

Métodos de quantificação do estoque de carbono na biomassa de *Nectandra grandiflora* Nees em remanescente de Floresta Ombrófila Mista

Carlos Roberto Sanquetta¹, Mateus Niroh Inoue Sanquetta², Greyce Charlyne Benedit Maas³, Allan Libanio Pelissari¹, Ana Paula Dalla Corte¹, Luani Rosa de Oliveira Piva⁴

¹Professores, Doutores, Departamento de Ciências Florestais (DECIF), Universidade Federal do Paraná (UFPR).

²Acadêmico do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná (UFPR).

³Pesquisadora, Doutora, Centro BIOFIX de Pesquisas, Bolsista do CNPq.

⁴Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná (UFPR).

E-mail do autor correspondente: luanipiva@yahoo.com.br

Artigo enviado em 07/05/2018, aceito em 19/02/2019.

Resumo: Atualmente, observa-se que a capacidade de sobrevivência das florestas naturais é fortemente afetada pelas mudanças climáticas, em que a quantificação do carbono é um quesito fundamental para a seleção de espécies adequadas para climas futuros. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo aplicar e avaliar métodos de quantificação do estoque de carbono na biomassa para a espécie arbórea *Nectandra grandiflora* em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana no estado do Paraná, Brasil. As biomassas úmidas do fuste, galhos, folhas e raízes foram obtidas de 30 árvores e, posteriormente, convertidas em secas para a determinação dos teores e dos estoques de carbono. Ademais, fatores de expansão de biomassa e razões de raízes foram calculados, bem como equações alométricas de simples e dupla entradas, em função do diâmetro e da altura, foram ajustadas visando fundamentar os seis métodos de quantificação de carbono aplicados, os quais foram avaliados pelo índice de concordância de Willmott, critério de informação de Akaike e erro quadrático médio. Houve maior acurácia em efetuar a quantificação do carbono com equações alométricas de simples entrada combinadas com teores médios ou ponderados de carbono. Ao passo que o uso da biomassa do fuste associada aos fatores de expansão, razão de raízes e teores médio de carbono foram os menos indicados para a quantificação do elemento. A divulgação dos indicadores de biomassa e de teor de carbono torna a *Nectandra grandiflora* uma espécie potencial para programas de reflorestamentos e de restauração de ecossistemas.

Palavras-chave: Alometria, Fator de expansão de biomassa, Razão de raízes, Mudanças climáticas.

Methods for quantification of carbon stock in the biomass of *Nectandra grandiflora* Nees in a Mixed Ombrophylous Forest Remnant

Abstract: Currently, it is observed that the survival capacity of natural forests is strongly affected by climate change, wherein the quantification of carbon is a fundamental question for the selection of suitable species for future climates. The aim of this work was to apply and evaluate methods of quantification of carbon stock in the biomass of *Nectandra grandiflora* tree species in a Montane Mixed Ombrophylous Forest

fragment in Paraná state, Brazil. The wet biomass of the stem, branches, leaves and roots were obtained from 30 trees and then converted into dry biomass for determining the carbon contents and carbon stocks. Furthermore, biomass expansion factors and root-to-shoot were calculated, as well as allometric equation of single and double entries, as a function of diameter and height, were adjusted to support the six carbon quantification methods applied and evaluated by the Willmott agreement index, Akaike information criterion and mean squared error. A greater accuracy was found in carbon quantification when allometric equation of simple entry were combined with the average or weighted carbon contents. In addition, the biomass of the stem associated to the biomass expansion factors, root-to-shoot ratio and average carbon contents were the least indicated to quantify this chemical element. The diffusion of biomass and carbon content indicators makes *Nectandra grandiflora* a potential species for reforestation and ecosystem restoration programs.

Keywords: Allometry, Biomass expansion factor, Root-to-shoot ratio, Climate Change.

