

## **ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DE MADEIRA DE PLANTIOS CONSORCIADOS E PUROS VISANDO PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL**

**Fernanda Maria Guedes RAMALHO<sup>1</sup>, Paulo Ricardo Gherardi HEIN<sup>2</sup>, Thiago de  
Paula PROTÁSIO<sup>3</sup>, Livia Mara R S B QUEIROZ<sup>4</sup>, Rodolfo Cardoso JACINTO<sup>5</sup>,  
Taiane Oliveira Guedes NEVES<sup>1</sup>**

- 1- Mestranda em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil
- 2- