

Estoque de carbono e de biomassa em vegetação com diferentes estágios de regeneração e alterações antrópicas em área urbana

Yuri Rommel Vieira Araújo^{1*}, Zayne Christina Gonçalves Moreira², Arinaldo Inácio das Neves³

¹Mestre em Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, Brasil. (*Autor correspondente: yrvaraujo@yahoo.com.br)

²Graduanda em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

³Bacharel em Geografia, Secretaria Municipal de Meio Ambiente de João Pessoa/PB, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 13/12/2019 – Revisado em: 28/01/2020 – Aceito em: 30/03/2020

RESUMO

O estudo teve como objetivo quantificar o estoque de carbono e biomassa em vegetação com diferentes estágios de regeneração e alterações antrópicas em área urbana. Para a obtenção dos resultados foi realizado o inventário florestal de seis áreas com diferentes características fitofisionômicas, grau de antropização e estágio de regeneração. Para a quantificação de estoque de carbono e biomassa foram utilizadas equações alóctones adaptadas para floresta estacional semidecidual. Das seis áreas, duas foram classificadas como estágio médio de regeneração, uma em estágio médio/inicial e três em estágio inicial. O estoque de biomassa abaixo do solo encontrado variou entre 28,66 t/ha e 0,12 t/ha e acima do solo entre 155,75 t/ha e 0,67 t/ha, dependendo do estágio de regeneração e grau de antropização. O estoque de carbono total variou entre 88,51 tC/ha e 0,38 tC/ha, conforme a fitofisionomia da área. A vegetação em estágio médio/inicial apresentou maior média de biomassa arbórea e carbono estocado em comparação aos demais estágios de regeneração. O fuste apresentou o maior estoque médio de carbono, seguida pelos galhos e raízes. Com os resultados foi possível concluir que as áreas que apresentaram vegetação com características mais próximas dos remanescentes florestais, apresentam maior capacidade de estoque de biomassa e carbono. As áreas em estágio médio/inicial absorvem maior quantidade de carbono e biomassa por hectares, e em estágio inicial, pouca capacidade. À medida que um remanescente florestal passa por um processo de antropização e de degradação, reduz sua função de sequestrar e estocar.

Palavras-Chaves: Queimada, GEE, Emissão atmosférica.

Stock de carbono y biomasa en vegetación con diferentes etapas de regeneración y cambios antropogénicos en áreas urbanas.

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo cuantificar las reservas de carbono y biomasa en la vegetación con diferentes etapas de regeneración y cambios antropogénicos en las zonas urbanas. Para obtener los resultados, se llevó a cabo un inventario forestal de seis áreas con diferentes características fitofisiognómicas, grado de antropización y etapa de regeneración. Para cuantificar las reservas de biomasa y carbono, utilizamos ecuaciones alóctonas adaptadas al bosque semidecidual estacional. De las seis áreas, dos se clasificaron como etapa media de regeneración, una etapa media / temprana y tres iniciales. El stock de biomasa subterránea encontrado varió de 28.66 t/ha a 0.12 t/ha y de 155.75 t/ha a 0.67 t/ha, dependiendo de la etapa de regeneración y el grado de antropización. El stock total de carbono varió de 88.51 tC/ha a 0.38 tC/ha, de acuerdo con la fitofisiognomía del área. La vegetación en la etapa media / inicial presentó un mayor promedio de biomasa arbórea y stock de carbono en comparación con las otras etapas de regeneración. El tallo mostró el mayor stock promedio de carbono, seguido de ramas y raíces. Con los resultados fue posible concluir que las áreas que presentaban vegetación con características más cercanas a los remanentes del bosque, presentan mayor capacidad de biomasa y stock de carbono. Las áreas en la etapa media/temprana absorben más carbono y biomasa por hectárea, y en la etapa temprana, baja capacidad. A medida que un remanente forestal pasa por un proceso de antropización y degradación, reduce su función de secuestro y almacenamiento.

Keywords: Quemado, GEE, Emisión atmosférica.

1. Introdução

O aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, a partir da Revolução Industrial, seus respectivos efeitos sobre a população e o ambiente vêm se tornando cada vez mais relevante e preocupante, sendo um desafio para a sociedade mitigá-los (Freitas Júnior, 2017). O acréscimo entre 1° e 3° C na temperatura média global, acima dos valores registrados na década de 1990, poderá beneficiar algumas regiões do planeta, no entanto, trará custos econômicos e sociais em outras partes (IPCC, 2019).

Uma das ações antrópicas que contribuem para a emissão de CO₂ na atmosfera são as alterações da cobertura vegetal, mais especificamente o desmatamento e as queimadas, onde as mudanças provocadas pela fragmentação florestal e redução de áreas nativas, resultam na perda de funções ecológicas, incluindo a produção de oxigênio, estoque e captura de CO₂ (Dantas et al., 2017).

Estudo mostra que a interação existente entre a floresta e o estoque de carbono absorvido está diretamente ligada com o estágio de regeneração, onde a vegetação de estágio avançado de regeneração apresenta uma capacidade maior de absorção de carbono, em comparação a de estágio médio (Diniz et al., 2015).

Outro estudo realizado por Souza (2019) indicou que tanto as florestas, quanto o solo das mesmas, localizadas em áreas urbanas, apresentam potencial de estocar carbono e nitrogênio, podendo assim, contribuir para o processo de enfrentamento aos futuros cenários de extremos climáticos, mediante políticas públicas, a exemplo do Plano Municipal da Mata Atlântica.

O Plano Municipal da Mata Atlântica de João Pessoa (João Pessoa, 2012) indicou a existência de 3.439,58 ha de área com remanescentes florestais, além de 1.060,25 ha com vegetação de manguezais e 19 áreas potenciais para proteção legal e conservação, por apresentarem cobertura vegetal nativa e em bom estado de conservação, tratando-se de áreas de estoque de carbono no município.

Uma das ferramentas, indispensáveis e muito aplicável, para estimar o estoque de carbono em remanescentes de floresta nativa, a exemplo do apresentado no plano da Mata Atlântica de João Pessoa, é mediante a utilização de equações alométricas, juntamente com a realização de um inventário florestal é possível obter tais resultados, tanto de uma vegetação em pé, quanto durante um desmatamento (Chave et al., 2004; Henry et al., 2010).

As equações alométricas tem sido aplicada em diferentes fitofisionomias florestais no Brasil. Torres et al. (2013), Amaro et al. (2013), Carvalho, Carqueira e Silva (2014) e Diniz et al. (2015) utilizaram equações para estimar o estoque de biomassa e carbono em uma floresta estacional semidecidual. Na região Amazônica, Souza et al. (2012a) aplicaram equações na estimativa do estoque de carbono em uma floresta primária no município de Manaus-AM, Santos, Camargo e Oliveira Junior (2018) utilizaram equações alométricas em uma floresta ombrófila densa na região da Amazônia Oriental, e Silva et al. (2015) em uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. Na região Sul do Brasil, Oliveira et al. (2016) estimaram o estoque de carbono em diferentes sistemas florestais.

No caso do município de João Pessoa não foi encontrado estudo que tenha como foco específico estimar a capacidade de absorção ou estoque de carbono da cobertura florestal, no entanto há outros trabalhos relacionados à emissão de gases do efeito estufa (GEE). Araújo et al. (2018) analisaram a pegada de carbono para quatro cenários de descarte do resíduo sólido proveniente do serviço de manutenção da arborização urbana (poda) do município, indicando que a reutilização tem a menor emissão de GEE.

No inventário de gases do efeito estufa de João Pessoa (João Pessoa, 2018), utilizando como ano base 2014, constatou-se que foram emitidos 2.837.499 tCO₂eq, resultando em 63 tCO₂eq./habitante, sendo o setor da energia estacionária responsável por 62,61% do lançamento de GEE, seguido pelo setor de transporte (23,10%) e resíduos (14,29%).

Mesmo a mudança da cobertura florestal sendo uma das fontes de emissão de GEE na atmosfera ou redução da captura da atmosfera, nenhum dos estudos citados ou outros, para o município de João Pessoa/PB, abordou o estoque de carbono dos diferentes estágios de regeneração de vegetação. Sendo assim, o conhecimento gerado sobre o estoque de carbono e de biomassa dos diferentes estágios de regeneração natural

de uma vegetação, assim como os fatores antrópicos, subsidiará a criação de políticas públicas de enfrentamento a emissão de GEE a nível municipal. Com os resultados, será possível estabelecer ações e criar áreas de preservação florestal, definir fitofisionomia prioritária para a recuperação, parâmetros para autorização de supressão e de medidas mitigadoras, entre outras, contribuindo de maneira efetiva e eficaz na preservação de ecossistemas e na redução ou mitigação da emissão de gases de efeito estufa (GEE), a nível municipal.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo estimar o estoque de carbono e de biomassa em áreas com diferentes estágios de regeneração vegetal e alterações antrópicas em área urbana.

2. Material e Método

2.1. Caracterização da área objeto de estudo

O estudo foi realizado no município de João Pessoa, capital do Estado da Paraíba, localizado na zona costeira da região Nordeste do Brasil. O município apresenta uma área de 211,474 km². Com território entre as coordenadas 07° 10'S e 34° 50'W, e limites geográficos a oeste com os municípios de Bayeux e Santa Rita, ao norte com Lucena e Cabedelo, ao sul com Conde e a leste com o Oceano Atlântico. Insere-se dentro dos domínios da Mata Atlântica de cobertura vegetal, predominantemente, de Floresta Estacional Semidecidual (João Pessoa, 2012).

Apresenta uma classificação climática de bioclima 3dth, segundo Köppen-Geiger, referente ao clima de regime mediterrâneo ou nordestino subseco, na faixa climática do tipo As' descrita como clima quente e úmido. Com relação à precipitação, a máxima ocorre entre os meses de maio e julho, com médias anuais de 1.896 mm. As temperaturas variam de 21 a 30°C, e umidade relativa de 73% e 82% (Souza, Silva & Silva, 2016).

2.2. Procedimentos metodológicos

2.2.1. Áreas selecionadas e inventário florestal

Para o estudo foram selecionadas seis áreas no município de João Pessoa (Figura 01), de diferente fitofisionomia vegetal, uso histórico e grau de antropização, para a realização do estudo fitossociológico, coleta dos dados e identificação do estágio sucessional da vegetação (Tabela 1). A área 1 (A1) está inserida no bairro Altiplano Cabo Branco, área 2 (A2) na Ponta do Seixas, área 3 (A3) no Gramame, área 4 (A4) Portal do Sol, área 5 (A5) no Mumbaba e área 6 (A6) no Portal do Sol. O método utilizado na coleta das variáveis seguiu as características da vegetação da área. Sendo aplicado o Censo florestal, nas áreas com indivíduos distribuídos aleatoriamente, desuniforme e heterogênea (A2, A4, A5 e A6), e amostragem simples aleatória, nas áreas com vegetação homogênea e contínua (A1 e A3).

As variáveis arbóreas coletadas *in loco* foram à circunferência a altura do peito (CAP) e altura, dos indivíduos que apresentaram CAP ≥ 15 cm (diâmetro de 3,61 cm). O CAP foi obtido com o auxílio de uma fita métrica graduada em centímetro e a altura pelo método de sobreposição de ângulo, com auxílio de uma régua graduada. Os dados coletados foram tabulados com auxílio do software Excel[®] e com o programa Mata Nativa 4.0 foram realizados os cálculos do estudo fitossociológico.

A classificação do estágio de regeneração seguiu os parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA nº 391/2007 que define a vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica no Estado da Paraíba (CONAMA, 2007).

Figura 01 - Localização das áreas objetos do estudo no município de João Pessoa-PB.



Tabela 1 - Características das áreas selecionadas para o estudo, João Pessoa - PB.

Características da área objeto de estudo

Local	Área inventariada (ha)	Vegetação existente	Antropização	Estágio de regeneração (Resolução CONAMA nº 391/2007)	Características da vegetação
A1	0,08	Remanescente florestal secundário	Loteamento a mais de 30 anos, com quadras definidas e ruas demarcadas.	Estágio médio	Espécies nativas, formação de subosque, serrapilheira densa e dorsel fechado.

Continua ...

Continua ...

A2	1	Remanescente florestal secundário	Desmatamento pretérito com corte seletivo e uso como pastagem antigamente	Estágio médio	Espécies nativas concentrada em um lado do terreno, sem subosque, pouca serrapilheira e dorsel aberto em alguns locais específicos.
A3	0,2	Remanescente florestal secundário	Retirada de vegetação nativa e ocupação irregular a menos de 4 anos	Estágio inicial/médio	Espécies nativas, dominância de indivíduos adultos, sem subosque e com presença de serrapilheira.
A4	7,2	Vegetação nativa/vegetação cultivada/vegetação ruderal	Área desmatada no passado, plantio de capim braquiária (<i>Urochola</i> sp.) e com moradia	Estágio inicial	Indivíduos nativos e naturalizados distribuídos de maneira aleatória pelo terreno e predominância de braquiária (<i>Urochola</i> sp.).
A5	4,5	Vegetação nativa/vegetação cultivada/vegetação naturalizada	Área de plantio de coqueiro, local de lazer e moradia.	Estágio inicial	Predominância de espécies naturalizada, distribuição homogênea do coqueiral e aleatórias dos demais indivíduos, e vegetação ruderal em parte da área.
A6	3,55	Vegetação cultivada/vegetação naturalizada	Área de lazer, criação de gado e cavalo, e plantio de pomar frutífero.	Estágio inicial	Predominância de vegetação frutífera cultivável, distribuída de maneira aleatória e abundância de capim elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum.)