Introdução

Atualmente, observa-se que a capacidade de sobrevivência das florestas naturais é fortemente afetada pelas mudanças climáticas, em que, de acordo com IPCC (2015), a agricultura, as florestas e o uso da terra representam aproximadamente 24% das emissões mundiais de gases de efeito estufa. Contudo, significativa porção dessas emissões decorrem da conversão das florestas, onde a biomassa é oxidada pela queima e decomposição. Assim, ações que incrementem os estoques de carbono devem contemplar o maior acúmulo na biomassa florestal, bem como a redução das perdas por desflorestamentos e queimadas.

Na quantificação do estoque de carbono das florestas, é crucial a mensuração da biomassa das espécies lenhosas, uma vez que 70% do carbono existente na biota está estocada nesse reservatório biológico (CAIRNS et al., 1997; SANQUETTA et al., 2015a). Por outro lado, o conhecimento sobre a distribuição da biomassa é escasso e com alto grau de incerteza, uma vez que as quantificações de campo, frequentemente, baseadas em áreas pequenas e em amostras enviesadas,

aliados com a ausência de inventários (HOUGHTON et al., 2009).

Os métodos para a quantificação da biomassa florestal são classificados em diretos e indiretos (SANQUETTA, 2002). Os diretos consistem na mensuração de toda a biomassa, sendo, normalmente, processos morosos e onerosos. Ao passo que os métodos indiretos são amplamente utilizados, devido a facilidade de aplicação com fatores de expansão para a biomassa de copa e raízes e equações alométricas. Além disso, o teor de carbono na biomassa é outra variável fundamental nesse contexto, influenciando diretamente na acurácia das estimativas do estoque de carbono, em que são incipientes os estudos sobre suas variações entre espécies e métodos de determinação (MARTIN e THOMAS, 2011; THOMAS e MARTIN, 2012).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas tem se dedicado a compor um banco de fatores de emissão, que contemple os fatores de expansão e os teores de carbono para uso em todo o mundo (IPCC, 2016). Adicionalmente, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura desenvolve o projeto GlobalAlomTree,

consistindo em um banco de dados interativo de equações alométricas para aplicação em nível mundial (FAO, 2016). No entanto, os dados advindos do Brasil são escassos, apesar de o país possuir, aproximadamente, 12% da área florestal do mundo (FAO, 2015).

Para os ecossistemas e espécies arbóreas nativas do Brasil, os trabalhos que abordam os fatores de expansão são insuficientes (DALLA CORTE et al., 2012; SANQUETTA et al., 2015b). Ainda que algumas equações alométricas para florestas brasileiras e espécies autóctones sejam reportadas na literatura, o arcabouço de conhecimento científico carece de uma base confiável da distribuição da biomassa e do carbono nos diferentes biomas.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo aplicar e avaliar seis métodos de quantificação do carbono na biomassa para a espécie arbórea *Nectandra grandiflora* Nees em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana no estado do Paraná, Brasil, considerando o emprego de fatores de expansão, equações alométricas e variações no cômputo dos teores de carbono. O propósito foi demonstrar, para essa espécie nativa da Mata Atlântica, quais propostas metodológicas possibilitam estimativas de estoque de carbono mais próximos aos valores paramétricos determinados pelo método destrutivo e pelas análises laboratoriais.

Material e Métodos

Área de estudo e coleta de dados

A área de estudo correspondeu a um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana, em estágio avançado de regeneração, presente na Estação Experimental Professor Doutor Rudi Arno Seitz da Universidade Federal do

Paraná, localizada em São João do Triunfo, estado do Paraná. A região possui clima do tipo Cfb (Köppen), sem estação seca definida e com temperaturas médias inferiores a 18°C no mês mais frio e a 22°C no mês mais quente. O solo local foi classificado como Podzólico Vermelho-amarelo distrófico, com algumas manchas de Cambissolo Distrófico álico, caracterizados com baixa saturação de bases e alta concentração de alumínio (CASSOL, 2013).

