeira, estudos apontam uma alta correlação (86%) com os teores de carbono das espécies (ELIAS; POTVIN, 2003), já outros estudos não encontraram nenhuma relação (THOMAS; MALCZEWSKI, 2007). Segundo Moreschi (2012), a madeira é produto da natureza em contínuo desenvolvimento não fornecendo medidas ou valores fixos e constantes e a sua densidade é um reflexo das inúmeras influências externas (localização geográfica, clima, solo, índice de sítio, altitude, declividade, vento, espaçamento, associação de espécies e métodos silviculturais) e internas (umidade, lenho inicial e tardio, largura dos anéis de crescimento e posição do tronco) que atuam na organização e nas dimensões das células do lenho.

Ainda é um desafio incorporar teores médios de C específicos para todas as espécies em projetos voltados ao mercado de carbono, devido à dificuldade em se obtê-los, como também pela grande diversidade de espécies registradas nos distintos biomas. Apesar da limitação do número de espécies deste estudo, oito apenas, já é possível incorporar os valores médios de teores de carbono descritos na Tabela 11 em projetos voltados ao mercado de carbono na Caatinga, evitando a utilização de um valor fixo geral, sem considerar as diferenças entre e dentro das espécies e do ambiente, que podem levar à valores de estoques de carbono sub ou superestimados aos reais.

4. CONCLUSÕES

É possível utilizar um único valor de teor de carbono para *A. colubrina*, *A. pyrifolium*, *B. cheilantha*, *C. quercifolius*, *M. ophthalmocentra* e *M. tenuiflora* sem ocorrer distinções entre fuste, galhos e folhas.

Para *C. heliotropiifolius* e *P. bracteosa* há que se utilizar valores distintos por compartimento para os seus indivíduos, para que não haja tendências nas estimativas de estoques de carbono.

Recomenda-se o desenvolvimento de mais estudos para verificar o nível de influência da densidade específica da madeira e de outros fatores internos da planta, bem como dos fatores ambientais, nos teores médios de carbono dessas oito espécies.

REFERÊNCIAS

ANDRADE-LIMA, D. Estudos Fitogeográficos de Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife-PE, v. 4, p. 243-274, 2007.

BALBINOT, R. et al. Estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp. em diferentes idades no sul do estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba-PR, v. 38, n. 2, p. 318-324, 2008.

BECKER, G. S. et al. Relations between wood variables and how they relate to tree size variables of tropical African tree species. **Trees- Structure and Function**, v. 26, p. 1101–1112, 2012.

BROWN, S. Mitigation potential of carbon dioxide emissions by management of forest in Asia. **Ambio**, v. 25, p. 273-278, 1996.

DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. Quantificação do estoque de carbono fixado em reflorestamentos de *Pinus* na área de domínio da Floresta Ombrófila Mista no Paraná. **Cerne**, Lavras-MG, v. 13, n. 1, p. 32-39, 2007.

DALLAGNOL, F. S. et al. Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v. 18, n. 4, p. 410-416, 2011.

ELIAS, M.; POTVIN, C. Assessing inter- and intra-specific variation in trunk carbon concentration for 32 neotropical tree species. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 33, p. 1039-1045, 2003.

GAO, B. et al. Variation in total and volatile carbon concentration among the major tree species of the boreal forest. **Forest Ecology and Management**, v. 375, p. 191-199, 2016.

GIULIETTI, A. M. et al. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: SILVA et al. (Orgs.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 48-77.

HIGUCHI, N. E CARVALHO JUNIOR, J. A. Biomassa florestal e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x SEQUESTRO DE CO₂ - UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL. 1., 1995, Rio de Janeiro-RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1995. p. 125-153.

KOEHLER, H. S. et al. Fontes de erros nas estimativas de biomassa e carbono fixado na Floresta Ombrófila Mista. **Biomassa & Energia**, Viçosa-MG, v. 2, n.1, p. 69-77, 2005.

LAIHO, R.; LAINE, J. Tree stand biomass and carbon content in an age sequence of drained pine mires in southern Finland. **Forest Ecology and Management**, v. 93, p.161- 169, 1997.

LAMLON, S. H.; SAVIDGE R. A. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. **Biomass and Bioenergy**, v. 25, p. 381 – 388, 2003.

MARTIN A. R, THOMAS S. C. A Reassessment of Carbon Content in Tropical Trees. **PloS One**, v. 6, n. 23533, p. 1 - 9, 2011.

MELO, A. A. et al. Individual Biomass and Carbon Equations for *Mimosa scabrella* Benth. (Bracatinga) in Southern Brazil. **Silva Fennica**, v. 46, n.3, p. 333-343, 2012.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. 4^o ed. Curitiba-PR: Editora UFPR. 2012.

NAVARRO, M. et al. Successional variation in carbon content and wood specific gravity of four tropical tree species. **Bosque**, v. 34, n. 1, p.33-43, 2013.

PEREIRA JÚNIOR, L. et al. Carbon stocks in a tropical dry forest in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 47, n. 1, p. 32-40, 2016.

SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização do bioma Caatinga. In: GARIGLIO, M. A. et al. (Orgs.) **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p.27-48.

SAMPAIO, E. V. S.; COSTA, T. L. Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordeste: Estimativas Preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, v. 6, p. 1275-1291, 2011.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Orgs.) **As florestas e o carbono**, Curitiba, 2002, p. 119-140.

SANTOS, J. C. et al. Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 276-286, 2011.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P; SOUZA, C. A. M. S. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**, 2.ed. Santa Maria: UFSM/FACOS, 2009.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal componentes analysis in the software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, 2009, Reno-NV-USA. **Anais...** Reno: American Society of Agriculture and Biological Engineers, 2009.

STORCK, L. et al. **Experimentação Vegetal**. 2 ed. Santa Maria-RS: Editora UFSM, 2006.

THOMAS, S. C.; MALCZEWSKI, G. Wood carbon content of tree species in Eastern China: Interspecific variability and the importance of the volatile fraction. **Journal of Environmental Management**, v. 85, p. 659–662, 2007.

THOMAS, S. C.; MARTIN, A. R. Carbon Content of Tree Tissues: A Synthesis. **Forests**, v. 3, p.332-352, 2012.

VIEIRA, G. et al. Teores de carbono em espécies vegetais da Caatinga e do Cerrado. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias Ambientais**, Curitiba-PR, v. 7, n. 2, p. 145-155, 2009.

WATZLAWICK, L. F. et al. Variação nos Teores de Carbono Orgânico em Espécies Arbóreas da Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v. 18, n. 3, p. 248-258, 2011.

WEBER, K. S. et al. Teores de Carbono Orgânico de Seis Espécies Naturais do Ecosistema da Floresta Ombrófila Mista. **Ambiência**, Guarapuava-PR, v. 2 n. 2, p. 167-177, 2006.

YEBOAH, D.; BURTON, A. J.; STORER, A. J. Variation in wood density and carbon content of tropical plantation tree species from Ghana. **New Forests**, v. 45, p.35–52, 2014.

CAPÍTULO 3: DINÂMICA DA ESTRUTURA E DO ESTOQUE DE CARBONO DE UMA ÁREA DE CAATINGA ARBUSTIVO-ARBÓREA

1. INTRODUÇÃO

Os conhecimentos acumulados sobre as comunidades vegetais, o padrão de regeneração e informações sobre o crescimento de cada espécie arbórea ou de grupos de espécies permitem tecer as primeiras conclusões sobre o processo de dinâmica de uma vegetação (LAMPRECHT, 1990). Além disso, a produção, mortalidade e o recrutamento são de grande importância, visto que o estudo desses parâmetros indica o crescimento e as mudanças ocorridas nas áreas de vegetação nativas quanto a sua composição e estrutura (MENDONÇA, 2003).

As mudanças que ocorrem dentro de uma área de vegetação nativa podem estar relacionadas a fatores como a predação/herbivoria, competição, distúrbios naturais como inundações e secas prolongadas, distúrbios antrópicos, fatores bióticos e abióticos (CARVALHO, 1999; APPOLINÁRIO; OLIVEIRA; GUILHERME, 2005; RUSCHEL; MANTOVANI; NODARI, 2009).

No semiárido brasileiro a Caatinga é a principal formação vegetal presente, sendo essencialmente heterogênea no que se refere à fitofisionomia e à estrutura (ANDRADE-LIMA, 1981). Essa é uma vegetação xerófita e caducifólia que ocupa mais de 50% da região Nordeste do Brasil e apresenta espécies endêmicas de plantas e animais. Os diferentes cenários encontrados dentro dessa tipologia são interpretados como o resultado da interação de vários fatores, tais como o solo e o clima, que influenciam grandemente o tipo de vegetação, além dos processos históricos de ocupação pelo homem, e das características sócio culturais das populações locais (ARAÚJO, CASTRO e ALBUQUERQUE, 2007).

A característica ambiental mais marcante no domínio das Caatingas é a estacionalidade e a irregularidade hídrica (apenas 4 a 6 meses de chuvas por ano) (ARAÚJO, 1998). Também, podem ocorrer atrasos ou antecipações das estações secas e chuvosas; essa imprevisibilidade atua como um fator de estresse adicional que modifica características demográficas das populações de plantas (ARAÚJO, 2005).

Estudos sobre a dinâmica das comunidades vegetais em áreas de florestas úmidas brasileiras são bem frequentes, mas em áreas de Caatinga são escassos,

sendo relatados pouco menos de uma dezena (SAMPAIO, SALCEDO e KAUFFMAN, 1993; ALBUQUERQUE, 1999; CAVALCANTI et al., 2009; CAVALCANTI e RODAL, 2010; PIMENTEL, 2012; BARRETO, 2013). Segundo Cavalcanti et al. (2009) a ausência de trabalhos sobre a influência da variação temporal na estrutura e composição das comunidades lenhosas da vegetação de Caatinga é preocupante, pois a área do bioma como um todo sofre um intenso processo de antropização.

As causas desse processo de antropização estão associadas as atividades agropastoril, ao extrativismo predatório, a substituição da vegetação nativa, por meio de queimadas ou retirada da madeira existente, pelas culturas dependentes de chuva ou cultivos irrigados. Essas alterações modificam o ciclo do carbono, importante elemento na manutenção da dinâmica dos ecossistemas e das mudanças climáticas globais (GIONGO et al., 2011).

Em 2012, as emissões trópicas líquidas anuais de CO_{2eq} na Caatinga foram de apenas 3,7% em relação aos demais biomas no Brasil (MCT, 2014). Apesar da pequena participação, pesquisas mostram ela como uma das formações vegetacionais mais vulneráveis frente às mudanças climáticas. Os cenários mais pessimistas estimam um aumento de 2 a 4 °C na temperatura média e um clima 15 a 20% mais seco, havendo uma diminuição dos níveis de água, impactos na agricultura de subsistência e na saúde da população e, uma perda significativa da biodiversidade dessa região até o final do século XXI (INPE, 2007).

A capacidade da vegetação arbórea em absorver e armazenar carbono em suas estruturas já é conhecida, sendo que essa característica se torna uma estratégia na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais. Esse papel de sumidouro de carbono é considerado um serviço ambiental de extrema importância, mas que precisa ser quantificado.

Sobre os estoques de carbono na biomassa da Caatinga, se sabe muito pouco e uma melhor compreensão das variações na dinâmica e na estrutura dessa tipologia é necessária para estimar o impacto dela e de sua antropização no aquecimento global, para que se possa prever o potencial em perder ou armazenar carbono, e assim desenvolver estratégias de manejo adequadas.

As pesquisas de longo prazo, por meio de parcelas permanentes, são essenciais para o entendimento das mudanças na estrutura de uma vegetação colaborando na formulação de ações adequadas de manejo e conservação dos recursos naturais (SANQUETTA, 2008). Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi

analisar a dinâmica da estrutura, da biomassa e dos estoques de carbono (C) no componente arbóreo da vegetação em um fragmento de Caatinga Arbustivo-Arbórea entre os anos de 2008 e 2013.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido em uma área de 50 ha de Savana-Estépica Arborizada dentro da Fazenda Itapemirim, de propriedade da Agrimex Agroindustrial Excelsior S.A. localizada no município de Floresta, no estado de Pernambuco, conforme descrito na metodologia geral.

2.2 Estrutura e dinâmica do crescimento arbóreo

Florística e diversidade - foram determinados o número de espécies, gêneros e famílias botânicas, descrevendo a ocorrência ou ausência de cada espécie durante as remedições realizadas na área amostrada. As nomenclaturas seguem o padrão sugerido pelo Angiosperm Phylogeny Group III (APG III, 2009). A diversidade florística foi analisada pelo Índice de Diversidade de Shannon (H').

Estrutura horizontal - a análise fitossociológica por meio de estimativas dos seguintes parâmetros: densidade absoluta (DA), densidade relativa (DR), dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoR), frequência absoluta (FA), frequência relativa (FR) e valor de importância (VI).

Taxa de mortalidade e recrutamento - para este estudo, o recrutamento de indivíduos arbustivo-arbóreos nas parcelas foi considerado como o número dos que não constavam na medição inicial e que atingiram o critério de inclusão ($CAP \geq 6$ cm) na medição final. A mortalidade foi considerada como o número de indivíduos que foram medidos na medição inicial e que tiveram sua morte verificada na medição final.

As taxas de mortalidade e recrutamento foram calculadas em porcentagem (%), sendo a taxa a simples proporção do número de plantas recruta/mortas no período analisado em relação ao número de plantas vivas inicialmente avaliadas. Também foi realizado uma análise de Correlação de Pearson com os parâmetros estruturais (indivíduos vivos, mortos e recrutados) das espécies e a precipitação anual.

Distribuição diamétrica - a análise da estrutura diamétrica foi caracterizada pela distribuição das frequências dos diâmetros de todos os indivíduos arbustivo-arbóreos vivos da área amostral e para as oito espécies de maior valor de importância em classes com amplitude de 2 cm. As análises foram realizadas apenas para 2008 e 2013, sendo aplicado o teste Qui-quadrado (χ_2) para a verificação de diferença estatística entre os anos com um nível de probabilidade $\alpha = 0,01$ com C-1 graus de liberdade (C = número de classes de DAP). Se o χ_2 calculado é maior que o tabelado, rejeita-se a hipótese da nulidade (H_0) e as distribuições diamétricas de 2008 e 2013 serão consideradas diferentes (hipótese alternativa H_1).

Incremento periódico em diâmetro - a dinâmica do crescimento da floresta foi avaliada pelo incremento periódico anual em diâmetro (IPA_d), durante o período inventariado para as 8 espécies de maior valor de importância, demais espécies (grupo de todas as espécies identificadas, excluindo as 8 espécies de maior valor de importância) e todas as espécies (grupo de todas as espécies analisadas, incluindo as 8 espécies de maior valor de importância). Esse incremento foi calculado pela subtração do diâmetro de um determinado indivíduo na última ocasião de remedição (d_{2013}) pelo seu diâmetro na primeira ocasião de medição (d_{2008}) dividido pelo período entre a primeira medição e a última remedição (5 anos). A partir do incremento periódico de cada indivíduo foi calculada a média, bem como o desvio padrão e o coeficiente de variação desses incrementos.

