

PERSPECTIVAS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA VIVA E ESTOQUE DE CARBONO ACIMA DO SOLO EM ÁREAS VERDES URBANAS DO DOMÍNIO MATA ATLÂNTICA, BRASIL

PERSPECTIVES FOR ESTIMATION OF ABOVE-GROUND LIVE BIOMASS AND CARBON STOCK IN URBAN GREEN AREAS IN THE ATLANTIC FOREST, BRAZIL

Mariana Rocha Santos Guimarães¹ , Rachel Bardy Prado² , Elaine Cristina Cardoso Fidalgo³ ,
Joyce Maria Guimarães Monteiro⁴ , Jerônimo Boelsums Barreto Sansevero⁵ 

RESUMO

As áreas florestais são excelentes sumidouros de carbono e sua conservação é considerada como uma estratégia de redução da emissão de gases de efeito estufa, responsáveis pelo aquecimento global. Na Mata Atlântica, que ocupa 15% do território brasileiro, as áreas verdes urbanas possuem papel importante na qualidade de vida de sua população, que equivale a 52% da população do país. A pesquisa teve o objetivo de analisar na literatura científica os principais métodos não destrutivos utilizados (entre 2000 e 2020) para estimar a biomassa viva e o estoque de carbono acima do solo, em florestas da Mata Atlântica, com vistas à aplicação em áreas verdes urbanas. Foi elaborada uma planilha com as principais equações alométricas e parâmetros encontrados na literatura. Dentre as pesquisas levantadas, 59 foram selecionadas para análise de acordo com os critérios aplicados. Constatou-se que apenas 20% das pesquisas foram realizadas em áreas verdes urbanas. O fator de conversão de biomassa viva para o estoque de carbono foi o principal método, utilizado em 70% das pesquisas analisadas. Os métodos indiretos, como os de sensoriamento remoto e emergia são interessantes pela praticidade e custos menos elevados. Destaca-se a importância dos inventários florestais, bem como do desenvolvimento de metodologias apropriadas para o estudo da biomassa viva e do estoque de carbono acima do solo nas áreas verdes urbanas, visando ampliar o conhecimento nesta área e apoiar decisões.

Palavras-chave: Equações alométricas; Método não destrutivo; Sequestro de carbono; Serviços ecossistêmicos.

ABSTRACT

Forest areas are excellent carbon sinks and their conservation is considered a strategy to reduce the emission of greenhouse gases, responsible for global warming. In the Atlantic Forest, which occupies 15% of the Brazilian territory, urban green areas play an important role in the quality of life of its population, which is equivalent to 52% of the country's population. The research aimed to analyze in the scientific literature the main nondestructive methods used in the scientific literature (between 2000 and 2020) to estimate living biomass and aboveground carbon stock in Atlantic Forest forests, with a view to application in urban green areas. A spreadsheet was built with the main allometric equations and parameters found in the literature. Among the surveys surveyed, 59 were selected for analysis according to the criteria applied. It was found that only 20% of the surveys were carried out in urban green areas. The conversion factor from live biomass to carbon stock was the main method, used in 70% of the analyzed research. Indirect methods, such as remote sensing and emergy, are interesting because of their practicality and lower costs. The importance of forest inventories is highlighted, as well as the development of appropriate methodologies for the study of living biomass and above-ground carbon stock in urban green areas, aiming to expand knowledge in this area and support decisions.

Keywords: Allometric equations; Nondestructive method; Carbon sequestration; Ecosystem services.

Recebido em 20.06.2022 e aceito em 14.10.2022

1 Bióloga. Graduada. Funcionária do Instituto Vital Brazil. Niterói/ RJ. Email: guimaraesmariana@id.uff.br.

2 Bióloga. Doutora. Pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Rio de Janeiro/RJ. Email: rachel.prado@embrapa.br.

3 Agrônoma. Doutora. Pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Rio de Janeiro/RJ. Email: elaine.fidalgo@embrapa.br.

4 Agrônoma. Doutora. Pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Rio de Janeiro/RJ. Email: joyce.monteiro@embrapa.br.

5 Engenheiro Florestal. Doutor. Professor da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ. Seropédica/RJ. Email: guapuruvu@gmail.com.

INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial, queima de combustível fósseis, e atividades industriais são fontes crescentes de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). Até o ano de 2030, está previsto que mais de 60% da população mundial resida em áreas urbanas, ampliando e sofrendo com as consequências do aquecimento global. É reconhecido que as florestas presentes nas áreas urbanas desempenham um papel crucial na mitigação da mudança do clima, absorvendo emissões de CO₂ devido ao transporte, indústria e atividades domésticas no meio urbano (KANNIAH et al., 2014; LONDE; MENDES, 2014).

As florestas desempenham um papel central no ciclo global do carbono, devido a sua contribuição para o sequestro e o armazenamento do carbono atmosférico (ZHAO et al., 2019). Por isso, a preservação e restauração dos ambientes florestais é uma importante estratégia para a regulação climática (WOODWELL CLIMATE, 2020).

Nas florestas, os reservatórios de carbono correspondem à biomassa viva (acima e abaixo do solo), matéria orgânica morta (serapilheira e madeira morta em pé e caída) e o carbono orgânico do solo. A biomassa viva acima do solo (BVAS) é toda biomassa da vegetação viva compreendendo as plantas lenhosas, herbáceas e gramíneas, e inclui os caules, tocos, galhos, cascas, sementes e folhagem (componentes). O fuste arbóreo representa 70-80% da BVAS nas florestas tropicais (BROWN et al., 1989; ARAÚJO et al., 1999). A maior parte do carbono florestal é encontrado na BVAS (44%) e na matéria orgânica do solo (45%), sendo que o restante permanece na madeira morta e na serrapilheira (FAO, 2020). A quantificação do carbono estocado nas árvores é importante para os cálculos de emissão de GEEs pela queima e decomposição da matéria orgânica em sistemas naturais e antropizados (BROWN; LUGO, 1992; FEARNside, 1992; BROWN, 1997).

A quantidade de carbono armazenada em uma floresta é estimada por meio da medida da biomassa presente nas árvores e seu teor de carbono. Os métodos para a estimativa de BVAS de espécies arbóreas podem ser divididos em destrutivo (direto) e não destrutivo (indireto). No método destrutivo as árvores são cortadas, medidas e pesadas, já no método não destrutivo, a BVAS é estimada a partir de equações alométricas. Alguns métodos indiretos fazem uso também de sensoriamento remoto (MOREIRA, 2018; MEIRA et al., 2020) e da análise emergética, que consiste em medir o sequestro de carbono, proporcional à biomassa produzida anualmente (SILVA et al., 2015).

