UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
CAMPUS DE PATOS – PB

BRUNA VIEIRA DE SOUZA

ESTOQUE DE CARBONO EM DIFERENTES FISIONOMIAS DE CAATINGA DO SERIDÓ DA PARAÍBA

Patos - Paraíba - Brasil

Março/2012

BRUNA VIEIRA DE SOUZA

ESTOQUE DE CARBONO EM DIFERENTES FISIONOMIAS DE CAATINGA DO SERIDÓ DA PARAÍBA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais, área de concentração Ecologia e Manejo dos Recursos Florestais.

Orientadora: Prof. Dr[a]. Patrícia Carneiro Souto

Patos - Paraíba - Brasil

2012

FICHA CATALOGADA NA BIBLIOTECA SETORIAL DO
CAMPUS DE PATOS – UFCG

Souza, Bruna Vieira.
C Estoque de carbono em diferentes fisionomias de Caatinga do Seridó da Paraíba. / Bruna Vieira de Souza Campos. – Patos-PB:
2012 CSTR/UFCG, 2007.
55 p.
Inclui bibliografia
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande.

Orientador: Patrícia Carneiro Souto
Banca Examinadora: Iraê Amaral Guerrini, Jacob Silva Souto

1-
.
CDU:

BRUNA VIEIRA DE SOUZA

ESTOQUE DE CARBONO EM DIFERENTES FISIONOMIAS DE CAATINGA NO SERIDÓ DA PARAÍBA, BRASIL

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais, área de concentração Ecologia e Manejo dos Recursos Florestais.

APROVADA em: 29/03/12

Profª. Patrícia Carneiro Souto (UAEF/UFCG)
Orientadora

Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini (DRNS/UNESP)
1º Examinador

Prof. Dr. Jacob Silva Souto (UAEF/UFCG)
2º Examinador

À minha família, em especial aos meus pais,

Carlos Magno e Eliete.

E a Francisco Sales (Chicão).

Dedico

AGRADECIMENTOS

A DEUS, meu refúgio, minha fortaleza em todos os momentos principalmente nos difíceis, agradeço por me guiar nessa trajetória.

À minha família, que sempre contribuiu para minha educação e mesmo longe, esteve sempre presente.

À Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural (CSTR), em especial, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade concedida.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À professora Patrícia Carneiro Souto pela orientação, ensinamento e contribuição para a realização e finalização deste trabalho.

Aos professores Jacob Silva Souto e Iraê Amaral Guerrini, por aceitarem participar da banca examinadora.

Ao professor Jacob Silva Souto, que permitiu a utilização do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal/UFCG, Patos-PB.

À Mario por permitir que esse trabalho fosse realizado em sua propriedade Fazenda Cachoeira de São Porfírio.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação de Ciências florestais e da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal por toda contribuição a minha formação acadêmica.

Aos funcionários do Laboratório de Solos e Água (Aminthas e Walter), por realizarem as análises de solo.

Aos estudantes do curso de Engenharia Florestal: Roberto Barroso, Carlos Magno Jr. (Djow), Gilmar Nascimento, e da Pós-Graduação em Ciências Florestais: Pierre farias e Daniel pelo apoio em campo e laboratório.

A todos os colegas de mestrado, pelo apoio e as horas de estudos em grupo.

A Chicão, por esta ao meu lado nessa trajetória de aprendizado e conquista.

A todos aqueles que contribuíram, para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!!!!

SOUZA, Bruna Vieira. **Estoque de carbono em diferentes fisionomias de Caatinga do Seridó da Paraíba.** Patos - PB UFCG 2012. 54f. **(**Dissertação - Mestrado em Ciências Florestais).

RESUMO

As florestas têm papel significativo por armazenar grandes quantidades de Carbono na sua biomassa e em outros compartimentos florestais, como no sub-bosque, serapilheira e no solo. Assim, o presente estudo objetivou determinar a quantidade de carbono orgânico em área de Caatinga sob diferentes estágios sucessionais nos compartimentos, sub-bosque, serapilheira e solo em época chuvosa e seca. O estudo foi desenvolvido na Fazenda Cachoeira de São Porfírio, município de Várzea-PB em 4 (quatro) áreas de 3000 m² cada, com vegetação em diferentes estágios sucessionais. Foram coletadas amostras de material vegetal no sub bosque e na serapilheira e, amostras de solo para determinação da teores de Carbono. As coletas de sub bosque e serapilheira totalizaram 120 amostras em cada compartimento. O material vegetal triturado foi encaminhado para o laboratório da EMBRAPA-Semiárido, em Petrolina-PE para determinação do teor de carbono orgânico. O solo foi coletado em 04 profundidades (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e de 15 a 20 cm), totalizando 96 amostras nas duas épocas. As análises de solo foram realizadas no Laboratório de Solo e Água/UFCG, em Patos (PB). Para comparação das médias dos teores de carbono em cada comportamento foi utilizado o nível de significância de 5%, sendo análises estatísticas realizadas com o auxílio do programa estatístico ASSISTAT. Foram registrados na época chuvosa, os maiores valores de carbono no sub-bosque da área de Caatinga Secundária Inicial, com 0,74 kg ha^{-1}. Já na época seca o maior teor de carbono foi encontrado na Caatinga Secundária Tardia (0,68 kg ha^{-1}). Em serapilheira a área de Caatinga Preservada obteve na época chuvosa o maior teor médio de carbono com 2,42 kg ha^{-1}, em época seca a área de Caatinga Secundária Tardia foi a que apresentou maior teor de carbono (2,39 kg ha^{-1}) e o menor valor foi obtido na área de Caatinga Secundária Inicial com 2,08 kg ha^{-1} de carbono. Os teores de carbono no solo apresentaram diferenças significativas quanto aos fatores época, área de estudo e profundidade. Na época chuvosa na área de Caatinga Secundária Tardia foi registrado o maior teor de carbono no solo com 9,00 Mg ha^{-1}. Na época seca, o maior teor médio de carbono encontra-se na área de Caatinga Preservada com 14,99 Mg ha^{-1} . A área de Caatinga Secundária Tardia na época chuvosa apresentou o maior estoque de carbono com (33,01 Mg ha^{-1}). Já na época seca, o maior estoque de carbono foi na área de Caatinga Preservada com 49,77 Mg ha^{-1} de carbono. Os resultados do presente estudo determinaram que as maiores teores de carbono orgânico foram encontradas na área de Caatinga Preservada, e as maiores concentrações de carbono foram registrados na época seca. Dentre os compartimentos vegetais, a maior concentração de carbono ocorreu na serapilheira. No solo, a maior concentração de carbono se deu na camada superficial (0-5 cm).

Palavras-chave: Carbono orgânico, Sub-bosque, Serapilheira, Solo

SOUZA, Bruna Vieira de. Carbon stock different physiognomies of the Caatinga Seridó of Paraíba. Patos – PB: UFCG, 2012. 54f. **(Dissertation - Master's Degree in Forest Sciences)**

SUMMARY

Forests play a significant role in storing large amounts of Carbon in their biomass and other forest compartments, as in the understory, litter and soil. Thus, this study aimed to determine the amount of organic Carbon in an area of Caatinga different successional stages, in the compartments: understory, litter and soil in the rainy season and drought. The study was carried out at Cachoeira de São Porfírio, the city of Varzea – PB in 4 (four) areas de 3000 square meters each, with vegetation in different successional stages. Samples were collected from plant material in understory and litter, and soil samples to determine the levels of Carbon. The collect of understory and litter totaled 120 samples in each compartment. The plant material was sent to the laboratory of EMBRAPA Semi-Arido Petrolina-PE, to determine the organic carbon content. The soil was collected at 04 depths (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm and 15-20 cm), totaling 96 samples in the rainy season and dry season. Analyzes soil were performed at the Laboratory of Soil and Water / UFCG in Patos (PB). For comparison of the carbon content in each behavior was used, the significance level of 5%, and statistical analyzes carried out using the ASSISTAT statistical program. Were recorded in the rainy season, the highest values of carbon in the understory of Initial Secondary Caatinga, with 0.74 kg ha^{-1}. In the dry season the highest carbon content was found in the Secondary Late Caatinga (0.68 kg ha^{-1}). Litter in Caatinga Preserved had the highest average content of carbon and 2.42 kg ha^{-1} in the rainy season, in dry season, the area of Caatinga Late Secondary showed the highest carbon content (2.39 kg ha-1) and lowest value was obtained in the area of Caatinga Initial Secondary with 2.08 kg ha^{-1} carbon. The carbon content in the soil showed significant differences for time factors, the study area and depth. In the rainy season in the area of Caatinga Secondary Late was recorded the highest content of carbon in the soil with 9.00 Mg ha^{-1}. In the dry season, the highest average content of carbon is in the area of Caatinga Preserved with 14.99 Mg ha^{-1}. The Caatinga Late Secondary in the rainy season had the largest stock of carbon (33.01 Mg ha^{-1}). In the dry season, the highest carbon stock was in the area of Caatinga Preserved with 49.77 Mg ha^{-1} carbon. The results of this study determined that the highest organic carbon contents were found in the area of Caatinga Preserved, and higher carbon concentrations were recorded during the dry season. Among the vegetable compartments, the highest concentration of carbon occurs in the litter. In soil, the highest concentration of carbon occurred in the surface layer (0-5 cm).

Keywords: Organic carbon, Understory, litter, soil

LISTA DE FIGURAS

3

Figura 2 - Área de Caatinga Secundária Inicial (CSI) em época chuvosa(A) e époa seca..... 23

Figura 3 - Área de Caatinga Secundária Tardia (CST) em época chuvosa(A) e époa seca 24

Figura 4 - Área de Caatinga Preservada (CP) em época chuvosa(A) e époa seca 25

Figura 5 - Representação da moldura e método de coleta do compartimento vegetal de sub-bosque 26

Figura 6 - Moldura de ferro para coleta de serapilheira 27

Figura 7 - Coleta de solo com anel metálico para determinaçãoda da densidade do solo 28

Figura 8 – Equema de coleta e armazenamento das amostras de solo para determinação de carbono no solo 30

Figura 9 - Teor de carbono no solo (Mg ha^{-1}) em área de Pasto Nativo em diferentes profundidades, nas épocas chuvosa e seca, no município de Varzea-PB 40

Figura 10 - Teor de carbono no solo (Mg ha^{-1}) em área de Caatinga Segundária Inicial em diferentes profundidades, nas épocas chuvosa e seca, no município de Varzea-PB 42

Figura 11 - Teor de carbono no solo (Mg ha^{-1}) em área de Caatinga Segundária Tardia em diferentes profundidades, nas épocas chuvosa e seca, no município de Varzea - PB 44

Figura 12 - Teor de carbono no solo (Mg ha^{-1}) em área de Caatinga Preservada em diferentes profundidades, nas épocas chuvosa e seca, no município de Varzea - PB 45

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Análise de Variância dos teores de cabono em sub-bosque (kg ha^{-1}) dos fatores e das interações entre os fatores 32

Tabela 2 - Teor de carbono (kg ha^{-1}) e valores médios de produção de sub-bosque (Mg ha^{-1}) nas áreas de estudo em duas épocas no município de Várzea - PB 32

Tabela 3 - Teor de carbono (kg ha^{-1}) e valores médios de produção de serapilheira acumulada (Mg ha^{-1}) nas áreas de estudo em duas épocas no município de Várzea - PB..... 34

Tabela 4 - Análise de Variância dos teores de cabono no solo (Mg ha^{-1}) e as interações entre os fatores 36

Tabela 5 - Teor médio de carbono no solo (Mg ha^{-1}), nas épocas chuvosa e seca, em diferentes áreas sucessionais de Caatinga, na profundidade 0-20 cm no município de Várzea - PB 36

Tabela 6 - Estoque médio de carbono no solo (Mg ha^{-1}), nas épocas chuvosa e seca, em diferentes áreas sucessionais de Caatinga, na profundidade 0-20 cm no município de Várzea - PB 38

Tabela 7 - Estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1}), em área de Pasto Nativo em diferentes profundidades, nas épocas chuvosa e seca, no município de Várzea - PB 41

Tabela 8 - Estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1}), em área de Caatinga Secundária Inicial em diferentes profundidades, nas épocas chuvosa e seca, no município de Várzea – PB 43

Tabela 9 - Estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1}), em área de Caatinga Segundára Tardia em diferentes profundidades , nas épocas chuvosa e seca, no município de Várzea – PB 45

Tabela 10 - Estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1}), em área de Caatinga Preservada em diferentes profundidades, nas épocas chuvosa e seca, no município de Várzea – PB 46

SUMÁRIO

1 Introdução 11
2 Referencia teórico 13
2.1 Mudança climáticas, efeito estufa 13
2.2 O carbono no meio ambiente 14
2.3 Carbono no sub-bosque e serapilheira 15
2.4 Carbono no solo 18
2.5 Bioma Caatinga 21
3 Material e Métodos 23
3.1 Áreas de estudo 23
3.2 Coleta das amostras nos compartimentos sub-bosque, serapilheira e solo 26
3.2.1 Coleta de amostras de sub-bosque 26
3.2.2 Coleta de amostras de serapilheira 27
3.2.3 Coleta de amostras de solo 28
3.3 Análise estatística dos dados 31
4 Resultados e discussão 32
4.1 Teor de carbono no compartimento vegetal 32
4.1.2 Teor de carbono no compartimento sub-bosque 32
4.1.3 Teor de carbono no compartimento serapilheira 34
4.2 Teor estoque de carbono compartimento solo 35
4.2.1 Teor e estoque de carbono no solo em área de Pasto Nativo 39
4.2.2 Teor e estoque de carbono no solo em área de Caatinga Secundária Inicial 41
4.2.3 Teor e estoque de carbono no solo em área de Caatinga Secundária Tardia 43
4.2.4 Teor e estoque de carbono no solo em área de Caatinga Preservada 45
5 Conclusão 47
Referências 48

1 Introdução

As atividades antrópicas têm provocado uma série de alterações na paisagem resultante, principalmente, pela degradação da cobertura vegetal, o uso incorreto do solo, os desmatamentos e queimadas, fatores estes que contribuem significativamente para as emissões de gases na atmosfera principalmente o dióxido de carbono (CO_2).

