



QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA E CARBONO DO FUSTE EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DE EUCALIPTO EM MINAS GERAIS

Breno A. LOUREIRO¹, Laércio A. G. JACOVINE², Daniel BRIANEZI³, Ricardo F. PENA², Luciano J. COSTA¹, Taiana ARRIEL¹, Yllian B. RIBEIRO¹, Túlio A. S. VIEIRA¹

1 – Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil. 2 – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil. 3 – Departamento de Engenharia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica, Belo Horizonte, Brasil.

Resumo: A busca por atividades que possam ajudar na diminuição da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, torna-se necessário apontar espaçamentos que possuam maior potencial de estocagem de carbono no decorrer do crescimento da floresta. Assim, objetivou-se neste trabalho calcular o estoque de carbono em um plantio de eucalipto interessado à produção de carvão em diferentes espaçamentos. O estudo foi realizado com o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*, dividido em 4 espaçamentos (2 x 1 m, 2 x 2 m, 3 x 2 m e 3 x 3 m) com 18 meses de idade e estabelecido na zona rural da cidade de Lamim, MG. Para desenvolver as equações foram abatidas árvores-amostra, sendo 4 nos espaçamentos menores e 3 no maior espaçamento (3 x 3 m). Ajustaram-se equações conforme o modelo de Schumacher e Hall (1933) na obtenção do volume, carbono total e por compartimento do fuste. Entre os espaçamentos, o 2 x 1 m foi o que obteve maior produção de biomassa e estocagem de carbono por área, isto porque este espaçamento tem maior volume total. Contudo, acredita-se ao passar do tempo, o seu desenvolvimento diminua, por causa da maior competição entre os indivíduos, gerando o aparecimento de árvores dominadas e até mortas. Nos espaçamentos mais amplos (3 x 2 m e 3 x 3 m) há maior biomassa e carbono por árvore que nos espaçamentos mais densos. Faz-se necessário o monitoramento da área até a idade de corte para avaliar o desenvolvimento de cada espaçamento.

Palavras-chave: biomassa, carbono, eucalipto.

Abstract: Currently, there is a search for minimizing the actions of green house gas effects on the atmosphere. Thus, it is necessary to point out gaps that have greater carbon storage potential during forest growth. The objective of this work is to calculate the carbon stock on eucalyptus crops for charcoal production in different gaps. This research was realized with hybrid crop of *E. urophylla* x *E. grandis*, divided in four gaps (2 x 1 m, 2 x 2 m, 3 x 2 m, and 3 x 3 m) with 18 months old and established in the rural zone of Lamim, MG. To develop the equations, sample trees were chop down, where four cultivated on the smaller gaps and three on the larger gaps (3 x 3 m). The equations were adjusted according to Schumacher and Hall model (1993) to obtain the volume, total carbon, and shaft compartment. Between all gaps, 2 x 1 m was the one with higher yield of biomass and carbon stock by area, since this gap had a greater total volume. However, its development can decrease with time due to a higher competition between species that can lead to dominated and, even, dead trees. Therefore, in a long term, the crops in the other gaps can have higher biomass and carbon per tree.

Keywords: biomass, carbon, eucalyptus.



1. INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas podem causar ataques à natureza, afetando assim as condições básicas de vida sobre a Terra. A queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural) e a destruição e queima das florestas estão resultando no aumento dos Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera destacando o gás carbônico (CO₂) que acentua o efeito-estufa. Está mais nítido nas décadas mais recentes que o clima encontra-se mais quente e também cada vez mais instável.

A partir das observações de tais mudanças no clima, a comunidade científica iniciou a análise e o fornecimento de projeções sobre o clima e suas mudanças em diferentes cenários. Um marco importante foi a inserção das mudanças climáticas na agenda política internacional, na década de 1980. Com destaque à criação, em 1988, do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). A partir de 1995, iniciaram as Conferências das Partes (*Conferences of the Parties - COP*), com o intuito de se realizar reuniões internacionais periódicas com o objetivo de gerar políticas públicas de mitigação dos efeitos dos GEE na atmosfera (CASTRO NETO, 2013).

Em dezembro de 2009, ocorreu a COP 15 em Copenhague, Dinamarca, na qual o Brasil tomou ações importantes de mitigação para as emissões de GEE e estabeleceu metas voluntárias de redução entre 36,1% a 38,9% até 2020 (BRASIL, 2011).

Para cumprimento de suas metas foram estabelecidas algumas ações, entre elas, a criação do programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC). Este programa tem como objetivo unir a produção de alimentos, madeira e bioenergia, com a atenuação das emissões de GEE (CNA, 2012).

O setor florestal desponta como uma boa alternativa para a mitigação dos GEE, via fixação de carbono pelas árvores. Com isso, destacam-se os reflorestamentos com espécies de rápido crescimento em regiões tropicais como uma das formas de redução, em virtude da alta produtividade dessas florestas (GATTO, 2005). Isto se encaixa como uma das atividades previstas no Programa ABC que é o plantio de florestas, mitigação de emissões de GEE provenientes do uso da terra. Entre as espécies utilizadas no reflorestamento destaca-se o eucalipto. O eucalipto se tornou uma grande opção para os produtores devido a sua viabilidade econômica, comparado com outras culturas florestais. E pode também ser usado como estratégia para preservação das florestas nativas, atuando no atendimento a demanda de madeira. Seu cultivo possui vantagens devido ao seu rápido crescimento e boa capacidade de adaptação em várias condições edafoclimáticas brasileiras.

A demanda por madeira de eucalipto vem aumentando ao longo dos últimos anos, o que implica na necessidade de se ter uma preocupação maior com os plantios a fim de produzir plantações mais homogêneas, resistentes às doenças e com produtividade mais elevada (MARCOLINO, 2010). Para a obtenção de plantios mais homogêneos, o espaçamento é de extrema importância, pois eles afetam a sua formação, os tratamentos culturais, a qualidade da madeira, a colheita e, também, a economia do processo produtivo florestal (SIMÕES et al., 1976).

Além do eucalipto ser importante no fornecimento de madeira, também se destaca no sequestro de carbono atmosférico, devido ao seu rápido crescimento e produtividade (ALVES, 2007). Tanto a produção de madeira como o sequestro de carbono vão ser influenciados pelo espaçamento. Entretanto, as avaliações que vêm sendo realizadas focam apenas na produção de madeira e, com isso, já se encontram bem definidos os espaçamentos para este fim. Apesar de, em princípio, poder-se inferir que a produção volumétrica tem relação direta com a estocagem de carbono, sabe-se que outros fatores, como densidade da



madeira, alocação de biomassa em outros compartimentos das árvores, como folhas galhos e raízes, podem alterar os resultados. Assim, é necessário desenvolver ou utilizar metodologias que possibilitem obter estimativas da quantidade de carbono em partes da árvore e que sejam avaliados os espaçamentos de plantio que apresentam maior potencial de estocagem de carbono.

Deste modo, objetivou-se com este estudo estimar o incremento de carbono total e por compartimento arbóreo nos diferentes espaçamentos em povoamento de eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se o estudo em um plantio com o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, numa área total de 1 hectare com 18 meses de idade, no município de Lamim, na Zona da Mata de Minas Gerais (20° 47' S, 43° 28' W).

A área possui 4 blocos de 2.520 m² e, com cada um deles possuindo um espaçamento diferente, 2 x 1 m, 2 x 2 m, 3 x 2 m e 3 x 3 m. Sendo lançadas quatro parcelas nos espaçamentos mais adensados e três no espaçamento mais amplo (3 x 3 m), devido à limitação da área do bloco e da importância de minimizar o efeito de borda entre as mesmas.