Segundo Woortmann (2018), o método não destrutivo ou indireto consiste em aplicar equações alométricas utilizando dados de inventário florestal, que podem fornecer informações mais rápidas e estimativas precisas de biomassa florestal do que o método direto. Equações alométricas podem ser desenvolvidas usando análises ou métodos empíricos. As equações analíticas são derivadas usando relações alométricas, que são baseadas em proporções de

escala que são semelhantes na natureza. Este método tem o potencial de substituir a abordagem destrutiva (empírica), no entanto, ainda precisa refinamento adicional a partir de dados empíricos.

Os métodos para a estimativa da BVAS e do estoque de carbono têm sido desenvolvidos pela comunidade científica há décadas (BROWN et al., 1989; CHAVE et al., 2005), principalmente para regiões tropicais, onde as florestas se sobressaem pela elevada taxa de produtividade primária e extensão territorial (GANEM; OLIVEIRA, 2014).

A estimativa do estoque de carbono em florestas tem tido cada vez mais importância para certificar créditos de carbono nos mercados de carbonos em ascensão, visando atender estratégias internacionais para a redução de emissões de CO₂. Só em 2019, os governos arrecadaram nas transações do mercado mundial mais de US \$45 bilhões em precificação de CO₂ (WORLD BANK GROUP, 2020). O propósito é que cada tonelada de CO₂ estocada possa ser negociada no mercado mundial (SCHIKOWSKI et al., 2015), incentivando a conservação de áreas florestais. Os valores negociados dependem da precisão e da confiabilidade das informações, colocando em discussão quais os melhores métodos para estimar e expressar valores não econômicos da natureza em termos monetários. Além de determinar métodos com tal propósito, saber qual deles oferece melhor retorno para investimentos em CO₂ auxilia a promover a manutenção das áreas florestais e das áreas verdes urbanas. Para o Brasil, que possui uma Política Nacional relacionada à Mudança do Clima (BRASIL, 2009) e tem participado dos acordos globais para redução das emissões de GEE, trata-se de grande oportunidade adotar métodos adequados para inventariar e estimar o estoque de carbono de suas florestas.

O conceito de áreas verdes urbanas é variável na literatura (BARGOS; MATIAS, 2011). Um dos conceitos utilizado é que áreas verdes urbanas podem ser compreendidas como áreas verdes naturais das cidades como, por exemplo, parques, bosques, jardins e outros) (BOLUND; HUNHAMMAR, 1999). Elmqvist et al. (2013) mencionam que as áreas verdes urbanas como remanescentes de paisagens naturais, domesticadas com uma longa história de uso da terra, devem ser incluídas no debate político de infraestrutura verde. Essas áreas são diretamente afetadas pelos fluxos de energia e materiais do núcleo urbano e suburbano, incluindo bacias hidrográficas, florestas periurbanas e áreas adjacentes aos centros urbanos (GOMEZ- BAGGHETUM; BARTON, 2012).

Estas áreas possuem características ambientais que propiciam uma ampla gama de Serviços Ecossistêmicos (SE) (EUROPEAN UNION, 2013), que são os benefícios que os ecossistemas prestam ao ser humano (MEA, 2005). Além de estarem associadas à provisão e regulação hídrica, à manutenção da biodiversidade (FRANÇA, 2017; ESTEVO et al., 2017), são importantes para a regulação do clima e para o estoque de carbono (LIN et al., 2011;

BIANCO, 2015; KACZOROWSKA et al., 2016) e também para a provisão dos serviços ecossistêmicos culturais como recreação, educação, turismo, aspectos espirituais e religiosos.

As áreas verdes urbanas amenizam os danos negativos da urbanização e seus benefícios não se aplicam apenas à população do entorno, mas ultrapassam o perímetro urbano. O planejamento destas áreas e seu uso e gestão devem compreender limites mais amplos do que os limites físicos (GOMEZ-BAGGHETUM; BARTON, 2012; ALMEIDA et al., 2018).

Portanto, no bioma Mata Atlântica, área focal da presente pesquisa e que se estende por 17 unidades federativas mais populosas do Brasil, as áreas verdes urbanas estão relacionadas à qualidade de vida e saúde de cerca de 120 milhões de pessoas, o que corresponde a 72% da população brasileira (SOS MATA ATLÂNTICA, 2020), uma vez que as mesmas proporcionam diversos dos serviços ecossistêmicos mencionados.

O conhecimento sobre a biomassa viva e estoque de carbono acima do solo das áreas verdes urbanas na Mata Atlântica ainda é um tema em expansão, pelo que mostrou o presente estudo. Sendo assim, esta pesquisa teve como objetivo realizar uma revisão da literatura para analisar os métodos não destrutivos de estimativa de biomassa viva e do estoque de carbono acima do solo, visando subsidiar estudos desta natureza em áreas verdes urbanas, com destaque para áreas de remanescentes de vegetação nativa de Mata Atlântica.

MATERIAL E MÉTODOS

Etapa 1. Levantamento na literatura

A revisão da literatura foi realizada sobre os temas estimativa de biomassa viva e estoque de carbono acima do solo, utilizando-se do método de revisão sistemática quantitativa (DENYER; TRANFIELD, 2009). O período de busca foi de março de 2000 a setembro de 2020. A questão norteadora da revisão da literatura foi: *Os métodos de estimativa de biomassa viva e do estoque de carbono acima do solo aplicados no bioma Mata Atlântica são adequados para a aplicação em áreas verdes urbanas?* As bases eletrônicas de periódicos consultadas foram (i) *Scientific Electronic Library Online* (SciELO); (ii) *Google Scholar*; (iii) Infoteca-e e (iv) *Science Direct*, levando-se em conta artigos científicos publicados em periódicos, artigos publicados em anais de eventos científicos, monografias, dissertações de mestrado e teses de doutorado. Utilizou-se a seguinte combinação de termos de busca: 'Biomassa' e 'estoque carbono' e 'Mata Atlântica'; 'Biomassa' e 'estoque carbono' e 'acima do solo' e 'Mata Atlântica'; 'Biomassa' e 'estoque carbono' e 'Mata Atlântica' e 'área urbana'; 'Biomassa' e 'carbono' e 'acima do solo' e

“Mata Atlântica’ e área urbana’; ‘Carbon’ e ‘stock’ e ‘aboveground’ e ‘Atlantic Forest’; ‘Carbon’ e ‘stock’ e ‘aboveground’ e ‘Atlantic Forest’ e ‘urban’.

Após este levantamento na literatura, foram adotados os seguintes critérios para a seleção das pesquisas para análise: pesquisas realizadas no bioma Mata Atlântica, pesquisas realizadas tanto em áreas verdes urbanas quanto em áreas de formações florestais de vegetação natural fora de áreas urbanas, pesquisas que utilizaram métodos não destrutivos, que aplicaram equações alométricas e realizadas no período de busca (2000 a 2020).

