

CARBONO NOS COMPONENTES DA BIOMASSA DE *Acacia mearnsii* De Wild.

CARBON IN *Acacia mearnsii* De Wild. BIOMASS COMPONENTS

João Felipe Cardozo Martins¹, Samuel Alves da Silva², Vinícius Morais Coutinho³,
Gabriel Agostini Orso⁴, Alexandre Behling⁵, Ana Paula Dalla Corte⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil – jmartins.ufpr@gmail.com,
ssilva.alves@yahoo.com.br, coutinhoengflorestal@gmail.com, gabrielorso16@gmail.com,
alexandrebehling@yahoo.com.br & anapaulacorte@gmail.com

RESUMO

A fixação de carbono na biomassa de espécies florestais pode ser uma importante aliada no combate às mudanças climáticas. Assim, o conhecimento da proporção de carbono nos componentes desta espécie está estreitamente relacionado à precisão da quantificação dos estoques de carbono. Nesse sentido, considerando a aptidão econômica e silvicultural da *Acacia mearnsii* De Wild. no Brasil, o objetivo do presente estudo é caracterizar a fixação de carbono na biomassa de acácia-negra, por meio da determinação dos teores médios de carbono (TMC) para fuste (TCF) e copa (TCC) e a avaliação da influência da idade e local dos plantios dos mesmos. Para isso, foram amostradas 671 árvores distribuídas em povoamentos com idade entre 1 e 10,75 anos, localizadas em três diferentes locais na região sudeste do Rio Grande do Sul. Árvores foram agrupadas proporcionalmente em 4 classes da idade nomeados: Jovem, Média Inicial, Média Avançada e Madura. Os teores de carbono foram obtidos com método destrutivo por meio do analisador de carbono (C-144, LECO). Os valores de TMC variaram entre 44,77% e 46,43%, em relação aos componentes copa e fuste, em todos os grupos de idade a copa apresentou valores estatisticamente superiores ao do fuste. Os fatores local e idade apresentaram efeito ao se tratar do TCC, já para o TCF, apenas o fator local apresentou efeito. A espécie acácia-negra fixa carbono em sua biomassa de modo semelhante aos das principais espécies para o setor florestal brasileiro, o que indica grande potencial para projetos que visam a fixação de carbono na biomassa.

PALAVRAS-CHAVE: Fator local, Fator idade, Fixação de carbono, Povoamentos florestais, Teor de carbono.

ABSTRACT

The carbon fixation in biomass of forest species can be an important allied on fight against climate changes. The knowledge of carbon contents proportion of these species is closely related to the precision of the quantification of carbon stocks. Considering economic and silvicultural aptitude of *Acacia mearnsii* De Wild. in Brazil the objective of the research is characterize the carbon fixation on biomass of black wattle. To do that was included the determination of the mean carbon contents (MCC) for stem (SCC) and crown (CCC) and the evaluation of the influence of age and planting site of the same. For this purpose, 671 trees were sampled in stands between 1 and 10.75 years old locate in three different locations in the southeast region of Rio Grande do Sul State. Individuals were grouped into 4 age classes, named: Young, Initial, Advanced and Mature. The carbon contents were obtained by destructive method using the carbon analyzer (C-144, LECO). The MCC values varied between 44.77% and 46.43% in relation to the crown and stem components, in all age groups the crown presented values statistically superior to the stem values. The factors local and age had an effect when dealing with CCC. For SCC only the local had an effect. Also, when compared to important species for the Brazilian forest sector, the black wattle presented similar result which indicates great potential for projects aiming at the fixation of carbon into the biomass.

KEYWORDS: Factors local, Factor age, Carbon sequestration, Forest stands, Carbon contents.

INTRODUÇÃO

O aumento das emissões e concentrações de gases do efeito estufa na atmosfera terrestre tem despertado a comunidade internacional. Além da criação de estratégias que visam a redução da ação antrópica e uso irracional dos recursos naturais, bem como o incentivo à diminuição do consumo de combustíveis fósseis e outros recursos não renováveis, a dinâmica das emissões e sequestro do dióxido carbono (principal gás de efeito estufa) têm sido objeto de estudo da comunidade científica há décadas (ZHU et al., 2018).