As espécies vegetais foram identificadas levando em consideração as características vegetativas (coloração das folhas e cascas, filotaxia, odor característico e características da casca) e reprodutivas (flor e fruto). Sendo comparada a posterior com exemplares coletados e depositados no Herbário Lauro Pirex Xavier da Universidade Federal da Paraíba e na Lista das espécies da flora do Brasil (REFLORA, 2019).

2.2.2. *Estoque de carbono e quantificação da biomassa e*

O estoque de carbono e quantificação da biomassa ocorreu em nível de cobertura arbórea da área. Para a obtenção dos resultados, adaptou-se os procedimentos utilizados por Torres et al. (2013) e Amaro et al. (2013) para Floresta Estacional Semidecidual, sendo os cálculos realizados com o auxílio do software Excel®.

Para a obtenção da biomassa do fuste com casca (BF_{CC}) e do carbono do fuste com casca (CF_{CC}), foram utilizadas as equações ajustadas por Amaro et al. (2013), equações 1 e 2, respectivamente. Para a estimativa da biomassa dos galhos com casca (BG_{CC}), se utilizou a mesma proporção utilizado por Torres et al. (2013), onde considera que a biomassa dos galhos representa 25,86% da biomassa do fuste (Equação 3). A biomassa das folhas (BFO) vivas foi estimada com base no estudo realizado por Drumond (1996), onde constatou que as mesmas representam 4,45% da biomassa do fuste (Equação 4). A quantificação da biomassa das raízes (BR), se utilizou como base o estudo de Golley et al. (1978), onde a mesma corresponde a 24% da biomassa total do fuste (Equação 5). A biomassa acima do solo (AGB) foi obtida mediante soma das biomassas do fuste, galhos e folhas (Equação 6).

$$BF_{CC} = 0,033430 * DAP^{2,397902} * Hf^{0,426536} \quad (1)$$

$$R^2 = 95,63\% \quad S_{y,x} = \pm 22,6\%$$

$$CF_{CC} = 0,013840 * DAP^{2,437632} * Hf^{0,428609} \quad (2)$$

$$R^2 = 95,34\% \quad S_{y,x} = \pm 23,6\%$$

$$BG_{CC} = 0,2596 * BF_{CC} \quad (3)$$

$$BFO = 0,0445 * BF_{CC} \dots\dots\dots(4)$$

$$BR = 0,24 * BF_{CC} \dots \dots(5)$$

$$AGB = BF_{CC} + BG_{CC} + BFO \quad (6)$$

A estimativa de estocagem de carbono nos galhos (CE_{ga}), raízes (CE_{ra}) e folhas (CE_{fl}) foram obtidas mediante à multiplicação da biomassa dos galhos, raízes e folhas por 0,4854, conforme o trabalho de Amaro et al. (2013). O carbono estocado total (CE_{total}) corresponde ao somatório do carbono estocado do fuste, galhos, folhas e raíz.

A mesma metodologia utilizada para os indivíduos arbóreos, também foram aplicada para as espécies de palmeiras, devido à falta de equações específicas para se estabelecer a biomassa e estoque de carbono para as mesmas. Ocorrendo a possibilidade de haver uma superestimação, devida à diferença de estrutura e formação do indivíduo, no entanto, devido à pequena quantidade, em comparação a amostra total, não trará impactos significativos.

3. Resultados e Discussões

Os resultados fitossociológicos das áreas demonstraram a diferença entre as fitofisionomias (Tabela 2). A área A3 apresentou uma maior diversidade de espécies, sendo identificadas 28, seguida pelas áreas A2 (27 espécies) e A6 (25 espécies). A área A1 apresentou a maior densidade absoluta por ha, 900 N/ha, seguida pela A3, com 595 N/ha. As áreas com as maiores densidades (A1, A2 e A3) apresentaram cobertura florestal composta por espécies nativas.

Tabela 2 - Resumo dos parâmetros fitossociológicos encontrados nas 6 áreas objetos de estudo em João Pessoa/PB.

Localização	Nº espécies identificadas	Nº indivíduos amostrados	DA (N/ha)	DoA (m ² /ha)	DAP médio (cm)	Altura média (m)
A 1	14	72	900	25,17	15,57	10,25
A 2	27	223	223	10,56	22,29	9,07
A 3	28	119	595	24,59	18,87	8,15
A 4	10	33	7,58	0,13	18,54	5,93
A 5	13	110	24,44	4,98	30,44	11,13
A 6	25	135	20,05	0,89	19,44	7,10
Média	19,5	115,33	295,01	23,53	20,86	8,61
Desvio Padrão (±)	8,02	64,31	372,19	38,53	5,16	1,95

DA (N/ha): densidade absoluta; DoA (m²/ha): dominância absoluta, DAP: diâmetro a altura do peito.

A vegetação da A5 apresentou maior média em altura, 11,13 m, e DAP, 30,44 cm, resultando em uma maior biomassa, dentre as áreas estudadas. Situação diferente dos indivíduos existentes da área A1 onde apresentaram pouco desenvolvimento em diâmetro (15,57 cm), altura significativa (10,25 m) e maior densidade. Na A4, existe uma vegetação menos densa, pouca estatura e composta por indivíduos com DAP menor, por se tratar de uma vegetação com predominância de capim invasor (braquiária), terreno arenoso e que historicamente sofreu ação antrópica de desmatamento, provavelmente com fins econômico.

Em um remanescente florestal no município de Cabedelo-PB, região metropolitana de João Pessoa, a vegetação nativa apresentou uma densidade de 1.100,3 ind./ha, altura média de 8,4 m e diâmetro médio de 20,71 cm (Vicente et al., 2014). As áreas A1, A2, e A3 apresentaram a densidade e altura média, sendo as mais próximas dos valores encontrados na vegetação nativa do estudo comparativo, tratando-se das áreas em estágio intermediário de regeneração e com cobertura florestal, predominantemente, nativa. A altura média e DAP médio da A5 ficou acima do encontrado no estudo comparativo. Um fator que influencia estes valores é o uso histórico do solo, onde as áreas A1, A2 e A3 foram cercadas e conservadas, promovendo assim a regeneração natural da vegetação, enquanto que na área A5, houve um uso mais intenso, com foco econômico.