Etapa 2. Análise dos aspectos metodológicos da estimativa de biomassa viva e do estoque de carbono acima do solo, utilizados nas pesquisas levantadas

O primeiro aspecto analisado nas pesquisas selecionadas foi o objetivo do estudo. As informações sobre os aspectos metodológicos da estimativa de biomassa viva acima do solo e do estoque de carbono acima do solo, a partir do método não destrutivo de campo, foram organizadas em uma planilha eletrônica (Material Suplementar 1), contendo as seguintes informações: referências, equação alométrica para a estimativa de biomassa viva e carbono acima do solo, parâmetros alométricos considerados, fitofisionomia, tipo de vegetação incluída (lenhosa ou herbácea, bem como palmeiras, lianas ou samambaias) e as partes das plantas consideradas no estudo – fuste com casca, galho com casca, folha e fuste (componentes). Foi denominado de indivíduo o somatório de todas as partes da planta. O método não destrutivo tem como benefícios ser mais rápido e mais barato que o método destrutivo, além de evitar complexidades legais e culturais da derrubada de árvores, e por isso foi considerado no presente estudo.

As fitofisionomias citadas nas pesquisas analisadas foram: Floresta Estacional Semidecidual, Transição Floresta Estacional Semidecidual para Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Mista. Para as pesquisas em que a fitofisionomia não foi identificada foram denominadas como sendo realizadas na Mata Atlântica, como os próprios autores caracterizaram a sua área de estudo. Como o propósito do presente estudo foi gerar subsídios para se estimar a biomassa viva acima do solo (BVAS) e o estoque de carbono em áreas verdes urbanas, a organização do Material Suplementar 1 foi feita, levando-se em conta a fitofisionomia para facilitar o entendimento e busca do leitor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pesquisas relacionadas à estimativa de biomassa viva e estoque de carbono acima do solo no domínio Mata Atlântica

A partir do levantamento na literatura realizado, utilizando-se os termos de busca aplicados, foram encontradas mais de 1.000 pesquisas. Destas pesquisas 59 foram selecionadas, de acordo com os critérios aplicados, sendo analisadas de acordo com o propósito do presente estudo. Essas pesquisas desenvolveram ou aplicaram metodologias com o objetivo de contabilização do potencial das áreas verdes em sequestrar e armazenar carbono, sendo a maioria delas publicadas na forma de artigos científicos. Somente 20% das pesquisas foram realizadas em áreas verdes urbanas e os demais 80% foram realizados em florestas de vegetação natural fora do contexto urbano.

No caso dos 20% de pesquisas realizadas em áreas verdes urbanas, estas foram realizadas em ambientes diversos tais como: espaços vegetados inseridos na cidade; parques urbanos com composição florestal diversa; praças; arborização de ruas; remanescentes florestais naturais ou reflorestamento de Mata Atlântica inseridos na cidade.

O levantamento apontou que o número de pesquisas que estimaram a biomassa viva e o estoque de carbono acima do solo no domínio Mata Atlântica aumentou na última década, conforme apresenta a Figura 1. O aumento pode ser devido à importância que estas pesquisas ganharam a partir do estabelecimento dos acordos internacionais e criação de políticas nacionais relacionadas às mudanças climáticas e conservação das florestas como sumidouros de carbono.

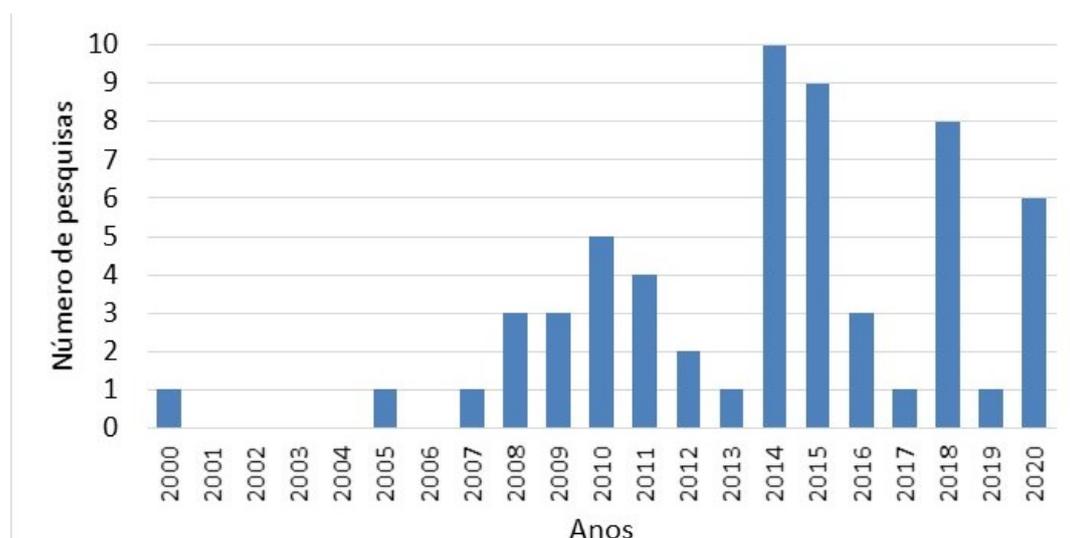


Figura 1. Número de pesquisas selecionadas e analisadas que realizaram a estimativa de biomassa e estoque de carbono acima do solo no domínio Mata Atlântica ao longo dos anos considerados (2000-2020).

Figure 1. The number of selected and analyzed surveys that performed the estimation of aboveground biomass and carbon stock in the Atlantic Forest domain over the years considered (2000-2020).

Aspectos metodológicos da estimativa de biomassa viva e estoque de carbono acima do solo e perspectivas para sua aplicação em áreas verdes urbanas do domínio Mata Atlântica

Métodos não destrutivos para estimativa de biomassa viva acima do solo (BVAS) e estoque de carbono

Todas as equações alométricas aplicadas nas pesquisas levantadas se encontram no Material Suplementar 1. Destaca-se que das 59 pesquisas levantadas, 42 utilizaram equações alométricas (mais de 70%). Dentre os 30% restantes, algumas pesquisas não disponibilizaram a equação alométrica, e outros utilizaram dados de sensores remotos ou aplicaram síntese emergética.

A respeito da aplicação dos métodos de sensoriamento remoto para estimativa de BVAS e estoque de carbono acima do solo, algumas das pesquisas analisadas abordaram áreas localizadas na Mata Atlântica (exemplos: BARBOSA et al., 2014; SCHIKOWSKI et al., 2015; AMORIM, 2016), mas não tiveram como foco as áreas verdes urbanas.