2.3 Dinâmica e estoques de Biomassa e Carbono

Para a análise da dinâmica dos estoques da biomassa e de carbono, foram utilizados os dados de diâmetro a 1,30 m do solo (DAP em cm) e altura total (HT em metros) das espécies nas 40 parcelas permanentes descritas na metodologia geral, para os anos de 2008, 2011, 2012 e 2013. Esses dados foram substituídos nas equações de biomassa aérea seca descritas na Tabela 14 para as 8 espécies de maior valor de importância e para as demais espécies (grupo de todas as espécies identificadas, excluindo as 8 espécies de maior valor de importância), conforme capítulo 1, e as estimativas em Kg por indivíduo foram extrapoladas para toneladas.ha⁻¹ (Mg.ha⁻¹) por meio de relações matemáticas simples, obtendo os valores de biomassa seca da área por hectare.

Tabela 14 – Equações matemáticas utilizadas para a estimativa da biomassa aérea seca em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

Espécie	Equação	R_{aj}^2	$S_{yx}(\%)$	IF(%)
<i>A. colubrina</i>	$BS_i = 48,7255 * [1 - \exp(-0,1435 * DAP_i)]^{2,4096}$	0,89	20,69	32,5
<i>A. pyrifolium</i>	$BS_i = 0,7858 * (DAP_i^2 * HT_i)^{0,4550}$	0,75	26,64	42,5
<i>B. cheilantha</i>	$BS_i = 0,0669 * (DAP_i^{2,2115}) * (HT_i^{0,8155})$	0,97	12,09	19,0
<i>C. quercifolius</i>	$BS_i = 0,6064 * (DAP_i)^{1,4216}$	0,82	25,51	40,6
<i>C. heliotropiifolius</i>	$BS_i = 0,1868 * (DAP_i^{1,2764}) * (HT_i^{0,9410})$	0,76	18,96	29,7
<i>M. ophthalmocentra</i>	$\ln BS_i = -1,2884 + 1,6102 * \ln(DAP_i) + 0,4343 * \ln(HT_i)$	0,85	23,46	42,9
<i>M. tenuiflora</i>	$BS_i = 0,5084 * (DAP_i)^{1,7121}$	0,94	16,79	25,9
<i>P. bracteosa</i>	$BS_i = 6,6205 + 0,0341 * (DAP_i^2 * HT_i)$	0,85	23,40	37,3
Demais espécies	$\ln BS_i = -1,2884 + 1,6102 * \ln(DAP_i) + 0,4343 * \ln(HT_i)$	0,85	23,46	42,9

Em que: BS = massa total seca acima do solo (kg); DAP = diâmetro a altura do peito (cm); HT = altura total (m); $R_{aj}^2(\%)$ = coeficiente de determinação ajustado em percentagem; $S_{yx}(\%)$ = erro padrão da estimativa em percentagem e $IF(\%)$ = Índice de Furnival em percentagem.

De posse dos dados de biomassa aérea seca estimados por meio das equações (Tabela 14) ocorreu a multiplicação desses valores pelos seus respectivos teores de Carbono, conforme Capítulo 2. Para as oito espécies de maior valor de importância foram consideradas as proporções de biomassa aérea seca médias (%) que cada compartimento (fuste, folhas, galhos grossos e finos) apresentou, conforme Capítulo 1. Para as demais espécies dessa área de Caatinga foi considerado o valor geral de 50% para o teor de carbono sem separação por compartimento, já que não houve estudos específicos (Tabela 15).

Tabela 15 – Teores de carbono e proporções de biomassa aérea seca por compartimento da árvore em uma em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

Espécie	Fuste		Galhos Grossos		Galhos Finos		Folhas	
	C (%)	Bs (%)	C (%)	Bs (%)	C (%)	Bs (%)	C (%)	Bs (%)
<i>A. colubrina</i>	46,4	59,4	46,4	20,8	46,4	15,2	46,4	4,6
<i>A. pyrifolium</i>	46,4	46,1	46,4	21,9	46,4	27,5	46,4	4,5
<i>B. cheilantha</i>	46,4	44,8	46,4	9,2	46,4	42,1	46,4	4,0
<i>C. quercifolius</i>	46,4	54,9	46,4	23,9	46,4	14,0	46,4	7,3
<i>C. heliotropiifolius</i>	48,5	53,1	46,0	7,4	46,0	35,9	43,0	3,6
<i>M. ophthalmocentra</i>	46,4	38,9	46,4	20,2	46,4	38,3	46,4	2,7
<i>M. tenuiflora</i>	46,4	53,6	46,4	20,5	46,4	21,1	46,4	4,9
<i>P. bracteosa</i>	44,8	52,2	40,8	26,7	46,0	17,3	48,1	3,9
Demais espécies	50,0	-	50,0	-	50,0	-	50,0	-

Em que: $C\%$ = teor de carbono em percentagem e $Bs\%$ = proporção de biomassa aérea seca médias por compartimento em percentagem

As mudanças nos estoques de carbono que ocorreram entre os anos de 2008 a 2013 foram calculadas por meio da seguinte expressão:

$$\Delta C_i = \frac{(Ct_n - Ct_{n-1})}{\Delta t} \quad (02)$$

Em que: ΔC_i = variação do estoque de carbono na área i ; Ct_n = estoque de C no ano n ; Ct_{n-1} = estoque de C no ano $n - 1$; Δt = intervalo de tempo em anos.

Para a conversão dos estoques de carbono ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}} \text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) foi utilizado o fator 3,67 com base nos pesos moleculares do C (12) e do Oxigênio (16). Logo, pela multiplicação desse fator pelo estoque de C foi obtido o estoque de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ e, conseqüentemente, os créditos de C da área, já que por convenção cada crédito de carbono equivale a uma tonelada de $\text{CO}_{2\text{eq}}$.

3.RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Dinâmica do crescimento arbóreo

Florística e diversidade - no primeiro ano de inventário (2008) foram encontradas 25 espécies arbóreas, pertencentes a 23 gêneros e a 9 famílias botânicas. Já em 2013 ocorreram 24 espécies, pertencentes a 22 gêneros e a 9 famílias botânicas. Ao longo desse período não houve modificações marcantes na composição florística dessa área, ocorrendo apenas o recrutamento de *Erytroxylum* sp. e *Ximenia americana* L. e a mortalidade de *Neocalyptrocalyx longifolium* (Mart.) Cornejo & Iltis, *Varronia leucocephala* (Moric.) J.S.Mill. e *Ziziphus joazeiro* Mart.

No total para os cinco anos inventariados foram descritas 27 espécies, pertencentes a 25 gêneros e a 11 famílias, sendo que a família com maior diversidade de espécies foi a Fabaceae com 9, ou seja, 33,3% do número total de espécies. A pequena variação na riqueza de espécies pode estar relacionada ao bom nível de preservação dessa área, que não sofre influência antrópica direta, apenas o eventual pastejo de alguns caprinos criados de forma extensiva e também à dinâmica natural das populações onde o registro de espécies pouco abundantes podem de fato flutuar temporalmente (SWAINE, LIEBERMAN e PUTZ, 1987).

O Índice de Diversidade de Shannon foi de 1,74 para o ano de 2008 e de 1,65 em 2013. Segundo Sampaio (2010) esse índice varia de 1,5 a 3,0 na maior parte da

Caatinga. A diferença entre os anos nesse estudo não se deu apenas pela redução de uma espécie nesse período e, sim devido à perda de densidade ocasionada pela alta mortalidade, já que esse índice é relacionado a abundância proporcional das espécies (MAGURAN, 1989).

Estrutura horizontal - Em relação a densidade, as mudanças na estrutura dessa vegetação foram mais acentuadas (Tabela 16). No ano de 2008 foram registrados 1506,3 indivíduos.ha⁻¹ com 4048,8 fustes.ha⁻¹, uma razão de 2,7 fustes.indivíduos⁻¹. Já em 2013 foram 1296,3 ind.ha⁻¹ com 3431,2 fustes.ha⁻¹ com uma razão 2,6 fustes.indivíduos⁻¹. Houve um decréscimo de 15,3% no número de fustes.ha⁻¹.

As 10 espécies de maior valor de importância permaneceram praticamente as mesmas nos anos inventariados. Essas espécies de maior importância representam 94,2 e 95,3% da densidade total e 93,4 e 94,3% da dominância total na área em 2008 e 2013, respectivamente. Em uma área menos preservado do que a do presente estudo, Pimentel (2012) encontrou valores semelhantes em uma área de Caatinga, 24 anos após supressão total da vegetação no estado de Pernambuco, sendo que o grupo das 10 espécies de maior valor de importância correspondeu a aproximadamente 89,3 e 92,6% da densidade total e a 94,6 e 87,7% da dominância total entre os anos de 2008 e 2011, respectivamente.

P. bracteosa, espécie de maior importância dentro dessa vegetação devido a sua alta densidade, durante os cinco anos apresentou uma redução de 106,9 fustes.ha⁻¹ e um aumento de 0,2040 m².ha⁻¹ em área basal, mesmo com a perda em densidade houve um crescimento das remanescentes. Segundo Alves Júnior et al. (2013) quando analisaram a regeneração natural dessa mesma área observaram que *P. bracteosa* é uma das espécies com maior densidade estando distribuída em todas as classes de regeneração, o que mostra o potencial de estabelecimento e adaptação as condições ambientais nessa área.

Em relação à frequência das espécies na área pode-se dizer que apenas *P. bracteosa* esteve presente em toda a área durante o intervalo inventariado. O fato da maioria das espécies terem uma diminuição nas suas frequências é atribuído a mortalidade, mas nem todas as espécies que tiveram perdas em sua densidade diminuiram o seu espaço de ocupação na área como é o caso de *P. bracteosa*, por exemplo.

Tabela 16 - Estrutura horizontal para os anos de 2008 e 2013 em uma área de Caatinga, Floresta, Pernambuco

Espécie	Densidade				Dominância				Frequência				Valor de Importância	
	Absoluta (ind.ha ⁻¹)		Relativa (%)		Absoluta (m ² .ha ⁻¹)		Relativa (%)		Absoluta (%)		Relativa (%)		Importância (%)	
	2008	2013	2008	2013	2008	2013	2008	2013	2008	2013	2008	2013	2008	2013
<i>Poincianella bracteosa</i> (Tul.) L.P.Queiroz	2096,3	1989,4	51,8	58,0	2,742	2,946	46,1	50,5	100,0	100	10,8	11,6	108,7	120,0
<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart. ex Benth.	756,9	380,6	18,7	11,1	0,677	0,355	11,4	6,1	100,0	95,0	10,8	11,0	40,8	28,2
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	301,9	301,9	7,5	8,8	0,362	0,437	6,1	7,5	62,5	62,5	6,7	7,2	20,3	23,5
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	96,9	101,3	2,4	3,0	0,424	0,458	7,1	7,8	72,5	70,0	7,8	8,1	17,3	18,9
<i>Cnidoscolus quercifolius</i> Pohl	92,5	90,6	2,3	2,6	0,386	0,409	6,5	7,0	65,0	65,0	7,0	7,5	15,8	17,2
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. cebil (Griseb.) Altschul	86,9	79,4	2,1	2,3	0,276	0,284	4,6	4,9	60,0	57,5	6,5	6,6	13,2	13,8
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	140,6	130,6	3,5	3,8	0,058	0,062	1,0	1,1	62,5	65,0	6,7	7,5	11,2	12,4
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	106,3	70,6	2,6	2,1	0,249	0,224	4,2	3,8	47,5	42,5	5,1	4,9	11,9	10,8
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B.Gillett	31,3	25,0	0,8	0,7	0,296	0,246	5,0	4,2	37,5	35,0	4,0	4,0	9,8	9,0
<i>Croton heliotropiifolius</i> Kunth	103,8	100,6	2,6	2,9	0,040	0,048	0,7	0,8	45,0	45,0	4,8	5,2	8,1	9,0
<i>Manihot carthaginensis</i> subsp. glaziovii (Müll.Arg.) Allem	60,6	28,1	1,5	0,8	0,109	0,071	1,8	1,2	50,0	42,5	5,4	4,9	8,7	6,9
<i>Jatropha molissima</i> (Pohl) Baill.	38,1	27,5	0,9	0,8	0,025	0,016	0,4	0,3	62,5	47,5	6,7	5,5	8,1	6,6
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	55,0	46,9	1,4	1,4	0,067	0,063	1,1	1,1	42,5	35,0	4,6	4,0	7,1	6,5
<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	13,1	11,9	0,3	0,3	0,068	0,072	1,1	1,2	30,0	27,5	3,2	3,2	4,7	4,8
<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	12,5	11,3	0,3	0,3	0,081	0,072	1,4	1,2	22,5	22,5	2,4	2,6	4,1	4,2
<i>Combretum glaucocarpum</i> (L.) Morong	12,5	13,8	0,3	0,4	0,005	0,007	0,1	0,1	17,5	20,0	1,9	2,3	2,3	2,8
<i>Spondias tuberosa</i> Arruda	4,4	4,4	0,1	0,1	0,038	0,043	0,6	0,7	2,5	2,5	0,3	0,3	1,0	1,2
<i>Senna macranthera</i> (DC. ex Collad.) H.S.Irwin & Barneby	3,8	3,8	0,1	0,1	0,004	0,005	0,1	0,1	7,5	7,5	0,8	0,9	1,0	1,1
<i>Libidibia ferrea</i> (Mart. ex Tul.) L.P.Queiroz	3,8	1,9	0,1	0,1	0,008	0,008	0,1	0,1	5,0	5,0	0,5	0,6	0,8	0,8
<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J.Presl	3,1	2,5	0,1	0,1	0,004	0,005	0,1	0,1	5,0	5,0	0,5	0,6	0,7	0,7
<i>Erythrostemon calycina</i> (Benth.) L.P.Queiroz	15,6	3,1	0,4	0,1	0,012	0,002	0,2	0,0	15,0	5,0	1,6	0,6	2,2	0,7
<i>Cnidoscolus bahianus</i> (Ule) Pax & K.Hoffm.	5,6	5,0	0,1	0,1	0,005	0,006	0,1	0,1	5,0	2,5	0,5	0,3	0,8	0,5
<i>Erytroxylum</i> sp.	x	0,6	x	0,0	x	0,000	x	0,0	x	2,5	x	0,3	x	0,3
<i>Ximania americana</i> L.	x	0,6	x	0,02	x	0,000	x	0,0	x	2,5	x	0,3	x	0,3
<i>Neocalyptrocalyx longifolium</i> (Mart.) Cornejo & Ittis	1,9	x	0,05	x	0,001	x	0,01	x	2,5	x	0,3	x	0,3	x
<i>Varronia leucocephala</i> (Moric.) J.S. Mill.	5,0	x	0,1	x	0,003	x	0,05	x	7,5	x	0,8	x	1,0	x

Continua...

Tabela 16 - Estrutura horizontal para os anos de 2008 e 2013 em uma área de Caatinga, Floresta, Pernambuco

Espécie	Densidade				Dominância				Frequência				Valor de Importância (%)	
	Absoluta (ind.ha ⁻¹)		Relativa (%)		Absoluta (m ² .ha ⁻¹)		Relativa (%)		Absoluta (%)		Relativa (%)		2008	2013
	2008	2013	2008	2013	2008	2013	2008	2013	2008	2013	2008	2013		
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	0,6	x	0,02	x	0,000	x	0,01	x	2,5	x	0,3	x	0,3	x
TOTAL	4048,8	3431,2	100,0	100,0	5,9	5,8	100,0	100,0	930,0	865,0	100,0	100,0	300,0	300,0

A área basal em 2008 foi de $5,9422 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ e $5,8384 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ em 2013 um decréscimo de $0,1038 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$, mas isso não expressa o real comportamento em relação ao crescimento dessa vegetação, já que em 2011 havia $6,3066 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ e em 2012 de $6,8350 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ (Figura 11). Entre os anos de 2008 e 2011 houve um aumento de $0,3644 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$ e entre 2008 e 2012 de $0,8928 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$.