Em áreas de ocorrência de vegetação natural, é mantida estreita harmonia entre cobertura vegetal, o sistema físico, químico e biológico do solo, através de processos essenciais, como a ciclagem de nutrientes, pela formação e decomposição da matéria orgânica.

O acúmulo de carbono em ecossistemas terrestres está inteiramente relacionado com o balanço dos processos de fixação de carbono pelas plantas através da fotossíntese e os que liberam carbono através da respiração e, da emissão de gases causados pela ação humana.

Os ecossistemas acumulam na sua biomassa o carbono retirado da atmosfera durante o processo de fotossíntese. As plantas absorvem gás carbônico e, usando água e energia da luz solar, convertem o gás carbônico em glicose ($C_6H_{12}O_6$), sendo o oxigênio (O_2) liberado durante a produção de biomassa (RENNER, 2004).

As florestas ocupam um papel significativo para o equilíbrio do balanço do ciclo global do carbono, devido a sua capacidade de armazenar por longo prazo grandes quantidades desse elemento na sua biomassa e em outros compartimentos florestais, como no sub-bosque, na serapilheira e no solo.

A Caatinga pode ser um depósito significativo de carbono que ainda é pouco conhecido e explorado, haja visto seus recorrentes sazonalidades da queda e tipo vegetativo que tem sua representatividade na redução de carbono na atmosfera. Pouco se sabe sobre o estoque de carbono orgânico nesse ecossistema, principalmente o existente no sub-bosque, na serapilheira e no solo.

É importante que os teores de carbono sejam determinados de forma direta, no entanto, pesquisas direcionadas à determinação do estoque de carbono nos compartimentos vegetais e no solo, enfrentam dificuldades em estimar a biomassa média total produzida pela vegetação da Caatinga, que tem como característica predominante uma composição florística, formada pelos diferentes tipos de vegetação e devido à grande variabilidade de solos em uma mesma área.

Sabe-se que são poucos os trabalhos científicos encontrados, nessa área de estudo direcionada a vegetação de Caatinga, ocorrendo um maior interesse pelos estudos em plantios comerciais de eucaliptos, pinus e seringueiras. Neste contexto, é imprescindível o desenvolvimento de projetos alternativos de modo a valorar a Caatinga e desenvolver sistemas que acumulem carbono, o que permitiria introduzir áreas desse bioma no mercado de negociação de cotas de crédito de carbono.

Sendo assim, a investigação acadêmico-científica sobre a capacidade de estoque de carbono em área de Caatinga poderá contribuir para alimentar uma base de dados e, posterior continuidade e monitoramento desde fluxo, além de aferir a contribuição que esse ecossistema exerce na mitigação dos efeitos nocivos da ação antrópica sobre o meio ambiente.

Por isso, fica perceptível a necessidade da realização de pesquisas, que possam dar subsídio ao conhecimento da quantidade de carbono fixado nos diferentes compartimentos em área de Caatinga, para melhor subsidiar ações conservacionistas e orientar práticas de manejo, associando a preservação do meio ambiente e ao desenvolvimento sustentável.

Diante do exposto, o presente estudo objetivou determinar a quantidade de carbono orgânico em área de Caatinga sob diferentes estágios sucessionais no seridó Paraibano, quantificando os teores de carbono nos compartimentos, sub-bosque, serapilheira e solo.

2 Referencial teórico

2.1 Mudanças climáticas, efeito estufa

As mudanças climáticas são processos naturais, no entanto, a partir da revolução industrial essas mudanças apresentaram maior intensidade e velocidade em suas ocorrências, tendo sido objeto de preocupação de cientistas e líderes mundiais, principalmente nas duas últimas décadas (VIEIRA et al. 2009).

Ao longo de toda historia geológica da terra ocorreram grandes variações climáticas, porem as evidências cientificas mostram que as mudanças ocorridas recentemente não são variações climáticas, mas tem ligação com o aumento da temperatura da terra influenciado por ações antrópicas, consumo de combustível fóssil, e atividades agropecuárias com prática de desmatamento e queimadas influenciando no efeito estufa (JURAS, 2008).

O efeito estufa é um fenômeno físico, que acontece naturalmente, acarretado pela existência de gases na atmosfera, a qual é constituída por vários gases, principalmente de nitrogênio (78%) e oxigênio (21%), sendo os principais gases de efeito estufa (GEE) o vapor d'água, o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O). Os GEEs em concentrações naturais têm como função atuar como um cobertor natural ao redor da terra, impedindo a radiação infravermelha térmica solar absorvida pela Terra se dissipe no espaço deixando a superfície do nosso planeta 33°C mais fria do que é hoje (CHANG, 2004).

Para Almeida; Campelo Júnior; Finger (2010) é preciso estudar e empregar estratégias, que proponha a redução da concentração de gases GEEs na atmosfera, visto que é crescente a preocupação mundial com a ascendência da concentração do dióxido de carbono (CO_2) que, desde a revolução industrial, aumentou aproximadamente 35%. Entre os gases do efeito estufa, o CO_2 tem aumentado sua concentração na atmosfera para 0,4% ao ano (CARMO et al. 2006).

Segundo Wang; Wang; Zhang (2009), os ecossistemas florestais influenciam significativamente no ciclo do carbono global, mesmo ocorrendo interferência no equilíbrio entre a fotossíntese e a respiração do ecossistema pode acarretar mudança na captação ou emissão de CO_2, sendo o aumento do armazenamento de C em ecossistemas um fator chave na manutenção do equilíbrio do C na atmosfera.

Segundo Almeida; Campelo Júnior; Finger (2010), as duas principais alternativas discutidas para encarar o problema ambiental são: o controle das emissões de gases e a adoção

de medidas compensatórias, que pode vir a aumentar o estoque de carbono na biomassa. Por meio da preservação de florestas nativas, reflorestamento e plantio de árvores, que são responsáveis pela retirada de grande quantidade de CO_2 da atmosfera, através do processo de fotossíntese.

Através do desmatamento e das queimadas das florestas que, contribuem para o aumento do efeito estufa, visto que liberam CO_2 na atmosfera, porém quando acontecem ações de preservação conservação e plantio das florestas, ocorre o efeito inverso devido ao aparecimento de um sumidouro de carbono, uma vez que as florestas removem parte do CO_2 da atmosfera promovendo o chamando "seqüestro de carbono" (SILVA et al. 2008).

2.2 O carbono no meio ambiente

As florestas são importantes para o equilíbrio do balanço global de gás carbônico, pois armazenam carbono nos seus diferentes compartimentos (na biomassa das árvores, no sub-bosque, na serapilheira e no solo) sendo que os diferentes tipos de florestas armazenam diferentes quantidades de carbono, em função dos estágios de sucessão que se encontra, do regime de manejo utilizada, da composição de espécies e das condições climáticas do local (WATZLAWICK et al. 2004).

Nos diferentes sistemas de uso da terra o carbono é liberado pela vegetação depois da sua derrubada e queima e, pelo solo depois das intervenções freqüentes no preparo do solo. Isto ocasiona o rompimento do estado estável do carbono na biomassa, o aumento na velocidade de mineralização da matéria orgânica e, consequentemente, a liberação do carbono que se encontra nos poros do solo (AREVALO; ALEGRE; VILCAHUAMAN 2002)

O conceito de fixação de carbono/armazenamento esta relacionado com a idéia de estocar carbono em solos, florestas e outros compartimentos da vegetação, promovendo o incremento do estoque de carbono pelo estabelecimento de novas plantações florestais, sistemas agroflorestais e pela recuperação de áreas degradadas através de práticas conservacionistas, sendo que em teoria, o efeito da captura por processos de reflorestamento e florestamento pode ser quantificado estimando-se o acumulo de carbono atmosférico nos compartimentos florestais (BALBINOT et al. 2003).

Para Sanquetta; Balbinot (2004) conhecer as quantidades dos teores de carbono estocados na biomassa é essencial, para isso, a realização de uma avaliação precisa e confiável da biomassa é parte imprescindível e vital para os estudos que apontam à quantificação da captura de carbono pelas florestas. Vieira et al. (2009), confirmam que é

indispensável a determinação correta de maneira direta, e em diferentes biomas, espécies, e compartimentos, visto que o método de determinação pode influenciar no resultado do valor de carbono.

Nas atuais condições de ocupação do solo é necessária a realização de estudo das estimativas de biomassa e estoque de carbono com a finalidade de subsidiar informações para planejamento e execução do manejo dos recursos florestais, auxiliar no cálculo das emissões de gases do efeito estufa, decorrente da combustão e decomposição da matéria orgânica nos sistemas antropizados e preservados (SILVEIRA et al. 2008).

Os sistemas naturais, que vêem sendo transformados em áreas agrícolas compõem, nas regiões tropicais, um fator importante na contribuição do aumento da concentração de CO_2 atmosférico, o que está relacionado a alterações climáticas globais (NEVES et al. 2004).

As perturbações efetuadas pela ação antrópica ao ciclo de carbono têm acontecido de forma direta e indireta. Um dos efeitos diretos evidenciados é a substituição da estrutura e distribuição da vegetação por meio de alterações do uso da terra, sendo às práticas de formação dos pastos, em especial com uso de queimadas (COSTA et al. 2009).

A retirada da vegetação de cerrado para a implantação de floresta plantada de eucalipto e introdução de sistemas agrossilvipastoris reduz o carbono em todos os seus compartimentos. Essa redução acontece devido à perda do equilíbrio da biodiversidade do cerrado, uma vez que a variedade de espécies foi substituída pelo eucalipto (Wendling et al. 2011).

Para Lukac et al. (2009), o aumento das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera pode ter implicações significativas para o armazenamento de carbono a longo prazo em solos florestais.

2.3 Carbono no sub-bosque e serapilheira

A captura de carbono através da fotossíntese ocorre quando as plantas absorvem energia solar e CO_2 da atmosfera, produzindo oxigênio e hidratos de carbono (açúcares como a glicose), que servem de base para seu crescimento. Através deste processo a as plantas fixam o carbono na biomassa da vegetação, e consequentemente constituem, junto com seus resíduos (madeira morta e serapilheira), um estoque natural de carbono. No entanto, existe um longo caminho entre a constatação desse fato e a quantificação precisa do carbono que entra no sistema através da fixação pelas plantas (BELLOTE et al. 2006).

De acordo com Leão (2000), as florestas têm a função primordial de eliminar o excesso de dióxido de carbono do ar que, combinado com a água absorvida do solo, produzem carboidrato, que por fim restituem a terra parte do carbono fixado, se transformando em elemento da crosta terrestre. Schumacher; König; Kleinpaul (2004), afirmam que os ecossistemas florestais são a melhor fonte de sumidouro de carbono para o controle das mudanças climáticas, pois além de estocar parte do carbono seqüestrado da atmosfera em seus tecidos, devolve parte ao solo por meio da queda da serapilheira com sua posterior decomposição.

Nas áreas de vegetação de caatinga o comportamento do sub-bosque é marcante pela presença de espécies efêmeras, que completam o seu ciclo fenológico nos 45 dias inicias após o inicio das chuvas, sendo a sua produção de fitomassa influenciada pela cobertura das espécies arbóreas. (ARAÚJO FILHO; CARVALHO, 1997). De acordo com Schumacher et al. (2011), o compartimento sub-bosque tem função de transição na imobilização e liberação dos nutrientes, onde disponibiliza os nutrientes, posteriormente, de forma lenta e gradual de acordo com sua velocidade de decomposição dos resíduos.

Segundo Brun et al. (2001), a deposição da serapilheira é resultado da senescência, resultante da influencia de diversos fatores ligados a fisiologia de cada espécie, o tipo de vegetação, latitude, relevo, temperatura, precipitação, fotoperíodo, evapotranspiração, deciduidade, estágio sucessional, herbívoria, estresse hídrico e estoque de nutrientes no solo. Além dos fatores já citados o sítio, o sub-bosque, manejo silvicultural, proporção de copa, bem como a taxa de decomposição e ação naturais como o fogo, ataque de insetos e ações artificiais como a remoção da serapilheira e cultivos ocorridos na floresta ou povoamentos são influencia ao acumulo da serapilheira (CALDEIRA et al. 2007). Calvi; Pereira; Júnior Espíndula (2009), acrescenta que a produção de serapilheira pode ser afetada por fatores bióticos e abióticos, e característica do solo, sendo que em cada ecossistema pode haver predominação de um fator mais que outro.

Para Costa et. al. (2010), serapilheira compreende a camada superficial do solo em ambientes florestais, sendo formada por folhas, galhos, material reprodutivo e detritos, que possibilitam o equilíbrio e dinâmica dos ecossistemas florestais.

Schumacher et al. (2004), a camada de serapilheira que se acumula sob o solo, funciona como uma esponja, com capacidade de reter a água da chuva, reduzir a evaporação e as variações bruscas de temperatura do solo, maior quantidade de matéria orgânica, evitando a erosão, melhorando a estrutura do solo, e promovendo a ciclagem de nutrientes no ecossistema.

A deposição de serapilheira é a principal forma da adição de carbono ao solo em florestas naturais ou plantios florestais, em virtude de ser a maior fonte de vários tipos de matéria orgânica, sendo que sua quantidade e procedência desempenham papel fundamental na formação e manutenção da fertilidade dos solos (GIÁCOMO; PEREIRA; BALIEIRO 2008).

A serapilheira representa um elo fundamental no fechamento do ciclo do carbono no e no papel regulador do fluxo dos elementos químicos entre a vegetação, o solo e a atmosfera, através dos processos de produção e decomposição ecológica (ADUAN; VILELA; KLINK 2003).

Para Ferreira et al. (2009), a dinâmica da serapilheira e de seus nutrientes, representada pela entrada por meio da deposição e saída via decomposição /mineralização, é fundamental à manutenção de florestas nativas ou plantios florestais e para Calvi; Pereira; Júnior Espíndula (2009), é indiscutível a sua importância na manutenção da fertilidade e dos níveis de nutrientes no solo, uma vez que a serapilheira assume o papel de estoque potencial de nutriente para o sistema.