Os métodos baseados em sensoriamento remoto mais utilizados na literatura com essa finalidade são os índices de vegetação, tais como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*) (BRIGHT et al., 2012; KANNIAH et al., 2014; YAO et al., 2015; HABIB; AL-GHAMDI, 2021), o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) (KANNIAH et al., 2014; HABIB; AL-GHAMDI, 2021), o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI) (YAO et al., 2015; HABIB; AL-GHAMDI, 2021) e o índice CO₂flux (FOLHARINI; OLIVEIRA, 2017), a partir de dados de sensores multiespectrais, que podem ser associados a outros dados, como de sensores a laser (LiDAR, *Light Detection and Ranging*) (BRIGHT et al., 2012;) ou mesmo a dados coletados em campo, aplicando equações alométricas (BRIGHT et al., 2012; KANNIAH et al., 2014; YAO et al., 2015; HABIB; AL-GHAMDI, 2021). Zhao et al. (2018) associou dados do LiDAR com dados alométricos medidos em campo. Em locais de relevo acidentado em Mata Atlântica, o uso de dados de sensores remotos associados a modelos de elevação do terreno tem alcançado melhores resultados (BARBOSA et al., 2014). Xiao et al. (2019) apresentaram uma retrospectiva dos avanços e das pesquisas sobre fluxos e estoque de carbono baseados em sensoriamento remoto em um período de 50 anos e seus desafios. Estas ferramentas são importantes para utilização em áreas verdes urbanas, mas é preciso fazer uso de imagens de alta resolução, uma vez que as áreas verdes urbanas costumam ser menores. A aplicação deste tipo de ferramenta pode reduzir custos e tempo na estimativa da BVAS e estoque de carbono.

A análise emergética é outro método indireto que foi utilizado para estimar o sequestro de carbono em parques urbanos em área de Mata Atlântica (ALMEIDA et al., 2018). A emergia rastreia a quantidade acumulada de energia, em equivalentes joules solar, necessária para criar um serviço ecossistêmico através de uma rede de transformações de energia. A principal vantagem do uso da emergia para avaliação de serviços ecossistêmicos é que ela é capaz de contabilizar em uma unidade comum os diferentes insumos provenientes de diferentes formas de capital natural (ALMEIDA et al., 2018).

No que se refere à utilização das equações alométricas para estimativa da BVAS, dentre os componentes da planta em que essas equações foram aplicadas, foi observado que a maioria das equações alométricas foi aplicada às formas de vida lenhosa (80%), seguida por palmeiras (18%) e em menor número a fetos arbóreos e outros (2%).

Bargos e Matias (2011) mencionam que as áreas verdes urbanas podem ser classificadas segundo o porte da vegetação e suas funções, pois se entende que estes são aspectos que contribuem para tornar os ambientes saudáveis e agradáveis e que propiciam interações entre a sociedade e a natureza. Esta classificação possui o potencial de auxiliar na estimativa de biomassa viva acima do solo (BVAS) e de estoque de carbono.

Nas pesquisas selecionadas para análise, as equações alométricas foram aplicadas em diferentes fitofisionomias ou formações florestais. A maioria das equações alométricas (50%) foi utilizada em formações identificadas pelos autores genericamente como Mata Atlântica. Aproximadamente 30% das equações alométricas foi aplicada em Floresta Ombrófila Densa (FOD), 15% em Floresta Estacional Semidecidual (FES), e em menor quantidade foram aplicadas em áreas de transição de FES com FOD e em FOM (Material Suplementar 1).

Muitas áreas verdes apresentam formações diversas, entremeadas de vegetação nativa e exóticas invasoras. Para esses casos foram encontrados no levantamento poucas pesquisas, como a de Santos (2011), onde foram aplicadas estas equações em uma área verde urbana com presença de espécies exóticas. Lima et al. (2020) realizaram o ajuste de equações hipsométricas, volumétricas, de biomassa e carbono do fuste de árvores utilizadas na arborização urbana. Esse estudo é um exemplo de como é necessário desenvolver e adaptar metodologias específicas para a quantificação da BVAS e carbono para as áreas verdes urbanas, formadas por espécies exóticas, sobretudo invasoras, visando conhecer a contribuição dessas áreas para a manutenção dos estoques de carbono e para a regulação climática em diferentes escalas.

Embora haja uma variedade de equações alométricas disponíveis para a aplicação do método não destrutivo, é preciso considerar que cada uma delas é específica para cada tipo de fitofisionomia florestal. Nas pesquisas selecionadas, as equações alométricas mais empregadas na Mata Atlântica são as genéricas, desenvolvidas para as florestas tropicais

(CHAVE et al., 2005), e em nível regional, ajustadas para Mata Atlântica (BROWN, 1997; TIEPOLO et al., 2002). Segundo Higa et al. (2014), em caso de ausência de equações alométricas estabelecidas para a área de estudo, pode-se empregar equações alométricas genéricas, desde que exista semelhança entre as áreas e um ajuste utilizando um conjunto de dados locais.

O ajuste de uma equação alométrica pode ser feito de modo não destrutivo, a partir da elaboração do Fator de Forma Arbórea (FFA). Este coeficiente converte o volume cilíndrico para o volume total da árvore, sendo produto da relação de parâmetros alométricos de indivíduos arbóreos representativos, geralmente medidos pela técnica de escalada (TANIZAKI, 2000; SANTOS, 2011; MOREIRA, 2018). Tanizaki (2000) aplicou esta técnica pela primeira vez no Brasil com o objetivo de estimar a BVAS em fragmentos florestais do Rio de Janeiro. A partir das medidas de quatro indivíduos arbóreos determinou-se o FFA e com 36 equações alométricas para Amazônia, foram avaliadas as suas aplicabilidades, sendo selecionada a equação alométrica mais adequada para formações da Mata Atlântica.

Em uma pesquisa realizada em área verde urbana no Rio de Janeiro, com reflorestamento misto em encostas com espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica e exóticas (*Tamarindus indica* L. – Tamarindo e *Artocarpus heterophyllus* Lam. - Jaqueira), Santos (2011) utilizou o FFA como estratégia para o ajuste de uma equação alométrica para cálculo de BVAS individual, extrapolando os valores encontrados para BVAS do desenho amostral para BVAS por hectare.

