



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**GILBERTO QUEVEDO ROSA**

**ESTOQUE DE CARBONO EM DIFERENTES USOS DA TERRA E DINÂMICA DAS  
RAÍZES FINAS EM FLORESTA TROPICAL SECA**

**FORTALEZA**

**2018**

GILBERTO QUEVEDO ROSA

ESTOQUE DE CARBONO EM DIFERENTES USOS DA TERRA E DINÂMICA DAS  
RAÍZES FINAS EM FLORESTA TROPICAL SECA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e conservação de bacias hidrográficas no semiárido.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Eunice Maia de Andrade.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

R694e Rosa, Gilberto Quevedo.  
Estoque de carbono em diferentes usos da terra e dinâmica das raízes finas em Floresta Tropical Seca /  
Gilberto Quevedo Rosa. – 2018.  
105 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2018.  
Orientação: Profa. Dra. Eunice Maia de Andrade.

1. Caatinga. 2. Semiárido. 3. Dinâmica de raízes. 4. Biomassa. 5. Carbono. I. Título.

CDD 630

---

GILBERTO QUEVEDO ROSA

ESTOQUE DE CARBONO EM DIFERENTES USOS DA TERRA E DINÂMICA DAS  
RAÍZES FINAS EM FLORESTA TROPICAL SECA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e conservação de bacias hidrográficas no semiárido.

Aprovada em: 28/03/2018

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Eunice Maia de Andrade (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.: Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes  
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

---

Prof.: Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Olney e Marta

Aos meus avós, Nelson, Magali, Olímpio e

Irene

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela dádiva da vida, pela saúde e força necessária na busca de meus objetivos e por não me deixar fraquejar nos momentos difíceis.

À Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de cursar o mestrado.

Aos meus pais e aos meus irmãos por todo apoio e por todos os esforços que fizeram para eu conseguisse continuar nesta caminhada, e por compreenderem os motivos de minha ausência.

À Linda Brenna, pela compreensão, companheirismo e incentivo em todos os momentos.

À minha orientadora Eunice Maia de Andrade, pelos ensinamentos de grande valor, pela paciência e confiança.

A todos amigos e colegas do grupo de pesquisa Manejo de Solo e Água no Semiárido (MASSA) pelo companheirismo e auxílio no desenvolvimento da pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa e pela concessão de bolsa.

Aos meus padrinhos Eleú e Marli por todo incentivo e apoio dedicados.

E a todos que diretamente ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

“Uma mesma divindade indivisível atua sobre nós e a natureza, e se o mundo exterior desaparecesse, qualquer um de nós seria capaz de reconstruí-lo, pois a montanha e o rio, a árvore e a folha, a raiz e a flor, todas as criaturas da natureza estão previamente criadas em nós mesmos, provêm de nossa alma, cuja essência é a eternidade, essência que escapa ao nosso conhecimento, mas que se faz sentir em nós como força amorosa e criadora.”

(Hermann Hesse)

## RESUMO

Neste estudo, buscou-se na primeira etapa quantificar os estoques de biomassa e carbono em Floresta Tropical Seca (FTS) e suas alterações após a mudança de uso e cobertura da terra. Para isto, foram estudados quatro usos da terra: caatinga densa (CD), caatinga aberta (CA), agricultura (AG) e pastagem (PA), em duas classes de solos (Neossolos e Luvisolos), em três sítios de FTS, Ceará, Brasil. Na segunda etapa, buscou-se analisar a dinâmica de desenvolvimento das raízes finas em uma área de CD em FTS-Caatinga. Na primeira etapa foram realizados levantamentos do estrato herbáceo e serapilheira, das espécies lenhosas para determinação da razão raiz:parte aérea e para estimativa da biomassa e da biomassa radicular. O material vegetal foi seco em estufa e pesado, e sub-amostras foram realizadas para determinação dos teores de Carbono. A segunda etapa foi realizada em Pentecoste, sendo iniciada em jul/2015. Efetuou-se a caracterização do sistema radicular existente e foram implantados os núcleos de crescimento interno. Depois foram realizadas seis coletas (nov/2015, mar/2016, jul/2016, nov/2016, mar/2017 e jul/2017) cobrindo duas estações secas e duas chuvosas. As estimativas de comprimento e biomassa radicular foram desenvolvidas seguindo o método *ingrowth core*, na camada de 0-30 cm e nas sub-camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. As raízes foram separadas utilizando duas peneiras e jatos de água. Após a separação, as raízes foram secas em estufa e pesadas. Para determinar o comprimento das raízes, estas foram fotografadas e realizada a análise no software Giaroots. Os dados foram submetidos aos testes U de Mann-Whitney a 5% de significância (2 amostras) e H de Kruskal-Wallis a 5% de significância (> 2 amostras). A biomassa total nas áreas de CD, CA, AG e PA foi de 72,90; 38,20; 0,40 e 2,60 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, e o respectivo estoque de carbono total foi de 31,55; 16,67; 0,17 e 1,06 Mg ha<sup>-1</sup>. A BRF (<2 mm) em julho de 2015 era de 7,7 ± 5.0 Mg ha<sup>-1</sup> e a CRF (< 2 mm) de 5,0 ± 3,2 km m<sup>-2</sup>. No início da primeira estação chuvosa as raízes finas já haviam se regenerado significativamente ( $\rho < 0,05$ ) em relação ao seu comprimento. Entretanto a regeneração de sua biomassa ocorreu somente no final da primeira estação chuvosa. Na estação seca ocorreu uma redução significava (52%) da biomassa somente na camada mais profunda. As alterações do uso da terra de áreas com vegetação nativa para usos agropecuários resultam em um grande impacto no estoque de biomassa e carbono na FTS. A produção de raízes finas ocorre fundamentalmente nas estações chuvosas, com uma rápida resposta de desenvolvimento do sistema radicular à ocorrência de precipitações.

**Palavras-chave:** Caatinga. Semiárido. Dinâmica de raízes.



## ABSTRACT

In this study, the first stage was developed to quantify the biomass and carbon stocks in the Tropical Dry Forest (FTS) and its alterations after land use change. For this, four land uses were studied: dense caatinga (DC), open caatinga (OC), agriculture (AG) and pasture (PA), in two soil classes (Entisols and Alfisols), in three sites of FTS, Ceará, Brazil. The second stage was developed to analyze the dynamics of the development of fine roots in a DC area in FTS-Caatinga. In the first stage, herbaceous stratum, litter and woody species surveys were carried out. The plant material was dried in an oven and weighed, and sub-samples were made to determine the carbon content. The second stage was carried out in Pentecost, starting in July/2015. The existing root system was characterized and the ingrowth cores were implanted. Then, six collections (Nov/2015, Mar/2016, Jul/2016, Nov/2016, Mar/2017 and Jul/2017) were carried out covering two dry and two rainy seasons. Estimates of root length and biomass were developed following the ingrowth core method, in the 0-30 cm layer and in the 0-10, 10-20 and 20-30 cm sub-layers. The roots were separated using two sieves and jets of water. After separation, the roots were oven dried and weighed. To determine the root length, the roots were photographed and analyzed in the Giaroots software. Data were submitted to Mann-Whitney U tests at 5% significance (2 samples) and Kruskal-Wallis H at 5% significance (> 2 samples). The total biomass in the areas of CD, CA, AG and PA was 72,90; 38,20; 0,40 and 2,60 Mg ha<sup>-1</sup>, respectively, and the respective total carbon stock was 31,55; 16,67; 0,17 and 1,06 Mg ha<sup>-1</sup>. The BRF (<2 mm) in July 2015 was  $7,7 \pm 5,0$  Mg há<sup>-1</sup> and the CRF (<2 mm) was  $5,0 \pm 3,2$  km m<sup>-2</sup>. At the beginning of the first rainy season the fine roots had already regenerated significantly ( $p < 0.05$ ) in relation to their length. However the regeneration of its biomass occurred only at the end of the first rainy season. In the dry season there was a significant reduction (52%) of the biomass only in the deepest layer. Changes in land use from native vegetation areas to agricultural uses result in a major impact on the biomass and carbon stock in the FTS. The production of fine roots occurs mainly in rainy seasons, with a rapid response of development of the root system with occurrence of precipitations.

**Keywords:** Caatinga. Semi-arid. Root dynamics.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área de estudo .....	38
Figura 2 - Tipos de usos da terra estudados neste trabalho: Caatinga densa (A), Caatinga aberta (B), Agricultura (C) e Pastagem (D).....	39
Figura 3 - Parcela de 20 x 20 m para coleta da biomassa aérea dos arbustos e árvores, parcela circular para determinação da razão raiz:parte aérea, subparcelas de 1 x 1m para coleta do estrato herbáceo e serapilheira, e trincheiras de 0,7 x 0,7 m para coleta da biomassa radicular .....	41
Figura 4 - Biomassa aérea total (BAT), biomassa radicular (BR) e razão BR:BAT em diferentes usos da terra (CD, CA e PA) e classes de solo (Neossolos e Luvisolos).....	47
Figura 5 - Razão BR:BAT da vegetação nativa de FTS em Neossolo, Luvisolo, Caatinga aberta e Caatinga densa para diferentes comprimentos de raio da parcela de coleta da BAT.....	48
Figura 6 - Distribuição vertical da biomassa radicular ( $Mg\ ha^{-1}$ ) em áreas de CD, CA, AG e PA em Neossolos e Luvisolos.....	50
Figura 7 - Localização da área de estudo .....	66
Figura 8 - Cronograma do experimento, precipitações mensais e acumuladas.....	67
Figura 9 - Fases da metodologia empregada no estudo.....	68
Figura 10 - Biomassa, comprimento e comprimento específico de raízes finas ( $\emptyset < 2\ mm$ ) na camada de 0-30 cm em FTS .....	69
Figura 11 - Distribuição da BRF, CRF e CeRF em FTS, Ceará, Brasil.....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Biomassa, densidade de plantas e área basal nos diferentes compartimentos e usos do solo na FTS no Ceará.....	44
Tabela 2 - Proporções da biomassa de raízes grossas (%) por profundidade.....	52
Tabela 3 - Teores de carbono (%) em diferentes compartimentos e usos da terra em FTS- Caatinga .....	53
Tabela 4 - Estoque de carbono em diferentes compartimentos e em diferentes usos do solo na FTS no Ceará .....	54
Tabela 5 - Atributos físicos e químicos do solo na área de estudo.....	66
Tabela 6 - Densidade (DE, g cm <sup>-3</sup> ), Pedregosidade (PD, g kg <sup>-1</sup> ) e Matéria Orgânica (MO, g kg <sup>-1</sup> ) em Neossolo (N) e Luvisolo (L) em Floresta Tropical Seca (FTS) .....	100
Tabela 7 - Distribuição da biomassa radicular total (Mg ha <sup>-1</sup> ) em função das profundidades em Luvisolo e Neossolo em FTS no Ceará.....	100
Tabela 8 - Distribuição da biomassa de raízes finas (Mg ha <sup>-1</sup> ) em função das profundidades em Luvisolo e Neossolo em FTS no Ceará.....	101
Tabela 9 - Distribuição da biomassa de raízes grossas (Mg ha <sup>-1</sup> ) em função das profundidades em Luvisolo e Neossolo em FTS no Ceará.....	101
Tabela 10 - Distribuição da biomassa radicular total (%) em função das profundidades em Luvisolo e Neossolo em FTS no Ceará.....	101
Tabela 11- Distribuição da biomassa de raízes finas (%) em função das profundidades em Luvisolo e Neossolo em FTS no Ceará.....	102
Tabela 12 - Correlação entre os incrementos médios do sistema radicular (BRF e CRF) e as variáveis climáticas.....	103
Tabela 13 - Biomassa, comprimento e comprimento específico de raízes finas (BRF, CRF e CeRF) em fragmento de Floresta Tropical Seca.....	104
Tabela 14 - Incrementos de biomassa, comprimento e comprimento específico de raízes finas (BRF, CRF e CeRF) nas subcamadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm .....	105

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>AÇÕES ANTRÓPICAS E AS ALTERAÇÕES NO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO EM FLORESTA TROPICAL SECA .....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>DINÂMICA DAS RAÍZES FINAS EM FLORESTA TROPICAL SECA EM RESPOSTA À SAZONALIDADE PLUVIOMÉTRICA .....</b>	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>86</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>87</b>
	<b>APÊNDICE A – DADOS COMPLEMENTARES DO CAPÍTULO I.....</b>	<b>100</b>
	<b>APÊNDICE B – DADOS COMPLEMENTARES DO CAPÍTULO II .....</b>	<b>103</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As florestas são fontes de recursos naturais que vêm sendo exploradas desde as primeiras civilizações do mundo, entretanto na maioria das vezes estes recursos foram e ainda são explorados de forma não sustentável. Em muitos locais também as florestas foram desmatadas para conversão das terras em áreas de agricultura e pecuária, como também para o desenvolvimento de áreas urbanas.

Informações precisas sobre o estado de conservação e a alteração dos recursos florestais são imprescindíveis para o seu uso sustentável, sendo assim preciso realizar estimativas para todos os países, principalmente nas florestas de países tropicais que são submetidas a maiores taxas de mudança (BROWN, 1997). A quantificação da biomassa florestal é importante pois auxilia na compreensão do funcionamento dos ecossistemas, permitindo avaliar as possibilidades energéticas e industriais, determinar o risco de incêndios florestais, como também detectar o potencial dos sistemas florestais para armazenar ou sequestrar o CO<sub>2</sub> da atmosfera (DIÉGUEZ-ARANDA *et al.*, 2009). Nos últimos anos, devido à preocupação com as mudanças climáticas globais, muitos trabalhos científicos têm sido desenvolvidos objetivando quantificar os estoques de biomassa e carbono em diferentes ecossistemas do mundo e compreender sua dinâmica (KAUFFMAN; HUGHES; HEIDER, 2009; BECKNELL; KUCEK; POWERS, 2012; AGUIAR *et al.*, 2014; GANDHI; SUNDARAPANDIAN, 2017). Além disso, estes estudos são imprescindíveis para o desenvolvimento de estratégias de combate ao Aquecimento Global (VIEIRA *et al.*, 2009).

Devido à pressão antrópica desordenada sobre os ecossistemas brasileiros na produção de bens e serviços, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos na busca de caracterizá-los, bem como identificar a degradação ambiental e o poder de resiliência (SAMPAIO; BATISTA, 2004; KLINK; MACHADO, 2005; CANDIOTTO, 2016). Dentre as vegetações brasileiras, a Floresta Tropical Seca (FTS-Caatinga) é uma das mais impactadas pelas atividades antrópicas, sendo estimado que cerca de 45% de sua área total já se encontram alterada (CASTELLETTI, 2003). O desmatamento da Caatinga ocorre principalmente devido ao consumo de lenha que tem sido explorada de forma ilegal e insustentável, ao sobrepastejo e a conversão para agricultura e pastagens (MMA, 2012).

Além do problema da grande degradação que vem ocorrendo na FTS-Caatinga, havia até o início deste século uma séria insuficiência de conhecimento científico (VELLOSO *et al.*, 2002). Na maior parte do século XX, a FTS-Caatinga foi ignorada do ponto de vista de conservação e dos estudos botânicos, porém nestes últimos anos vem sendo reconhecida como

uma região natural única, com diversos endemismos e com uma diversidade florística bem maior do que era conhecida no século passado (MORO, 2013).

Com o reconhecimento da importância da vegetação da FTS-Caatinga, um maior número de trabalhos vem sendo publicados em suas áreas nos últimos anos. Diversos estudos foram realizados com o objetivo de estimar a biomassa e o carbono na FTS-Caatinga (SOUZA, 2009; FRACETTO *et al.*, 2012; PEREIRA JUNIOR *et al.*, 2016; AQUINO *et al.*, 2017). Equações alométricas foram derivadas para estimar a biomassa aérea de algumas espécies da FTS-Caatinga (SAMPAIO; SILVA, 2005). Também alguns estudos foram realizados com o objetivo de estimar a biomassa radicular, bem como a razão entre as biomassas das partes aéreas e a biomassa radicular (COSTA *et al.*, 2014; ALBUQUERQUE *et al.*, 2015a).

Entretanto, sobre a dinâmica de desenvolvimento das raízes na FTS-Caatinga ainda há uma lacuna de conhecimento, o que é evidenciado pelo pequeno número de trabalhos científicos já elaborados nesta área de estudo (PINHEIRO; COSTA; ARAÚJO, 2013; ALMEIDA, 2016). Além disto, apesar dos estudos sobre biomassa e carbono na FTS-Caatinga terem aumentado nos últimos anos, estes se concentram principalmente nas áreas de vegetação nativa. E portanto, existe pouco conhecimento sobre os outros usos da terra dentro da FTS-Caatinga e os impactos da alteração destes usos.

Diante do exposto, desenvolveu-se este trabalho em duas etapas diferentes. Primeiramente, buscou-se quantificar os estoques de biomassa e carbono em Floresta Tropical Seca (FTS) e as alterações nos estoques após a mudança de uso e cobertura da terra, bem como caracterizar o sistema radicular e determinar a razão raiz:parte aérea das biomassas em diferentes usos da terra na FTS. A segunda etapa foi desenvolvida visando avaliar a dinâmica de produção de raízes finas (<2 mm) em fragmento de FTS em resposta a sazonalidade pluviométrica.

## 2 OBJETIVOS

### Objetivo geral

Avaliar os efeitos de alterações do uso da terra em áreas de Floresta Tropical Seca sob o estoque de biomassa e carbono, padrões de distribuição do sistema radicular e razão raiz:parte aérea das biomassas, bem como avaliar a dinâmica da produção de raízes finas (<2 mm) em resposta a sazonalidade pluviométrica.

### Objetivos específicos

Quantificar o estoque de biomassa vegetal e carbono em diferentes usos da terra na Floresta Tropical Seca.

Determinar a razão raiz:parte aérea das biomassas em diferentes usos da terra na Floresta Tropical Seca.

Determinar o melhor tamanho da amostra para verificação da razão raiz:parte aérea das biomassas em vegetação nativa na Floresta Tropical Seca.

Analisar a distribuição vertical da biomassa radicular no solo carbono em diferentes usos da terra na Floresta Tropical Seca.

Determinar a proporção de raízes finas e grossas em diferentes usos da terra na Floresta Tropical Seca.

Avaliar a dinâmica de produção de raízes finas (<2 mm) em fragmento de FTS em resposta a sazonalidade pluviométrica.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### **Floresta Tropical Seca-Caatinga**

O Domínio Biogeográfico da Caatinga localizado no nordeste do Brasil corresponde a maior área contínua de Floresta Tropical Seca (FTS) na América do Sul (SÄRKINEN *et al.*, 2011). Sua área se estende pela maior parte dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e a parte nordeste de Minas Gerais, ocupando cerca de 840.000 km<sup>2</sup>, o que equivale a cerca de 10% do território brasileiro (AB'SÁBER, 1974; ANDRADE-LIMA, 1981; VELLOSO *et al.*, 2002; IBGE, 2004).

A Caatinga é caracterizada por possuir um clima semiárido quente, e precipitação fortemente sazonal, com 80% do seu território inserido abaixo da isoietas de 800 mm por ano (VELLOSO *et al.*, 2002). A maior parte da Caatinga está inserida no semiárido brasileiro, sendo a vegetação predominante nesta região (CORREIA *et al.*, 2011). A atual delimitação geográfica da região semiárida brasileira está baseada cumulativamente nos seguintes critérios: a) precipitação pluviométrica anual média inferior a 800 mm; b) índice de aridez de até 0,5, calculado pelo balanço hídrico no período entre 1961 e 1990; e c) risco de seca maior que 60%, tendo como base o período entre 1970 e 1990 (PEREIRA JUNIOR, 2007).

O que caracteriza o regime pluviométrico da região semiárida brasileira não são as baixas precipitações anuais, visto que apresenta uma média anual de cerca de 750 mm, mas sim a má distribuição temporal e espacial das chuvas (PEREIRA; ANDRADE, 2010). É frequente a ocorrência tanto de anos secos como também de veranicos, ou seja, dias secos consecutivos durante a estação chuvosa (ANDRADE *et al.*, 2016). Outra característica desta região é a ocorrência de chuvas concentradas em um curto espaço de tempo, sendo comum precipitar em um único mês um volume superior a 70% da média da região (ANDRADE; MEIRELES; PALÁCIO, 2010). Sua estação chuvosa se limita a um período de 4 a 5 meses, ocorrendo entre fevereiro e maio 60% da precipitação anual total (ANDRADE *et al.*, 2016).

De forma geral, o solo da Caatinga é raso, pedregoso, alcalino, e rico em minerais, mas pobre em matéria orgânica, já que a decomposição desta matéria é prejudicada pela energia e a luminosidade, que são intensas durante todo ano (RIOS; THOMPSON, 2013). Estes solos têm a maior variabilidade do Brasil, que foi causada principalmente pelo efeito diferencial da erosão geológica que descobriu camadas distintas, até o limite da exposição das rochas (formando os lajedões de muitas áreas e os pavimentos recobertos de rochas, pedras e pedregulhos) fazendo com que existam solos muito rasos, e ficando os solos mais profundos



nas áreas menos modificadas (SAMPAIO, 2010).

A flora da caatinga apresenta mais de 1000 espécies, com rica diversidade e estratégias para sobrevivência aos longos períodos de seca (GAMARRA-ROJAS, 2002; KIILL *et al.*, 2007). Na Caatinga são encontradas numerosas famílias, tendo destaque as Leguminosae, Euforbiaceae e Cactaceae (LIMA FILHO, 2004). Reunindo as listagens de plantas endêmicas com os estudos que apontam a existência de mais de um núcleo de biodiversidade florística no Domínio Fitogeográfico da Caatinga fica evidente que esta região é muito mais rica em diversidade florística e muito mais relevante para a conservação biológica do que se acreditava no século passado (MORO, 2013).

Segundo o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (2012) a Caatinga é classificada como Savana-Estépica, podendo ser dividida em quatro subtipos: Florestada, Arborizada, Parque e Gramíneo-Lenhosa. Analisando as afinidades florísticas entre os diferentes ecossistemas encontrados no Domínio Fitogeográfico da Caatinga, Moro *et al.* (2016) verificaram a formação de 3 grupos principais: Caatinga do cristalino, Caatinga do sedimentar e *Insebergs*. Os autores também compararam a Caatinga, com os principais biomas do mundo, e concluíram que esta é fisionomicamente diferente dos demais biomas analisados, apresentando comunidades de plantas com espectros que são intermediários entre as de florestas chuvosas e desertos.

A Caatinga apresenta fisionomias muito variáveis, as quais dependem do tipo de solo e do regime de chuvas, podendo variar de florestas altas e secas em sítios mais úmidos e com solos relativamente profundos, até afloramentos de rochas com arbustos esparsos de pequena altura, com cactos e bromeliáceas se desenvolvendo nas fendas (PRADO, 2003). Conforme Sampaio (2010) nas caatingas de locais com maior disponibilidade de água e de nutrientes, a luz se torna um fator limitante e as espécies adaptadas a competir por esse fator são mais abundantes. As árvores com altura maior podem chegar até 30 m, porém mais comumente se encontram árvores com 15 m a 20 m (ANDRADE-LIMA, 1981; PEREIRA *et al.*, 2002; ALCOFORADO FILHO; SAMPAIO; RODAL, 2003). Nestes locais a densidade das árvores com diâmetros de caule maior que 3 cm fica, geralmente, entre 500 e 1000 indivíduos por hectare e a sobreposição das copas faz com que suas projeções sejam de três a quatro vezes a área de solo corresponde, porém esta vegetação mais frondosa vai ficando baixa e esparsa à medida que as terras vão ficando mais secas (SAMPAIO, 2010). A densidade das herbáceas está entre uma dezena a uma centena de indivíduos por metro quadrado, mas com distribuição agrupada nos sítios mais abertos (ARAÚJO *et al.*, 2005; REIS *et al.*, 2006).

Segundo Sampaio (2010) o padrão típico da Caatinga é uma vegetação

relativamente fechada, com árvores e arbustos que formam um dossel baixo e contínuo, o qual recobria a maior parte da Caatinga, entretanto devido os desmatamentos que têm sido realizados para diversos usos, uma parcela relevante dessa vegetação (de 30% a 50%) está mais baixa e bem mais aberta do que era a vegetação original. A inadequada exploração dos recursos naturais tem causado a degradação da Caatinga, como a prática de pecuária extensiva (que ocasiona o sobrepastejo da vegetação nativa), o cultivo agrícola itinerante (no qual tradicionalmente se realiza o desmatamento e a queima da vegetação natural) e a extração de produtos vegetais. Segundo Kiill *et al.* (2007), as atividades que mais causam danos à Caatinga são o desmatamento, o extrativismo, a agricultura, a pecuária, a mineração e a construção de barragens.

Em muitas áreas de Caatinga, devido às condições menos favoráveis e à antropização, as árvores normalmente não atingem alturas elevadas, e os arbustos e arvoretas engalhadas têm maior abundância, apresentando densidades dos indivíduos com mais de 3 cm de diâmetro entre 1000 e 3000 por hectare e áreas basais entre  $10 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  e  $30 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  (SAMPAIO, 2010). Dependendo do porte e da densidade de sua vegetação, as áreas de Caatinga podem apresentar diferentes quantidades de biomassa, sendo que nas áreas de vegetação aberta esta varia de 5 a  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  e nas áreas com florestas mais adensadas pode chegar a aproximadamente  $100 \text{ Mg ha}^{-1}$  (TIESSSEN *et al.*, 1998).

### **Biomassa florestal**

A Biomassa florestal pode ser definida como a fitomassa de todos os componentes vegetais da comunidade, expressa em massa de matéria seca (MS) por unidade de área (HIGA *et al.*, 2014). A quantidade de biomassa numa floresta é dada pela diferença entre a produção através da fotossíntese e o consumo por meio de processos de respiração e de colheita, sendo assim uma medida útil para avaliar as alterações na estrutura da floresta (BROWN, 1997). A quantificação da biomassa florestal é atualmente um aspecto importante a se considerar no manejo florestal porque auxilia na compreensão do funcionamento do ecossistema, permite avaliar as possibilidades energéticas e industriais, também permite detectar o potencial dos sistemas florestais para armazenar ou sequestrar o  $\text{CO}_2$  da atmosfera e é importante na determinação do risco de incêndios nas florestas (DIÉGUEZ-ARANDA *et al.*, 2009).

Dentro do contexto energético, o termo biomassa é usado para denominar uma fonte de energia renovável baseada na utilização da matéria orgânica, tendo este caráter de energia renovável pelo fato de seu conteúdo energético proceder em última instância da energia solar

fixada pelos vegetais no processo fotossintético (FERNANDEZ, 2004). O uso de biomassa como fonte de energia é uma alternativa para substituir as fontes de energia com saldo positivo nas emissões de CO<sub>2</sub> (JIMÉNEZ, 2010). A energia que provem da madeira pode ser liberada na forma de calor durante a combustão direta, ou por reações a nível molecular, que resultam na conversão da matéria orgânica em compostos de alto conteúdo energético tais como alcoóis, acetona, gás metano ou carvão (MANHÃES, 1994).

A biomassa como fonte energética apresenta vantagens do ponto de vista socioeconômico e ambiental, como a criação de sinergias entre os setores agrícola-florestal, energético, industrial, ambiental e social, e também por promover o desenvolvimento sustentável através da criação de postos de trabalho e investimentos no meio rural (CERUTTI, 2006). A biomassa é umas das fontes de energia que apresenta maior potencial de crescimento para os próximos anos, sendo considerada uma das alternativas principais para diversificar a matriz energética e reduzir a dependência do uso de combustíveis fósseis (ANEEL, 2008).

Existe um grande potencial na Caatinga para a conservação de serviços ambientais, uso sustentável e bioprospecção, que se forem explorados de forma correta, podem ser decisivos para o desenvolvimento da região e do país (MMA, 2012). Apesar da cadeia produtiva de lenha e carvão no Nordeste se restringir a um mercado interno formado por bacias produtoras próximas aos pólos consumidores, e praticamente nenhuma comercialização para fora da região, ainda assim é possível e provável que no futuro a região passe a ser exportadora de combustíveis florestais (RIEGELHAUPT; PAREYN, 2010).

Devido ao manejo florestal integrar tradicionalmente os sistemas produtivos rurais e também ser tecnicamente viável, pode trazer uma grande contribuição na redução da pobreza, principalmente por causa da geração direta de renda, a partir da comercialização da produção florestal, como também à geração de empregos na zona rural, principalmente na época seca (PAREYN, 2010). O manejo florestal é uma alternativa de produção complementar às práticas agropecuárias tradicionais do semiárido, podendo colaborar no processo de fixação do homem no campo (GARIGLIO; BARCELLOS, 2010).

Para que se utilize de forma sustentável as florestas é necessário que se tenha informações precisas sobre o estado e as taxas de variação dos recursos florestais, sendo assim torna-se preponderante a estimativa para todos os países, principalmente nas florestas de países tropicais que são submetidas a maiores taxas de mudança e possuem poucas estimativas confiáveis (BROWN, 1997). Os estudos sobre a biomassa florestal são realizados visando diversos objetivos, dentre os quais se podem destacar a quantificação para fins energéticos, a quantificação da ciclagem de nutrientes, e como base de informação para estudos de sequestro

de carbono (SILVEIRA *et al.*, 2008).

A biomassa florestal pode ser quantificada por métodos diretos ou indiretos (HIGUCHI *et al.*, 1998; CARDOSO; PARRON; FRANCISCON, 2015). De acordo com Sanquetta *et al.* (2003), o método direto implica na morte das arvores, em um elevado custo com mão de obra e demanda de tempo, ao passo que no método indireto é utilizada uma relação empírica entre a biomassa e variáveis dendrométricas de fácil obtenção.

No método direto, ou destrutivo, é realizado o corte das plantas e é quantificado todo o material vegetal produzido em determinada unidade de área, sendo posteriormente extrapolado para toda a área em estudo (CARDOSO; PARRON; FRANCISCON, 2015). Este método é utilizado para a construção de equações alométricas e fatores de expansão da biomassa, onde a partir de um ou mais indivíduos cortados, é determinada a biomassa por meio da quantificação direta de cada um dos componentes (fuste, ramos e folhas) e então se extrapola os resultados para a área total (RÜGNITZ; CHACÓN; PORRO, 2009). Apesar dos métodos diretos terem um alto custo e serem demorados, é fundamental para a calibração das equações alométricas que serão usadas nas estimativas a partir de métodos indiretos (WATZLAWICK *et al.*, 2001).

No método indireto emprega-se equações ou fatores de expansão que relacionam dimensões básicas de fácil mensuração obtidas no campo, como diâmetro à altura do peito (DAP), com características de interesse, como biomassa seca ou carbono (RÜGNITZ; CHACÓN; PORRO, 2009; CARDOSO; PARRON; FRANCISCON, 2015). Com base em dados de inventário florestal, é possível usar relações alométricas, fatores de expansão de biomassa e densidade média de carbono para converter medidas de volume de madeira em biomassa e posteriormente em carbono (LINDNER; KARJALAINEN, 2007). O uso de fatores de conversão e expansão permite que se estime a biomassa e o carbono a partir do volume de madeira dos fustes (WATSON *et al.*, 2000).

Na última década, diversos trabalhos têm sido realizados com o objetivo de desenvolver equações que possibilitem estimar a biomassa e o carbono no bioma Caatinga. Equações alométricas foram derivadas por Sampaio e Silva (2005) para estimar a biomassa aérea viva e a área de projeção da copa de dez espécies da Caatinga, com base na altura da planta e/ou do diâmetro do caule ao nível do solo (DNS) ou à altura do peito (DAP). Neste trabalho, os autores obtiveram ajustes dos modelos com elevados coeficientes de determinação para cada espécie ou para o conjunto (com exceção da espécie *Cereus jamacaru* DC.), com o uso da equação potencial ( $B = aDNS^b$ ).