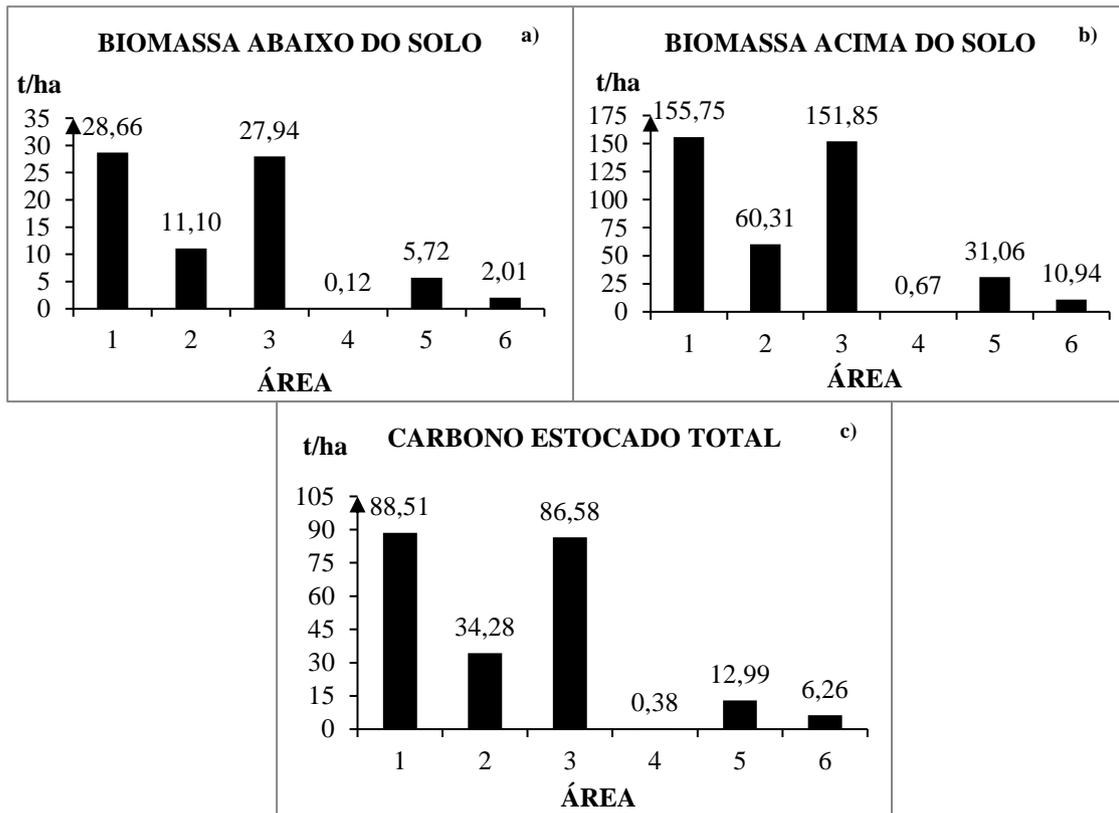
Os resultados de biomassa abaixo do solo das áreas objeto de estudo, indicaram que a A1, apresentou o maior valor, 28,66 t/ha, seguida pelas A3 e A2, com 27,94 t/ha e 11,10 t/ha, respectivamente (Figura 2a). Estas três áreas apresentam o menor grau de antropização, com poucas alterações, e cobertura vegetal nativa, em estágio médio ou inicial/médio.

A área A4 apresentou o menor estoque de biomassa abaixo do solo, com 0,12 t/ha, seguida pela A6, com 2,01 t/ha. Esta mesma área apresenta um estágio de degradação significativo, com retirada de vegetação nativa a mais de 15 anos e predominância de capim braquiária. A área A6 apresenta uma predominância de

indivíduos cultiváveis, com formação de pomar frutífero. O mesmo comportamento de distribuição ocorreu nos resultados da biomassa acima do solo, onde as A1, A3 e A2 apresentaram os maiores valores, 155,75 t/ha, 151,85 t/ha e 60,31 t/ha, respectivamente (Figura 2b). Os menores valores foram encontrados nas A4 e A6, com 0,67 e 10,94 t/ha, respectivamente.

Os resultados do carbono estocado total por unidade de área indicaram que os locais com remanescentes florestais nativas apresentam uma maior concentração de massa de carbono capturado, onde as áreas A1, A3 e A2 acumulam 88,51 tC/ha, 86,58 tC/ha e 34,28 tC/ha, respectivamente (Figura 2c). As A4 e A6, apresentam pouco estoque de carbono, 0,38 e 6,26 tC/ha, respectivamente.

Figura 2 - Distribuição do estoque de biomassa abaixo do solo (2a), acima do solo (2b) e carbono estocado total (2c) das áreas objeto de estudo, em t/ha, em João Pessoa/PB.



Amaro et al. (2013) e Torres et al. (2013) também estudaram o estoque de biomassa em uma floresta estacional semidecidual. Amaro et al. (2013) encontraram uma média de 29,25 t/ha abaixo do solo (raíz) e 158,91 t/ha, acima do solo, somadas, correspondem a 188,16 t/ha. Ambos os valores acima apresentados foram maiores que os resultados das seis áreas estudadas em João Pessoa, no entanto, os resultados das áreas A1 e A3, foram os que chegaram mais próximos do encontrado no estudo comparativo. Torres et al. (2013) encontraram uma média de 80,41 t/ha acima do solo, e 14,80 t/ha, abaixo do solo, para espécies arbóreas, totalizando 98,45 t/ha. Neste caso, as A1 e A3 apresentaram valores acima dos resultados obtidos no estudo de Torres et al. (2013), tanto acima quanto abaixo do solo. As demais áreas obtiveram resultados abaixo do

estudo comparativo, nos dois parâmetros. Este resultado pode ser explicado pelo estágio de conservação da vegetação e do processo de antropização das mesmas, onde as áreas A1 e A3 apresentam fisionomia mais próxima dos remanescentes citados e menor degradação, enquanto que nas demais, ocorreu o processo inverso.

Em uma vegetação de floresta Amazônica, foi encontrado um estoque de biomassa de 639,05 t/ha (Souza et al., 2012a). A disparidade de valores entre o encontrado na Amazônia e o de João Pessoa, pode ser explicado pela diferença de fitofisionomias florestal dos dois biomas. Em estudo numa floresta Ombrófila Densa, Santos, Camargo e Oliveira Junior (2018) encontraram um estoque de biomassa variando entre 248,92 t/ha e 298,11 t/ha, em 2010.

Estudo aponta que quanto maior a densidade de indivíduos em uma área, maior será a produção de biomassa por unidade de área, ou seja, os espaçamentos entre os indivíduos mais densos proporcionam maiores quantidades de biomassa que os menores (Caron et al., 2015). No caso das áreas objeto de estudo em João Pessoa, os locais que apresentaram os menores valores, tinham uma vegetação arbórea com distribuição aleatória, com indivíduos distantes entre si, podendo chegar a um raio de até 12 m de distância.

Em estudo de estoque de carbono, em fragmento de floresta estacional semidecidual em São Paulo, Carvalho, Carqueira e Silva (2014) encontraram um valor de 96,74 tC/ha. Este valor foi maior que o encontrado nas seis áreas estudadas em João Pessoa, destacando que as A1 e A3 foram às áreas que obtiveram os valores mais próximos dos resultados encontrados em São Paulo. Os mesmos autores afirmam que a mata nativa, funciona com um grande reservatório ou estoque de carbono.