Mensurou o Diâmetro à Altura do Peito (DAP, a 1,30 m do solo) de todas as árvores das parcelas e a altura de dez árvores, aleatórias, para cada parcela.

Posteriormente ao o inventário florestal, abateu-se árvores-amostra, para cada classe de diâmetro (com amplitude de 5 cm), desenvolvendo equações de volume e do fuste.

O volume do tronco com casca, para cada árvore, foi determinado através do abate e também foi mensurada a altura total e a altura comercial, em metros. Para a altura comercial foi definido a distância entre a base até 3,0 cm de diâmetro do fuste.

Os diâmetros com casca e as espessuras das cascas foram medidos nas alturas 0,30 m, 0,70 m, 1,30 m e partir desta altura, a cada 2 m, até a altura comercial. Depois desses procedimentos o volume foi calculado pela aplicação sucessiva da fórmula de Smalian:

$$V = \left(\frac{AS_1 + AS_2}{2} \right) * L \quad \text{[Equação 1]}$$

Em que:

AS_1 e AS_2 = áreas seccionais com casca, obtidas nas extremidades de cada seção, em m²;

L = comprimento da seção, em m;

V = volume com casca da seção, em m³.

A área das seções (AS_1 e AS_2) foram calculadas de acordo com a equação 2:

$$\text{Área da seção: } AS = \frac{(\pi * D^2)}{40000} \quad \text{[Equação 2]}$$

Em que:

AS = área da seção, em m²;

D = diâmetro da seção, em cm;

π = PI (3,141592).

Com os dados da cubagem rigorosa foram ajustadas as equações conforme o modelo de Schumacher e Hall (1933), linearizado, para obtenção do volume, do carbono total e para o carbono do fuste.

A escolha deste modelo ocorreu por ser um dos mais usados para gerar equações para estimativas destes componentes, conforme a seguir.

$$\ln V = \beta_0 + \beta_1 * \ln DAP + \beta_2 * \ln Ht + \varepsilon \quad \text{[Equação 3]}$$

Em que:

V = volume do fuste com casca, em m³;
 DAP = diâmetro à altura de 1,30 metros, em cm;
 Ht = altura total, em metros;
 β_0, β_1 e β_2 = parâmetros do modelo;
 ε = erro aleatório.

A biomassa foi obtida por meio do método da proporcionalidade:

$$Ms(c) = \frac{Mu(c) * Ms(a)}{Mu(a)} \quad \text{[Equação 4]}$$

Em que:

Ms(c) = massa de matéria seca total, em kg;
 Ms(a) = massa de matéria seca das amostras, em kg;
 Ms(a) = massa de matéria úmida das amostras, em kg;
 Mu(c) = massa de matéria úmida total, em kg.

Foram retiradas seis amostras do fuste, correspondendo a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial da árvore, além do CAP (1,30 metros do solo). Essas amostras foram pesadas no campo e levadas para secagem em estufa com circulação forçada a 103°C, até estabilização da massa.

Para o carbono total e para o carbono do fuste também se ajustou equações utilizando o modelo de Schumacher-Hall (1933).

Para estimar o carbono presente na biomassa foi multiplicado os valores de biomassa pelo fator 0,47, que é a recomendação do IPCC (2006), para espécies arbóreas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados coletados gerou-se equações seguindo o modelo Schumacher & Hall (1933) linearizado. Na Tabela 1 encontram-se os valores das estimativas dos parâmetros e medidas de precisão para as equações geradas.

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão para as equações geradas

Equações de:	β_0	β_1	β_2	R ² (ajustado)	Erro-padrão
Vcc	-0,0188	0,0012	-0,0036	96,02%	0,10%
Carb. Fuste	-4,7166	2,9230	0,0458	90,78%	17,72%
Carbono Total	-2,4063	2,3440	-0,2001	91,52%	12,42%

Verificou-se que o modelo proposto para estimar a quantidade de carbono total e do fuste, além do volume com casca, expressou um bom grau de ajuste. As variáveis DAP e altura foram significativas a 95% de probabilidade em todas as equações ajustadas.