Essa equação desenvolvida por Sampaio e Silva (2005) tem sido amplamente

utilizada em áreas de Caatinga, como nos trabalhos de Pereira Junior *et al.* (2016), no qual se estimou um total de biomassa de 43,27 Mg ha<sup>-1</sup> no componente arbustivo-arbóreo de um fragmento de Caatinga em regeneração de 30 anos; de Costa *et al.* (2014) que estimou um total de 45,8 Mg ha<sup>-1</sup> para uma área de Caatinga com vegetação densa; e Albuquerque *et al.* (2015a), que estimou um total de 46,5 Mg ha<sup>-1</sup> para a parte aérea de uma vegetação de Caatinga.

Silva e Sampaio (2008) pesquisando as mesmas espécies estudadas por Sampaio e Silva (2005), determinaram as proporções de diferentes partes destas plantas em relação à biomassa total da parte aérea, conseguindo ajustar equações alométricas que possibilitam estimar as biomassas dessas partes. Os autores observaram que nas plantas com DAP  $\geq 17,5$  cm, aproximadamente 70% da biomassa era de caules e galhos maiores que 5 cm de diâmetro, 20% de galhos entre 1 e 5 cm, 5% de ramos menores que 1 cm e 5% de folhas.

Em estudo realizado em três sítios de Caatinga em regeneração, Sampaio *et al.* (2010) mediram e pesaram mil e duzentos indivíduos de quatro espécies de árvores e usaram os dados para validar equações alométricas previamente determinadas na caatinga madura, e na sequência determinaram novas equações alométricas para esta vegetação em regeneração. Segundo os autores, este trabalho foi realizado devido às equações alométricas desenvolvidas para vegetações tropicais maduras superestimarem a biomassa das árvores quando utilizadas para estimativas em áreas em regeneração.

Para quantificar diretamente a biomassa de raízes são realizados procedimentos exaustivos de campo, com custos elevados e que podem não representar de maneira adequada à heterogeneidade da floresta. Por isso, normalmente se estima a biomassa de raízes por equações ou pela relação biomassa aérea/biomassa das raízes (CARDOSO; PARRON; FRANCISCON, 2015).

Alguns trabalhos têm sido desenvolvidos na Caatinga com o objetivo de determinar a razão entre a biomassa da parte aérea e a biomassa das raízes. Costa *et al.* (2014) determinaram as biomassas das raízes e da parte aérea e sua razão para três estágios de regeneração da Caatinga, e também para vegetação aberta e densa de Caatinga, em quatro classes de solos. Albuquerque *et al.* (2015a) estudando seis áreas de Caatinga, determinaram as biomassas da parte aérea e das raízes e sua razão, também analisando a distribuição das raízes em relação à distância do fuste, e observaram que a biomassa radicular sob as bases dos fustes foi de 41% do total de biomassa das demais raízes.

O valor médio encontrado de razão raiz:parte aérea (0,56) por Albuquerque *et al.* (2015a), foi bem próximo dos valores médios encontrados por Costa *et al.* (2014) para áreas de Caatinga densa (0,51) e aberta (0,49), o que corrobora na recomendação de se atribuir valores

de biomassa radicular em torno de 50% da quantidade de biomassa da parte aérea em áreas de Caatinga.

Estudando área de Caatinga conservada com 30 anos, Pereira Junior *et al.* (2016) verificaram um total de biomassa de raízes com 8,96 Mg ha<sup>-1</sup> e 10,95 Mg ha<sup>-1</sup> no período seco (2012 e 2013, respectivamente) e 7,51 Mg ha<sup>-1</sup> e 5,64 Mg ha<sup>-1</sup> no período chuvoso (2012 e 2013, respectivamente). Estudando fragmentos de Caatinga conservada e raleada, Aquino (2015) verificou que nas áreas sob raleamento existe um maior estoque de biomassa de das raízes finas (21,2 Mg ha<sup>-1</sup> e 14,6 Mg ha<sup>-1</sup> no período chuvoso e seco, respectivamente) do que nas áreas conservadas (6,45 Mg ha<sup>-1</sup> e 5,64 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente) quando se considerou a profundidade de 30 cm do solo.

### **Estoque de carbono**

O carbono é o elemento químico fundamental dentre os compostos orgânicos, este circula pelos oceanos, pela atmosfera, pelo solo e subsolo através de processos químicos, físicos e biológicos (RÜGNITZ; CHACÓN; PORRO, 2009). No processo de fotossíntese o dióxido de carbono é removido pelas plantas da atmosfera, e convertido em compostos orgânicos que constituem suas estruturas. Com a queima da biomassa, o CO<sub>2</sub> retido é devolvido à atmosfera, e o crescimento de novas plantas mantém o ciclo do carbono atmosférico em equilíbrio (OLIVEIRA, 2015). Segundo Taiz e Zeiger (2013) a energia solar que chega a superfície da Terra é convertida através de reações endergônicas nas plantas a carboidratos, aproximadamente 2 x 10<sup>11</sup> toneladas de Carbono por ano.

O estoque de carbono vegetal corresponde à quantificação da massa de carbono (C) encontrada nas frações da biomassa dos vegetais, estando o carbono estocado nos diversos reservatórios de biomassa e representando, aproximadamente 47% da massa seca da biomassa total (HIGA *et al.*, 2014). Através do inventário de biomassa se quantifica o armazenamento de carbono nos diferentes reservatórios presentes nos distintos ecossistemas da Terra, permitindo também medir o impacto de um determinado projeto no sequestro do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente na atmosfera, por meio de sua fixação na biomassa existente (RÜGNITZ; CHACÓN; PORRO, 2009).

Conforme Jenkins *et al.* (2011) as principais etapas para realizar uma avaliação abrangente de carbono em uma área florestal são: 1) definir claramente a área a ser avaliada; 2) subdividir a área em camadas; 3) fazer a estimativa do volume do fuste das árvores para cada espécie ou grupo de espécies; 4) estimar para cada grupo de árvores que compõem o estoque

de crescimento, a alocação de biomassa em diferentes partes da árvore (raízes, toco, fuste principal, galhos e folhas); e 5) converter as estimativas de biomassa para seus equivalentes de carbono. Para estimar os estoques de Carbono ou seus fluxos, o carbono em ecossistemas florestais pode ser dividido nos seguintes reservatórios de armazenamento: biomassa acima do solo, a biomassa abaixo do solo; a madeira morta, a serrapilheira e o Carbono orgânico do solo (IPCC, 2003).

Devido à preocupação com as mudanças climáticas globais, muitos trabalhos científicos têm sido desenvolvidos nos últimos anos objetivando quantificar os estoques de carbono em diferentes ecossistemas do mundo e compreender sua dinâmica (KAUFFMAN; HUGHES; HEIDER, 2009; BECKNELL; KUCEK; POWERS, 2012; AGUIAR *et al.*, 2014; GANDHI; SUNDARAPANDIAN, 2017). Estes estudos são imprescindíveis para o desenvolvimento de estratégias de combate ao Aquecimento Global (VIEIRA *et al.*, 2009).

Na região semiárida brasileira vem sendo realizadas algumas pesquisas em relação aos balanços de C em áreas de vegetação nativa, e também em áreas de pecuária, de agricultura de sequeiro e de agricultura irrigada (GIONGO *et al.*, 2011a). A maioria dessas pesquisas tratam do estoque de carbono na parte aérea das vegetações nativas (SOUZA, 2009; PEREIRA JUNIOR *et al.*, 2016) e do carbono estocado no solo (FRACETTO *et al.*, 2012; GIONGO *et al.*, 2011b; AQUINO, 2015), sendo ainda pouco estudado o estoque de carbono nas raízes no Domínio Fitogeográfico da Caatinga.

Nos estudos sobre o estoque de carbono, as áreas florestais são as mais estudadas. Isto ocorre porque estas áreas têm um potencial de armazenamento de carbono maior do que em culturas agrícolas e pastagens, devido ao acúmulo em maior quantidade de biomassa lenhosa e à incorporação de maiores níveis de carbono no solo (KANOWSKI; CATTERALL, 2010). Estudando componente arbustivo-arbóreo de um fragmento de Caatinga em regeneração de 30 anos, Pereira Junior *et al.* (2016) estimaram um total de carbono total estocado em torno de 19,27 Mg ha<sup>-1</sup>.

Para calcular o estoque de carbono e também para elaborar projetos de sequestro de carbono é necessário conhecer os teores de carbono dos diferentes ecossistemas de forma precisa (SAMPAIO; COSTA, 2011; VIEIRA *et al.*, 2009). É normalmente adotado um valor fixo, no qual se considera que o teor de carbono seja 50% da fitomassa (IPCC, 2003). Esta generalização pode produzir erros graves nas estimativas (KOEHLER; WATZLAWICK; KIRCHNER, 2002). Na Caatinga existem poucas informações sobre teores de carbono das plantas (SAMPAIO; COSTA, 2011). Estudando diferentes compartimentos de algumas espécies da Caatinga, Viera *et al.* (2009) observaram um teor médio de carbono de cerca de 45%. Com

a utilização de teores médios de carbono ou teores específicos para determinadas espécies é possível converter as estimativas de biomassa para seus equivalentes de estoque de carbono (JENKINS *et al.*, 2011)

O aumento dos estoques de carbono florestal, juntamente com a redução das emissões de CO<sub>2</sub> provindas do desmatamento e da degradação florestal, a conservação florestal, e o manejo florestal sustentável são vitais para os esforços globais de combate às mudanças climáticas (FAO, 2016). A regeneração natural de florestas secundárias, juntamente com o desmatamento evitado e o manejo florestal sustentável são alternativas que possuem um alto potencial de seqüestro de carbono com múltiplos benefícios para a biodiversidade e serviços ecossistêmicos (CHAZDON *et al.*, 2016). Na Caatinga, a substituição da vegetação nativa por agricultura e pastagem, utilizando-se corte e queima, tem causado uma grande degradação ambiental, diminuindo os estoques de carbono e contribuindo para o aumento das emissões de gases de efeito estufa (LEITE; PETRESE; SAGRILO, 2010). Entretanto, com a substituição dessas práticas agressivas ao ambiente por prática conservacionistas e práticas de manejo sustentáveis, e com o aumento das áreas de conservação da vegetação nativa deverá ser possível aumentar a produção da biomassa, incrementando assim os estoques de carbono. Existe portanto um potencial para redução de emissão de CO<sub>2</sub> e para o aumento do sequestro de carbono na Caatinga. Segundo Sampaio e Costa (2011) há potencial para venda de créditos de carbono nas áreas de vegetação nativa em regeneração que ainda não está sendo aproveitado (SAMPAIO; COSTA, 2011).

### **Dinâmica de desenvolvimento das raízes finas**

Entender como as raízes se desenvolvem é importante para a compreensão da fisiologia das plantas, pois as raízes são responsáveis pela sustentação das plantas, são meio para absorção de água e de nutrientes, e podem também apresentar em condições desfavoráveis mecanismos de proteção das plantas (FREITAS; BARROSO; DE ARAÚJO CARNEIRO, 2008). As raízes finas do sistema radicular são fundamentais na fisiologia das plantas, sendo a principal via para a absorção da água e nutrientes que estão disponíveis no solo (JACKSON; MOONEY; SCHULZE, 1997; LUKAC, 2012). A dinâmica de desenvolvimento das raízes finas pode contribuir no ciclo biogeoquímico dos ecossistemas, inclusive na produção e emissão de gases do efeito estufa (SILVER *et al.*, 2005).

O desenvolvimento das raízes pode ser influenciado por fatores variados, cujos efeitos são difíceis de serem avaliados de forma isolada, tornando os estudos nesta área muito



difíceis e complexos, em função das dificuldades operacionais e dos custos envolvidos (FREITAS; BARROSO; DE ARAÚJO CARNEIRO, 2008). A forma como as raízes finas se distribuem nos solos pode ser influenciada por diversos fatores bióticos e abióticos, como o controle genético (WITSCHORECK; SCHUMACHER; CALDEIRA, 2003), a densidade e textura do solo (SCHENK, 2005), os nutrientes disponíveis no meio e a distribuição da água ao longo do perfil do solo (ESPELETA; CLARK, 2007), a diferença de umidade dos sítios (ACHAT; BAKKER; TRICHET, 2008), a profundidade de infiltração da água e a demanda por evaporação (SCHENK; JACKSON, 2005).

Com o estudo da distribuição das raízes no solo de uma comunidade vegetal é possível conhecer o potencial de absorção de água e dos nutrientes nas diferentes profundidades do solo, e também entender as estratégias que suas espécies vegetais utilizam para potencializar o processo de absorção (SILVA, 2002). Além disto, conhecer a distribuição das raízes no solo é indispensável para que se possa modelar os fluxos de água, nutrientes e carbono nas comunidades de plantas (FEDDES *et al.*, 2001).

No estudo do desenvolvimento das raízes vem sendo normalmente utilizadas técnicas destrutivas de solos e raízes, as quais podem ser realizadas com o uso de trado, anel volumétrico (*soil core*), monólito, núcleos de crescimento interior (*ingrowth cores*), escavação do sistema radicular e abertura de trincheiras (VOGT *et al.*, 1998; BRASIL; ZONTA; OLIVEIRA, 2007). O método *ingrowth core* pode ser utilizado para obter estimativas de crescimento relativo e para observar os efeitos de manipulações experimentais na produção de raízes, tendo como vantagens a simplicidade e o baixo custo (MAJDI *et al.*, 2005). Neste método, sacos de malha cilíndricos (núcleos) são inseridos no solo na zona das raízes e preenchidos com solo sem raízes, e após um período de tempo no qual as raízes podem crescer no solo dentro de sacos, os núcleos são puxados para fora e o comprimento da raiz pode ser determinado (STEINGROBE; SCHMID; CLAASSEN, 2000).

Há uma falta de conhecimento sobre a dinâmica de desenvolvimento das raízes na Caatinga, o que pode ser explicado pelo pequeno número de trabalhos científicos já realizados nesta área de estudo. Em trabalho realizado em uma área de Caatinga preservada, Pinheiro, Costa e Araújo (2013) observaram que a profundidade efetiva das raízes apresentou homogeneidade espacial dentro de cada caso estudado, variando de 0,60 m a 0,78 m em solos não restritivos e apresentando uma profundidade das raízes cerca de 10 cm menor na estação seca. Estudando a distribuição vertical das raízes no solo em áreas de caatinga densa e aberta, Albuquerque *et al.* (2015a) observou que a maior parte da biomassa radicular se concentra na camada superficial do solo de 0-40 cm, sendo formada principalmente por raízes finas.

Entretanto, foi observado um padrão diferente de distribuição vertical das raízes finas por Albuquerque *et al.* (2015b) em outra área de Caatinga, na qual houve uma maior alocação das raízes finas em camadas mais profundas. Esta maior alocação em camadas mais profundas ocorre em alguns solos da Caatinga que são arenosos e com baixa fertilidade (COSTA *et al.*, 2014).

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. O domínio morfoclimático semi-árido das Caatingas brasileiras. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 43, p. 1–39, 1974.
- ACHAT, D.L.; BAKKER, M.R.; TRICHET, P. Rooting patterns and fine root biomass of *Pinus pinaster* assessed by trench wall and core methods. **Journal of Forest Research**, [S.l.], v.13, n.03, p.165-175, 2008.
- AGUIAR, M. I. *et al.* Carbon sequestration and nutrient reserves under different land use systems. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 81-93, 2014.
- ALBUQUERQUE, E. R.G.M. *et al.* Root biomass under stem bases and at different distances from trees. **Journal of Arid Environments**, [S.l.], v. 116, p. 82-88, 2015a.
- ALBUQUERQUE, E.R.G.M. *et al.* Distribuição Vertical de Raízes em Áreas de Caatinga em Diferentes Tipos de Solo. *In: Simpósio de mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro*, 2015b, Petrolina. Experiências e oportunidades para o desenvolvimento. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015b. 1 CD-ROM.
- ALCOFORADO FILHO, F. G.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N. Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia arbórea em Caruaru, Pernambuco. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 17, p. 287-303, 2003.
- ALMEIDA, C. L. **Relações solo-planta-atmosfera em caatinga preservada: o caso da bacia experimental de aiuaba**. 2016. 128 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 149–153, 1981.
- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. O semiárido cearense e suas águas. *In: ANDRADE, E.M.; PEREIRA, O.J; DANTAS, F.E.R. O Semiárido e o manejo dos recursos naturais*. Fortaleza: Imprensa Universitária, p. 71-94, 2010.
- ANDRADE, E. M. *et al.* Uncertainties of the rainfall regime in a tropical semi-arid region: the case of the State of Ceará. **Revista Agroambiente On-line**, Boa Vista, v. 10, n. 2, p. 88-95, 2016.
- ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 3 jan. 2018.
- AQUINO, D.N. **Ciclagem de carbono e caracterização espectral em áreas de caatinga raleada e conservada**. 2015. 180 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- AQUINO, D. N. *et al.* Belowground Carbon and Nitrogen on a Thinned and Un-Thinned Seasonally Dry Tropical Forest. **American Journal of Plant Sciences**, [S.l.], v. 8, n. 09, p. 2083, 2017.

ARAÚJO, E. L. *et al.* Diversidade de herbáceas em microhabitats rochoso, plano e ciliar em uma área de caatinga, Caruaru, PE. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 19, p. 285-294, 2005.

BECKNELL, J. M.; KUCEK, L. K.; POWERS, J. S. Aboveground biomass in mature and secondary seasonally dry tropical forests: A literature review and global synthesis. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 276, p. 88-95, 2012.

BRASIL, F. C.; ZONTA, E.; OLIVEIRA, M. R. G. Métodos de amostragem e quantificação para estudos do sistema radicular em condições de campo - Uma revisão crítica. **Revista Ciência da Vida**, Seropédica, v. 27, p. 14-33, 2007.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer**. Roma, p. 55, 1997. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.htm>>. Acesso em: 1 abril. 2018.

CANDIOTTO, L. Z. P. Ecosistemas brasileiros: degradação e potencialidades. **RBPG - Revista Brasileira de Pós-Graduação**, Brasília, v. 13, n. 32, 2016

CARDOSO, D. J.; PARRON, L. M.; FRANCISCON, L. Carbono de biomassa em floresta nativa e sistemas florestais como indicador de serviços ambientais. *In*: PARRON, L.M. *et al.* **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. EMBRAPA, Brasília. 2015. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131969/1/Livro-Servicos-Ambientais-Embrapa.pdf>>. Acesso em: 3 jan. 2018.

CASTELLETTI, C. H. M. *et al.* Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. *In*: LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA J.M.C. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Editora da Universidade Federal de Pernambuco, 2003, p. 719-734.

CHAZDON, R. L. *et al.* Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. **Science advances**, [S.l.], v. 2, n. 5, p. 11, 2016.

CERUTTI, O. R. M. **La Bioenergía en México: Un Catalizador del Desarrollo Sustentable**. Mundiprensa - CONAFOR, México, D.F. 2006. Disponível em: <<http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/libro-blanco-bioenergia-2006.pdf>> Acesso em: 01 fev. 2018.

CORREIA, R. C. *et al.* P. A região semiárida brasileira. *In*: VOLTOLINI, T. V. **Produção de caprinos e ovinos no semiárido**. Embrapa Semiárido, 2011. p. 21-48.

COSTA, T. L. *et al.* Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. **Plant and soil**, Crawley, v. 378, n. 1-2, p. 113-123, 2014.

DIÉGUEZ-ARANDA, U. *et al.* **Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia**. Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia, v. 268, 2009.

ESPELETA, J. F.; CLARK, D. A. Multi-scale variation in fine-root biomass in a tropical rain forest: a seven-year study. **Ecological monographs**, Washington, v.77, n.03, p. 377-404, 2007.

FAO. **State of the world's forests 2016**. Forests and agriculture: land-use challenges and opportunities. Roma, 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/publications/sofo/2016/en/>>. Acesso em: 1 mar. 2018

FEDDES, R. A. et al. Modeling root water uptake in hydrological and climate models. **Bulletin of the American meteorological society**, Boston, v.82, n.12, p. 2797-2809, 2001.

FERNÁNDEZ, J. Energía de la biomasa. In: MARTÍNEZ-VAL, J.M. **La energía en sus claves**. Madrid, Fundación Iberdrola, 2004, p. 397-445.

FRACETTO, F. J. C. et al. Estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na Caatinga. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1545-1552, 2012.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; ARAÚJO CARNEIRO, J. G. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 133-142, 2008.

GAMARRA-ROJAS, C. F. L. et al. Espécies da caatinga no banco de dados do CNIP. In: SAMPAIO, E. V. S. B. **Vegetação e flora da Caatinga**. APNE/CNPI, 2002, p. 91-102.

GANDHI, D. S.; SUNDARAPANDIAN, S. Large-scale carbon stock assessment of woody vegetation in tropical dry deciduous forest of Sathanur reserve forest, Eastern Ghats, India. **Environmental monitoring and assessment**, Orono, v. 189, n. 4, p. 187, 2017.

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.; SAMPAIO, E. D. S.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília, DF:Serviço Florestal, 2010, p. 115-127.

GIONGO, V. et al. Carbono no Sistema Solo Planta no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 06, p. 1233–1253, 2011a.

GIONGO, V. et al. Soil organic carbon in the Brazilian semi-arid tropics. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, [S.l.], v. 5, p. 12–20, 2011b.

HIGA, R. C. V. et al. **Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 68 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 266).

HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação da losa tropical úmida de terra-firme da Amazonia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 28, n. 2, p. 153-166, 1998.

IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil: Primeira aproximação**. Rio de Janeiro, 2004. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas\\_e\\_Mapas/Mapas\\_Murais](ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais)>. Acesso em: 20 jan. 2018.

IPCC. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**, 2003. Disponível em: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_files/Chp3/Chp3\\_2\\_Forest\\_Land.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/Chp3/Chp3_2_Forest_Land.pdf). Acesso em: 01 jan. 2018.

JACKSON, R. B.; MOONEY, H. A.; SCHULZE, E. D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [S.l.], v. 94, n. 14, p. 7362-7366, 1997.

JENKINS, T. A. R. *et al.* **FC Woodland Carbon Code: Carbon Assessment Protocol**. Forestry Commission, Edinburgh, 2011.

JIMÉNEZ, V. S. Análisis de las políticas medioambientales en la industria de la madera. *In*: MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R. **La biomasa forestal**. Gestión y viabilidad. 2010.

KANOWSKI, J.; CATTERALL, C. P. Carbon stocks in aboveground biomass of monoculture plantations, mixed species plantations and environmental restoration plantings in northeast Australia. **Ecological Management & Restoration**, Woodburn, v. 11, n. 2, p. 119-126, 2010.

KAUFFMAN, J. B.; HUGHES, R. F.; HEIDER, C. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the neotropics. **Ecological Applications**, [S.l.], v. 19, n. 5, p. 1211-1222, 2009.

KIILL, L. H. P. *et al.* **Preservação e uso da Caatinga. Petrolina-PE**: Embrapa Informação Tecnológica, 2007 (Cartilha). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/11949/2/00081410.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F. Fontes e níveis de erros nas estimativas do potencial de fixação de carbono. *In*: Sanquetta, C. R. *et al.* (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, p. 251-264, 2002.

LEITE, L. F. C.; PETRESE, V. G.; SAGRILO, E. Sequestro de carbono em solos da região Semiárida brasileira, estimado por modelo de simulação em diferentes sistemas produtivos. **In: Conferência internacional: clima, sustentabilidade e desenvolvimento em regiões semiáridas - ICID**. 2010. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/60095/1/Vanderlise-2010.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2018.

LIMA FILHO, J. M. P. Ecofisiologia de plantas da Caatinga. **Anais da XXVII Reunião Nordestina de Botânica**, p. 163-167, 2004. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/153084/1/OPB245.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2018.

LINDNER, M.; KARJALAINEN, T. Carbon inventory methods and carbon mitigation potentials of forests in Europe: a short review of recent progress. **Europe Journal Forest Research**, [S.l.], v. 126, p. 149-156, 2007.

LUKAC, M. Fine root turnover. *In*: MANCUSO, S. **Measuring Roots**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. Cap.18, p.363-373.

MAJDI, H. *et al.* Measuring fine root turnover in forest ecosystems. **Plant and soil**, [S.l.], v.

276, n. 1-2, p. 1-8, 2005.

MANHÃES, J. E. DAS N. Uso da biomassa florestal como fonte de energia. **Floresta e ambiente**, Seropédica, n. 1-3, p. 108, 1994.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caatinga**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>> Acesso em: 01 fev. 2018.

MORO, M.F. **Síntese florística e biogeográfica do Domínio Fitogeográfico da Caatinga**. 2013. 366 p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

MORO, M. F. *et al.* Phytogeographical Metaanalysis of the Semiarid Caatinga Domain in Brazil. **The Botanical Review**, [S.l.], p. 1-58, 2016. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s12229-016-9164-z>. Acesso em: 15 jan. 2018.

OLIVEIRA, C. M. **Biomassa, briquete, woodpellets**. 1. ed. Curitiba. 2015. 533 p.

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.; SAMPAIO, E. D. S.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília, DF: Serviço Florestal, p. 99-115, 2010.

PEREIRA, I. M. *et al.* Composição florística e análise fitossociológica do componente lenhoso de um remanescente de caatinga no Agreste Paraibano. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 16, p. 357- 369, 2002.

PEREIRA, O.J.; ANDRADE, E. M. Alternativas de convivência com o semiárido. *In*: ANDRADE, E.M.; PEREIRA, O.J; DANTAS, F.E.R. **O Semiárido e o manejo dos recursos naturais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, p. 71-94, 2010.

PEREIRA JUNIOR, J. S. **Nova delimitação do semiárido brasileiro**. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, Brasília, 2007.

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

PINHEIRO, E. A. R.; COSTA, C. A. G.; DE ARAÚJO, J. C. Effective root depth of the Caatinga biome. **Journal of Arid Environments**, [S.l.], v. 89, p. 1-4, 2013.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. *In*: LEAL, I. R.; *et al.* **Ecologia e conservação da Caatinga**. Editora Universitária da UFPE, 2003. p. 3-74.

REIS, A. M. S. *et al.* Inter-annual variations in the floristic and population structure of an herbaceous community of “caatinga” vegetation in Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 29, p. 497-508, 2006.

RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C. A questão energética. *In*: GARIGLIO, M. A. *et al.* **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 65-81.

RIOS, E. P.; THOMPSON, M. **Biomass Brasileiros**. São Paulo: Melhoramentos, 2013. 184 p.

RÜGNITZ, M. T.; CHACÓN, M. L.; PORRO, R. **Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales**. Manual técnico, v. 11, 2009. Disponível em: <<http://www.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/B16293.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2018.

SAMPAIO, E. *et al.* Tree biomass estimation in regenerating areas of tropical dry vegetation in northeast Brazil. **Forest ecology and management**, [S.l.], v. 259, n. 6, p. 1135-1140, 2010.

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

SAMPAIO, E. V. S. B. Características e potencialidades. *In*: GARIGLIO, M. A. *et al.* **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília, DF: Serviço Florestal, p. 115-127, 2010.

SAMPAIO, E. V. S. B.; COSTA, T. L. Estoques e fluxos de carbono no semi-árido nordestino: estimativas preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, p. 1275-91, 2011.

SAMPAIO, Y.; BATISTA, J.E.M. Desenvolvimento regional e pressões antrópicas no bioma Caatinga. *In*: SILVA, J. M. C *et al.* **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2004, p. 311-324.

SANQUETTA, C. R. *et al.* Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações de Araucária angustifolia e Pinus taeda no sul do Estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v. 1, n. 3, 2003.

SÄRKINEN, T. *et al.* Forgotten forests-issues and prospects in biome mapping using Seasonally Dry Tropical Forests as a case study. **BMC ecology**, [S.l.], v.11, n.01, p.1-15, 2011.

SCHENK, H.J. Vertical vegetation structure below ground: scaling from root to globe. *In*: Progress in Botany. **Progress in Botany**, [S.l.], v.66, p.341-373, 2005.

SCHENK, H. J.; JACKSON, R. B. Mapping the global distribution of deep roots in relation to climate and soil characteristics. **Geoderma**, [S.l.], v.126, n.01, p.129-140, 2005.

SILVA, J. M. S. **Estrutura dos sistemas radicais e dinâmica da água no solo numa comunidade arbustiva da Tapada Nacional de Mafra**. 2002.137 p. 137. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. 2002.

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

SILVEIRA, P. *et al.* O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, 2008.



SILVER, W.L. *et al.* Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils. **Global Change Biology**, [S.l.], v.11, n.02, p.290-306, 2005.

SOUZA, B. C. **Diversidade, biomassa aérea e estimativa do estoque de carbono em plantas da caatinga em um remanescente serrano no trópico semiárido.** 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba. 53p. 2009.

STEINGROBE, B.; SCHMID, H.; CLAASSEN, N. The use of the ingrowth core method for measuring root production of arable crops - influence of soil conditions inside the ingrowth core on root growth. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, [S.l.], v. 163, p. 617-622, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** Porto Alegre: Artmed, 2013.

TIESSEN, H. *et al.* Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forest. **Climatic change**, [S.l.], v. 40, n. 1, p. 105-117, 1998.

VELLOSO, A. L. *et al.* **Ecorregiões propostas para o bioma caatinga.** Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental, 2002.

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

VOGT, K. A.; VOGT, D. J.; JANINE BLOOMFIELD. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forest at in ecosystem level. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 200, p. 71-89, 1998.

WATSON, R. T. *et al.* **Land use, land-use change, and forestry.** Cambridge: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000.

WATZLAWICK, L. F. *et al.* Ecuaciones de biomasa aérea en plantaciones de Araucaria angustifolia en el sur del estado de Paraná, Brasil. *In: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de Carbono en Ecosistemas Forestales.* Valdivia, Cl. 2001.

Disponível em:

<[http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio\\_carbono/41\\_Watzlawick.PDF](http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/41_Watzlawick.PDF)>. Acesso em: 02 fev. 2018.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em Eucalyptus urophylla ST Blake no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 177-183, 2003.

## 4 AÇÕES ANTRÓPICAS E AS ALTERAÇÕES NO ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO EM FLORESTA TROPICAL SECA

### RESUMO

Objetivou-se neste trabalho quantificar os estoques de biomassa e carbono em Floresta Tropical Seca (FTS) e suas alterações após a mudança de uso e cobertura da terra. Para isto, foram estudados quatro usos da terra: caatinga densa (CD), caatinga aberta (CA), agricultura (AG) e pastagem (PA), em duas classes de solos (Neossolos e Luvisolos), em três sítios de FTS, Ceará, Brasil. Também foi analisada a distribuição vertical do sistema radicular e determinada a razão raiz:parte aérea das biomassas. O levantamento das espécies lenhosas foi realizado em parcelas de 20 x 20 m para estimativa da biomassa e em parcelas circulares com raios de 3, 4 e 5 m (no centro das parcelas de 20 x 20 m) para determinação da razão raiz:parte aérea. Os levantamentos do estrato herbáceo e serapilheira foram realizados em subparcelas de 1 x 1m inseridas no centro da parcela de 20 x 20 m. O levantamento da biomassa radicular foi realizado em trincheiras de 0,7 x 0,7 m no centro da subparcela de 1 x 1 m. O material vegetal foi seco em estufa e pesado, sub-amostras foram realizadas para determinação dos teores de carbono. Os dados de biomassa e carbono foram submetidos aos testes U de Mann-Whitney a 5% de significância (2 amostras) e H de Kruskal-Wallis a 5% de significância (> 2 amostras). A biomassa total nas áreas de CD, CA, AG e PA foi de 72,90; 38,20; 0,40 e 2,60 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, e o respectivo estoque de carbono total foi de 31,55; 16,67; 0,17 e 1,06 Mg ha<sup>-1</sup>. O compartimento arbustivo-arbóreo apresentou a maior quantidade de biomassa e estoque de carbono. As relações entre as biomassas radiculares e aéreas apresentaram diferentes resultados para as coberturas da terra e para as classes de solo estudadas. A biomassa radicular foi significativamente inferior ( $p < 0,05$ ) a biomassa aérea total nas áreas de vegetação nativa, enquanto a pastagem não diferiu ao nível de 5%. As áreas de vegetação nativa apresentaram os maiores estoques de biomassa e carbono, o que está relacionado a sua sinúsia arbustiva e arbórea que podem alcançar um maior porte. Enquanto as áreas de AG e PA apresentaram pequena capacidade de estoque de biomassa e carbono devido uma vegetação de pequeno porte, indicando que as alterações de áreas com vegetação nativa para usos agropecuários resultam em um grande impacto no estoque de biomassa e carbono na FTS.