Um total de 30 indivíduos da espécie arbórea *Nectandra grandiflora* (Lauraceae), conhecida popularmente como canela-amarela, foram selecionados com base na distribuição diamétrica da população. As árvores foram compartimentadas em fuste, galhos e folhagens, em que as raízes foram escavadas até 1 m de profundidade. As biomassas úmidas dos compartimentos foram determinadas via método direto em campo, e as variáveis dendrométricas diâmetro a 1,3 m de altura do solo (d) e altura total (h) também foram mensuradas, conforme metodologia aplicada por Barbeiro et al. (2009). Adicionalmente, amostras de 200 g foram retiradas da biomassa dos compartimentos e posteriormente secas em estufa a 70 °C até massa constante. As relações entre as biomassas secas e úmidas das amostras foram utilizadas para determinar a biomassa aérea total de cada árvore. Ademais, as amostras foram moídas e os teores de carbono foram analisados no equipamento LECO C-144.

Metodologia de quantificação do carbono

Preliminarmente à quantificação do estoque de carbono, o fator de expansão de biomassa (FEB) e a razão de raízes (R) foram calculados por meio das expressões (1) e (2), conforme apresentadas por Sanquetta et al. (2011) e Schikowski et al. (2015). Ademais,

equações alométricas, comumente empregadas em trabalhos correlatos, foram ajustadas para um modelo de simples entrada (3) e um de dupla entrada (4), as quais foram avaliadas por meio da significância dos

coeficientes de regressão ao nível de 5% de probabilidade pelo teste *t*, pelo coeficiente de determinação ajustado e pelo erro padrão da estimativa em porcentagem, transformados para a escala original da variável de interesse.

$$FEB = \frac{w_a}{w_f} \quad (1)$$

$$R = \frac{w_r}{w_a} \quad (2)$$

$$\log(w_t) = \beta_0 + \beta_1 \log(d) \quad (3)$$

$$\log(w_t) = \beta_0 + \beta_1 \log(d) + \beta_2 \log(h) \quad (4)$$

Em que: *FEB* = fator de expansão de biomassa; *R* = razão de raízes; w_a = biomassa seca aérea = $w_f + w_g + w_l$ (kg); w_f = biomassa seca do fuste (kg); w_g = biomassa seca dos galhos (kg); w_l = biomassa seca das folhas (kg); w_r = biomassa seca das raízes (kg); w_t = biomassa seca total = $w_f + w_g + w_l + w_r$ (kg); *d* = diâmetro a 1,3 m de altura do solo (cm); *h* = altura total (m); e β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes de regressão.

Posteriormente, duas alternativas para a obtenção dos teores de carbono foram calculadas, sendo: 1) média aritmética dos 120 valores de teor de carbono (*TCm*), considerando 4 compartimentos em 30 árvores; e 2) média ponderada dos valores individuais de teor de carbono (*TCp*), considerando o estoque de biomassa de cada compartimento. Dessa forma, seis métodos de quantificação do estoque de carbono foram empregados neste estudo:

1. Biomassa do fuste combinada com fator de expansão de biomassa, razão de raízes e teor médio de carbono;
2. Biomassa do fuste combinada com fator de expansão de biomassa, razão de raízes e teor ponderado de carbono;

3. Equação alométrica de simples entrada combinada com teor médio de carbono;
4. Equação alométrica de simples entrada combinada com teor ponderado de carbono;
5. Equação alométrica de dupla entrada combinada com teor médio de carbono; e
6. Equação alométrica de dupla entrada combinada com teor ponderado de carbono.

As estimativas do estoque de carbono para os indivíduos de *Nectandra grandiflora* foram avaliadas por meio do índice de concordância de Willmott (5), pelo critério de informação de Akaike (6), pelo erro quadrático médio (7) e pela análise gráfica de resíduos, conforme as formulações apresentadas a seguir:

$$ICW = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (w_{t_i} - \hat{w}_{t_i})^2}{\sum_{i=1}^n (|\hat{w}_{t_i} - \bar{w}_t| + |w_{t_i} - \bar{w}_t|)^2} \quad (5)$$

$$AIC = -2 \left\{ \frac{-n}{2} \ln \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (w_t - \hat{w}_{t_i})^2 \right] \right\} + 2n \quad (6)$$

$$EQM = \frac{\sum_{i=1}^n (w_t - \hat{w}_{t_i})^2}{n} \quad (7)$$

Em que: *ICW* = índice de concordância de Willmott; *AIC* = critério de informação de Akaike; *EQM* = erro médio quadrático; *n* = número de observações; w_{t_i} = biomassa seca total observada (kg); \hat{w}_{t_i} = biomassa seca total estimada (kg); e \bar{w}_t = média aritmética da biomassa seca total observada (kg).

Resultados e Discussão

Os valores de fator de expansão de biomassa (*FEB*) e de razão de raízes (*R*) foram iguais a 1,372 e a 0,159, respectivamente. O *FEB* foi inferior aos reportados na literatura para os gêneros *Populus*, igual a 1,51 (SCHIKOWSKI et al., 2015); e para *Pinus*, de 1,47 (SANQUETTA et al., 2011); porém, foi superior ao encontrado para *Eucalyptus*, de 1,08 (DALLA CORTE et al., 2015). Com isso, o *FEB* observado para *Nectandra grandiflora* foi indicativo de que a alocação de biomassa nessa espécie é maior nos galhos e nas folhas, em relação ao seu fuste.

O valor de razão de raízes (*R*) foi inferior aos observados para os gêneros *Populus*, de 0,28 (SCHIKOWSKI et al., 2015); e próximo ao divulgado para *Pinus*, igual a 0,17 (SANQUETTA et al., 2011); no entanto, superior ao encontrado para *Eucalyptus*, de 1,08 (DALLA CORTE et al., 2015). Esse comportamento foi resultante da maior participação da biomassa de raízes na

biomassa total da *Nectandra grandiflora*. Ademais, os teores de carbono médio e ponderado foram iguais a 42,85% e 42,34%, respectivamente, com baixa variação numérica entre ambos e sendo próximos aos encontrados na literatura para espécies lenhosas (DALLAGNOL et al., 2011; SANQUETTA et al., 2013; SILVA et al., 2014; WATZLAWICK et al., 2014).

Adicionalmente, as equações alométricas proporcionaram ajustes estatisticamente precisos da biomassa seca total (Tabela 1), tendo como variáveis independentes o diâmetro a 1,3 m de altura do solo (*d*) para o modelo de simples entrada, além da altura total (*h*) para o modelo de dupla entrada. Com isso, foram observados coeficientes de regressão significativos, com valores de coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) superiores a 0,96 e de erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$) em torno de 20%, com preferência para modelo de simples entrada.

Tabela 1. Coeficientes e estatísticas de ajuste dos modelos ajustados para a biomassa total de *Nectandra grandiflora* em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista.

Modelo	β_0	β_1	β_2	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}\%$
Simple entrada	-0,9798*	2,3787*		0,968	19,3
Dupla entrada	-1,3401*	2,0787*	0,6556*	0,964	21,5

Em que: β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes de regressão; $R^2_{aj.}$ = coeficiente de determinação ajustado; $S_{yx}\%$ = erro padrão da estimativa em porcentagem; e * = coeficiente significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste *t*.

Na Tabela 2 estão apresentados os indicadores de qualidade das estimativas do estoque de carbono, por meio dos métodos de quantificação empregados para *Nectandra grandiflora*. Com isso, os maiores índices de concordância de Willmott

(*ICW*) indicaram que as estimativas do estoque de carbono foram estatisticamente mais semelhantes aos seus valores paramétricos para os métodos 3, 4, 5 e 6, os quais envolveram equações alométricas associadas aos teores de carbono.

