

Estimativa de biomassa e carbono em floresta plantada adotando o modelo de Schumacher & Hall: estudo de caso

Estimates of biomass and carbon in a planted forest by Schumacher & Hall method: a case study

Sidnei Fonseca Guerreiro¹, Anderson Antonio da Conceição Sartori², Felipe Teles Barbosa³,
Rosane Maria Kaspar⁴, Martha Santana Martins⁵, Luan Matheus Marchiori⁶

RESUMO: O setor de florestas plantadas desponta como alternativa viável para mitigação dos gases de efeito estufa. Nesse sentido, a mensuração das estimativas de biomassa e carbono contribuem para amenização dos impactos antrópicos e permite a adaptação sustentável do manejo florestal. Assim, este trabalho objetiva estimar a biomassa e o estoque de carbono em nível acima do solo da vegetação arbórea em floresta plantada de *Eucalyptus grandis*, localizada entre os municípios de Borebi e Iaras, no Estado de São Paulo. Foi utilizado o Inventário Florestal, de dezembro de 2016, no qual os indivíduos apresentaram idades entre 4 anos e 2 meses a 8 anos, com espaçamento de plantio inicial de 3,8 m x 2,1 m. A área experimental trata-se de seis fazendas, distribuídas em 141 talhões e com 258 pontos amostrais, totalizando 119.498 indivíduos vivos. O conjunto de dados explorado neste trabalho possui como variáveis a altura média da planta, o diâmetro médio da altura do peito, biomassa de volume comercial, e dióxido de carbono equivalente, sendo que as duas últimas foram estimadas por meio de equações alométricas. Para o cálculo da estimativa da biomassa utilizou-se o modelo de regressão de Schumacher & Hall, com fator de expansão de Massa Específica Básica para o gênero *Eucalyptus*. O crescimento da biomassa no *E. grandis* pode ser explicado pelo modelo linearizado de Schumacher & Hall com um coeficiente de determinação de 98,94%, evidenciando que este trabalho tem grande potencial para auxiliar no cálculo de estimativa do estoque de biomassa e carbono em floresta plantada.

Palavras-chave: Estoque de carbono. *Eucalyptus*. Inventário florestal. Schumacher & Hall.

ABSTRACT: The planted forest may be a viable alternative for greenhouse gas mitigation. Biomass and carbon estimates contribute towards the mitigation of anthropic impacts and allow sustainable adaptation of forest management. Biomass and carbon stock above ground in a planted forest of *Eucalyptus grandis* between the municipalities of Borebi and Iaras in the state of São Paulo, Brazil, are estimated. The December 2016 forest inventory was used in which ages of trees were between 4 years and 2 months and 8 years, with initial planting spacing of 3.8 m x 2.1 m. Experimental area comprised six farms distributed in 141 plots, with 258 sampling points, totaling 119,498 trees. Data set included the variables: the average height of the plant, the average diameter at height of breast, biomass of commercial volume, and equivalent carbon dioxide. The last two were estimated

¹ Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental do Programa de Pós-graduação *Strictu sensu* da Universidade do Sagrado Coração (USC), Brasil.

² Doutorado em Agronomia - Irrigação e Drenagem pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônomicas, com período de estágio no exterior Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura - (CRA) Bari, Itália.

³ Doutorando em Biometria pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus Botucatu, com ênfase em Modelagem Matemática e Simulação Computacional de Biosistemas.

⁴ Mestre em Desenvolvimento Regional/Energia Renovável pela FACCAT - Faculdades Integradas de Taquara. Doutoranda em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) Sorocaba (SP), Brasil.

⁵ Mestra em desenvolvimento regional e urbano pela Universidade Salvador. Atualmente é orientadora de alunos da Universidade Federal da Bahia/ENGETOP/Escola Politécnica na área de Engenharia Civil. Brasil.

⁶ Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade do Sagrado Coração (UNISAGRADO), Bauru (SP), Brasil.

by allometric equations. The Schumacher & Hall regression model was used to calculate the biomass estimate, with an expansion factor of Basic Specific Mass for the genus *Eucaliptus*. The growth of biomass in *E. grandis* is calculated by Schumacher & Hall's linearized model with a 98.94% coefficient of determination, evidencing that the method may be highly useful for calculating the estimation of biomass and carbon stock in planted forests.