A questão das emissões de gases de efeito estufa é um assunto de interesse mundial, pois líderes de diversas nações, juntos ao Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), reúnem-se periodicamente a fim de promoverem ações mitigadoras e aprofundar o entendimento científico sobre o tema (ABDI & TAGHIPOUR, 2018).

Para viabilizar o compromisso firmado pelos líderes dos países mais industrializados em Kyoto no ano de 1997 (OLIVEIRA et al., 2011), foram estabelecidos mecanismos de flexibilização, como o comércio de “Certificados de Emissões Reduzidas – CER”, gerados a partir da execução dos projetos de compensação de carbono chamados “créditos de carbono”, esses créditos são comercializados em mercados internacionais conhecidos como o “Mercado de Carbono” e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL (RAWHOUSER et al., 2018).

O MDL tem como objetivo a redução dos gases do efeito estufa, o aumento no sequestro de carbono e promover o desenvolvimento sustentável nos locais de implantação, permitindo projetos de três modalidades: fontes renováveis e alternativas de energia, eficiência e conservação de energia e aquela com o maior número de projetos, que é o florestamento e reflorestamento (YANG et al., 2018).

De acordo com o relatório da Indústria Brasileira de Árvores (IBA, 2017), no Brasil os povoamentos florestais ocupam 7.84 milhões de hectares e proporcionam benefícios econômicos, sociais e ambientais ao país. O relatório também descreve que os gêneros mais cultivados no país são *Eucalyptus* e *Pinus*, contudo, outras espécies vêm ganhando espaço na produção florestal, como por exemplo, a Acácia-negra na região Sul, sendo atualmente a quarta espécie em área plantada no país.

Originária da Austrália, a *Acacia mearnsii* De Wild, pertence à família Fabaceae e é popularmente conhecida como Acácia-negra. No Brasil a maioria dos plantios comerciais com essa espécie está localizado no estado do Rio Grande do Sul, onde, a madeira é utilizada para a

produção de celulose e carvão e da casca é extraído o tanino, empregado principalmente na indústria farmacêutica e coureira (VIEIRA & SCHUMACHER, 2010).

Além das finalidades usuais que, de acordo com Silva & Farias (2015) possuem grande relevância socioeconômica na região, considerando o importante papel das árvores no ciclo global do carbono (IPCC, 2015), o desenvolvimento de projetos para a geração de créditos de carbono pode ser uma alternativa sustentável para agregar ainda mais valor à atividade silvicultural.

Além de ser um indicador da potencialidade das espécies para a fixação de carbono, o conhecimento dos teores de carbono específicos (espécie e compartimentos) também é de suma importância para estimativas precisas e acuradas dos estoques de carbono em povoamentos florestais, podendo evitar possíveis tendências (SILVA et al., 2014).

A biomassa de uma determinada espécie varia principalmente de acordo com a idade da planta e com o sítio em que a mesma se desenvolve (KHAN et al., 2018). Por estar altamente correlacionado com a biomassa, o teor de carbono em povoamentos florestais é normalmente afetado pelos mesmos fatores (SANQUETTA et al., 2015).

Diante do exposto, com a finalidade de analisar a potencialidade da acácia-negra para fins de fixação de carbono na biomassa, o objetivo do presente estudo foi caracterizar a fixação de carbono na biomassa de *Acacia mearnsii*, por meio da determinação dos teores médios de carbono para fuste e copa, além de verificar a influência da idade e local dos plantios nas concentrações de carbono.

MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de estudo estão localizadas na região sudeste do estado do Rio Grande do Sul, especificamente nos municípios de Cristal, Piratini e Encruzilhada do Sul (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, os locais possuem clima quente e temperado (Cfa) (ALVARES et al., 2013).

A idade dos povoamentos estudados variou entre 1 e 10,75 anos. Em cada povoamento, quatro parcelas circulares de 400 m² foram instaladas aleatoriamente. Dentro de cada parcela, uma sub-parcela de 78,54 m² com diâmetro de 5 m foi posicionada de forma a possibilitar a coleta de variáveis de alto custo (teores de biomassa e carbono), assim, a biomassa de fuste e copa de 671 árvores foram amostradas.

Os dados de biomassa acima do solo foram agrupados de acordo com a idade econômica dos povoamentos, sendo as classes definidas empiricamente. Na tabela 1, podem ser observados os quatro grupos.

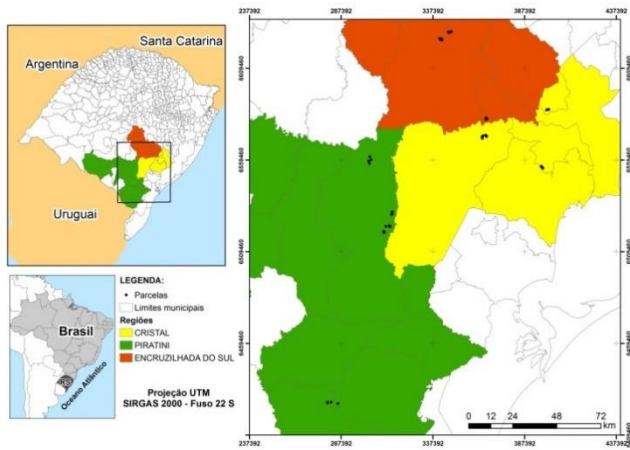


Figura 1. Área de cultivo de acácia negra no estado do Rio Grande do Sul, da qual foram obtidas as amostras.

Nas sub-parcelas, todas as árvores foram derrubadas para avaliar os teores de biomassa e carbono. Para a avaliação da biomassa individual, os componentes foram separados em copa (folhas, ramos, flores e frutos) e fuste (fuste e casca) (PICARD et al., 2012). A massa fresca foi determinada por meio de uma balança digital.

Tabela 1. Idade qualitativa dos povoamentos de Acácia-negra amostrados no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Local	Idade (anos)	Grupo
Cristal	1,75	Jovem
	2,75	Média inicial
	5,00	Média avançada
	10,08	Madura
Encruzilhada	1,83	Jovem
	3,08	Média inicial
	5,75	Média avançada
Piratini	1,00	Jovem
	2,33	Média inicial
	5,25	Média avançada
	9,83	Madura

As estatísticas descritivas são apresentadas na Tabela 2. Os teores de carbono nas amostras foram determinados com o equipamento LECO C-144, que determinou o carbono presente em tecidos vegetais das amostras por meio do método destrutivo, o que consisti na queima completa da amostra a uma temperatura de 1.000°C, sendo a leitura efetuada por meio da sensibilização de uma célula infravermelha por um período aproximado de 60 segundos.

Tabela 2. Estatísticas descritivas de diâmetro e altura total para cada grupo de idade e local.

Local	G	n	DAP (cm)		Ht (m)	
			Média	DP	Média	DP
Cristal	Jovem	59	7,26	1,54	7,93	0,99
	Média inicial	47	8,36	1,98	11,06	1,20
	Média avançada	43	11,12	2,95	14,96	1,61
	Madura	57	12,53	4,00	16,05	3,35
Encruzilhada	Jovem	56	6,62	1,61	7,67	1,28
	Média inicial	68	8,34	2,03	11,03	1,98
	Média avançada	50	12,16	3,86	16,78	3,26
Piratini	Jovem	70	2,08	0,65	2,97	0,60
	Média inicial	48	11,14	2,76	13,44	1,22
	Média avançada	60	10,89	3,39	14,38	3,09
	Madura	51	13,71	4,26	16,72	2,55

G é o grupo de idade; n é o número de observações; e DP é o desvio padrão.

Foram coletadas 1.398 amostras para a determinação dos teores de carbono, sendo divididas igualmente entre os componentes.

O Teor Médio de Carbono (TMC) foi obtido por média ponderada (1) visto que há diferença na proporção de biomassa para cada componente e dessa forma eles devem participar de forma diferente no peso da média (SANQUETTA et al., 2014).

$$\overline{TC}_p = \frac{B_c \cdot TC_c + B_f \cdot TC_f}{B_c + B_f} \quad (1)$$

Em que: \overline{TC}_p é o TMC (em %); B_c e B_f são a biomassa da copa e fuste (em Kg), respectivamente; TC_c e TC_f são, o teor de carbono da copa e fuste (em %), respectivamente.

Para verificar o efeito dos fatores: local e idade do povoamento na variação do teor de carbono nos componentes da biomassa, a homogeneidade da variância dos dados foi testada por meio do teste de Bartlett. Os dados de teores de carbono foram submetidos à análise de variância e, havendo significância dos efeitos, as médias foram comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

O modelo estatístico utilizado na análise de variância foi um delineamento fatorial, visto que o intuito foi estudar simultaneamente dois fatores: local de cultivo e idades qualitativas, assim, formou-se uma matriz 3x4 (3 locais x 4 idades).

RESULTADOS

Os valores de produção de biomassa por árvore seguiram um padrão similar às características dendrométricas dos grupos da Tabela 2, tendendo a aumentar conforme o indivíduo amadurece (Figuras 2 e 3).

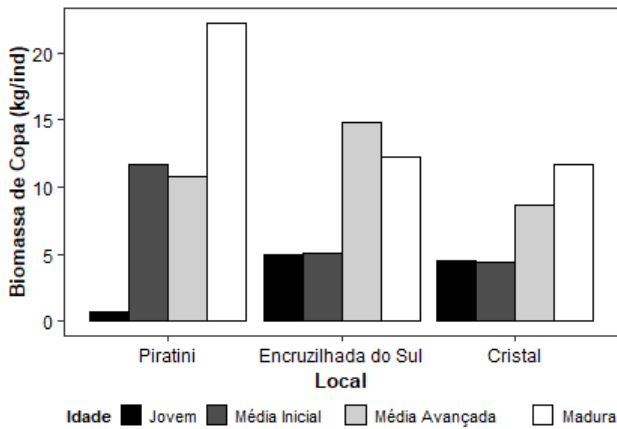


Figura 2. Valores médios de biomassa da copa (kg/ind) de *Acacia mearnsii* De Wild. para cada grupo de idade e local.

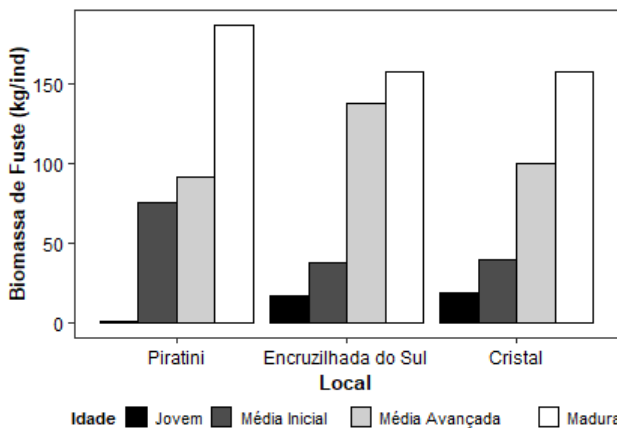


Figura 3. Valores médios de biomassa do fuste (kg/ind) de *Acacia mearnsii* De Wild. para cada grupo de idade e local.

Os valores de TMC para os grupos: Jovem, Médio Inicial, Médio Avançada e Madura, foram de 46,43%, 46,11%, 44,92% e 44,77% respectivamente. Os valores discriminados por compartimentos são apresentados na Tabela 3. Para o TCF a variação máxima foi de 0.06% entre as classes de idade, enquanto para TCC, a variação foi de 0.96%, e os valores médios de teor de carbono tendem a diminuir ao longo da idade.

Os valores médios gerais de TCC e TCF foram de 47,06% e 44,45%, respectivamente, e apresentaram diferença significativa a 1% de significância. Os resultados das análises de variância para avaliação das relações são apresentados na Tabela 4.

Tabela 3. Valores de Teor de Carbono da Copa (TCC) e Teor de Carbono no Fuste (TCF) para povoamentos de *Acacia mearnsii*, cultivados no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Grupo	Teores Médios de Carbono	
	Copa	Fuste
Jovem	47,58 %	44,49 %
Média inicial	47,16 %	44,44 %
Média avançada	46,89 %	44,43 %
Madura	46,62 %	44,45 %

Para o TCC, a análise de variância indicou que a interação local de cultivo e idade do povoamento foi significativa, ao nível de 1%, evidenciando a dependência desses fatores. Já para o TCF essa interação não foi observada, uma vez que apenas o efeito de localidade foi significativo.

Tabela 4. Análise de Variância do Teor de Carbono da Copa (TCC) e Teor de Carbono do Fuste (TCF) em relação aos fatores de: local e idade para povoamentos de *Acacia mearnsii*, cultivados no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

FV	GL	SQ	QM	
			TCC	TCF
Local	2	42,74722	21,37361**	0,50431*
Idade	3	49,55934	16,51978**	0,00915 ^{ns}
Local x Idade	6	42,63218	7,10536**	0,25899 ^{ns}

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ^{ns} não significativo ($p > 0,05$) FV = variáveis; GL = grau de liberdade; e SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio.

Analisando a interação entre os fatores, apresentada na Tabela 5, os resultados demonstraram que não há diferença de TCC entre os locais para plantios jovens, já o segundo e terceiro grupo de idades apresentaram diferença apenas para Piratini. Para o grupo de maior idade, as amostras do município de Cristal foram estatisticamente superiores às dos demais locais.

O TCC no povoamento cultivado na região de Piratini difere somente para a idade Jovem, e as demais idades não diferem entre si. Em Encruzilhada do Sul as árvores do grupo classe Madura diferem do restante. Em Cristal a idade Jovem se assemelha com a idade Madura; a idade Madura se assemelha à idade Média Avançada, e essa possui semelhança com a idade Média Inicial.

Tabela 5. Médias de interação entre os fatores: local e idade, para amostras de Teor de Carbono da Copa (TCC), em %, nos povoamentos de *Acacia mearnsii*, cultivados no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Grupo	Local		
	Piratini	Encruzilhada do Sul	Cristal
Jovem	48,39 (aA)	48,26 (aA)	48,86 (aA)
Média inicial	44,72 (bB)	47,60 (aA)	46,82 (aC)
Média avançada	44,72 (bB)	47,72 (aA)	47,39 (aBC)
Madura	44,57 (bB)	44,27 (bB)	48,53 (aAB)

Colunas seguidas com letras maiúsculas iguais e linhas seguidas com letras minúsculas iguais não diferem pelo teste de Tukey, ao nível de probabilidade de erro 5%.

No compartimento fuste não houve interação entre os tratamentos, e os grupos de idade também não apresentaram diferenças significativas. Por esses motivos, o teste comparativo de médias foi aplicado somente para o tratamento de localidade (Tabela 6).

Tabela 6. Teor de Carbono do Fuste (TCF), em %, para o efeito do local em povoamentos de *Acacia mearnsii*, cultivados no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Local	TCF
Piratini	44,54 AB
Encruzilhada do Sul	44,40 B
Cristal	44,72 A
DMS	00,31

DMS é a diferença mínima significativa.

Os teores de carbono nas árvores cultivadas em Piratini apresentaram similaridade para com as outras regiões, contudo Encruzilhada do Sul e Cristal diferem nos valores de TCF.