Segundo Vital et al. (2004), a serapilheira faz parte do processo do retorno de nutrientes paro o solo sendo, considerada um dos componentes mais importantes na transferência de nutrientes essenciais da vegetação para o solo.

O processo de decomposição da serapilheira tem como conseqüência o acúmulo da matéria orgânica do solo, a liberação de nutrientes para os microorganismos e na evaporação de parte do CO_2, consistindo em um processo que conserva a fertilidade e a produtividade da área (SCHEER, 2008).

Em plantios de eucalipto com o aumento da idade do povoamento ocorre o aparecimento de aberturas do dossel, o que estimula o retorno e desenvolvimento do sub-bosque, que age positivamente na ciclagem de nutrientes, enriquecendo a serapilheira e contribuindo para o aumento dos teores de carbono no solo (SCHUMACHER; WITSCHORECK; CALIL 2011).

Balbinot et al. (2003), realizando inventario de carbono orgânico em plantio de *pinus taeda* aos 5 anos de idade em Cambará do Sul-RS encontraram 17,4 Mg ha^{-1}, de biomassa de serapilheira sobre o solo, com um total de 7,7 Mg ha^{-1} de carbono orgânico, sendo um valor elevado devido aos resíduos de poda.

Caldeira et al. (2003), estudando povoamentos de Acacia mearnsii, com 4 e 6 anos de idade no município de Butiá-RS, verificaram que o estoque de carbono orgânico em

serapilheira foi de 2,26 Mg ha^{-1} de carbono em povoamento com 4 anos e para o povoamento, com 6 anos de idade, o estoque de carbono orgânico foi de 4,53 Mg ha^{-1}.

Caldeira et al. (2008), estudando quantificação de serapilheira em três estádios sucessionais da Floresta Ombrófila Densa Submontana, em Blumenau/SC, observaram a quantidade total de carbono orgânico na serapilheira acumulada, distribuída na seguinte seqüência: estádio sucessional II (1,55 Mg ha^{-1}) > estádio sucessional III (1,51 Mg ha^{-1}) > estádio sucessional I (1,26 Mg ha^{-1}).

A continuidade da serapilheira sobre o solo possibilita o seu reaproveitamento no ciclo de nutrientes do ecossistema, por meio da decomposição e da liberação dos íons constituintes para posterior reabsorção pelas plantas (VIERA; SCHUMACHER 2010).

Alcântara Neto et al. (2011) observam que ocorre a recuperação nos estoques de carbono do solo conforme aumenta o ciclo do eucalipto na área, mostrando que em médios e longo prazo, a biomassa aportada possibilitara o aumento dos níveis de matéria orgânica do solo.

Zhou et al. (2008), trabalhando em floresta sub-tropical constataram que os compartimentos do sub-bosque e da serapilheira juntos representam cerca de 38-44% do total de carbono armazenado nas florestas. Isso mostra que ignorar a quantificação de carbono nesses compartimentos podendo acarretar erros significativos nas estimativas de carbono em florestas.

2.4 Carbono no solo

Segundo Melo (2007), os solos constituem um compartimento chave no processo de emissão de gases do efeito estufa (GEE) que causam o aquecimento global. Globalmente, segundo as estimativas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas há duas a três vezes mais carbono nos solos (1576 Pg C no primeiro metro de profundidade) em relação ao estocado na vegetação (cerca de 562 Pg C) e cerca do dobro (730 Pg C) em comparação com a atmosfera. Portanto, alterações nos ecossistemas naturais que envolvem desmatamento e utilização dos solos para fins agrícolas transferem carbono da vegetação e do solo em compostos gasosos para a atmosfera e incrementam o aquecimento.

Assim como nos vegetais, o solo também armazena carbono, o aumento no estoque de matéria orgânica do solo é decorrente da captação do carbono atmosférico, pelos vegetais através da fotossíntese, sendo, portanto do ponto de vista ambiental, um fator importante no entendimento da mitigação da emissão dos GEEs (LAL, 2002).

No solo o carbono encontra-se dividido em duas frações: inorgânica e orgânica. O termo orgânico refere-se a matérias ou substâncias que possuem elementos de carbono e hidrogênio em suas moléculas, podendo conter também nitrogênio, enxofre, fósforo,e outros elementos que constitui sua estrutura, esse carbono depende do processo de fotossíntese visto que a incorporação no solo acontece através do processo de decomposição da serapilheira depositado e posteriormente incorporada ao solo, já a fração inorgânica se encontra principalmente no material de origem, como as rochas calcárias (MELO, 2007).

Parte do processo de retorno de matéria orgânica para o solo florestal acontece por meio da produção de serapilheira, sendo esta considerada o componente mais importante de transferência de elementos essenciais da vegetação para o solo (VITAL et al. 2004).

A matéria orgânica é um componente importante em qualquer ecossistema terrestre, sendo responsável pela estabilidade da estrutura, infiltração e retenção de água, aeração e atividades de biomassa microbiana, tornando o solo resistente e elástico produzindo efeito na dinâmica de armazenamento de carbono chegando a armazenar três vezes mais carbono que a atmosfera (RIOS et al. 2006).

Para uma mesma produção e deposição de serapilheira, pode ocorrer variação dos teores de matéria orgânica para cada solo, devido a qualidade do material depositado e a influencia dos diversos fatores sobre a micro biota do solo, e sobre a taxa de decomposição (COSTA et al. 2009).

Segundo Montero (2008), os principais fatores que determinam a presença do carbono do solo são: o clima (temperatura e precipitação), a textura e material parental do solo (que determinam o teor e tipo de minerais de argila) e os fatores bióticos (tipo de vegetação, atividade da comunidade decompositora).

Em sistemas agrícolas, o estoque de carbono orgânico (CO) no solo é muitas vezes influenciado pelo manejo adotado, em solos com intensa atividade, além das perdas por erosão, ocorre aumento da atividade microbiana pela maior exposição dos resíduos aos microrganismos (SOUZA et al. 2009).

A crescente entrada de carbono no solo resultará em um maio seqüestro/ armazenamento de C no solo em florestas temperadas dependendo da combinação de vários fatores, tais como fertilidade do solo, temperatura, e umidade, que influenciam a velocidade e magnitude da raiz e da respiração microbiana e finalmente o destino de carbono extra armazenado ao solo (LUKAC et al. 2009).

Nos diferentes sistemas de uso do solo, o carbono é liberado pela vegetação depois da sua extração, queima e, pelo solo depois das intervenções freqüentes no preparo do solo.

Isto ocasiona o rompimento do estado estável do carbono na biomassa, o aumento na velocidade de mineralização da matéria orgânica e, portanto, a liberação do carbono que se encontra nos poros do solo (AREVALO; ALEGRE; VILCAHUAMAN, 2002).

Hickmann et al. (2012), comparando uma área sob vegetação natural com áreas com diferentes sistemas de manejo constataram que o cultivo do solo eleva a degradação física, e por fim intensifica a diminuição de carbono orgânico total, quando confrontado com a área de floresta nativa de Mata Atlântica.

Geralmente os solos das regiões semiáridas apresentam, baixos níveis de estoque de carbono em virtude do fator limitante que é a disponibilidade de água e a baixa produtividade primariam, sendo a principal fonte do carbono orgânico do solo e as emissões estão veiculadas principalmente à remoção e posterior queima da vegetação nativa e à erosão do solo, por meio da redução da produtividade primária, reduzindo assim o potencial do solo em estocar carbono e aumento das perdas de matéria orgânica encontrada no solo, (LEITE; PETRESE; SAGRILO, 2010).

Nunes et al. (2009), estudando diferentes sistemas percebeu que a prática de queima tradicional da vegetação de caatinga, caracteriza-se prejudicial ao solo, uma vez que aumenta as perdas de C, visto que o sistema da área que foi desmatada, queimada (em novembro de 2005), após cinco anos de pousio, e plantada com milho e feijão, com 16,86 g Kg^{-1} de carbono e que sistema de Mata natural com 18,72 g Kg^{-1} de carbono orgânico no solo.

Neves et al. (2004), verificando as alterações nos teores e no estoque de carbono orgânico no solo em diferentes sistemas na fazenda experimental Bom Sucesso, de propriedade da Companhia Mineira de Metais (CMM), observaram que houve uma considerável redução no estoque de carbono na área de eucalipto com consórcio em relação ao cerrado nativo, sendo assim o estoque de carbono orgânico mostrou ser um atributo promissor para a avaliação da qualidade do solo.

Em estudos para determinação de carbono orgânico em povoamentos de *Acacia mearnsii*, Caldeira et al. (2003) constataram que o estoque de carbono total no solo, até 1,0 m de profundidade, foi similar nos povoamentos de *A. mearnsii* com 4 e 6 anos de idade.

Barreto et al. (2006) estudando os diferentes sistemas de uso do solo mata atlântica, cultura do cacau e pastagem, observaram que não ocasionaram mudanças no teor de COT do solo, visto que o sistema cacau apresenta uma cobertura espessa no solo proveniente do aporte de serapilheira, onde possivelmente armazena altos teores de carbono, semelhante ao sistema de mata.

Amorim (2009), avaliando a variação sazonal dos estoques médios de carbono em Argissolo sob Caatinga, no município de Petrolina, (PE) encontrou os seguintes teores de carbono 16,5; 11,8 e 9,89 Mg ha^{-1} no período de estiagem e após o período chuvoso 14,2; 10,0 e 8,99 Mg ha^{-1} nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-30cm, respectivamente.

Alcântara Neto et al. (2011) estudando o impacto do cultivo do eucalipto em diferentes idades e de diferentes fitofisionomia de Cerrado, constataram que as áreas com vegetação de Cerrado obteve maiores estoques de carbono orgânico total do as áreas com cultivo de eucalipto, nas camadas 0-10 e 10-20 cm.

2.5 Bioma Caatinga

O domínio geoecológico das caatingas ocupa uma área de 1.037.517,80 km², correspondendo a 70% da Região Nordeste e a 13% do território brasileiro, dentro do denominado Polígono das Secas e engloba os Estados nordestinos do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, além da região norte do Estado de Minas Gerais (ALVES, 2007).

Segundo Ab'sáber (1999) os atributos que dão similaridades às regiões semiáridas são de origem climática, hídrica e fitogeográfica: sendo os baixos níveis de umidade, escassez de chuvas anuais, irregularidade no ritmo das precipitações ao longo dos anos; prolongados períodos de carência hídrica; solos problemáticos tanto do ponto de vista físico quanto do geoquímico e ausência de rios perenes.

Dentre as florestas tropicais e subtropicais, cerca de 40% correspondem a florestas secas. Estas, incluindo a caatinga, formam os ecossistemas considerados como os mais explorados e degradados do mundo (PRADO, 2003).

Em vegetação de caatinga os estádios da sucessão secundária variam dependendo das características e diferentes condições dos sítios ecológicos. O comportamento em geral acontece seguindo uma linha oscilando de acordo com os indicadores vegetais, influenciado pela direção e velocidade, sendo o modelo, estádio herbáceo com duração de 1 a 3 anos, estádio arbustivo com 10 a 15 anos, estádio arbustivo-arbóreo com 20 a 25 anos e estádio arbóreo- arbustivo após os 40 anos (ARAÚJO FILHO CARVALHO, 1997).

A vegetação é distribuída de forma irregular, contrastando áreas de vegetação florestal, com áreas com solo quase descoberto. Apresenta uma grande biodiversidade com espécies de portes e arranjos fitossociológicos variados tornando-os bastante complexo (SOUTO, 2006).

As diferentes formações de caatinga podem ser caracterizadas, em geral, como florestas de porte baixo, compreendendo principalmente árvores e arbustos que geralmente apresentam comportamento caducifólio e com presença de espinhos e microfilia, com presença de plantas suculentas e um estrato herbáceo efêmero, presente somente durante a curta estação chuvosa (CARDOSO; QUEIROZ, 2007).

Souto (2006); Andrade et al. (2008); Souza (2009) trabalhando com deposição de serapilheira em área de Caatinga em RPPN na Fazenda Tamanduá - PB, observaram que cerca de 60 % da serapilheira acumulada é composta da fração folha, Souto (2006) obteve no primeiro de coleta de outubro/2003 a setembro/2005 3238,51 kg ha^{-1}, Andrade et al. (2008) em um ano (2005/2006), encontrou uma de produção de 2283,97 kg ha^{-1} de serapilheira aportada e Souza (2009) na mesma área durante três anos observou a seguinte produção no período de agosto/2006 a julho de 2009 com 6800,67 kg ha^{-1} de serapilheira depositada ao solo. Os autores também constataram o comportamento caducifólio da vegetação de caatinga, visto que a deposição de serapilheira da área estudada acontece com maior intensidade logo após o término do período chuvoso.

3 Material e Métodos

3.1 Áreas de estudo

O estudo foi desenvolvido na Fazenda Cachoeira de São Porfírio, situada no município de Várzea - PB (06º 48’ 32,1” S; 36º57’, 17,4” W), altitude de 271 m com 58 hectares; na Mesorregião Sertão Paraibano, distante 52 km da cidade de Patos, PB.

Os solos predominantes são Associações de Luvissolos e Neossolos Litólicos (EMBRAPA, 2006), com afloramentos de rochas e topografia com variações suave onduladas.

Segundo a classificação de Köppen o clima da região se enquadra no tipo BSh, semiárido, com médias térmicas anuais superiores a 25°C e pluviosidade média anual inferior a 800 mm ano^{-1} com chuvas irregulares.

Para a realização do estudo foram selecionadas 4 (quatro) áreas medindo cada uma 3000 m², com vegetação em diferentes estágios sucessionais, a saber:

→Área 1: Pasto Nativo (PN): Área com vegetação herbácea e arbustiva desprovida de vegetação arbórea, predominando capim panasco (*Aristida setifolia*), e alguns arbustos como a malva branca (*Sida cordifolia*), alfazema (*Hyptis suaveolens*), e pinhão (*Jathropha sp.*) como pode ser visualizada na figura 1, a área foi cercada para que não ocorra o presença de animais, localizada sob as coordenadas S 06º 48’ 18.5” S, 36º 56’ 58.9” W.