Keywords: Carbon store. *Eucaliptus*. Forest inventory. Schumacher & Hall.

Autor correspondente:
Sidnei Fonseca Guerreiro: sfguerre@gmail.com

Recebido em: 08/06/2020
Aceito em: 09/02/2021

2

INTRODUÇÃO

O aumento do efeito estufa, que ocorre principalmente pelas altas emissões de CO₂, é também foco de muitos debates, muitas pesquisas e ações de redução com o sequestro de carbono no ambiente. Uma metodologia que possui bons resultados no combate aos efeitos nocivos do aquecimento global é a produção de biomassa vegetal em forma de florestas plantadas, as quais são grandes aliadas no sequestro de CO₂. A concentração de gás carbônico em áreas de floresta plantada é menor, quando comparada aos ambientes com baixa densidade vegetativa, uma vez que a biomassa vegetal realiza fotossíntese, consumindo CO₂ e produzindo gás oxigênio (GIZACHEW, 2016).

Portanto, uma vez que as florestas representam uma ferramenta importante para o controle da concentração de gás carbônico atmosférico, a quantificação da biomassa vegetal é necessária para auxiliar no planejamento e nas tomadas de decisão acerca do reflorestamento. Para quantificar a biomassa, uma alternativa é utilizar as informações do Inventário Florestal (IF) que permite atender a diversas demandas de informações utilizadas como base para tomada de decisões estratégicas, tanto público quanto privadas (BAKER *et al.*, 2010).

E que vão desde por exemplo a análises de apuração de ciclagem de nutrientes (TIAGO, 2014), passando pela mensuração de dados para o setor energético e que, de acordo com Silveira (2010), esses dados colaboram para o desenvolvimento do mercado florestal e pesquisas referentes ao sequestro de carbono.

Sanquetta (2002) também afirma que a leitura de estudos de fixação de carbono em floresta está diretamente vinculada à variável biomassa e que esta necessita de apuração de estimativa de forma fidedigna. Caso esta apuração não seja realística, os valores discriminados e iniciados no IF não agregam consistência na quantificação do carbono fixado no ecossistema florestal.

O IF consiste na obtenção de informações sobre as características quali-quantitativas de uma área, fornecendo dados importantes na quantificação do volume e biomassa da madeira de forma precisa e com rastreabilidade (BUSCHA *et al.*, 2012). Normalmente, sua quantificação é realizada de forma indireta por estimativas (RUIZ-VILLANUEVA *et al.*, 2016). Porque ao optar-se pela forma direta, é necessário que haja um corte da amostra para aferição e pesagem,

o que inviabiliza análises de grandes áreas devido à onerosidade de custos e tempos demandados (SANQUETTA, 2004).

Os métodos implantados e difundidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para estimativa de biomassa florestal baseiam-se principalmente no IF, utilizando equações de correções e fatores de expansão. Desse modo, consegue-se obter estimativas baseadas do diâmetro a altura do peito (DAP), altura (H) e volume dos indivíduos, por técnicas de amostragem específicas, de acordo com as características genótípicas e fenotípicas, como material genético, espécie, clima, entre outros (HUANG *et al.*, 2019; SILVEIRA, 2010). Tais apurações corroboram para o aperfeiçoamento do setor e possuem forte apelo ambiental de acuracidade das reservas florestais, tanto sob a ótica da demanda, quanto a oferta de insumos para o desenvolvimento econômico, além da preservação de florestas nativas e biotas (CAMPBELL; LUCKERT, 2012).

A sua mensuração proporciona condições favoráveis para as boas práticas da gestão de manejo na identificação de estratégias e oportunidades para políticas públicas sustentáveis, uma vez que os volumes de biomassa e carbono são condicionantes e controladores do estoque de carbono global e servem de indicadores para predição dos cenários referentes às mudanças climáticas (AGRAWAL *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2020; ZENG *et al.*, 2018). Assim, é possível se garantir em parte a preservação dos recursos florestais nativos sem condicionar o atendimento das demandas dos seus insumos em uma sociedade de consumo e demografia expansionista (MOREIRA *et al.*, 2017).