DISCUSSÃO

Devido ao longo horizonte de planejamento dos projetos florestais, mesmo que a madeira seja usada para geração de energia, celulose ou outras finalidades que emitam parte do carbono fixado na atmosfera, a atividade silvicultural ainda é valiosa para que os balanços de carbono fiquem equilibrados, uma vez que o carbono emitido é novamente absorvido durante o crescimento das árvores (LIU et al., 2010).

No caso da acácia-negra, a madeira é usada na produção de carvão e de sua casca há a extração de tanino para curtimento do couro (VIEIRA & SCHUMACHER, 2010). Assim, a utilização da madeira para fins que permitam a fixação de carbono por mais tempo e até mesmo o prolongamento do ciclo de produção seria de grande vantagem para o balanço de carbono da atividade.

No TCF onde apenas os efeitos de localidade foram significativos, e a menor variação de TCF que acarretou na falta de efeito entre os fatores idade e local pode ser resultado da composição do compartimento, ou seja, apenas dois componentes com relativamente baixa atividade fisiológica e alto teor de lignina (madeira e casca). Silva et al. (2014) relatam a existência de diferença entre os teores de carbono dos componentes: casca, folhas, galhos vivos, galhos mortos e madeira.

Devido à correlação entre biomassa e teor de carbono (SANQUETTA et al., 2015), tal resposta provavelmente está relacionada com a diminuição da proporção de galhos vivos e folhas das árvores, uma vez que a proporção entre a biomassa dos compartimentos da árvore varia com a idade, onde o desenvolvimento da copa é mais intenso nas fases mais juvenis devido à necessidade de reservas de nutrientes e carboidratos para o crescimento dos indivíduos (KOZLOWSKI et al., 1991).

Assim como observado no presente estudo, Sanquetta et al. (2014) afirmam que os teores de carbono em Acácia-negra diferem entre os componentes da biomassa, de modo que a copa apresenta maiores valores em relação ao fuste. Os autores também descrevem que plantios de idade variando entre 1, 3, 5 e 7 anos, localizados na região sudeste do Rio Grande do Sul, apresentaram valores de TMC de respectivamente 45,01%, 45,65%, 46,50% e 45,65%. Embora os valores sejam muito próximos aos encontrados no presente estudo, há uma tendência de aumento do teor com a idade, oposta ao encontrado nesse estudo, e isso pode estar relacionado com a separação da copa em galhos e folhagens.

Embora a ponderação dos compartimentos seja consolidada e recomendada, uma vez que o fuste apresenta a maior parte da biomassa (Figuras 2 e 3), há sugestão de análise da variação de carbono ao longo de toda a extensão do fuste, a fim de avaliar a viabilidade da ponderação do teor de carbono ao longo do fuste (SANQUETTA et al., 2014).

Quanto à comparação do teor de carbono encontrado para a mesma espécie por outros autores, valores semelhantes ao deste trabalho foram encontrados por Silva et al. (2014), onde a média ponderada por compartimentos foi de 46,28%, valor que fica entre o encontrado para o grupo jovem e média inicial do presente

estudo. Como a idade e o local de plantio dos indivíduos que compuseram o banco de dados não foi informada, tais comparações não são possíveis.

Comparações para com espécies importantes de outras regiões que também possibilitam seu uso para a fixação de carbono são relevantes para definir a importância da acácia-negra para esse viés de mercado. Os referidos autores também determinaram os valores de TMC de 30 espécies florestais, sendo o maior observado na espécie amazônica *Carapa guianensis*, (47,40%), o qual não apresentou diferença estatística quando comparado com o observado na Acácia-negra. Assim, além da semelhança dos valores de TMC, a potencialidade da Acácia-negra na fixação de carbono também é ressaltada pelas taxas de crescimento, superiores às de espécies nativas da Amazônia.

Sanquetta et al. (2014) descrevem a acácia-negra como uma opção para a fixação de carbono atmosférico, com armazenamento possível de 60 Mg ha⁻¹ na biomassa das árvores aos sete anos de idade.

Em locais próximos à região Sudeste do Rio Grande do Sul, na região metropolitana de Porto Alegre, valores de TMC inferiores foram encontrados por Schumacher et al. (2001) e Barichello (2003), respectivamente 39,80% e 41,20%.