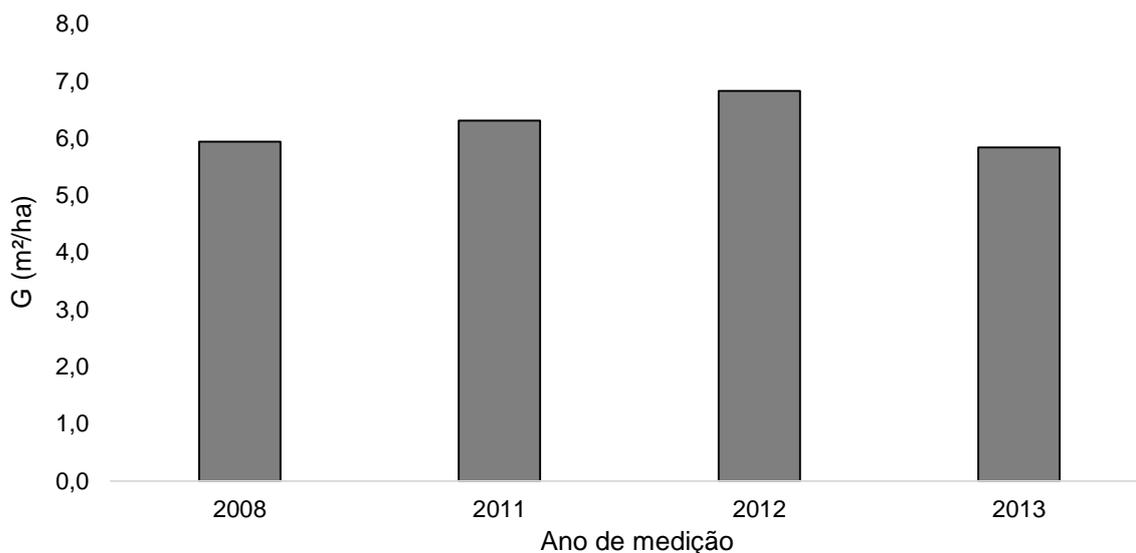


Figura 11 – Mudanças da área basal nos anos de 2008, 2011, 2012 e 2013 em uma área de Caatinga, Floresta, PE.

A redução da área basal se deu entre os anos de 2012 e 2013 com um saldo negativo de $0,9956 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}$, devido à grande mortalidade ocorrida nesse período, $825,0 \text{ fustes}.\text{ha}^{-1}$, equivalendo a 19,4% do total, e apenas o recrutamento de $6,3 \text{ fustes}.\text{ha}^{-1}$ no período. Segundo dados pluviométricos da APAC (2016) entre os meses de janeiro e dezembro de 2011 e 2012 choveu aproximadamente 335 e 121 mm, respectivamente, valores muito abaixo das chuvas anuais de 2008, 2009 e 2010, que foram de 652, 561 e 780 mm, fato que pode ter influenciado na alta mortalidade e diminuição da área basal (Figura 2).

Taxa de mortalidade e recrutamento - a mortalidade foi de $911,3 \text{ fustes}.\text{ha}^{-1}$ e o recrutamento de $293,8 \text{ fustes}.\text{ha}^{-1}$ com taxas de 7,3% e 22,5% durante os cinco anos analisados (Tabela 15). Dessa maneira a área apresentou um balanço negativo de $617,5 \text{ fustes}.\text{ha}^{-1}$, já que a alta mortalidade não foi compensada pelo recrutamento.

Pimentel (2012) não descreve as taxas, mas relata que a mortalidade superou o ingresso em 30,96% num período de três anos (2008 a 2011) em uma área de

Caatinga corroborando com os resultados desse estudo. Já Cavalcanti (2008) num período de cinco anos em uma área de Caatinga em Pernambuco relata taxas anuais de 4,23% de recrutamento e 1,98% de mortalidade. Martín et al (2005) estudando a dinâmica de duas tipologias de floresta tropical seca na Nicarágua (decídua e de galeria) durante sete anos encontraram 4,5 e 2,5%.ano⁻¹ para Floresta Decidual e 4,2 e 4,0%.ano⁻¹ para Floresta de Galeria para taxas de mortalidade e recrutamento, respectivamente. Esses autores relatam uma maior taxa de recrutamento e crescimento das espécies que não possuem nenhum uso local, indicando haver uma influência antrópica nas taxas de mortalidade.

Tabela 15 – Número de fustes vivos, recrutados e mortos por hectare (fustes/ha) e suas respectivas taxas de recrutamento e mortalidade (%) nos anos de 2008, 2011, 2012 e 2013 em uma área de Caatinga, Floresta, PE

Ano	Vivo	Recruta	Morto	Taxa de recrutamento (%)	Taxa de mortalidade (%)
2008	4048,8	-	-	-	-
2011	4157,5	165,6	56,9	4,0	1,4
2012	4250,0	121,9	29,4	2,9	0,7
2013	3431,3	6,3	825,0	0,2	19,4
TOTAL	-	293,8	911,3	7,3	22,5

Ao analisar a precipitação pluvial encontrou-se alta correlação com o recrutamento e a mortalidade ocorrido no mesmo período (Tabela 16), as correlações foram de 0,81 e -0,61, respectivamente, ou seja, menores quantidades de chuvas aumentam a mortalidade e diminuem o crescimento e conseqüentemente o recrutamento dos indivíduos das espécies presentes na área. Corroborando com esses resultados a relação entre o número de fustes vivos e a precipitação durante esse período de análise também mostra a influência do déficit hídrico na sobrevivência e desenvolvimento das espécies na área.

Tabela 16 – Correlação de Pearson para os parâmetros estruturais das espécies e a precipitação anual acumulada entre os anos analisados em uma área de Caatinga, Floresta, PE

	Indivíduos vivos (fuste.ha ⁻¹)	Recrutamento (fuste.ha ⁻¹)	Mortalidade (fuste.ha ⁻¹)
Precipitação (mm)	0,55	0,81	-0,61

A variação (perda e/ou ganho) de densidade de cada espécie pode ser atribuída, principalmente, à dinâmica das chuvas durante esse período. Segundo Andrade et al. (2009) a sazonalidade das chuvas em ambientes semi-áridos se torna um fator importante para a compreensão das variações de abundância das populações e da distribuição das espécies, mas, não há evidências que apenas isso possa influenciar, outros fatores ambientais desse hábitat (luminosidade, características do solo, distúrbios, competição, predação, etc.) também podem estar envolvidos no processo de desenvolvimento e crescimento de cada espécie e precisam ser investigados.

Distribuição diamétrica - em 2008, o diâmetro mínimo, máximo e médio da área era de 1,9, 30,4 e 3,7 cm, respectivamente, com um coeficiente de variação de 61%. Já em 2013, o diâmetro mínimo foi de 1,9 cm, o máximo de 29,9 cm, sendo que o médio foi de 4,0 cm, com um coeficiente de variação de 59%. Esses valores indicam que há uma alta variabilidade nos diâmetros, fato que pode ser atribuído à grande diversidade de espécies com tamanhos, necessidades, comportamentos e idades diferentes, características de ecossistemas naturais. Nos cinco anos de avaliações verificou-se um incremento de 0,3 cm no valor médio do DAP.

Na Figura 12 está apresentado o gráfico de distribuição diamétrica para os indivíduos que se encontravam vivos nos anos de 2008 e 2013 para todas as espécies. O valor calculado pelo teste do χ^2 para a distribuição diamétrica foi de 625,4 bem superior ao valor crítico de 23,2 (GL=10), mostrando que as distribuições diferem estatisticamente entre os anos de 2008 e 2013.

Na Figura 13 estão apresentados os gráficos de distribuição diamétrica para os indivíduos que se encontravam vivos nos anos de 2008 e 2013 das oito espécies de maior valor de importância na área de estudo.

O valor calculado pelo teste do χ^2 para *A. colubrina* e *C. quercifolius* foi de 6,9 e 12,6, bem abaixo do valor crítico de 20,1 (GL = 8), respectivamente, mostrando que as distribuições diamétricas não diferiram estatisticamente entre os anos de 2008 e 2013. Essas duas espécies apresentaram uma baixa mortalidade entre os cinco anos analisados e um pequeno avanço dos indivíduos vivos entre as classes de diâmetro, devido ao crescimento dessas espécies, mas esse desenvolvimento não foi tão significativo.

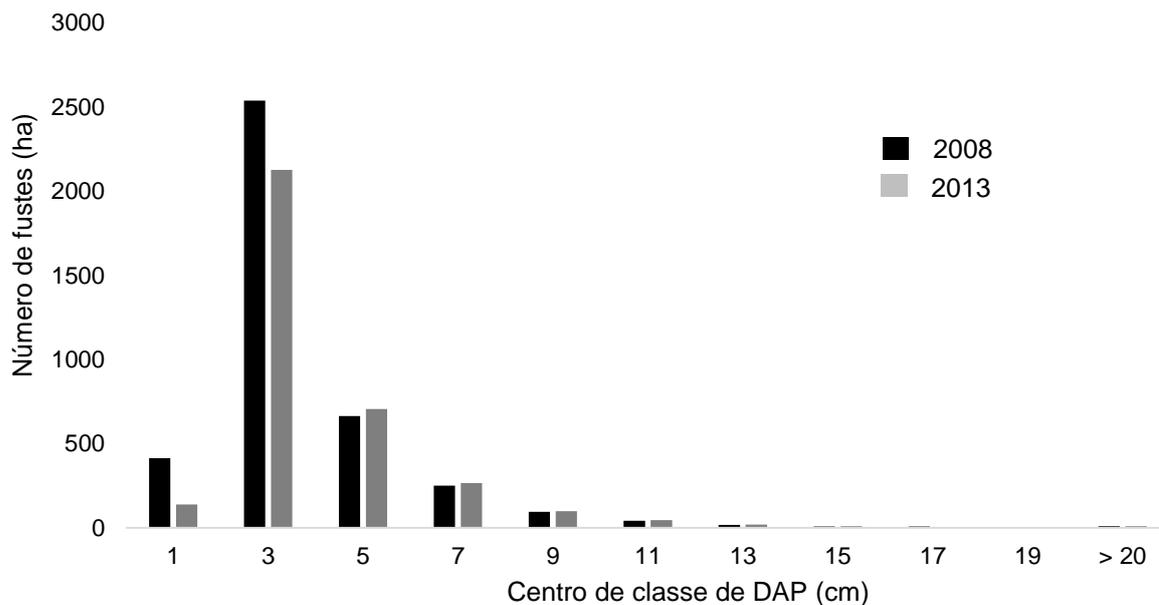


Figura 12 - Distribuição diamétrica de todas as árvores em 2008 e 2013 por classe de diâmetro a altura do peito em uma área de Caatinga, Floresta, PE.

O comportamento da distribuição diamétrica de *B. cheilantha* e *C. heliotropiifolius* é semelhante, pois apesar da pequena redução causada pela mortalidade durante os cinco anos, respectivamente de 10 e 3,2 fustes.ha⁻¹, houve um aumento do número de indivíduos nas duas últimas classes, ou seja, crescimento dos fustes remanescentes, o que permitiu o avanço (Figura 13).

A. pyriformium, apesar da dinâmica de recrutamento e mortalidade, apresentar o mesmo número de fustes em 2008 e 2013 (302 fustes.ha⁻¹). Destaca-se que houve um aumento do número de indivíduos em relação ao primeiro ano analisado a partir da terceira classe, devido ao crescimento em diâmetro (Figura 13). Diferente disso, para *M. tenuiflora* houve uma mortalidade total de 36 fustes.ha⁻¹, havendo aumento do número de indivíduos apenas na última classe de DAP.

M. ophthalmocentra apresentou uma mortalidade de aproximadamente 50% dos fustes entre os cinco anos analisados, essa espécie foi a que mais perdeu indivíduos, principalmente entre os anos de 2012 e 2013 (Figura 13). Essa perda ocorreu principalmente nas três primeiras classes de DAP (cm) e pode estar fortemente relacionada as baixas precipitações naqueles anos que foram de 174,9 e 96,8 mm, respectivamente. Cavalcanti et al. (2009) descrevem um aumento de densidade de quase três vezes para *M. ophthalmocentra* num período de cinco anos em uma área de Caatinga entre os municípios de Floresta e Betânia no estado de Pernambuco com precipitação e temperatura médias anuais de 511 mm e 25 °C, e

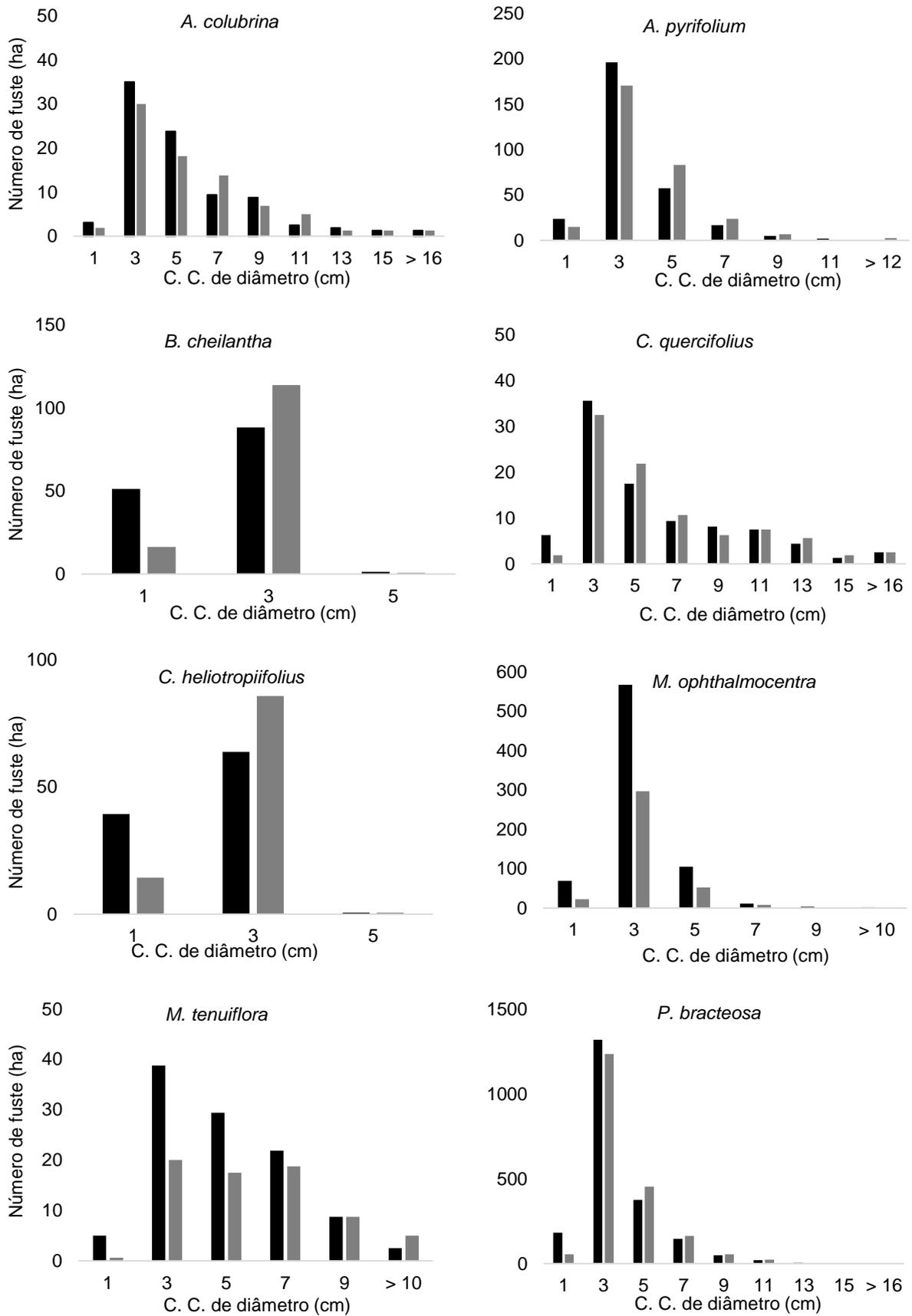


Figura 13 - Distribuição diamétrica das oito espécies de maior valor de importância por centro de classe (C.C) de diâmetro nos anos de 2008 e 2013 em uma área de Caatinga, Floresta, PE. Legenda: ■ 2008; ■ 2013.

déficit hídrico de 11 meses quando ocorreram totais pluviométricos máximos de 327 mm anuais.