Segundo Wu *et al.* (2018), os ecossistemas florestais são responsáveis por mais de 80% de todo carbono acima do solo, contribuindo assim com o maior estoque de carbono terrestre, razão pela qual é fundamental conhecer a quantidade bem como a qualidade dessa biomassa consumidora de carbono. Todavia, para obter dados precisos de biomassa e a relação de carbono, conforme já mencionado anteriormente, pode-se utilizar de método direto ou indireto com base em diferentes ferramentas e modelos.

Desta forma, este artigo tem por objetivo obter as estimativas de biomassa e de carbono em floresta plantada utilizando o modelo de Schumacher & Hall, para que se possa também quantificar o estoque de carbono.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área experimental desta pesquisa é formada por seis fazendas, distribuídas em dois municípios da região central do Estado de São Paulo, a saber, Borebi (22°34'10"S 48°58'16"W) e Iaras (22°52'15"S 49°09'46"W), em um total de 2.050 ha. O IF de dezembro de 2016 dessa

área contabiliza 119.498 indivíduos da espécie *Eucalyptus grandis*, distribuídos em 258 talhões, com idades que variam entre 4 anos e 2 meses a 8 anos, plantados inicialmente com espaçamento de 3,8 m x 2,1 m. A área experimental é ilustrada na Figura 1.

Os municípios de Borebi e Iaras estão localizados em uma faixa de altitude de 590 a 640 metros em relação ao nível do mar. A classificação climática de Köppen desta região (Centro-Oeste do Estado de São Paulo) é do tipo Cwa (Tropical de Altitude), caracterizado por chuvas no verão e seca no inverno. O tipo de solo predominante é o latossolo vermelho-amarelo e arenoso, o que propicia o crescimento da vegetação de campo na maior parte da região.

2.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

Os dados de IF foram cedidos pela empresa Lwarcel Celulose, com sede em Lençóis Paulista (SP), a qual processa anualmente cerca de 250 mil toneladas de celulose de fibra curta de eucalipto, que é matéria-prima utilizada na fabricação de diversos tipos de papéis no Brasil e no exterior. O IF foi computado pelo método indireto, que consiste em relacionar algumas variáveis de fácil apontamento, sem a necessidade de abater o indivíduo arbóreo no mês de dezembro de 2016.

A estimativa dos valores de biomassa e estoque de carbono foi realizada a partir dos dados descritos na Tabela 1, a saber: área (ha), número de árvores por área, idade (anos), DAP (m³), altura (m). Os dados foram mensurados em seis localidades na região de Borebi (Santa Rita, São Luiz, Turvinho I, Turvinho II, Turvinho III e Turvinho IV) e duas na região de Iaras (São Luiz e Turvinho I).

A partir dos dados dendrométricos obtidos, foi calculado o volume comercial (V), em m³, de acordo com a Equação 1, em que d representa o diâmetro à Altura do Peito na altura de 1,3 m e H representa a altura da árvore, em m.

$$V = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 H; \quad (1)$$

Para o cálculo da altura média, foi adotada a distribuição hipsométrica, considerando uma amplitude de 4,0 m entre as classes de altura e todos os indivíduos são da espécie *Eucalyptus grandis*.

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

2.3.1 Estimativa da Biomassa

De acordo com Silveira *et al.* (2008), o procedimento usual adotado para estimar a biomassa de forma indireta é por meio de modelos de regressão, em que os componentes

arbóreos estão associados a variáveis dendrométricas. Sanquetta (2004) disserta sobre a necessidade de uma apuração e seleção adequada de modelos de regressão que forneçam, de forma criteriosa, bons indicadores de ajuste do modelo ao conjunto de dados, tais como o erro padrão da estimativa, a distribuição dos resíduos do modelo e coeficiente de determinação (R^2).