Os teores de carbono mais elevados para os compartimentos folhas, galhos vivos, galhos mortos, casca e madeira encontrados por Caldeira et al. (2003) foram de respectivamente 43,37%, 37,99%, 39,35%, 37,99% e 41,71%, enquanto Saidelles et al. (2009), para os mesmo compartimentos e ordem 45,58%, 41,40%, 40,88%, 40,68% e 42,13% aos 4 anos de idade.

Embora, também, apresentem os maiores teores de carbono nas folhas, devido à maior concentração de células vivas e conseqüentemente maior atividade fisiológica o que acarreta em uma maior concentração de nutrientes decorrentes dos processos de transpiração e fotossíntese (KOZLOWSKI & PALLARDY, 1996). A inferioridade dos teores de carbono apresentados pelos autores citados anteriormente pode estar relacionada ao processo de determinação (SANQUETTA et al. (2014).

Dallagnol et al. (2011) e Mognon et al. (2013) apresentaram valores de TMC para a espécie *Araucaria angustifolia* de 44,28% e 42,18%, respectivamente. Os primeiros autores também avaliaram os valores de TMC para *Mimosa scabrella*, e constataram que a espécie teve oscilação em seus teores entre 44,68% e 45,33%, sendo os maiores valores encontrados em seu estudo. Assim, levando em consideração apenas os valores de TMC, a Acácia-negra apresenta superioridade quando comparada com as espécies nativas com maior potencial silvicultural

conhecido da região Sul do Brasil, onde os plantios da mesma estão localizados.

Conforme mencionado os gêneros com maior valor de área plantada no Brasil são o *Eucalyptus* e *Pinus*. Para demonstrar o potencial da espécie acácia-negra comparações com essas espécies devem ser levadas em consideração. Para o gênero *Eucalyptus* sp., o valor de TMC por Dallagnol et al. (2011) foi de 42,90% e para o gênero *Pinus* sp., 44,66%. Para esse último gênero, Balbinot et al. (2003) encontraram um valor de TMC de 43,76% e Silva et al. (2014) 45,48%. Portanto, mediante ao exposto, é possível afirmar que a Acácia-negra possui potencial para projetos de fixação e sequestro de carbono semelhante ao das espécies florestais exóticas mais plantadas no Brasil, podendo ser até superior em alguns casos.

Contudo, é preciso ressaltar a necessidade de se levar em consideração o uso das médias quando visto a dependência entre os fatores local e idade para o TCC e a independência dos mesmos para o TCF, segundo a Tabela 3.

CONCLUSÕES

Os valores do Teor Médio de Carbono (TMC) para os indivíduos da espécie Acácia-negra variaram entre 44,77% e 46,43% para as diferentes idades observadas.

Para o Teor de Carbono da Copa (TCC), houve efeito entre idade (Grupo de idade: Jovem, Média Inicial, Média Avançada e Madura) e local (Cristal, Encruzilhada do Sul e Piratini), sendo que excepcionalmente na idade Jovem, que representa indivíduos de 1 a 3 anos, todos os locais se assemelham.

Para o Teor de Carbono no Fuste (TCF), não há efeito de interação entre os fatores, nem efeito entre as idades, dessa forma a única variável que apresentou efeito é o local de cultivo.

No que diz respeito aos teores e fixação de carbono na biomassa, a Acácia-negra apresentou resultados semelhantes aos das espécies de maior importância para o setor florestal brasileiro, o que indica grande potencial para projetos com essa finalidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa TANAC S.A./TANAGRO S.A. pela colaboração e fornecimento dos dados para elaboração do presente trabalho.

Ao Centro de Excelência de Pesquisas em Fixação de Carbono na Biomassa pela disponibilidade de equipamentos especializados que foram de suma importância para a execução do projeto.

À Capes e ao CNPq pelo incentivo prestado à pesquisa por disponibilizar bolsas de pós-graduação.