No caso da Mata Atlântica, é recomendado incluir nas estimativas de BVAS, os cipós, bambus, lianas, palmeiras e samambaias, tipos de vegetação importantes e abundantes do ecossistema florestal que podem corresponder a um quantitativo significativo da biomassa (Vieira et al., 2008). A biomassa desses tipos de vegetação é avaliada separadamente e, posteriormente, somada à biomassa total (LINDNER; SATTLER, 2011; AZEVEDO, 2012; HIGA et al., 2014; CARVALHO, 2014; ROMITELLI, 2014; CARVALHO, 2015; COSTA, 2015; ROBINSON et al., 2015; MARCHIORI et al., 2016; CASTRO, 2017; AZEVEDO et al., 2018).

Em termos absolutos, do total de pesquisas realizadas por meio dos métodos não destrutivos de campo para estimativa de BVAS, 11 (25%) utilizaram a abordagem espécie-específica, aplicada a determinados tipos de vegetação e táxons botânicos (LINDER; SATTLER, 2011; AZEVEDO, 2012; CARVALHO, 2014; ROMITELLI, 2014; CARVALHO, 2015; COSTA, 2015; ROBINSON et al., 2015; MARCHIORI et al., 2016; AZEVEDO et al., 2018). Como as áreas verdes urbanas podem conter tanto espécies nativas quanto exóticas, além de outras características ambientais antropizadas, a abordagem espécie-específica pode ser vantajosa. Esta abordagem foi utilizada em 70% das pesquisas analisadas que foram realizadas em áreas verdes urbanas. No entanto, considerando as diferenças da arquitetura da

copa entre árvores isoladas e no interior da floresta (GRAVES et al., 2018), a elaboração de equações específicas para áreas verdes urbanas pode ser uma medida relevante para a melhoria das medidas de biomassa.

A elaboração de bases de dados sobre as espécies vegetais naturais urbanas poderia contribuir para o avanço na estimativa de BVAS e do estoque de carbono. McPherson et al. (2016) apresentam uma iniciativa neste sentido, onde durante um período de 14 anos, cientistas da Estação de Pesquisa Pacific Southwest do Serviço Florestal dos Estados Unidos (EUA) registraram dados de um conjunto consistente de medições em mais de 14 mil árvores em 17 cidades dos EUA. As principais informações coletadas para cada espécie incluem o tamanho do tronco e da copa, localização e idade. A partir deste banco de dados, 365 conjuntos de equações de crescimento de árvores foram desenvolvidos para as 171 espécies. Os apêndices contêm protocolos de coleta de dados de campo, dados de biomassa foliar que são fundamentais para calcular a área foliar, equações de biomassa de árvores para estimativas de armazenamento de carbono e um guia do usuário que ilustra a aplicação das equações para calcular o carbono armazenado por muitos anos para espécies de árvores que foram medidas em várias cidades.

Parâmetros alométricos utilizados pelo método não destrutivo de campo para estimativa de BVAS

As equações de regressão para estimativa da BVAS utilizam a biomassa da vegetação obtida por método destrutivo (corte e pesagem das árvores e dos demais componentes florestais, separadamente) como variável independente nos modelos, e as medidas como o Diâmetro à Altura do Peito (DAP), altura (H), densidade da madeira (db), área basal (área seccional transversal do tronco a 1,30 m de altura; $AB = DAP \cdot \pi$) como variáveis dependentes. Os modelos de melhor ajuste resultam nas equações alométricas aplicadas em condições similares àquelas em que foram obtidas (nesta pesquisa estão apresentadas no Material Suplementar 1).

No caso dos métodos não destrutivos de campo levantados, as equações alométricas foram desenvolvidas a partir do estudo das relações de parâmetros alométricos, que expressam em massa ou tamanho as taxas de crescimento das partes de um tipo de vegetação. As estruturas diamétrica e altimétrica são de fundamental importância, já que o fuste arbóreo chega a representar mais de 70% da biomassa total nos trópicos (ARAUJO et al., 1999; BAIS, 2008). Além disso, esses parâmetros são de fácil obtenção em campo (Bais, 2008).

Dentre as equações alométricas utilizadas para a estimativa da BVAS e do carbono das florestas da Mata Atlântica (urbanas ou não), a maioria utilizou somente o DAP (ALVES et al.,

2010; BIANCO, 2015) ou DAP e Altura (H) (CHAVE, 2005; SILVEIRA, 2010; CASTRO 2017), sendo os demais parâmetros utilizados nas equações alométricas, utilizando-se o método não destrutivo, apresentados no material Suplementar 1.

Métodos para estimativa do estoque de carbono acima do solo (C)

Das pesquisas levantadas, 30% estimaram apenas a BVAS e não consideraram o estoque de carbono, e 70% estimaram o estoque de carbono, seja a partir da estimativa da BVAS, por dados da literatura ou por outros métodos indiretos. Um método utilizado na estimativa do estoque de carbono acima do solo é o fator de conversão a partir de BVAS. Este método considera um valor padrão (valor *default*) de teor de carbono na biomassa viva que, em geral, assume valores entre 45 e 50% (BUENDIA et al., 2008). Este método foi empregado em 70% das pesquisas que estimaram o estoque de carbono. Em menor número, as pesquisas utilizaram também equações alométricas que estimaram diretamente o carbono, valores de estoques de carbono estimados pela literatura, bem como métodos indiretos já citados, como os índices obtidos de dados de sensores remotos e análise emergética.

Os dados de sensores remotos são uma alternativa para o estudo de BVAS em áreas verdes urbanas. Contudo, sua aplicação não é trivial, pois requer tecnologias, *softwares* especializados e especialistas. É preciso simplificar o acesso e a manipulação desses dados e torná-los intuitivos para as pessoas, inclusive para reduzir a necessidade de formação de profissionais, o que reduziria custos (AMORIM, 2016).

A metodologia padrão utilizada atualmente para se estimar o estoque de carbono baseia-se em dados de inventário florestal. Com esses dados pode-se determinar relações alométricas que utilizam variáveis como o fator de expansão de biomassa e a densidade média de carbono por espécie ou por tipo florestal, que convertem volume de madeira em biomassa e posteriormente em carbono (LINDNER; KARJALAINEN, 2007). O fator de expansão de biomassa é utilizado quando é necessária a estimativa total de biomassa, mas apenas dados de biomassa comercial estão disponíveis. Este fator pode ser função apenas do DAP, como também do DAP e da altura (SILVEIRA, 2010). Somogyi et al. (2006) afirmam que esses fatores, além de serem função do DAP e da altura, variam também de acordo com a espécie, tipo e localização de uma floresta.

Portanto, os valores de carbono incorporados em florestas devem levar em consideração os diferentes tipos de vegetação presentes nas florestas, os padrões biogeográficos e a diferença entre seus compartimentos como casca do fuste, galho vivo, madeira do fuste etc. Barreto (2013) utilizou teores médios específicos de carbono de diferentes compartimentos para diferentes espécies da Floresta Ombrófila Mista, descritos por Watzlawick et al. (2014). Já as demais pesquisas levantadas utilizaram teor descrito na

literatura para extrapolação total do estoque de carbono a partir de fatores de expansão da biomassa, incluindo todos os compartimentos de BVAS nos cálculos de carbono.

