

Estimativa do estoque de carbono em um povoamento de *Eucalyptus* sp. de 25 anos estabelecido no Sul do Brasil

Carbon storage estimation in a 25-year-old forest of Eucalyptus sp. established in Southern Brazil

Mateus Alves **SALDANHA**^{1, 3}; Aleksandra Cezimbra **QUEVEDO**¹; Lucas José **MENDES**¹; Roberta Rodrigues **ROUBUSTE**¹; Sally Déborah Pereira da **SILVA**¹ & Mauro Valdir **SCHUMACHER**²

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar os estoques de carbono arbóreo de um povoamento de *Eucalyptus* sp. com aproximadamente 25 anos, em Santa Maria, região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Para isso, foram coletados dados de um povoamento de *Eucalyptus* sp., de 25 anos de idade, com espaçamento inicial de 4 m x 4 m, e estabeleceram-se aleatoriamente quatro parcelas de 30 m x 20 m para mensuração das variáveis diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total (H) de todas as árvores de cada parcela, utilizando-se fita diamétrica e hipsômetro Vertex IV, para posterior realização dos cálculos de área basal (g), volume (v) de cada árvore, quantificação da massa seca das árvores pelo método não destrutivo e estoque de carbono. Os valores médios encontrados para DAP e H foram 40,81 cm e 39,04 m, respectivamente, e a biomassa média total nas árvores de eucalipto foi 515,06 Mg.ha⁻¹, com estoque médio total de carbono nas árvores de eucalipto de 242,08 Mg.ha⁻¹. Dessa maneira, observa-se que o eucalipto apresenta grande potencial para alocação de biomassa e carbono orgânico por possuir rápido crescimento e elevada produtividade.

Palavras-chave: inventário florestal; plantações florestais; variáveis dendrométricas.

ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate the tree carbon stocks of a population of *Eucalyptus* sp., aged approximately 25 years, in Santa Maria, central region of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. For this, data were collected from a stand of *Eucalyptus* sp., aged 25-year-old, with initial spacing of 4 m x 4 m, and four plots of 30 m x 20 m were randomly established to measure the variables diameter at breast height (DBH) and total height (H) of all trees of each plot, using a diametric tape and a Vertex IV hypsometer, for subsequent calculation of the basal area (g), volume (v) of each tree, quantification of the dry mass of the trees by the non-destructive method and carbon stock. The average values found for DBH and H were 40.81 cm and 39.04 m, respectively, and the average total biomass in eucalyptus trees was 515.06 Mg.ha⁻¹ and the average total stock of carbon in eucalyptus trees was 242.08 Mg.ha⁻¹. Thus, it can be seen that eucalyptus has great potential for biomass and organic carbon allocation due to its rapid growth and high productivity.

Keywords: dendrometric variables; forest inventory; forest plantations.

Recebido em: 10 out. 2022

Aceito em: 27 fev. 2023

¹ Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, n.º 1.000, Cidade Universitária, Bairro Camobi – CEP 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil.

² Departamento de Ciências Florestais, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

³ Autor para correspondência: mtsmateusalves@gmail.com.

INTRODUÇÃO

Em virtude da importância das florestas no ciclo do carbono global, tem sido crescente o interesse de muitos pesquisadores sobre a quantificação da biomassa florestal, principalmente pelo potencial de armazenamento do carbono atmosférico nas florestas (SANQUETTA *et al.*, 2018). Esse interesse pode ser atribuído ao crescimento das emissões de gases do efeito estufa em todo mundo, porém a quantificação é bastante trabalhosa e onerosa (DOLÁCIO *et al.*, 2019), o que dificulta a realização de pesquisas.

Segundo Wu *et al.* (2018), os ecossistemas florestais são responsáveis pela produção de mais de 80% de todo carbono acima do solo, contribuindo com o maior estoque de carbono terrestre, razão pela qual é fundamental conhecer a quantidade e a qualidade dessa biomassa consumidora de carbono. As estimativas do estoque de carbono podem ser baseadas pela mensuração do diâmetro à altura do peito (DAP), altura (H) e volume dos indivíduos, por técnicas de amostragem específicas, de acordo com as características genotípicas e fenotípicas, tais como material genético, espécie, clima, entre outras (HUANG *et al.*, 2019).