Figura 1 - Área de Pasto Nativo (PN) em época chuvosa (A) e na época seca (B)

Fonte: Souza 2012

→Área 2: Caatinga Secundária Inicial (CSI), área com presença de vegetação em estádio arbustivo-arbóreo com aproximadamente 10 anos de idade, (Figura 2) localizada nas coordenadas 6º 48’ 24.8” S; 36º 57’ 10.6”W. Nessa área as espécies de maior ocorrência são marmeleiro (*Croton sonderianus*), jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), faveleira (*Cnidoscullus phyllacanthus*), catingueira (*Poycianella pyramidalis*), malva (*Sida codifolia*), alfazema (*Hyptis suaveolens*). A vegetação arbórea é composta por indivíduos de pequeno porte e espaçada, com clareiras ocupadas pelo estrato herbáceo.

Figura 2 - Área de Caatinga Secundaria Inicial (CSI), em época chuvosa (A) e época seca (B)

Fonte: Souza 2012

→Área 3: Caatinga Secundária Tardia (CST), área com vegetação arbóreo-arbustiva com cerca de 20 a 25 anos idade (Figura 3) localizada na coordenadas 6º 48’ 22.3” S, 36º 57’ 04.1” W. Na área encontra-se exemplares das espécies de pau pedra (MMM), jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), faveleira (*Cnidoscullus phyllacanthus*), catingueira (*Poycianella pyramidalis*). A vegetação arbórea é composta por indivíduos de porte médio e pequeno, com clareiras ocupadas pelo estrato herbáceo.

Figura 3 - Área de Caatinga Secundaria Tardia (CST), em época chuvosa (A) e época seca (B)

Fonte: Souza 2012

→Área 4: Caatinga Preservada/clímax (CP), vegetação com aproximadamente 50 anos (Figura 4) localizada nas coordenadas 6º 48’ 32.5” S, 36º 57’ 09.0” W, onde são encontrados indivíduos, catingueira (*Poycianella pyramidalis*), favela (*Cnidoscullus phyllacanthus*), jurema preta (*Mimosa tenuiflora*) e eventual presença de espécies herbácea. Este comporta-se, pela presença de indivíduos de porte adulto (alto), médio e pequeno, tendo a maior parte de suas copas se tocando, sombreando o solo com consequente diminuição do estrato herbáceo.

Figura 4 - Área de Caatinga Preservada (CP), em época chuvosa (A) e época seca (B)

Fonte: Souza 2012

Em cada um dos diferentes estádios sucessionais foram instaladas três parcelas de 20m x 50m na qual foram realizadas as coletas das amostras de sub-bosque, serapilheira e de solo para quantificação de carbono sendo as coletas realizadas em duas épocas do ano (época chuvosa e época seca).

3.2 Coleta das amostras nos compartimentos Sub-bosque, serapilheira e solo

3.2.1 Coleta de amostras de sub-bosque

Para a determinação do teor de carbono no compartimento sub-bosque foi considerado toda vegetação do estrato herbáceo de ocorrência espontânea. Em cada área experimental foi coletada 15 amostras do extrato herbáceo, somando 60 amostras para cada época, totalizando 120 amostras, para as duas épocas de coleta (período chuvoso e seco).

Em cada parcela de amostragem foram coletadas 05 amostras aleatórias do extrato herbáceo, utilizando uma moldura de 1m² constituído de tudo PVC (Figura 5), que foi lançado aleatoriamente.

Figura 5 - Representação da moldura e método de coleta do material vegetal do sub-bosque

Fonte: Souza 2012

Toda biomassa circunscrita na moldura foi cortada rente ao solo com o auxilio de uma tesoura de poda sendo em seguida colocada em sacos plásticos devidamente identificados para serem transportados ao Laboratório de Nutrição de Essências Florestais da

Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal (UAEF), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus de Patos (PB) onde foram pesados individualmente, obtendo-se, assim, o peso verde.

Em seguida, o material vegetal de cada amostra foi transferido para sacos de papel, identificados e colocados em estufa de circulação forçada de ar a 65°C para secagem por 72 horas. Posteriormente, o material foi pesado para determinação do peso de massa seca, e depois triturada em moinho tipo Willey com malha de 1mm.

Cuidados foram tomados para evitar a contaminação das amostras mediante a limpeza do moinho ao final a cada amostra moída. O material vegetal de cada amostra, após moído, foi armazenado em potes de plástico devidamente identificados. As análises foram realizadas no laboratório do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico semiárido (CPATSA) da EMBRAPA-Semiárido, em Petrolina-PE.

3.2.2 Coleta de amostras de serapilheira

Para a coleta de serapilheira foi utilizada uma moldura de ferro de 0,5m x 0,5m (Figura 6) que foi lançada aleatoriamente, em cada parcela sendo, coletadas 5 amostras de serapilheira acumulada na superfície do solo totalizando 15 amostras por área, 60 amostras por época, consequentemente, 120 amostras para as duas épocas de coleta.

Figura 6 - Moldura de ferro para coleta de serapilheira

Fonte: Souza 2012

Toda a serapilheira acumulada na moldura foi coletada, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e encaminhadas para o Laboratório Nutrição de Essências Florestais da UAEF/UFCG, em Patos (PB), sendo estas pesadas individualmente, obtendo-se, assim, o peso úmido. Em seguida o material vegetal de cada parcela foi transferido para sacos de papel, identificados e colocados em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas.

Após esse período, o material vegetal foi pesado para determinação de seu peso seco, moído em moinho tipo Willey e encaminhados para o laboratório do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico semiárido (CAPSTA) na EMBRAPA-Semiárido, em Petrolina-PE para determinação do teor de carbono orgânico.

3.2.3 Coleta de amostras de solo

A coleta de solo para a determinação da densidade aparente e a quantificação de carbono orgânico no solo foi realizada em 04 profundidades (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e de 15 a 20 cm) compondo 04 amostras de solo por parcela, totalizando 12 amostras para época chuvosa e 12 para época seca. As profundidades foram determinadas em virtude da presença de material rochoso e de representar a profundidade comum de ocupação das raízes da maioria das plantas presentes no ambiente.

As amostras para a determinação da densidade aparente do solo foram retiradas com o auxílio de anéis metálicos (Figura 7) nas profundidades acima mencionadas.

Figura 7 - Coleta de solo com anel metálico para determinação da densidade do solo

Fonte: Souza 2012

As amostras foram devidamente identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Nutrição de Essências Florestais da UAEF/UFCG, em Patos (PB), sendo estas pesadas individualmente, obtendo-se, assim, o peso de massa úmida. Posteriormente colocadas para secar em estufa a 105ºC por 72 horas depois pesado para determinação do peso de massa seca.

A umidade do solo foi determinada a partir da seguinte equação:

$$US = \frac{PU - PS}{PS} \times 100$$

Onde:

US = umidade da amostra de solo em porcentagem (%);

PU = peso de massa úmida da amostra (g);

PS = peso de massa seca da amostra (g);

Volume do cilindro foi calculado através da seguinte equação:

$$V = \frac{\pi \times d^2}{4} \times h$$

Onde:

V= volume do cilindro (cm^3)

d = diâmetro interno(em cm)

h= altura (em cm).

A densidade do solo foi obtida através da equação:

$$D = \frac{PS}{VS}$$

Onde:

D = densidade aparente assumida (g cm^{-3})

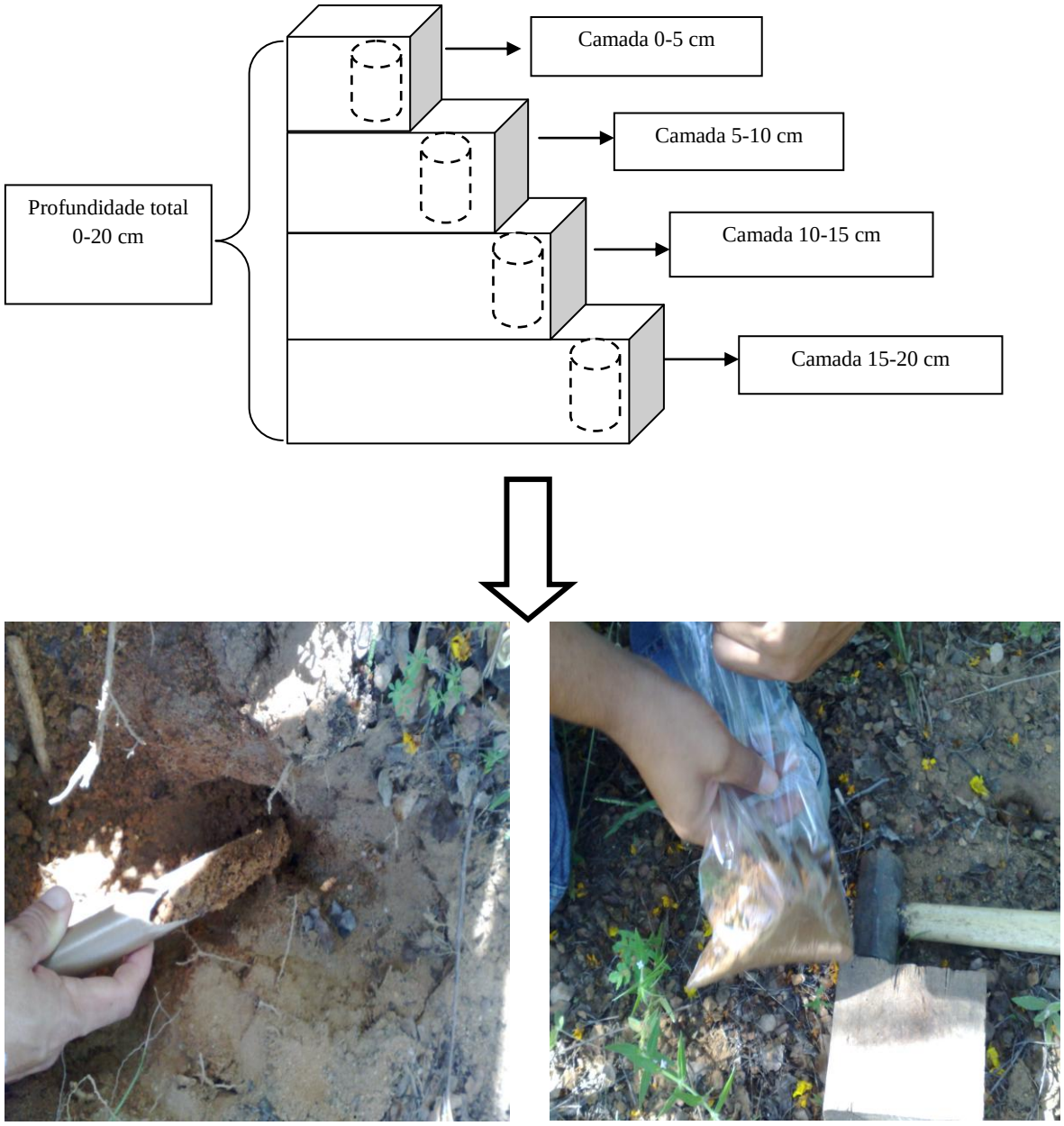
PS = peso de massa seca da amostra (g) determinado no laboratório;

VS = volume da amostra (cm^3); (calculado pela formula do volume do cilindro)

As estimativas do estoque de carbono no solo foram realizadas nas profundidades 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15-20 cm, em todas as áreas estudadas. Para isso as coleta das amostras de solo para quantificação do carbono orgânico em cada profundidade, foram

abertas pequenas trincheiras onde foram coletadas nas profundidades estabelecidas, com o auxílio de espátula, sendo o solo armazenado em sacos plásticos, cujo procedimento está representado esquematicamente na figura 8, as amostras foram transportadas para o laboratório onde as amostras foram secas ao ar, posteriormente peneiradas em malha de 2,0 mm e encaminhadas para análise no Laboratório de Solo e Água/UFCG, em Patos (PB).

Figura 8 - Esquema de coleta e armazenamento das amostras de solo para determinação para carbono no solo



Fonte: Souza 2012

A metodologia adotada para estimar o estoque de carbono no solo foi baseada em Rufino (2009), onde segundo o autor, deve-se multiplicar o teor de carbono médio da amostra pela sua densidade e profundidade de escavação, conforme equação a seguir. Assim, o estoque total de carbono ao longo do perfil foi obtido pela soma do estoque médio em cada profundidade, sendo os valores expressos em Mg ha^{-1}.

$$Est._{total} C = C \times D \times P$$

onde,

$Est._{total}$= Estoque total de carbono (Mg ha^{-1})

C = teor médio de carbono (g dm^{-3});

D = densidade do solo (g cm^{-3});

P= profundidade de escavação (cm).

3.3 Análise estatística dos dados

A verificação de diferenças significativas nos teores de carbono entre os quatro estágios sucessionais, nos compartimentos sub-bosque, serapilheira e solo em duas épocas do ano foram feita através de avaliações estatísticas, através da análise de variância.

O delineamento experimental utilizado foi um arranjo fatorial 2 x 4 (sendo 2 épocas, 4 áreas), com 15 repetições para sub-bosque e serapilheira, para o solo o arranjo fatorial foi 2 x 4 x 4 (sendo 2 épocas, 4 áreas e 4 profundidades) 3 repetições para cada profundidade.

Para os dados de teor e estoque de carbono em cada área pesquisada se aplicou o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) para avaliar a existência de diferença entre as profundidades.

Para comparação das médias dos teores de carbono em cada comportamento foi utilizando o nível de significância de 5%, sendo análises estatísticas realizadas com o auxílio do programa estatístico ASSISTAT Versão 7.5 beta (SILVA; AZEVEDO, 2008).

4 Resultados e discussão

4.1 Teor de carbono no compartimento vegetal

4.1.2 Teor de carbono no compartimento sub-bosque

De acordo com análise estatística dos dados de teor de carbono para o compartimento sub-bosque (Tabela 1), verificou-se que não houve diferença significativa nos fatores quando analisados individualmente, porém a interação entre épocas e áreas foi significativa. É provável que o fator época (chuvosa e seca) pode ter interferindo na produção de carbono das áreas de estudo.

Tabela 1 - Análise de Variância dos teores de carbono em sub-bosque (kg ha^{-1}) dos fatores e das interações entre os fatores

QUADRO DE ANÁLISE VARIÂNCIA				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Época (F1)	1	0,00951	0,00951	0,8862
Area (F2)	3	0,5587	0,01862	1,7361
Int. F1xF2	3	0,26636	0,8879	8,2775*
Tratamentos	7	0,33173	0,04739	4,4182*
Resíduo	112	1,20133	0,01073	
Total	119	1,53306		

Fonte: Souza 2012
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (0,01 =< p < 0,05

Quanto aos teores médios de carbono, na interação entre épocas e áreas estudadas (Tabela 2) verifica-se que houve diferença significativa, sendo registrado na época chuvosa, o maior valor de carbono no sub-bosque da área de Caatinga Secundaria Inicial, com 0,74 kg ha^{-1}. Já na época seca, a área de Caatinga Secundária Tardia foi a que apresentou o maior teor de carbono com 0,68 kg ha^{-1}, quando comparado com as outras áreas.

Tabela 2 - Teor de carbono (kg ha^{-1}) e valores médios de produção de sub-bosque (Mg ha^{-1}) nas áreas de estudo em duas épocas no município de Várzea - PB

	Época chuvosa		Época seca	
Área de estudo	Carbono	Sub-bosque	Carbono	Sub-bosque
Pasto Nativo	0,66 abA	2,29	0,65 abA	1,49
Caatinga Secundária Inicial	0,74 aA	1,77	0,57 bB	2,05
Caatinga Secundária Tardia	0,64 bA	1,70	0,68 aA	1,43
Caatinga Preservada	0,57 bA	1,35	0,64 abA	1,38

Fonte: Souza 2012
Médias seguidas pela mesma letra, minúscula entre áreas as e maiúscula entre as épocas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 1% de probabilidade

Ainda na tabela 2 pode-se observar que a produção de biomassa foi maior nas áreas de Pasto Nativo com 2,29 Mg ha^{-1}, na época chuvosa, e na área de Caatinga Secundária inicial com 2,05 Mg ha^{-1} na época seca. É provável que essa maior produção de biomassa no sub-bosque nas áreas de Pasto Nativo e Caatinga Secundária Inicial, seja devido ao próprio comportamento das áreas, onde na primeira área não se registrou a presença de espécies arbóreas, sendo as herbáceas dominantes. Já na segunda área estudada havia formação arbórea espaçada formando aberturas no dossel, o que permitia maior entrada de luz solar, favorecendo o desenvolvimento do sub-bosque.

A área de Caatinga Preservada apresentou a menor produção de biomassa nas épocas chuvosa e seca com 1,35 Mg ha^{-1} e 1,38 Mg ha^{-1} respectivamente. Esse fato pode ser explicado pela formação da área, que por sua vez resulta na supressão do sub-bosque que tendem a produzir uma menor quantidade de massa verde.

Durante a época seca, com exceção da área de Caatinga Secundária Inicial, as demais áreas apresentaram uma produção de biomassa no sub-bosque inferior a produzida na época chuvosa, isso é justificável pelo fato do sub-bosque ser composto na sua maioria por espécies de ciclo curto e que é encerrado normalmente logo após o período chuvoso.

Torna-se difícil a comparação entre trabalhos de quantificação da biomassa e carbono no sub-bosque (vegetação herbácea), devido a escassez de trabalhos que relatam esta avaliação em vegetação nativa, principalmente em área de Caatinga. Por isso que as comparações dos dados obtidos no presente estudo serão feitas na sua maioria com dados obtidos em plantios comerciais.

Assim a biomassa produzida pelo estrato herbáceo no presente estudo foi inferior a quantidade encontrada por Watzlawich; Sanquetta; Caldeira (2005) em povoamento de *Pinus taeda* aos 21 anos de idade que foi de 2,79 Mg ha^{-1} e por Schumacher et al., (2011), que quantificou 16,79 Mg ha^{-1} de biomassa do sub-bosque em um plantio de *Araucaria angustifólia* com 27 de idade. Em outro estudo de estimativa da biomassa e do carbono no sub-bosque em plantio de *Pinus taeda* com 14 e 32 anos de idade, Watzlawich; Caldeira (2004) obtiveram 1,12 e 1,18 Mg ha^{-1} de carbono, respectivamente, e para biomassa os valores obtidos foram 2,79 e 3,07 para as duas idades, sendo, portanto superiores aos relatados neste estudo em todas as áreas avaliadas.

Schumacher et al. (2011) salientam a importância do sub-bosque por atua como um compartimento de transição para os nutrientes no sistema solo-planta, o que otimiza absorção e retenção dos nutrientes (evitando sua saída da zona radicular) e disponibilizando os nutrientes posteriormente, de maneira lenta e gradual por meio da decomposição dos resíduos.

Quanto a presença do sub-bosque, Schumacher; Witschoreck (2004) confirmam sua importância para o ambiente onde sua presença atua positivamente na ciclagem de nutrientes, favorecendo a fixação de nitrogênio, enriquecendo a serapilheira, o que auxilia na sua decomposição e disponibilização de nutrientes, no aumento dos teores de matéria orgânica do solo e consecutivamente de carbono.

4.1.3 Teor de carbono no compartimento serapilheira

Os dados dos teores de carbono na serapilheira não apresentaram diferença estatística nos diferentes estádios de sucessão, durante a época chuvosa e seca. Embora sem diferença significativa verificam-se na tabela 3, na época chuvosa, que a área de Caatinga Preservada apresentou tendência de maior teor médio de carbono com 2,42 kg ha^{-1}, sendo registrado na área de Pasto Nativo o menor teor de carbono com 2,24 kg ha^{-1}. Na época seca a área de Caatinga Secundária Tardia foi a que apresentou maior teor de carbono (2,39 kg ha^{-1}) e o menor valor foi obtido na área de Caatinga Secundária Inicial com 2,08 kg ha^{-1} de carbono.

Tabela 3 - Teor de carbono (kg ha^{-1}) e valores médios de produção de serapilheira acumula (Mg ha^{-1}) nas áreas de estudo em duas épocas no município de Várzea–PB

Área de estudo	Época chuvosa		Época seca	
	Carbono	Serapilheira acumulada	Carbono	Serapilheira acumulada
Pasto Nativo	2,24	3,99	2,24	3,38
Caatinga Secundária Inicial	2,31	2,78	2,08	3,09
Caatinga Secundária Tardia	2,38	4,16	2,39	3,38
Caatinga Preservada	2,42	3,42	2,21	3,01

Fonte: Souza 2012

Essa proximidade nos valores de carbono no compartimento serapilheira nas épocas avaliadas ocorreu, provavelmente, devido à semelhança do material aportado nas áreas estudadas. As três áreas com vegetação de caatinga apresentam espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas que irão contribuir na formação da serapilheira acumulada. Assim, a semelhança no teor de carbono na serapilheira acumulada na área de Pasto Nativo com as demais áreas, pode ser atribuída à presença das espécies herbáceas em comum em maior densidade populacional na área de pasto e isso possivelmente influenciou na quantidade de material orgânico acumulado na superfície do solo.

Ainda na tabela 3 verifica-se que a área de Caatinga Secundária Tardia apresentou tendência crescente no valor de serapilheira acumulada na época chuvosa com 4,16 Mg ha^{-1}, enquanto que a área de Caatinga Secundária Inicial foi a que obteve menor quantidade de serapilheira acumulada (2,78 Mg ha^{-1}). Observando os dados na época seca, as área de Pasto Nativo e Caatinga Secundária Tardia obtiveram o maior valor de serapilheira acumulada com 3,38 Mg ha^{-1} e o menor acúmulo de serapilheira registrado a área de Caatinga Preservada com 3,01 Mg ha^{-1} de material e isso pode ser atribuído ao processo de decomposição mais rápido nessa área que mantêm as condições favoráveis de umidade por períodos mais longos, devido a presença espécies arbóreas em maior densidade.

Os valores de serapilheira acumulada obtidos neste estudo são superiores ao encontrados por Souto (2006) em área de caatinga em uma RPPN no município de Santa Terezinha em dois períodos de estudo, obtendo 1,1 Mg ha^{-1} e 1,4 Mg ha^{-1}. Já comparando os valores obtidos neste estudo com os reportados por Santana (2005) em dois períodos de amostragem, os valores serapilheira acumulada registrados por esse autor (7,7 e 4,4 Mg ha^{-1}) foram superiores.

Ao observar os dados dos teores de carbono nos compartimentos sub-bosque e serapilheira, constata-se que na serapilheira o teor de carbono é cerca de 3 a 4 vezes superior aos valores relatados para o sub-bosque em todas as áreas avaliadas e épocas de coleta. Isso significa dizer que, a presença da vegetação fornecedora de serapilheira para o solo é de fundamental importância para a retenção e manutenção do carbono no solo e que práticas agrícolas que removem essa camada, principalmente o uso do fogo, elimina grande parte desses resíduos, promovendo a liberação do carbono para a atmosfera.

Ribeiro et al. (2009) salientam a importância de estudos que quantifiquem o carbono estocado em diferentes estádios sucessionais, onde segundo esses autores os resultados obtidos serão de grande relevância para projetos de florestamento e reflorestamento no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, especialmente se a conservação florestal vier a se tornar prática elegível, pois é uma forma de estimar a quantidade de créditos de carbono que será gerada após certo período de tempo.

4.2 Teor e estoque de carbono no compartimento solo

Verifica-se na análise de variância (Tabela 4), que os dados referentes aos teores de carbono no solo apresentaram diferenças significativas quanto aos fatores época, área de

estudo e profundidade. Assim, a discussão dos dados dos teores de carbono no solo será feita para cada fator de forma independente.

Tabela 4 - Análise de Variância dos teores de carbono no solo (Mg ha^{-1}) e as interações entre os fatores

QUADRO DE ANÁLISE VARIÂNCIA				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Época (F1)	1	656.73113	656.73113	39.4363 *
Area (F2)	3	508.73144	169.57715	10.1830 *
Profundidade (F3)	3	502.37143	167.45714	10.0557 *
Int. F1xF2	3	59.82658	19.94219	1.1975 ns
Int. F1xF3	3	40.92057	13.64019	0.8191 ns
Int. F2xF3	9	105.38018	11.70891	0.7031 ns
Int.F1x2x3	9	127.85941	14.20660	0.8531 ns
Tratamentos	31	2001.82073	64.57486	3.8777 *
Resíduo	64	1065.78873	16.65295	
Total	95	3067.60947		

Fonte: Souza 2012
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (0,01 =< p < 0,05
ns não significativo (p >= 0,05)

Quanto aos teores médios de carbono do solo na época chuvosa (Tabela 5) verificou-se diferença significativa entre as áreas, onde na área de Caatinga Secundária Tardia foi registrado o maior teor de carbono no solo com 9,00 Mg ha^{-1}, seguida da área de Caatinga Preservada com 7,87 Mg ha^{-1}. As áreas de Caatinga Secundária Inicial e Pasto Nativo obtiveram valores médios de carbono com 3,99 Mg ha^{-1} e 3,72 Mg ha^{-1} respectivamente. Na época seca, os teores médios de carbono foram superiores aos registrados na época chuvosa em todas as áreas estudadas. O maior teor médio de carbono encontra-se na área de Caatinga Preservada com 14,99 Mg ha^{-1} seguida da área de Caatinga Secundária Tardia com 12,13 Mg ha^{-1}. Já o menor teor de carbono nesse compartimento foi registrado na área de Pasto Nativo com 8,07 Mg ha^{-1}de carbono no solo.

Tabela 5 - Teor médio de carbono no solo (Mg ha^{-1}), nas épocas chuvosa e seca, em diferentes áreas sucessionais de Caatinga, na profundidade 0-20 cm no município de Várzea - PB

Áreas de estudo	Época Chuvosa	Época Seca
Pasto Nativo	3,72 bB	8,07 bA
Caatinga Secundária Inicial	3,99 bB	10,31 abA
Caatinga Secundária Tardia	9,00 aA	12,13 abA
Caatinga Preservada	7,87 aB	14,99 aA

Fonte: Souza 2012
Médias seguidas pela mesma letra, minúscula entre as áreas e maiúscula entre as épocas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade

Os teores mais elevados de carbono no solo nas áreas de Caatinga Secundária Tardia e Caatinga Preservada nas duas épocas avaliadas podem ser atribuídos a maior quantidade de serapilheira aportada, onde a fração folhas contribui com mais de 60%, segundo relatado em vários estudos de deposição em área de Caatinga (SOUTO, 2006; ANDRADE et al., 2008; SANTANA; SOUTO, 2011). Assim, as folhas em maior quantidade são mais facilmente decompostas, liberando carbono e outros nutrientes para o solo. Estudo desenvolvido por Pinto et al. (2009) comprova que a fração folhas apresenta maior teor de carbono com 64,8 g m^{-2} quando comparado com as frações órgãos reprodutivos (48,8 g m^{-2}), ramos (19,4 g m^{-2}) e sementes (6,7 g m^{-2}). Esse fato explica o teor elevado de carbono no solo dessas áreas onde as folhas, que têm uma função fotossintética muito ativa e acumulam carbono nesse processo, após sua senescência serão decompostas, com conseqüente liberação de quantidades mais elevadas de carbono para o solo.

Ainda na tabela 5 verifica-se que o efeito da sazonalidade nos teores de carbono foi observado em três das quatro áreas estudadas. Quando comparado os teores médios de carbono das áreas entre a época chuvosa e a época seca observa-se que apenas a área de Caatinga Secundária Tardia não apresentou diferença significativa. Porém, é importante ressalta que a época seca apresentou maior teor de carbono no solo com 12,13 Mg ha^{-1}.

É provável que essa maior concentração de carbono no solo no período seco seja devido à morte das raízes finas, principalmente do estrato herbáceo que não suporta déficit hídrico e é eliminado, sendo este um comportamento sazonal em áreas de caatinga. Esse comportamento é confirmado por Salcedo; Sampaio (2008) onde afirmam que as maiores concentrações e estoques de carbono no solo no fim do período seco se deve a deposição de folhedo e morte de raízes finas, sendo estas as principais entradas de carbono no solo.