Tabela 2. Indicadores de qualidade das estimativas para os métodos de quantificação de estoque de carbono de *Nectandra grandiflora* em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista.

Método	<i>ICW</i>	<i>AIC</i>	<i>EQM</i>
1	0,9750	148,00	129,87
2	0,9669	149,50	136,55
3	0,9893	119,66	50,51
4	0,9904	120,73	52,33
5	0,9884	125,56	61,48
6	0,9874	126,92	64,33

Em que: *ICW* = índice de concordância de Willmott; *AIC* = critério de informação de Akaike; e *EQM* = erro médio quadrático.

Esse resultado foi semelhante ao observado por meio do critério de informação de Akaike (*AIC*) e pelo erro médio quadrático (*EQM*), em que, quanto menor os seus valores, menores são as diferenças entre as estimativas e os parâmetros. Contudo, as predições do estoque de carbono mostraram-se estatisticamente inferiores para os métodos 1 e 2, os quais combinaram a biomassa do fuste com fator de expansão de biomassa, razão de raízes e teores de carbono.

As opções com uso de equações alométricas mostraram resultados mais acurados, particularmente com o emprego de equações de simples entrada. A sua simplicidade também é uma vantagem importante, visto que se

evita a introdução da altura das árvores na quantificação. No presente caso, não houve diferença expressiva entre os métodos 3 e 4, uma vez que as disparidades entre os teores de carbono médio e ponderado foram de apenas 1,2%.

O emprego de equações alométricas é uma opção robusta, segura e simples para a maioria dos casos. As equações de dupla entrada requerem a medição da altura e sua entrada como variável independente no modelo. Enquanto as equações de simples entrada possuem maior simplicidade, podendo apresentar desempenho similar superior aos de dupla entrada (BARBEIRO et al., 2009; MELO et al., 2014, SANQUETTA et al.,

2015b), particularmente para espécies nativas com arquitetura simpodial.

Por meio da análise gráfica dos resíduos (Figura 1), foram confirmados os resultados previamente observados, demonstrando que as opções 3, 4, 5 e 6

acarretaram em um balanceamento regular dos resíduos ao longo dos valores de estoque de carbono. Além disso, viés maior foi constatado pelos métodos 1 e 2 para as estimativas dos maiores valores de estoque de carbono.