O que se pode observar com esses resultados é que *M. ophthalmocentra* reage de maneira positiva (crescimento e recrutamento) em regiões com boa incidência de chuvas e de maneira negativa (mortalidade) em ambientes com o déficit hídrico. Segundo Cavalcanti et al. (2009) a dinâmica das populações é distinta e podem responder de forma positiva enquanto outras de forma negativa, aos fatores ambientais.

A distribuição diamétrica de *P. bracteosa* mostra, também, uma redução do número de indivíduos nas duas primeiras classes de diâmetro, mas um aumento nas classes subsequentes. Essa espécie não sofreu perdas tão significativas pela mortalidade e teve um avanço em termos de crescimento dos indivíduos que permaneceram vivos durante esse período.

Apesar da diminuição da densidade de fustes de *A. colubrina*, *B. cheilantha*, *C. quercifolius*, *C. heliotropiifolius* e *P. bracteosa*, houve um aumento líquido na área basal, devido ao alargamento do tamanho médio dos diâmetros dos fustes. *A. pyriformis*, apesar de não ter tido modificações no número de fustes, também aumentou sua área basal. Apenas *M. ophthalmocentra* e *M. tenuiflora* tiveram diminuições na área basal total, devido ao grande impacto causado pela mortalidade.

A distribuição diamétrica de todos os indivíduos arbóreos e de cada uma das oito espécies é do tipo unimodal, ou seja, apresentam um único ponto de maior frequência. Para Scolforo (2006) a maioria das florestas nativas de composição variada em espécies e idade apresenta uma distribuição diamétrica do tipo exponencial ou J-invertido, pois deveria ocorrer regeneração natural contínua. No entanto, espécies nativas consideradas de forma isolada podem apresentar unimodalidade, pois nesses casos a regeneração natural pode estar sendo influenciada pela predação de frutos e sementes ou a retirada de plantas do estoque de regeneração por algum motivo.

Outros fatores que podem estar influenciando nesse padrão são o diâmetro mínimo considerado para análise (1,9 cm) e a amplitude da classe (2 cm), geralmente em análises de florestas tropicais o diâmetro mínimo considerado é de 5 ou até 10 cm e amplitude segue a mesma proporção.

Incremento médio em diâmetro - O incremento diamétrico médio anual de todas as espécies foi de 0,08 cm.ano⁻¹, variando de 0,01 a 0,41 cm.ano⁻¹ (Tabela 17).

Cavalcanti (2008) relatou um incremento médio de 0,5 cm.ano⁻¹ em uma área de Caatinga, valor bem superior ao desse estudo. Para esse autor, as baixas precipitações podem ser um fator fundamental à dinâmica dessa comunidade, especialmente no que concerne ao crescimento em diâmetro dos indivíduos.

Dentre as espécies de maior valor de importância as médias de incremento foram muito próximas umas das outras, a menor média foi de *B. cheilantha* com 0,06 cm.ano⁻¹ e a maior foi de *M. tenuiflora* com 0,10 cm.ano⁻¹. *P. bracteosa* e *C. quercifolius* tiveram incrementos máximos expressivos de 0,41 e 0,35 cm.ano⁻¹. Esse resultado indica que essas espécies mantiveram padrões de crescimento semelhantes mesmo diante das mesmas condições ambientais da área. É importante ressaltar o alto coeficiente de variação dos incrementos, mostrando a alta variabilidade em relação ao crescimento mesmo dentro de uma mesma espécie.

Tabela 17 - Incremento diamétrico médio anual das 8 espécies de maior valor de importância, demais espécies e todas as espécies em 2008 e 2013 em uma área de Caatinga, Floresta, PE

Espécie	Média (cm.ano ⁻¹)	Mínimo (cm.ano ⁻¹)	Máximo (cm.ano ⁻¹)	Desvio Padrão (cm.ano ⁻¹)	Coeficiente de Variação (%)
<i>A. colubrina</i>	0,09	0,03	0,48	0,07	77,8
<i>A. pyriformis</i>	0,09	0,03	0,41	0,06	66,7
<i>B. cheilantha</i>	0,06	0,03	0,16	0,04	66,7
<i>C. quercifolius</i>	0,09	0,03	0,35	0,06	66,7
<i>C. heliotropiifolius</i>	0,07	0,03	0,25	0,04	57,1
<i>M. ophthalmocentra</i>	0,09	0,02	0,32	0,05	55,6
<i>M. tenuiflora</i>	0,10	0,03	0,32	0,06	60,0
<i>P. bracteosa</i>	0,08	0,01	0,41	0,05	62,5
Demais espécies	0,09	0,03	0,25	0,05	55,6
Todas as espécies	0,08	0,01	0,48	0,06	75,0

3.2 Dinâmica e estoques de Biomassa e Carbono

A estimativa de biomassa seca para a área de Caatinga foi de 27,0766 Mg.ha⁻¹, 29,0111 Mg.ha⁻¹, 30,9828 Mg.ha⁻¹ e de 27,0719 Mg.ha⁻¹ para os anos de 2008, 2011, 2012 e 2013, respectivamente (Tabela 18).

Os valores encontrados nesse estudo estão dentro da amplitude prevista para a Caatinga, de 2 a 160 Mg.ha⁻¹ (SAMPAIO; FREITAS, 2008). Alves (2011) descreve uma biomassa acumulada de 29,6 Mg.ha⁻¹ para uma área adjacente a do presente estudo. Para Sampaio (2010) em áreas de Caatinga com condições ambientais mais

favoráveis a biomassa total fica entre 50 e 150 Mg.ha⁻¹ e em vegetações com porte mais limitado pelas condições menos favoráveis e pela antropização, a biomassa varia de 20 Mg.ha⁻¹ a 80 Mg.ha⁻¹.

Tabela 18 - Dinâmica da biomassa seca (Mg.ha⁻¹) estimada para os anos de 2008, 2011, 2012 e 2013 em uma área de Caatinga, Floresta, PE

Espécie	BS em 2008* (Mg.ha ⁻¹)	BS em 2011* (Mg.ha ⁻¹)	BS em 2012* (Mg.ha ⁻¹)	BS em 2013* (Mg.ha ⁻¹)
<i>A. colubrina</i>	0,9309	0,9838	1,0352	0,9403
<i>A. pyrifolium</i>	1,1832	1,3116	1,4369	1,4744
<i>B. cheilantha</i>	0,1303	0,1564	0,2047	0,1666
<i>C. quercifolius</i>	0,8026	0,8288	0,8661	0,8374
<i>C. heliotropiifolius</i>	0,1223	0,1528	0,2116	0,1747
<i>M. ophthalmocentra</i>	2,3371	2,6465	3,0061	1,2746
<i>M. tenuiflora</i>	0,9474	0,9914	1,0766	0,8186
<i>P. bracteosa</i>	17,6486	18,7319	19,6930	18,3811
Demais espécies	2,9742	3,2077	3,4525	3,0043
TOTAL	27,0766	29,0111	30,9828	27,0719

Na biomassa para cada uma das espécies entre 2008 e 2012 houve sempre um incremento positivo e apenas entre 2012 e 2013 são observadas as perdas. Se considerarmos o comportamento da biomassa para todo o período (2008-2013), com exceção de *M. ophthalmocentra* e *M. tenuiflora*, a biomassa de 2013 sempre foi superior a biomassa de 2008. Para essas duas espécies as perdas por mortalidade foram elevadas, tendo ocorrido uma redução de 45,5 e 13,6%, respectivamente, na biomassa seca total durante os cinco anos analisados.

A relação entre biomassa seca com as precipitações ocorridas no período de 2008 e 2013 é de 87% pela Correlação de Pearson, mostrando a grande influência das chuvas no crescimento e desenvolvimento dessa área de Caatinga. Os fatores que influenciam o crescimento da biomassa são vastos, desde fatores ambientais, sucessionais e até das próprias plantas da área, mas o principal é a quantidade e distribuição das chuvas (MENEZES; SAMPAIO, 2000; SAMPAIO; FREITAS, 2008). Produtividades maiores do que as do semiárido nordestino são obtidas em regiões com maiores disponibilidades dos fatores de crescimento, principalmente água (SAMPAIO; COSTA, 2011).

O incremento periódico anual em biomassa para toda a área de Caatinga foi de 0,6448 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ entre 2008-2011, 1,9717 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ entre 2011-2012, -3,9109

Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ entre 2012-2013 e – 0,00094 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ entre 2008-2013. A grande mortalidade de indivíduos ocorrida entre 2012 e 2013 foi superior a biomassa adquirida por meio do recrutamento de novos indivíduos e o crescimento dos remanescentes.

A produção anual de biomassa encontrada no presente estudo é considerada baixa em relação ao que é descrito para a Caatinga. Nos poucos trabalhos que relatam o incremento anual de biomassa aérea os valores são estimados entre poucas centenas de kg.ha⁻¹ em anos de secas a 9 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ (TIESSEN et al.,1998; SAMPAIO et al.,1998; SAMPAIO; FREITAS, 2008; SAMPAIO; COSTA, 2011; MENEZES et al., 2012).

Para os anos de 2008, 2011, 2012 e 2013 foram encontrados 12,15 Mg.ha⁻¹, 13,03 Mg.ha⁻¹, 13,92 Mg.ha⁻¹ e 12,13 Mg.ha⁻¹ de Carbono na vegetação arbustivo-arbórea (Tabela 19). Em uma área com histórico de regeneração de 30 anos, menor do que o presente estudo, Pereira Júnior et al. (2016) descreveram um estoque de carbono da vegetação arbustivo-arbórea acima do solo de 19,27 Mg.ha⁻¹ e quando somado aos estoques de serrapilheira, das plantas herbáceas e das raízes, o estoque total foi para 27,19 Mg.ha⁻¹.

Tabela 19-Dinâmica do carbono (Mg.ha⁻¹) estimado entre os anos de 2008, 2011, 2012 e 2013 em uma área de Caatinga, Floresta, PE

Espécie	Carbono em 2008* (Mg.ha ⁻¹)	Carbono em 2011* (Mg.ha ⁻¹)	Carbono em 2012* (Mg.ha ⁻¹)	Carbono em 2013* (Mg.ha ⁻¹)
<i>A. colubrina</i>	0,4320	0,4565	0,4803	0,4363
<i>A. pyriformis</i>	0,5490	0,6086	0,6667	0,6841
<i>B. cheilantha</i>	0,0605	0,0726	0,0950	0,0773
<i>C. quercifolius</i>	0,3724	0,3845	0,4019	0,3886
<i>C. heliotropiifolius</i>	0,0578	0,0722	0,0999	0,0825
<i>M. ophthalmocentra</i>	1,0844	1,2280	1,3949	0,5914
<i>M. tenuiflora</i>	0,4396	0,4600	0,4995	0,3798
<i>P. bracteosa</i>	7,7774	8,2548	8,6784	8,1002
Demais espécies	1,3800	1,4884	1,6020	1,3940
TOTAL	12,1530	13,0256	13,9186	12,1342

Quando comparado com os estoques de carbono da Floresta Tropical Amazônica e da Floresta Ombrófila Mista, a área aqui avaliada apresenta valores bem inferiores, já que foram detectados estoques de 122 a 180 Mg.ha⁻¹ (VIEIRA et al., 2004) e de 104,3 Mg.ha⁻¹ (WEBER; SANQUETTA; EISFELD, 2005), respectivamente

para aquelas tipologias, mas quando comparado com a vegetação de Cerrado os estoques de carbono dessa área de Caatinga podem ser semelhantes ou até mesmo maiores, Rezende et al. (2006) e Paiva, Rezende e Pereira (2011) encontraram valores entre 4,9 a 13,3 Mg.ha⁻¹ de carbono para o Cerrado.

O incremento periódico anual em carbono entre 2008-2011 foi de 0,2909 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, entre 2011-2012 foi de 0,8930 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, entre 2012-2013 foi de -1,7844 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e para o período todo analisado (2008-2013) foi de -0,00376 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, mantendo o mesmo comportamento da biomassa para cada uma das oito espécies, o grupo das demais espécies e para a área total de Caatinga. Valores superiores ao encontrado nessa área são descritas na literatura em regiões da Floresta Tropical Amazônica, valores de 1,2 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ (HIGUCHI et al., 2004) e de 1,9 a 2,8 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ (VIEIRA et al., 2004), por exemplo.

Taxas de estoque de carbono baixas também foram descritas em Floresta Ombrófila Mista Montana por Mognon (2011), que encontrou um incremento em carbono de 0,31 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, durante 10 anos de análises. Souza et al. (2012) encontraram taxas de crescimento de 0,13 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e de 0,768 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ em vegetação com estágio médio e avançado de sucessão, respectivamente, para Floresta Estacional Semidecidual.

Chaturvedi, Raghubanshi e Singh (2011) estudaram os estoques e as taxas de carbono acumulado em cinco diferentes sítios em Florestas Tropicais Secas na Índia e concluíram que a área mais conservada apresenta 151 Mg.ha⁻¹ e um incremento de 5,3 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e a área menos conservada, com mais distúrbios, 15,6 Mg.ha⁻¹ e um incremento de 0,05 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹.

Ao utilizar o teor de carbono de 46,4% e a produção anual de biomassa referenciada para a Caatinga, teríamos uma estimativa de poucas centenas de kg.ha⁻¹ em anos de secas a 4,2 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ de carbono. Como as taxas de estoques de carbono para a Caatinga são escassas, as comparações com outras tipologias são importantes, apesar de diferentes condições ambientais e espécies, pois podem mostrar o potencial de armazenamento e receber a valorização adequada no mercado de carbono.

Outra observação importante é que em anos com déficit hídrico muito elevado as taxas de estoque de carbono são negativas devido a alta mortalidade e essa área acaba sendo fonte e não fixadora de carbono para atmosfera. Segundo Mognon (2011) os indivíduos que morrem passam a ser alvo dos processos de decomposição

e liberação de carbono e não são mais fixadores do mesmo, embora esse estoque de carbono ainda permaneça por muitos anos no interior da floresta, até sua decomposição total.

Em 2008, 2011, 2012 e 2013 os valores foram de 44,6; 47,8; 51,1 e 44,5 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CO_2 equivalente, respectivamente (Tabela 20). Valores bem abaixo do que foi descrito por Giongo (2011), segundo a autora, dados preliminares indicaram que há aproximadamente 198, 87 e 59 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CO_2 equivalente para a fitomassa aérea, sistema radicular e no solo, respectivamente, para um Argissolo e uma Caatinga Hiperxerófila, totalizando 341 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de CO_2 equivalente no sistema solo-planta.

Tabela 20 – Dinâmica de CO_2 equivalente ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) estimados para os anos de 2008, 2011, 2012 e 2013 em uma área de Caatinga, Floresta, PE

Espécie	CO_2 equivalente em 2008	CO_2 equivalente em 2011	CO_2 equivalente em 2012	CO_2 equivalente em 2013
<i>A. colubrina</i>	1,59	1,68	1,76	1,60
<i>A. pyrifolium</i>	2,01	2,23	2,45	2,51
<i>B. cheilantha</i>	0,22	0,27	0,35	0,28
<i>C. quercifolius</i>	1,37	1,41	1,47	1,43
<i>C. heliotropiifolius</i>	0,21	0,26	0,37	0,30
<i>M. ophthalmocentra</i>	3,98	4,51	5,12	2,17
<i>M. tenuiflora</i>	1,61	1,69	1,83	1,39
<i>P. bracteosa</i>	28,54	30,30	31,85	29,73
Demais espécies	5,06	5,46	5,88	5,12
TOTAL	44,60	47,80	51,08	44,53

Do potencial de CO_2 equivalente, podemos observar que *A. colubrina*, *B. cheilantha*, *M. ophthalmocentra*, *M. tenuiflora* e *P. bracteosa*, todas espécies da família Fabaceae (leguminosas), são responsáveis por aproximadamente 80% de todo o CO_2 equivalente armazenado na área de Caatinga. Do total, *P. bracteosa* é responsável por aproximadamente 65%, destacando novamente a importância dessa espécie para a vegetação da Caatinga. Corroborando com esse resultado, Chaturvedi, Raghubanshi e Singh (2011) também destacaram o papel importante das espécies leguminosas no armazenamento de carbono, principalmente nas regiões mais secas em Florestas Tropicais Secas da Índia.

4. CONCLUSÕES

A dinâmica da florística mostrou-se praticamente estável, sofrendo pequenas perdas e ganhos de espécies, e com boa diversidade em relação a outras áreas de Caatinga.

A taxa de mortalidade foi três vezes maior que a taxa de recrutamento e esse comportamento foi influenciado pelo déficit hídrico ocorrido entre os anos de 2012 e 2013.

As variáveis de estrutura e crescimento apresentaram mudanças significativas, devido a alta mortalidade ocorrida, principalmente da espécie *M. ophthalmocentra*, que impactou no decréscimo da densidade, dominância, área basal, biomassa e estoques de carbono durante os cinco anos analisados.

Apesar da alta mortalidade a maioria das espécies teve um crescimento dos indivíduos remanescente.

Em anos com boa incidência de chuvas e baixa mortalidade, a área mostrou-se com capacidade de fixar carbono, mas em períodos com déficit hídrico e alta mortalidade, foi fonte de carbono.

Embora a área tenha problemas de fixação de carbono em anos de estiagem, ela pode ser caracterizada como sumidouro de carbono, devido ao estoque presente em sua biomassa.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). **Sistema de Geoinformação Hidrometeorológico de Pernambuco**. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/sighpe/>. Acesso em: 20/08/2016.

ALBUQUERQUE, S. G. Caatinga vegetation dynamics under various grazing intensities by steers in the semi-arid Northeast, Brazil. **Journal of Range Management**, v. 52, n. 3, p. 241-248, 1999.

ALVES; A. R. **Quantificação de biomassa e ciclagem de nutrientes em áreas de vegetação de caatinga no município de Floresta, Pernambuco**. 2011. 116 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011.

ALVES JUNIOR, F. T. et al. Regeneração natural de uma área de Caatinga no Sertão Pernambucano, Nordeste do Brasil. **Cerne**, Lavras-MG, v. 19, n. 2, p. 229-235, 2013.

ANDRADE-LIMA, D. A. The caatinga dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo-SP, v. 4, n. 1, p. 149-153, 1981.

ANDRADE, W. M. et al. Influência da precipitação na abundância de populações de plantas da Caatinga. **Revista de Geografia**, Recife-PE, v. 26, n. 2, p. 161-184, 2009.

APG III - ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP III. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v.161, p.105-121, 2009.

APPOLINÁRIO, V.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; GUILHERME, F. A. G. Tree population and community dynamics in a Brazilian tropical semideciduous Forest. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, n. 2, p.347-360, 2005.

ARAUJO, E. L. **Aspectos da dinâmica populacional de duas espécies em Floresta Tropical Seca (Caatinga), Nordeste do Brasil**. 1998. 95 f. Tese (Doutorado em Biologia vegetal) - Universidade Estadual de Campinas, 1998.

ARAUJO, E. L. Estresses abióticos e bióticos como forças modeladoras da dinâmica de populações vegetais da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. L.; SWILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. (Eds.). **Estresses ambientais: danos ou benefícios em plantas**. Recife: MXM Gráfica e Editora, 2005. p. 50-64.

ARAUJO, E. 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.

BARRETO, T. N. A. **Dinâmica de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE**. 2013. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2012.

CARVALHO, J. O. P. Dinâmica de florestas naturais e sua implicação para o manejo florestal. In: SIMPÓSIO SILVICULTURA NA AMAZÔNIA ORIENTAL: CONTRIBUIÇÕES DO PROJETO EMBRAPA IDFID. 1., 1999, Belém-PA. **Anais...** Belém. 1999. p. 174-179.

CAVALCANTI, A. D. C. **Variação temporal do componente lenhoso e de cactáceas de uma área de caatinga em Betânia/PE**. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2008.

CAVALCANTI, A. D. C. et al. Mudanças florísticas e estruturais, após cinco anos, em uma comunidade de Caatinga no Estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, v. 23, n. 4, p. 1210-1212, 2009.

CAVALCANTI, A. D. C.; RODAL, M. J. N. Efeito de borda e dinâmica de plantas lenhosas em áreas de caatinga em Carnaubais – RN. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 2, p. 41-50, 2010.

CHATURVEDI, R. K.; RAGHUBANSHI, A. S.; SINGH, J. S. Carbon density and accumulation in woody species of tropical dry forest in India. **Forest Ecology and Management**, v. 262, p.1576–1588, 2011.

GIONGO, V. Carbono estocado na fitomassa aérea e radicular de espécies nativas da Caatinga. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIAS E FISILOGIA DE SEMENTES E MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DA CAATINGA. 3, 2011, Petrolina – PE. **Anais...** Petrolina, 2011.

GIONGO, V. et al. Carbono no Sistema Solo-Planta no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1233 - 1253, 2011.

HIGUCHI, N. et al. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Revista Floresta**, v. 34, n. 3, p. 295-304, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade**. Brasília: CPTEC/INPE, 2007.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Eschborn: Universidade de Gottingen, GTZ, 1990.

MAGURAN, A. E. **Diversidade Ecológica y su Medición**. Barcelona: Caspe. 1989.

MARTÍN, G. C. et al. Stand dynamics and basal area change in a tropical dry forest reserve in Nicaragua. **Forest Ecology and Management**, v. 208, p. 63–75, 2005.

MENDONÇA, A. C. A. **Caracterização e simulação dos processos dinâmicos de uma área de Floresta Tropical de Terra Firme utilizando matrizes de transição**. 2003. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná, 2003.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Agricultura sustentável no semiárido nordestino. In OLIVEIRA, T. S. et al. (Eds.). **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, p. 20-46.

MENEZES, R. S. C. et al. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 3, p. 643-653, 2012.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **Estimativas anuais de emissões de gases do efeito estufa no Brasil**. 2ª ed. Brasília-DF. 2014.

MOGNON, F. **Dinâmica do estoque de carbono como serviço ambiental prestado por um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana localizada no sul do estado do Paraná**. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 2011.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em cerrado sensu stricto do distrito federal. **Revista Árvore**, v. 35, p. 527-538, 2011.

PEREIRA JÚNIOR, L. et al. Carbon stocks in a tropical dry forest in Brazil. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza-CE, v. 47, n. 1, p. 32-40, 2016.

PIMENTEL, D. J. O. **Dinâmica da vegetação lenhosa em área de Caatinga, Floresta-PE**. 2012. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2012.

REZENDE, A. V. et al. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, v. 71, p. 65-76, 2006.

RUSCHEL, A. R.; MANTOVANI, M.; REIS, M. S.; NODARI, R. O. Caracterização e dinâmica de duas fases sucessionais em floresta secundária da Mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n. 1, p. 101-115, 2009.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; KAUFFMAN, J. B. Effect of fire severities on coppicing of Caatinga vegetation in Serra Talhada, PE, Brazil. **Biotropica**, v. 25, n. 4, p. 452-460, 1993.

SAMPAIO, E. V. S. B. et al. Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima em Serra Talhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.5, p.621-632, 1998.

SAMPAIO, E. V. S. B.; FREITAS, A. D. S. Produção de biomassa na vegetação nativa do semi-árido nordestino. In: MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. (Orgs.). **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2008. v. 1, p. 11-26.

SAMPAIO, E. V. S. Características e potencialidades. In: GARIGLIO, M. A. et al. (Orgs.) **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 29-42.

SAMPAIO, E. V. S.; COSTA, T. L. Estoques e Fluxos de Carbono no Semi-Árido Nordeste: Estimativas Preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, v. 6, p. 1275-1291, 2011.

SANQUETTA, C. R. **Experiência de monitoramento no bioma Mata Atlântica com uso de parcelas permanentes**. Curitiba: Multi-Graphic Gráfica e Editora, 2008.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal: Modelos de Crescimento e Produção Florestal**. Lavras: UFLA/FEPE, 2006.

SOUZA, A. L. et al. Estrutura fitossociológica, estoques de volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em Floresta Estacional Semidecidual. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.1, p.169-179, 2012.

SWAINE, M. D.; LIEBERMAN, D.; PUTZ, F. E. The Dynamics of Tree Populations in Tropical Forest: a review. **Journal of Tropical Ecology**, v. 3, n. 4, p. 359-366, 1987.

TIESSSEN, H. et al. Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forests. **Climatic Change**, v.40, p.105-117, 1998.

VIEIRA, S. et al. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. **Oecologia**, v. 140, p. 468-479, 2004.

WEBER, K. S.; SANQUETTA, C. R.; EISFELD, R. L. Variação volumétrica e distribuição espacial do estoque de carbono em Floresta Ombrófila Mista. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba - PR, v.3, n.2, p. 77-85, 2005.

CAPITULO 4: ANÁLISE ECONÔMICA DE USOS E CICLO DE CORTE EM UMA ÁREA DE CAATINGA ARBUSTIVO-ARBÓREA

1. INTRODUÇÃO

A exploração econômica dos recursos naturais na vegetação da Caatinga é realizada por meio do extrativismo, da pecuária e da agricultura, sendo que a pressão antrópica é elevada, principalmente devido a demanda de lenha e carvão vegetal na região semiárida, sendo esse o principal produto florestal obtido nessa tipologia. A obtenção desses produtos pode ocorrer por meio do desmatamento legal ou ilegal e via plano de manejo florestal autorizado pelo órgão ambiental competente.

Na região semiárida do Brasil a exploração da lenha via plano de manejo florestal, diante das reduzidas alternativas de geração de renda, é vista como alternativa de desenvolvimento e conservação, atuando como um instrumento promotor da adequação ambiental (SILVA; SOARES; PAREYN, 2008) e permite o controle da exploração pelo órgão ambiental estadual (GARIGLIO et al., 2010). Também atua como uma alternativa de trabalho e renda para os proprietários rurais, evitando o êxodo rural.

No entanto, há controvérsias em relação a promoção da conservação dessa vegetação da Caatinga e a sustentabilidade dos planos de manejo florestal no semiárido. Segundo Meunier (2014) nessa atividade não se adotam estimativas de crescimento que levem em conta os fatores do sítio; as técnicas de exploração são definidas em função de se obter o máximo aproveitamento do material lenhoso, sem considerar os usos potenciais das espécies; não há análises que considerem a ocorrência e distribuição das fitofisionomias, seu estado de conservação e as interações da vegetação com a fauna ou com os componentes do meio físico; não há abordagens particularizadas nos diagnósticos e nas avaliações de impactos ambientais e, as análises econômicas restringem-se às previsões de custos e receitas.

Nas últimas décadas o conceito de serviços ambientais vem ganhando espaço nas políticas regionais e mundiais para a preservação e conservação dos ecossistemas naturais. O conceito de serviços ambientais diz respeito aos benefícios que os seres humanos obtêm daqueles ambientes, tais como água, alimentos,

material genético ar puro, manutenção da biodiversidade, ciclagem de nutrientes, regulação do clima, polinização, etc.

A remuneração desses serviços ambientais é conhecida como Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), transação voluntária, na qual um serviço ambiental bem definido, ou um uso da terra que assegure este serviço, é adquirido por, pelo menos, um comprador de no mínimo, um provedor, sob a condição de que ele garanta a provisão do serviço (WUNDER, 2005). Os provedores são, principalmente, os produtores rurais que manejam os recursos naturais no nível de suas propriedades, já os beneficiários, podem ser tanto as populações locais, regionais ou até mundiais que podem se beneficiar direta ou indiretamente dos serviços ambientais providos pelos ecossistemas.

No Brasil existem várias iniciativas de projetos de PSA nas diferentes tipologias vegetacionais, normalmente financiados por recursos governamentais ou por iniciativa privada. Essas experiências estão mais consolidadas na preservação dos recursos hídricos, mas há outras modalidades como a proteção a biodiversidade e o serviço de sumidouro de carbono prestado pela vegetação.

A implantação de projetos de PSA em uma determinada região permite que se reconheçam e incentivem financeiramente e de outras formas os provedores de serviços ambientais, garantindo a conservação dos ecossistemas (PAGIOLA; GLEHN; TAFFARELLO, 2013), proporcionando uma alternativa de renda ao atual uso do solo. No entanto, o ganho econômico do proprietário de terra que adota atividades que proporcionem serviços ambientais deve se tornar mais atrativo economicamente do que as demais alternativas de uso do solo, ou seja, deve compensar o custo de oportunidade do produtor.

O desenvolvimento de projetos de PSA no Semiárido Brasileiro pode ser considerada uma estratégia tecnológica, administrativa e até mesmo política para minimizar os efeitos das mudanças climáticas sobre a região, ao mesmo tempo em que pode contribuir para o desenvolvimento agropecuário, ambiental e social. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica entre a implantação de projetos de pagamento pelo serviço ambiental de sumidouro de carbono e à produção de lenha, bem como definir o ciclo de corte sustentável em uma área de Caatinga.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido em uma área de Savana-Estépica Arborizada dentro da Fazenda Itapemirim, de propriedade da Agrimex Agroindustrial Excelsior S.A. localizada no município de Floresta, no estado de Pernambuco, conforme descrito na metodologia geral.

2.2 Coleta e análise de dados

2.2.1 Cenários analisados

A análise de viabilidade econômica foi realizada com base em dois cenários:

- (1) Área de vegetação de Caatinga para a produção de lenha para atender a demanda energética da região, por meio de plano de manejo regulamentado pela Instrução Normativa nº 007/2006 da Agência Pernambucana de Meio Ambiente.
- (2) Área de vegetação de Caatinga preservada como possível fonte pagadora pelo serviço ambiental prestado pela geração de créditos de carbono.