Em uma floresta estacional semidecidual, Torres et al.(2013) encontrou estoque de carbono médio de 56,31 tC/ha, considerando os valores acima e abaixo do solo, sub-bosque e serapilheira e Amaro *et al.* (2013), estimaram um estoque de carbono médio para as árvores vivas com DAP igual ou acima de 5 cm, de 90,01 tC/ha. Os resultados obtido nas áreas A1 e A3 ficaram mais próximos do valor encontrado por Amaro et al. (2013), e acima do encontrado por Torres et al. (2013). Esta diferença nos resultados do estoque de carbono pode ser explicada pela fisionomia existente em cada área, onde, em locais que apresentam uma vegetação com maior estoque de biomassa, resulta em um maior acúmulo de carbono.

Em uma vegetação de cerrado, na fitofisionomia de cerradão, o estoque de carbono aéreo chegou a 9,90 tC/ha, no Cerrado *Sensu strictu*-cerrado denso, 3,30 tC/ha, no Cerrado *Sensu strictu* subtipo-típico foi de 3,85 tC/ha, e na mata de galeria, o valor ficou entorno de 2,10 tC/ha (Lopes & Miola, 2010). Este resultado mostra o quanto à mudança de fitofisionomia altera a quantidade de carbono sequestrado, onde, tal mudança pode ser em decorrência das características naturais da vegetação ou ações antrópicas.

Na vegetação nativa no sul do Brasil, a biomassa e estoque de carbono estimado foram de 168,20 tC/ha e 84,10 tC/ha, respectivamente (Oliveira et al., 2016). Este mesmo estudo estimou a biomassa em um plantio de *Eucalyptus gradis* e *Pinus elliottii*, obtendo valores de 344,58 t/ha e 172,87 t/ha, respectivamente, e de estoque de carbono na área de eucalypto em 215,75 tC/ha e 107,87 tC/ha na área de pinus.

Na comparação dos valores obtidos em João Pessoa com outros estudos, com cobertura florestal estacional semidecidual, percebe-se que as A1, A2 e A3 apresentaram valores mais próximos dos encontrados em áreas com remanescentes florestais. Tal resultado indica que mesmo com algumas perturbações e/ou alterações, uma área com cobertura vegetal predominantemente nativo e em estágio médio e inicial/médio, cumpre com o mesmo serviço ecossistêmico que as áreas preservadas. No entanto, à medida que a degradação aumenta, ocorre uma redução desta função, chegando a valores baixo, como as encontradas na área 4.

Quando se discute estoque de carbono em vegetação nativa e seus efeitos, é necessário realizar uma abordagem além da fronteira geopolítica. Estima-se que as florestas tropicais de três continentes são responsáveis pelo estoque de 247 Gt C, onde, deste total, a florestas localizadas na América Latina, África Subsaariana e Sudeste Asiático, corresponde ao armazenamento de 49%, 25% e 26%, respectivamente (Saatchi et al., 2011). Na floresta tropical colombiana, o estoque médio de carbono encontrado foi de $241,3 \pm 37,5$ tC/ha

(Phillips et al (2019). Na Amazônia peruana, foi estimado estoque de carbono variando entre 138,37 tC/ha e 171,08 tC/ha, obtendo uma média de 150,88 tC/ha (Cahuana, 2016). No Nepal, o estoque de carbono variou de acordo com o tipo de vegetação, sendo maior em florestas de copa densa em comparação com a esparsada (Pandey, Maraseni & Conckfield, 2014). Com estas informações é possível perceber que a massa de carbono estocado varia de acordo com a fisionomia da vegetação, onde florestas mais fechadas, apresentam estoque maior, em comparação as abertas. Justificando assim o resultado encontrado nas áreas objetos de estudo em João Pessoa, com um maior estoque de carbono nos locais com predominância de vegetação nativa e pouca ação antrópica, em comparação com as demais.

Quando analisamos os resultados obtidos do estoque de biomassa e de carbono por estágio sucessional, percebe-se a influência da conservação da cobertura florestal para a captura de carbono (Tabela 3). A área com vegetação em estágio inicial/médio apresentou maior estoque de biomassa e carbono, com 179,79 t/ha e 86,58 tC/ha, respectivamente. A área com estágio médio de vegetação aparece em seguida, com estoque médio de 127,91 t/ha de biomassa e 61,40 tC/ha de carbono. As áreas com vegetação em estágio inicial sucessional apresentaram o menor estoque de biomassa e carbono, com 16,84 t/ha e 6,54 tC/ha, respectivamente, tratando-se de locais com maior grau de perturbação, principalmente pelo uso histórico do solo e retirada da vegetação nativa. Este resultado demonstra que as áreas que apresentam vegetação em estágio sucessional inicial/médio e médio estocam mais biomassa e carbono que as áreas em estágio inicial.

O fato da vegetação em estágio inicial/médio apresentar valores superiores ao médio, onde teoricamente, seria o inverso, pode ser em decorrência do tipo de degradação ocorrente no local, correspondendo ao descrito no A3 (Tabela 1). Apresentando uma antropização mais recente e em processo de degradação, com a retirada da vegetação dominada e permanência das mais altas. Tal área apresenta uma densidade vegetal alta, 595 ind./ha, a segunda maior dominância (24,49 m²/ha), e 28 espécies identificadas (Tabela 2). Pelas suas características atuais e em comparação com imagens de satélites, provavelmente, esta vegetação encontrava-se de estágio médio a médio/avançado de regeneração, antes das ocupações habitacionais irregulares (invasões). Sendo que à medida que as ocupações continuam, ocorre a perda de biodiversidade, degradação da vegetação e assoreamento dos cursos d'água devido ao carreamento de sedimentos dos solos e rochas.

Tabela 3 - Estoque de biomassa e carbono por estágio de vegetação no perímetro urbano de João Pessoa/PB.

Estágio de vegetação	Estoque de biomassa arbórea total		Carbono estocado total	
	Média (t/ha)	Desvio padrão (±)	Média (t/ha)	Desvio padrão (±)
Médio	127,91	79,91	61,40	38,35
Inicial/médio	179,79	82,54	86,58	41,29
Inicial	16,84	18,30	6,54	6,31

No estudo realizado por Azevedo et al., (2018), os autores concluíram que o estoque de carbono proveniente da biomassa aérea presente na camada de serapilheira aumenta conforme ocorre um incremento em idade da floresta plantada. Ou seja, ocorre um aumento na absorção de carbono à medida que o reflorestamento se desenvolve.