Para a estimativa de biomassa de volume comercial utilizou-se o fator de expansão de Massa Específica Básica (MEB), para o gênero *Eucalyptus*, de $0,5090 \text{ t m}^{-3}$ (SANQUETTA *et al.*, 2016; SANQUETTA *et al.*, 2013; SETTE JR. *et al.*, 2005; ZANI FILHO, 1993).

A partir dos valores obtidos por meio de técnicas indiretas do IF, estimou-se o volume de biomassa específico para *E. grandis*, utilizando o modelo Schumacher & Hall, cujas covariáveis são o diâmetro médio a altura do peito e a altura média. O modelo adaptado para o problema deste artigo é dado pela Equação (2):

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP^2 H) + \varepsilon \quad , \quad (2)$$

em que \ln é a função logarítmica neperiana, Y é a biomassa da planta, em m^3 , β_0 é o intercepto do modelo linear, β_1 é a inclinação da reta ajustada e ε é um erro aleatório, cuja distribuição assumida foi a Normal padrão, isto é, o erro aleatório possui média nula e variância igual a um. Para avaliar a qualidade do ajuste, fez-se uma Análise de Variâncias (ANOVA).

Para se obter uma estimativa do valor da biomassa, aplicou-se a função exponencial à Equação 3, utilizando os valores dos coeficientes estimados, isto é,

$$Y^* = \exp\{\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \ln(DAP^2 H)\}, \quad (3)$$

sendo então possível estimar a quantidade de biomassa de uma árvore a partir de sua H e de seu DAP .

2.3.2 Estimativa do sequestro de carbono

Para estimativa dos valores de sequestro de carbono, considera-se um fator de conversão de 0,5, pressupondo que 50% da biomassa é constituída por carbono (C) (CARMO *et al.*, 2003; CASSOL, 2013). Para a estimativa da amostra foram tomados os valores de biomassa seca total (B), multiplicados pelos respectivos teores de carbono (tC), para o gênero adotado, seguindo a Equação 4:

$$C = B * tC. \quad (4)$$

Para estimar as remoções em CO₂eq (dióxido de carbono equivalente), os estoques de carbono foram convertidos por estequiometria, sendo a massa molecular do CO₂ equivalente a 44 g, dos quais 12 g são de carbono. A estimativa de CO₂eq é dada pela Equação 5:

$$CO_2eq = C * \frac{44}{12} \quad (5)$$

6

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após realizar o pré-processamento dos dados do IF, os valores de DAP e *H* foram agrupados e classificados por classes, idade e fazenda conforme a Tabela 2, em que são apresentadas as estatísticas descritivas dos dados, tais como a idade média das amostras que, em dezembro de 2016, é de 5,27 anos. Quanto à biomassa média total (33.125 t m³), após a correção pelo fator de expansão, para a área experimental a biomassa equivale a 38430 t m³.

Ao ajustar a Equação 2 ao conjunto de dados, obtiveram-se as seguintes estimativas: $\hat{\beta}_0 = -0,9182$ e $\hat{\beta}_1 = 0,9908$, com erros padrão de 0,0029 e 0,0064, respectivamente. A Tabela 3 sumariza os resultados da ANOVA, em que a estatística $F = 23752,1593$. Como $F > 1$, conclui-se então que o ajuste proposto foi adequado para explicar a quantidade de biomassa por meio das variáveis DAP e *H*.

Outros critérios analisados foram a qualidade do ajuste segundo o coeficiente de determinação e a distribuição dos resíduos. Quanto ao primeiro critério, o ajuste proposto neste trabalho teve coeficiente de determinação $R^2 = 0,9894$, indicando que o modelo proposto consegue explicar 98,94% da variância da biomassa utilizando informações de *H* e DAP. Enquanto à análise da distribuição de resíduos, que pode ser vista na Figura 2, a partir de evidências visuais, é possível concluir que: (i) os erros do modelo possuem distribuição normal homocedástica com média nula; (ii) no conjunto de dados há pontos mal ajustados, os quais podem ser influentes ou de alavanca, mas que possuem baixa relevância na análise global do ajuste.