Também foram gerados gráficos de dispersão referentes às equações da Tabela 1 (Figuras de 1 a 5).

Volume com casca

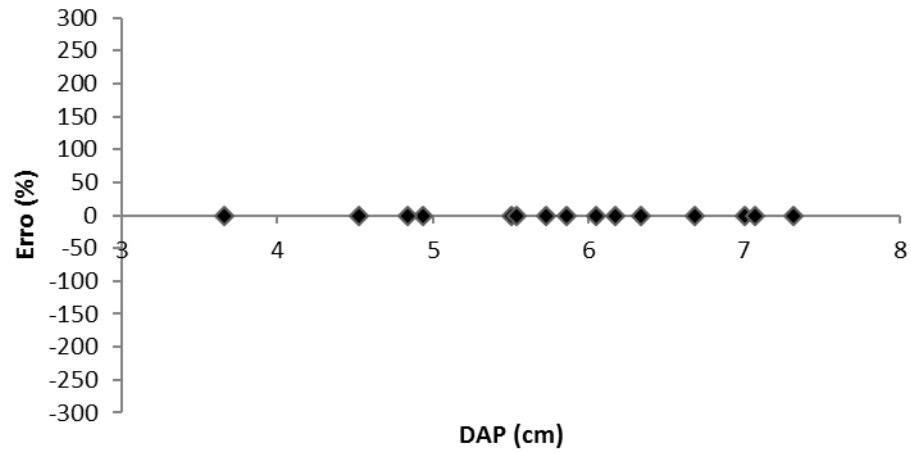


Figura 1. Dispersão para volume com casca

Carbono Fuste

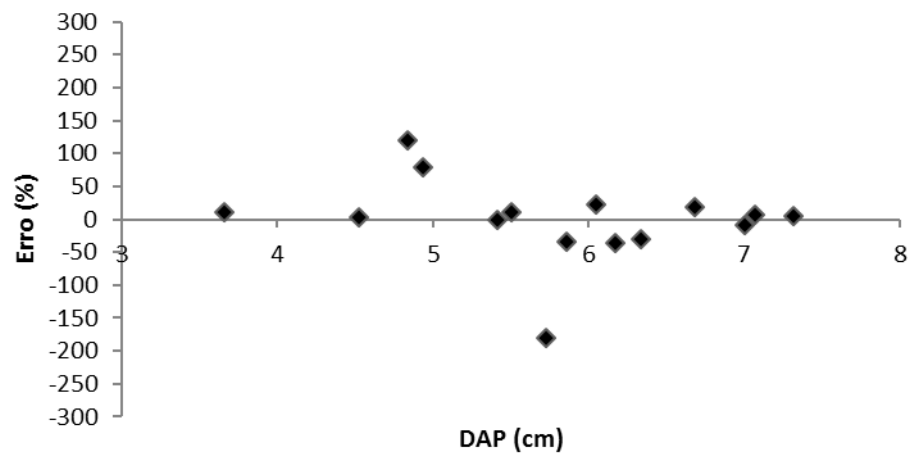


Figura 2. Dispersão para carbono do fuste

Carbono Total

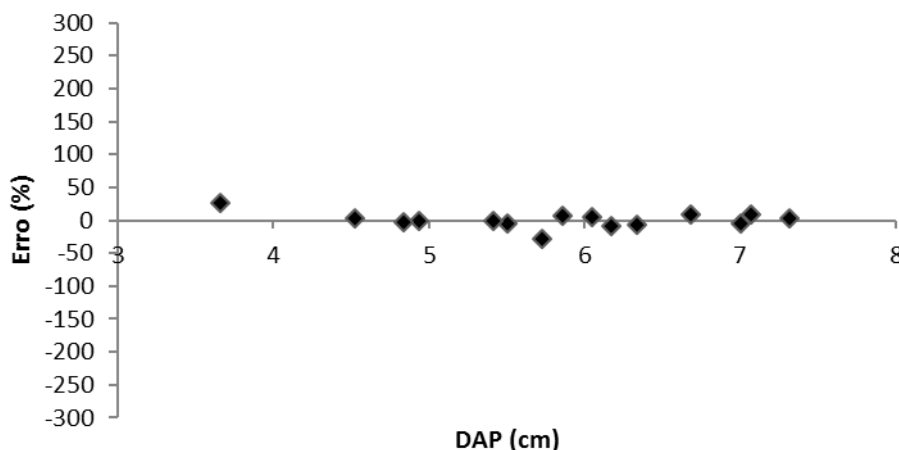


Figura 3. Dispersão para carbono total

De acordo com os gráficos de resíduos apresentados acima, constatou-se que há uma distribuição dos resíduos mais próximos de zero para o volume com casca e para o carbono total, definindo um comportamento preciso e homogêneo. Para o carbono do fuste houve uma tendência de menor precisão, haja vista a amplitude dos resíduos.

Na Tabela 2 são apresentados os valores de biomassa e carbono médio por árvore. Mostrou-se que os valores são mais elevados no espaçamento 3 x 2 m e menores no espaçamento 2 x 2 m, ou seja, por árvore, os espaçamentos menos adensados tem maior biomassa estocada. Apesar disso, como nos espaçamentos menores possuem maior número de