Outro ponto observado neste estudo é que as áreas com cobertura vegetal predominantemente nativa apresentaram os maiores valores de estoque de carbono e biomassa. Ribeiro, Bordo e Maranhão (2013) concluíram que no município de Curitiba-PR, os fragmentos florestais em áreas urbanas apresentam um importante papel ecológico na absorção de carbono da atmosfera, mesmo se tratando de áreas pequenas, com

interferências humanas e uso público, apresentando características semelhantes às florestas naturais em sequestro de carbono. De acordo com os mesmos autores, ainda constituindo uma pequena fração de mitigação aos efeitos das mudanças climáticas em grandes cidades, sua existência e manutenção devem ser amplamente valorizadas.

Estes resultados indicam que quanto mais áreas com cobertura vegetal nativa, em estágio inicial/médio a médio, dentro do perímetro urbano do município, maior será o estoque de carbono armazenado e menor será a quantidade dispersa na atmosfera. Uma das ferramentas para a conservação de áreas com este tipo de vegetação é mediante a criação de áreas protegidas, unidades de conservação (UCs) e parques, além de reflorestar áreas degradadas, principalmente as áreas de preservação permanentes (APP).

Em um fragmento florestal inserido na Mata Atlântica do Rio de Janeiro, Diniz et al. (2015) estimaram o estoque de biomassa total para vegetação em estágio médio e avançado de regeneração de 57,6 t/ha e 171 t/ha, respectivamente. O valor encontrado em João Pessoa para a vegetação em estágio médio de regeneração foi maior que o estudo comparativo, para o mesmo estágio. A concentração de biomassa da vegetação encontrada no estágio avançado no Rio de Janeiro foi menor que o encontrado na vegetação inicial/médio deste estudo. Com relação ao estoque de carbono, a vegetação em estágio médio apresentou uma estimativa de 15,4 tC/ha, na parte aérea, e no estágio avançado de 52,0 tC/ha. Ambos os valores encontrado no trabalho do Rio de Janeiro, para estoque de carbono foram menores que os estimados neste estudo, para o mesmo estágio de regeneração. A vegetação em estágio inicial apresentou valores menores, tanto no estoque de biomassa, quanto no carbono, quando comparado com o estudo realizado no Rio de Janeiro.

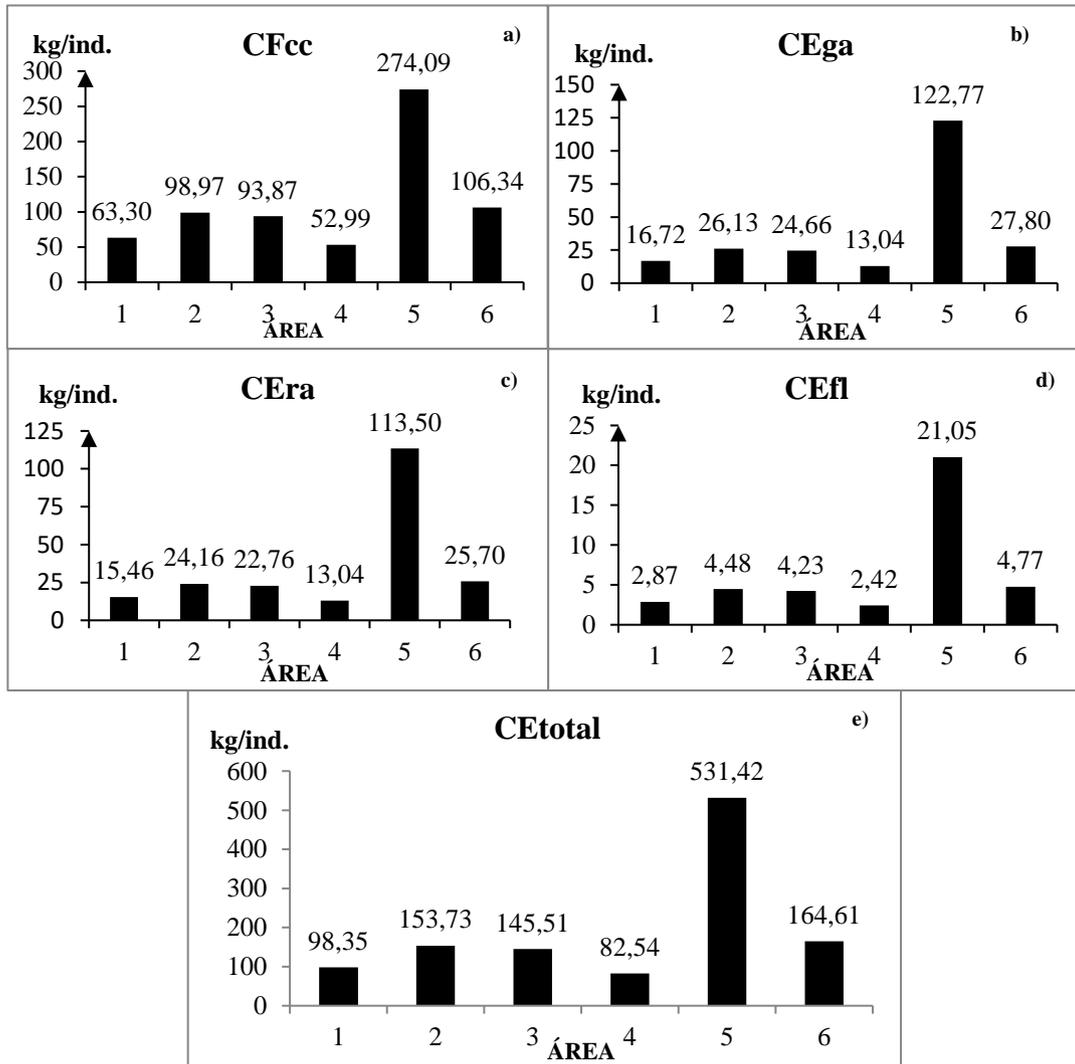
Em uma floresta estacional semidecidual em Minas Gerais, Souza et al. (2012b) encontraram um estoque de biomassa de 73,09 t/ha e 36,54 t/ha de estoque de carbono, para uma vegetação em estágio médio de sucessão da vegetação secundária. Ambos os valores foram menores que os encontrados no município de João Pessoa, para vegetação no mesmo estágio. Para a vegetação em estágio médio/avançado, os valores encontrados em Minas Gerais, foram de 150,50 t/ha de biomassa e 75,25 tC/ha de carbono, sendo menores que o encontrado na vegetação em estágio inicial/médio de regeneração apresentado neste estudo. Os resultados encontrados no estudo em Minas Gerais foram superiores ao encontrado para a vegetação em estágio inicial de regeneração.

Ainda com relação às florestas urbanas, vale ressaltar que de acordo com Souza (2019) as mesmas atuam como um reservatório de C e N, e o solo, mesmo apresentando um baixo fluxo de GEE emitidos e potencial de estoque de C e N, lhe conferindo um importante papel como reservatório. De acordo o mesmo autor, a criação de políticas públicas voltadas para a ampliação e manejo de áreas verdes deve ser prioritária nas gestões municipais, tonando-se um elemento chave frente às mudanças climáticas.