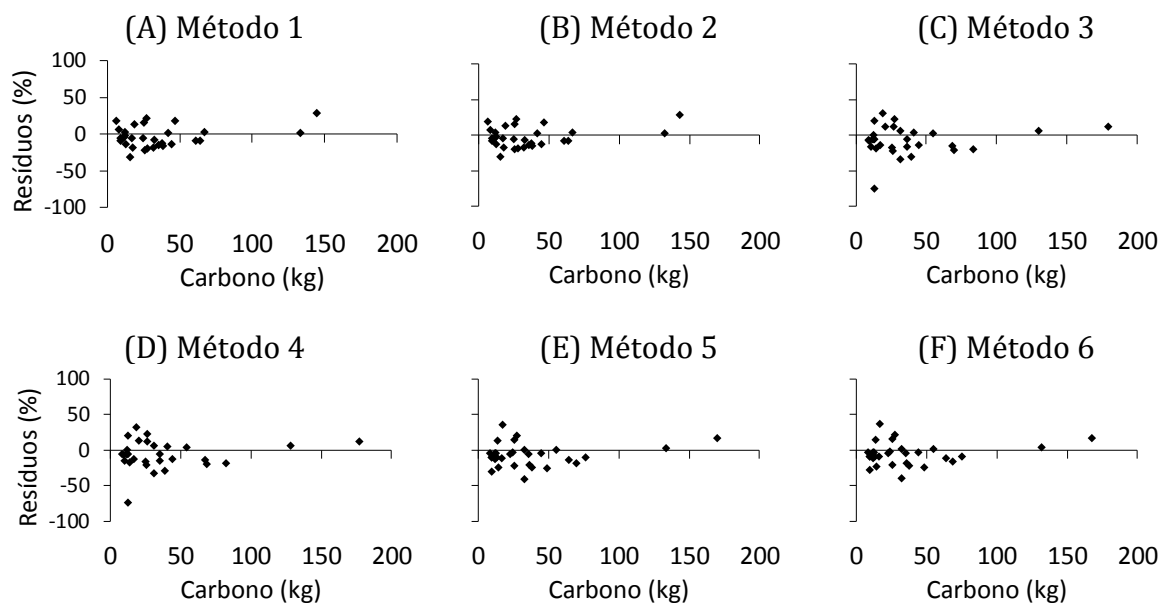


Figura 1. Análise gráfica dos resíduos para os métodos de quantificação de estoque carbono de *Nectandra grandiflora* em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista.

Em um estudo comparativo sobre métodos de estimação de carbono para *Araucaria angustifolia*, Sanquetta et al. (2014) avaliaram dois procedimentos, empregando *FEB* e *R* e equações alométricas. Os autores concluíram que não houve diferença entre os dois procedimentos testados, sendo ambos acurados para estimar o estoque de carbono individual. Contudo, segundo Soares e Tomé (2004), as equações alométricas são preferíveis para estimativa do carbono florestal, no entanto, quando não disponíveis, fatores de expansão específicos podem ser aplicados para diferentes faixas etárias dos povoamentos florestais.

Ademais, Sanquetta et al. (2011) demonstraram a dependência de *FEB* e *R* em função da idade de indivíduos de *Pinus*, enquanto, em outros casos, como para *Populus* (SCHIKOWSKI et al.,

2015) e *Eucalyptus* (DALLA CORTE et al., 2015), essa relação não foi evidente. Portanto, podem existir fatores endógenos ou exógenos, como a genética, a competição e o sítio, exercendo influências importantes. Em geral, esses estudos têm revelado grande variação de *FEB* e *R* e indicam que a utilização de um valor médio pode ser problemática para a quantificação de carbono. Em princípio, sugere-se não haver perda expressiva de acurácia, mas sim de precisão, devido a maior variabilidade e dispersão das grandezas associadas à biomassa da copa e das raízes.

Conclusões

Há maior acurácia em efetuar a quantificação do carbono com equações alométricas de simples entrada combinadas com teores médios ou ponderados de carbono. Ao passo que o

uso da biomassa do fuste associada aos fatores de expansão, razão de raízes e teores médio de carbono são os métodos menos indicados para a quantificação do elemento em indivíduos de *Nectandra grandiflora*.

Ao observar a influência das mudanças climáticas na capacidade de sobrevivência das florestas naturais e dos povoamentos florestais, a quantificação do carbono e a divulgação de seus indicadores de biomassa e de teor de carbono torna a *Nectandra grandiflora* uma espécie potencial para programas de reflorestamentos e de restauração de ecossistemas.