Neste contexto, Balbinot et al. (2003) relatam que a entrada de carbono orgânico no solo depende da entrada de material orgânico através da senescência de certos componentes da biomassa acima e abaixo do solo, queda das folhas, resíduos da exploração e animais mortos, com suas respectivas taxas de decomposição.

Em trabalho sobre decomposição de material vegetal (serapilheira) em RPPN no município de Santa Terezinha-PB, Souto (2006) verificou que a taxa decomposição dos resíduos armazenadas em bolsas de náilon foi de 47% nos 12 primeiros meses e que a decomposição foi mais acelerada no período chuvoso onde as condições edafo-climáticas eram favoráveis, intensificando a ação dos organismos decompositores.

O estoque de carbono orgânico total no solo (Tabela 6) acompanha os valores médios do teor carbono no solo em cada área. A área de Caatinga Secundária Tardia na época

chuvosa foi a que apresentou o maior estoque de carbono com (33,01 Mg ha^{-1}). Já na época seca, a área com maior estoque de carbono foi a área de Caatinga Preservada com 49,77 Mg ha^{-1}. A área de Pasto Nativo apresentou os menores valores no estoque de carbono nas duas épocas, sendo 13,23 Mg ha^{-1} na época chuvosa e 29,05 Mg ha^{-1} época seca.

Tabela 6 - Estoque médio de carbono no solo Mg ha^{-1} nas épocas chuvosa e seca, em diferentes áreas de sucessionais de caatinga na profundidade 0-20 cm no município de Várzea - PB

Área	Época chuvosa	Época seca
Pasto Nativo	13,23 bB	29,50 bA
Caatinga Secundária Inicial	14,65 abB	33,79 abA
Caatinga Secundária Tardia	33,01 aA	43,72 abA
Caatinga Preservada	26,99 abB	49,77 aA

Fonte: Souza 2012

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula entre as áreas e maiúscula entre as épocas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 1% de probabilidade

Esse maior estoque de carbono nas áreas mais preservadas, Caatinga Preservada na época seca e Caatinga Secundária Tardia na época chuvosa, pode ser atribuído a maior deposição de material orgânico formador da serapilheira, de exsudados de raízes, morte das raízes finas, a ausência do revolvimento do solo aliado, também a decomposição mais eficiente da biomassa presente no solo, resulta em maior acúmulo de carbono, evidenciando que o solo sob caatinga pode ser considerado um eficiente assimilador e acumulador de carbono. Já nas áreas menos preservadas, Pasto Nativo na época chuvosa e seca e área de Caatinga Secundária Inicial na época chuvosa, os estoques foram menores e esses resultados evidenciam que alterações nessas áreas como a retirada da vegetação arbórea, o revolvimento do solo, o pastejo e a queima promoveram déficit nos estoque de carbono dessas áreas.

Em relação à sazonalidade, convém salientar que o comportamento do ambiente é influenciado pelas condições climáticas da região, e que em área de caatinga onde foi desenvolvido este estudo, a sazonalidade apresenta-se bem definida, com ocorrências de precipitação mais intensas variando de 3 a 4 meses, registrando altas temperaturas a maior parte do ano, o que favorece o déficit hídrico no solo. Assim as temperaturas elevadas e a maior incidência dos raios solares na superfície do solo em áreas com pouca ou esparsa vegetação podem favorecer a oxidação do carbono no solo, modificando o equilíbrio do estoque.

Lima et al. (2011) avaliando mudanças nas características químicas, bem como nos estoques de carbono e nitrogênio de um Argissolo Vermelo-Amarelo sob sistemas

agroflorestais com diferentes idades no Norte do Estado do Piauí também observaram maior estoque de carbono no período seco em todas as áreas avaliadas. Observaram que os estoques foram elevados nos sistemas agroflorestais e isto estaria relacionado à maior quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo nos SAFs, melhorando a qualidade do solo, proporcionado pelas interações entre os componentes florestais e agrícolas. Além disso, segundo os autores, a ausência de revolvimento do solo dos SAFs proporciona melhores condições para os organismos responsáveis pela fragmentação do material vegetal e ciclagem dos nutrientes.

O estoque de carbono encontrados na camada de 0-20 cm neste trabalho foi superior aos reportados por Rufino (2009) em plantio com *Eucalyptus grandis* em diferentes idades e em fragmento de Cerrado no Estado de São Paulo, cujos valores de estoque foram 18,7 Mg ha^{-1} para Cerrado, no plantio com 25,5 Mg ha^{-1} (0-1 ano de idade), 25,3 Mg ha^{-1} (3 a 4 anos de idade) e 19,9 Mg ha^{-1} (6 a 7 anos de idade)

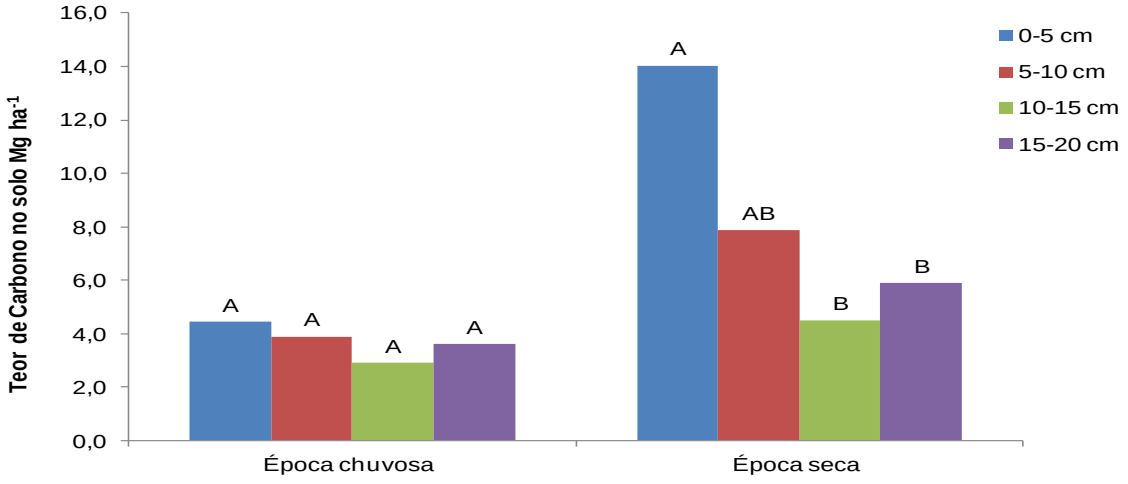
Amorim (2009), encontrou valores médios de estoque de carbono em área de mata nativa de caatinga em Pernambuco na ordem de 22,2 Mg ha^{-1} no período chuvoso e 25,00 Mg ha^{-1} no período seco, sendo esses inferiores ao encontrados em área de Caatinga Secundária Tardia e área de Caatinga Preservada.

4.2.1 Teor e estoque carbono no solo em área de Pasto Nativo

Na área de pasto nativo (Figura 9) observa-se que na época chuvosa não houve diferença significativa nos teores médios de carbono entre as profundidades avaliadas. No entanto, a camada superficial de 0-5 cm foi a que apresentou maior teor de carbono com 4,4 Mg ha^{-1}, e a camada de 10-15 cm com 2,92 Mg ha^{-1} apresentou o nível mais baixo de carbono no solo.

Na época seca constatou diferença significativa na distribuição dos teores de carbono ao longo das profundidades, sendo que o maior teor de carbono foi registrado na camada superficial do solo (0-5 cm) com 14,03 Mg ha^{-1}; as demais camadas apresentaram valores na ordem de 7,86 Mg ha^{-1} (5-10 cm), 4,49 Mg ha^{-1} (10-15 cm) e 5,89 Mg ha^{-1} (15-20 cm) de carbono

Figura 9 - Teor de carbono no solo (Mg ha^{-1}), em área de Pasto Nativo, em diferentes profundidades, nas épocas chuvosa e seca, no município de Várzea-PB



Fonte: Souza 2012

Observa-se que nas duas épocas estudadas a camada superficial apresentou o maior teor de carbono no solo e que a camada de 10-15 cm obteve os menores teores de carbono. A possível justificativa, para a presença dos maiores teores médio na camada superficial é devido ao aporte do material proveniente do ciclo de vida curto das herbáceas presentes na área, principalmente na época seca.

Segundo Costa et al. (2009), o aumento no teor de carbono nos solos sob pastagem pode estar mais ligado à qualidade do material orgânico a ser degradado do que à quantidade de material produzido nos diferentes ambientes, o que pode garantir maior permanência do C em um sistema em detrimento do outro.

Ao avaliar o estoque médio de carbono em área de Pasto Nativo nas diferentes profundidades (Tabela 7), verificou-se na época chuvosa que os valores não diferiram entre si, porém, a camada de 5-10 cm apresentou maior estoque de carbono. Já época seca, houve significância entre os valores com maior estoque de carbono registrado na camada superficial do solo (0-5 cm).

Os resultados evidenciaram que o estoque de carbono aumenta sensivelmente na época seca, chegando a ser três vezes superior ao registrado na época chuvosa. Esse comportamento se deve, provavelmente, ao maior acúmulo, decomposição e incorporação do material vegetal no solo, contribuindo para o aumento da matéria orgânica do solo. Além disso, é provável que a aumento da temperatura no solo devido à sua maior exposição na época seca e ao pastejo ocorrido anteriormente na área, possa ter alterado a estrutura,

reduzindo os poros maiores, com conseqüente aumento na densidade e aumento do estoque em algumas camadas.

Tabela 7- Estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1}), em área de Pasto Nativo em diferentes profundidades, nas épocas chuvosa e seca, no município de Várzea–PB

Profundidade	Época chuvosa	Época seca
0-5 cm	13,30ª	50,75ª
5-10 cm	15,51ª	28,81ab
10-15 cm	11,11ª	16,27b
15-20 cm	13,02ª	22,19ab
DMS	26,83	28,81

Fonte: Souza 2012

Médias seguidas pela mesma letra, entre as profundidades, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade

Os valores do estoque de carbono encontrados em área de Pasto Nativo, somando os valores obtidos nas profundidade 0-5 cm e 5-10 cm, época chuvosa, encontramos o estoque de carbono na ordem de 28,81 Mg ha^{-1}, e realizando esse mesmo procedimento para a época seca se obtém o estoque de carbono de 79,56 Mg ha^{-1}. Convém salientar que artifício foi feita para comparar os dados obtidos no presente estudo com os reportados por Martins et al. (2010) em ambiente degradado no semiárido Pernambucano que obteve no período chuvoso 14,004 Mg ha^{-1}e período seco 9,669 Mg ha^{-1} de carbono no solo, valores estes inferiores aos obtidos na área de Pasto Nativo, que entre as avaliadas foi a que mais teve interferência antrópica.

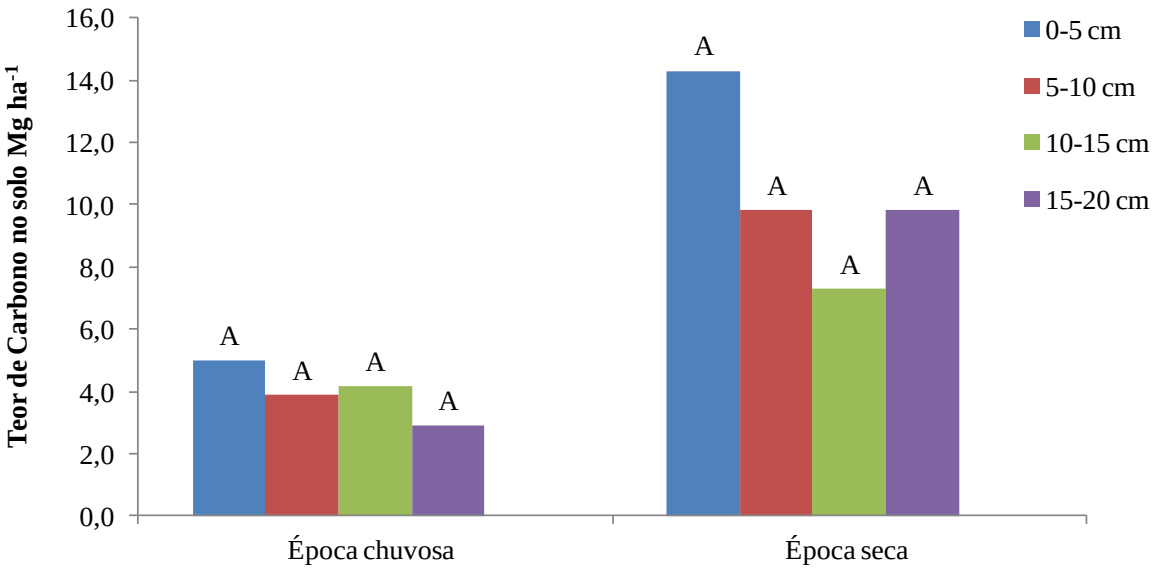
Em outro estudo, Leite; Petrese; Sagrilo (2010) avaliando o estoque de carbono em caatinga, pastagem e plantio com mangueira, na Estação Experimental da EMBRAPA Semiárido, em Petrolina-PE, registraram em pastagem com capim buffel 9,6 Mg ha^{-1} de carbono na camada de 0-20cm, valor este inferior aos registrados no presente estudo nas duas épocas.

4.2.2 Teor e estoque de carbono no solo em área de Caatinga Secundária Inicial

Em área de Caatinga Secundária Inicial não ocorreu diferença significativa nos teores de carbono entre as profundidades do solo, em nenhuma das épocas estudadas (Figura 10). Porém, observa-se que nas duas épocas o maior teor médio de carbono foi encontrado na camada de 0-5 cm com 5,00 Mg ha^{-1}, para a época chuvosa e 14,31 Mg ha^{-1} para época seca.

Além disso, os valores registrados na época seca superaram os da época chuvosa em todas as camadas analisadas. Na época chuvosa o menor teor de carbono (2,92 Mg ha^{-1}) foi obtido na camada 15-20 cm, enquanto que na época seca o menor teor de carbono foi observado na camada 10-15 cm com 7,92 Mg ha^{-1}.

Figura 10 - Teor de Carbono no solo (Mg ha^{-1}) em área de Caatinga Secundária Inicial em diferentes profundidades, nas épocas chuvosa e seca, no município de Várzea-PB



Fonte: Souza 2012

Apesar de não haver diferença significativa nos estoques de carbono no solo nas profundidades avaliadas (Tabela 8), o estoque na camada de 0-5 cm foi superior nas duas épocas de estudo, semelhante aos teores de carbono no solo como foi visto na figura 10. Assim como ocorreu na área de Pasto Nativo, os estoque de carbono sofreram elevação nos seus valores em todas as profundidades onde o maior valor registrado (camada 0-5 cm) aumentou cerca de 2,8 vezes na época seca.

Os dados anteriormente discutidos refletem a influência da vegetação no estoque de carbono no solo, onde a presença de formação vegetal em diferentes arranjos (herbáceo, arbustivo e arbóreo), vai influir na quantidade de estoque de carbono da área. Segundo Caldeira et al. (2003), a quantidade média de carbono orgânico no solo varia muito em função do tipo de floresta ou povoamento e com a idade.

Tabela 8 - Estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1}), em área de Caatinga Secundária Inicial em diferentes profundidades, nas épocas chuvosa e seca, no município de Várzea - PB

Profundidade	Época chuvosa	Época seca
0-5 cm	16,73a	47,90ª
5-10 cm	14,65a	33,45ª
10-15 cm	16,27a	24,28ª
15-20 cm	10,96a	29,52ª
DMS	22,90	53,90

Fonte: Souza 2012

Médias seguidas pela mesma letra, entre as profundidades, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade

Outra observação importante é a redução acentuada de estoque com o aumento da profundidade, principalmente na época seca onde a redução no estoque da camada superficial para a última camada avaliada (15-20 cm) que foi de 39%.

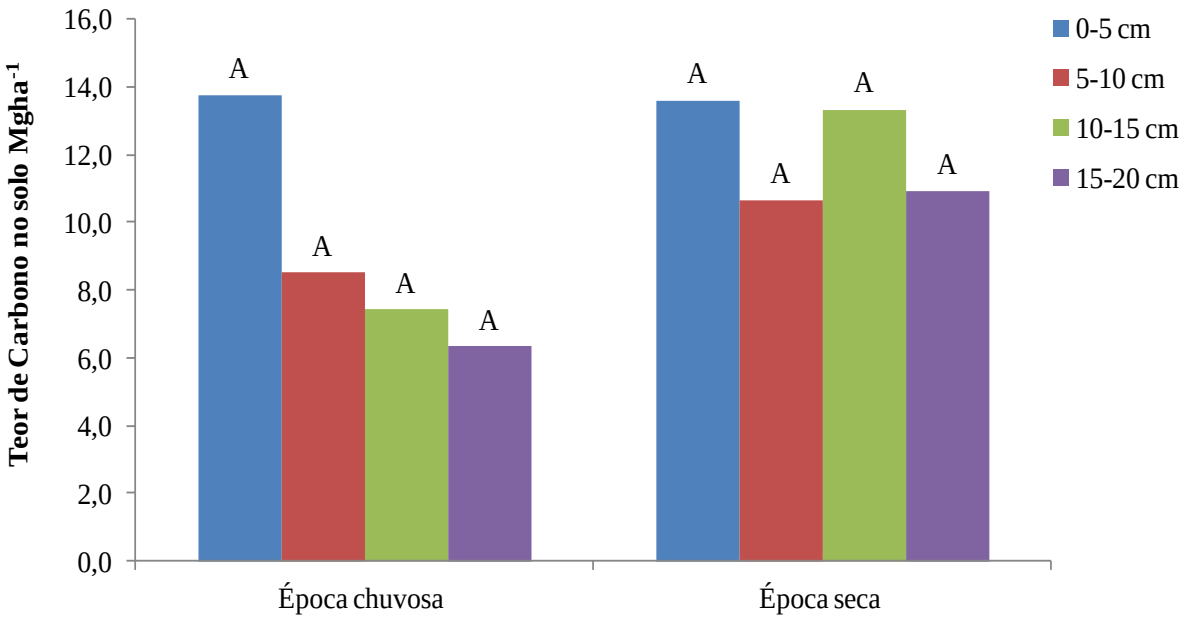
Rufino (2009) também registrou comportamento semelhante, ao determinar o estoque total de carbono em um Neossolo Quartzarênico em fragmento de Cerrado e diferentes plantios de eucaliptos. Caldeira et al. (2003) relatam resultados semelhantes, e afirmam que os teores e quantidades de carbono orgânico diminuem na medida em que aumenta a profundidade do solo, pois esse fato é atribuído a redução dos teores de MO com a profundidade.

4.2.3 Teor e estoque de carbono no solo em área de Caatinga Secundária Tardia

Verifica-se na figura 11 que o teor de carbono no solo em Caatinga Secundária Tardia, na época chuvosa, decresce com o aumento da profundidade, da mesma forma como foi observado nas demais áreas. Apesar do maior teor médio de carbono ter sido observado na camada 0-5 cm (13,74 Mg ha^{-1}), não houve diferença estatística entre os valores Giácomo; Pereira; Baleiro (2008), trabalhando em floresta secundária na Floresta Nacional Mário Xavier – RJ, encontrou teores de carbono na camada de 0-5 cm superiores com 39,38 Mg ha^{-1} de carbono.

Assim como ocorreu na área de Caatinga Secundária Inicial, na época chuvosa, o teor de carbono na área de Caatinga Secundária Tardia foi menor na camada 15-20 cm com 6, 32 Mg ha^{-1}, sendo este valor 45% menor que o valor registrado em Caatinga Secundária Tardia na camada superficial do solo (0-5 cm).

Figura 11: Teor de Carbono (Mg ha^{-1}) em área de Caatinga Secundária Tardia em diferentes profundidades, nas épocas chuvosa e seca, no município de Várzea-PB



Fonte: Souza 2012

Durante a época seca não foi observado diferenças estatística entre os valores de carbono (Figura 11), porém, foi registrado nas camadas 0-5 cm e 10-15 cm os maiores teores de carbono no solo, com 13,59 Mg ha^{-1} e 13,33 Mg ha^{-1}, respectivamente. A camada superficial 0-5 cm apresentou os maiores teores médios de carbono nas duas épocas de estudo (chuvosa e seca) e isso pode ser atribuído a presença do material depositado na superfície do solo, visto que na área de Caatinga Secundária Tardia ocorre a presença de espécies herbáceas de ciclo curto assim como espécies arbóreas de comportamento caducifólio que contribuem com o aumento da biomassa acumulada.

Em relação ao estoque de carbono em área de Caatinga Secundária Tardia, observa-se na tabela 9 que os valores são semelhantes estatisticamente. Da mesma forma como ocorreu nas outras áreas, os maiores valores concentram-se na época seca e na camada de 0-5 cm de profundidade. Os valores obtidos nas duas épocas e profundidades superaram os registrados na Caatinga Secundária Inicial, porém, observa-se que nessa área os valores nas diferentes épocas são mais aproximados. Isso indica, provavelmente, que quando o ambiente vai se recompondo ocorre equilíbrio entre entradas e saídas, mantendo uma certa constância na no estoque de carbono.

Tabela 9 – Estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1}), em área de Caatinga Secundária Tardia em diferentes profundidades, nas épocas chuvosa e seca, no município de Várzea - PB

Profundidade	Época chuvosa	Época seca
0-5 cm	47,25ª	48,25ª
5-10 cm	32,82ª	38,05ª
10-15 cm	28,38ª	48,91ª
15-20 cm	23,58ª	39,68ª
DMS	37,24ª	43,38

Fonte: Souza 2012

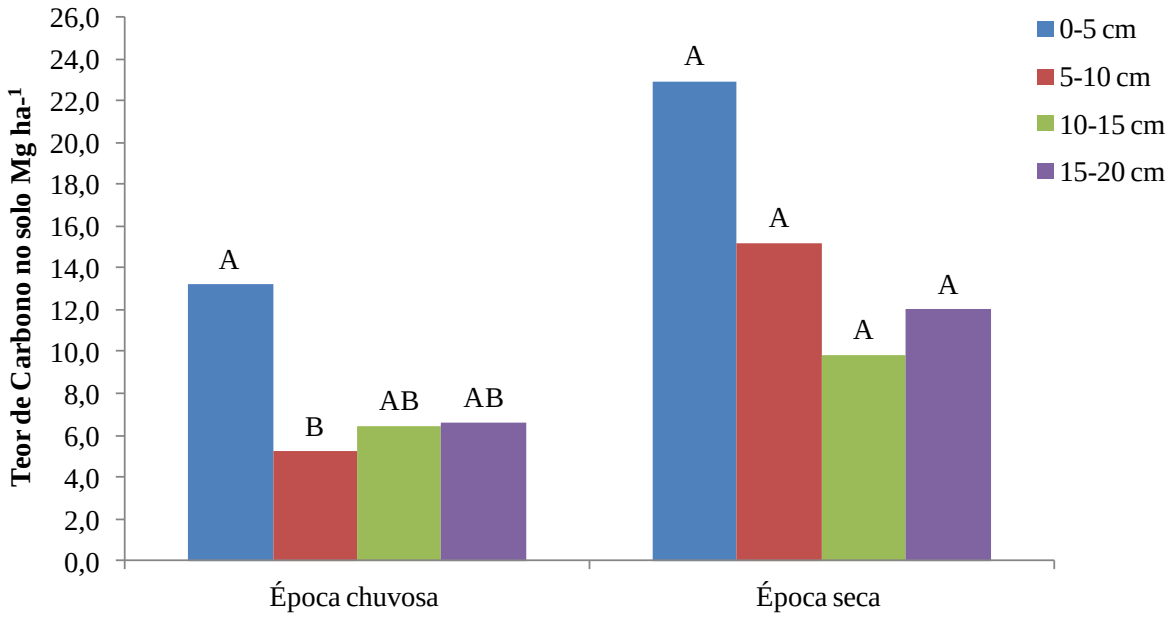
Médias seguidas pela mesma letra, entre as profundidades, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade

4.2.4 Teor e estoque de carbono no solo em área de Caatinga Preservada

Em área de Caatinga Preservada que ocorreu diferença significativa nos teores de carbono, na época chuvosa, entre as profundidades estudadas (Figura 12). Observa-se que nas duas épocas a camada superficial do solo (0-5 cm) apresentou os maiores teores médios de carbono com 13,19 Mg ha^{-1} para a época chuvosa e 22,92 Mg ha^{-1} para a época seca.

Ainda na época chuvosa, o menor teor de carbono foi observado na camada de 5-10 cm com 5,22 Mg ha^{-1} sendo porém, estatisticamente semelhante aos obtidos nas camadas mais profundas 10-15 cm com 6,46 Mg ha^{-1} e 15-20 cm com 5,59 Mg ha^{-1}.

Figura 12: Teor de Carbono no solo (Mg ha^{-1}), em área de Caatinga Preservada em diferentes profundidades, nas épocas chuvosa e seca, no município de Várzea-PB



Fonte: Souza 2012

Em relação à época seca, observa-se na figura 12 que o maior teor médio de carbono da área foi 22,92 Mg ha^{-1} na camada de 0-5 cm, e o menor teor médio de carbono foi encontrado na camada 15-20 cm com 11,99 Mg ha^{-1}.

A área de Caatinga preservada apresentou na época seca os maiores teores médios de carbono em todas as profundidades em relação a época chuvosa, e também em relação as outras áreas de estudos visto que é uma área a qual não há ação antrópica há vários anos possibilitando assim que o solo execute o seu papel de sumidouro de carbono.

Em se tratando do estoque de carbono no solo em área de Caatinga Preservada (Tabela 10), constata-se diferença estatística entre os valores obtidas nas diferentes profundidades apenas na época chuvosa. Foi a camada de 0-5 cm que apresentou o maior estoque de carbono nas duas épocas (chuvosa e seca). Além disso, como foi relatado anteriormente nas demais áreas, a época seca apresenta valores superiores no estoque de carbono, indicando que em área preservada a formação da serapilheira é mais intensa e variada devido à formação mais heterogenia da área e ao maior tempo de cobertura vegetal. Isso é confirmado por Giongo et al. (2011) que o acúmulo de carbono na camada superficial da caatinga preservada, provavelmente seja devido ao maior aporte de resíduos orgânicos e menor taxa de decomposição.

Tabela 10 - Estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1}), em área de Caatinga Preservada em diferentes profundidades, nas épocas chuvosa e seca, no município de Várzea - PB

Profundidade	Época chuvosa	Época seca
0-5 cm	44,25[a]	74,30[a]
5-10 cm	19,50b	51,77[a]
10-15 cm	21,28ab	33,60[a]
15-20 cm	22,91ab	39,42[a]
DMS	24,16	40,90

Fonte: Souza 2012

Médias seguidas pela mesma letra, entre as profundidades, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade

Os resultados do presente estudo na área de Caatinga Preservada evidenciam que a presença da vegetação mais antiga ou estável permite que o fluxo de carbono no solo aconteça de maneira equilibrada, tornando esse ambiente um grande assimilador de carbono. Dessa forma fica evidente que a interferência antrópica tende a reduzir o estoque de carbono no solo e que a retirada da vegetação nativa descaracteriza a função da floresta como sumidouro de carbono.

5 conclusão

- As maiores concentrações de carbono orgânico foram encontradas na área de Caatinga Preservada;

- Independente do estágio sucessional, as concentrações de carbono apresentaram variação sazonal, registrando os valores mais elevados na época seca, sendo esses dados um importante indicativo de que a caatinga é eficiente em acumular carbono no período de déficit hídrico.

- Quanto ao sub-bosque, na época chuvosa a área de Caatinga Secundária Inicial apresentou a maior concentração de carbono e na época seca a área de Caatinga Secundária Tardia obteve a maior concentração de carbono orgânico;

- Dentre os compartimentos vegetais, a maior concentração de carbono ocorreu na serapilheira, com maior concentração nas áreas mais preservadas.