Cenário 1: Nesse cenário foram feitas simulações com áreas manejadas de 150, 450 e 750 ha e áreas de corte anuais (talhões) de 10, 30 e 50 ha, respectivamente, sendo que o ciclo de corte utilizado foi o de 15 anos, tempo mínimo exigido pela Instrução Normativa nº 007/2006, salvo casos especiais, e utilizado pela maioria dos Planos de Manejo Florestal em áreas de Caatinga no estado de Pernambuco (MEUNIER, 2014).

Os custos de exploração (corte, baldeio e empilhamento) utilizados foram os sugeridos por Meunier (2014), de R\$ 4,50 e R\$ 9,50 por estéreo de lenha, correspondendo ao menor e maior valor informados em PMF ativos em Pernambuco.

Para a assistência técnica envolvendo a elaboração do projeto utilizou-se o valor de R\$ 25,00 por hectare de área de manejo (MEUNIER, 2014). Já o custo da assistência técnica ao longo do ano e a elaboração de Relatório Técnico Anual ficou estipulado em 6 salários mínimos anuais, considerando o valor de R\$ 880,00/salário.

Os custos com as taxas de licença simplificada (LS) e autorização de extração (Autex) foram obtidas de acordo com as categorias estabelecidas pela Lei Estadual 14.249/2010 que dispõe sobre licenciamento ambiental, infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, e dá outras providências no estado de Pernambuco, com valores de planilha fornecida pela CPRH atualizada anualmente (CPRH, 2015). A LS para 150, 450 e 750 ha é de R\$1.350,32, R\$1.350,32 e R\$ 1.929,03, respectivamente. Já a Autex para o talhão de 10, 30 e 50 ha é de R\$ 96,60, R\$ 192,91 e R\$ 192,91, respectivamente.

A averbação em cartório do Plano de Manejo Florestal e a confecção da placa de identificação e a instalação, exigências feitas na Instrução Normativa CPRH Nº 007/2006 são estimados em R\$ 400,00 e R\$ 450,00, respectivamente, segundo informações repassadas pelos técnicos responsáveis por alguns planos de manejo na Caatinga.

Nesse cenário o custo da elaboração do PMF, Licença Simplificada, averbação em cartório e colocação de placa foram considerados apenas no ano de implantação do projeto (Ano 1), os demais custos foram anuais.

Os preços de lenha utilizados nas simulações foram os sugeridos por Meunier (2014) para lenha empilhada na propriedade, sendo de R\$ 10,00, R\$ 18,00 e R\$ 25,00. O volume explorável das áreas foi de 50, 100 e 200 st.ha⁻¹, sendo que os dois primeiros valores indicam áreas de baixa produtividade e, o último é a produção aproximada da biomassa da vegetação lenhosa explorável na área das 40 parcelas permanentes descritas na metodologia geral.

Cenário 2: Para essa segunda situação foram feitas simulações com o mesmo tamanho de área do cenário anterior, de 150, 450 e 750 ha, para facilitar as comparações. O tempo de duração do projeto de PSA foi o mesmo do plano de manejo florestal, 15 anos. Os estoques de CO₂ equivalente considerados no primeiro ano de análise foram de, aproximadamente, 12,2, 24,3 e 52,8 Mg.ha⁻¹, correspondendo a produção de 50, 100 e 200 st.ha⁻¹ do cenário anterior (item 2.2.2).

Os custos com a elaboração de um projeto para venda de créditos de carbono são muito variáveis e podem envolver diferentes etapas. Neste cenário foi utilizado duas simulações de custo na elaboração do projeto. A primeira considerou um custo zero para o proprietário, já que muitas vezes a implantação dos projetos são financiadas por ONG's ou empresas interessadas em neutralizar suas emissões e

melhorar a sua imagem ambiental. Já a segunda simulação, considerou um custo para o proprietário de US\$ 25.000,00 (R\$ 87.500,00) a cada 5.000 toneladas de CO_{2eq}/ano produzidas na área preservada. Esse valor foi adaptado de Goulart (2013) do Padrão Internacional *Golden Standard* e considerando as etapas da elaboração até a verificação e certificação da atividade do projeto. Esses valores são extremamente variáveis e dependem de uma série de fatores, como o tipo, a escala e a forma de condução do desenvolvimento do projeto (GOULART, 2013). O custo do projeto foi considerado na sua totalidade no ano de implantação (Ano 1).

Os preços de 1 tonelada de CO_{2 eq} ou 1 crédito de carbono variam muito no mercado financeiro. Segundo PETERS-STANLEY e HAMILTON (2012) há créditos vendidos de US\$ 0,65/tCO_{2 eq} a US\$ 50/tCO_{2 eq}. Para as simulações desse trabalho os valores utilizados foram de US\$ 5, 12 e 18,00/tCO_{2 eq}, correspondendo a R\$ 17,5, 42,00 e 63,00 /tCO_{2 eq}. O câmbio do dólar considerado para os vários cenários foi de US\$ 1,00 igual a R\$ 3,50 (valor médio baseado na média mensal da cotação do dólar comercial para a venda no ano de 2016).

2.2.2 Fatores de conversão dos parâmetros

Para a definição quantitativa dos Cenários 1 e 2 foram realizados alguns cálculos, tomando como base dados descritos nos capítulos anteriores.

Na área de estudo foram abatidas 150 árvores das espécies *A. colubrina*, *A. pyrifolium*, *B. cheilantha*, *C. heliotropiifolius*, *C. quercifolius*, *M. ophthalmocentra*, *M. tenuiflora* e *P. bracteosa*. Cada um desses indivíduos arbóreos teve a sua biomassa aérea total verde e seca e a cubagem rigorosa realizada por método de Smalian, conforme descrito no Capítulo I. Desse total, os fustes e os galhos grossos (circunferência ≥ 6 cm) de 114 árvores, cortados com comprimento de 1 metro, foram distribuídos em 21 pilhas de madeira agrupadas com diferentes espécies. O critério de agrupamento foi a proximidade entre um indivíduo e outro para facilitar a formação das pilhas. Houve a medição da altura e do comprimento da pilha (m), bem como do comprimento das toras (m) para a obtenção do volume de madeira empilhada em estéreo (*st*).

De posse do volume em estéreo de cada pilha e do seu respectivo volume sólido (m³) foi calculado o fator de empilhamento médio (\overline{fe}), conforme Soares, Paula Neto e Souza (2007). O \overline{fe} encontrado foi de 4,04, sendo utilizado para converter

volume das áreas de *st* para m^3 . Outro fator de conversão médio determinado foi o volume (*st*) para biomassa arbórea seca (kg) que é de 0,007, ou seja, 1 kg de biomassa corresponde a 0,007 *st*.

Na Tabela 21 estão apresentados os valores de biomassa seca (BS) viva e morta encontrados na análise da dinâmica das parcelas permanentes descritas no capítulo 3, além dos valores de volume ($st \cdot ha^{-1}$ e $m^3 \cdot ha^{-1}$), carbono ($Mg \cdot ha^{-1}$) e CO_2 equivalente ($Mg \cdot ha^{-1}$) transformados, utilizando os fatores de conversão de 0,007, 4,04, 0,464 (teor médio de carbono encontrado para a área de estudo no capítulo 2) e 3,67 (fator para converter estoque de carbono em estoque de CO_{2eq}), respectivamente.

Tabela 21 – Parâmetros estimados para os anos de 2008, 2011, 2012 e 2013 em uma área de Caatinga, Floresta, PE.

Ano	BS Viva ($Mg \cdot ha^{-1}$)	BS Morta ($Mg \cdot ha^{-1}$)	BS Bruta ($Mg \cdot ha^{-1}$)	V Bruto ($st \cdot ha^{-1}$)	V Bruto ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	C Bruto ($Mg \cdot ha^{-1}$)	CO_{2eq} Bruto ($Mg \cdot ha^{-1}$)
2008	27,1	-	27,1	189,5	46,9	12,2	44,6
2011	29,0	0,3	29,3	205,3	50,8	13,2	48,3
2012	31,0	0,1	31,1	217,9	53,9	14,0	51,3
2013	27,1	4,9	31,9	223,6	55,3	14,4	52,8

Em que: BS = biomassa seca; V = volume e C = carbono

Nesse trabalho foi utilizada a biomassa seca bruta (árvores vivas e mortas) para as análises dos Cenários 1 e 2, já que mesmo havendo árvores mortas elas podem ser utilizadas para a produção de lenha e o estoque de carbono ainda permanece por muitos anos no interior da área de Caatinga, até sua decomposição total.

O volume explorável bruto encontrado na área das 40 parcelas permanentes descritas na metodologia geral foi de $223,6 st \cdot ha^{-1}$ (Tabela 21), mas na análise dos Cenários econômicos optou-se por considerar um volume de $200 st \cdot ha^{-1}$ (item 2.2.1) para que o remanescente ($23,6 st \cdot ha^{-1}$) fosse utilizado como estoque inicial para o cálculo do ciclo de corte sustentável nessa área de Caatinga (item 2.2.3).

2.2.3 Tempo de recuperação do estoque e taxa de incremento

Para a determinação do tempo de recuperação do estoque inicial para essa área de Caatinga quando realizado o plano de manejo florestal, assumiu-se que a projeção do estoque remanescente está baseada no pressuposto de que os crescimentos anuais em volume e biomassa aérea de uma árvore ou povoamento se

acumulam no tempo de maneira similar a lei dos juros compostos. Logo, o tempo do ciclo de corte, para que haja a recuperação do estoque inicial, foi obtido pelas seguintes expressões (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2009):

$$VT = VR * (1 + i)^{cc} \quad (03)$$

$$cc = \frac{\ln(VT) - \ln(VR)}{\ln(1+i)} \quad (04)$$

Em que: VT = volume do estoque total para a área de Caatinga (st.ha^{-1}); VR = volume do estoque remanescente (st.ha^{-1}); i = taxa de crescimento anual (%); cc = ciclo de corte (anos); \ln = logaritmo neperiano.

Para a determinação da taxa de incremento periódico anual dessa área de Caatinga foi considerado os valores de biomassa (Mg.ha^{-1}) e de volume (st.ha^{-1}) bruto entre o período de 2008 e 2013 (Tabela 21). Logo, o incremento periódico anual para esses parâmetros foi determinado pela seguinte expressão algébrica:

$$IPA_{V/B} (\%) = \left(\frac{\frac{V/B_{2013} - V/B_{2008}}{V/B_{2008}}}{p} \right) * 100 \quad (05)$$

Em que: $IPA_{V/B} (\%)$ = incremento periódico anual relativo em volume (V) ou biomassa (B); V/B_{2013} = volume (st.ha^{-1}) ou biomassa (Mg.ha^{-1}) em 2013; V/B_{2008} = volume (st.ha^{-1}) ou biomassa (Mg.ha^{-1}) em 2008; p = período entre as medições.

2.2.4 Análise econômica

A análise econômica considerou as informações sobre o fluxo de caixa (custos e receitas) do cenário (1) e (2) descritos anteriormente. Os projetos foram avaliados levando-se em consideração o valor do capital no tempo, ou seja, a avaliação é feita com uso de uma taxa de desconto positiva, necessária para atualizar os fluxos de caixas e tornar comparáveis custos e receitas que ocorrem em pontos diferentes no tempo (REZENDE; OLIVEIRA, 2011). A taxa mínima de atratividade utilizada foi de 10% ao ano (MEUNIER, 2014).

Não foi considerado o custo da terra nas análises. Segundo Meunier (2014) a baixa liquidez do ativo, ainda mais em período de seca intensa leva a um custo de oportunidade da terra nulo, na prática.

O critério econômico adotado nesse estudo foi:

a) Valor Presente Líquido (VPL)

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1 + i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1 + i)^{-j} \quad (06)$$

Em que: R_j = valor atual das receitas; C_j = valor atual dos custos; i = taxa de juros; j = período em que a receita ou o custo ocorre e n = duração do projeto, em anos.

O projeto que apresentar o VPL maior que zero (positivo) é economicamente viável, sendo considerado o melhor aquele que apresentar maior VPL (REZENDE; OLIVEIRA, 2011). O VPL por hectare foi obtido pela razão entre o VPL e a área manejada (talhão) no caso do cenário 1 e pela área total no caso do cenário 2.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Tempo de recuperação do estoque e taxa de incremento

A taxa anual de crescimento encontrada para essa vegetação de Caatinga foi de 3,6%, tanto para volume (st) como para a biomassa (Mg), baseado nos estoques brutos entre os anos de 2008 e 2013. Diante deste resultado foram calculadas as projeções da produção para os 15 anos de análise econômica dos Cenários 1 e 2 (Tabela 22). Observa-se que com produções volumétricas iniciais de 50, 100 e 200 st.ha⁻¹, as áreas podem alcançar 85, 170 e 340 st.ha⁻¹ de lenha e gerar 21, 42 e 91 Mg.ha⁻¹ de CO₂ eq no 15º ano dos projetos, considerando uma taxa de incremento anual de 3,6%. No entanto, esses valores podem sofrer alterações devido aos fatores ambientais da região.

Tabela 22 – Produção em volume (st.ha⁻¹) e CO₂ eq (Mg.ha⁻¹) para os 15 anos de análise, utilizando a taxa de incremento anual (3,6%) e o método de juros compostos em uma área de Caatinga, Floresta, PE

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Produção em volume (st/ha)	50,0	53,7	55,6	57,6	59,7	61,8	64,0	66,4	68,7	71,2	73,8	76,4	79,2	82,0	85,0
	100,0	107,3	111,2	115,2	119,3	123,6	128,1	132,7	137,5	142,4	147,6	152,9	158,4	164,1	170,0
	200,0	214,7	222,4	230,4	238,7	247,3	256,2	265,4	275,0	284,9	295,1	305,7	316,7	328,1	340,0
Produção em CO ₂ eq (Mg/ha)	12,2	13,1	13,6	14,1	14,6	15,1	15,7	16,3	16,9	17,5	18,1	18,8	19,5	20,2	21,0
	24,3	26,2	27,1	28,1	29,2	30,3	31,4	32,5	33,7	35,0	36,3	37,6	39,0	40,5	42,0
	52,8	56,8	55,1	61,1	58,7	65,7	62,4	70,7	66,1	76,0	69,7	81,7	73,4	87,9	91,1

Para a determinação do tempo de recuperação do estoque inicial (ciclo de corte sustentável) dessa área de Caatinga foi utilizado a taxa anual de crescimento estimada, o volume do estoque total (Tabela 21), volume cortado e volume de estoque remanescente com valores de 3,6%, 223,6 st. ha⁻¹, 200 st. ha⁻¹ e 23,6 st. ha⁻¹, respectivamente. O estoque remanescente foi definido de forma empírica, sem nenhum tipo de regulação do estoque da densidade ou do volume, já que na prática ocorre o corte raso nas áreas de Caatinga sujeitas aos planos de manejo florestal, sendo deixados em pé apenas os indivíduos arbóreos proibidos de corte pela legislação florestal vigente.

O resultado da estimativa do ciclo de corte sustentável revelou a necessidade de aproximadamente 64 anos para recuperar o estoque inicial de volume dessa área de Caatinga, crescendo a 3,6% ao ano. Para que a Caatinga recupere o seu estoque inicial em 15 anos, tempo do ciclo de corte mínimo definido pela legislação estadual, a taxa de crescimento dessa área deveria ser de 16,2% ou o incremento médio periódico deveria ser de aproximadamente 13 st.ha⁻¹.ano⁻¹. No entanto, a irregularidade das chuvas e os elevados períodos de seca frequentes na região podem levar a um aumento do tempo do ciclo de corte estimado para essa área, devido a diminuição da taxa de crescimento.