Espécies do gênero *Eucalyptus* L'Hér destacam-se na fixação do carbono atmosférico em função de seu rápido crescimento e elevada produtividade (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Conforme Caldeira *et al.* (2015), tal fato justifica o crescente interesse por estudos sobre a capacidade das florestas plantadas em remover o gás carbônico da atmosfera e em armazenar o carbono em sua biomassa.

Plantações do gênero *Eucalyptus* têm se estendido no Brasil em diferentes regiões, o que aumenta a necessidade de investigações para determinar ou prever o potencial produtivo nessas áreas, visando otimizar o uso de recursos da produção florestal (GARLET *et al.*, 2016). Embora haja muitos estudos avaliando métodos para quantificar biomassa e carbono em espécies do gênero *Eucalyptus* nas diferentes regiões do Brasil, o conhecimento sobre o tema na região central do estado do Rio Grande do Sul é incipiente (WINK *et al.*, 2013; WINK *et al.*, 2015; DOLÁCIO *et al.*, 2019).

A compreensão da estimativa do estoque de carbono armazenado em povoamentos florestais é de suma importância, visto que as informações obtidas fazem inferência às mudanças climáticas e à conservação ambiental (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Dessa maneira, o objetivo do presente estudo foi avaliar os estoques de carbono arbóreo de um povoamento de *Eucalyptus* sp. com aproximadamente 25 anos estabelecido no município de Santa Maria, região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no *campus* sede da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), presente na região central do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 29°43'11,3" de latitude Sul e 53°44'40,5" de longitude Oeste (figura 1).

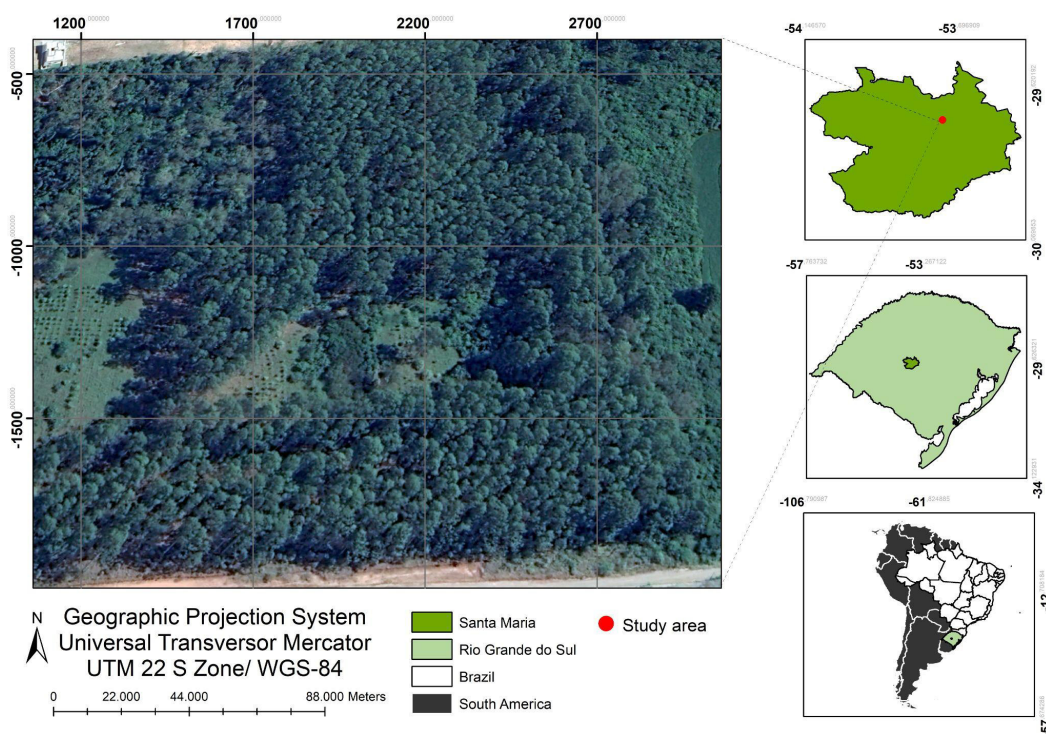


Figura 1 – Localização da área de estudo no município de Santa Maria, RS, Brasil. Fonte: primária.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo subtropical úmido – Cfa, em que os meses mais quentes ocorrem de dezembro a fevereiro, com temperatura média de 22°C, enquanto os meses junho, julho e agosto são os mais frios, com temperatura média de -3°C a 18°C. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.722 mm (ALVARES *et al.*, 2013). A vegetação pertence ao tipo fitogeográfico floresta estacional decidual, inerente ao bioma mata atlântica (FARIAS *et al.*, 1994).