O Segundo Inventário nacional de GEE (BRASIL, 2010) utilizou um fator de expansão para árvores de DAP < 31,83 cm e fatores de expansão para estimar biomassa de palmeiras, cipós, raízes e serapilheira. Já o Terceiro (BRASIL, 2016) e o Quarto Inventários de GEE (BRASIL, 2021) utilizaram dois fatores de expansão, diferenciando florestas densas e não densas, para a inclusão de árvores com DAP < 31,83 cm, assim como para a inclusão dos reservatórios de palmeiras, cipós, sub-bosque, herbáceas, madeira morta em pé e caída, serapilheira e biomassa abaixo do solo para a Amazônia (NOGUEIRA et al., 2008).

CONCLUSÕES

A revisão da literatura mostrou que houve um aumento no número de pesquisas que estimaram a biomassa verde aérea e o estoque de carbono acima do solo no domínio Mata Atlântica no decorrer dos anos de 2000 a 2020. Este avanço pode estar relacionado à discussão no âmbito dos fóruns e acordos globais relativos aos impactos das mudanças climáticas e a necessidade de redução das emissões de GEE.

Foi enfatizada a importância em se estimar a biomassa verde aérea e o estoque de carbono em áreas verdes urbanas. Contudo, a revisão descritiva-quantitativa da literatura mostrou que apenas 22% das pesquisas foram realizadas em áreas verdes urbanas no domínio Mata Atlântica. Considerando que este bioma possui um grande contingente de áreas verdes urbanas prestadoras de SE sob pressões de elevado grau de urbanização, tal porcentagem representa um quantitativo modesto, revelando a necessidade de um avanço destas pesquisas para as cidades.

Embora o estabelecimento de equações alométricas ajustadas às condições locais seja um desafio, a diversidade de equações alométricas existentes para estimativa de BVAS e do estoque de carbono as tornam atrativas para comunidade científica, pois possibilita testá-las e ajustá-las para áreas verdes urbanas. Como estas áreas possuem tanto espécies nativas como exóticas, a abordagem espécie-específica pode ser vantajosa. Mas para o avanço do conhecimento neste tema, é preciso ampliar a realização de inventários espacialmente abrangentes e em escala adequada em áreas verdes urbanas, cujos dados servirão de suporte para as estimativas da BVAS e estoque de carbono com maior acurácia.

Além dos métodos diretos para estimativa da BVAS e do estoque de carbono, destacam-se os métodos indiretos tais como os baseados em sensoriamento remoto e análise

emergética, pois são interessantes para as áreas verdes urbanas, uma vez que poupam tempo e recursos.

A existência de protocolos metodológicos e programas de pesquisa para a estimativa de BVAS e estoque de carbono em áreas verdes urbanas podem impulsionar avanços nesse tema e assim oferecer subsídios às políticas públicas que visem conservar essas áreas, uma vez que as mesmas precisam de bons indicadores para a quantificação e o monitoramento dos serviços ecossistêmicos, com destaque para a regulação climática.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. M. V. B.; MARIANO, M.V.; AGOSTINHO, F.; LIU, G.Y.; YANG, Z.F.; COSCIEME, L.; GIANNETTI, B. F. Comparing costs and supply of supporting and regulating services provided by urban parks at different spatial scales. **Ecosystem Services**, Amsterdam, v. 30, p. 236-247, 2018.

ALVES, L. F.; VIEIRA, S. A.; SCARANELLO, M. A.; CAMARGO, P. B.; SANTOS, F. A. M.; MARTINELLI, L. A. Forest structure and live aboveground biomass variation along an elevational gradient of tropical moist forest (Brazil). **Forest Ecology and Management**, Arizona, v. 260, p. 679–691, 2010.

AMORIM, D. C. R. **Quantificação de biomassa e altura das árvores em uma floresta de Mata Atlântica em Belo Horizonte - MG, utilizando a tecnologia LiDAR**. 33f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

ARAÚJO, T. M.; HIGUCHI, N.; JÚNIOR, J. A. C. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Arizona, v. 117, p. 43-52, 1999.

AZEVEDO, A. D. **Composição florística e estoque de carbono em áreas de recuperação da Mata Atlântica na bacia do rio Guapiaçu, Cachoeiras de Macacu, RJ**. 162f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

AZEVEDO, A. D.; FRANCELINO, M. R.; CAMARA, R.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica. **Floresta**, Curitiba, v. 48, n. 2, p. 183-194, 2018.

BAIS, C. R. **Tamanho de parcelas para quantificação de biomassa e carbono em uma floresta ombrófila densa na Mata Atlântica**. 74f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais/Conservação dos Ecossistemas Naturais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

BARBOSA, J. M.; MELENDEZ-PASTOR, I.; NAVARRO-PEDREÑO, J. Remotely sensed biomass over steep slopes: an evaluation among successional stands of the Atlantic Forest, Brazil. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 88, p. 91-100, 2014.

BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. Áreas verdes urbanas, um estudo de revisão e proposta conceitual. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 6, n. 3, p.172-188, 2011.

BARRETO, T. G. **Dinâmica da biomassa e do carbono em fragmento urbano de Floresta Ombrófila Mista**. 22f. Pós-Graduação em Mudanças Climáticas, Projetos Sustentáveis e Mercado de Carbono - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BIANCO, R. **Estimativa da incorporação de carbono em biomassa arbórea em três trechos da arborização urbana de Londrina**. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, PR, 2015.

BOINA, A. **Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em Floresta Estacional Semidecidual, Vale do Rio Doce, Minas Gerais**. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

BOLUND, P.; HUNHAMMAR, S. Ecosystem services in urban areas. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 29, p. 293–301, 1999.

BRASIL. Lei nº. 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e dá outras providências**. Brasília, DF, publicada em 30 de Dezembro de 2009.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Sumário Executivo/ Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. 45 p.: il

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima / Secretaria de Pesquisa e Formação Científica**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. 620 p.: il

BRIGHT, B. C.; HICKE, J. A.; HUDAK, A. T. Estimating aboveground carbon stocks of a forest affected by mountain pine beetle in Idaho using Lidar and multispectral imagery. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 124, p. 270–281, 2012.

BROWN, S.; LUGO, A. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of Brazilian Amazon. **Interciencia**, Catanduva, v. 17, n. 1, p. 8-18, 1992.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *For. Dci.*, v. 35, n. 4, p. 881-902, 1989.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests**. Rome: FAO, Forestry Paper 134, 1997. 55p.