**Palavras-chave:** Caatinga, Semiárido, Sistema radicular.

## ABSTRACT

The objective of this work was to compare the plant biomass, analyze the vertical distribution of the root system and determine the root ratio: aerial part of biomass and carbon stock in four land uses: caatinga densa (CD), open caatinga (CA), (AG) and pasture (PA), in two classes of soils (Entisols and Alfisols), in three sites located in FTS, Ceará, Brazil. The herbaceous and litter layer surveys were carried out in 1 x 1m subplots, the survey of the woody species was carried out in circular plots with rays of 3, 4 and 5 m to determine the root:shoot ratio, and in plots of 20 x 20 m for biomass estimation. The root biomass survey was performed in 0.7 x 0.7 m trenches inserted in the 1 x 1 m subplot. Plant material was oven dried and weighed, sub-samples were taken for determination of carbon contents. Biomass and carbon data were submitted to Mann-Whitney U tests at 5% significance (2 samples) and Kruskal-Wallis H at 5% significance (> 2 samples). The total biomass in the areas of CD, CA, AG and PA was 72.90; 30,20; 5.70 and 2.60 Mg ha<sup>-1</sup>, respectively, and the respective total carbon stock was 31.44; 16.67; 2.50 and 1.06 Mg ha<sup>-1</sup>. The shrub-tree compartment presented the highest amount of biomass and carbon stock. The relationships between the root and aerial biomasses presented different results for land uses and for the soil classes studied. Root biomass was significantly lower ( $p < 0.05$ ) than total aerial biomass in native vegetation areas, while pasture did not differ at the 5% level. areas of native vegetation presented the largest stocks of biomass and carbon, which is related to their shrub and tree sinus that can reach a larger size. While the areas of AG and PA presented small capacity of biomass and carbon stock due to small vegetation, indicating that the changes of areas with native vegetation for agricultural uses results in a great impact on the biomass and carbon stock in the FTS.

**Keywords:** Caatinga, Semiárid, Root System

## Introdução

As Florestas Tropicais Secas pertencem ao mesmo bioma disjunto (PENNINGTON; PRADO; PENDRY, 2000), sendo caracterizadas por uma sazonalidade acentuada das chuvas, o que resulta em uma estação seca bem definida (MURPHY e LUGO, 1986). A maior área contínua das Florestas Tropicais Secas na América do Sul ocorre no Domínio Biogeográfico da Caatinga no Nordeste do Brasil (SÄRKINEN *et al.*, 2011). A Floresta Tropical Seca (FTS-Caatinga) é submetida a diferentes atividades antrópicas, sendo estimado que aproximadamente 45% de sua área total já se encontra alterada (CASTELLETTI *et al.*, 2003). As principais atividades responsáveis por essa alteração são o consumo de lenha, o sobrepastejo e a conversão para agricultura e pastagens, o que resulta em grandes áreas desmatadas (MMA, 2012).

Essas alterações na FTS-Caatinga geram grandes impactos negativos na região semiárida brasileira, resultando em perda de biodiversidade (SILVA; SANTOS; TABARELLI, 2003; DRUMOND *et al.*, 2010), degradação dos solos (TRAVASSOS; SOUZA, 2011; SOUZA; ARTIGAS; LIMA, 2015), modificações nos comportamentos hidrológicos (ALBUQUERQUE; LOMBARDI; SRINIVASAN, 2001) e também contribuem para a liberação de gases do efeito estufa (MATA *et al.*, 2015). Devido à gravidade desses impactos é primordial estudar e caracterizar os diferentes usos da terra na FTS-Caatinga, quantificando a grandeza dos impactos gerados pela substituição da vegetação nativa por usos alternativos do solo como agricultura e pastagem.

Os estudos que quantificam a biomassa vegetal auxiliam na compreensão do funcionamento dos ecossistemas, permitem avaliar as possibilidades energéticas e industriais, permitem detectar o potencial dos sistemas florestais para armazenar ou sequestrar o CO<sub>2</sub> da atmosfera, entre outras importantes contribuições (SILVEIRA *et al.*, 2008; DIÉGUEZ-ARANDA *et al.*, 2009). Nos últimos anos, investigações vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de estimar a biomassa e o estoque de carbono nas Florestas Tropicais Secas (PEREIRA JUNIOR *et al.*, 2016; SOLOMON *et al.*, 2017; CORONA-NÚÑEZ; CAMPO; WILLIAMS, 2018); determinar a distribuição da biomassa radicular nos solos (PINHEIRO *et al.*, 2013; ALMEIDA, 2016, AQUINO *et al.*, 2017), bem como, determinar a razão entre a biomassa aérea e a biomassa radicular (MOKANY *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2014; ALBUQUERQUE *et al.*, 2015).

Entretanto, a maioria destes estudos se restringem apenas as áreas de vegetação nativa, sendo escassos os trabalhos que avaliam estes atributos em diferentes usos da terra na

FTS. Com base nisto e considerando a necessidade de obtenção de resultados que possam vir a abastecer bancos de dados sobre produção de biomassa e estoque de carbono em Floresta Tropical Seca, desenvolveu-se este trabalho objetivando: a) quantificar o estoque de biomassa vegetal e carbono; b) determinar a razão raiz:parte aérea das biomassas; c) determinar o melhor tamanho da amostra para verificação da razão raiz:parte aérea das biomassas; d) analisar a distribuição vertical da biomassa radicular no solo; e) determinar a proporção de raízes finas e grossas em diferentes usos da terra na Floresta Tropical Seca.

## **Material e Métodos**

Este estudo foi desenvolvido em três sítios - Pentecoste, Quixadá e Piquet Carneiro (Figura 1), em duas classes de solos (Neossolos Litólicos e Luvisolos). Em cada um dos sítios foram selecionadas para cada classe de solo quatro áreas representativas dos seguintes tipos de uso da terra: caatinga densa (CD), caatinga aberta (CA), agricultura (AG) e pastagem (PA).

### ***Caracterização da área de estudo***

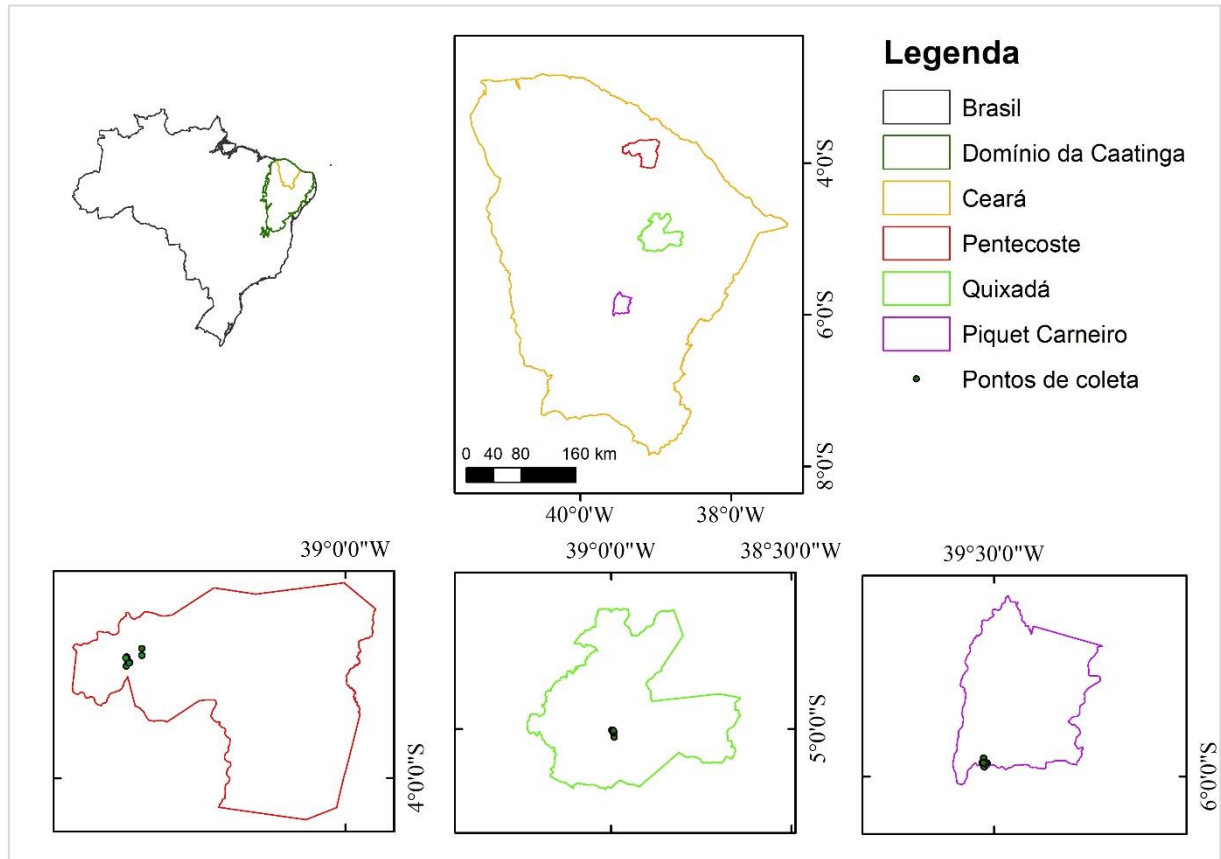
As três áreas de estudo (Figura 1) estão localizadas na Depressão Sertaneja. Segundo a classificação de Köppen, o clima nas áreas é semiárido quente (BS), apresentando temperaturas médias anuais em torno de 26,5 °C. As chuvas ocorrem com grande irregularidade temporal e espacial, e são concentradas de janeiro a maio. As pluviosidades médias anuais nos sítios de coleta são de 760 mm (Pentecoste), 725 mm (Piquet Carneiro) e 765 mm (Quixadá).

A escolha dos Neossolos e Luvisolos decorre destes solos estarem entre os predominantes na Caatinga, principalmente na Depressão Sertaneja (DE ARAUJO FILHO, 2011). Os Neossolos também são os de maior ocorrência no estado do Ceará, se estendendo por cerca de 53.525,5 km<sup>2</sup>, o que representa cerca de 36% da área do estado, enquanto os Luvisolos apresentam a terceira maior extensão (24.885,6 km<sup>2</sup>), o que representa 16,72% da área total do Ceará (IPECE, 2017). Os Neossolos Litólicos são pouco desenvolvidos e rasos (Tabela 5 – Apêndice A), enquanto os Luvisolos são pouco a medianamente profundos com textura argilosa.

Segundo classificação proposta por Moro *et al.* (2015), a cobertura vegetal encontrada na região é composta pelas seguintes unidades fitoecológicas: Caatinga do cristalino, com fragmentos de porte arbóreo, arbustivo denso e arbustivo aberto. Os tipos de uso e ocupação do solo estudados foram: caatinga densa (CD), caatinga aberta (CA), pastagem (PA)

e agricultura (AG).

Figura 1- Localização da área de estudo



Fonte: elaborada pelo autor.

### *Caatinga Densa*

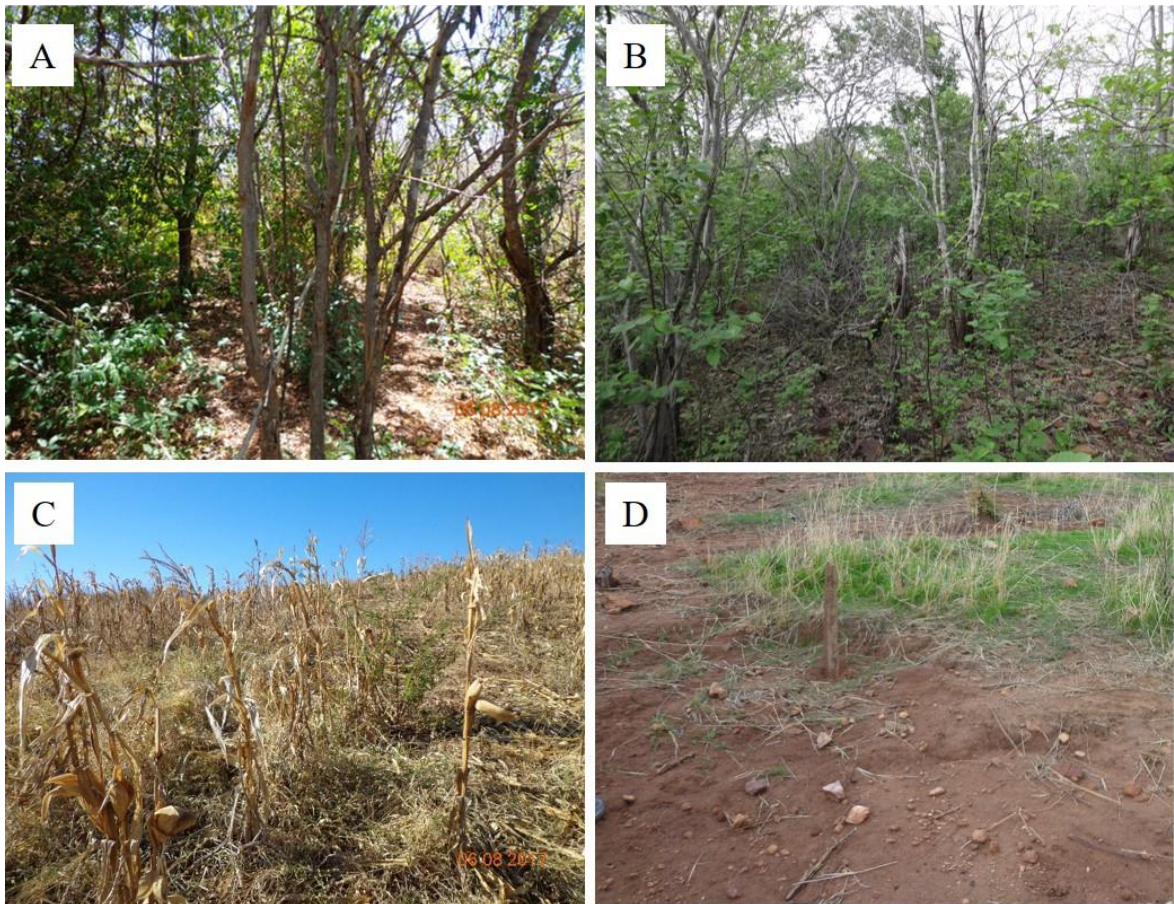
Os fragmentos de caatinga densa foram compostos por áreas com vegetação natural em regeneração há mais de 30 anos. Estes fragmentos apresentam um porte arbóreo-arbustivo (Figura 2A). As espécies predominantes nestas áreas são: Marmeleiro (*Croton blanchetianus* Bail.), Sipaúba (*Combretum glaucocarpum* Mart), Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.), Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tui.) e Pau-branco (*Cordia oncocalyx* Allemão).

### *Caatinga aberta*

Os fragmentos de caatinga aberta estudados possuem uma vegetação natural em regeneração entre 10-15 anos. A vegetação arbórea/arbustiva é composta por indivíduos de porte médio e pequeno (Figura 2B). As espécies predominantes nestas áreas são: Marmeleiro

(*Croton blanchetianus* Bail.), Jurema preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.), Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.), Mufumbo (*Combretum leprosum* Mart.) e Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tui.). As clareiras dentro deste fragmento se encontram ocupadas pelo estrato herbáceo.

Figura 2 - Tipos de usos da terra estudados neste trabalho: Caatinga densa (A), Caatinga aberta (B), Agricultura (C) e Pastagem (D)



Fonte: elaborada pelo autor.

### *Agricultura*

Nas áreas de cultivo (Figura 2C) é praticada agricultura de sequeiro, sendo cultivados Milho (*Zea mays*) e Feijão (*Phaseolus vulgaris*). O manejo do solo empregado nessas áreas é o convencional, com realização de gradagem. A área de agricultura em Neossolo no sítio localizado em Pentecoste apresenta uma cobertura de bagana de coco.

### *Pastagem*

As áreas de pastagem são utilizadas para ovinocultura e caprinocultura (Figura 2D). A vegetação nativa nestas áreas era de caatinga arbórea, porém foi realizado o corte raso e substituída por pastagem com gramíneas como capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) e capim-corrente (*Urochloa trichopus* Stapf.) para alimentação dos animais domésticos. Observa-se nestas áreas de pastagem a presença de rebrotas de Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* Willd.) e também a presença de dicotiledôneas herbáceas.

### *Seleção dos pontos amostrais*

Para reconhecimento das fitofisionomias nas áreas de vegetação nativa foi empregado o “Protocolo de Estimativa de Biomassa e Carbono para Caatinga” elaborado pelo grupo de pesquisa Rede de Carbono do Nordeste (JESUS *et al.*, 2016).

Para a seleção dos pontos amostrais foram, primeiramente, definidos polígonos das coberturas vegetais com a interpretação de imagens do satélite Quickbird (disponibilizados gratuitamente através do software Google Earth) considerando os elementos de reconhecimento (tom, cor e textura), e dentro de cada polígono foram localizados os pontos amostrais. Estes pontos selecionados foram posteriormente validados em campo com a análise visual das coberturas vegetais e confirmação do tipo de solo.

### *Estimativas da biomassa*

Em cada um dos sítios foram realizados levantamentos da vegetação para estimar as biomassas nas áreas de CD, CA, AG e PA, em Neossolos e Luvisolos totalizando 24 pontos amostrais. Nas áreas com Pastagem e Caatinga foram realizados os levantamentos da biomassa dos seguintes compartimentos: herbáceo, arbóreo-arbustivo e raízes. Nas áreas de agricultura foram realizados levantamentos somente da biomassa das raízes.

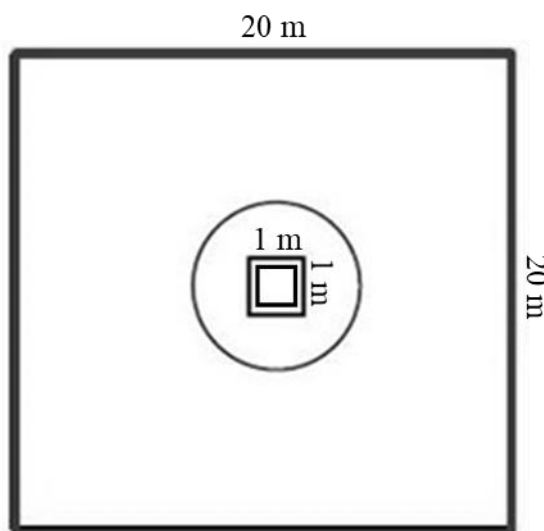
### *Biomassa do estrato herbáceo e serapilheira*

Em cada ponto amostral foi delimitada uma subparcela de 1 x 1m para realização da coleta do material herbáceo (gramíneas, herbáceas, cactáceas e todos os pequenos arbustos até o limite de inclusão de CNB<9cm) e da serapilheira (Figura 3). A coleta do estrato herbáceo foi



realizada utilizando tesoura de poda, cortando os indivíduos rentes ao solo. O referido material foi picotado e submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até atingir massa constante, e em seguida pesado em balança analítica com precisão 0,01g. Uma sub-amostra representativa do material coletado no sítio de Pentecoste em Neossolo foi enviada para laboratório do Departamento de Energia Nuclear, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, para determinação do teor de carbono.

Figura 3 – Parcela de 20 x 20 m para coleta da biomassa aérea dos arbustos e árvores, parcela circular para determinação da razão raiz:parte aérea, subparcelas de 1 x 1 m para coleta do estrato herbáceo e serapilheira, e trincheiras de 0,7 x 0,7 m para coleta da biomassa radicular



Fonte: elaborada pelo autor.

### *Biomassa das espécies lenhosas*

O levantamento da biomassa das espécies lenhosas (arbóreo-arbustivo) foi realizado em duas etapas. Na primeira, foi feito o levantamento fitossociológico em parcela circular com raio de 5m, tendo como objetivo relacionar a biomassa aérea com a biomassa subterrânea. E na segunda etapa, realizou-se o levantamento fitossociológico em parcela de 20 x 20 m, o qual teve como objetivo caracterizar a vegetação para cada situação classificada para fins de estimativa de biomassa e carbono. Na parcela circular de 5m foram identificadas as espécies e medidas a circunferência na base (CNB), circunferência na altura do peito (CAP), e a distância da árvore/arbusto até o centro da parcela. Foram incluídos todos os indivíduos com  $CNB \geq 9$  cm e  $CAP \geq 6$  cm. A biomassa de cada indivíduo foi estimada pelo método indireto alométrico, utilizando o DAP e aplicando-se a equação de potência desenvolvida por Sampaio

e Silva (2005) para espécies de Caatinga:

$$B = 0,173DAP^{2,295}$$

Em que:

B = Biomassa vegetal, em kg

DAP = Diâmetro à altura do peito (1,3 metros de altura), em cm.

Ao redor da parcela circular de 5 m foi estabelecida a parcela de 20 x 20 m (Figura 3). Com auxílio de uma trena e barbante a parcela foi demarcada, sendo fixados piquetes nos quatro cantos. Os indivíduos foram considerados quando a sua base estava localizada dentro da parcela, sendo identificadas as espécies e medidas a circunferência na base (CNB) e a circunferência na altura do peito (CAP) de cada indivíduo. Foram incluídos todos os indivíduos com CNB  $\geq$  9 cm e CAP  $\geq$  6 cm.

#### *Biomassa radicular*

No centro da parcela de 1 x 1m usada para realização da coleta do material herbáceo-arbustivo (Figura 3) foi aberta uma trincheira de 0,7 x 0,7 m, com profundidade de 1 m ou até a camada de impedimento para coleta da biomassa radicular. As coletas foram realizadas nas seguintes camadas: 00-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm, 80-100 cm. O solo de cada camada foi peneirado em tamis com malha de 4 mm e todas as raízes e outras estruturas vegetais subterrâneas retidas na peneira foram coletadas manualmente. A totalidade das raízes foi armazenada em sacos plásticos com identificação, e borrifadas álcool 70% para inibir a atividade microbiana.

Após a coleta, as raízes foram levadas para ao laboratório, onde foram separadas em duas classes de diâmetro (raízes  $\leq$  5 mm e raízes  $>$  5 mm), empregando-se o paquímetro. Depois de separadas, as raízes foram secas em estufa a 65°C até manter peso constante, e em seguida determinada massa seca. Parte deste material foi moído e armazenado em recipiente hermeticamente fechado. Uma sub-amostra representativa do material coletado no sítio de Pentecoste em Neossolo foi enviada para laboratório no qual foi determinado o teor de carbono no analisador elementar CHNS-O.

As biomassas radiculares das vegetações de Caatinga densa e aberta tiveram seus valores acrescidos em 41% para incluir a biomassa radicular existente sob a base do caule das

árvores (ALBUQUERQUE *et al.*, 2015) que não são amostradas com a metodologia adotada.

### **Análise dos dados**

Os dados foram analisados, primeiramente, em relação às biomassas ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) e aos estoques de carbono total ( $\text{Mg ha}^{-1}$  de C) de cada compartimento levantado nos diferentes usos do solo. Foram analisados as seguintes variáveis: biomassa radicular (BR), biomassa aérea nos arbustos e árvores (BAA), biomassa aérea das herbáceas (BAH), biomassa aérea total (BAT), biomassa da serapilheira (BS), biomassa total (BT) e estoque de carbono nas raízes (ECR), estoque de carbono aéreo nos arbustos e árvores (ECA), estoque de carbono aéreo nas herbáceas (ECH) e estoque de carbono na serapilheira (ECS) e estoque de carbono total (ECT) nos seguintes compartimentos: radicular, arbustivo-arbóreo, serapilheira e herbáceas.

Para melhor compreensão dos padrões de estoque destas biomassas também foram analisadas a densidade de plantas (DP, plantas  $\text{ha}^{-1}$ ) e área basal (AB,  $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ) nas áreas de vegetação nativa. Os dados foram submetidos aos testes U de Mann-Whitney a 5% de significância (para comparações entre 2 amostras) e H de Kruskal-Wallis a 5% de significância (para comparações entre mais de 2 amostras). Os dados das biomassas radiculares foram submetidos à análise descritiva para comparação da distribuição das raízes nas camadas analisadas. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software SPSS, v.16.0.

## **Resultados e Discussão**

### **Biomassa**

A biomassa aérea dos arbustos e árvores (BAA) foi significativamente maior ( $p < 0,05$ ) na CD ( $55,45 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) em relação à CA ( $26,94 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (Tabela 1). A densidade de plantas (DP) não foi significativamente diferente entre a CD e CA, entretanto a CD apresentou um valor de área basal (AB) significativamente ( $p < 0,05$ ) superior ( $11,4 \text{ m}^2 \text{ha}^{-1}$ ) ao da CA. Este valor superior de AB está relacionado com ocorrência na CD de árvores e arbustos com maiores diâmetros, o que se deve ao maior tempo de regeneração desses fragmentos ( $> 30$  anos).

A faixa de variação da BAA foi de 37,92 a 93,05  $\text{Mg ha}^{-1}$  na CD e de 15,39 a 34,58  $\text{Mg ha}^{-1}$  na CA. Estes valores são superiores aos estimados por Costa *et al.* (2014) em estudo em áreas de FTS no Pernambuco (valores entre 32 a 73  $\text{Mg ha}^{-1}$  para a CD e entre 10 a 23  $\text{Mg ha}^{-1}$  na CA). O valor médio de BAA ( $55,45 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) na CD também foi superior aos valores

estimados por Pereira Junior *et al.* (2016) em área de FTS com 35 anos de regeneração. Entretanto, sabe-se que estes foram realizados em áreas com precipitações anuais semelhantes ao deste trabalho, e portanto, as diferenças no estoque de biomassa devem estar relacionadas a um menor tempo de regeneração.

Tabela 1 - Biomassa, densidade de plantas e área basal nos diferentes compartimentos e usos do solo na FTS no Ceará.

Variável	Unidade	Usos do solo			
		CD	CA	AG	PA
BAA		55,4±19,5 Aa	26,9±8,1 Ba	-	-
BR		11,4±5,9 Aab	6,5±4,6 ABab	0,4±0,2C	1,3±1,2 BCa
BS	Mg ha <sup>-1</sup>	5,1±2,8 Ab	3,6±1,4 Aab	-	-
BAH		1,1±1,5 Ab	1,3±1,4 Ab	ND*	1,2±0,5 Aa
BT		72,9±22,1 A	38,2±4,8 AB	0,4±0,2C	2,6±1,4 BC
DP	Plantas ha <sup>-1</sup>	2088±637 A	1821±792 A	-	-
AB	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	11,4±3,6 A	6,3±1,7 B	-	-

Fonte: dados da pesquisa.

Legenda: BAA - biomassa aérea nos arbustos e árvores, BR - biomassa radicular, BS - biomassa da serapilheira, BAH - biomassa aérea das herbáceas, BT - biomassa total, DP - densidade de plantas, AB - área basal, ND\* - não determinado devido ausência de biomassa aérea das herbáceas na agricultura na época das coletas. Letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os diferentes usos do solo dentro do mesmo compartimento e letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os compartimentos dentro do mesmo tipo de uso de solo. Foram utilizados os testes U de Mann-Whitney a 5% de significância (para comparações entre 2 amostras) e H de Kruskal-Wallis a 5% de significância (para comparações entre mais de 2 amostras).

As áreas de FTS apresentam grandes variações no estoque de biomassa aérea dos arbustos e árvores, estando estas relacionadas ao porte e a densidade de indivíduos da vegetação (NASCIMENTO, 2015). A biomassa nas FTS no nordeste brasileiro varia em torno de 5-10 Mg ha<sup>-1</sup> em áreas mais abertas e de 50-100 Mg ha<sup>-1</sup> em formações florestais fechadas (TIESSSEN *et al.*, 1998). O valor médio estimado de BAA nas áreas de CD (55,45 Mg ha<sup>-1</sup>) ficou próximo ao limite inferior do intervalo proposto por Tiessen *et al.* (1998) para formações florestais fechadas de FTS, o que sugere um potencial de acúmulo significativo de biomassa. Apesar de serem áreas que estão há mais de 30 anos em regeneração, ainda apresentam a dominância da espécie pioneira Marmeleiro (*Croton blanchetianus* Bail.) e predominância de indivíduos com diâmetros reduzidos (DNB médio=6,4 cm). Estas características identificam que a região possivelmente esteja ainda num estágio médio de sucessão ecológica. As áreas de CA, que

apresentaram valores significativamente ( $p < 0,05$ ) inferiores de BAA ( $26,94 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), também apresentam predominância da espécie pioneira Marmeleiro (*Croton blanchetianus* Bail.) e de indivíduos com diâmetros reduzidos (DNB médio= $5,5 \text{ cm}$ ) o que indica que estes fragmentos se encontram em estágio inicial de sucessão ecológica.

Os valores médios de DP encontrados na CD ( $2088 \text{ plantas ha}^{-1}$ ) e na CA ( $1821 \text{ plantas ha}^{-1}$ ) (Tabela 1) são semelhantes aos estimados por Rodal, Martins e Sampaio (2008) em áreas de FTS com vegetação de porte arbustivo-arbórea em Pernambuco. Entretanto, os valores de AB foram inferiores aos estimados pelos autores supra citados. Estas diferenças encontradas nos atributos quantitativos entre as áreas de FTS podem estar relacionadas às diferentes disponibilidades hídricas nos ambientes, às diferenças de manejo das áreas, bem como às diferenças entre estágios de sucessão (MADEIRA *et al.*, 2009; ALCOFORADO-FILHO *et al.*, 2003; COSTA *et al.*, 2014).

A BAH não apresentou diferença significativa (Tabela 1) entre os usos da terra (CD, CA e PA). A predominância do estoque de biomassa na vegetação arbórea-arbustiva se deve ao maior porte das plantas lenhosas em relação as plantas herbáceas. A biomassa das herbáceas na FTS são influenciadas principalmente pela cobertura do solo por plantas lenhosas e pela estação (PEREIRA FILHO *et al.*, 2013). As áreas mais abertas, como as submetidas ao raleamento da vegetação arbórea-arbustiva, possuem uma menor densidade de plantas (PIMENTEL, 2010). Com isto, ocorre uma menor competição por água, nutrientes e luz, o que melhora o processo de colonização das herbáceas (SAVADOGO *et al.*, 2008). Em geral, as espécies herbáceas completam o ciclo de vida durante o período chuvoso (MACHADO; LOPES, 2003).

Considerando a BAH e a BAA, nas áreas de vegetação nativa, a biomassa aérea total (BAT) foi de  $56,51 \text{ Mg ha}^{-1}$  (CD),  $28,20 \text{ Mg ha}^{-1}$  (CA). Diferentes pesquisadores encontraram estoque da BAT em FTS variando de  $28\text{-}390 \text{ Mg ha}^{-1}$  (JARAMILLO *et al.*, 2011; MARTÍNEZ-YRÍZAR, 1995). Entretanto, esta grande amplitude nos valores de BAT se deve a inclusão de estimativas de FTS em diferentes estágios de sucessão, como também de fragmentos de FTS em planícies de inundação (BECKNELL; KUČEK; POWERS, 2012). Em uma FTS com características semelhantes as áreas de CD deste trabalho, Pereira Junior *et al.* (2016) quantificaram um estoque médio da BAT de  $44,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  e um estoque de  $46,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  foi determinado em uma FTS na Etiópia com cobertura arbórea de mais de 60% por Solomon *et al.* (2017).