O solo da região é classificado como argissolo vermelho distrófico úmbrico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). O relevo é considerado predominantemente suave ondulado, com elevações alongadas, podendo ocorrer declives acentuados, originando as áreas planas ou baixas, onde predominam os cursos de água (ABRÃO *et al.*, 1988).

COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram obtidos em um povoamento de *Eucalyptus* sp. de 25 anos de idade, implantado com espaçamento inicial de 4 m x 4 m em uma área de aproximadamente 2 hectares. Estabeleceram-se aleatoriamente quatro parcelas de 30 m x 20 m (600 m²) para mensuração das variáveis diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total (H), de todas as árvores de cada parcela. Para a medição do DAP utilizou-se uma fita diamétrica; para a H recorreu-se a um hipsômetro Vertex IV. Os cálculos de área basal (g) e de volume (v) de cada árvore foram realizados pelas fórmulas:

$$g = 0,25 \pi \text{ DAP}^2 \quad (1)$$

$$v = g \text{ H } f \quad (2)$$

Em que f é o fator de forma artificial para *Eucalyptus* sp., igual a 0,51 (HASELEIN *et al.*, 2004).

Para a quantificação da massa seca das árvores, empregou-se o método não destrutivo, por meio dos resultados encontrados para o volume de cada árvore (2) e o valor médio de densidade da madeira com casca de 0,425 t/m³ (BRASIL, 2004). O estoque de carbono foi determinado considerando o valor de 47%, conforme estabelecido por Eggleston *et al.* (2006).

RESULTADOS

Os resultados foram inicialmente analisados para os valores médios das variáveis dendrométricas do povoamento, apresentados na tabela 1. Das quatro parcelas estabelecidas no levantamento, os maiores valores médios para altura, DAP, área basal e volume foram encontrados na parcela 3 (tabela 1).

Tabela 1 – Valores médios das características dendrométricas do povoamento de *Eucalyptus* sp. com 25 anos de idade em Santa Maria, RS, Brasil.

Parcela	Altura (m)	DAP (cm)	N.º de árvores por hectare	Área basal (m ²)	Volume (m ³)
1	31,66	37,57	567	0,09	1,78
2	41,80	42,02	300	0,15	3,67
3	44,31	43,12	317	0,17	3,96
4	38,37	40,51	517	0,13	2,87
Média	39,04	40,81	425	0,13	3,07
Desvio padrão	5,49	2,41	136	0,04	0,98
CV (%)	14%	6%	32%	26%	32%

Em relação à frequência, na figura 2 observa-se que, para o povoamento de *Eucalyptus* sp. com 25 anos de idade, o maior percentual de frequência é de indivíduos com 24,5 a 41,0 cm ($\pm 48\%$), em seguida vêm indivíduos de 41,0 a 57,5 cm ($\pm 32\%$) e pouca frequência ($\pm 2\%$) para indivíduos acima de 74,0 cm de diâmetro. Para indivíduos com diâmetro abaixo de 24,5 cm, constatou-se uma frequência de aproximadamente 15%.

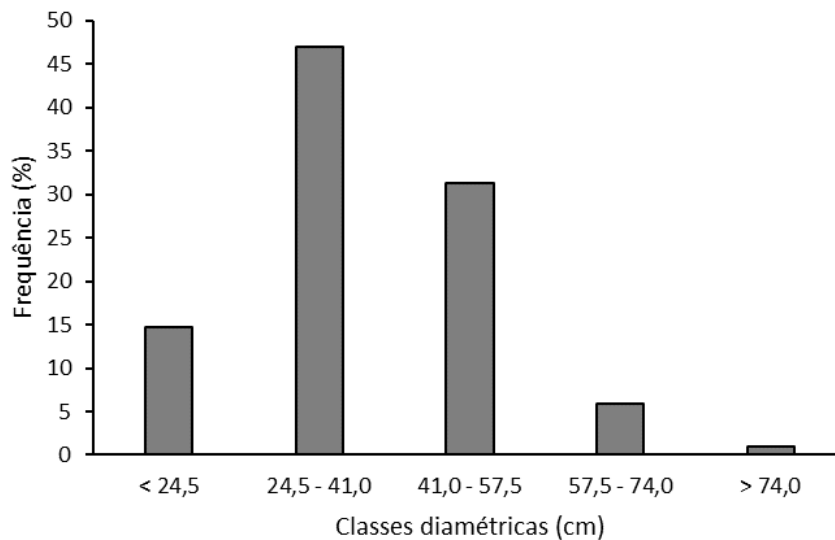


Figura 2 – Frequência de indivíduos de *Eucalyptus* sp. com base na distribuição das classes diamétricas. Fonte: primária.