O Modelo 5, com os valores dos parâmetros ajustados, fornece informações sobre o crescimento de biomassa em relação às covariáveis DAP e *H*, indicando que a biomassa cresce exponencialmente (Figura 3) a partir de um intercepto de 0,3992 t m³, ou seja,

$$Y = 0,3992(DAP^2 H)^{0,9908} \quad (6)$$

Por fim, foi possível estimar um total de biomassa de 34,41 t m³ e um total de dióxido de carbono estocado de 17,21 t m³ na área experimental.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de regressão de Schumacher & Hall conseguiu explicar 98,94% da variabilidade da biomassa da floresta plantada em relação às variáveis H e DAP. Além disso, através da aplicação do modelo, pode-se obter informações importantes acerca da produção de biomassa, como a quantidade inicial pré-existente de carbono em cada tonelada produzida, considerando a data do Inventário Florestal, evidenciando o potencial deste trabalho para o planejamento e manejo florestais.

5 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado parcialmente com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

REFERÊNCIAS

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTA PLANTADAS. **Anuário estatístico**. Ano base 2008. Brasília: ABRAF, 2009. 120p. Disponível em: <https://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF-2009-BR.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2018.

AGRAWAL, A.; CASCHORE, B.; HARDIN, R.; SHEPHERD, G.; BENSON, C.; MILLER, D. **Economic contributions of forests**. Istanbul, Turkey: Background Paper, United Nations Forum on Forests, 2013. v. 1. 132p. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.361.8278&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 24 dez. 2018.

ANTONANGELO, A.; BACHA, C. J. C. As fases da silvicultura no Brasil. **Revista brasileira de economia**, v. 52, n. 1, p. 207-238, 1998. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbe/article/download/721/8086>. Acesso em: 3 out. 2018.

BACHA, C. J. C. Análise da evolução do reflorestamento no Brasil. **Revista de Economia Agrícola**, v. 55, n. 2, p. 5-24, 2008. Disponível em: http://ciflorestas.com.br/arquivos/doc_analise_brasil_5987.pdf. Acesso em: 9 dez. 2018.

BACHA, C. J. C.; BARROS, A. L. M. Reflorestamento no Brasil: evolução recente e perspectivas para o futuro. **Scientia Forestalis**. n. 66, p. 191-203, dez. 2004. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr66/cap19.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2018.

BAKER, J.; RICHARDS, G.; GRAINGER, A.; GONZALEZ, P.; BROWN, S.; DEFRIES, R.; HELDG, A.; KELLNDORFER, J.; NDUNDA, P.; OJIMA, D.; SKROVSETH, P. E.; SOUZA JR, C.; STOLLE, F. Achieving forest carbon information with higher certainty: A five-part

plan. **Environmental Science & Policy**, v. 13, n. 3, p. 249-260, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901110000225> Acesso em: 14 maio 2018. Doi: <http://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.03.004>.

BUSCHA, M.; NOTTE, A.; LAPORTE, V.; ERHARD, M. Potentials of quantitative and qualitative approaches to assessing ecosystem services. **Ecological indicators**, v. 21, p. 89-103, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X1100375X>. Acesso em: 14 nov. 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.11.010>.

CARMO, C. A. F. S.; ENEGUELLI, N. A.; LIMA, J. A. S.; MOTTA, P. E. F.; ALVARENGA, A. P. **Estimativa do estoque de carbono na biomassa do clone de seringueira RRIM 600 em solos da Zona da Mata - Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. No prelo. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/338522/estimativa-do-estoque-de-carbono-na-biomassa-do-clone-de-seringueira-rrim-600-em-solos-da-zona-da-mata--minas-gerais>. Acesso em: 9 mar. 2019.

DINIZ, A. R.; MACHADO, D.; PEREIRA, M.; BALIEIRO, F.; MENEZES, C. (2015) Biomassa, estoques de carbono e de nutrientes em estádios sucessionais da Floresta Atlântica, RJ. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences**. v. 10, n. 3, p. 443-451 (2015). DOI: 10.5039/agraria.v10i3a4264.

FAO, JRC. **Global Forest Land-Use Change 1990-2010**. An update to FAO Forestry Paper, n. 169, 2014.

FAO. 2016. **El Estado de los bosques del mundo 2016**. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. Roma. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i5588s.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2018.