Estudos apontam que a precipitação média anual é o fator que limita a produção de biomassa alcançada em FTS (MARTÍNEZ-YRÍZAR, 1995; BECKNELL; KUČEK; POWERS, 2012). Entretanto, outros fatores como o tipo de solo, disponibilidade de nutrientes, composição

florística e histórico de uso da terra influenciam no estoque de BAT (POWERS *et al.*, 2009).

O uso de solo que apresentou a maior biomassa radicular (BR) foi a CD (11,37 Mg ha<sup>-1</sup>), sendo significativamente superior à da AG (0,36 Mg ha<sup>-1</sup>) e da PA (1,33 Mg ha<sup>-1</sup>) entretanto não diferiu estatisticamente da CA (6,47 Mg ha<sup>-1</sup>). Estes valores médios observados nas áreas de vegetação nativa foram semelhantes aos estimados por Costa *et al.* (2014) para fragmentos de CD e CA em FTS no estado de Pernambuco. Trabalhos desenvolvidos em FTS em regeneração há 35 anos nordeste brasileiro (PEREIRA JUNIOR *et al.*, 2016) e Solomon *et al.* (2017) em uma FTS na Etiópia encontraram um estoque de BR e PA similar aos valores médios dos sítios investigados.

Os valores mais elevados de BR nas áreas de vegetação nativa estão relacionados com a presença de vegetação arbórea e arbustiva, que apresentam um porte maior do que as herbáceas e gramíneas encontradas na PA e AG, e conseqüentemente uma maior biomassa (KAUFFMAN; HUGHES; HEIDER, 2009; SOLOMON *et al.*, 2017). Observa-se uma maior BR na PA em reação a AG, o que pode ser explicado pela maior densidade de gramíneas e herbáceas que contribuem para uma maior quantidade raízes finas, como também pela presença de regeneração de Jurema-preta, o que ocasiona uma maior produção de raízes grossas do que na AG.

A biomassa da serapilheira (BS) não diferiu estatisticamente ( $\rho < 0,05$ ) entre a CD (5,07 Mg ha<sup>-1</sup>) e CA (3,56 Mg ha<sup>-1</sup>). Em relação aos outros compartimentos dentro de cada uso da terra, a BS foi significativamente ( $\rho < 0,05$ ) inferior apenas da BAA na CD. Estes valores médios de BS foram semelhantes aos observados em outros trabalhos na FTS (COSTA *et al.*, 2014; PEREIRA JUNIOR *et al.*, 2016).

Comparando os compartimentos dentro de cada uso do solo, observa-se que nas áreas de vegetação nativa, a BAA é o compartimento que aloca maior quantidade de biomassa em relação a BT (76% e 70% na CD e CA, respectivamente). Na CD, o BAA foi significativamente superior a BS e BAH, não diferindo estatisticamente da BR. Já na CA, a BAA diferiu estatisticamente apenas da BAH. Portanto, pode-se observar que nas áreas com menor tempo de regeneração, há uma melhor distribuição do estoque de biomassa nos diferentes compartimentos (Tabela 1). Enquanto, nas áreas com maior tempo de regeneração, a biomassa vegetal encontra-se mais concentrada no compartimento arbóreo-arbustivo.

O sistema radicular é o compartimento que aloca a segunda maior quantidade de biomassa em relação a BT (16% e 17% na CD e CA, respectivamente). Na PA, os valores de BR e BAH não diferiram estatisticamente ( $\rho < 0,05$ ). Já na AG, o valor de BT é composto apenas pela BR, visto que não foram feitas coletas de biomassa aérea nesse uso da terra. Isto

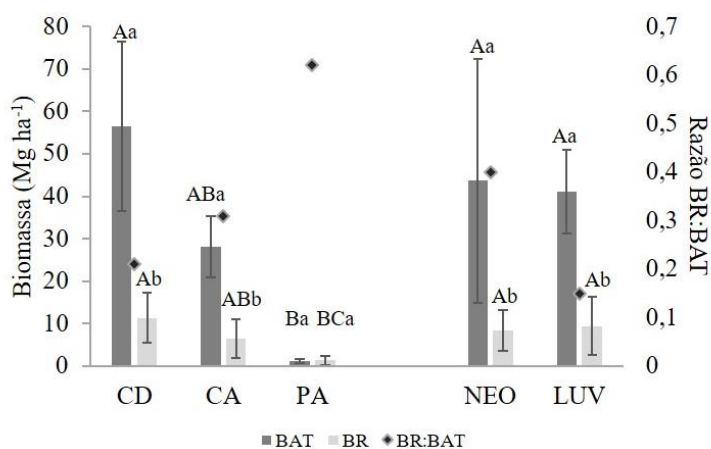
porque a maioria das coletas foram realizadas fora da época de produção agrícola.

Somando as biomassas de todos os compartimentos, observa-se que as áreas de vegetação nativa apresentaram os maiores estoques de BT (CD = 72,9 Mg ha<sup>-1</sup> e CA= 38,2 Mg ha<sup>-1</sup>), enquanto os menores valores foram observados nas áreas de PA (2,6 Mg ha<sup>-1</sup>) e de AG (0,36 Mg ha<sup>-1</sup>). Portanto, se observou que os diferentes usos da terra em áreas de FTS apresentam uma grande amplitude no estoque total de biomassa (0,36-72,9 Mg ha<sup>-1</sup>) o que se deve a grande capacidade de estoque nas áreas de vegetação nativa e a pequena capacidade de estoque nas áreas que foram alteradas para uso agropecuário. Este maior estoque está relacionado com a sinúsia arbustiva e arbórea encontrada nas áreas de vegetação nativa, que podem alcançar um maior porte, portanto possuem um maior potencial de estoque de biomassa principalmente em seus troncos, galhos e raízes.

#### ***Biomassa radicular (BR) x biomassa aérea total (BAT)***

As relações entre a biomassa radicular (BR) e a biomassa aérea total (BAT) apresentaram diferentes resultados para os usos da terra e também para as classes de solo estudadas. A BR foi significativamente inferior a BAT (Figura 4) nas áreas de vegetação nativa (CD e CA) para as duas classes de solo (Neossolo e Luvisolo), enquanto que a pastagem não apresentou diferença estatística ( $p < 0,05$ ).

Figura 4 – Biomassa aérea total (BAT), biomassa radicular (BR) e razão BR:BAT em diferentes usos da terra (CD, CA e PA) e classes de solo (Neossolos e Luvisolos)



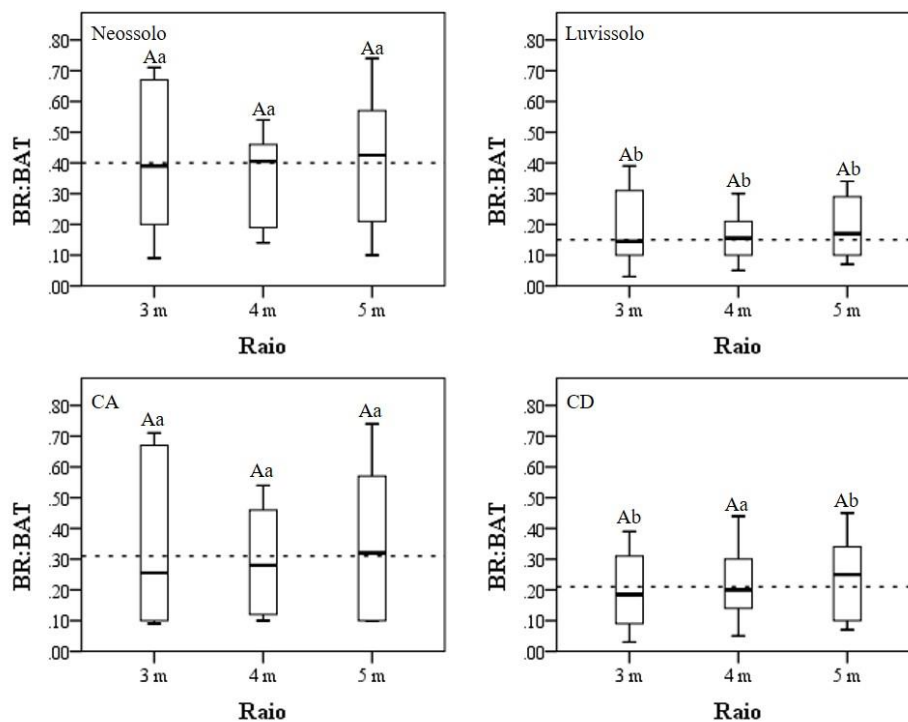
Fonte: elaborada pelo autor.

Letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os diferentes usos do solo dentro do mesmo compartimento e letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os compartimentos dentro do mesmo tipo de uso de solo pelo teste U de Mann-Whitney a 5% de significância

Os valores encontrados indicam razões BR:BAT de 0,31 (CA), 0,21 (CD), 0,62 (PA), 0,15 (LUV) e 0,40 (NEO) (Figura 4). As áreas de CA apresentaram um investimento proporcionalmente maior em BR em relação as áreas de CD (Figura 4). O que está de acordo com as análises de Mokany *et al.* (2006), nas quais se observou a redução das razões BR:BAT à medida que aumentou a BAT em áreas de florestas, arbustos e pastagens. Isto pode ser explicado pela maior capacidade das árvores em estocar biomassa aérea, como nos troncos e galhos. O que faz com que o crescimento radicular não acompanhe o crescimento das partes aéreas.

As razões BR:BAT estimadas com diferentes tamanhos da parcela circular (3, 4 e 5 metros) não diferiram estatisticamente no Neossolo, Luvisolo, CD e CA (Figura 5). Portanto, as parcelas circulares de 3, 4 e 5 m de raio foram adequadas para estimar a biomassa aérea com objetivo de relacioná-la com a biomassa das raízes coletadas em trincheiras no centro da parcela circular. Baseado nestes resultados, recomenda-se a uso na metodologia da parcela circular com raio de 3 metros, visto que sua utilização resulta em menores custos e menor tempo na coleta.

Figura 5 - Razão BR:BAT da vegetação nativa de FTS em Neossolo, Luvisolo, Caatinga aberta e Caatinga densa para diferentes comprimentos de raio da parcela de coleta da BAT.



Legenda: BR – biomassa radicular, BAT – biomassa aérea total. A linha tracejada indica o valor mediano encontrado para os valores estimados com raios de 3,4 e 5 metros

As razões BR:BAT (parcelas com raio de 3, 4 e 5 m) foram significativamente ( $p <$



0,05) superiores no Neossolo em relação ao Luvisolo, havendo portanto, uma maior alocação de biomassa no sistema radicular nas áreas de Neossolo. Visto que estes são solos com menor profundidade e menos férteis, acredita-se que as plantas aloquem uma maior quantidade de biomassa no sistema radicular para garantir sua fixação no solo e também para maximizar a absorção de água e nutrientes.

Já nos Luvisolos que possuem menos impedimentos, as plantas necessitam de um menor investimento no sistema radicular. Estudos mostram que solos arenosos e com baixa fertilidade resultam em maiores investimentos da vegetação em estoque de biomassa radicular em relação aos solos mais argilosos e mais férteis (KENZO *et al.*, 2015).

### ***Distribuição vertical das raízes***

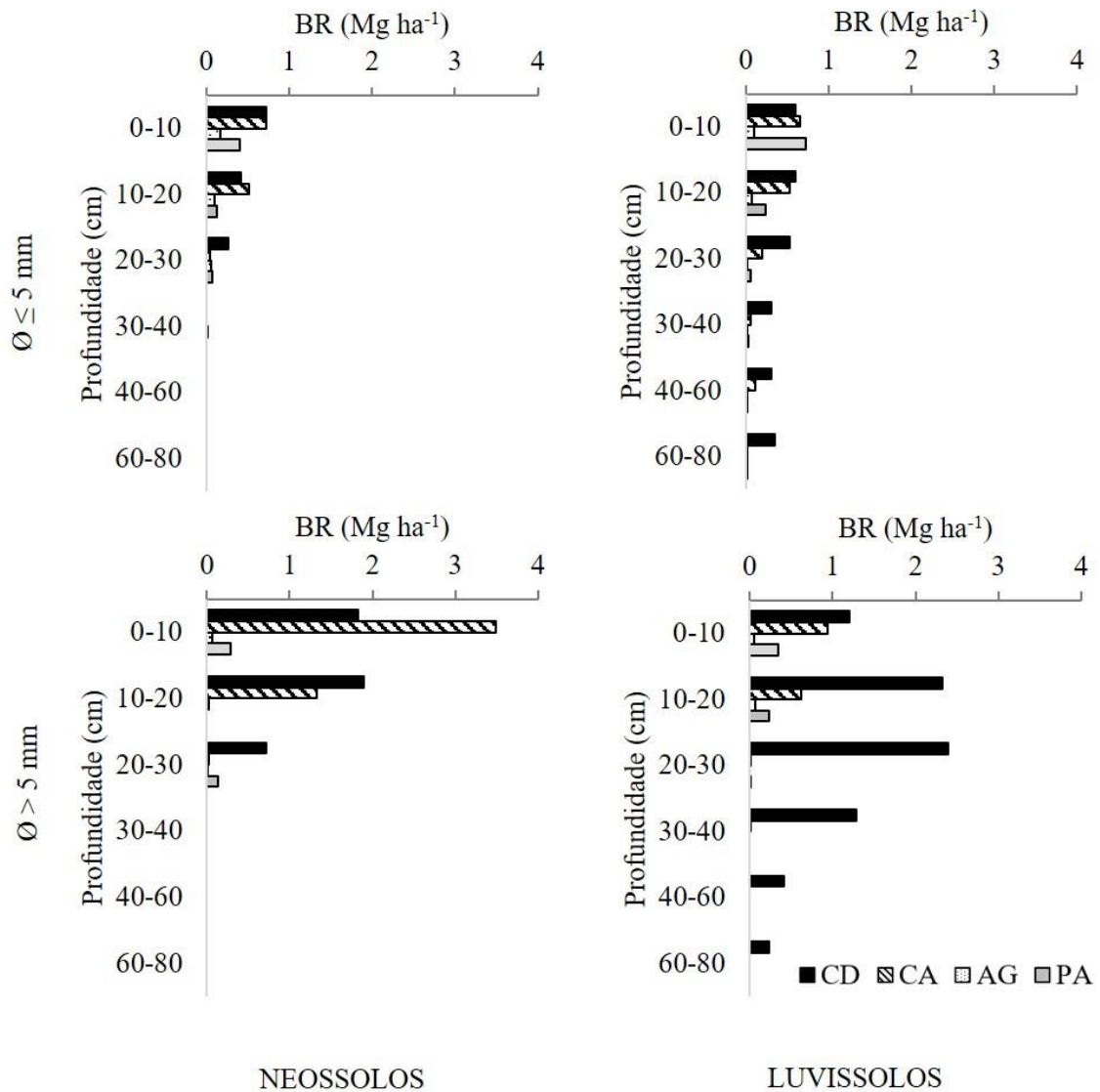
Os padrões de distribuições em profundidade das raízes finas e grossas (Figura 6, Tabela 7 – Apêndice A) foram semelhantes em 75% das amostras analisadas, ocorrendo a maior concentração (41,51-72,26%) do sistema radicular na camada de 0-10 cm. Quando analisado o total de raízes (sem dividir em classes de finas e grossas), 87,5% das amostras tiveram a maior concentração de biomassa radicular na camada de 0-10 (43,76-68,95%).

O Neossolo apresentou uma profundidade máxima de 40 cm. Nesta classe de solo, as raízes finas se concentraram ( $\geq 50\%$ ), principalmente na camada superficial (0-10 cm) nos quatro usos do solo (CD, CA, AG e PA). Já o Luvisolo apresentou uma maior profundidade (80 cm). Nesta classe de solo, as raízes finas também se alocaram principalmente na camada superficial ( $>41\%$ ), com exceção da CD, no qual se observou uma distribuição mais homogênea ao longo do perfil do solo. A AG e PA apresentaram em média mais de 90% das suas raízes finas até 30 cm de profundidade e a CA até 40 cm de profundidade.

As raízes grossas também apresentaram maior concentração de biomassa na camada de 0-10 cm em ambas classes de solo, com exceção da CD (Neossolo e Luvisolo) e da AG no Luvisolo que se alocaram de forma semelhante na camada de 0-10 e de 10-20. Nas áreas de CA, AG e PA em Luvisolos, mais de 98% das raízes grossas está alocada até 20 cm de profundidade. De todos usos da terra nas duas classes de solo analisadas, apenas a CD no Luvisolo apresentou um maior aprofundamento de suas raízes finas e grossas, visto que nos outros casos analisados as biomassas ficaram concentradas principalmente na camada de 0-20 (66,7-100%). Baseado nestes resultados, acredita-se que uma amostragem nas primeiras camadas seja suficiente para representar a BR, sendo multiplicado o valor encontrado por um fator de 1,2 para obtenção da biomassa total. Isto, se justifica devido ao alto custo e mão de

obra necessária para realização dessas coletas.

Figura 6 – Distribuição vertical da biomassa radicular ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em áreas de CD, CA, AG e PA em Neossolos e Luvisolos.



Fonte: elaborada pelo autor.

O padrão geral de maior concentração de BR nas camadas mais superficiais em áreas florestais está relacionado principalmente à maior quantidade de nutrientes disponíveis nestas camadas, estes oriundos da decomposição da serapilheira (ESPELETA; CLARK, 2007; HERTEL *et al.*, 2009). Neste trabalho, as camadas de 0-10 nas áreas CD e CA apresentaram as maiores quantidades de matéria orgânica (24,43% e 18,79%, respectivamente) em comparação com as demais camadas.

Outros fatores que podem influenciar a distribuição vertical das raízes são a densidade e textura do solo (SCHENK, 2005), a pedregosidade do solo (CROW, 2005) e a profundidade de infiltração da água e demanda por evaporação (SCHENK e JACKSON, 2005). O déficit hídrico característico das áreas de FTS reduzem a profundidade de sistema radiculares (PINHEIRO; COSTA, DE ARAÚJO, 2013), já que a emissão de raízes lateralmente exige um menor consumo de energia, manutenção e absorção de solutos (ADIKU *et al.*, 2000). Este padrão de distribuição da BR também foi observado em outras áreas de FTS (COSTA *et al.*, 2014; ALBUQUERQUE *et al.*, 2015) bem como em demais tipos de vegetação (JACKSON *et al.*, 1996; JARAMILLO; AHEDO-HERNÁNDEZ; KAUFFMAN, 2003; CHANG *et al.*, 2012).

O maior aprofundamento do sistema radicular observado no Luvissole em áreas de CD em relação a CA deve estar relacionado com a maior disponibilidade de nutrientes em camadas mais profundas (>MO) e com o menor impedimento mecânico (menores valores de densidade dos solos e pedregosidade nas camadas mais profundas) nas áreas de CD (Tabela 5 - Apêndice A). Sistemas radiculares mais profundos estão relacionados com solos de textura arenosa e baixa fertilidade na FTS (COSTA *et al.*, 2014). Valores elevados de densidade e pedregosidade podem dificultar que as raízes se desenvolvam adequadamente nos solos (SCHENK, 2005; CROW, 2005).

Nas áreas de PA e AG, a maior concentração de BR na camada de 0-10 cm pode ser explicada pelos tipos de vegetação, onde predominam gramíneas e ervas, que alocam a maior parte de sua biomassa subterrânea nas camadas mais superficiais. Além do menor porte destas plantas em relação aos arbustos e árvores, as suas raízes do tipo fasciculadas não atingem grandes profundidades (RIBEIRO *et al.*, 2011) e geralmente se concentram nos primeiros 20 cm do solo (JARAMILLO; AHEDO-HERNÁNDEZ; KAUFFMAN, 2003).

As proporções das biomassas de raízes grossas (Tabela 2) apresentaram padrões diferentes entre os usos do solo e classes do solo estudados. Na CD predominaram as raízes grossas, exceto no Luvissole na camada de 60-80 cm. Na CA predominaram as raízes grossas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Esta maior proporção de raízes grossas está relacionada ao espessamento secundário das raízes, o que possibilita um suporte mais eficiente para as árvores (BRASSARD; CHEN; BERGERON, 2009). Portanto, quanto maior for a biomassa aérea da vegetação, maior terá que ser a biomassa de raízes grossas para garantir a fixação das plantas no solo.

Tabela 2 - Proporções da biomassa de raízes grossas (%) por profundidade

Prof. (cm)	Neossolo				Luvisso			
	CD	CA	AG	PA	CD	CA	AG	PA
0-10	71,6	82,8	29,4	36,7	66,5	59,0	36,7	35,3
10-20	81,8	71,8	14,9	0,0	79,6	54,1	49,6	31,2
20-30	73,2	35,0	13,3	59,8	81,9	3,4	0	0
30-40			0		80,8	11,1	0	0
40-60					57,0	0	0	0
60-80					39,4	0	0	0

Fonte: dados da pesquisa.

Na AG predominaram as raízes finas em todas camadas do solo (Tabela 2). Nas áreas de PA também predominaram as raízes finas, exceto na camada de 20-30 cm no Neossolo. Esta maior proporção de raízes finas nas áreas de AG e PA está relacionada ao porte das plantas, bem como a forma fasciculada das raízes nestes usos da terra (RIBEIRO *et al.*, 2011).

### ***Estoque de Carbono (C)***

Os teores de Carbono nos diferentes compartimentos e usos da terra variaram de 36 a 46% (Tabela 3). Estes teores variam de acordo com a densidade do material vegetal, espécies, estágios de sucessão, compartimentos e condições de ambientais (LAMLOM; SAVIDGE, 2003; BERT; DANJON, 2006; VIEIRA *et al.*, 2009; ZHANG *et al.*, 2009; DALLAGNOL *et al.*, 2011; NAVARRO *et al.*, 2013).

Para o compartimento Arbustivo-arbóreo foi utilizado o valor estimado para as espécies da Caatinga de 45% (PEREIRA JUNIOR *et al.*, 2016). Os teores de Carbono nas raízes foram de 40% (CD), 41% (CA), 46% (AG) e 38% (PA). Em outras áreas de vegetação nativa de FTS foram encontrados teores de Carbono variando entre 31% e 45% (VIEIRA *et al.*, 2009; PEREIRA JUNIOR *et al.*, 2016), sendo os maiores valores referentes as raízes grossas. Para as espécies agrícolas foram estimados teores entre 40% e 46% (REDIN, 2010) e para as pastagens valores entre 30% e 42% (LUIZÃO; COSTA; LUIZÃO, 1999). O maior teor de Carbono nas raízes neste trabalho foi encontrado nas áreas de AG, como estas possuem uma menor proporção de raízes grossas do que as áreas de vegetação nativa e uma menor idade (fatores que deveriam resultar em menores teores de Carbono), acredita-se que o seu maior teor de Carbono esteja relacionado com a espécie de gramínea cultivada (REDIN, 2010).

Para a Serapilheira, os valores determinados foram de 36% (CD) e 43% (CA). Estes valores se aproximam dos estimados para outras áreas de FTS (PEREIRA JUNIOR *et al.*, 2016) e outras vegetações brasileiras (MORAIS *et al.*, 2017). Estes teores apresentam uma grande variabilidade visto que a serapilheira é formada por diferentes restos vegetais (galhos, folhas e demais resíduos vegetais). Portanto o seu teor de Carbono vai depender da concentração destas diferentes partes vegetais e das espécies que a compõem (VIEIRA *et al.*, 2009; DALLAGNOL *et al.*, 2011). No compartimento herbáceo os teores foram de 45% (CD), 39% (CA) e 44% (PA). Na literatura encontra-se valores variando entre 39% e 49% para vegetação herbácea, sendo os maiores teores encontrados nas áreas com vegetação de maior idade (MACEDO, 2012; TAVARES; SANTOS, 2013). Portanto, o menor teor de Carbono na CA no compartimento herbáceo deve estar relacionado as menores idades das plantas anuais. Já na CD os maiores valores podem estar relacionados também com as plantas em regeneração que foram incluídas no compartimento de plantas herbáceas. Estas plantas em regeneração apesar de apresentarem pequeno porte (CNB < 9 cm) já possuem tecidos lenhosos e com maior densidade, e portanto um maior teor de carbono (VIEIRA *et al.*, 2009).

Tabela 3 - Teores de carbono (%) em diferentes compartimentos e usos da terra em FTS-Caatinga

Compartimento	Usos do solo			
	CD	CA	AG	PA
Arbustivo-arbóreo	45*	45*	-	-
Raízes	40	41	46	38
Serapilheira	36	43	-	-
Plantas herbáceas	45	39	-	44

Fonte: dados da pesquisa

\* teor médio de carbono em espécies da Caatinga (PEREIRA JUNIOR *et al.*, 2016).

O uso da terra que apresentou o maior estoque de carbono total (ECT) foi a CD (31,55 Mg C ha<sup>-1</sup>) (Tabela 4), apresentando diferença significativa ( $\rho < 0,05$ ) em relação a PA e AG. Na CD, o estoque de carbono aéreo nos arbustos e árvores (ECA) (24,69 Mg ha<sup>-1</sup>C) representou a maior parte (78%) do ECT, diferindo estatisticamente ( $\rho < 0,05$ ) da CA (12,00 Mg ha<sup>-1</sup>C). A CD também apresentou o maior ECR (4,56 Mg ha<sup>-1</sup>C), diferindo estatisticamente das áreas de PA (0,52 Mg ha<sup>-1</sup>C) e de AG (0,17 Mg ha<sup>-1</sup>C). Já o ECR na CA (2,67 Mg ha<sup>-1</sup>C) não diferiu estatisticamente da PA. O ECR na CD foi bastante próximo do valor estimado por

Pereira Junior *et al.* (2016) em FTS há 30 anos em regeneração.

Tabela 4 - Estoque de carbono em diferentes compartimentos e em diferentes usos do solo na FTS no Ceará

Variável	Unidade	Usos do solo			
		CD	CA	AG	PA
ECA		24,69± 8,67Aa	12,00±3,61Ba	-	-
ECR	Mg ha <sup>-1</sup> C	4,56± 2,35Aab	2,67±1,90ABab	0,17±0,11C	0,52±0,46BCa
ECS		1,82±0,99Ab	1,53±0,62Aab	-	-
ECH		0,48±0,67Ab	0,50±0,55Ab	ND**	0,54±0,23Aa
ECT		31,55A	16,67AB	0,17±0,11C	1,06±0,57BC

Legenda: ECA - estoque de carbono aéreo nos arbustos e árvores, ECR - estoque de carbono nas raízes, ECS - estoque de carbono na serapilheira, ECH - estoque de carbono aéreo nas herbáceas, ECT - estoque de carbono total, ND\*\* - não determinado devido ausência de biomassa aérea das herbáceas na agricultura na época das coletas. Letras maiúsculas indicam diferenças estatísticas entre os diferentes usos do solo dentro do mesmo compartimento e letras minúsculas indicam diferenças estatísticas entre os compartimentos dentro do mesmo tipo de uso de solo. Foram utilizados os testes U de Mann-Whitney a 5% de significância (para comparações entre 2 amostras) e H de Kruskal-Wallis a 5% de significância (para comparações entre mais de 2 amostras). \* Os valores médios de carbono no estrato herbáceo na AG foram estimados com valores médios de biomassas de culturas agrícolas cultivadas na FTS.

Estimativas apontam que as FTS podem apresentar uma grande variação nos estoques de carbono, podendo estocar até 150 Mg ha<sup>-1</sup> (TIESSEN *et al.*, 1998). O ECA é resultado direto da multiplicação da BAA pelo teor de carbono (%) nas plantas, portanto as suas variações estão diretamente relacionadas a estas duas variáveis (TITO; LEON; PORRO, 2009). A BAA varia em função do porte e da densidade de indivíduos da vegetação (NASCIMENTO, 2015), fatores estes que estão relacionados ao estágio de regeneração da floresta, tipos de solo, composição florística, históricos de uso da terra e a disponibilidade de nutrientes e de água (POWERS *et al.*, 2009; COSTA *et al.*, 2014). A precipitação média anual é apontada como um fator que limita a quantidade máxima de biomassa alcançada nas FTS (MARTÍNEZ-YRÍZAR, 1995; BECKNELL; KUCEK; POWERS, 2012). Já o teor de carbono pode variar em função de das espécies, estágios de sucessão, compartimentos e condições de ambientais (LAMLON; SAVIDGE, 2003; BERT; DANJON, 2006; VIEIRA *et al.*, 2009; ZHANG *et al.*, 2009; DALLAGNOL *et al.*, 2011; NAVARRO *et al.*, 2013).

A CA detém o segundo maior estoque de carbono total (16,67 Mg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 4), o que representa 53% do valor estocado na CD. Na CA, o ECA também representou a maior quantidade do ECT (72%). O ECA na CA (12,00 Mg ha<sup>-1</sup>) foi maior do que o valor estimado

por Skutsch e Libasse (2010) para uma FTS com cobertura arbórea mais aberta. A diferença na cobertura arbórea destas áreas pode explicar essa diferença de biomassa.

As áreas de PA e AG apresentaram os menores estoques de C (1,06 e 0,17 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Na PA, os estoques ficaram distribuídos de forma homogênea nos compartimentos de raízes (ECR) e herbáceas (ECH). Já na AG, o ECT foi composto somente pela ECR, visto que não foi coletada biomassa aérea neste uso da terra. Esta biomassa foi considerada como nula, visto que está presente somente durante o ciclo de produção, sendo removida durante a colheita e os restos normalmente sendo consumidos pelos animais.

Os ECS foram semelhantes nas áreas de CD e CA (1,82 e 1,53 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Estes valores são inferiores aos relatados em outros trabalhos em FTS (MOHANRAJ; SARAVANAN; DHANAKUMAR, 2011; FEITOSA, 2017). O que deve estar relacionado principalmente as diferenças na produção de serapilheira devido as diferentes condições climáticas (ANDRADE *et al.*, 2008; SINGH *et al.*, 2011) e composições da vegetação (DAI *et al.*, 2014). Os valores ECH também foram semelhantes nas áreas de CD, CA e PA (0,48, 0,50 e 0,54 Mg ha<sup>-1</sup>), não diferindo estatisticamente.

A vegetação de CD analisada possui uma capacidade de estocar carbono 186 vezes maior do que as áreas de AG e 30 vezes maior do que as áreas de PA. Essa maior capacidade de estocar carbono se deve principalmente ao componente arbustivo-arbóreo, que na CD foi responsável por 78% do ECT. Portanto, é possível verificar que a conversão de áreas de CD em PA e AG resulta em perdas significativas de carbono do ecossistema.

## Conclusões

Os diferentes usos da terra na FTS apresentam uma grande amplitude no estoque total de biomassa (0,36-72,90 Mg ha<sup>-1</sup>) e de carbono (0,17-31,55 Mg ha<sup>-1</sup>) devido à grande capacidade de estoque nas áreas de vegetação nativa (sinússia arbustiva e arbórea com maior porte) e pequena capacidade nas áreas de AG e PA. Portanto, a alteração do uso da terra de áreas de vegetação florestal nativa de FTS para usos agropecuários resulta em reduções significativas de biomassa e carbono.

Os diferentes padrões de razão BR:BAT encontrados entre usos da terra diferentes e classes de solo diferentes indicam que estes fatores influenciam no padrão de alocação de recursos da vegetação. A alocação proporcionalmente maior da quantidade de biomassa no sistema radicular nos Neossolos (solos mais rasos e menos férteis) deve estar relacionada a uma maior necessidade das plantas nestas áreas de investirem em raízes para garantir sua fixação no

solo e também para maximizar a absorção de água e nutrientes.

Devido as parcelas circulares com raios de 3, 4 e 5 metros apresentarem resultados semelhantes, o uso da parcela com raio de 3 metros é o mais recomendado pois este necessita de menores custos financeiros e de menores tempo de coleta.