árvores, assim há uma maior quantidade de biomassa e carbono em idades mais jovens, que é o caso do povoamento estudado. Isto é evidenciado, posteriormente, na Tabela 3.

Tabela 2. Biomassa e carbono total médio por árvore em cada espaçamento

Espaçamento (m)	Biomassa Média (kg/árvore)	Carbono Médio (kg/árvore)
2x1	4,473	2,102
2x2	3,864	1,816
3x2	5,596	2,630
3x3	4,856	2,208

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os valores de estoque de biomassa e carbono por compartimento e total para cada um dos espaçamentos.

Tabela 3. Biomassa para o fuste e total no seu respectivo espaçamento, em t/ha

Espaçamento (m)	Fuste (t/ha)	Total (t/ha)
2x1	8,887	21,883
2x2	3,479	9,575
3x2	3,719	9,200
3x3	1,989	5,363

Tabela 4. Estoque de carbono no fuste e total por compartimento em cada um dos espaçamentos estudados, t/ha

Compartimento	Espaçamento (m)								Média
	2x1		2x2		3x2		3x3		
	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	
Fuste	4,177	40,6	1,635	36,3	1,748	40,4	0,935	37,1	38,6%
Total	10,285	-	4,500	-	4,324	-	2,521	-	5,408 t/ha