Quanto à análise de biomassa, a tabela 2 traz a estatística descritiva para as estimativas de biomassa e carbono total por unidade amostral ($Mg.ua^{-1}$). Os valores de média e mediana foram próximos entre si, indicando que o ponto central dos valores analisados das variáveis se assemelha com a sua média aritmética. Entretanto os valores de desvio padrão e de coeficiente de variação (CV) mostraram-se elevados, o que sugere alta variabilidade de crescimento nos indivíduos amostrados.

Tabela 2 – Estatística descritiva para biomassa e carbono total no povoamento de 25 anos de idade de *Eucalyptus* sp. acima do solo em megagrama por unidade amostral ($Mg ua^{-1}$), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

Variável	Média	Mediana	Moda	Mín.	Máx.	Desvio padrão	Variância	Erro padrão	CV (%)
Biomassa total por ua ($Mg ua^{-1}$)	1,21	0,94	1,09	0,03	8,49	1,13	1,29	0,11	93,61
Carbono total por ua ($Mg ua^{-1}$)	0,57	0,44	0,51	0,01	3,99	0,53	0,28	0,05	93,61

A tabela 3 evidencia os valores médios de biomassa e carbono dos indivíduos presentes no povoamento nas quatro parcelas amostradas. Observa-se que as parcelas 3 e 4 tiveram médias elevadas para biomassa e carbono. Esses resultados podem estar relacionados com a presença de indivíduos com altura superior à dos demais, fato que pode ter influenciado positivamente os dados encontrados. A biomassa média total, nas árvores de eucalipto, foi $515,06 Mg.ha^{-1}$. O estoque médio total de carbono, nas árvores de eucalipto, foi $242,08 Mg.ha^{-1}$.

Tabela 3 – Valores para biomassa e carbono arbóreo no povoamento de *Eucalyptus* sp. com 25 anos em megagrama por hectare ($Mg.ha^{-1}$), Santa Maria, RS, Brasil.

Parcela	Biomassa ($Mg.ha^{-1}$)	Carbono ($Mg.ha^{-1}$)
1	429,21	201,73
2	468,41	220,15
3	532,86	250,44
4	629,77	295,99
Média	515,06	242,08
Desvio padrão	87,60	41,17
CV (%)	17%	17%

DISCUSSÃO

Conforme Ferreira *et al.* (2019), plantios florestais com maior espaçamento entre as árvores possibilitam maior crescimento em diâmetro, fornecendo madeira do fuste para fins mais nobres e com maior valor agregado. Os valores médios de DAP e altura encontrados neste estudo são semelhantes àqueles observados por Wink (2009), que avaliou o estoque de carbono em *Eucalyptus* spp. com 20 anos de idade, em que o diâmetro à altura do peito no povoamento que estudou esteve em torno de 48,2 cm, com uma altura média de aproximadamente 43,4 m.

Mesmo para plantações de eucalipto mais jovens, observou-se que, quanto maior o espaçamento entre as árvores, maior será o incremento em altura e diâmetro, em concordância com Watzlawick & Benin (2020), os quais, ao avaliarem diferentes espaçamentos de *E. benthamii* aos 6 anos de idade,

notaram que, no espaçamento 4 m x 4 m, os indivíduos alcançaram maior altura (± 24 m) e DAP (± 20 cm). Santos (2011), Benin *et al.* (2014), Schneider *et al.* (2015) também relataram maiores alturas nos espaçamentos com maior área útil entre plantas, comprovando que, em alguns casos, a altura média das árvores tende a aumentar de acordo com a amplitude do espaçamento.

Além disso, com a maior proximidade entre as árvores, mesmo em um plantio sem intervenções silviculturais, ocorre um aumento da própria desrama natural. De acordo com Lupi *et al.* (2015), para plantios homogêneos de *Populus* sp. e *Salix* sp., quanto maior o número de indivíduos por unidade de área, menor foi o acúmulo de biomassa por indivíduo. Para Ribeiro *et al.* (2017), os menores espaçamentos resultam em maior densidade populacional e, por conseguinte, maior acúmulo de biomassa total do povoamento, entretanto aumentam a competição entre os indivíduos por água, luz e nutrientes, reduzindo o seu crescimento.