Pode-se inferir que os estoques e taxas de produções e acúmulo de biomassa e volume na vegetação da Caatinga variam muito, devido, principalmente, a influência dos fatores temporais, espaciais e ambientais, e que mais estudos sobre esse assunto são necessários para que haja estimativas ou determinações de valores cada vez mais precisos. Segundo Sampaio e Freitas (2008) essas são informações imprescindíveis para avaliar a capacidade de produção de lenha, o tempo de pousio da agricultura itinerante, a capacidade de sequestro de carbono e o potencial de produtividade dos sistemas, bem como seus respectivos ganhos financeiros.

3.2 Análise econômica

Dos custos de um Plano de Manejo Florestal, a elaboração do projeto por um Engenheiro Florestal é responsável pela maior parte das despesas no primeiro ano, variando de 30 a 70% dos valores, dependendo do tamanho da área a ser manejada.

Apenas 17% das simulações (9) testadas para a exploração de lenha em um Cenário de Plano de Manejo Florestal (PMF) não são viáveis economicamente. O

custo de exploração de R\$ 4,50 e o preço da lenha de R\$10,00/st, inviabilizam financeiramente apenas áreas pequenas e com baixa produtividade. Já um custo de exploração de R\$ 9,50/st torna inexecutável a exploração da lenha, com exceção das maiores áreas (450 e 750 ha) e produção (200 st/ha) (Tabela 23).

Tabela 23 - Valor Presente Líquido (VPL) em R\$.ha⁻¹.ano⁻¹ em simulações de planos de manejo (Cenário 1) em uma área de Caatinga, Floresta, PE

Área de manejo- área de corte anual (ha)	Produção (st/ha)	Preço da lenha					
		R\$ 10,00/st		R\$ 18,00/st		R\$ 25,00/st	
		Custo de exploração		Custo de exploração		Custo de exploração	
		R\$ 4,5/st	R\$ 9,5/st	R\$ 4,5/st	R\$ 9,5/st	R\$ 4,5/st	R\$ 9,5/st
150-10	50	-133,3	-292,7	121,9	-37,6	345,1	185,6
150-10	100	42,1	-276,8	552,4	233,5	998,9	680,0
150-10	200	392,9	-244,9	1413,5	775,7	2306,5	1668,7
450-30	50	62,7	-89,0	317,9	166,1	541,1	389,4
450-30	100	245,1	-58,3	755,4	452,0	1201,9	898,5
450-30	200	609,9	3,0	1630,4	1023,6	2523,4	1916,6
750-50	50	102,2	-48,0	357,3	207,2	580,6	430,4
750-50	100	286,0	-14,3	796,3	495,9	1242,8	942,4
750-50	200	653,5	52,9	1674,1	1073,5	2567,1	1966,5

Se o preço da lenha for de R\$ 18,00 ou R\$ 25,00 todas as alternativas se mostram viáveis economicamente, exceto quando se verifica o custo de exploração de R\$ 9,50/st e remuneração da lenha de R\$ 18,00, nas propriedades menores e com baixa produtividade (Tabela 23). Segundo Meunier (2014) o VPL é influenciado pelo preço do produto explorado, pela área do talhão anual, e, conseqüentemente, pela extensão da área manejada.

Todas as simulações para o Cenário (2), projeto de Pagamento por Serviços Ambientais pelo serviço de sumidouro de carbono prestado pela vegetação (PSA-Carbono), se mostraram viáveis para as mesmas áreas de manejo da Caatinga analisadas no Cenário (1). Rentabilidades melhores são encontradas nos projetos com custo zero para o proprietário e com maiores preços da tonelada de CO₂ eq ou crédito de carbono (Tabela 24). Pode se afirmar que a viabilidade desses projetos é influenciada pelos custos de elaboração do projeto e pelo preço do crédito de carbono negociado no mercado financeiro, ambos extremamente variáveis.

Tabela 24 - Valor Presente Líquido (VPL) em R\$.ha.⁻¹ano⁻¹ em simulações de projetos de carbono (Cenário 2) em uma área de Caatinga, Floresta, PE

Área de manejo- área de corte anual	Produção CO ₂ eq (Mg/ha)	Preço do Crédito de Carbono					
		R\$ 17,50/ cada		R\$ 42,00/cada		R\$ 63,00/cada	
		Custo do projeto		Custo do projeto		Custo do projeto	
		R\$ 0,00	R\$ 87.500,00*	R\$ 0,00	R\$ 87.500,00*	R\$ 0,00	R\$ 87.500,00*
150	12,2	136,7	101,3	328,0	292,7	492,0	456,7
150	24,3	273,3	238,0	656,0	620,7	984,0	948,7
150	52,8	568,5	497,8	1364,5	1293,8	2046,7	1976,0
450	12,2	136,7	113,1	328,0	304,4	492,0	468,4
450	24,3	273,3	238,0	656,0	620,7	984,0	948,7
450	52,8	568,5	509,6	1364,5	1305,5	2046,7	1987,8
750	12,2	136,7	122,5	328,0	313,9	492,0	477,9
750	24,3	273,3	245,1	656,0	627,7	984,0	955,7
750	52,8	568,5	512,0	1364,5	1307,9	2046,7	1990,1

*R\$87.500,00 a cada 5.000 tCO₂eq produzido na área de estudo.

Em propriedades com área de 150 ha a maioria das simulações dos projetos de carbono se mostraram mais atrativas (VPL maior) do que o corte da lenha nas três produções analisadas. No entanto, os planos de manejo que remuneram a exploração da lenha com valores muito baixos (R\$ 4,50) são ligeiramente mais rentáveis, na maioria das situações, do que a preservação da vegetação e venda de créditos de carbono em áreas de 450 e 750 ha. Segundo Meunier (2014) nos valores de remuneração da exploração da lenha na Caatinga não são incluídos impostos, encargos sociais e taxas, sendo que a remuneração diária do trabalhador varia de R\$ 9,00 a R\$19,00, inferior à diária baseada no salário mínimo.

Vale salientar que as simulações feitas nos projetos de PSA-Carbono não levaram em consideração a biomassa das raízes o que aumentaria substancialmente a produção de créditos de carbono. Segundo Albuquerque et al. (2015) ao considerar a biomassa subterrânea, as estimativas de biomassa total devem aumentar em 32% em áreas de vegetação de Caatinga. Logo, a rentabilidade financeira desses projetos aumentaria, ultrapassando a dos planos de manejo simulados, mesmo com custos baixos de remuneração da exploração da lenha.

Apesar dos planos de manejo serem descritos como alternativa de desenvolvimento e conservação da Caatinga (SILVA; SOARES; PAREYN, 2008) e propiciarem uma alternativa de renda principalmente para o pequeno produtor rural (PAREYN, 2010) as poucas análises econômicas existentes para essas áreas tanto em relação a diferentes cenários de exploração da lenha, quanto as atividades de

pecuária e agricultura, mostram a baixa rentabilidade familiar ou da propriedade (FRANCELINO et al., 2003; SILVA; SOARES; PAREYN, 2008; GARIGLIO; BARCELLOS, 2010; MARQUES; PAREYN; FIGUEIREDO, 2011; GOMES et al., 2013).

Para essas pequenas propriedades a substituição da exploração de lenha pela preservação da vegetação nativa para projetos de PSA-Carbono, poderia trazer maior rentabilidade financeira aos produtores rurais. Claro que, uma propriedade pequena não terá capacidade de arcar com os custos da elaboração dos projetos, cabendo as organizações sociais e ao governo a tarefa de viabilizar essas iniciativas. O pagamento por serviços ambientais proporcionaria uma alternativa econômica, contribuindo de forma favorável para a redução das emissões de gases de efeito estufa, resultantes do desmatamento e degradação das vegetações naturais, mitigando os efeitos promovidos pelas mudanças climáticas.

4. CONCLUSÕES

O ciclo de corte necessário para repor o estoque em volume na área de Caatinga é de 64 anos, não considerando a influência da irregularidade hídrica no crescimento.

Os projetos de PSA-Carbono são mais atrativos economicamente do que a produção de lenha em áreas pequenas, mas em áreas maiores devido à baixa remuneração da mão de obra na exploração da lenha os Planos de Manejo Florestal se destacam.

A biomassa subterrânea na contabilização do carbono armazenado pela Caatinga aumentaria, substancialmente, o potencial de remuneração dos projetos de PSA-Carbono em áreas de Caatinga.

Há um potencial inexplorável prestado pelo serviço ambiental de sumidouro de carbono na vegetação da Caatinga, devendo ser aproveitado tanto em projetos de pequena como de média escala a nível estadual, nacional e mundial, colaborando na mitigação das mudanças climáticas globais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maior parte da biomassa aérea da Caatinga pertence a um pequeno número de espécies que dominam a vegetação. Essas espécies apresentam valores mais baixos quando comparadas a outras formações vegetacionais arbóreas tropicais, mas isso não diminui sua importância.

Há uma heterogeneidade de biomassa aérea entre os indivíduos da mesma espécie e entre as diferentes espécies, influenciado pelo diâmetro e o compartimento (fuste, galhos ou folhas), mas mesmo assim foi possível encontrar equações matemáticas de biomassa aérea seca com boas estatísticas de precisão e que utilizam variáveis de fácil medição. Essas equações podem ser utilizadas em outros estudos nessa área ou para a região de forma confiável.

A determinação dos teores de carbono médios para as principais espécies da Caatinga, considerando as diferenças entre os compartimentos das plantas é um resultado de extrema importância para o desenvolvimento de estimativas fidedignas do potencial de armazenamento de carbono nessa tipologia vegetacional, evitando o uso de valores pré-estabelecidos ou de outras espécies e biomas. Assim, as estimativas de estoque de carbono nessa vegetação serão mais precisas, evitando sub ou supertimativas que levam, muitas vezes, ao questionamento da confiabilidade dos projetos de carbono e, conseqüentemente, a desistência de investimentos. Como sugestão, mais estudos para a determinação dos teores de carbono de outras espécies da Caatinga devem ser feitos para ampliar o banco de dados dessa variável.

O crescimento das espécies da Caatinga e, conseqüentemente, o aumento dos estoques de biomassa e carbono são baixos e muito influenciados pelas condições climáticas, principalmente pela disponibilidade de água. Há espécies mais suscetíveis a essa escassez hídrica, como a *M. ophthalmocentra* e que merecem mais atenção durante a elaboração dos projetos de carbono.

Quando ocorre alta mortalidade, a vegetação acaba sendo fonte e não fixadora de carbono para o solo e atmosfera, já que os indivíduos que morrem passam a ser alvo dos processos de decomposição e liberação de carbono e não são mais fixadores do mesmo, embora esse estoque de carbono ainda permaneça por muitos anos no interior da Caatinga, até sua decomposição total.

Estudos de longa duração via parcelas permanentes devem ser mantidos e incentivados para fortalecer a base de dados e observar as tendências das diferentes

formas de dinâmica da Caatinga. Além das pesquisas relacionadas com os serviços ambientais prestados pela vegetação em áreas onde ocorre o manejo florestal sustentável, visando analisar o comportamento da dinâmica do estoque de carbono durante e após intervenções antrópicas.

Atualmente, todos os recursos e investimentos são feitos para promover a retirada da lenha via plano de manejo legalizado, que já teve a sua sustentabilidade financeira e estrutural questionada. As oportunidades de desenvolvimento de projetos de PSA devem ser divulgadas entre os proprietários de terra, mostrando a importância e o potencial em prol da exploração da lenha.

Há um potencial para o desenvolvimento de projetos de pagamento por serviços ambientais de carbono na Caatinga, promovendo a proteção e a conservação dos recursos naturais dessa importante e ameaçada tipologia, que não recebe a mesma atenção em relação a outros biomas brasileiros como a Amazônia e Mata Atlântica.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, E. R. G. M. et al. Root biomass under stem bases and at different distances from trees. **Journal of Arid Environments**, n. 116, p. 82-88, 2015.

CPRH - AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Instrução Normativa CPRH Nº 007/2006**. Disciplina os procedimentos da CPRH referentes à aprovação da localização da Reserva Legal em propriedades e posses rurais; à autorização para supressão de vegetação e intervenção em Áreas de Preservação Permanente e à autorização para o desenvolvimento das atividades florestais no Estado de Pernambuco. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/IN%20007%202006;140606;20100420.pdf> Acesso em: 29 abr. 2015.

FRANCELINO, M. R. et al. Contribuição da Caatinga na sustentabilidade de projetos de assentamentos no Sertão Norte-Rio-Grandense. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 1, p. 79 -86, 2003.

GARIGLIO, M. A. et al. (Eds.) **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro/MMA, 2010.

GARIGLIO, M. A.; BARCELLOS, N. D. E. Manejo florestal sustentável em assentamentos rurais na Caatinga – estudo de caso na Paraíba e Pernambuco. In:

GARIGLIO, M. A. et al. (Org.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro/MMA, 2010. p. 116-127.

GOMES, M. J. S. et al. Geração de renda e o manejo florestal em assentamentos de Pernambuco. **Revista de Política Agrícola**, Brasília-DF, v. 22, n. 4, p.56 - 66, 2013.

GOULART, R. C. **Mercado voluntário de carbono no Brasil: um estudo exploratório**. 2013. 146f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal da Bahia, 2013.

MARQUES, M. W. C. F.; PAREYN, F. G. C.; FIGUEIREDO, M. A. B. A composição de renda e a contribuição do manejo florestal em dois projetos de assentamento no Sertão de Pernambuco. **Revista Econômica do Nordeste**, v.42, n. 2, p. 247 -258, 2011.

MEUNIER, I. M. J. **Análises de sustentabilidade de planos de manejo florestal em Pernambuco**. 2014. 127f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014.

PAGIOLA, S., GLEHN, H. C., TAFFARELLO, D. **Brazil's Experience with Payments for Environmental Services**. Latin America and Caribbean Sustainable Development Department, Washington: World Bank, 2013.

PAREYN, F. G. C. Os recursos florestais nativos e a sua gestão no estado de Pernambuco: o papel do manejo florestal sustentável. In: GARIGLIO, M. A. et al. (Org.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro/MMA, 2010. p. 99-115.

PETERS-STANLEY, M; HAMILTON, K. **Developing Dimension: State of Voluntary Carbon Market 2012**. Ecosystem Marketplace & Bloomberg New Energy Finance. 2012. Disponível em: <https://about.bnef.com/blog/developing-dimension-state-of-the-voluntary-carbon-markets-2012/>. Acesso em: 15 mai. 2015

REZENDE, J. L. P; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 2. ed., Viçosa-MG: Editora UFV, 2001.

SAMPAIO, E. V. S. B.; FREITAS, A. D. S. Produção de biomassa na vegetação nativa do semi-árido nordestino. In: MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. (Orgs.). **Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2008. v. 1, p. 11-26.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2.ed. Santa Maria-RS: UFSM/FACOS, 2009.

SILVA, J. P. F.; SOARES, D. G.; PAREYN, F. G. C. Manejo florestal da Caatinga: uma alternativa de desenvolvimento sustentável em projetos de assentamento rurais do semi-árido em Pernambuco. **Estatística Florestal da Caatinga**, Natal-RN, v. 1, p.6-17, 2008.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa-MG: Editora UFV, 2006.