- No solo, o maior teor e estoque de carbono ocorreram na camada superficial (0-5 cm) com decréscimo dos valores na medida em que se aumenta a profundidade. Ressalta-se que a interferência antrópica nesse compartimento remeterá para a atmosfera o CO_2 que se encontra retido no solo;

- Os dados obtidos nos diversos compartimentos dão um indicativo que a caatinga preservada ou em processo de restauração tem potencialidade de assimilar e reter carbono podendo incluir no mercado de crédito de carbono. Essa possibilidade poderá estimular a preservação da vegetação de caatinga junto aos produtores rurais, aumentando com isso as áreas florestadas, com conseqüências positivas na mitigação do CO_2.

Referências

AB'SÁBER, A. N. Dossiê Nordeste seco Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. **Revista Estudos Avançados** 1999.

ADUAN, R. E.; VILELA, M.; KLINK, C. A. Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres. O caso do cerrado brasileiro. Documentos. **Embrapa Cerrados**, v. 105, p. 1 - 28. 2003.

ALCÂNTARA NETO, F. A.; LEITE, L. F. C.; ARNHOLD, E.; MACIEL, G. A.; CARNEIRO, R. F. V. Compartimentos de carbono em latossolo vermelho sob cultivo de Eucalipto e fitofisionomias de Cerrado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 849-856, 2011.

ALMEIDA, E. M.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; FINGER, Z. Determinação do estoque de carbono em teca (*Tectona grandis* L. F.) em diferentes idades. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 559-568, 2010

ALVES, J. J. A. Geoecologia da caatinga no semi-árido do nordeste brasileiro. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 2, n. 1, p. 58-71, 2007.

AMORIM, L. B. **Caracterização da serrapilheira em caatinga preservada e mudanças no carbono do solo após o desmatamento sem queima.** 2009. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE.

ANDRADE, R. L.; SOUTO J S.; SOUTO, P. C.; BEZERRA, D. M. Deposição de serrapilheira em área de caatinga na RPPN "Fazenda Tamanduá", Santa Terezinha-PB. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v. 21, n. 2, p. 223-230, 2008.

ARAÚJO FILHO, J. A.; CARVALHO, F. C. Desenvolvimento sustentado da caatinga. Sobral: **Embrapa - Caprinos**, 1997, 19p. (Embrapa - Caprinos, circular técnica, 13).

AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. J. M. Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra. **Boletim de Pesquisa Florestal Colombo.** Embrapa Florestas, 2002. 41 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 73).

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M. V.; WATZLAWICK, L. F. E.; SANQUETTA, C. R. Inventário do carbono orgânico em um plantio de Pinus taeda aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 1, p. 59-68, 2003.

BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S.; FREIRE, M. B. G. dos S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. Revista Caatinga, Mossoró-RN, v. 19, n. 4, p. 415-425, 2006.

BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J.; TOMAZELLO FILHO, M.; ANDRADE G. C. Acúmulo de Carbono no Pinus taeda Estimado pela Densitometria de Raios X e Análise de Tronco. **Boletim de Pesquisa Florestal Colombo**, n. 53, p. 137-154 2006.

BRUN, E. J.; SCHUMACHER.M. V.; VACCARO, S.; SPATHEF, P. Relação entre a produção de serapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 277-285, 2001.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; BARICHELLO, L. R.; VOGEL, H. L. M. Determinação de carbono orgânico em povoamentos de *acacia mearnsii* de wild.plantados no rio grande do sul. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba v. 1, n. 2, p. 47-54, 2003.

CALDEIRA, M. V. W.; MARQUES, R.; SOARES, R. V; BALBINOT, R.; Quantificação de serapilheira e de nutrientes – Floresta Ombrófila Mista Montana – Paraná. **Revista. Acadêmica: ciências agrárias e ambientais.** Curitiba, v. 5, n. 2, p. 101-116, 2007.

CALDEIRA, M. V. W.; VITORINO, M. D.; SCHAADT, S. S.; MORAES, E.; BALBINOT, R.Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008.

CALVI, G. P.; PEREIRA, M. G.; ESPÍNDULA JÚNIOR, A. produção de serapilheira e aporte de nutrientes em areas de floresta atlântica em Santa Maria de Jetibá, ES. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 131-138, 2009.

CARDOSO, D. B. O. S.; QUEIROZ, L. P. Diversidade de leguminosae nas caatingas de Tucano, Bahia: implicações para a fitogeografia do semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Rodriguésia**, v. 58, n. 2, p. 379-391, 2007.

CARMO, C. A. F. S.; MANZATTO, C. V.; ALVARENGA, A. P.; TOSTO, S. G.; LIMA, J. A. S.; KINDEL, A.; MENEGUELLI, N. A. biomassa e estoque de carbono em seringais implantados na zona da mata de Minas Gerais. In: ALVARENGA, A. P., CARMO, C. A. F. S. **Sequestro em seringais de cultivo e na vegetação natural:** quantificação em seringas de cultivo e na vegetação natural. Viçosa, MG, 2006. p 352. p 77-108.

CHANG, M. Y. **Seqüestro florestal do carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas.** Curitiba, 2004. 276 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiental e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; COSTA L. M.; NACIF, P. G. S.; FARIA, J. C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no Sul da Bahia. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 1137-1145, 2009.

COSTA, C. C. V.; CAMACHO, R. G.; MACEDO, I. D.; SILVA, P. C. M. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na flona de Açu-RN. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 34, n. 2, p. 259-265, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS. 2ª ed., 306p, 2006.

FERREIRA, R. L. C.; LIRA JUNIOR, M. A.; ROCHA, M. S.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; BARRETO, L. P. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em

um bosque de sabiá (Mimosa caesalpinifolia Benth.). **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 7-12, 2009.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G., BALIEIRO, F. DE C. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição das frações húmicas no solo sob diferentes coberturas florestais **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Refice-PE, v. 3, n. 1, p. 42-48, 2008.

GIONGO, V.; GALVÃO, S. R. S.; MENDES, A. S.; CUNHA, T. J. F.; GAVA, C. A. T.; OLIVEIRA, R. C. S. Estoque de carbono no sistema solo em uma área referência do semiárido. XXXIII Congresso Brasileiro de ciência do solo. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas. 31 de julho à 05 de agosto – Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, R. B. A.; ANDRADE, C. L. T. Atributos físico-hidricos e carbono orgânico de um argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN v. 25, n. 1, p. 128-136, 2012.

JURAS, L. A. G. M. Aquecimento global e mudanças climáticas: Uma introdução. **Revista Plenarium,** v. 5, n. 5, p. 34 - 46, 2008.

LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environmental Pollution.**, v. 116, n. 3 p. 353-362, 2002.

LEÃO, R. M. **A floresta e o homem.** São Paulo: IPEF, 434 p., 2000.

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: ICID+18 2ª Conferência Internacional: Clima, Sustentabilidade e Desenvolvimento em Regiões Semiáridas 16 – 20 de Agosto de 2010, Fortaleza - Ceará, Brasil.

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; COSTA, D. B. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 1, p.51-60, 2011.

LUKAC, M., LAGOMARSINO A., MOSCATELLI, M. C., ANGELIS, P., COTRUFO, M. F., GODBOLD, D. L., Forest soil carbon cycle under elevated CO_2 - a case of increased throughput? **Revista Forestry,** v. 82, n. 1, 2009.

MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA, E. R.; POROCA, H. A, Atributos químicos e microbianos do solo de Áreas em processo de desertificação no Semiárido de Pernambuco. Revista Brasileira Ciência Solo, Viçosa, MG, v. 34, p. 1883-1890, 2010

MELLO, F. F. C. **Estimativa dos estoques de carbono dos solos nos estados de Rondônia e Mato Grosso anteriores às intervenções antrópicas**. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 88 p. 2007.

MONTERO, L. L. C**arbono em solos de Cerrado: efeitos do uso florestal (vegetação nativa de Cerrado, versus plantios de Ecalyptus e Pinus).** Tese (Doutorado) Instituto de Biociência da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia, 130 f. 2008.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; TOKURA, A. M., Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do estado de Minas Gerais. **Revista Ciência agrotécnica.** v. 28, n. 5, p. 1038-1046, 2004.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; HOLANDA JÚNIOR, E. V.; MENEZES, R. Í. Q. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de solo sob Caatinga no semi-árido nordestino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n.1, p.131-140, 2009

PINTO, M. T. C.; GASPAR, R. O.; RIBEIRO, S. C.; SOARES, C. P. B.; GONÇALVES, L. A.; MOREIRA, J. J. C. Serapilheira e estoque de carbono em um remanescente de Cerrado, no estado de Minas Gerais. Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil, 13 a 17 de Setembro de 2009, São Lourenço – MG

PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. In: LEAL, R. I.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. da. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003.

RENNER, R. M. **Seqüestro de carbono e a viabilização de novos reflorestamentos no Brasil.** Curitiba, 2004. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal – UFPR. 132p.

RIOS, L. C.; CONCEIÇÃO, M.; PÉREZ, D, V.; ARAÚJO, W. S. Estoque de carbono e caracterização de substâncias húmicas em solos sob seringais cultivados e vegetação natural. In: ALVARENGA, A. P., CARMO, C. A. F. S. **Sequestro em seringais de cultivo e na vegetação natural:** quantificação em seringas de cultivo e na vegetação natural. Viçosa, MG, 2006. p352. p159-178

RUFINO, A. M. M. **Estoque de carbono em solos sob plantios de eucalipto e fragmento de cerrado.** Dissertação (mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de ciências Agronômicas, Borucatu, 2009. 60f

SALCEDO, I. H. & SAMPAIO, E. V. S. B. Matéria orgânica do solo no bioma caatinga. In: SANTOS,G. S.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (eds).Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ª Ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 419-441.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLIOTTO, M. A. **Fixação de carbono:** atualidades, projetos e pesquisas. Curitiba, UFPR/ECOPLAN, 2004. p. 205. p. 77-93.

SANTANA, J. A. da S. **Estrutura fitossociológica, produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes em uma área de Caatinga no Seridó do Rio Grande do Norte**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB. 184 f. 2005

SANTANA, J. A. S.; SOUTO, J. S. Produção de serapilheira na Caatinga da região semi-árida do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Idesia** (Chile) v. 29, n. 2, 2011.

SCHEER, M. B. Decomposição e liberação de nutrientes da Serapilheira foliar em um trecho de floresta Ombrófila densa aluvial em regeneração, Guaraqueçaba (PR). **Revista Floresta** Curitiba, PR, v. 38, n. 2, p. 253-266. 2008.

SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; KÖNIG, F. G.; KLEINPAUL, J. J.; KLEINPAUL, I. S. Análise de nutrientes para a sustentabilidade. **Revista da Madeira**, Curitiba, PR, n. 83, 2004.

SCHUMACHER, M. V.; KÖNIG, F. G.; KLEINPAUL, J. J. Quantificação de carbono orgânico na serapilheira, sub-bosque e solo de uma floresta de *Pinus elliottii* Engelm. Aos 36 anos em Santa Maria, RS. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLIOTTO, M. A. **Fixação de carbono:** atualidades, projetos e pesquisas. Curitiba, UFPR/ECOPLAN, 2004. 205 p. p. 125-132.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N.; Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus spp*. De pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 17-22, 2011.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N.; LOPES, V. G.; VIERA, M. Produção de biomassa no corte raso em plantio de *Araucaria angustifólia* (Bertol.) Kuntze de 27 anos de idade em Quedas do Iguaçu, PR. **Revista Ciência Florestal,** Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 53-62, jan.-mar., 2011

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R. Inventário de carbono em povoamentos de *eucalyptus SSP* nas profundidades fumageiras do sul do Brasil: "Um estudo de caso". In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLIOTTO, M. A. **Fixação de carbono:** atualidades, projetos e pesquisas. Curitiba, UFPR/ECOPLAN, 2004. 205 p. p. 111-124.

SILVA, F. de A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. Software de assistência a estatística. Versão beta 7.5. 2008.

SILVA, R. F.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; SILVA, G. F. Projeção do estoque de carbono e análise da geração decréditos em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore,** Viçosa-MG, v.32, n.6, p.979-992, 2008

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 1, 2008.

SOUTO, P. C. **Acumulação e decomposição de serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba, Brasil.** Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba. 150 f. 2006.

SOUZA, B. V. **Avaliação da sazonalidade da deposição de serapilheira em RPPN no semi-árido da Paraíba-PB** 2009. Monografia (Graduação) Curso Engenharia Florestal. CSTR/UFCG, Patos, 2009.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; ANDRIGUETI, M.; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em

sistema de integração lavoura-Pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa MG, v. 33, n. 6, p.1829-1836, 2009.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Deposição de serapilheira e de macronutrientes em um povoamento de acácia-negra (Acacia mearnsii de Wild.) no Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 225-233, 2010.

VIEIRA, G.; SANQUETTA, C. R.; KLÜPPEL, M. L. W.; BARBEIRO, L. S. S. Teores de Carbono em espécies vegetais da Caatinga e do Cerrado. **Revista Acadêmica Ciências. Agrária Ambiental**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 145-155, 2009.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A.; FRANKEN W. K.; FONSECA, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 793-800, 2004.

WANG, Q.; WANG, S.; ZHANG, J. Assessing the effects of vegetation types on carbon storage fifteen years after reforestation on a Chinese fir site. **Forest Ecology and Management , v.** 258, P. 1437-1441. 2009

WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; SANQUETA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W. Teores de carbono em espécies da floresta ombrófila mista. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLIOTTO, M. A. **Fixação de carbono:** atualidades, projetos e pesquisas. Curitiba, UFPR/ECOPLAN, 2004. P. 205 p. 95-109.

WATZLAWICK, L. F.; SANQUETA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W. Estoque de Carbono orgânico e biomassa em *Pinus taeda* L. **Revista Biomassa & Energia**, v. 2, n. 1, p. 7-17, 2005.

WENDLING, B.; MENDONÇA, I. J.; FREITAS, I. C. V. Mudanças no carbono e nitrogênio em diferentes compartimentos da matéria orgânica sob sistema agrossilvipastoril. **Revista Ciência Florestal,** Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 641-653, 2011

ZHOU, C.; WEI, X.; ZHOU, G.; YAN, J.; WANG. X.; WANG, C.; LIU, H.; TANG, X.; ZHANG, Q. Impacts of a large-scale reforestation program on carbon storage dynamics in Guangdong, China. **Forest Ecology and Management,** v.255, p. 847-854, 2008.