As raízes finas e grossas se concentraram do sistema radicular na camada superficial. O que deve estar relacionado à maior quantidade de nutrientes disponíveis nestas camadas. Na CD em Luvisolo, um padrão mais homogêneo de distribuição foi observado, o que está relacionado à maior profundidade do solo juntamente com uma maior disponibilidade de nutrientes nas camadas mais profundas (>MO) e ao menor impedimento mecânico em relação a CA em Luvisolo.

As proporções das biomassas de raízes grossas apresentaram padrões diferentes entre os usos do solo e classes do solo estudados. Nas áreas de vegetação nativa, as raízes grossas apresentaram as maiores proporções, devido a necessidade de um maior suporte para a vegetação aérea maior. Já nas áreas agricultura e pastagem as raízes finas apresentaram as maiores proporções.



## REFERÊNCIAS

- ADIKU, S. G. K. *et al.* On the simulation of root water extraction: examination of a minimum energy hypothesis. **Soil Science**, [S.l.], v. 165, n. 3, p.226-236, mar. 2000.
- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissole em Sumé (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p.121-128, mar. 2001.
- ALMEIDA, C. L. **Relações solo-planta-atmosfera em caatinga preservada: o caso da bacia experimental de Aiuaba**. 2016. 128 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- ANDRADE, R. L. *et al.* Deposição de serrapilheira em área de Caatinga na RPPN “Fazenda Tamanduá”, Santa Terezinha – PB. **Caatinga**, Mossoró, v.21, n. 2, p.223-230. 2008.
- AQUINO, D. *et al.* Nutrient cycling and CO<sub>2</sub> emissions in areas of preserved and thinned caatinga. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 41, n. 3, 2017.
- BECKNELL, M.J.; KUCEK, L.K.; POWERS, J. S. Aboveground biomass in mature and secondary seasonally dry tropical forests: A literature review and global synthesis. **Forest Ecology And Management**, [S.l.], v. 276, p.88-95, jul. 2012.
- BERT, D.; DANJON, F. Carbon concentration variations in the roots, stem and crown of mature *Pinus pinaster* (Ait.). **Forest Ecology And Management**, [S.l.], v. 222, n. 1-3, p.279-295, fev. 2006.
- BRASSARD, B. W.; CHEN, H. Y. H.; BERGERON, Y. Influence of Environmental Variability on Root Dynamics in Northern Forests. **Critical Reviews In Plant Sciences**, [S.l.], v. 28, n. 3, p.179-197, 3 abr. 2009.
- CASTELLETTI, C. H. M. *et al.* Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; DA SILVA, J. M. C. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Editora da Universidade Federal de Pernambuco, 2003. p. 719-734.
- CHANG, R. *et al.* Effects of soil physicochemical properties and stand age on fine root biomass and vertical distribution of plantation forests in the Loess Plateau of China. **Ecological research**, [S.l.], v. 27, n. 4, p. 827-836, 2012.
- COSTA, T. L. *et al.* Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. **Plant And Soil**, [S.l.], v. 378, n. 1-2, p. 113-123, 11 jan. 2014.
- CROW, P. **The influence of soils and species on tree root depth**. Forestry Commission, Information Note, 2005.
- DAI, Z. *et al.* Modeling Carbon Stocks in a Secondary Tropical Dry Forest in the Yucatan Peninsula, Mexico. **Water Air Soil Pollut**, [S.l.], v. 225, p. 1-15, 2014.
- DALLAGNOL, F. S. *et al.* Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 4, p. 410-416, 2011.

- DIÉGUEZ-ARANDA, U. *et al.* **Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia**. Lugo, 2009. 262 p. Disponível em: [http://www.usc.es/uxfs/IMG/Herramientas\\_selvicolas\\_para\\_la\\_gestion\\_forestal\\_sostenible\\_en\\_galicia.pdf](http://www.usc.es/uxfs/IMG/Herramientas_selvicolas_para_la_gestion_forestal_sostenible_en_galicia.pdf). Acesso em: 1 fev. 2018.
- ESPELETA, J. F.; CLARK, D. A. Multi-scale variation in fine-root biomass in a tropical rain forest: a seven-year study. **Ecological monographs**, [S.l.], v. 77, n.03, p. 377-404, 2007.
- HERTEL, D. *et al.* Below and aboveground biomass and net primary production in a paleotropical natural forest (Sulawesi, Indonesia) as compared to neotropical forests. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 258, n. 9, p. 1904-1912, 2009.
- JARAMILLO, V. J.; AHEDO-HERNÁNDEZ, R.; KAUFFMAN, J. B. Root biomass and carbon in a tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest conversion to pasture. **Journal of Tropical Ecology**, [S.l.], v. 19, n. 4, p. 457-464, 2003.
- JARAMILLO, V.J; MARTÍNEZ-YRÍZAR, A; SANFORD-JR, R.L. Primary productivity and biogeochemistry of seasonally dry tropical forests. In: DIRZO, R. *et al.* (Eds.). **Seasonally dry tropical forests: ecology and conservation**. Island Press, 2011. p. 109-128.
- JESUS, K.N. *et al.* **Guia metodológico para o desenvolvimento de atividades de campo e laboratório do projeto CNPQ rede – C – NE**. Recife, 2016. 35 p.
- KAUFFMAN, J.B.; HUGHES, R.F.; HEIDER, C. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the neotropics. **Ecological Applications**, [S.l.], v. 19, n. 5, p. 1211-1222, 2009.
- LAMLON, S. H.; SAVIDGE, R. A. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. **Biomass and Bioenergy**, [S.l.], v. 25, n. 4, p. 381-388, 2003.
- LUIZÃO, R.C.C.; COSTA, E.S.; LUIZÃO, F.J. Mudanças na biomassa microbiana e nas transformações de nitrogênio do solo em uma sequência de idades de pastagens após derruba e queima da floresta na Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 29, n. 1, p. 43-56, 1999.
- KENZO, T. *et al.* Aboveground and belowground biomass in logged-over tropical rain forests under different soil conditions in Borneo. **Journal of forest research**, [S.l.], v. 20, n. 1, p. 197-205, 2015.
- MACÊDO, L. A. **Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis do processo de torrefação**. 2012. 49 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Recursos florais e sistemas de polinização e sexuais em Caatinga. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Editora da Universidade Federal de Pernambuco, 2003. p. 515-563.
- MARTÍNEZ-YRIZAR, A. Biomass distribution and primary productivity of tropical dry

forest. In: STEPHEN, H.B.; MOONEY, H.A.; MEDINA, E. (Eds.). **Seasonally dry tropical forests**. Ed. Cambridge University, 1995. p. 326-345.

MATA, M. V. M. *et al.* Emissões de CO<sub>2</sub> Provenientes do Uso e Mudanças no Uso da Terra no Bioma Caatinga no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 1, p. 144-155, 2015.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caatinga**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>> Acesso em: 01 fev. 2018.

MOHANRAJ, R.; SARAVANAN, J.; DHANAKUMAR, S. Carbon stock in Kolli forests, Eastern Ghats (India) with emphasis on aboveground biomass, litter, woody debris and soils. **iForest**, [S.l.], v. 4, p. 61-65, 2011.

MOKANY, K.; RAISON, R.J.; PROKUSHKIN, A.S. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, [S.l.], v.12, n.01, p. 84-96, 2006.

MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. **Ecology of tropical dry forest**. Annual review of ecology and systematics, v. 17, p. 67-88, 1986.

NASCIMENTO, D. M. **Estimativa do estoque de biomassa arbustivo arbórea por sensoriamento remoto em áreas de caatinga em Pernambuco**. 2015. 75 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

NAVARRO, M. *et al.* Successional variation in carbon content and wood specific gravity of four tropical tree species. **Bosque**, [S.l.], v. 34, n. 1, 2013.

PENNINGTON, R. T; PRADO, D. E.; PENDRY, C.A. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. **Journal of Biogeography**, [S.l.], v. 27, n. 02, p. 261-273, 2000.

PEREIRA FILHO, J. M.; SILVA, A. M. A.; CÉZAR, M. F. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, Salvador, v. 14, n.1, p. 77-90, 2013.

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

PIMENTEL, J. V. F. **Caatinga e manejo agrossilvipastoril**. In: ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J.; DANTAS, F. E. R. (Org.). *Semiárido e o manejo dos recursos naturais: uma proposta de uso adequado do capital natural*. Fortaleza: ed. Imprensa Universitária UFC. Cap. 5, p.106-132, 2010.

PINHEIRO, E. A. R.; COSTA, C. A. G.; DE ARAÚJO, J. C. Effective root depth of the Caatinga biome. **Journal Of Arid Environments**, [S.l.], v. 89, p.1-4, fev. 2013.

REDIN, M. **Composição bioquímica e decomposição da parte aérea e raízes de culturas comerciais e de plantas de cobertura do solo**. 2010. 141 p. Dissertação (Mestrado em biodinâmica e manejo do solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

- RIBEIRO, O. L. *et al.* Biomassa radicular e reservas orgânicas em coastcross consorciada ou não com *Arachis pintoi*, com e sem nitrogênio, sob pastejo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 12, n. 2, p. 318-328. abr/jun, 2011.
- SÄRKINEN, T. *et al.* Forgotten forests-issues and prospects in biome mapping using Seasonally Dry Tropical Forests as a case study. **BMC ecology**, [S.l.], v.11, n.01, p.1-15, 2011.
- SAWADOGO, L.; TIVEAU, D.; NYGARD, R. Influence of selective tree cutting, livestock and prescribed fire on herbaceous biomass in the savannah woodlands of Burkina Faso, West Africa. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S.l.], v. 105, p. 335-345, 2005.
- SCHENK, H.J. Vertical vegetation structure below ground: scaling from root to globe. In: Progress in Botany. **Progress in Botany**, [S.l.], v.66, p.341-373, 2005.
- SCHENK, H. J.; JACKSON, R. B. Mapping the global distribution of deep roots in relation to climate and soil characteristics. **Geoderma**, [S.l.], v.126, n.01, p.129-140, 2005.
- SILVA R.A.; SANTOS A.M.M.; TABARELLI M. Riqueza e diversidade de plantas lenhosas em cinco unidades de paisagem da Caatinga. In: LEAL I.R.; TABARELLI M.; SILVA J.M.C. (Orgs). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Editora da Universidade Federal de Pernambuco, 2003. p. 337-365.
- SILVEIRA, P. *et al.* O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, 2008.
- SINGH, V. *et al.* Formulating allometric equations for estimating biomass and carbon stock in small diameter trees. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 261, p. 1945–1949, 2011.
- SKUTSCH, M. M.; LIBASSE, B. Crediting carbon in dry forests: The potential for community forest management in West Africa. **Forest Policy and Economics**, [S.l.], v. 12, p. 264- 270, 2010.
- SOLOMON, N. *et al.* Carbon stocks and sequestration potential of dry forests under community management in Tigray, Ethiopia. **Ecological Processes**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 20, 2017.
- SOUZA, B. C. **Diversidade, biomassa aérea e estimativa do estoque de carbono em plantas da Caatinga em um remanescente serrano no trópico semiárido**. 2009. 54 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental). Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2009.
- SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. The Caatinga and desertification. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 131-150, 2015.
- TAVARES, S. R. L.; SANTOS, T. E. Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis sólidos. **Holos**, [S.l.], v. 5, 2013.
- TITO, M. R.; LEÓN, M. C.; PORRO, R. **Guia para determinação de carbono em pequenas propriedades rurais**. Belém, 2009. 81 p.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I. Solos e desertificação no sertão paraibano. **Cadernos do Logepa**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 101-114, 2011.

VALBRUN, W. **Estoque de carbono e nitrogênio sob diferentes usos da terra em Floresta Tropical Sazonalmente Seca**. 2018. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

VIEIRA, G. *et al.* Teores de carbono em espécies vegetais da caatinga e do cerrado. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, [S.l.], v. 7, p. 145-155, 2009.

ZHANG, Q. *et al.* Carbon concentration variability of 10 Chinese temperate tree species. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 258, n. 5, p. 722-727, 2009.

## 5 DINÂMICA DAS RAÍZES FINAS EM FLORESTA TROPICAL SECA EM RESPOSTA À SAZONALIDADE PLUVIOMÉTRICA

### RESUMO

Desenvolveu-se essa pesquisa objetivando investigar a dinâmica de produção de raízes finas em resposta à disponibilidade hídrica em fragmento de Floresta Tropical Seca (FTS) em regeneração há 31 anos. O experimento foi iniciado em jul/2015, final da estação chuvosa, quando foi caracterizado o sistema radicular existente neste fragmento (10 amostras), e implantados os núcleos de crescimento interno. Para o acompanhamento da dinâmica das raízes finas realizou-se seis coletas (nov/2015, mar/2016, jul/2016, nov/2016, mar/2017 e jul/2017). Nas estimativas da biomassa e comprimento radicular empregou-se o método *ingrowth core*, na camada de 0-30 cm e nas subcamadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Após a separação, as raízes finas (<2 mm) foram secas em estufa (65°C) até massa constante. O comprimento das raízes foi realizado pelo software Giaroots. Para comparação dos dados empregou-se o teste H de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ). A biomassa de raízes finas (<2 mm) em jul/2015 foi de  $7,7 \pm 5,0$  Mg ha<sup>-1</sup> e o comprimento de raízes (< 2 mm) de  $5,0 \pm 3,2$  km m<sup>-2</sup>. No início da primeira estação chuvosa (mar/2016) as raízes finas já apresentaram crescimento significativo ( $p < 0,05$ ). Entretanto a regeneração de sua biomassa ocorreu somente no final da primeira estação chuvosa, o que mostra um maior investimento em comprimento no início do desenvolvimento. Na estação seca ocorreu uma redução significativa (52%) da biomassa somente na camada mais profunda, ficando a biomassa concentrada na camada superficial. O desenvolvimento das raízes finas em FTS é fortemente limitado nos períodos secos, ocorrendo perda de biomassa e do comprimento de raízes finas. Essas perdas podem expressar o aporte de matéria orgânica ao solo pela senescência das raízes. A produção de raízes finas ocorre fundamentalmente nas estações chuvosas, com uma rápida resposta de desenvolvimento do sistema radicular à ocorrência de precipitações.

**Palavras-chave:** Sistema radicular, Caatinga, Semiárido.

## ABSTRACT

This research was developed to investigate the dynamics of fine-root production in response to water availability in a fragment of tropical dry forest (TDF) under regeneration for 31 years. The experiment was started in July 2015, at the end of the rainy season, when the root system in the fragment was characterised (10 samples), and the ingrowth cores installed. In order to accompany the fine-root dynamics, six collections were made (Nov 2015, Mar 2016, Jul 2016, Nov 2016, Mar 2017 and Jul 2017). The ingrowth core method was used to estimate biomass and root length in the 0-30 cm layer and in the 0-10, 10-20 and 20-30 cm sublayers. After separation, the fine roots (<2 mm) were oven-dried (65°C) to constant weight. Root length was calculated using the Giaroots software. The Kruskal-Wallis H test was used to compare the data ( $p < 0.05$ ). In July 2015, the fine-root biomass (<2 mm) was  $7.7 \pm 5.0 \text{ Mg ha}^{-1}$  and the root length (<2 mm) was  $5.0 \pm 3.2 \text{ km m}^{-2}$ . By the beginning of the first rainy season (March 2016), the fine roots already displayed significant growth ( $p < 0.05$ ). However, regeneration of the biomass only occurred at the end of the first rainy season, demonstrating a greater investment in length at the beginning of development. During the dry season, a significant reduction (52%) in biomass took place at the deepest layer only, the biomass being concentrated in the surface layer. Fine-root development in a TDF is strongly limited during dry periods, with the loss of biomass and of fine-root length, these losses possibly expressing the input of organic matter to the soil through root senescence. Fine-root production occurs mainly during the rainy season, with root-system development responding rapidly to the occurrence of rainfall.

**Keywords:** Root system, Caatinga, Semi-arid.

## Introdução

As raízes finas são responsáveis pelo processo de absorção da água e dos nutrientes disponíveis no solo, portanto fundamentais para o vegetal (JACKSON; MOONEY; SCHULZE, 1997; LUKAC, 2012). O desenvolvimento das raízes pode ser influenciado por fatores variados, cujos efeitos são difíceis de serem avaliados de forma isolada, tornando os estudos nesta área difíceis e complexos (FREITAS; BARROSO; ARAÚJO CARNEIRO, 2008). A produção de raízes finas está relacionada a fatores como os nutrientes disponíveis no solo (BLAIR; PERFECTO, 2001), umidade do solo (MCGRODDY; SILVER, 2000), sazonalidade do regime pluviométrico (LIMA *et al.* 2012), composição florística (VISALAKSHI, 1994), uso do solo (ASSEFA *et al.*, 2017) e estágio sucessional da floresta (YANG; WU; ZHANG, 2010).

O estudo da dinâmica da produção de raízes finas possibilita o desenvolvimento de um fluxograma de como o sistema radicular responde à sazonalidade climática (METCALFE *et al.*, 2008; LIMA *et al.* 2012). Dentre este estudo, a análise da distribuição vertical das raízes finas permite conhecer o potencial de absorção de água e dos nutrientes nas diferentes profundidades do solo, bem como entender as estratégias que as espécies vegetais utilizam para potencializar o processo de absorção, além de fornecer dados para modelagem de fluxos de água, nutrientes e carbono nas comunidades de plantas (FEDDES *et al.*, 2001; SILVA, 2002).

Devido à sua importância, diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos sobre o desenvolvimento de raízes finas (YAVITT, 2001; SILVER *et al.*, 2005; METCALFE *et al.*, 2008; LIMA *et al.*, 2012). Entretanto, poucos são os trabalhos realizados nas áreas de Floresta Tropical Seca (FTS), especialmente no Domínio Fitogeográfico da Caatinga (PINHEIRO *et al.*, 2013; ALMEIDA, 2016).

O clima predominante nesse Domínio é o Semiárido quente, o qual é caracterizado pela má distribuição temporal e espacial das chuvas (PEREIRA, O.J.; ANDRADE, E.M., 2016), sendo frequente a ocorrência tanto de anos secos como também de dias secos consecutivos durante a estação chuvosa (ANDRADE *et al.*, 2016). Esta irregularidade do regime pluviométrico juntamente com as elevadas temperaturas e a alta evapotranspiração potencial acarreta em períodos de baixa umidade nos solos (MENDES *et al.*, 2013), o que influencia no desenvolvimento das espécies vegetais que compõem as FTS (OLIVEIRA *et al.*, 2006). Estas espécies desenvolveram estratégias para competir pelo recurso hídrico limitado, como o fechamento dos estômatos, abscisão foliar, desenvolvimento e/ou retenção do sistema radicular (NORTH *et al.*, 2008; GARRETT *et al.*, 2010; DOMBROSKI *et al.*, 2011; PINHEIRO *et al.*, 2013).



Em relação as raízes, a baixa disponibilidade de água do solo afeta o sistema radicular reduzindo a produção de raízes, devido ao fechamento dos estômatos e consequente menor absorção de CO<sub>2</sub> (METCALFE, 2007). Outra resposta das plantas ao estresse hídrico pode ser a estimulação da absorção de água através da produção de raízes mais finas com um comprimento e área de superfície relativamente maiores por unidade de massa, sem aumentar a massa total do material radicular (METCALFE *et al.*, 2008; PEREZ-HARGUINDEGUY *et al.*, 2013).

Tendo por base as mudanças climáticas e a escassez de informações sobre as FTS, entende-se ser necessário um melhor entendimento dos processos e relações existentes entre o desenvolvimento das raízes finas e a sazonalidade pluviométrica nesses ambientes. Portanto, desenvolveu-se este trabalho objetivando avaliar a dinâmica de produção de raízes finas (<2 mm) em fragmento de FTS em resposta a sazonalidade pluviométrica.

## **Material e Métodos**

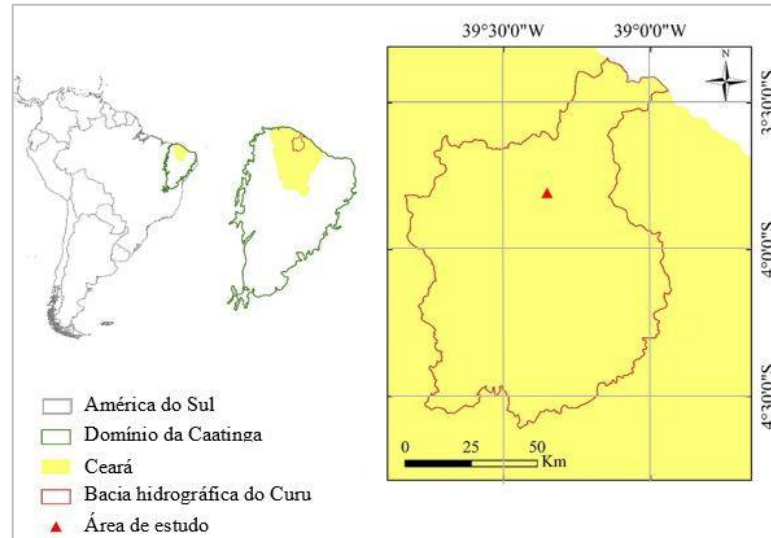
O experimento foi iniciado em julho de 2015 no final da estação chuvosa, sendo realizada a caracterização do sistema radicular existente no fragmento de FTS em regeneração há 31 anos. Após a quantificação das raízes finas existentes na camada de 0-30 cm e subcamadas (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm) estudadas, foram implantados os núcleos de crescimento interno. Para o acompanhamento da dinâmica das raízes finas foram realizadas seis coletas (nov/2015, mar/2016, jul/2016, nov/2016, mar/2017 e jul/2017) cobrindo duas estações secas e duas chuvosas, totalizando dois anos de observação.

### ***Área de estudo***

A área experimental (3° 47' S, 39° 16' W) se localiza na Fazenda Experimental Vale do Curu, Universidade Federal do Ceará, na bacia hidrográfica do rio Curu (Figura 7), Ceará, Brazil. A vegetação nativa foi substituída pelo cultivo de *Cenchrus ciliares* L. de 1974 a 1984, e a área submetida ao pisoteio. Em 1985 os animais foram retirados e iniciou-se a regeneração espontânea da área. Portanto, no início da investigação (jul/2015), a área encontrava-se em processo de regeneração há 31 anos. Após o levantamento fitossociológico, identificou-se uma predominância das seguintes espécies: *Sebastiania macrocarpa* Muell. Arg., *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud., *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke e *Croton blanchetianus* Bail (FEITOSA, 2017). Os solos são Luvisolos Háplicos, de acordo com o Sistema Brasileiro de

Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013). Estes apresentaram uma textura Areia Franca e uma maior densidade na camada de 20-30 cm (FEITOZA, 2017) (Tabela 5).

Figura 7 - Localização da área de estudo



Fonte: elaborada pelo autor.

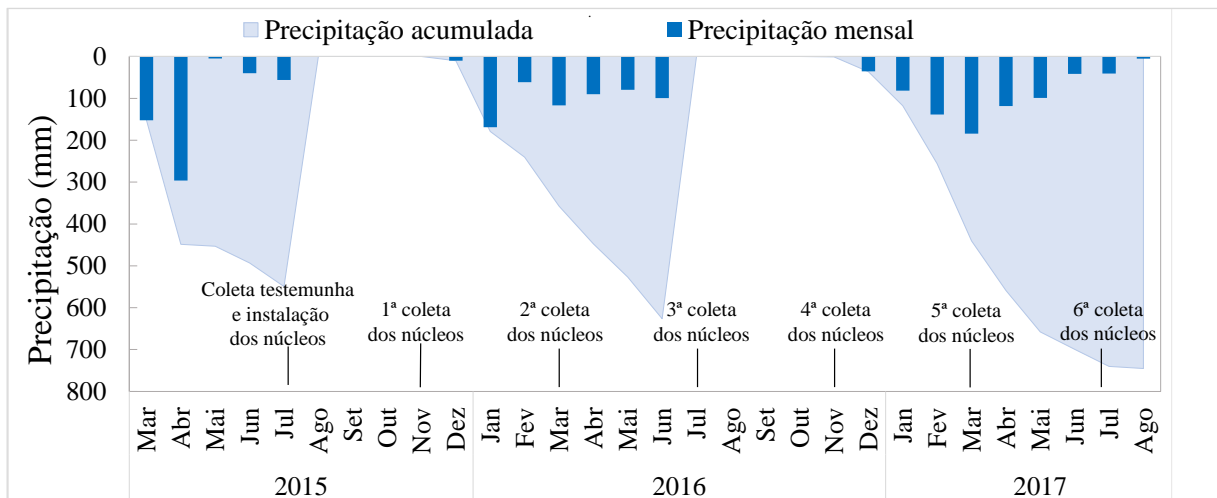
Tabela 5 - Atributos físicos e químicos do solo na área de estudo

Prof. (cm)	Densidade (g cm <sup>-3</sup> )	Areia	Silte %	Argila	Textura
0-10	1,28	69,7	22,8	7,5	
10-20	1,36	70,6	22,0	7,5	Areia Franca
20-30	1,44	66,8	24,9	8,3	

Fonte: Feitoza (2017)

Segundo a classificação de Koppen, o clima da região é do tipo BSw'h', semiárido quente com chuvas de outono e temperaturas médias mensais superiores a 18°C. A pluviosidade média anual é de 762 mm e sua distribuição mensal é caracterizada por uma alta variabilidade temporal e espacial, podendo concentrar em um mês, um acumulado superior ao total anual de um ano seco (ANDRADE *et al.*, 2016). Durante o experimento as precipitações acumuladas nas estações chuvosas de 2015, 2016 e 2017 foram de 686 mm, 616 mm e 704 mm, respectivamente (Figura 8).

Figura 8 - Cronograma do experimento, precipitações mensais e acumuladas.



Fonte: elaborada pelo autor.

### Coleta das raízes finas

Para a caracterização das raízes finas existentes após 31 anos de regeneração foram coletadas 10 amostras de solo de forma cilíndricas ( $\phi = 14$  cm) nas camadas de 0-10, 10-20, e 20-30 cm. Para a análise da dinâmica empregou-se o método de núcleos de crescimento interno “*Ingrothw Cores*” (CUEVAS; MEDINA, 1988) (Figuras 9A, 9B, 9C e 9D). Os núcleos de crescimento foram implantados em julho de 2015, espaçados 10 metros entre si. A cada 4 meses 6 núcleos eram coletados (Figura 9D).

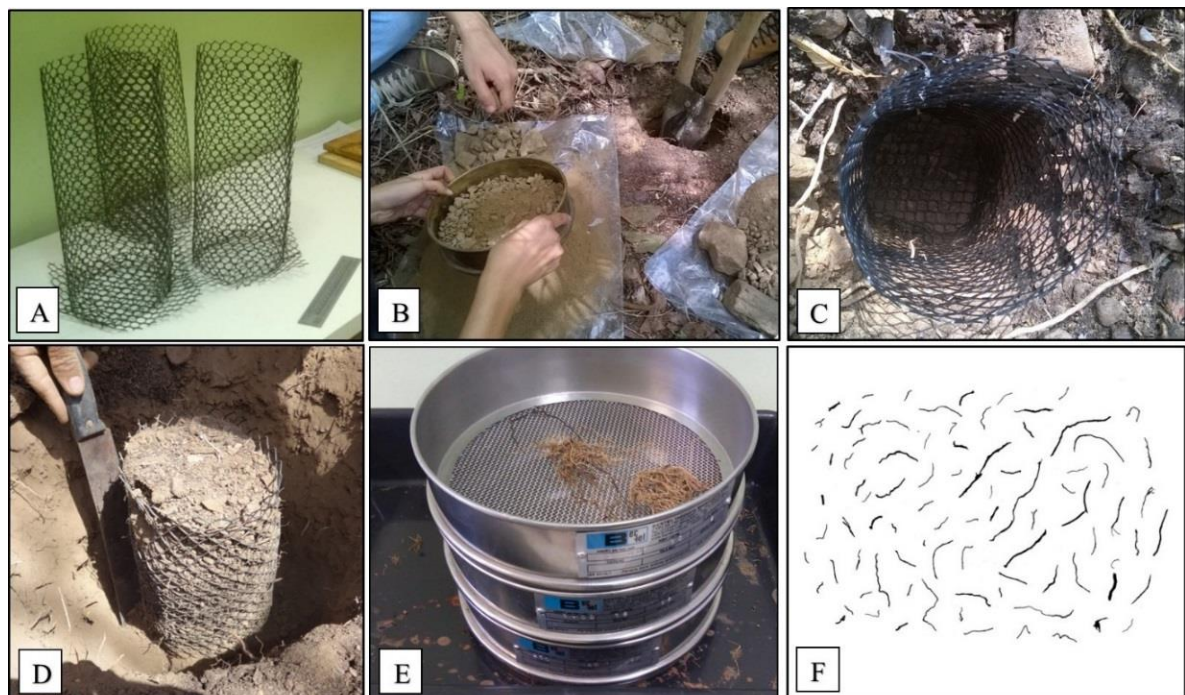
As amostras eram conduzidas ao laboratório para a lavagem do material (solo e raízes) sobre uma peneira de malha de 1 mm. Após a lavagem as raízes foram secas ao ar e posteriormente separadas por agitação em um sistema de peneiras sobrepostas de 2 mm e 1 mm (Figura 9E). Em seguida, as raízes foram secas em estufa ( $65^{\circ}\text{C}$ ) até massa constante e quantificada a biomassa seca. O comprimento das raízes foi obtido a partir da análise de fotografias (Figura 9F) com o software livre *Giaroots* (GALKOVSKIY *et al.*, 2012).

### Análise dos dados

Os dados foram analisados em relação ao total de raízes finas para a camada de 0-30 cm e posteriormente para as subcamadas (0-10, 10-20 e 20-30 cm). As raízes foram divididas em classes (<1 mm, 1-2 mm e > 2 mm). Quantificou-se as seguintes variáveis: BRF (Biomassa de raízes finas,  $\text{Mg ha}^{-1}$ ), CRF (Comprimento de raízes finas,  $\text{km m}^{-2}$ ), CeRF (Comprimento específico de raízes finas,  $\text{km kg}^{-1}$ ) e DRF (Diâmetro médio das raízes finas, mm). Para verificar

o efeito da sazonalidade climática, realizou-se o coeficiente de correlação de Spearman entre as variáveis do sistema radicular (BRF, CRF, DRF, CeRF) e as variáveis climáticas: precipitação acumulada, total de dias com precipitações e total de dias com precipitações >5 mm. Os dados foram analisados quanto a distribuição normal de Shapiro Wilk ( $p \leq 0,05$ ) e aplicado o teste H de Kruskal-Wallis (nível de significância de 5%). Todas as análises estatísticas foram realizadas no software SPSS, v.16.0.

Figura 9 - Fases da metodologia empregada no estudo



Fonte: elaborada pelo autor.