WUNDER, S. **Payments for environmental services: some nuts and bolts**. Indonésia: CIFOR, Occasional Paper, n. 42, 2005. Disponível em: http://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-42.pdf. Acesso em: 12 set. 2016.

APÊNDICE

Tabela 25 - Modelo, parâmetros e estatísticas das equações de biomassa total seca acima do solo ajustadas para cada uma das oito espécies em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil

Espécie	Modelo	b_0	b_1	b_2	R^2	$R^2_{ajustado}$	S_{yx}	$S_{yx}\%$	IF	$IF\%$
<i>Anadenanthera colubrina</i>	1	1,6631	1,0635	0,0926 ^{ns}	0,87	0,86	3,59	23,19	5,63	36,4
	2	-0,1591 ^{ns}	1,4249	0,0412 ^{ns}	0,83	0,82	0,31	12,39	6,10	39,4
	3	10,4286	0,0101	-	0,65	0,64	5,77	37,26	9,20	59,4
	4	-0,3432 ^{ns}	0,5240	-	0,81	0,80	0,33	13,07	6,54	42,2
	5	48,7255	0,1435	2,4096	0,90	0,89	3,20	20,69	5,03	32,5
	6	1,7527	1,1265	-	0,87	0,86	3,55	22,94	5,67	36,6
	7	1,7531	0,5632	-	0,87	0,86	3,55	22,94	5,67	36,6
	8	1,4905	0,4069	-	0,85	0,84	3,83	24,75	6,11	39,5
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	1	0,7271	0,8176	0,6229 ^{ns}	0,76	0,74	2,18	27,01	3,42	42,4
	2	-0,3433 ^{ns}	1,0494	0,3252 ^{ns}	0,78	0,76	0,29	14,96	3,16	39,0
	3	4,2239	0,0181	-	0,70	0,69	2,38	29,48	3,80	47,0
	4	-0,3598 ^{ns}	0,4713	-	0,77	0,77	0,29	14,78	3,17	39,2
	5	30,9376 ^{ns}	0,0912 ^{ns}	1,5822 ^{ns}	0,73	0,71	2,31	28,64	3,63	44,9
	6	1,0110	1,1361	-	0,72	0,71	2,28	28,25	3,64	45,0
	7	1,0109	0,5681	-	0,72	0,71	2,28	28,25	3,64	45,0
	8	0,7858	0,4550	-	0,75	0,75	2,15	26,64	3,43	42,5
<i>Bauhinia cheilantha</i>	1	0,0699	2,2115	0,8155	0,98	0,97	0,18	12,09	0,29	19,0
	2	-2,7776	2,1672	0,9313	0,94	0,94	0,14	65,11	0,28	18,6
	3	-0,1035 ^{ns}	0,0723	-	0,97	0,97	0,19	12,54	0,30	20,0
	4	-2,8746	1,0523	-	0,94	0,94	0,14	64,41	0,28	18,7
	5	27,2952 ^{ns}	0,2423 ^{ns}	3,655	0,95	0,94	0,27	17,86	0,42	28,0
	6	0,1543	2,4831	-	0,95	0,94	0,27	17,87	0,43	28,5
	7	0,1543	1,2416	-	0,95	0,94	0,27	17,87	0,43	28,5
	8	0,0568	1,0531	-	0,97	0,97	0,19	12,54	0,30	20,0

Tabela 25 - Modelo, parâmetros e estatísticas das equações de biomassa total seca acima do solo ajustadas para cada uma das oito espécies em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil

Espécie	Modelo	b_0	b_1	b_2	R^2	$R^2_{ajustado}$	S_{yx}	$S_{yx}\%$	<i>IF</i>	
<i>Cnidoscolus quercifolius</i>	1	0,5413	1,2900	0,2252 ^{ns}	0,83	0,82	2,28	25,66	3,57	40,2
	2	-0,2613 ^{ns}	1,3720	-0,1030 ^{ns}	0,75	0,73	0,34	17,16	3,95	44,5
	3	3,9444	0,0186	-	0,8	0,79	2,41	27,20	3,85	43,4
	4	-0,6664	0,5237	-	0,73	0,72	0,35	17,52	4,10	46,2
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6	0,6064	1,4216	-	0,83	0,82	2,26	25,51	3,61	40,7
	7	0,6064	0,7108	-	0,83	0,82	2,26	25,51	3,61	40,7
	8	0,4896	0,5387	-	0,82	0,82	2,29	25,78	3,65	41,1
<i>Croton heliotropiifolius</i>	1	0,1868	1,2764	0,9401	0,78	0,76	0,38	18,96	0,60	29,7
	2	-1,6887	1,2224	0,9761	0,73	0,71	0,20	31,81	0,59	29,3
	3	0,6522	0,0582	-	0,77	0,76	0,38	19,15	0,61	30,5
	4	-1,5518	0,7158	-	0,71	0,70	0,20	32,21	0,61	30,2
	5	7,2115 ^{ns}	0,4347 ^{ns}	3,0979 ^{ns}	0,61	0,58	0,50	25,19	0,79	39,5
	6	0,4732	1,5666	-	0,61	0,59	0,50	24,87	0,80	39,7
	7	0,4732	0,7833	-	0,61	0,59	0,50	24,87	0,80	39,7
	8	0,2219	0,7065	-	0,77	0,76	0,38	19,11	0,61	30,5
<i>Mimosa ophthalmocentra</i>	1	6,0137	1,7250	-1,338	0,91	0,90	3,38	19,80	5,30	31,0
	2	1,1118	1,7371	-0,9536	0,89	0,88	0,23	9,04	5,12	30,0
	3	11,4796	0,0192	-	0,41	0,39	8,48	49,68	13,53	79,2
	4	-0,1996 ^{ns}	0,5506	-	0,75	0,74	0,35	13,53	7,79	45,6
	5	43,6748	0,2103	2,9584	0,76	0,75	5,47	32,04	8,58	50,3
	6	2,2018	1,1066	-	0,72	0,71	5,83	34,16	9,30	54,5
	7	2,2016	0,5533	-	0,72	0,71	5,83	34,16	9,30	54,5
	8	1,9345	0,4092	-	0,60	0,58	7,01	41,06	11,18	65,5
<i>Mimosa tenuiflora</i>	1	0,6311 ^{ns}	1,7241	-0,1539 ^{ns}	0,94	0,94	2,51	17,26	3,74	25,74
	2	-0,9459 ^{ns}	1,7787	0,0845 ^{ns}	0,93	0,92	0,25	11,62	4,08	28,07
	3	3,0407	0,0458	-	0,90	0,89	3,22	22,12	4,96	34,11

Tabela 25 - Modelo, parâmetros e estatísticas das equações de biomassa total seca acima do solo ajustadas para cada uma das oito espécies em uma área de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco, Brasil

Espécie	Modelo	b_0	b_1	b_2	R^2	$R^2_{ajustado}$	S_{yx}	$S_{yx}\%$	IF	$IF\%$
<i>Mimosa tenuiflora</i>	4	-1,6100	0,7850	-	0,92	0,92	0,25	10,58	4,28	29,45
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6	0,5084	1,7121	-	0,94	0,94	2,44	16,79	3,77	25,90
	7	0,5084	0,8561	-	0,94	0,94	2,44	16,79	3,77	25,90
	8	0,2259 ^{ns}	0,7636	-	0,90	0,89	3,23	22,20	4,98	34,25
<i>Poincianella bracteosa</i>	1	0,6221	1,1061	0,6840	0,84	0,83	4,38	24,40	6,87	38,3
	2	-0,2070 ^{ns}	0,7955	0,8588	0,81	0,80	0,30	10,95	6,91	38,5
	3	6,6205	0,0341	-	0,85	0,85	4,20	23,40	6,70	37,3
	4	0,0124 ^{ns}	0,5064	-	0,79	0,78	0,30	11,27	7,23	40,2
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	6	0,9765	1,5126	-	0,75	0,75	5,41	30,12	8,63	48,0
	7	0,9767	0,7563	-	0,75	0,75	5,41	30,12	8,63	48,0
	8	0,6173	0,5957	-	0,84	0,84	4,33	24,08	6,90	38,4
<i>Todas as espécies</i>	1	0,8905	1,2189	0,2333	0,74	0,74	4,98	47,63	8,16	78,0
	2	-1,2884	1,6102	0,4343	0,85	0,85	0,43	23,46	4,49	42,9
	3	6,0644	0,0185	-	0,53	0,52	6,68	63,90	10,97	104,9
	4	-1,4991	0,7290	-	0,84	0,84	0,44	23,69	4,54	43,5
	5	55,8948	0,1176	2,2982	0,74	0,74	4,92	47,11	8,07	77,2
	6	0,9867	1,3692	-	0,73	0,73	5,03	48,12	8,26	79,0
	7	0,9867	0,6846	-	0,73	0,73	5,03	48,12	8,26	79,0
	8	0,8471	0,5034	-	0,73	0,73	5,06	48,39	8,31	79,4

Em que: b_0 , b_1 e b_2 = parâmetros das equações; R^2 = coeficiente de determinação; $R^2_{ajustado}$ = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa; $S_{yx}\%$ = erro padrão da estimativa em porcentagem; IF = Índice de Furnival; $IF\%$ = Índice de Furnival em porcentagem; ns = não significativo ($p \geq 0,05$).

Tabela 26 – Análise de variância dos teores de carbono do compartimento fuste entre as oito espécies em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

FV	GL	SQ	QM	F	Significância
Tratamentos	7	132,554	18,936	1,551	0,157 ^{ns}
Resíduo	117	1428,786	12,212		
Total	124	1561,340			

Onde = FV é o Fator de Variação; GL é Grau de Liberdade; SQ é Soma de Quadrados; QM é Quadrado Médio; F é Valor do Teste F e *ns* é não significativo ($p \geq 0,05$).

Tabela 27 – Análise de variância dos teores de carbono do compartimento galhos grossos entre as oito espécies em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

FV	GL	SQ	QM	F	Significância
Tratamentos	7	275,825	39,404	2,124	0,049*
Resíduo	81	1502,781	18,553		
Total	88	1778,606			

Onde = FV é o Fator de Variação; GL é Grau de Liberdade; SQ é Soma de Quadrados; QM é Quadrado Médio; F é Valor do Teste F e * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$).

Tabela 28 – Análise de variância dos teores de carbono do compartimento galhos finos entre as oito espécies em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

FV	GL	SQ	QM	F	Significância
Tratamentos	7	78,256	11,179	0,482	0,846 ^{ns}
Resíduo	112	2597,067	23,188		
Total	119	2675,322			

Onde = FV é o Fator de Variação; GL é Grau de Liberdade; SQ é Soma de Quadrados; QM é Quadrado Médio; F é Valor do Teste F e *ns* é não significativo ($p \geq 0,05$).

Tabela 29 – Análise de variância dos teores de carbono do compartimento folhas entre as oito espécies em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

FV	GL	SQ	QM	F	Significância
Tratamentos	7	458,899	65,557	2,728	0,012*
Resíduo	119	2859,285	24,028		
Total	126	3318,184			

Onde = FV é o Fator de Variação; GL é Grau de Liberdade; SQ é Soma de Quadrados; QM é Quadrado Médio; F é Valor do Teste F e * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$).

Tabela 30 – Análise de variância dos teores de carbono entre os quatro compartimentos da espécie *Anadenanthera colubrina* em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

FV	GL	SQ	QM	F	Significância
Tratamentos	3	79,999	26,666	2,659	0,057 ^{ns}
Resíduo	54	541,582	10,029		
Total	57	621,581			

Onde = FV é o Fator de Variação; GL é Grau de Liberdade; SQ é Soma de Quadrados; QM é Quadrado Médio; F é Valor do Teste F e *ns* é não significativo ($p \geq 0,05$).

Tabela 31 – Análise de variância dos teores de carbono entre os quatro compartimentos da espécie *Aspidosperma pyrifolium* em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

FV	GL	SQ	QM	F	Significância
Tratamentos	3	61,148	20,383	1,226	0,309 ^{ns}
Resíduo	55	947,621	16,625		
Total	58	1008,769			

Onde = FV é o Fator de Variação; GL é Grau de Liberdade; SQ é Soma de Quadrados; QM é Quadrado Médio; F é Valor do Teste F e *ns* é não significativo ($p \geq 0,05$).

Tabela 32 – Análise de variância dos teores de carbono entre os quatro compartimentos da espécie *Bauhinia cheilantha* em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

FV	GL	SQ	QM	F	Significância
Tratamentos	3	78,285	26,095	2,008	0,124 ^{ns}
Resíduo	54	701,597	12,993		
Total	57	779,883			

Onde = FV é o Fator de Variação; GL é Grau de Liberdade; SQ é Soma de Quadrados; QM é Quadrado Médio; F é Valor do Teste F e *ns* é não significativo ($p \geq 0,05$).

Tabela 33 – Análise de variância dos teores de carbono entre os quatro compartimentos da espécie *Cnidocolus quercifolius* em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

FV	GL	SQ	QM	F	Significância
Tratamentos	3	129,851	43,284	1,358	0,266 ^{ns}
Resíduo	51	1627,005	31,902		
Total	54	1756,856			

Onde = FV é o Fator de Variação; GL é Grau de Liberdade; SQ é Soma de Quadrados; QM é Quadrado Médio; F é Valor do Teste F e *ns* é não significativo ($p \geq 0,05$).

Tabela 34 – Análise de variância dos teores de carbono entre os quatro compartimentos da espécie *Croton heliotropiifolius* em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

FV	GL	SQ	QM	F	Significância
Tratamentos	3	284,108	94,703	4,261	0,009 ^{**}
Resíduo	58	1289,087	22,226		
Total	61	1573,195			

Onde = FV é o Fator de Variação; GL é Grau de Liberdade; SQ é Soma de Quadrados; QM é Quadrado Médio; F é Valor do Teste F e ^{**} significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Tabela 35 – Análise de variância dos teores de carbono entre os quatro compartimentos da espécie *Mimosa ophthalmocentra* em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

FV	GL	SQ	QM	F	Significância
Tratamentos	3	75,943	25,314	0,946	0,425 ^{ns}
Resíduo	52	1391,603	26,762		
Total	55	1467,546			

Onde = FV é o Fator de Variação; GL é Grau de Liberdade; SQ é Soma de Quadrados; QM é Quadrado Médio; F é Valor do Teste F e *ns* é não significativo ($p \geq 0,05$).

Tabela 36 – Análise de variância dos teores de carbono entre os quatro compartimentos da espécie *Mimosa tenuiflora* em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

FV	GL	SQ	QM	F	Significância
Tratamentos	3	91,722	30574	1,082	0,365 ^{ns}
Resíduo	51	1440,522	28,246		
Total	54	1532,244			

Onde = FV é o Fator de Variação; GL é Grau de Liberdade; SQ é Soma de Quadrados; QM é Quadrado Médio; F é Valor do Teste F e ^{ns} é não significativo ($p \geq 0,05$).

Tabela 37 – Análise de variância dos teores de carbono entre os quatro compartimentos da espécie *Poincianella bracteosa* em uma área de Caatinga, no município de Floresta, PE

FV	GL	SQ	QM	F	Significância
Tratamentos	3	386,485	128,828	15,126	0,000 ^{**}
Resíduo	51	434,362	8,517		
Total	54	820,847			

Onde = FV é o Fator de Variação; GL é Grau de Liberdade; SQ é Soma de Quadrados; QM é Quadrado Médio; F é Valor do Teste F e ^{**} significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).