BUENDIA, H. S.; MIWA, L.; NGARA, T. K. AND TANABE, K. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Japan: IGES, 2008. 20 p.

CARVALHO, L. S.; CERQUEIRA, R. M.; SILVA, G. V.; SILVA, E. R. M. Carbon storage in a fragment of semideciduous seasonal forest in Ribeirão Grande, São Paulo, Brazil. **Bioikos**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 73-85, 2014.

CARVALHO, F. D. G. **Modulação do estoque de carbono em paisagens fragmentadas da Mata Atlântica em função dos efeitos de borda**. São Paulo, 2015. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciências, na Área de Ecologia de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2015.

CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. DE C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; CÂNDIDO, W. L.; SANTOS, R. C. Quantification of forestry and carbonization waste. **Renewable Energy**, London, v. 103, p. 432-438, 2017.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M.A.; CHAMBERS, J. Q.; EAMUS, D.; FOLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J-P.; NELSON, B.W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, Amsterdam, v. 145, p. 87-99, 2005.

COSTA, K. M. **O estoque de carbono na vegetação e no solo em fragmentos florestais de paisagens tropicais**. São Paulo, 2015. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências, Área de Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2015.

DENYER, D., TRANFIELD, D. Producing a systematic review. In: BUCHANAN, D. A.; BRYMAN, A. (Org.) **The SAGE handbook of organizational research methods**. London: Sage Publications Ltd., 2009. p. 671-689.

ELMQVIST, T.; FRAGKIAS, M.; GOODNESS, J.; GÜNERALP, B.; MARCOTULLIO, P. J.; McDONALD, R. I.; PARNELL, S.; SCHEWENIUS, M.; SENDSTAD, M.; SETO, K. C.; WILKINSON, C. **Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities**. Dordrecht: Springer, 2013.

ESTEVO, C. A.; NAGY-REIS, M. B.; SILVA, W. R. Urban parks can maintain minimal resilience for Neotropical bird communities. **Urban Forestry & Urban Greening**, Amsterdam, v. 27, p. 84-89. 2017.

EUROPEAN COMMISSION. **Quality of life in Cities: perception survey in 79 European cities** Disponível em: http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/studies/pdf/urban/survey2013_en.pdf.> Acesso em: 25 mai. 2022.

FAO. 2020. Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings. Disponível em: <https://www.fao.org/3/ca8753en/ca8753en.pdf>.> Acesso em: 25 mai. 2022.

FEARNSIDE, P.M. 1992. Forest biomass in Brazilian Amazônia: Comments on the estimate by Brown and Lugo. **Interciencia**, Catanduva, v.17, n.1, p. 19-27.

FOLHARINI, S. O.; OLIVEIRA, R. C. Cálculo do índice espectral CO₂flux em área de Mata Atlântica e sua relação com processos gravitacionais no município de Cubatão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 18, 2017, Campinas. **Anais...Campinas: Unicamp**, 2017. p. 4642-4653.

FRANÇA, J. U. B. **Biodiversidade arbórea e estoque de carbono em áreas verdes urbanas: contribuições para a infraestrutura verde de São Paulo, SP**. São Paulo, 2017. 76

f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis, Universidade Nove de Julho, São Paulo, SP, 2017.

GANEM, K. A.; OLIVEIRA, M. T. **Análise sazonal da relação entre sequestro florestal de carbono e ilhas de calor urbanas nas metrópoles de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Brasília**. Brasília, 2014. 76f. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Ciências Ambientais) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; BARTON, D. N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 86, p. 235-245, 2012.

GRAVES, S. J.; CAUGHLIN, T. T.; ASNER, G. P.; BOHLMAN, S. A. A tree-based approach to biomass estimation from remote sensing data in a tropical agricultural landscape. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 218, p. 32-43, 2018.

HABIB, S.; AL-GHAMDI, S. G. Estimation of above-ground carbon-stocks for urban greeneries in arid areas: case study for Doha and FIFA World Cup Qatar 2022. **Frontiers in Environmental Science**, Amsterdam, v.15, 2021.

HIGA, R. C. V.; CARDOSO, D. J.; ANDRADE, G. C.; ZANATTA, J. A.; ROSSI, L. M.; PULROLNIK, K.; NICODEMO, M. L. F.; GARRASTAZU, M. C.; VASCONCELOS, S. S.; SALIS, S. M. Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal. **Documentos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 72 p.

KACZOROWSKA, A.; KAIN, J. H.; KRONENBERG, J.; HAASE, D. Ecosystem services in urban land use planning: integration challenges in complex urban settings - Case of Stockholm. **Ecosystem Services**, Amsterdam, v. 22, Part A, p. 204–212, 2016.

KANNIAH, K. D.; MUHAMAD, N.; KANG, C. S. Remote sensing assessment of carbon storage by urban forest. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF THE DIGITAL EARTH (ISDE8), 8, and IOP CONF. SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE, 18, 2014, Kuching, Sarawak, Malaysia. **Anais...**Kuching: IOP, 2014. 012151.

LIMA, V. Y. M.; ARAÚJO, A. L. D.; AMARO, M. A. Ajuste de equações hipsométricas, volumétricas, de biomassa e carbono do fuste de árvores utilizadas na arborização urbana no Parque da Maternidade em Rio Branco-Acre. **Scientia Naturalis**, Rio Branco, v. 2, n. 2, p. 569-582, 2020.

LIN, W.; WU, T., ZHANG; C., YU, T. Carbon savings resulting from the cooling effect of green areas: a case study in Beijing. **Environmental Pollution**, Amsterdam, v. 159, n. 8-9, p. 2148–2154, 2011.

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

LINDNER, A.; SATTTLER, D. Biomass estimations in forests of different disturbance history in the Atlantic Forest of Rio de Janeiro, Brazil. **New Forests**, Amsterdam, v. 43, p. 287–301, 2011.

LONDE, P. R.; MENDES P. C. A influência das áreas verdes na qualidade de vida urbana. **Hygeia**, Uberlândia, v.10, n.18, p. 264-272, 2014.

MARCHIORI, N. M.; ROCHA, H. R.; TAMASHIRO, J. Y.; AIDAR, M. P. M. Tree community composition and aboveground biomass in a secondary Atlantic Forest, Serra Do Mar State Park, São Paulo, Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 22, n. 4, p. 501-514, 2016.

McPHERSON, E. G.; VAN DOORN, N. S.; PEPPER, P. J. **Urban Tree Database and Allometric Equations**. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-253. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 2016. 86 p.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). **Ecosystems and human well-being: synthesis**. Washington D.C: Island Press, 2005. 137 p.