A baixa estimativa de área basal média encontrada foi causada pela presença de menor número de indivíduos por unidade de área. Segundo Schneider (1993), a área basal em plantios florestais é dependente do diâmetro médio e do número de indivíduos por unidade de área; assim, por se tratar de um plantio com maior espaçamento, o valor médio de área basal foi baixo. Em plantios de *Pinus taeda* L., as maiores estimativas de área basal foram obtidas para o menor espaçamento entre plantas (LEITE *et al.*, 2006). A mesma tendência, no comportamento da área basal, foi evidenciada por Schneider *et al.* (2015), para um plantio de *Eucalyptus saligna* Sm. sob diferentes condições de espaçamento, em que os maiores valores médios de área basal foram registrados para os espaçamentos mais adensados.

Em relação ao volume médio, Berger *et al.* (2002) relatam que os maiores volumes que encontraram para *E. saligna* corresponderam aos espaçamentos mais amplos, independentemente da idade de avaliação das árvores. Nos estudos de Silva (2005) e Magalhães *et al.* (2012), nas avaliações de plantações de *Eucalyptus* spp., o incremento em volume individual foi mais expressivo com o aumento do espaço entre plantas. Tal tendência foi corroborada por Barbosa (2015), que, ao testar diferentes arranjos espaciais de eucalipto em sistemas agroflorestais com a análise do crescimento, descreveu que a maior distância entre plantas nos arranjos mais espaçados possibilitou maior volume por planta.

A produção de biomassa pode variar intensamente, conforme a disponibilidade de recursos do sítio florestal, os quais influenciam a fotossíntese, a compartimentalização do carbono, a produção de folhas, a respiração etc. (RYAN *et al.*, 2010). Além desses aspectos, por meio de análise da dinâmica dos processos da ciclagem, podem-se obter informações sobre a distribuição de nutrientes no ecossistema que permitirão inferir sobre os fluxos entre os diferentes compartimentos da floresta (SCHUMACHER & POGGIANI, 2003; VITAL *et al.*, 2004; VIEIRA & SCHUMACHER, 2010).

Schumacher *et al.* (2011) e Tolosana *et al.* (2014) indicam que a disponibilidade de biomassa e a sua distribuição percentual nos diferentes componentes das árvores dependem da espécie, idade, fertilidade do solo, densidade do plantio e sistema de manejo aplicado, e esses fatores devem ser avaliados para cada condição, a fim de que ocorra uma correta tomada de decisão. Para Schumacher *et al.* (2011), outro fator causador preponderante para essa forma de distribuição da biomassa se deve às fases nutricionais das plantas, que ocorrem ao longo do seu desenvolvimento.

Pregitzer & Euskirchen (2004) afirmam que, independentemente do ecossistema, o incremento de carbono ocorre com o aumento da biomassa, em função do aumento da idade, mas os estoques são variáveis com a idade e o tipo florestal. Estudar a produção de biomassa e o estoque de carbono para cada espécie é fundamental, pois variam conforme o tipo de solo, a nutrição e a disponibilidade de água (KÖRNER, 2003).

No estudo de Oliveira (2010) com sistemas silvipastoris utilizando *Eucalyptus grandis* W.Hill e *Pinus elliottii* Engelm., no município de Alegrete (RS), com 21 anos, o autor verificou que o estoque de carbono, para densidade inicial de 500, 1.000 e 1.111 árvores por hectare de cada espécie, foi de 134,6, 150,8 e 182,9 ton C ha⁻¹, respectivamente, resultando nos IMAc de 6,40, 7,18 e 8,70t C ha⁻¹ ano⁻¹. Tais valores são superiores aos encontrados no presente estudo, o que é justificado pela realização de desbastes (dois para *Pinus* e quatro para *Eucalipto*). Os desbastes favorecem o crescimento das árvores remanescentes no povoamento e, por conseguinte, aumentam o estoque de carbono (MONTE *et al.*, 2009).

CONCLUSÃO

A biomassa média total no povoamento de eucalipto analisado foi de 515,06 Mg.ha⁻¹, enquanto o estoque médio de carbono foi de 242,08 Mg.ha⁻¹.