GIZACHEW, B.; SOLBERG, S.; NÆSSET, E. *et al.* Mapping and estimating the total living biomass and carbon in low-biomass woodlands using Landsat 8 CDR data. **Carbon Balance Manage**, v. 11, n. 13, 2016. <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0055-8>.

HUANG, H.; LIU, C.; WANG, X.; ZHOU, X.; GONG, P. Integration of multi-resource remote lysensed data and allometric models for forest above ground biomass estimation in China. **Remote sensing of environment**, v. 221, p. 225-234, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425718305261>. Acesso em: 09 mar. 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.017>.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ARVORES - IBÁ. **Dados Estatísticos**. Relatório 2017. São Paulo. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2017.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2018.

LIMA, R. B. de; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A. da; ALVES JUNIOR, F. T.; OLIVEIRA, C. P. de. Estimating Tree Volume of Dry Tropical Forest in the Brazilian Semi-Arid Region: A Comparison Between Regression and Artificial Neural Networks. **Journal of Sustainable Forestry**, DOI: <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1754241>.

LUCKERT, M. K.; CAMPBELL, B. M. (ed.). **Uncovering the hidden harvest**: valuation methods for woodland and forest resources. Routledge, 2012.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; SIMIONI, F. J.; OLIVEIRA, E. B. Importância e desempenho das florestas plantadas no contexto do agronegócio brasileiro. **FLORESTA**, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 85-94, jan./mar. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/download/47687/31915>. Acesso em: 12 dez. 2018. DOI: 10.5380/ufpr.v47i1.47687.

RUIZ-VILLANUEVA, V.; PIÉGAY, H.; GURNELL, A. M.; MARSTON, R. A.; STOFFEL, M. Recent advances quantifying the large wood dynamics in riverbasins: New methods and remaining challenges. **Reviews of Geophysics**, v. 54, n. 3, p. 611-652, 2016. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2015RG000514>. Acesso em: 17 nov. 2018. DOI: doi.org/10.1002/2015RG000514.

SANQUETTA, C. R. **Metodologia básica de determinação de carbono pela biomassa: atividades e ferramentas**. Sistema Integrado de Gestão Ambiental do Estado de São Paulo, SP: UFPR, 2004. Disponível em: http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Repositorio/222/Documentos/2004_Florestas%20Nativas%20e%20Fixacao%20de%20Carbono/2004_4_SeqCarbono_Sanquetta.pdf. Acesso em: 12 mar. 2017.

SCHROEDER, P. Carbon storage potential of short rotation tropical tree plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 50, n. 3, 1-41, 1992. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037811279290312W>. Acesso em: 15 mar. 2017. DOI: [http://doi.org/10.1016/0378-1127\(92\)90312-W](http://doi.org/10.1016/0378-1127(92)90312-W).

SFB - SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Boletim SNIF 2017**. Recursos Florestais no Brasil. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/3230-boletim-snif-2017-ed1-final/file>. Acesso em: 2 jan. 2019.

SILVEIRA, P. Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em fragmento de floresta ombrófila densa utilizando o método de derivação do volume comercial. **FLORESTA**, Curitiba, v. 40, p. 789-800, out./dez. 2010. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/20330>. Acesso em: 16 fev. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v40i4.20330>.

TIAGO, H. N. V. Contributo para a gestão dos serviços do ecossistema florestal no sector do Ngove. 2014. Tese (Doutorado) - Universidade José Eduardo dos Santos, ISA - Instituto Superior de Agronomia BISA, 2014. Disponível em: <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/13102>. Acesso em: 12 set. 2018.

WU, M. *et al.* Using matrix models to estimate aboveground forest biomass dynamics in the eastern USA through various combinations of LiDAR, Landsat, and forest inventory data. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 12, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/a9aa3>.

ZENG, W. S.; CHEN, X.; PU, Y.; YANG, X. Y. Comparison of different methods for estimating forest biomass and carbon storage based on national forest inventory data. **Forest Research**, v. 31, n. 1, p. 66-71, 2018. doi:10.13275/cnki.lykxyj.2017.