MEIRA, A. C. S.; MELLO, A. A.; SANQUETTA, C. R.; FERREIRA, R. A. Estimativas de biomassa e carbono em área de Mata Atlântica, implantada por meio de reflorestamento misto. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 130-134, 2020.

MOREIRA, S. M. S. **Biomassa, estoque e fluxo de carbono no contexto das mudanças climáticas do reflorestamento de Mata Atlântica da reserva ecológica Guapiaçu, RJ**. Niterói, 2018. 95f. Dissertação (Mestrado em Biologia Marinha e Ambientes Costeiros) - Programa de Pós-Graduação em Biologia Marinha e Ambientes Costeiros da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2018.

NOGUEIRA, E. M.; FEARNside, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R.I.; KEIZER, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: new allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 11, p.1853–1867, 2008.

NUNES, A. R. V. **Conforto térmico e estimativa da captura do carbono pela vegetação em diferentes áreas da cidade de Catolé do Rocha-PB**. Patos, 2018. 72f. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB, 2018.

ROBINSON, S. J. B.; BERG, E. van den B. Factors influencing early secondary succession and ecosystem carbon stocks in Brazilian Atlantic Forest. **Biodiversity and Conservation**, Amsterdam, v. 24, p. 2273–2291, 2015.

ROMITELLI, I. **Spatial variability in carbon stocks in the Atlantic Forest fragmented landscapes**. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SANTOS, A. C. C.; TANIZAKI, K.; RODRIGUES, F. A.; SHIMABUKURO, J. K.; VELA, L. A. V. Estoque e fluxo de carbono em reflorestamentos no município do Rio de Janeiro. In: I Simpósio de Pesquisa em Mata Atlântica. **Anais...** Rio de Janeiro, 2011. p. 38.

SCHIKOWSKI, A. B.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Dinâmica do estoque de carbono em floresta ombrófila mista no Paraná utilizando software CO₂fix e simulação de cenário de projeto REDD. **Holos Environment**, Rio Claro, v.15 n. 2, p. 108-115, 2015.

SILVA, H. F.; RIBEIRO, S. C.; BOTELHO, S. A.; FARIA, R. A. V. B.; TEIXEIRA, M. B. R.; MELLO, J. M. Estimativa do estoque de carbono por métodos indiretos em área de restauração florestal em Minas Gerais. **Scientia Forestales**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 943-953, 2015.

SILVA, L. C.; ARAÚJO, E. J. G.; CURTO, R. A.; NASCIMENTO, A. M.; ATAÍDE, D. H. S.; MORAIS, V. A. Estoques de biomassa e carbono em unidade de conservação no bioma Mata Atlântica. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 243-251, 2018.

SILVEIRA, P. Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de floresta ombrófila densa utilizando o método da derivação do volume comercial. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 789-800, 2010.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Relatório Anual 2020**. Disponível em: https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2021/07/Relat%C3%B3rio_SOSMA_2020_01_COM-REVIS%C3%95E_12_07_2021.pdf Acesso em: 25 mai. 2022.

SOMOGYI, Z.; CIENCIALA, E.; MÄKIPÄÄ, R., MUUKKONEN, P.; LEHTONEN, A.; WEISS, P. Indirect methods of large forest biomass estimation. **Europe Journal Forest Research**, Amsterdam, v. 126, n. 2, p. 197-207, 2006.

TANIZAKI-FONSECA, K. **Impacto do uso da terra no estoque e fluxo de carbono na área de domínio da Mata Atlântica: estudo de caso, Estado do Rio de Janeiro**. 2000. 199 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2000.

TIEPOLO, G.; CALMON, M.; FERETTI, A. R. Measuring and monitoring carbon stocks at the guaraqueçaba climate action project, Paraná, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST CARBON SEQUESTRATION AND MONITORING, 2002. Taiwan. **Anais...** Taiwan: Taiwan Forestry Research Institute, 2002. p. 98-115.

VIEIRA, S. A.; ALVES, L. F.; AIDAR, M. P. M.; ARAÚJO, L. S.; BAKER, T.; BATISTA, J. L. F.; CAMPOS, M. C. R.; CAMARGO, P. B.; CHAVE, J.; DELITTI, W. B.; HIGUCHI, N.; HONÓRIO, E.; JOLY, C. A.; KELLER, M.; MARTINELLI, L. A.; MATTOS, E. A.; METZKER, T.; PHILLIPS, O.; SANTOS, F. A. M.; SHIMABUKURO, M. T.; SILVEIRA, M.; TRUMBORE, S. E. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 21-29, 2008.

WATZLAWICK, L. F.; MARTINS, P. J.; RODRIGUES, A. L.; EBLING, A. A.; BALBINOT, R.; LUSTOSA, S. B. C. Teores de carbono em espécies da floresta ombrófila mista e efeito do grupo ecológico. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 4, p. 613-620, 2014.

WOODWELL CLIMATE CARBON. **Carbon**. Disponível em: <https://www.woodwellclimate.org/research-area/carbon/>. Acesso em: 25 mai. 2022.

WOORTMANN, C. P. I. B.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; SILVA, R. P. Allometric equations for total, above-and below-ground biomass and carbon of the Amazonian forest type known as campinarana. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 48, n. 2, p. 85-92, 2018.

WORLD BANK GROUP. 2020. **State and Trends of Carbon Pricing 2020**. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33809/9781464815867.pdf?sequence=4&isAllowed=y> Acesso em: 25 mai 2022.

XIAO, J., CHEVALLIER, F., GOMEZ, C., GUANTER, L., HICKE, J.A., HUETE, A.R., ICHII, K., NI, W., PANG, Y., RAHMAN, A.F., SUN, G., YUAN, W., ZHANG, L., ZHANG, X. Remote sensing of the terrestrial carbon cycle: A review of advances over 50 years. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, 233, 111383, 2019.

YAO, Z., LIU, J., ZHAO, X., LONG, D.; WANG, L. Spatial Dynamics of Aboveground Carbon Stock in Urban green Space: a Case Study of Xi'an, China. **Journal of Arid Land, Amsterdam**, v.7, p. 350–360, 2015.

ZHAO, K; SUAREZ, J. C.; GARCIA, M.; HU, T; WANG, C.; LONDO, A. Utility of multitemporal lidar for forest and carbon monitoring: tree growth, biomass dynamics, and carbon flux. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 204, n.1, p.883-897, 2018.

ZHAO, J.; PENG, S.; CHEN, M.; WANG, G.; CUI, Y.; LIAO, L.; FENG, J.; ZHU, B.; LIU, W.; YANG, L.; TAN, Z. Tropical forest soils serve as substantial and persistent methane sinks. **Scientific Reports**, Amsterdam, v. 9, 16799, 2019.