Uma análise interessante a ser feita é a absorção média de carbono por indivíduos de cada área (Figura 3). Mesmo sendo as áreas A1 e A3 as que apresentaram o maior estoque de carbono total por hectares, a A5 apresentou a maior média por indivíduo em todos os níveis (CFcc, CEga, CEra, CEfl e CETotal). Isto se deve ao fato que a A5 apresenta uma grande concentração de indivíduos de palmeiras, mais especificamente *Cocos nucifera L.*, correspondendo a mais de 50% dos indivíduos da área. Tais indivíduos apresentaram uma altura média de 13,85 m e DAP de 24,93 cm, sendo valores maiores que as encontradas nas médias das demais áreas.

A área A6 apresentou o segundo maior valor médio de estoque de carbono, entre todos os locais estudados (Figura 3). Sendo esta área com predominância de espécies cultiváveis para a produção de frutas comestíveis pela população. Tanto a A5, quanto a A6, apresentam como características similares à distribuição aleatória dos indivíduos e pouca competição entre si, tendo uma maior disponibilidade de nutrientes e iluminação, possibilitando um maior desenvolvimento em biomassa, diâmetro e altura. Diferente da característica da vegetação das três primeiras áreas.

Figura 3 - Carbono estocado médio por indivíduo do fuste-CFcc (Figura 3a), galhos-CEga (Figura 3b), raízes-CEra (Figura 3c), folhas-CEfl (Figura 3d) e total-CEtotal (Figura 3e) das 6 áreas objetos de estudo em João Pessoa/PB.



A estrutura com maior estoque de carbono foi o fuste ou tronco (Figura 3a), seguida pelos galhos (Figura 3b). A absorção média do fuste variou de 52,99 kgC/ind. (A4) a 274,09 kgC/ind. (A5). Os galhos apresentaram uma absorção entre 13,04 kgC/ind. (A4) e 122,77 kgC/ind. (A5). Nas raízes (Figura 3c), a absorção de carbono variou entre 13,04 kgC/ind. (A4) e 113 kgC/ind. (A5), e nas folhas (Figura 3d), variou entre 2,42 kgC/ind. (A4) e 21,05 kgC/ha (A5). O carbono estocado total (Figura 3e), que representa a soma dos carbonos estocados de todas as estruturas da árvore, apresentou variação entre 82,54 kgC/ind. (A4) e 531,42 kgC/ind. (A5).

Em um estudo de estoque de carbono em fuste de árvores de uma floresta estacional semidecidual, realizado por Figueiredo et al. (2015) indicaram que a referida estrutura apresentou um incremento periódico de 0,944 t/ha.ano, em um período de 14 anos, passando de 47,9 t/ha, em 1994, para 61,81 t/ha, em 2008.

Em estudo realizado no Parque Urbano Tucumã, no município de Rio Branco, Acre, o estoque de

carbono por indivíduos da vegetação não palmeira foi de 79,96 kgC/ind., e 262,54 kgC/ind. para as palmeiras (SANTOS, SANTOS & FERREIRA, 2013). Para a espécie *Araucaria angustifolia* (Bert.) o estoque individual de carbono variou de 25,91 kgC a 228,43 kgC, de acordo com a idade (Sanquetta et al., 2014).

A massa estocada de biomassa e carbono sequestrado por indivíduo varia de acordo com a fitofisionomia da área em questão. Os indivíduos existentes em vegetação mais dispersos e com pouca competitividade apresentaram maiores valores, em comparação aos indivíduos de área florestal e de maior competitividade.

4. Conclusão

As áreas que apresentam uma cobertura vegetal com características mais próxima dos remanescentes florestais (áreas A1, A2 e A3) apresentaram maior capacidade de estoque de biomassa e carbono por hectares, em comparação as áreas antropizadas ou em processo de alteração (áreas A4, A5 e A6).

Os locais com uma cobertura vegetal em estágio médio ou inicial/médio apresentaram os maiores resultados de estoque de carbono e de biomassa por hectare, cumprindo com a sua função ecológica. As áreas com vegetação em estágio inicial de regeneração apresentam pouco potencial de absorção e estocagem de carbono e biomassa por unidade de área.

À medida que um remanescente florestal passa por um processo antrópico e degradatório, perdendo suas características naturais, a função ecossistêmica de sequestro de carbono e acúmulo de biomassa se reduz.

A estrutura vegetal que absorve maior quantidade de carbono foi o fuste. A quantidade de carbono estocado total médio por indivíduos foram maiores nas áreas A5 e A6, tratando-se de locais antropizados.

Uma estratégia que o município de João Pessoa tem para contribuir com a redução do aquecimento e sequestro dos gases de efeito estufa (GEE) é mediante a criação de parques e UC de áreas que apresentem cobertura florestal nativa e realizando o reflorestamento de áreas degradadas.

5. Referências

Amaro, M. A., Soares, C. P. B., Souza, A. L., Leite, H. G., Silva, G. F. (2013). Estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma floresta estacional semidecidual em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 849-857, 2013.

Araújo, Y. R. V., Góis, M. L., Coelho Junior, L. M., Carvalho, M. (2018). Carbon footprint associated with four disposal scenarios for urban pruning waste. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 2, p. 1863-1868.

Azevedo, A. D., Franceline, M. R., Camara, R., Pereira, M. G., Leles, P. S. S. (2018). Estoque de carbono em área de restauração florestal de Mata Atlântica. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 183-194.

Caron, B. O., Eloy, E., Souza, V. Q., Schmidt, D., Balbinot, R., Behling, A., Monteiro, G. C. (2015). Quantificação da biomassa florestal em plantios de curta rotação com diferentes espaçamentos. **Comunicata Scientiae**, 6 (1), p. 106-112.

Cahuana, C. C. (2016), **Determinación de stock de carbono a través de ecuación alométrica en bosque de terraza alta, provincia de Tambopata – Región Madre de Dios**. Tesis de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente., Universidade Nacional de Madre de Dios, Puerto Maldonado – Perú.

Carvalho, L. S., Carqueira, R. M., Silva, G. V. (2014). Estoque de carbono em um município de floresta estacional semidecidual no município de Ribeirão Grande, São Paulo. **Bioikos**, 28 (2), p. 73-85.

Chave, J., Condit, R., Aguilar, S., Hernandez, A., Lao, S., Perez, R. (2004). Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 359, n. 1443, p. 409-420.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 391, de 25 de junho de 2007 que define vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica no Estado da Paraíba**. Brasília: DOU nº 121 de 26/06/2007. Disponível em: www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=536.