Referências

- BARBEIRO, L. D. S. S.; VIEIRA, G.; SANQUETTA, C. R. Equações para estimativa da biomassa individual de *Nectandra grandiflora* Ness (canela-amarela). **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 833-843, 2009.
- CAIRNS, M. A.; BROWN, S.; HELMER, E. H.; BAUMGARDNER, G. A. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, v. 111, n. 1, p. 1-11, 1997.
- CASSOL, H. L. G. **Estimativa de biomassa e estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila mista com uso de dados ópticos de sensores remotos**. 143p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- DALLA CORTE, A. P.; DA SILVA, F.; SANQUETTA, C. R. Fator de expansão de biomassa e razão de raízes-parte aérea para *Pinus* spp. plantadas no sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 4, p. 755-768, 2012.
- DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R.; DA SILVA, F.; SCHIKOWSKI, A. B., RUZA, M. S. Fator de expansão de biomassa, razão de raízes-parte aérea e modelos para carbono para *Eucalyptus grandis* plantados no sul do Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 1078-1091, 2015.
- DALLAGNOL, F. S.; MOGNON, F.; SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P. Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 410-416, 2011.
- FAO - Food and Agriculture Organization. **Global Forest Resources Assessment**. 2015, 47p.
- FAO - Food and Agriculture Organization. **Globalmetre**. 2016. Disponível em: <<http://www.globalmetre.org>>. Acessado em: 06 de fevereiro de 2018.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. 2015, 51p.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Emission Factor Database**. 2016. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB>>. Acessado em: 06 de fevereiro de 2018.
- MELO, L. C.; SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; HENTZ, A. M. K. Estimativa de biomassa e carbono total para árvores de caixeta no Paraná. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 77, p. 21-30, 2014.
- WATZLAWICK, L.; MARTINS, J. P.; 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**, v. 20, n. 4, p. 613-620, 2014.

- HOUGHTON, R.; HALL, F.; GOETZ, S. J. Importance of biomass in the global carbon cycle. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 114, n. G2, p. 1-13, 2009.
- MARTIN, A. R.; THOMAS, S. C. A reassessment of carbon content in tropical trees. **PloS one**, v. 6, n. 8, p. e23533, 2011.
- SANQUETTA C. R. **Métodos de determinação de biomassa florestal**. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R. M.; ZILLOTTO M. A. B.; GOMES F. S. (Ed.). As florestas e o carbono. Curitiba: UFPR, 2002. p. 119-140.
- SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P.; DA SILVA, F. Biomass expansion factor and root-to-shoot ratio for Pinus in Brazil. **Carbon balance and management**, v. 6, n. 1, p. 6, 2011.
- SANQUETTA, M. N. I.; SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; MOGNON, F.; MENDONÇA, V. C. Teores de carbono e densidade básica da madeira de *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. F.) D. Don em povoamentos no município de Rio Negro – PR. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 2450-2458, 2013.
- SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; MOGNON, F.; MAAS, G. C. B.; RODRIGUES, A. L. Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 1-8, 2014.
- SANQUETTA, C. R.; SANQUETTA, M. N. I.; MOGNON, F.; DALLA CORTE, A. P.; RODRIGUES, A. L. *Cryptomeria japonica* D. Don trees shoot biomass partitioning in a stand located in southeastern Paraná. **Científica**, v. 43, n. 3, p. 254-260, 2015.
- SANQUETTA, C. R.; WOJCIECHOWSKI, J.; DALLA CORTE, A. P.; BEHLING, A.; PÉLLICO NETO, S.; RODRIGUES, A. L.; SANQUETTA, M. N. I. Comparison of data mining and allometric model in estimation of tree biomass. **BMC bioinformatics**, v. 16, n. 1, p. 247, 2015.
- SCHIKOWSKI, A. B., DALLA CORTE, A. P., SANQUETTA, C. R.; RODRIGUES, A. L.; VASCONCELLOS, B. N. Análise e ajuste do fator de expansão de biomassa e razão raízes - parte aérea para *Populus* sp. Enciclopédia Biosfera, v. 11, p. 107-119, 2015.
- SILVA, A. S., DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R., RODRIGUES, A. L., BARRETO, T. G. Teores de carbono médios para compartimentos e espécies florestais. Enciclopédia Biosfera, v. 10, p. 2990-3007, 2014.
- SOARES, P.; TOMÉ, M. Analysis of the effectiveness of biomass expansion factors to estimate stand biomass. **Modeling Forest Production**, p. 368-374, 2004.
- THOMAS, S. C.; MARTIN, A. R. Carbon content of tree tissues: a synthesis. **Forests**, v. 3, n. 2, p. 332-352, 2012.