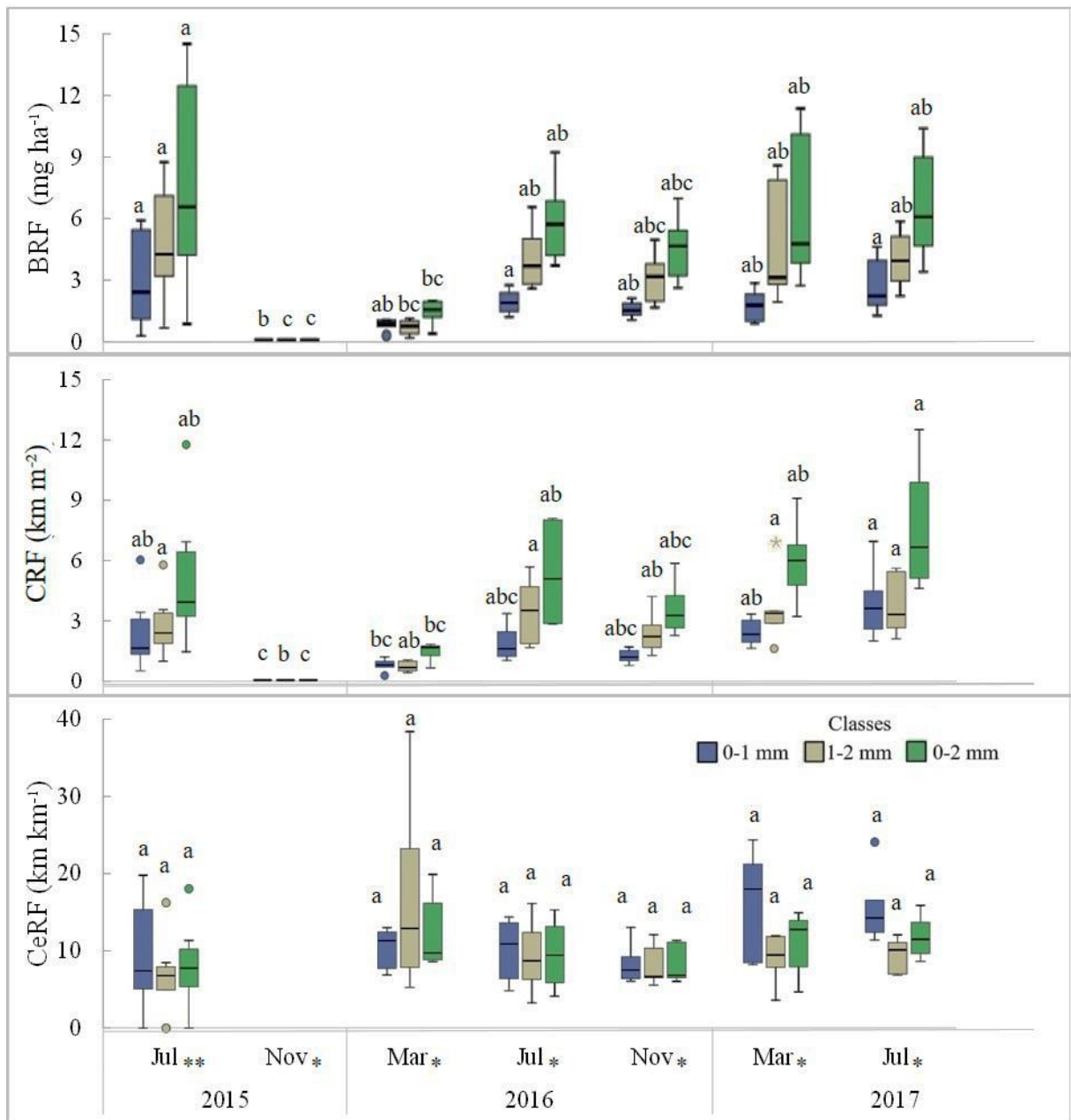
Legenda: (A) Núcleos de crescimento interno confeccionados com malhas de polietileno, (B) Abertura de cova para inserção dos núcleos e separação das raízes do solo, (C) Núcleo de crescimento interno inserido no solo perfurado, (D) Coleta de amostra de solo e raízes, (E) Separação das raízes com sistema de peneiras, (F) Imagem das raízes obtida para medição do comprimento radicular no software Giaroots.

## Resultados

### *Dinâmica temporal das raízes finas na camada de 0-30 cm*

Os incrementos médios de BRF e CRF em todas as classes (Tabela 12 – Apêndice B) apresentaram correlação positiva com a  $P_{acum3}$  (precipitação acumulada em três meses), sendo não significativa apenas com a BRF (1-2 mm). O CRF (<1) foi a variável que apresentou correlação com o maior número de variáveis climáticas. O DRF e CeRF não apresentaram correlação com nenhuma das variáveis climáticas.

Figura 10 - Biomassa, comprimento e comprimento específico de raízes finas ( $\varnothing < 2$  mm) na camada de 0-30 cm em FTS



Fonte: elaborada pelo autor.

Legenda: \*\* Coleta realizada para caracterização do fragmento em regeneração há 31 anos e implantação dos núcleos de crescimento interno. \* Coletas realizadas pelo método dos núcleos de crescimento interno. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente na classe pelo teste H de Kruskal-Wallis a 5% de significância. Outliers: ° discrepantes; \* extremos. Variáveis: Biomassa de raízes finas (BRF), Comprimento de raízes finas (CRF) e Comprimento específico de raízes finas (CeRF).

O valor médio de BRF (<2 mm) foi de  $7,7 \pm 5,0$  Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 10, Tabela 13 – Apêndice B), sendo este composto principalmente de raízes da classe de 1-2 mm ( $4,8 \pm 2,8$  Mg ha<sup>-1</sup>). A maior proporção dessa classe foi observada em 83% das coletas ao longo dos dois anos de experimento (média= 63%), sendo diferente apenas na coleta de março de 2016. Os valores

de CRF (< 2 mm) foram de  $5,0 \pm 3,2 \text{ km m}^{-2}$ , tendo a maior participação de raízes da classe 1-2 mm ( $2,7 \pm 1,5 \text{ km m}^{-2}$ ), expressando um percentual de 54%. Essa maior % de crescimento foi observado em 67% das coletas realizadas (média= 57%).

Na primeira coleta após a instalação dos núcleos (nov/2015), a BRF e CRF foram zero (Figura 10), o que significa que durante a estação seca (jul/2015 a nov/2015) não ocorreu produção de raízes finas pela vegetação. Entre as coletas de nov/2015 e mar/2016 a precipitação acumulada foi de 247,1 mm, com uma produção de BRF (< 2 mm) na camada de 0-30 cm igual a  $1,4 \pm 0,6 \text{ mg ha}^{-1}$ , tendo a maior participação de raízes <1 mm ( $0,8 \pm 0,3 \text{ mg ha}^{-1}$ ) em relação as da classe de 1-2 mm ( $0,6 \pm 0,4 \text{ mg ha}^{-1}$ ). Estas produções representam 18%, 26% e 13% das BRF (< 2 mm) quantificadas em jul/2015 nas classes <2 mm, <1 mm e 1-2 mm, respectivamente. O CRF (<2 mm) foi de  $1,44 \pm 0,45 \text{ km m}^{-2}$ , e assim como observado na BRF (<2 mm), houve uma maior proporção de raízes <1 mm ( $0,76 \pm 0,31 \text{ km m}^{-2}$ ) do que na classe 1-2 mm ( $0,68 \pm 0,26 \text{ km m}^{-2}$ ). Estas produções representam 29%, 33% e 25% dos CRFs médios quantificados em jul/2015 nas classes <2, <1 e 1-2, respectivamente.

No período de mar/2016 a jul/2016 a precipitação acumulada foi de 379,2 mm, quando ocorreu um incremento médio de BRF (<2 mm) de  $4,50 \text{ Mg ha}^{-1}$  na camada de 0-30 cm, sendo o maior incremento registrado na classe de 1-2 ( $3,39 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Com isto a BRF (<2 mm) média quantificada na coleta de jul/2016 foi de  $5,87 \pm 2,02 \text{ Mg ha}^{-1}$ , o que representa 76% da BRF (<2 mm) média amostrada em jul/2015, não havendo diferença significativa entre as duas coletas (o mesmo se observou para a classe 1-2). Já o incremento no CRF (< 2 mm) foi de  $3,87 \text{ km m}^{-2}$ , com uma maior concentração na classe de 1-2 mm ( $2,78 \text{ km m}^{-2}$ ). Com isto, o CRF (<2 mm) foi de  $5,3 \pm 2,4 \text{ km m}^{-2}$ , não diferindo estatisticamente do valor médio da coleta testemunha ( $5,0 \pm 3,2 \text{ km m}^{-2}$ ).

De julho a outubro de 2016, estação seca, não ocorreram precipitações havendo reduções na BRF, CRF e CeRF na camada de 0-30 cm. Para a BRF a redução média foi de 20% nas três classes, ficando a coleta de nov/2016 com um valor médio para a BRF (<2 mm) de  $4,6 \pm 1,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ . A CRF teve uma redução média de 33% nas três classes, o que resultou em um CRF (<2 mm) de  $3,6 \pm 1,3 \text{ km m}^{-2}$ . A redução da CeRF (<2 mm) foi de 15% nas três classes, atingindo um valor médio de  $8,1 \pm 2,4 \text{ km kg}^{-1}$ . Esta redução da biomassa das raízes expressa o aporte de matéria orgânica ao solo.

No período de nov/2016 a mar/2017, a precipitação acumulada foi de 398,4 mm, o que resultou em um incremento médio de  $1,68 \text{ Mg ha}^{-1}$  na BRF (< 2 mm), expressando uma biomassa média acumulada de  $6,23 \pm 3,60 \text{ mg ha}^{-1}$  (Figura 10, Tabela 13 – Apêndice B). Destas raízes, 73% eram da classe de 1-2 mm ( $4,53 \pm 2,90 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Isto pode ser explicado pelo



pequeno incremento de biomassa na classe de 0-1 ( $0,21 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). No CRF ( $< 2 \text{ mm}$ ) houve uma produção de  $2,4 \text{ km m}^{-2}$ , totalizando um valor médio de  $6,0 \pm 2,0 \text{ km m}^{-2}$  dos quais 60% eram de raízes na classe 1-2 mm ( $3,56 \pm 1,73 \text{ km m}^{-2}$ ). Os incrementos em CRF neste período foram iguais para as classes de 0-1 e 1-2 mm. A maior proporção de raízes de 1-2 mm ocorreu devido ser este o padrão encontrado já em novembro de 2016.

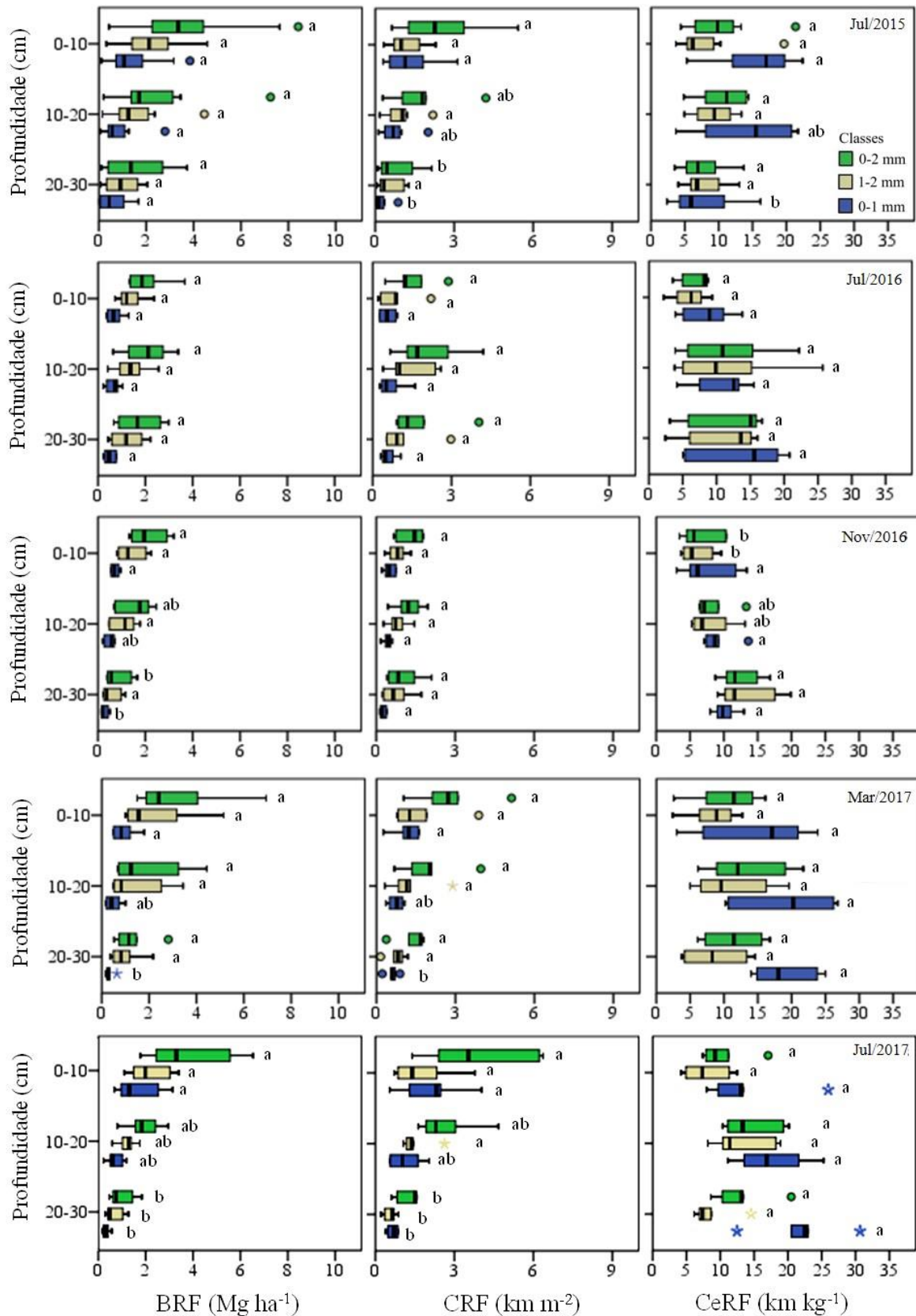
No período de mar/17 a jul/2017, a precipitação acumulada foi de 340,8 mm, ocorrendo um incremento médio da BRF ( $< 2 \text{ mm}$ ) de  $0,35 \text{ Mg ha}^{-1}$  e que resultou num valor de BRF ( $< 2 \text{ mm}$ ) médio de  $6,6 \pm 2,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  em jul/2017 (Figura 10, Tabela 13 – Apêndice B). Somente as raízes ( $< 1 \text{ mm}$ ) apresentaram incremento ( $0,92 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) enquanto na BRF (1-2 mm) ocorreu uma redução  $0,57 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Essas variações não foram estatisticamente significativas ( $\rho < 0,05$ ). Na CRF (0-2 mm) houve um incremento de  $1,61 \text{ km m}^{-2}$ , totalizando  $7,57 \pm 3,09 \text{ km m}^{-2}$ . Essa classe ( $< 1 \text{ mm}$ ) foi a responsável por 90% do incremento, pois as mesmas aumentaram em  $1,45 \text{ km m}^{-2}$ . Esses incrementos no CRF não foram significativos, assim como a dinâmica ocorrida no CeRF.

### ***Dinâmica espaço-temporal das raízes finas***

A coleta de jul/2015, representativa de uma vegetação em regeneração há 31 anos, concentrou 48, 31 e 21% da BRF nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente (Figura 11), não apresentando diferença ( $\rho < 0,05$ ) da BRF entre as camadas. O CRF ( $< 2 \text{ mm}$ ) apresentou concentração de 49, 35 e 16% nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente. Uma maior concentração na camada superficial também foi observada na classe  $< 1 \text{ mm}$  (57%). Nas classes  $< 1 \text{ mm}$  e  $< 2 \text{ mm}$  o CRF diferiu estatisticamente ( $\rho < 0,05$ ) entre as camadas de 0-10 e de 20-30 cm. A maior concentração na camada de 0-10 cm se deve principalmente ao maior comprimento das raízes muito finas ( $1,3 \pm 0,6 \text{ cm cm}^{-3}$ ). O CeRF ( $< 1 \text{ mm}$ ) foi significativamente ( $\rho < 0,05$ ) maior na camada de 0-10 cm em relação a camada de 20-30 cm.

Na primeira coleta após a instalação dos núcleos de crescimento interno (nov/2015) e na de mar/2016 não foi realizada a análise da distribuição vertical. Em nov/2015 não houve produção de raízes finas em nenhuma das camadas devido a não ocorrência de precipitações nos meses anteriores a coleta (Figura 8). Na coleta de mar/2016 não foi possível efetuar as coletas em camadas pois os solos estavam desestruturados devido ao peneiramento utilizado na implantação dos núcleos de crescimento interno.

Figura 11 - Distribuição da BRF, CRF e CeRF em FTS, Ceará, Brasil.



Fonte: elaborada pelo autor.

Legenda: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre as camadas na mesma classe a 5% de significância pelo Teste de Kruskal-Wallis. Outliers: ° discrepantes; \* extremos. Variáveis: Biomassa de raízes finas (BRF), Comprimento de raízes finas (CRF) e Comprimento específico de raízes finas (CeRF).



Analisando a distribuição vertical da BRF, CRF e CeRF na coleta de julho de 2016 (Figura 11) se observa que nenhuma das variáveis apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as camadas, ou seja, as raízes finas se distribuíram de forma homogênea. Entre jul e nov/2016 ocorreu um incremento médio da BRF (<2 mm) de 2,70% na camada de 0-10 cm, enquanto nas camadas de 10-20 e 20-30 cm houve uma redução média da BRF de 22,51% e 52,44%, respectivamente. Com isto, na coleta de nov/2016, a BRF (<2 mm) foi significativamente ( $p < 0,05$ ) maior na camada de 0-10 cm em relação a de 20-30 cm (Figura 5). Este comportamento também foi observado na BRF (0-1 mm), entretanto a BRF (1-2 mm) distribuiu-se de forma homogênea nas camadas do solo.

O CRF (<2 mm) sofreu perdas de 11,09; 40,68 e 42,04%, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente, não apresentando diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as camadas. Este comportamento também foi observado nas classes de 0-1 e 1-2 mm. No CeRF (<2 mm) ocorreu reduções nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (5,52 e 28,19%, respectivamente) e um incremento de 3,59% na camada de 20-30 cm, o que resultou em uma diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as camadas de 20-30 cm e de 0-10 cm. Este comportamento também foi observado na classe de 1-2 mm.

Entre nov/2016 e mar/2017 ocorreram incrementos na BRF (<2 mm), 50,23; 20,72 e 60,61% nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente, porém, não havendo diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre as mesmas (Figura 11, Tabela 14 – Apêndice B). Este comportamento foi observado também na classe de 1-2 cm e na classe de 0-1 cm houve uma quantidade significativamente menor de raízes finas na camada de 20-30 cm. Já na CRF (<2 mm) ocorreram incrementos de 113,23; 64,31 e 33,30% para as camadas de 0-10, 10-20 e 20-30, respectivamente. O padrão de distribuição nesta coleta foi igual ao da BRF. No CeRF registrou-se incrementos de 58,79 e 61,52% nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente e uma redução de 7,54% na camada de 20-30 cm, não havendo diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Entre mar/2017 e jul/2017, a BRF (< 2 mm) apresentou 19,42% de incremento na camada de 0-10 cm e reduções de 0,86 e 22,99% nas camadas de 10-20 e 20-30 cm, respectivamente. Tais resultados culminaram em uma concentração de 57% na camada de 0-10 cm (Figura 11, Tabela 14 – Apêndice B), diferindo estatisticamente ( $p < 0,05$ ) da camada de 20-30 cm. Uma maior concentração na camada superficial foi observada também nas classes <1 mm e 1-2 mm.

O CRF (< 2 mm) apresentou aumentos de 39,44 e 30,68% nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Na camada de 20-30 cm houve uma redução de 10,48%. A CRF (<

2 mm) também ficou concentrada na camada de 0-10 cm (50%), sendo significativamente superior à camada de 20-30 cm (Figura 11, Tabela 14 – Apêndice B). Este comportamento se repetiu na classe de 0-1 cm. Na classe de 1-2 mm, o CRF foi significativamente maior nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. O CeRF (< 2 mm) apresentou uma redução de 2,02% na camada de 0-10 cm e incrementos de 9,54 e 15,25% nas camadas de 10-20 e 20-30 cm, respectivamente. No entanto, as camadas continuaram sem apresentar diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

## **Discussão**

### ***Dinâmica temporal das raízes finas na camada de 0-30 cm***

Os resultados de BRF (< 2 mm) na coleta testemunha (jul/2015) (Figura 10, Tabela 13 – Apêndice B) na camada de 0-30 cm são condizentes com trabalhos realizados em outras áreas de FTS, nos quais foram encontrados valores médios de BRF (<2 mm) entre 0,76 e 6,5 Mg ha<sup>-1</sup> (PEREIRA JUNIOR *et al.*, 2016; AQUINO *et al.*, 2017). As raízes finas quantificadas em jul/2015 representam o sistema radicular da vegetação em regeneração há 31 anos, as quais são caracterizadas pela constante morte e decomposição dos tecidos radiculares e pela formação de novas raízes.

A ausência na formação de raízes no período de agos/2015 a nov/2015 se explica pela não ocorrência de precipitações (Figura 8), e conseqüentemente uma baixa umidade do solo (MENDES *et al.*, 2013; MELO; MONTENEGRO, 2015). A redução significativa da umidade pode impedir a produção de novas raízes principalmente devido alterações no turgor do sistema radicular, nas propriedades físicas do solo ou na quantidade de CO<sub>2</sub> assimilado na fotossíntese (BENGOUGH *et al.*, 2006; METCALFE, 2007). Devido ao déficit hídrico durante a estação seca, os estômatos são fechados e ocorre uma redução significativa no folheto, tornando-se nula a taxa de fotossíntese (OLIVEIRA *et al.*, 2006). Portanto, no período em que as plantas não estão elaborando fotossíntese, estas se mantêm somente das reservas acumuladas durante o período chuvoso, não ocorrendo produção de novas raízes de absorção, visto que o solo não apresenta umidade disponível para o consumo das plantas. Apesar do sistema radicular poder apresentar crescimento em condições de estresse hídrico moderado, a longo prazo e em condições severas este crescimento é prejudicado (TARDIEU, 1996).

Com a elevada produção das raízes de <1 mm registradas entre nov/2015 e mar/2016, as mesmas não diferiram estatisticamente da coleta testemunha. Este resultado significa que o início da estação chuvosa (Figura 8) foi suficiente para promover uma produção

significativa de biomassa das raízes muito finas (Figura 10, Tabela 13 – Apêndice B). Esta produção foi impulsionada pelas precipitações dos 3 meses anteriores a coleta, totalizando uma precipitação acumulada de 247,1 mm. Esta regeneração mais rápida em relação a BRF (<2 mm) se deve as raízes de menores diâmetros serem as primeiras a formarem-se e apresentarem uma rápida resposta a ocorrência de precipitações. As raízes finas concentram seu crescimento no período logo após as primeiras chuvas, podendo o sistema ser totalmente implantado antes do início da percolação da água no solo (KAVANAGH; KELLMAN, 1992). Portanto esse rápido crescimento das raízes finas seria uma adaptação para se ter um maior aproveitamento da água nos solos

Em relação ao CRF, as três classes não diferiram estatisticamente da coleta de jul/2015, portanto os 247,1 mm ocorridos nos três primeiros meses da estação chuvosa promoveram a recuperação do comprimento das raízes que passaram a não diferir estatisticamente das observadas em jul/2015. O CeRF (< 2 mm) de  $12,2 \pm 4,7 \text{ km kg}^{-1}$  foi o maior dentre todas as coletas, entretanto não diferiu estatisticamente das outras coletas (Figura 4). No primeiro período, no qual as raízes começaram a se desenvolver, houve um maior investimento no alongamento de suas estruturas, recuperando em média 30% do comprimento que tinham em jul/2015.

No final da estação chuvosa de 2016 (Figura 8), a BRF nas classes de 1-2 mm e < 2 mm não diferiram estatisticamente da produção de biomassa encontradas na FTS em regeneração há 31 anos, enquanto que o comprimento das raízes finas apresentou uma produção estatisticamente similar com apenas três meses de chuvas (Figura 10). Isto mostra um maior investimento em comprimento no início do desenvolvimento, entretanto esse comportamento não resultou em valores significativamente maiores do CeRF em mar/2016. Nesta coleta (jul/2016), aproximadamente 68% das raízes finas produzidas eram da classe 1-2 mm, mostrando que as raízes muito finas que predominavam na coleta de mar/2016 aumentaram rapidamente em diâmetro entre essas duas coletas, e com 12 meses de experimento as raízes da classe 1-2 mm seriam as predominantes no solo. Este padrão de maior proporção de raízes finas da classe 1-2 mm se manteve até o fim do experimento.

As reduções das raízes finas entre jul/2016 e nov/2016 não foram suficientes para que a BRF e CRF diferissem das demais coletas. Portanto, é possível afirmar que a não ocorrência de precipitações influenciou na produção de raízes finas, porém essa influência não foi significativa. Um valor semelhante de redução de BRF (<2 mm) entre as estações chuvosa e seca foi observado por Pereira Junior *et al.* (2016) em fragmento de FTS na camada de 0-30 cm (em torno de 25%). Contudo Aquino *et al.* (2017) observaram uma menor redução (12,5%)

na BRF na camada de 0-30 cm entre as estações chuvosa e seca.

No início da segunda estação chuvosa (nov/2016-mar/2017) após a instalação do experimento, as raízes finas cresceram  $1,20 \text{ km m}^{-2}$  com um investimento de  $1,47 \text{ mg ha}^{-1}$  na classe de 1-2, enquanto na classe de 0-1 foi investido somente  $0,21 \text{ mg ha}^{-1}$ . Isto resultou num valor maior de CeRF nas raízes muito finas ( $16,43 \text{ km kg}^{-1}$ ). Entretanto este valor não diferiu estatisticamente das outras classes (Figura 10).

A BRF ( $<2 \text{ mm}$ ) nas coletas de mar/2017 e jul/2017 não diferiram estatisticamente ( $\rho < 0,05$ ), da produção computada em jul/2015, jul/2016 e nov/2016 (Figura 10, Tabela 13 – Apêndice B). Considerando estes resultados pode-se afirmar que a FTS recuperou sua BRF ( $< 2 \text{ mm}$ ) com um ano de experimento e que a partir disto, manteve-se relativamente constante. Em relação ao CRF ( $<2 \text{ mm}$ ) ocorreu um crescimento mais rápido nos primeiros meses do experimento, não havendo diferença significativa ( $\rho < 0,05$ ) entre a coleta de mar/2016 e a testemunha. Portanto, a precipitação acumulada de  $247,1 \text{ mm}$  ocorrida nos três primeiros meses da estação chuvosa (Figura 8) foi suficiente para elevar o CRF à condição da FTS com 31 de regeneração, o que mostra um maior investimento em crescimento de raízes finas, o que é uma estratégia para explorar um maior volume de solo com um investimento menor de recursos (PEREZ-HARGUINDEGUY *et al.*, 2013).

### ***Dinâmica espaço-temporal das raízes finas***

Em jul/2015 a produção de BRF não apresentou diferença significativa ( $\rho < 0,05$ ) entre as três camadas estudadas (Figura 11). Acredita-se que a ocorrência de raízes finas ao longo dos 30 cm de solo seja devido as precipitações acumuladas ( $438 \text{ mm}$ ) nos quatro meses que antecederam a coleta, os quais representam  $63,8\%$  da precipitação total ocorrida no ano. Portanto, entendemos que uma lâmina pluviométrica de  $438 \text{ mm}$  seja suficiente para promover o armazenamento de água ao longo dos primeiros 30 cm do perfil do solo, fazendo com que as raízes finas se aprofundem em busca de água e dos nutrientes dissolvidos na solução do solo. A ocorrência de uma maior profundidade do sistema radicular durante a estação chuvosa em FTS, também foi observado por Pinheiro *et al.* (2013).

Embora a BRF tenha apresentado uma distribuição homogênea nas três camadas, o CRF foi significativamente maior na camada de 0-10 cm ( $2,5 \pm 0,6 \text{ km m}^{-2}$ ) (Figura 11). Como apenas a classe  $<1 \text{ mm}$  apresentou este comportamento, pode-se afirmar que na camada de 0-10 cm as raízes mais finas apresentaram um maior investimento em comprimento. Porém, por possuírem uma biomassa inferior as das raízes com maior espessura, um maior CRF não

resultou em uma BRF significativamente maior. Tal comportamento resultou em um CeRF (<1 mm) significativamente ( $p < 0,05$ ) maior na camada de 0-10 cm em relação a camada mais profunda, evidenciando uma produção maior de comprimento por unidade de massa investida na camada mais superficial das raízes < 1 mm (CORNELISSEN *et al.*, 2003; PEREZ-HARGUINDEGUY *et al.*, 2013). O CeRF está relacionado com a estrutura das raízes, tendo influência sobre a densidade do tecido radicular e o diâmetro radicular (CORNELISSEN *et al.*, 2003; PEREZ-HARGUINDEGUY *et al.*, 2013). O aumento da CeRF pode ser uma estratégia alternativa da planta para estimular a absorção de água em condições de estresse hídrico (METCALFE *et al.*, 2008), sem precisar aumentar a biomassa radicular, produzindo raízes mais finas com um comprimento e área de superfície relativamente maiores por unidade de massa. Entretanto, o estresse hídrico pode estar relacionado ao aumento da espessura da raiz ou da densidade do tecido radicular, o que resulta na redução do CeRE (van NOORDWIJK; van DE GEIJN; 1996). O aumento da densidade do tecido radicular faz com que as raízes tenham maior capacidade para penetrar o solo, o que melhora a dispersão nos solos com umidades baixas (ALMEIDA, 2016).

Como esta redução do CeRF (<1 mm) na camada mais profunda somente ocorreu nesta coleta testemunha, não se repetindo nas outras coletas com condições climáticas semelhantes, possivelmente este comportamento esteja relacionado a maior densidade do solo na camada de 20-30 cm (Tabela 5). Para as outras coletas, devido a metodologia para retirada de raízes, há quebra da estrutura do solo e conseqüente redução da densidade do solo na terceira camadas, o que pode ter facilitado o desenvolvimento das raízes. Portanto, atribui-se essa redução da CeRF (<1 mm) ao aumento da densidade na camada 20-30, o que faria com que estas raízes muito finas precisassem de tecidos com estruturas mais fortes para conseguir penetrar o solo, e conseqüentemente um maior investimento em biomassa por unidade de comprimento. Bejarano *et al.* (2010) relatam que solos com maior densidade e resistência à penetração podem exigir um maior investimento em energia para o desenvolvimento de raízes, o que aumenta o custo de energia para as plantas e potencialmente reduz sua taxa de crescimento. Como não ocorreu um aumento no DRF (<1 mm) na camada de 20-30 cm, atribui-se esse aumento do CeRF (<1 mm) ao aumento na densidade do tecido radicular (PEREZ-HARGUINDEGUY *et al.*, 2013). O aumento da densidade de tecido radicular proporciona rigidez e força as raízes, o que resulta numa maior resistência ao encolhimento ou à ruptura (CHIMUNGU; LOADES; LYNCH, 2015).-

As distribuições verticais homogêneas da BRF, CRF e CeRF na coleta de jul/2016 (Figura 11) indicam que havia uma disponibilidade de água uniforme no solo, o que deve estar

relacionado a ocorrência de precipitações suficientes (379,2 mm entre mar/2016 e jul/2016) para o abastecimento de umidade ao longo do perfil do solo. Além da disponibilidade hídrica, outro fator que pode ter favorecido o aprofundamento das raízes finas é a quebra da estrutura do solo devido a metodologia para retirada de raízes.

A análise da distribuição vertical da BRF, CRF e CeRF realizada no final da estação seca (nov/2016) mostrou redução com a profundidade, diminuindo sua extensão em todas as camadas e alocando principalmente sua biomassa na camada superficial e intermediária (Figura 5). Acredita-se que a ocorrência de quatro meses sem precipitação pluviométrica (Figura 8) resultou na falta de umidade no solo e fez com que as raízes finas reduzissem sua profundidade. Esta redução na profundidade do sistema radicular pode ser uma adaptação das plantas da FTS ao déficit hídrico, uma vez que a emissão de raízes lateralmente promove a manutenção e absorção de solutos com um menor consumo de energia (ADIKU *et al.*, 2000). As reduções nos valores de CeRF (Figura 11), significa um maior investimento nas estruturas das raízes. Como ocorreu pequena redução no diâmetro médio dessas raízes, entende-se que o decréscimo do CeRF foi causado pelo aumento da densidade da parede celular (PEREZ-HARGUINDEGUY *et al.*, 2013). As reduções do CeRF foram significativas ( $p < 0,05$ ) nas classes de 10-20 e 20-30.