Dantas, M. S., Almeida, N. V. A., Medeiros, I. S., Silva, M. D. (2017). Diagnóstico da vegetação remanescente de Mata Atlântica e ecossistemas associados em espaço urbano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 02, n. 01, p. 87-97.

Diniz, A. R., Machado, D. L., Pereira, M. G., Balieiro, F. C., Menezes, C. E. G. (2015). Biomassa, estoque de carbono e de nutrientes em estádios sucessionais da Floresta Atlântica, RJ. **Agrária-Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 3, p. 443-451.

Drumond, M. A. (1996). **Alterações fitossociológicas e edáficas decorrentes de modificações da cobertura vegetal na Mata Atlântica, região do Médio Rio Doce, MG**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil.

Figueiredo, L. T. M. F., Soares, C. P. B., Sousa, H. A. L., Leite, H. G., Silva, G. F. (2015). Dinâmica do estoque de carbono em fuste de árvores de uma floresta estacional semidecidual. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 161-167.

Freitas Junior, J. A., Sanquetta, C. R.; Iwakiri, S., Costa, M. R. M. M., Koehler, H. S. (2017). Estudo da aplicação de coberturas verdes no objeto de se construir edifícios neutros em carbono. **Holos Environmet**, 17, 1, p. 35-52.

Golley, F. B. (1978) **Ciclagem de minerais em um ecossistema de Floresta Tropical Úmida**. São Paulo: EDUSP. 256p.

Henry, M., Besnard, A., Asante, W. A., Eshun, J., Adu-Bredu, S., Valentini, R., Bernoux, M. Saint-André, L. (2010). Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 5, p. 1375-1388.

IPCC. (2019). Painel Intergovernamental para as mudanças climáticas. **Global warming of 1.5 degree Celsius**. Genebra. Disponível em: <www.ipcc.ch/sr15/>. Acesso em: 10/12/ 2019.

João Pessoa. (2012). Prefeitura Municipal de João Pessoa. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Plano municipal de conservação e recuperação da Mata Atlântica**. João Pessoa: F&A Gráfica e editora.

João Pessoa. (2018). Prefeitura Municipal de João Pessoa. Secretaria Municipal de Meio Ambiente.

Inventário de Emissão de Gases de Efeito Estufa do Município de João Pessoa. João Pessoa: Editora e Gráfica Meta.

Lopes, R. B., Miola, D. T. B. (2010). Sequestro de carbono em diferentes fitofisionomias do Cerrado. **SynThesis**, v. 2, n. 2.

Oliveira, M., Ril, F. L., Peretti, C., Capelleso, E. S., Sausen, T. L., Budke, J. C. (2016). Biomassa e estoque de carbono em diferentes sistemas florestais no sul do Brasil. *Perspectiva*, v. 40, n. 149, p. 09-20.

Pandey, S. S.; Maraseni, T. N. & Cockfield, G. (2014). Carbono stock dynamics in different vegetation dominated community forests under REDD+: A case from Nepal. *Florest Ecology and Management*, v. 327, p. 40 – 47.

Phillips, J., Ramirez, S., Wayson, C., Duque, A. (2019) Differences in carbon stock along an elevational gradient in tropical mountain forests of Colombia. **Biotropica**, v. 51, Issue 4, p. 490 – 499.

REFLORA. (2019). Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro. **Lista de Espécies da Flora do Brasil.** Rio de Janeiro.. Acesso em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC.do>>. Acesso em: 10 de mar. 2019.

Ribeiro, J. B, Borgo, M. & Maranhão, L. T. (2013). Áreas protegidas de Curitiba (PR, Brasil) como sumidouros de CO₂. **Floresta**, v. 43, n. 2, p. 181-190.

Saatchi, S. S., Harris, N.; Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E. T. A., Salas, W., Zutta, B. R., Buermann, W., Lewis, S. L., Hagen, S., Petrova, S., White, L., Silman, M., Morel, A. (2011) Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. **PNAS**, v. 208, n. 24, p. 9899 – 9904.

Sanquetta, C. R., Corte, A. P. D., Mognon F., Maas, G. C. B., Rodrigues, A. L. (2014). Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 44, n. 1, p. 1-8.

Santos, F. G., Camargo, P. B. & Oliveira Junior, R. C. (2018). Estoque e dinâmica de biomassa arbórea em floresta Ombrófila Desna na Flona Tapajós: Amazônia Oriental. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1049-1059.

Santos, L. R., Santos, E. A. & Ferreira, E. J. L. (2013). Estimativa da capacidade de estoque de biomassa e carbono da vegetação arbórea de um fragmento do Parque Urbano Tucumã em Rio Branco, ACRE. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 17.

Silva, K. E., Souza, C. R., Azevedo, C., Rossi, L. M. B. (2015). Dinâmica florestal, estoque de carbono e fitossociologia de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 193-201.

Souza, J. F., Silva, R. M. & Silva, A. M. (2016). Influência e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa –PB. **Ambiente Construído**, v. 16, n.1, p. 21 -37.

Souza, C. R., Azevedo, C. P., Rossi, L. M. B., Silva, K. E., Santos, J., Higuchi, N. (2012). Dinâmica e estoque de carbono em floresta primária na região de Manaus/AM. **Acta Amazônica**, V. 42 (4), p. 501-506.

Souza, A. L., Boina, A., Soares, C. P. B., Vital, B. R., Gaspar, R. O., Lana, J. M. (2012). Estrutura fitossociológica, estoque de volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em floresta estacional semidecidual. **Revista Árvore**, v. 36, n. 1, p. 169-179.

Souza, R. C. de. (2019). **Fluxos de gases de efeito estufa (GEE) em florestas urbanas de São Paulo, SP:** uma análise da contribuição das áreas verdes na resiliência da cidade. 2019. Dissertação em Mestrado. Universidade Nove de Julho. São Paulo.

Torres, C. M. M. E., Jocavine, L. A. G., Soares, C. P. B., Oliveira Neto, S. N., Santos, R. D., Castro Neto, F. (2013). Quantificação de biomassa e estoque de carbono em uma floresta semidecidual, no Parque tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 647-655.

Vicente, A., Almeida Jr., E. D., Santos-Filho, F. S., Zickel, C. S. (2014). Composição estrutural da vegetação lenhosa da Restinga de Cabedelo, Paraíba. **Revista de Geografia**, v. 13, n 1.

Informações adicionais

Como referenciar este artigo: Araújo, Y.R., Moreira, Z.C.G., Neves, A.I. (2020). Estoque de carbono e de biomassa em vegetação com diferentes estágios de regeneração e alterações antrópicas em área urbana. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.8, n.2, p.46-61.



Direitos do Autor. A Revista Brasileira de Meio Ambiente utiliza a licença Creative Commons - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>), no qual, os artigos podem ser compartilhados desde que o devido crédito seja aplicado de forma integral ao autor (es) e não seja usado para fins comerciais.