REFERÊNCIAS

ABDI, A.; TAGHIPOUR, S. A optimization model for fleet management with economic and environmental considerations, under a cap-and-trade Market. **Journal of Cleaner Production**, v.204, p.130-143, 2018.

ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

BALBINOT, R. et al. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, v.5, n.1, p.59-68, 2003.

BARICHELO, L.R. **Quantificação da biomassa e dos nutrientes em floresta de *Acacia mearnsii* de Wild na região sul do Brasil**. 2003. 58p. (Dissertação de mestrado).

CALDEIRA, M.V.W. et al. Determinação de carbono orgânico em povoamentos de *Acacia mearnsii* de Wild plantados no Rio Grande do Sul. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v.1, n.2, p.47-54, 2003.

DALLAGNOL, F.S. et al. Teores de Carbono de Cinco Espécies Florestais e seus Compartimentos. **Floresta e Ambiente**, v.18, n.2, p.410-416, 2011.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual**, 2017.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Synthesis Report**, 167p., 2015.

KHAN, N.I. et al. Allometric relationships of stem volume and standlevel carbon stocks at varying stand density in *Swietenia macrophylla* King plantations, Bangladesh. **Forest Ecology and Management**, v.430, p.639-648, 2018.

KOZLOWSKI, T.T. et al. **The physiological ecology of woody plants**. New York: Academic Press, 1991.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiology of Woody Plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1996.

LIU, H. et al. Experimental investigation on flue gas emissions of a domestic biomass boiler under normal and idle combustion conditions. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, v.5, n.2, p.88-95, 2010.

MOGNON, F. et al. Uma década de dinâmica da fixação de carbono na biomassa arbórea em floresta ombrófila mista no sul do Paraná. **Floresta**, v.43, n.1, p.153-164, 2013.

OLIVEIRA, D.L. et al. Mercado de carbono no Brasil. **Revista Estudos**, v.38, n.2, p.249-299, 2011.

PICARD, N. et al. **Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction**. Rome e Montpellier: Food and Agricultural Organization of the United Nations and Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, 2012.

RAWHOUSER, H. et al. Sustainability Standards and Stakeholder Engagement: Lessons from Carbon Market. **Organization and Environment**, v.31, n.3, p.263-282, 2018.

SAIDELLES, F.L.F. et al. Uso de equações para estimar carbono orgânico em plantações de *Acacia mearnsii* de Wild. No Rio Grande do Sul-Brasil. **Revista Árvore**, v.33, n.5, p.907-915, 2009.

SANQUETTA, C.R. et al. Estoques de biomassa e carbono em povoamentos de Acácia-negra em diferentes idades no Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, v.42, n.103, p.361-370, 2014.

SANQUETTA, C.R. et al. Comparison for data mining and allometric model in estimation of tree biomass. **BMC bioinformatics**, v.16, n.1, p.247-256, 2015.

SCHUMACHER, M. et al. Quantificação do carbono orgânico em floresta de *Acacia mearnsii* de Wild. em diferentes idades. **2º Simpósio Latino-Americano Sobre Manejo Florestal**, p.387-399, 2001.

SILVA, S.A. et al. Teores de Carbono Médios para Compartimentos e Espécies Florestais. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.19, p.2990-3007, 2014.

SILVA, F.C.L.; FARIAS, J.A. Análise econômica da produção de *Acacia mearnsii* De Wild e carvão vegetal no Vale do Caí e Taquari, Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.45, n.5, p.927-932, 2015.

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**, v.20, n.2, p.225-233, 2010.

YANG, F. et al. Acculturation of rural households participating in a clean development mechanism forest carbon sequestration program: A survey of Yi ethnic areas in Liangshan, China. **Journal of Forest Economics**, v.32, p.135-145, 2018.

ZHU, X. et al. Interactions between earthworms and mesofauna effects CO₂ and N₂ emission from soils under long-term conservation tillage. **Geoderma**, v.332, p.153-160, 2018.

Recebido em 28-05-2019

Aceito em 11-07-2019