Embora nas FTS, as camadas mais profundas no solo apresentem uma umidade superior à das camadas superficiais (STRATTON; GOLDSTEIN; MEINZER, 2000; SANTOS, 2010; MARKESTEIJN *et al.*, 2010), trata-se de teores de umidade muito baixos. Na estação seca a umidade do solo é de 6 e 8%, nas camadas de 0-10 cm e 40-60 cm, respectivamente (MENDES *et al.*, 2013). Além disto, nestes períodos secos a umidade do solo é classificada com ineficaz (COSTA *et al.*, 2013) e que a água se encontra em forma não disponível para os vegetais (SANTOS, MONTENEGRO; SILVA, 2011). Portanto, mesmo que a umidade no solo na estação seca seja maior nas camadas mais profundas, ainda assim estes valores são muito próximos ou inferiores ao ponto de murcha permanente, o que não justifica o investimento da planta em aprofundar seu sistema radicular em busca de água.

Na distribuição vertical de mar/2017 (Figura 11), as raízes da classe (1-2 mm) não apresentaram diferença significativa de produção nas três camadas. A ocupação de toda camada (0-30 cm) do solo pelas raízes menos finas deve estar relacionada as precipitações que acumularam 398,4 mm no período de nov/2016 a mar/2017, promovendo o armazenamento de água em todo perfil do solo. Nos períodos chuvosos e tendo o solo condições boas de infiltração, pode ocorrer a saturação do solo até maiores profundidades (REICHERT *et al.*, 2011). Observa-se em áreas de FTS, umidades gravimétricas de aproximadamente 20% em camadas mais

profundas (40-60 cm) no período chuvoso (MENDES *et al.*, 2013).

O aprofundamento do sistema radicular é decorrente da busca de nutrientes dissolvidos na solução do solo pelo pelas raízes para atender a elevada demanda do sistema vegetativo (formação de estruturas de crescimento e reprodutivas) durante o início da estação chuvosa, ou seja, momento em que ocorre a disponibilidade hídrica no solo. A estação chuvosa no Semiárido Brasileiro dificilmente é superior a quatro meses (PEREIRA; ANDRADE, 2017). Portanto, as plantas nesta região possuem um pequeno tempo (cerca de 4 meses) com condições ótimas para o seu desenvolvimento (SOUZA; ARTIGAS; LIMA, 2015).

O incremento na produção de raízes muito finas (<1 mm) na camada mais profunda (20-30 cm) no início da estação chuvosa (coleta mar/2017) não foi suficiente para promover produção semelhante a camada superficial (Figura 11). O que significa que as raízes muito finas (<1 mm) não recuperam sua biomassa nem comprimento no início de estação chuvosa na camada mais profunda.

A distribuição vertical da BRF (<2 mm) em jul/2017 apresentou uma diferença significativa entre as camadas de 0-10 e 20-30 cm, devido ao incremento em biomassa de raízes muito finas na camada de 0-10 cm, já identificado na coleta de mar/2017 (Figura 11, Tabela 14 – Apêndice B). Já na classe 1-2 mm, principalmente nas camadas de 10-20 e 20-30 cm, identificou-se redução da BRF. Portanto, as raízes finas (<2 mm) tiveram um incremento de 19% na camada mais superficial e uma redução de 23% na camada mais profunda. Em relação ao CRF (<2 mm), foi observado comportamento semelhante ao da BRF (<2 mm), com a maior parte das raízes concentrada na camada de 0-10 cm (50%). Como não foram encontradas diferenças nas condições climáticas deste período em relação ao mesmo período do ano anterior, acredita-se que estas variações das raízes finas estejam relacionadas ao próprio comportamento das plantas. A redução no diâmetro médio das raízes finas observada na última coleta pode expressar uma renovação das mesmas, e que estas estejam sendo alocadas principalmente nas camadas com maior quantidade de nutrientes disponíveis (BLAIR; PERFECTO, 2001).

## **Conclusões**

A dinâmica de desenvolvimento das raízes finas em FTS em regeneração está condicionada pela sazonalidade pluviométrica. O crescimento das raízes finas é fortemente limitado nas estações secas, ocorrendo reduções do comprimento em todas as camadas e uma redução significativa (52%) da biomassa na camada mais profunda. O sistema radicular das

camadas mais profundas se mostraram mais sensíveis ao déficit hídrico do que as camadas superiores. A redução do comprimento específico das raízes finas expressa um maior investimento em estrutura das raízes, que foi causada pelo aumento da densidade da parede celular visto que não se observou o aumento do diâmetro média das raízes finas.

O sistema radicular apresentou uma rápida resposta de desenvolvimento a ocorrência de precipitações, principalmente no seu comprimento. As raízes finas se regeneraram nas precipitações ocorridas no início da primeira estação chuvosa após a implantação do experimento. Ao final da primeira estação chuvosa, a biomassa de raízes, também, já havia se recuperando. Este rápido desenvolvimento expressa uma alta eficiência do sistema radicular no aproveitamento da umidade do solo. O maior investimento em comprimento por unidade de massa é uma estratégia para explorar um maior volume de solo com um menor investimento de energia.



## REFERÊNCIAS

- ADIKU, S. G. K. *et al.* On the simulation of root water extraction: examination of a minimum energy hypothesis. **Soil Science**, [S.l.], v. 165, n. 3, p. 226-236, 2000.
- ALBUQUERQUE, E. R. *et al.* Root biomass under stem bases and at different distances from trees. **Journal Of Arid Environments**, [S.l.], v. 116, p.82-88, maio 2015.
- ALMEIDA, C. L. **Relações solo-planta-atmosfera em caatinga preservada: o caso da bacia experimental de aiuaba.** 2016. 128 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- ANDRADE, E. M. *et al.* Uncertainties of the rainfall regime in a tropical semi-arid region: the case of the State of Ceará. **Revista Agro@ mbiente On-line**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 88-95, 2016.
- AQUINO, D. N. *et al.* Belowground Carbon and Nitrogen on a Thinned and Un-Thinned Seasonally Dry Tropical Forest. **American Journal of Plant Sciences**, [S.l.], v. 8, n. 09, p. 2083, 2017.
- ASSEFA, D. *et al.* Fine Root Dynamics in Afromontane Forest and Adjacent Land Uses in the Northwest Ethiopian Highlands. **Forests**, [S.l.], v. 8, n. 7, p. 249, 2017.
- BARBOSA, D.C. DE A.; BARBOSA, M. C. DE A.; LIMA, L.C.M. Fenologia de espécies lenhosas da Caatinga. *In*: LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; DA SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Editora Universitária UFPE, Recife, p. 657-693, 2003.
- BEJARANO, M. D. *et al.* Effects of soil compaction and light on growth of *Quercus pyrenaica* Willd.(Fagaceae) seedlings. **Soil and Tillage Research**, [S.l.], v. 110, n. 1, p. 108-114, 2010.
- BENGOUGH, A. G. *et al.* Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.], v. 57, n. 2, p. 437-447, 2006.
- BLAIR, B. C.; PERFECTO, I. Nutrient content and substrate effect on fine root density and size distribution in a Nicaraguan rain forest. **Biotropica**, [S.l.], v. 33, n. 4, p. 697-701, 2001.
- CAMARGO RODRIGUEZ, I. D.; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, N. Nuevas perspectivas para el estudio de la asignación de biomasa y su relación con el funcionamiento de plantas en ecosistemas neotropicales. **Acta Biológica Colombiana**, Bogotá, v. 11, 2006.
- CHIMUNGU, J. G.; LOADES, K. W.; LYNCH, J. P. Root anatomical phenes predict root penetration ability and biomechanical properties in maize (*Zea Mays*). **Journal of experimental botany**, [S.l.], v. 66, n. 11, p. 3151-3162, 2015.
- CORNELISSEN, J. H.C. *et al.* A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v.51, p.335-380, 2003.
- COSTA, C. A. G. *et al.* Spatial behaviour of soil moisture in the root zone of the Caatinga

biome. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 685-694, 2013.

COSTA, T. L. *et al.* Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. **Plant and soil**, [S.l.], v. 378, n. 1-2, p. 113-123, 2014.

COSTA, C. A. G. **Umidade do solo e disponibilidade hídrica na zona das raízes em condições naturais de caatinga preservada**. 2012. 182 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

CUEVAS, E.; MEDINA, E. Nutrient dynamics within Amazonian forests. **Oecologia**, [S.l.], v. 76, n. 2, p. 222-235, 1988.

DOMBROSKI, J. L. D. *et al.* Water relations of Caatinga trees in the dry season. **South African Journal of Botany**, [S.l.], v. 77, n. 2, p. 430-434, 2011.

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

EAMUS, D. Ecophysiological traits of deciduous and evergreen woody species in the seasonally dry tropics. **Trends in Ecology & Evolution**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 11-16, 1999.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306p.

FEDDES, R. A. *et al.* Modeling root water uptake in hydrological and climate models. **Bulletin of the American meteorological society**, [S.l.], v.82, n.12, p. 2797-2809, 2001.

FEITOSA, R.C. **Estoque de carbono em Floresta Tropical Sazonalmente Seca no nordeste do Brasil: uma comparação entre dois usos do solo**. 2017. 97 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; ARAÚJO CARNEIRO, J. G. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 133-142, 2008.

GALKOVSKYI, T. *et al.* GiA Roots: software for the high throughput analysis of plant root system architecture. **BMC plant biology**, [S.l.], v.12, n.01, p.01, 2012.

GARRETT, T. Y.; HUYNH, C-V. NORTH, G.B. Root contraction helps protect the “living rock” cactus *Ariocarpus fissuratus* from lethal high temperatures when growing in rocky soil. **American Journal of Botany**, [S.l.], v.97, n.12, p.1951–1960, 2010.

JACKSON, R.B; MOONEY, H. A.; SCHULZE, E. D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [S.l.], v. 94, n.14, p.7362-7366, 1997.

KAVANAGH, T.; KELLMAN, M. Seasonal pattern of fine root proliferation in a tropical dry forest. **Biotropica**, [S.l.], p. 157-165, 1992.

LIMA, A. L. A.; RODAL, M. J. N. Phenology and wood density of plants growing in the

semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, [S.l.], v. 74, n. 11, p. 1363-1373, 2010.

LIMA, T. T. S.; MIRANDA, I. S.; VASCONCELOS, S. S. Fine-root production in two secondary forest sites with distinct ages in Eastern Amazon. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 95-104, 2012.

LUKAC, M. Fine root turnover. In: MANCUSO, S. **Measuring Roots**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. Cap.18, p.363-373.

MARKESTEIJN, L. *et al.* Seasonal variation in soil and plant water potentials in a Bolivian tropical moist and dry forest. **Journal of Tropical Ecology**, [S.l.], v. 26, n. 5, p. 497-508, 2010.

MCGRODDY, M.; SILVER, W. L. Variations in belowground carbon storage and soil CO<sub>2</sub> flux rates along a wet tropical climate gradient. **Biotropica**, [S.l.], v. 32, n. 4, p. 614-624, 2000.

MELO, R. O.; MONTENEGRO, A.A.A. Dinâmica temporal da umidade do solo em uma bacia hidrográfica no semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 430-441, 2015.

MENDES, M. M. DE S. *et al.* Ecophysiology of deciduous plants grown at different densities in the semiarid region of Brazil. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, [S.l.], v. 25, n. 2, p. 94-105, 2013.

METCALFE, D. B. **Understanding the effects of drought upon carbon allocation and cycling in an Amazonian rain forest**. 2007. 247 p. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, School of GeoSciences, University of Edinburgh, 2007.

METCALFE, D. B. *et al.* The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 311, n. 1-2, p. 189-199, 2008.

NORTH, G. B.; BRINTON, E. K.; GARRETT, T. Y. Contractile roots in succulent monocots: convergence, divergence and adaptation to limited rainfall. **Plant, Cell and Environment**, [S.l.], v. 31, p.1179–1189, 2008.

OLIVEIRA, M.B.L. *et al.* Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de caatinga e atmosfera no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.l.], v.21, p.378-386, 2006.

PEREIRA, O.J.; ANDRADE, E. M. Alternativas de convivência com o semiárido. In: ANDRADE, E.M.; PEREIRA, O.J; DANTAS, F.E.R. **O Semiárido e o manejo dos recursos naturais**. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, p. 1-22, 2016.

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

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. *et al.* New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v.61, p.167-234,

2013. doi: 10.1071/BT12225

PINHEIRO, E. A. R.; COSTA, C. A. G.; DE ARAÚJO, J. C. Effective root depth of the Caatinga biome. **Journal of Arid Environments**, [S.l.], v. 89, p. 1-4, 2013.

REICHERT, J. M. *et al.* Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, v. 7, p. 1-54, 2011.

ROSADO, B. H. P. *et al.* Fine root biomass and root length density in a lowland and a montane tropical rain forest, SP, Brazil. **Biota Neotropica**, [S.l.], v.11, n.03, p.203-209, 2011.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2002, 145p.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.l.], v.15, n.7, p.670–679, 2011.

SANTOS, T. E. M. **Dinâmica espacial e temporal da umidade do solo em bacia experimental do semiárido pernambucano**. 2010. 68 p. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

SHIPLEY, B.; MEZIANE, D. The balanced-growth hypothesis and the allometry of leaf and root biomass allocation. **Functional Ecology**, [S.l.], v. 16, n. 3, p. 326-331, 2002.

SILVA, J. M.S. **Estrutura dos sistemas radicais e dinâmica da água no solo numa comunidade arbustiva da Tapada Nacional de Mafra**. 2002.137 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 2002.

SILVER, W. L. *et al.* Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils. **Global Change Biology**, [S.l.], v.11, n.02, p.290-306, 2005.

SOETHE, N.; LEHMANN, J.; ENGELS, C. The vertical pattern of rooting and nutrient uptake at different altitudes of a south Ecuadorian montane forest. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 286, n. 1, p. 287-299, 2006.

STRATTON, L. C.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C. Temporal and spatial partitioning of water resources among eight woody species in a Hawaiian dry forest. **Oecologia**, [S.l.], v. 124, n. 3, p. 309-317, 2000.

SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. The Caatinga and desertification. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 131-150, 2015.

SOUZA, B. C. *et al.* Divergências funcionais e estratégias de resistência à seca entre espécies decíduas e sempre verdes tropicais. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 1, p. 021-032, 2015.

STEINGROBE, B.; SCHMID, H.; CLAASSEN, N. The use of the ingrowth core method for measuring root production of arable crops - influence of soil conditions inside the ingrowth

core on root growth. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, [S.l.], v. 163, p. 617-622, 2000.

TARDIEU, F. Drought perception by plants do cells of droughted plants experience water stress? **Plant growth regulation**, [S.l.], v. 20, n. 2, p. 93-104, 1996.

van NOORDWIJK, M.; van DE GEIJN, S. C. Root, shoot and soil parameters required for process-oriented models of crop growth limited by water or nutrients. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 183, p.1-25, 1996.

van WIJK, M.T. Understanding plant rooting patterns in semi-arid systems: an integrated model analysis of climate, soil type and plant biomass. **Global Ecology and Biogeography**, [S.l.], v.20, p. 331–342, 2010.

VISALAKSHI, N. Fine root dynamics in two tropical dry evergreen forests in southern India. **Journal of Biosciences**, [S.l.], v. 19, n. 1, p. 103-116, 1994.

YANG, L.; WU, S.; ZHANG, L. Fine root biomass dynamics and carbon storage along a successional gradient in Changbai Mountains, China. **Forestry**, [S.l.], v. 83, n. 4, p. 379-387, 2010.

YAVITT, J. B.; WRIGHT, S. J. Drought and irrigation effects on fine root dynamics in a tropical moist forest, Panama. **Biotropica**, [S.l.], v. 33, n. 3, p. 421-434, 2001.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho aponta que existe uma grande amplitude no estoque total de biomassa e de carbono entre as áreas de vegetação nativa e as áreas alteradas para práticas agrícolas e pastoris em FTS. O que está relacionado a grande capacidade de estoque nas áreas de vegetação nativa (devido sua sinúsia arbustiva e arbórea com maior porte) e a pequena capacidade nas áreas de AG e PA. Portanto, o processo de substituição das áreas de vegetação nativa por áreas de cultivo agrícola e pastagem (muito comum na FTS-Caatinga) implica em reduções significativas nos estoques de Biomassa e Carbono, o que pode trazer consequências graves sobre este ecossistema, como também pode contribuir nos processos relacionados as mudanças climáticas. Com base nestas informações, recomenda-se um controle rigoroso sobre as alterações do uso da terra nas áreas nativas de FTS-Caatinga, assim como aumento das áreas de conservação e a aplicação do manejo sustentável na exploração florestal.

As diferenças entre as razões raiz:parte aérea nos dois solos estudados mostram uma alocação proporcionalmente maior da quantidade de biomassa no sistema radicular nos Neossolos, o que indica uma maior necessidade de investimento em raízes neste solo (mais raso e menos fértil) para a fixação das plantas e absorção satisfatória de água e nutrientes. Recomenda-se a repetição deste experimento em outras áreas de FTS para verificação desta característica do sistema radicular.

Os resultados semelhantes encontrados com o uso de diferentes parcelas circulares (raios de 3,4 e 5 m) mostraram que todas foram adequadas para estimar a biomassa aérea com objetivo de relacioná-la com a biomassa das raízes coletadas em trincheiras no centro da parcela circular. Portanto, recomenda-se a utilização de parcelas com raio de 3 metros para tornar mais rápido o processo de amostragem desta metodologia.

Os resultados da dinâmica de desenvolvimento das raízes finas em FTS em regeneração indicam que a sazonalidade pluviométrica é um fator que condiciona este desenvolvimento do sistema radicular. Na estação seca, o sistema radicular sofre com o déficit hídrico e as plantas conseguem apenas manter parte de suas raízes finas concentradas na camada superficial do solo. E o crescimento das raízes finas ocorre fundamentalmente nas estações chuvosas, nas quais há uma rápida resposta de desenvolvimento a ocorrência de precipitações, principalmente no seu crescimento em comprimento. Recomenda-se a repetição deste experimento em outros tipos de solo e usos da terra em FTS-Caatinga.

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. O domínio morfoclimático semi-árido das Caatingas brasileiras. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 43, p. 1–39, 1974.
- ACHAT, D.L.; BAKKER, M.R.; TRICHET, P. Rooting patterns and fine root biomass of *Pinus pinaster* assessed by trench wall and core methods. **Journal of Forest Research**, [S.l.], v.13, n.03, p.165-175, 2008.
- ADIKU, S. G. K. *et al.* On the simulation of root water extraction: examination of a minimum energy hypothesis. **Soil Science**, [S.l.], v. 165, n. 3, p.226-236, mar. 2000.
- AGUIAR, M. I. *et al.* Carbon sequestration and nutrient reserves under different land use systems. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 81-93, 2014.
- ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissole em Sumé (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p.121-128, mar. 2001.
- ALBUQUERQUE, E. R.G.M. *et al.* Root biomass under stem bases and at different distances from trees. **Journal of Arid Environments**, [S.l.], v. 116, p. 82-88, 2015a.
- ALBUQUERQUE, E.R.G.M. *et al.* Distribuição Vertical de Raízes em Áreas de Caatinga em Diferentes Tipos de Solo. In: **Simpósio de mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro**, 2015b, Petrolina. Experiências e oportunidades para o desenvolvimento. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015b. 1 CD-ROM.
- ALCOFORADO FILHO, F. G.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODAL, M. J. N. Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia arbórea em Caruaru, Pernambuco. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 17, p. 287-303, 2003.
- ALMEIDA, C. L. **Relações solo-planta-atmosfera em caatinga preservada: o caso da bacia experimental de Aiuaba**. 2016. 128 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 149–153, 1981.
- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. O semiárido cearense e suas águas. In: ANDRADE, E.M.; PEREIRA, O.J; DANTAS, F.E.R. **O Semiárido e o manejo dos recursos naturais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, p. 71-94, 2010.
- ANDRADE, E. M. *et al.* Uncertainties of the rainfall regime in a tropical semi-arid region: the case of the State of Ceará. **Revista Agroambiente On-line**, Boa Vista, v. 10, n. 2, p. 88-95, 2016.
- ANDRADE, R. L. *et al.* Deposição de serrapilheira em área de Caatinga na RPPN “Fazenda Tamanduá”, Santa Terezinha – PB. **Caatinga**, Mossoró, v.21, n. 2, p.223-230. 2008.
- ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 3 jan. 2018.

AQUINO, D. N. **Ciclagem de carbono e caracterização espectral em áreas de caatinga raleada e conservada**. 2015. 180 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

AQUINO, D. N. *et al.* Belowground Carbon and Nitrogen on a Thinned and Un-Thinned Seasonally Dry Tropical Forest. **American Journal of Plant Sciences**, [S.l.], v. 8, n. 09, p. 2083, 2017.

AQUINO, D. N. *et al.* Nutrient cycling and CO<sub>2</sub> emissions in areas of preserved and thinned caatinga. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 41, n. 3, 2017.

ARAÚJO, E. L. *et al.* Diversidade de herbáceas em microhabitats rochoso, plano e ciliar em uma área de caatinga, Caruaru, PE. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 19, p. 285-294, 2005.

ASSEFA, D. *et al.* Fine Root Dynamics in Afromontane Forest and Adjacent Land Uses in the Northwest Ethiopian Highlands. **Forests**, [S.l.], v. 8, n. 7, p. 249, 2017.

BARBOSA, D.C. DE A.; BARBOSA, M. C. DE A.; LIMA, L.C.M. Fenologia de espécies lenhosas da Caatinga. *In*: LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; DA SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Editora Universitária UFPE, Recife, p. 657-693, 2003.

BECKNELL, J. M.; KUCEK, L. K.; POWERS, J. S. Aboveground biomass in mature and secondary seasonally dry tropical forests: A literature review and global synthesis. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 276, p. 88-95, 2012.

BEJARANO, M. D. *et al.* Effects of soil compaction and light on growth of *Quercus pyrenaica* Willd.(Fagaceae) seedlings. **Soil and Tillage Research**, [S.l.], v. 110, n. 1, p. 108-114, 2010.

BENGOUGH, A. G. *et al.* Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.], v. 57, n. 2, p. 437-447, 2006.

BERT, D.; DANJON, F. Carbon concentration variations in the roots, stem and crown of mature *Pinus pinaster* (Ait.). **Forest Ecology And Management**, [S.l.], v. 222, n. 1-3, p.279-295, fev. 2006.

BLAIR, B. C.; PERFECTO, I. Nutrient content and substrate effect on fine root density and size distribution in a Nicaraguan rain forest. **Biotropica**, [S.l.], v. 33, n. 4, p. 697-701, 2001.

BRASIL, F. C.; ZONTA, E.; OLIVEIRA, M. R. G. Métodos de amostragem e quantificação para estudos do sistema radicular em condições de campo - Uma revisão crítica. **Revista Ciência da Vida**, Seropédica, v. 27, p. 14-33, 2007.

BRASSARD, B. W.; CHEN, H. Y. H.; BERGERON, Y. Influence of Environmental Variability on Root Dynamics in Northern Forests. **Critical Reviews In Plant Sciences**, [S.l.], v. 28, n. 3, p.179-197, 3 abr. 2009.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer**. Roma, p. 55, 1997. Disponível em:<<http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.htm>>. Acesso em: 1 abril. 2018.



CAMARGO RODRIGUEZ, I. D.; RODRÍGUEZ-LÓPEZ, N. Nuevas perspectivas para el estudio de la asignación de biomasa y su relación con el funcionamiento de plantas en ecosistemas neotropicales. **Acta Biológica Colombiana**, Bogotá, v. 11, 2006.

CANDIOTTO, L. Z. P. Ecosistemas brasileiros: degradação e potencialidades. **RBPG - Revista Brasileira de Pós-Graduação**, Brasília, v. 13, n. 32, 2016

CARDOSO, D. J.; PARRON, L. M.; FRANCISCON, L. Carbono de biomassa em floresta nativa e sistemas florestais como indicador de serviços ambientais. *In*: PARRON, L.M. *et al.* **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. EMBRAPA, Brasília. 2015. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131969/1/Livro-Servicos-Ambientais-Embrapa.pdf>>. Acesso em: 3 jan. 2018.

CASTELLETTI, C. H. M. *et al.* Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. *In*: LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA J.M.C. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Editora da Universidade Federal de Pernambuco, 2003, p. 719-734.

CERUTTI, O. R. M. **La Bioenergía en México: Un Catalizador del Desarrollo Sustentable**. Mundiprensa - CONAFOR, México, D.F. 2006. Disponível em: <<http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/libro-blanco-bioenergia-2006.pdf>> Acesso em: 01 fev. 2018.

CHANG, R. *et al.* Effects of soil physicochemical properties and stand age on fine root biomass and vertical distribution of plantation forests in the Loess Plateau of China. **Ecological research**, [S.l.], v. 27, n. 4, p. 827-836, 2012.

CHAZDON, R. L. *et al.* Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. **Science advances**, [S.l.], v. 2, n. 5, p. 11, 2016.

CHIMUNGU, J. G.; LOADES, K. W.; LYNCH, J. P. Root anatomical phenes predict root penetration ability and biomechanical properties in maize (*Zea Mays*). **Journal of experimental botany**, [S.l.], v. 66, n. 11, p. 3151-3162, 2015.

CORNELISSEN, J. H.C. *et al.* A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v.51, p.335-380, 2003.

CORREIA, R. C. *et al.* P. A região semiárida brasileira. *In*: VOLTOLINI, T. V. **Produção de caprinos e ovinos no semiárido**. Embrapa Semiárido, 2011. p. 21-48.

COSTA, C. A. G. **Umidade do solo e disponibilidade hídrica na zona das raízes em condições naturais de caatinga preservada**. 2012. 182 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

COSTA, C. A. G. *et al.* Spatial behaviour of soil moisture in the root zone of the Caatinga biome. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 685-694, 2013.

COSTA, T. L. *et al.* Root and shoot biomasses in the tropical dry forest of semi-arid Northeast Brazil. **Plant and soil**, Crawley, v. 378, n. 1-2, p. 113-123, 2014.

CROW, P. **The influence of soils and species on tree root depth**. Forestry Commission, Information Note, 2005.

CUEVAS, E.; MEDINA, E. Nutrient dynamics within Amazonian forests. **Oecologia**, [S.l.], v. 76, n. 2, p. 222-235, 1988.

DAI, Z. *et al.* Modeling Carbon Stocks in a Secondary Tropical Dry Forest in the Yucatan Peninsula, Mexico. **Water Air Soil Pollut**, [S.l.], v. 225, p. 1-15, 2014.

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

DIÉGUEZ-ARANDA, U. *et al.* **Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia**. Lugo, 2009. 262 p. Disponível em: [http://www.usc.es/uxfs/IMG/Herramientas\\_selvicolas\\_para\\_la\\_gestion\\_forestal\\_sostenible\\_en\\_galicia.pdf](http://www.usc.es/uxfs/IMG/Herramientas_selvicolas_para_la_gestion_forestal_sostenible_en_galicia.pdf). Acesso em: 1 fev. 2018.

DOMBROSKI, J. L. D. *et al.* Water relations of Caatinga trees in the dry season. **South African Journal of Botany**, [S.l.], v. 77, n. 2, p. 430-434, 2011.

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

EAMUS, D. Ecophysiological traits of deciduous and evergreen woody species in the seasonally dry tropics. **Trends in Ecology & Evolution**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 11-16, 1999.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306p.

ESPELETA, J. F.; CLARK, D. A. Multi-scale variation in fine-root biomass in a tropical rain forest: a seven-year study. **Ecological monographs**, Washington, v.77, n.03, p. 377-404, 2007.

FAO. **State of the world's forests 2016**. Forests and agriculture: land-use challenges and opportunities. Roma, 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/publications/sofo/2016/en/>>. Acesso em: 1 mar. 2018

FEDDES, R. A. *et al.* Modeling root water uptake in hydrological and climate models. **Bulletin of the American meteorological society**, Boston, v.82, n.12, p. 2797-2809, 2001.

FEITOSA, R.C. **Estoque de carbono em Floresta Tropical Sazonalmente Seca no nordeste do Brasil: uma comparação entre dois usos do solo**. 2017. 97 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

FERNÁNDEZ, J. Energía de la biomasa. *In*: MARTÍNEZ-VAL, J.M. **La energía en sus claves**. Madrid, Fundación Iberdrola, 2004, p. 397-445.

FRACETTO, F. J. C. *et al.* Estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na Caatinga. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1545-1552, 2012.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; ARAÚJO CARNEIRO, J. G. Dinâmica de raízes de

espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 133-142, 2008.

GALKOVSKYI, T. *et al.* GiA Roots: software for the high throughput analysis of plant root system architecture. **BMC plant biology**, [S.l.], v.12, n.01, p.01, 2012.

GAMARRA-ROJAS, C. F. L. *et al.* Espécies da caatinga no banco de dados do CNIP. *In:* SAMPAIO, E. V. S. B. **Vegetação e flora da Caatinga**. APNE/CNPI, 2002, p. 91-102.

GANDHI, D. S.; SUNDARAPANDIAN, S. Large-scale carbon stock assessment of woody vegetation in tropical dry deciduous forest of Sathanur reserve forest, Eastern Ghats, India. **Environmental monitoring and assessment**, Orono, v. 189, n. 4, p. 187, 2017.

GARRETT, T. Y.; HUYNH, C-V. NORTH, G.B. Root contraction helps protect the “living rock” cactus *Ariocarpus fissuratus* from lethal high temperatures when growing in rocky soil. **American Journal of Botany**, [S.l.], v.97, n.12, p.1951–1960, 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.; SAMPAIO, E. D. S.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília, DF:Serviço Florestal, 2010, p. 115-127.

GIONGO, V. *et al.* Carbono no Sistema Solo Planta no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 06, p. 1233–1253, 2011a.

GIONGO, V. *et al.* Soil organic carbon in the Brazilian semi-arid tropics. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, [S.l.], v. 5, p. 12–20, 2011b.

HERTEL, D. *et al.* Below and aboveground biomass and net primary production in a paleotropical natural forest (Sulawesi, Indonesia) as compared to neotropical forests. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 258, n. 9, p. 1904-1912, 2009.

HIGA, R. C. V. *et al.* **Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 68 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 266).

HIGUCHI, N. *et al.* Biomassa da parte aérea da vegetação da losa tropical úmida de terra-firme da Amazonia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 28, n. 2, p. 153-166, 1998.

IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil**: Primeira aproximação. Rio de Janeiro, 2004. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas\\_e\\_Mapas/Mapas\\_Murais](ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais)>. Acesso em: 20 jan. 2018.

IPCC. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**, 2003. Disponível em: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf\\_files/Chp3/Chp3\\_2\\_Forest\\_Land.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/Chp3/Chp3_2_Forest_Land.pdf). Acesso em: 01 jan. 2018.

JACKSON, R. B; MOONEY, H. A.; SCHULZE, E. D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [S.l.], v. 94, n. 14, p. 7362-7366, 1997.

JARAMILLO, V. J.; AHEDO-HERNÁNDEZ, R.; KAUFFMAN, J. B. Root biomass and carbon in

a tropical evergreen forest of Mexico: changes with secondary succession and forest conversion to pasture. **Journal of Tropical Ecology**, [S.l.], v. 19, n. 4, p. 457-464, 2003.

JARAMILLO, V.J; MARTÍNEZ-YRÍZAR, A; SANFORD-JR, R.L. Primary productivity and biogeochemistry of seasonally dry tropical forests. In: DIRZO, R. *et al.* (Eds.). **Seasonally dry tropical forests: ecology and conservation**. Island Press, 2011. p. 109-128.

JENKINS, T. A. R. *et al.* **FC Woodland Carbon Code: Carbon Assessment Protocol**. Forestry Commission, Edinburgh, 2011.

JESUS, K.N. *et al.* **Guia metodológico para o desenvolvimento de atividades de campo e laboratório do projeto CNPQ rede – C – NE**. Recife, 2016. 35 p.