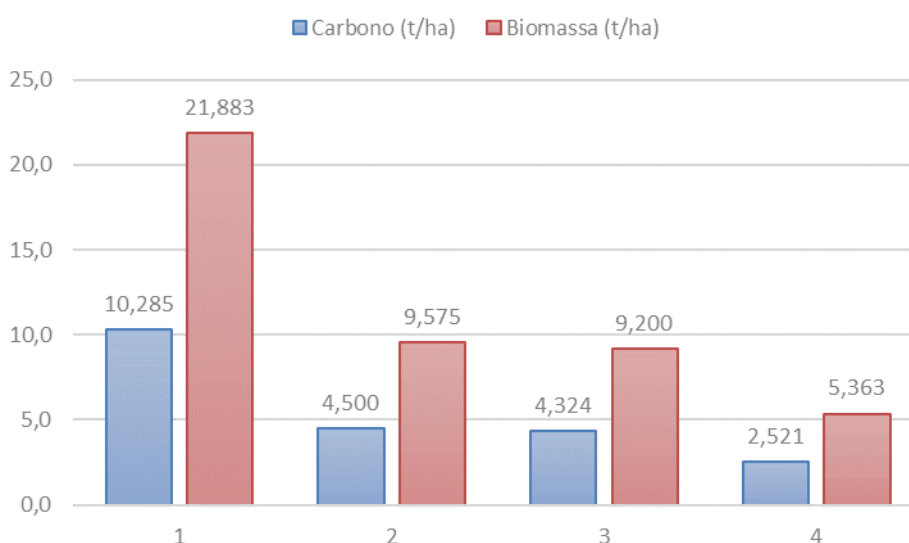


Figura 4. Total de biomassa e carbono para cada espaçamento, em t/ha

Verifica-se que a produção de biomassa e, conseqüentemente, de carbono é maior em plantios mais densos. Conforme discutido anteriormente, isto se deve ao maior número de árvores nesses espaçamentos.

Apesar do maior estoque de carbono ter sido verificado no espaçamento 2 x 1 m, espera-se que ao longo do tempo o mesmo venha a ter um menor desenvolvimento, devido a maior competição entre os indivíduos. Com isso, os outros espaçamentos podem apresentar maior quantidade de biomassa e carbono por hectare.

No espaçamento 2 x 1 m, com idade de 18 meses, obteve-se 8,887 t/ha no fuste, o que representa 40,6%. Diferente do resultado alcançado por Schumacher (2011) em Vera Cruz, RS, com *Eucalyptus spp.*, usando o espaçamento 1,5 x 1,5 m com uma idade de 24 meses chegou-se ao resultado de 14,66 t/ha de biomassa do fuste com casca, o que representa 62,84% de fuste em relação ao total. Desse modo, mesmo as áreas das árvores sendo próximas (espaçamento 1,5 x 1,5 m igual a 2,25 m² e 2 x 1 m igual a 2,00 m²), houve diferentes valores, devido, provavelmente, a idade ser diferente e também porque, quando jovem, a árvore destina mais biomassa nas folhas e galhos, favorecendo seu melhor crescimento (GATTO et al. 2011). Ainda assim, quando se compara este estudo e o desenvolvido por Schumacher (2011), os valores encontrados para biomassa total foram parecidos, 21,883 t/ha e 23,33 t/ha, respectivamente.



Analisando a Tabela 4, verificou-se que o fuste representou, em média, 38,6% do carbono das árvores. No estudo realizado no Vale do Paraíba, SP, usando *Eucalyptus spp.*, com o espaçamento 3 x 2 m, por Gatto (2005), o fuste, componente de maior interesse comercial, tem sua proporção aumentando de acordo com a idade, assim quanto maior a idade maior a proporção do componente fuste. O resultado que Gatto (2005) alcançou com 24 meses foi de 76,76% de fuste.

Observou-se que o percentual de carbono nos fustes possuem taxas maiores em povoamentos mais velhos. Com isso, induz que durante a fase inicial do desenvolvimento de uma floresta, grande parte de carboidratos é conduzida para a produção de biomassa na copa, pois plantas mais jovens necessitam de mais folhas na realização da fotossíntese e desta forma ajudar no seu crescimento. Depois com o crescimento das copas iniciam a competir entre si, e desse modo, a produção relativa de tronco aumenta, gradativamente (CALDEIRA et al. 2000).

A densidade é um fator que pode vir a influenciar a distribuição percentual da biomassa nos diferentes componentes das árvores. Couto et al. (1977), Leite et al. (1997), Leles et al. (1998) e Assis et al. (1999) depararam com a diferença na distribuição de biomassa entre espécies e para a mesma espécie de eucalipto, em função de fatores como espaçamento de plantio e idade do povoamento.

De acordo com Leite et al. (1997), com o aumento da densidade populacional, a biomassa total por unidade de área aumenta, ao mesmo tempo que a produção de biomassa total por indivíduo diminui, mas com elevação da alocação de fotoassimilados no tronco.

Nesse caso, como a floresta ainda é jovem é preciso ter um contínuo monitoramento do seu crescimento, para verificar o comportamento da estocagem de carbono até a idade de corte.