Espécies do gênero *Eucalyptus* sp. apresentam grande potencial para alocação de biomassa e carbono orgânico por possuírem rápido crescimento e elevada produtividade.

Os resultados do presente estudo contribuem com informações sobre o estoque de carbono armazenado nos povoamentos de eucalipto. Esses dados podem desempenhar papel fundamental nos projetos relacionados à fixação de carbono na referida região de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Abrão, P. U. R., Gianluppi, D. & Azolin, M. A. D. Levantamento semidetalhado dos solos da Estação Experimental de Silvicultura de Santa Maria. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas de Recursos Naturais Renováveis "Ataliba Paz"; 1988. 78 p.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M. & Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 2013, 22(6): 711-728.
doi: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Barbosa, R. A. Crescimento de clone de eucalipto em espaçamentos amplos com variação na distância entre plantas na linha de plantio. [Dissertação de Mestrado]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2015.
- Benin, C. C., Wionzek, F. B. & Watzlawick, L. F. Initial assessments on the plantation of *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage deployed in different spacing. *Applied Research & Agrotechnology*. 2014; 7(1): 55-61.
- Berger, R., Schneider, P. R., Finger, C. A. G. & Haselein, C. R. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. *Ciência Florestal*. 2002; 12: 75-87.
- Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Comunicação nacional inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima. Brasília: MCT; 2004. 274 p.
- Caldeira, M. V. W., Watzlawick, L. F., Vieira, M., Baldinot, R. & Castro, K. C. Biomassa e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. *Ciência Florestal*, 2015, 25(4): 1027-1034.
doi: 10.5902/1980509820664
- Dolácio, C. J. F., Oliveira, R. S., Nakajima, N. Y., Silva, D. A., Edling, A. A., Rocha, J. E. C. Modelagem do carbono estocado no tronco de árvores de *Eucalyptus* com modelos lineares e rede neural artificial. *Advances in Forestry Science*, 2019; 6(2).
doi: 10.34062/afs.v6i2.7880
- Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. & Tanabe, K. (ed.). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies; 2006. 129 p.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília: Embrapa – SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2018. 355 p.
- Farias, J. A. C., Teixeira, I. F., Pes, L. S & Filho, A. A. Estrutura fitossociológica de uma floresta estacional decidual na região de Santa Maria, RS. *Ciência Florestal*. 1994; 4: 109-128.
doi: <https://doi.org/10.5902/19805098301>
- Ferreira, J. C., Stahelin, T. S. F., Jesus, M. F., Muniz, G. I. B., Brand, M. A & Freitas. T. P. Estimativa da oferta de biomassa florestal em povoamentos de *Pinus taeda* L. após intervenções culturais. *Ciência Florestal*. 2019; 29: 1459-1468.