JIMÉNEZ, V. S. Análisis de las políticas medioambientales en la industria de la madera. In: MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R. **La biomasa forestal**. Gestión y viabilidad. 2010.

KANOWSKI, J.; CATTERALL, C. P. Carbon stocks in aboveground biomass of monoculture plantations, mixed species plantations and environmental restoration plantings in northeast Australia. **Ecological Management & Restoration**, Woodburn, v. 11, n. 2, p. 119-126, 2010.

KAUFFMAN, J. B.; HUGHES, R. F.; HEIDER, C. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the neotropics. **Ecological Applications**, [S.l.], v. 19, n. 5, p. 1211-1222, 2009.

KAVANAGH, T.; KELLMAN, M. Seasonal pattern of fine root proliferation in a tropical dry forest. **Biotropica**, [S.l.], p. 157-165, 1992.

KENZO, T. *et al.* Aboveground and belowground biomass in logged-over tropical rain forests under different soil conditions in Borneo. **Journal of forest research**, [S.l.], v. 20, n. 1, p. 197-205, 2015.

KIILL, L. H. P.; DRUMOND, M.; LIMA, P.; DE ALBUQUERQUE, S. G.; DE OLIVEIRA, V. R. **Preservação e uso da Caatinga. Petrolina-PE**: Embrapa Informação Tecnológica, 2007 (Cartilha). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/11949/2/00081410.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F. Fontes e níveis de erros nas estimativas do potencial de fixação de carbono. In: Sanquetta, C. R. *et al.* (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, p. 251-264, 2002.

LAMLON, S. H.; SAVIDGE, R. A. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. **Biomass and Bioenergy**, [S.l.], v. 25, n. 4, p. 381-388, 2003.

LEITE, L. F. C.; PETRESE, V. G.; SAGRILO, E. Sequestro de carbono em solos da região Semiárida brasileira, estimado por modelo de simulação em diferentes sistemas produtivos. In: **Conferência internacional: clima, sustentabilidade e desenvolvimento em regiões semiáridas - ICID**. 2010. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/60095/1/Vanderlise-2010.pdf>>. Acesso em:

21 jan. 2018.

LIMA, A. L. A.; RODAL, M. J. N. Phenology and wood density of plants growing in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, [S.l.], v. 74, n. 11, p. 1363-1373, 2010.

LIMA FILHO, J. M. P. Ecofisiologia de plantas da Caatinga. **Anais da XXVII Reunião Nordestina de Botânica**, p. 163-167, 2004. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/153084/1/OPB245.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2018.

LIMA, T. T. S.; MIRANDA, I. S.; VASCONCELOS, S. S. Fine-root production in two secondary forest sites with distinct ages in Eastern Amazon. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 95-104, 2012.

LINDNER, M.; KARJALAINEN, T. Carbon inventory methods and carbon mitigation potentials of forests in Europe: a short review of recent progress. **Europe Journal Forest Research**, [S.l.], v. 126, p. 149-156, 2007.

LUIZÃO, R.C.C.; COSTA, E.S.; LUIZÃO, F.J. Mudanças na biomassa microbiana e nas transformações de nitrogênio do solo em uma sequência de idades de pastagens após derruba e queima da floresta na Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 29, n. 1, p. 43-56, 1999.

LUKAC, M. Fine root turnover. In: MANCUSO, S. **Measuring Roots**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. Cap.18, p.363-373.

MACÊDO, L. A. **Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis do processo de torrefação**. 2012. 49 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Recursos florais e sistemas de polinização e sexuais em Caatinga. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Editora da Universidade Federal de Pernambuco, 2003. p. 515-563.

MAJDI, H. *et al.* Measuring fine root turnover in forest ecosystems. **Plant and soil**, [S.l.], v. 276, n. 1-2, p. 1-8, 2005.

MANHÃES, J. E. DAS N. Uso da biomassa florestal como fonte de energia. **Floresta e ambiente**, Seropédica, n. 1-3, p. 108, 1994.

MARKESTEIJN, L. *et al.* Seasonal variation in soil and plant water potentials in a Bolivian tropical moist and dry forest. **Journal of Tropical Ecology**, [S.l.], v. 26, n. 5, p. 497-508, 2010.

MARTÍNEZ-YRIZAR, A. Biomass distribution and primary productivity of tropical dry forest. In: STEPHEN, H.B.; MOONEY, H.A.; MEDINA, E. (Eds.). **Seasonally dry tropical forests**. Ed. Cambridge University, 1995. p. 326-345.

MATA, M. V. M. *et al.* Emissões de CO<sub>2</sub> Provenientes do Uso e Mudanças no Uso da Terra no Bioma Caatinga no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 1,

p. 144-155, 2015.

MCGRODDY, M.; SILVER, W. L. Variations in belowground carbon storage and soil CO<sub>2</sub> flux rates along a wet tropical climate gradient. **Biotropica**, [S.l.], v. 32, n. 4, p. 614-624, 2000.

MELO, R. O.; MONTENEGRO, A.A.A. Dinâmica temporal da umidade do solo em uma bacia hidrográfica no semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 430-441, 2015.

MENDES, M. M. DE S. *et al.* Ecophysiology of deciduous plants grown at different densities in the semiarid region of Brazil. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, [S.l.], v. 25, n. 2, p. 94-105, 2013.

METCALFE, D. B. **Understanding the effects of drought upon carbon allocation and cycling in an Amazonian rain forest**. 2007. 247 p. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, School of GeoSciences, University of Edinburgh, 2007.

METCALFE, D. B. *et al.* The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 311, n. 1-2, p. 189-199, 2008.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caatinga**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>> Acesso em: 01 fev. 2018.

MOHANRAJ, R.; SARAVANAN, J.; DHANAKUMAR, S. Carbon stock in Kolli forests, Eastern Ghats (India) with emphasis on aboveground biomass, litter, woody debris and soils. **iForest**, [S.l.], v. 4, p. 61-65, 2011.

MOKANY, K.; RAISON, R.J.; PROKUSHKIN, A.S. Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes. **Global Change Biology**, [S.l.], v.12, n.01, p. 84-96, 2006.

MORO, M.F. **Síntese florística e biogeográfica do Domínio Fitogeográfico da Caatinga**. 2013. 366 p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

MORO, M. F. *et al.* Phytogeographical Metaanalysis of the Semiarid Caatinga Domain in Brazil. **The Botanical Review**, [S.l.], p. 1-58, 2016. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s12229-016-9164-z>. Acesso em: 15 jan. 2018.

MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. **Ecology of tropical dry forest**. Annual review of ecology and systematics, v. 17, p. 67-88, 1986.

NASCIMENTO, D. M. **Estimativa do estoque de biomassa arbustivo arbórea por sensoriamento remoto em áreas de caatinga em Pernambuco**. 2015. 75 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

NAVARRO, M. *et al.* Successional variation in carbon content and wood specific gravity of four tropical tree species. **Bosque**, [S.l.], v. 34, n. 1, 2013.

NORTH, G. B.; BRINTON, E. K.; GARRETT, T. Y. Contractile roots in succulent monocots:

convergence, divergence and adaptation to limited rainfall. **Plant, Cell and Environment**, [S.l.], v. 31, p.1179–1189, 2008.

OLIVEIRA, C. M. **Biomassa, briquete, woodpellets**. 1. ed. Curitiba. 2015. 533 p.

OLIVEIRA, M.B.L. *et al.* Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de caatinga e atmosfera no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.21, p.378-386, 2006.

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.; SAMPAIO, E. D. S.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília, DF: Serviço Florestal, p. 99-115, 2010.

PENNINGTON, R. T; PRADO, D. E.; PENDRY, C.A. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. **Journal of Biogeography**, [S.l.], v. 27, n. 02, p. 261-273, 2000.

PEREIRA FILHO, J. M.; SILVA, A. M. A.; CÉZAR, M. F. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, [S.l.], v. 14, n.1, p. 77-90, 2013.

PEREIRA, I. M. *et al.* Composição florística e análise fitossociológica do componente lenhoso de um remanescente de caatinga no Agreste Paraibano. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 16, p. 357- 369, 2002.

PEREIRA, O.J.; ANDRADE, E. M. Alternativas de convivência com o semiárido. *In*: ANDRADE, E.M.; PEREIRA, O.J; DANTAS, F.E.R. **O Semiárido e o manejo dos recursos naturais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, p. 71-94, 2010.

PEREIRA JUNIOR, J. S. **Nova delimitação do semiárido brasileiro**. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, Brasília, 2007.

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

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. *et al.* New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v.61, p.167-234, 2013. doi: 10.1071/BT12225

PIMENTEL, J. V. F. **Caatinga e manejo agrossilvipastoril**. *In*: ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J.; DANTAS, F. E. R. (Org.). **Semiárido e o manejo dos recursos naturais: uma proposta de uso adequado do capital natural**. Fortaleza: ed. Imprensa Universitária UFC. Cap. 5, p.106-132, 2010.

PINHEIRO, E. A. R.; COSTA, C. A. G.; DE ARAÚJO, J. C. Effective root depth of the Caatinga biome. **Journal of Arid Environments**, [S.l.], v. 89, p. 1-4, 2013.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. *In*: LEAL, I. R.; *et al.* **Ecologia e conservação da Caatinga**. Editora Universitária da UFPE, 2003. p. 3-74.

REDIN, M. **Composição bioquímica e decomposição da parte aérea e raízes de culturas comerciais e de plantas de cobertura do solo**. 2010. 141 p. Dissertação (Mestrado em

biodinâmica e manejo do solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

REICHERT, J. M. *et al.* Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, v. 7, p. 1-54, 2011.

REIS, A. M. S. *et al.* Inter-annual variations in the floristic and population structure of an herbaceous community of “caatinga” vegetation in Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 29, p. 497-508, 2006.

RIBEIRO, O. L. *et al.* Biomassa radicular e reservas orgânicas em coastcross consorciada ou não com *Arachis pintoi*, com e sem nitrogênio, sob pastejo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 12, n. 2, p. 318-328. abr/jun, 2011.

RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C. A questão energética. *In*: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. D. S.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 65-81.

RIOS, E. P.; THOMPSON, M. **Biomass Brasileiros**. São Paulo: Melhoramentos, 2013. 184 p.

ROSADO, B. H. P. *et al.* Fine root biomass and root length density in a lowland and a montane tropical rain forest, SP, Brazil. **Biota Neotropica**, [S.l.], v.11, n.03, p.203-209, 2011.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2002, 145p.

RÜGNITZ, M. T.; CHACÓN, M. L.; PORRO, R. **Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales**. Manual técnico, v. 11, 2009. Disponível em: <<http://www.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/B16293.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2018.

SAMPAIO, E. *et al.* Tree biomass estimation in regenerating areas of tropical dry vegetation in northeast Brazil. **Forest ecology and management**, v. 259, n. 6, p. 1135-1140, 2010.

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

SAMPAIO, E. V. S. B. Características e potencialidades. *In*: GARIGLIO, M. A. *et al.* **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília, DF: Serviço Florestal, p. 115-127, 2010.

SAMPAIO, E. V. S. B.; COSTA, T. L. Estoques e fluxos de carbono no semi-árido nordestino: estimativas preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, p. 1275-91, 2011.

SAMPAIO, Y.; BATISTA, J.E.M. Desenvolvimento regional e pressões antrópicas no bioma Caatinga. *In*: SILVA, J.M.C; TABARELLI, M.; FONSECA, M.T.; LINS, L.V. (orgs.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2004, p. 311-324.

SANQUETTA, C. R. *et al.* Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações



de Araucária angustifolia e Pinus taeda no sul do Estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v. 1, n. 3, 2003.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.7, p.670–679, 2011.

SANTOS, T. E. M. **Dinâmica espacial e temporal da umidade do solo em bacia experimental do semiárido pernambucano**. 2010. 68 p. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

SÄRKINEN, T. *et al.* Forgotten forests-issues and prospects in biome mapping using Seasonally Dry Tropical Forests as a case study. **BMC ecology**, [S.l.], v.11, n.01, p.1-15, 2011.

SAWADOGO, L.; TIVEAU, D.; NYGARD, R. Influence of selective tree cutting, livestock and prescribed fire on herbaceous biomass in the savannah woodlands of Burkina Faso, West Africa. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S.l.], v. 105, p. 335-345, 2005.

SCHENK, H.J. Vertical vegetation structure below ground: scaling from root to globe. In: Progress in Botany. **Progress in Botany**, [S.l.], v. 66, p.341-373, 2005.

SCHENK, H. J.; JACKSON, R. B. Mapping the global distribution of deep roots in relation to climate and soil characteristics. **Geoderma**, [S.l.], v. 126, n.01, p.129-140, 2005.

SHIPLEY, B.; MEZIANE, D. The balanced-growth hypothesis and the allometry of leaf and root biomass allocation. **Functional Ecology**, [S.l.], v. 16, n. 3, p. 326-331, 2002.

SILVA R.A.; SANTOS A.M.M.; TABARELLI M. Riqueza e diversidade de plantas lenhosas em cinco unidades de paisagem da Caatinga. In: LEAL I.R.; TABARELLI M.; SILVA J.M.C. (Orgs). **Ecologia e conservação da Caatinga** Recife: Editora da Universidade Federal de Pernambuco, 2003. p. 337-365.

SILVA, J.M.S. **Estrutura dos sistemas radicais e dinâmica da água no solo numa comunidade arbustiva da Tapada Nacional de Mafra**. 2002.137 p. 137. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. 2002.

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

SILVEIRA, P. *et al.* O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, 2008.

SILVER, W.L. *et al.* Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils. **Global Change Biology**, [S.l.], v.11, n.02, p.290-306, 2005.

SINGH, V. *et al.* Formulating allometric equations for estimating biomass and carbon stock in small diameter trees. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 261, p. 1945–1949, 2011.

SKUTSCH, M. M.; LIBASSE, B. Crediting carbon in dry forests: The potential for community forest management in West Africa. **Forest Policy and Economics**, [S.l.], v. 12, p. 264- 270, 2010.

SOETHE, N.; LEHMANN, J.; ENGELS, C. The vertical pattern of rooting and nutrient uptake at different altitudes of a south Ecuadorian montane forest. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 286, n. 1, p. 287-299, 2006.

SOLOMON, N. *et al.* Carbon stocks and sequestration potential of dry forests under community management in Tigray, Ethiopia. **Ecological Processes**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 20, 2017.

SOUZA, B. C. **Diversidade, biomassa aérea e estimativa do estoque de carbono em plantas da caatinga em um remanescente serrano no trópico semiárido**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia Ambiental). Universidade Estadual da Paraíba. 53p. 2009.

SOUZA, B. C. *et al.* Divergências funcionais e estratégias de resistência à seca entre espécies decíduas e sempre verdes tropicais. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 1, p. 021-032, 2015.

SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. The Caatinga and desertification. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 131-150, 2015.

STEINGROBE, B.; SCHMID, H.; CLAASSEN, N. The use of the ingrowth core method for measuring root production of arable crops - influence of soil conditions inside the ingrowth core on root growth. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, [S.l.], v. 163, p. 617-622, 2000.

STRATTON, L. C.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C. Temporal and spatial partitioning of water resources among eight woody species in a Hawaiian dry forest. **Oecologia**, [S.l.], v. 124, n. 3, p. 309-317, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TAVARES, S. R. L.; SANTOS, T. E. Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis sólidos. **Holos**, [S.l.], v. 5, 2013.

TIESSEN, H. *et al.* Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forest. **Climatic change**, [S.l.], v. 40, n. 1, p. 105-117, 1998.

TITO, M. R.; LEÓN, M. C.; PORRO, R. **Guia para determinação de carbono em pequenas propriedades rurais**. Belém, 2009. 81 p.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I. Solos e desertificação no sertão paraibano. **Cadernos do Logepa**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 101-114, 2011.

VALBRUN, W. **Estoque de carbono e nitrogênio sob diferentes usos da terra em Floresta Tropical Sazonalmente Seca**. 2018. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

van NOORDWIJK, M.; van DE GEIJN, S. C. Root, shoot and soil parameters required for process-oriented models of crop growth limited by water or nutrients. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 183, p.1-25, 1996.

van WIJK, M.T. Understanding plant rooting patterns in semi-arid systems: an integrated

model analysis of climate, soil type and plant biomass. **Global Ecology and Biogeography**, [S.l.], v.20, p. 331–342, 2010.

VELLOSO, A. L. *et al.* **Ecorregiões propostas para o bioma caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental, 2002.

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

VISALAKSHI, N. Fine root dynamics in two tropical dry evergreen forests in southern India. **Journal of Biosciences**, [S.l.], v. 19, n. 1, p. 103-116, 1994.

VOGT, K. A.; VOGT, D. J.; JANINE BLOOMFIELD. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forest at in ecosystem level. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 200, p. 71-89, 1998.

WATSON, R. T. *et al.* **Land use, land-use change, and forestry**. Cambridge: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000.

WATZLAWICK, L. F. *et al.* Ecuaciones de biomasa aérea en plantaciones de *Araucaria angustifolia* en el sur del estado de Paraná, Brasil. *In: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Valdivia, Cl. 2001. Disponível em: <[http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio\\_carbono/41\\_Watzlawick.PDF](http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/41_Watzlawick.PDF)>. Acesso em: 02 fev. 2018.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* ST Blake no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 177-183, 2003.

YANG, L.; WU, S.; ZHANG, L. Fine root biomass dynamics and carbon storage along a successional gradient in Changbai Mountains, China. **Forestry**, [S.l.], v. 83, n. 4, p. 379-387, 2010.

YAVITT, J. B.; WRIGHT, S. J. Drought and irrigation effects on fine root dynamics in a tropical moist forest, Panama. **Biotropica**, [S.l.], v. 33, n. 3, p. 421-434, 2001.

ZHANG, Q. *et al.* Carbon concentration variability of 10 Chinese temperate tree species. **Forest Ecology and Management**, [S.l.], v. 258, n. 5, p. 722-727, 2009.

## APÊNDICE A – DADOS COMPLEMENTARES DO CAPÍTULO I

Tabela 6 - Densidade (DE, g cm<sup>-3</sup>), Pedregosidade (PD, g kg<sup>-1</sup>) e Matéria Orgânica (MO, g kg<sup>-1</sup>) em Neossolo (N) e Luvisolo (L) em Floresta Tropical Seca (FTS)

Var	Usos da terra	N		L		N		L		N		L	
		0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-60 cm	60-80 cm						
<b>DE</b>	<b>CD</b>	1,16	0,97	1,27	1,05	1,38	1,09	-	1,09	-	1,09	-	1,08
	<b>CA</b>	1,24	0,99	1,19	1,11	1,09	1,15	-	1,15	-	1,12	-	1,43
	<b>AG</b>	1,16	1,05	1,14	1,19	-	1,15	-	1,15	-	1,06	-	1,27
	<b>PA</b>	1,25	1,09	1,34	1,21	1,43	1,12	-	1,14	-	1,16	-	1,18
<b>PD</b>	<b>CD</b>	256,65	38,93	169,08	47,35	305,59	54,91	-	53,27	-	1,06	-	0,00
	<b>CA</b>	131,11	71,40	278,23	48,93	185,02	16,20	-	74,37	-	108,65	-	13,38
	<b>AG</b>	98,98	10,94	371,96	4,85	-	51,10	-	46,89	-	23,82	-	0,00
	<b>PA</b>	88,48	50,66	149,73	118,30	305,59	124,41	-	94,89	-	9,07	-	0,00
<b>MO</b>	<b>CD</b>	18,60	24,43	9,83	13,06	4,82	9,68	-	10,64	-	7,61	-	7,02
	<b>CA</b>	20,56	18,79	10,69	9,28	2,56	6,17	-	5,77	-	5,41	-	4,68
	<b>AG</b>	9,00	7,85	4,83	4,91	-	3,63	-	4,01	-	4,49	-	3,62
	<b>PA</b>	16,11	7,10	8,83	5,61	6,92	7,04	-	5,92	-	4,11	-	3,22

Fonte: Valbrum (2018).

Tabela 7 - Distribuição da biomassa radicular total (Mg ha<sup>-1</sup>) em função das profundidades em Luvisolo e Neossolo em FTS no Ceará

Prof. (cm)	Neossolo				Luvisolo			
	CD	CA	AG	PA	CD	CA	AG	PA
0-10	2,56	4,22	0,24	0,69	1,80	1,6	0,16	1,06
10-20	2,31	1,84	0,12	0,13	2,93	1,15	0,14	0,47
20-30	0,98	0,06	0,07	0,21	2,92	0,21	0,02	0,07
30-40			0,01		1,60	0,07	0,01	0,03
40-60					0,72	0,12	0,002	0,02
60-80					0,58	0,02	0,004	0,01

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 8 - Distribuição da biomassa de raízes finas ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em função das profundidades em Luvissole e Neossolo em FTS no Ceará

Prof. (cm)	Neossolo				Luvissole			
	CD	CA	AG	PA	CD	CA	AG	PA
0-10	0,73	0,73	0,17	0,41	0,6	0,66	0,10	0,72
10-20	0,42	0,52	0,10	0,13	0,6	0,53	0,07	0,24
20-30	0,26	0,04	0,06	0,07	0,53	0,2	0,02	0,06
30-40			0,01		0,31	0,06	0,01	0,03
40-60					0,31	0,12	0,002	0,02
60-80					0,35	0,02	0,004	0,01

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 9 - Distribuição da biomassa de raízes grossas ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em função das profundidades em Luvissole e Neossolo em FTS no Ceará

Prof. (cm)	Neossolo				Luvissole			
	CD	CA	AG	PA	CD	CA	AG	PA
0-10	1,83	3,49	0,07	0,28	1,2	0,94	0,06	0,34
10-20	1,89	1,32	0,02	0	2,33	0,62	0,07	0,23
20-30	0,72	0,02	0,01	0,14	2,39	0,01	0	0,01
30-40			0		1,29	0,01	0	0
40-60					0,41	0	0	0
60-80					0,23	0	0	0

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 10 - Distribuição da biomassa radicular total (%) em função das profundidades em Luvissole e Neossolo em FTS no Ceará

Prof. (cm)	Neossolo				Luvissole			
	CD	CA	AG	PA	CD	CA	AG	PA
0-10	43,6	69,0	53,4	64,5	17,1	50,7	48,8	70,0
10-20	39,5	30,0	26,5	15,2	27,8	36,3	41,8	22,4
20-30	16,9	1,0	16,8	20,3	27,7	6,6	5,4	3,6
30-40			3,3		15,1	2,2	2,1	1,9
40-60					6,8	3,7	0,7	1,7
60-80					5,5	0,5	1,2	0,4

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 11- Distribuição da biomassa de raízes finas (%) em função das profundidades em Luvissole e Neossolo em FTS no Ceará

Prof. (cm)	Neossolo				Luvissole			
	CD	CA	AG	PA	CD	CA	AG	PA
0-10	51,77	56,59	50,00	67,21	22,22	41,51	48,54	66,67
10-20	29,79	40,31	29,41	21,31	22,22	33,33	33,98	22,22
20-30	18,44	3,10	17,65	11,48	19,63	12,58	9,71	5,56
30-40			2,94		11,48	3,77	4,85	2,78
40-60					11,48	7,55	0,97	1,85
60-80					12,96	1,26	1,94	0,93

Fonte: dados da pesquisa.

## APÊNDICE B – DADOS COMPLEMENTARES DO CAPÍTULO II

Tabela 12 - Correlação entre os incrementos médios do sistema radicular (BRF e CRF) e as variáveis climáticas

Variáveis	Correlações						
		P <sub>acum3</sub> (3 meses)	P <sub>acum4</sub> (4 meses)	DCP (3 meses)	DCP (4 meses)	DCP>5 (3 meses)	DCP>5 (4 meses)
BRF	r <sub>s</sub>	0,928**	0,886*	0,580	0,886*	0,812*	0,943**
(< 1)	sig.	0,010	0,020	0,230	0,020	0,050	0,000
BRF	r <sub>s</sub>	0,610	0,430	0,490	0,430	0,203	0,370
(1-2)	sig.	0,200	0,400	0,320	0,400	0,700	0,470
BRF	r <sub>s</sub>	0,812*	0,660	0,700	0,660	0,464	0,600
(< 2)	sig.	0,050	0,160	0,120	0,160	0,354	0,210
CRF	r <sub>s</sub>	0,812*	0,943**	0,928**	0,943**	0,754	0,829*
(< 1)	sig.	0,050	0,000	0,010	0,000	0,084	0,040
CRF	r <sub>s</sub>	0,812*	0,660	0,700	0,660	0,464	0,600
(1-2)	sig.	0,050	0,160	0,120	0,160	0,354	0,210
CRF	r <sub>s</sub>	0,928**	0,829*	0,812*	0,829*	0,522	0,710
(< 2)	sig.	0,010	0,040	0,050	0,040	0,288	0,110
DRF	r <sub>s</sub>	-0,250	-0,406	-0,544	-0,406	-0,132	-0,174
(< 1)	sig.	0,633	0,425	0,264	0,425	0,803	0,742
DRF	r <sub>s</sub>	-0,174	-0,029	0,058	-0,029	0,116	0,086
(1-2)	sig.	0,742	0,957	0,913	0,957	0,827	0,872
DRF	r <sub>s</sub>	-0,031	-0,213	-0,216	-0,213	-0,031	-0,030
(< 2)	sig.	0,954	0,686	0,682	0,686	0,954	0,954
CeRF	r <sub>s</sub>	0,000	0,029	0,232	0,029	0,174	0,086
(< 1)	sig.	1,000	0,957	0,658	0,957	0,742	0,872
CeRF	r <sub>s</sub>	-0,116	0,086	0,348	0,086	0,406	0,143
(1-2)	sig.	0,827	0,872	0,499	0,872	0,425	0,787
CeRF	r <sub>s</sub>	-0,116	0,086	0,348	0,086	0,406	0,143
(< 2)	sig.	0,827	0,872	0,499	0,872	0,425	0,787

Fonte: dados da pesquisa.

Legenda: \* Correlação significativa ao nível de 0,05. \*\* Correlação significativa ao nível de 0,01.

Variáveis: Pacum – precipitação acumulada nos meses anteriores a coleta, DCP – dias com ocorrência de precipitação, DCP>5 – dias com ocorrência de precipitação acima de 5 mm.

Tabela 13 - Biomassa, comprimento e comprimento específico de raízes finas (BRF, CRF e CeRF) em fragmento de Floresta Tropical Seca

Variável	Classe	Parâmetro	Coleta (mês/ano)						
			Jul/15	Nov/15	Mar/16	Jul/16	Nov/16	Mar/17	Jul/17
BRF (mg ha <sup>-1</sup> )	0-2	Média	7,7 <sup>a</sup>	0,0 <sup>c</sup>	1,4 <sup>bc</sup>	5,9 <sup>ab</sup>	4,6 <sup>abc</sup>	6,2 <sup>ab</sup>	6,6 <sup>ab</sup>
		Mediana	6,5	0,0	1,5	5,7	4,6	4,7	6,0
		DP	5,0	0,0	0,6	2,0	1,6	3,6	2,7
	0-1	Média	2,9 <sup>a</sup>	0,0 <sup>b</sup>	0,8 <sup>ab</sup>	1,9 <sup>a</sup>	1,5 <sup>ab</sup>	1,7 <sup>ab</sup>	2,6 <sup>a</sup>
		Mediana	2,4	0,0	0,8	1,8	1,4	1,7	2,2
		DP	2,2	0,0	0,3	0,6	0,4	0,8	1,3
	1-2	Média	4,8 <sup>a</sup>	0,0 <sup>c</sup>	0,6 <sup>bc</sup>	4,0 <sup>ab</sup>	3,1 <sup>abc</sup>	4,5 <sup>ab</sup>	4,0 <sup>ab</sup>
		Mediana	4,2	0,0	0,7	3,6	3,1	3,1	3,9
		DP	2,8	0,0	0,4	1,5	1,2	2,9	1,5
CRF (km m <sup>-2</sup> )	0-2	Média	5,0 <sup>ab</sup>	0,0 <sup>c</sup>	1,5 <sup>bc</sup>	5,3 <sup>ab</sup>	3,6 <sup>abc</sup>	6,0 <sup>ab</sup>	7,6 <sup>a</sup>
		Mediana	3,9	0,0	1,6	5,1	3,2	6,0	6,6
		DP	3,2	0,0	0,4	2,4	1,3	2,0	3,1
	0-1	Média	2,3 <sup>ab</sup>	0,0 <sup>c</sup>	0,8 <sup>bc</sup>	1,8 <sup>abc</sup>	1,2 <sup>abc</sup>	2,4 <sup>ab</sup>	3,8 <sup>a</sup>
		Mediana	1,6	0,0	0,8	1,6	1,2	2,3	3,6
		DP	1,8	0,0	0,3	0,9	0,3	0,6	1,8
	1-2	Média	2,7 <sup>a</sup>	0,0 <sup>b</sup>	0,7 <sup>ab</sup>	3,5 <sup>a</sup>	2,4 <sup>ab</sup>	3,6 <sup>a</sup>	3,7 <sup>a</sup>
		Mediana	2,4	0,0	0,6	3,5	2,2	3,4	3,3
		DP	1,5	0,0	0,3	1,6	1,0	1,7	1,5
CeRF (km kg <sup>-1</sup> )	0-2	Média	9,4 <sup>a</sup>		12,2 <sup>a</sup>	9,6 <sup>a</sup>	8,1 <sup>a</sup>	11,2 <sup>a</sup>	11,8 <sup>a</sup>
		Mediana	8,7		9,8	9,5	6,8	12,8	11,5
		DP	4,1		4,7	4,4	2,4	4,0	2,7
	0-1	Média	13,1 <sup>a</sup>		10,5 <sup>a</sup>	10,2 <sup>a</sup>	8,3 <sup>a</sup>	16,4 <sup>a</sup>	15,5 <sup>a</sup>
		Mediana	12,9		11,4	11,0	7,6	18,0	14,3
		DP	6,6		2,5	4,1	2,6	6,8	4,6
	1-2	Média	6,4 <sup>a</sup>		16,8 <sup>a</sup>	9,3 <sup>a</sup>	8,0 <sup>a</sup>	9,1 <sup>a</sup>	9,6 <sup>a</sup>
		Mediana	6,8		12,9	8,8	6,7	9,5	10,1
		DP	4,6		12,4	4,6	2,6	3,2	2,2

Fonte: dados da pesquisa.

Legenda: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste H de Kruskal-Wallis a 5% de significância entre as coletas na mesma classe.



Tabela 14 - Incrementos de biomassa, comprimento e comprimento específico de raízes finas (BRF, CRF e CeRF) nas subcamadas de 0-10, 10-20 e 20-30 cm

Var.	Classe	Incremento (%)								
		jul/2016 - nov/2016			nov/2016 - mar/2017			mar/2017 - jul/2017		
		0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30
BRF	0-2	2,70	-22,51	-52,44	50,23	20,72	60,61	19,42	-0,86	-22,99
	1-2	3,49	-22,26	-54,90	59,94	31,72	49,56	-4,22	-15,24	-16,78
	0-1	1,19	-23,06	-46,34	31,08	-3,15	21,35	76,29	41,57	-16,17
CRF	0-2	-11,09	-40,68	-42,04	113,25	64,31	33,30	39,44	30,68	-10,48
	1-2	-11,04	-42,09	-35,26	104,62	59,52	0,00	6,00	17,97	-39,00
	0-1	-11,16	-37,88	-55,77	126,87	73,19	132,01	87,05	52,37	10,36
CeRF	0-2	-5,52	-28,19	3,59	58,79	61,52	-7,54	-2,02	9,54	15,25
	1-2	0,59	-31,32	19,54	39,35	39,49	-33,63	-5,59	17,76	-1,15
	0-1	-12,19	-16,69	-25,37	95,57	109,60	89,22	-6,71	-8,02	14,02

Fonte: dados da pesquisa.