4. CONCLUSÃO

Os resultados encontrados neste trabalho realizado em plantações de eucalipto em diferentes espaçamentos com idade de 18 meses permitem chegar à conclusão que o estoque de carbono foi mais elevado no espaçamento mais reduzido (2 x 1 m), correspondendo a 10,285 t/ha.

Os espaçamentos menos adensados (3 x 2 m e 3 x 3 m) possuem maior biomassa e carbono por árvore que nos espaçamentos mais densos, no entanto, há um menor estoque por área, isso ocorre devido ao número de árvores.

O carbono presente no fuste foi em média de 38,6%, porém o seu percentual foi menor quando comparado a outros estudos com idades mais avançadas.

As equações alométricas tiveram um ajuste adequado, mesmo com baixa unidade amostral.

Como a floresta ainda é jovem é preciso continuar monitorando o seu crescimento, de forma a verificar o comportamento da estocagem de carbono ao longo do tempo, até a idade de corte.

5. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a CNPq, FAPEMIG e CAPES pela ajuda financeira e a EMATER pela disponibilidade do material utilizado.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. M. C. **Quantificação de produção de biomassa e do teor de carbono fixado por clones de eucalipto, no Pólo Gesseiro do Araripe – PE.** 2007, 63p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco.

ASSIS, R. L.; FERREIRA, M. M.; MORAIS, E. J.; FERNANDES, L. A. Produção de biomassa de *E. urophylla* S. T. Blake sob diferentes espaçamentos na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.23, n.2, p. 151–156, 1999.

BRASIL. **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – Versão Preliminar.** 75p., 2011.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; TEDESCO, N.; CARBONERA PEREIRA, J.; SANTOS, E. D. Produção de biomassa em uma procedência australiana de *Acácia mearnsii* De Wild. plantada no sul do Brasil. **Revista Árvore**, v.24, n.2, p.201-206, 2000.

CASTRO NETO, F. **Balço de carbono em uma propriedade com diferentes sistemas agroflorestais localizada na zona da mata de Minas Gerais.** 2013, 55p. Trabalho Final de Curso - Universidade Federal de Viçosa.

CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **Guia de financiamento para agricultura de baixo carbono / Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil.** – Brasília, DF: CNA, 2012. 44p.

COUTO, L.; BRANDI, R. M.; CONDÉ, A. R.; PAULA NETO, F. Influência do espaçamento de *E. urophylla* de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, MG. **Revista Árvore**, v.1, n.2, p.57–71, 1977.

GATTO, A. **Estoques de carbono no solo e na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais.** 2005, 73p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa.

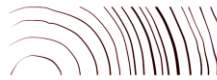
GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; VILLANI, E. M. A. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.35, n.4, p.895–905, 2011.

LELES, P. S. S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAIS, E. J. Relações hídricas e crescimento de árvores de *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, v.22, n.1, p.41–50, 1998.

LEITE, F. P. BARROS, N. F., NOVAIS, R. F., SANS, L. M. A. & FABRES, A. S.; Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, v.21, n.3, p.313-321. 1997.

II CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Belo Horizonte - 2015



II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Belo Horizonte - 20 a 22 set 2015



MARCOLINO, L. **Crescimento de clones de eucalipto em quatro espaçamentos de plantio no interior de São Paulo.** 2010, 26p. Trabalho Final de Curso – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SCHUMACHER, M.V., WITSCHORECK, R., CALIL, F.N. Biomassa em povoamento de *Eucalyptus spp.* de pequenas propriedade rurais em Vera Cruz - RS. **Ciência Florestal**, v.21, n.1, p.17-22, 2011.

SIMÕES, J. W.; BRANDI, R. M.; MALINOVSKY, J. R. **Formação de florestas com espécies de rápido crescimento.** Brasília: IBDF/PNUD/FAO, 1976. 74p.