- Garlet, J., Costa, E. C. & Boscardin, J. Levantamento da entomofauna em plantios de *Eucalyptus* spp. por meio de armadilha luminosa em São Francisco de Assis – RS. *Ciência Florestal*. 2016; 26(2): 365-374.
doi: 10.5902/1980509822737
- Haselein, C. R., Lopes, M. C., Longhi, S. J., Rosso, S., Fernandes, D. L. G., Menezes, L. F. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*. 2004; 14: 145-155.
- Huang, H., CaiXia, L. & XiaoLu, Z. Integration of multi-resource remote lysensed data and allometric models for forest above ground biomass estimation in China. *Remote Sensing of Environment*. 2019; 221: 225-234.
doi: <http://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.017>
- Körner, C. Ecological impact of atmospheric CO₂ enrichment on terrestrial ecosystems. *Royal Society of London Transactions Series A*. 2003; 361: 2023-2041.
- Leite, H. G., Nogueira, G. S. & Moreira, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variações de povoamentos de *Pinus taeda* L. *Revista Árvore*. 2006; 30: 603-612.
- Lupi, C., Major, J. & Sidders, D. Evaluating sampling designs and deriving biomass equations for young plantations of poplar and willow clones. *Biomass and Bioenergy*. 2015; 83: 196-205.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.09.019>
- Magalhães, W. M., Macedo, R. L. G., Venturin, N. & Yoshitani Junior, M. Desempenho silvicultural de espécies de *Eucalyptus* spp. em quatro espaçamentos de plantio na região noroeste de Minas Gerais. *Floresta e Ambiente*. 2012; 12(2): 1-7.
- Monte, M. A., Reis, M. G. F., Reis, G. G., Leite, H. G., Cacau, F. V. & Alves, F. F. Crescimento de um clone de eucalipto submetido à desrama e desbaste. *Revista Árvore*. 2009; 33(5): 777-787.
- Oliveira, R. S., Dolácio, C. J. F., Mossato, E. C., Mayer, S. C. S. & Silva, D. A. Estoque de carbono e energia em plantios de *Eucalyptus* na região norte do Brasil. *Agroecossistemas*. 2020; 12(1): 67-82.
- Oliveira, E. B., Ribaski, J., Zanetti, E. A. & Penteado Junior, J. F. Produção, carbono e rentabilidade econômica de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis* em sistemas silvipastoris no Sul do Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*. 2010; 57: 1-12.
- Pregitzer, K. S. & Euskirchen, E. S. Carbon cycling and storage in world forest: biome patterns related to forest age. *Global Change Biology*. 2004; 10(12): 2052-2077.
- Ribeiro, M. D. dos S. B., Jorge, L. A. B., Santos, A. L. & Ballarin, A. W. Avaliação da produção de biomassa do fuste de um clone híbrido de eucalipto sob diferentes espaçamentos. *Ciência Florestal*. 2017; 27: 31-45.
- Ryan, M. G., Stape, J. L. & Fonseca, S. Factors controlling *Eucalyptus* productivity: how water availability and stand structure alter production and carbon allocation. *Forest Ecology and Management*. 2010; 259(9): 1695-1703.
- Sanquetta, C. R., Corte, A. P. D., Pelissari, A. L., Tomé, M. & Sanquetta, M. N. I. Dynamics of carbon and CO₂ removals by Brazilian forest plantations during 1990-2016. *Carbon Balance and Management*. 2018; 13: 20-22.
doi: <https://doi.org/10.1186/s13021-018-0106-4>
- Santos, M. D. Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. [Dissertação de Mestrado]. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp; 2011.
- Schneider, P. R. Introdução ao manejo florestal. Santa Maria: UFSM, Cepef, Fatec; 1993. 348 p.
- Schneider, P. R., Finger, C. A. G., Fleig, F. D. & Cunha, T. A. Influência do espaçamento no autodesbaste de povoamento monoclonal de *Eucalyptus saligna* Smith. *Ciência Florestal*. 2015; 25: 119-126.
- Schumacher, M. V. & Poggiani, F. Retorno de nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Árvore*. 2003; 27(1): 29-37.

- Schumacher, M. V., Witschoreck, R. & Calil, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. *Ciência Florestal*. 2011; 21(1): 17-22.
- Silva, C. R. da. Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de *Eucalyptus* na região nordeste do estado de São Paulo. [Tese de Doutorado]. Piracicaba: Universidade de São Paulo; 2005.
- Tolosana, E., Laina, R., Ambrosio, Y. & Martín, M. Residual biomass recovery from fully-mechanized delayed thinnings on Spanish *Pinus* spp. plantations. *Biomass and Bioenergy*. 2014; 71: 98-105.
- Vieira, M. & Schumacher, M. V. Deposição de serapilheira e de macronutrientes em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*. 2010; 20(2): 225-233.
- Vital, A. R. T., Guerrini, I. A., Franken, W. K. & Fonseca, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. *Revista Árvore*. 2004; 28(6): 793-800.
- Watzlawick, L. F. & Benin, C. C. Variáveis dendrométricas e produção de *Eucalyptus benthamii* em diferentes espaçamentos. *Colloquium Agrariae*. 2020; 16(6): 111-120.
- Wink, C. Estoque de carbono em plantações de *Eucalyptus* sp. implantados em campo nativo. [Dissertação de Mestrado]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2009.
- Wink, C., Reinert, D. J., Muller, I., Reichert, J. M. & Lacomte, L. A idade das plantações de *Eucalyptus* sp. influenciando os estoques de carbono. *Ciência Florestal*. 2013; 23(2).
doi: 10.5902/198050989279
- Wink, C., Reinert, D. J., Tornquist, C. G. & Silva, I. R. Dinâmica do carbono e nitrogênio em plantações de eucalipto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. 2015; 39(6).
doi: 10.1590/01000683rbc20140182.
- Wu, M., Donke, G. M. & Deo, R. K. 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*. 2018; 13: 125004.
doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaeaa3>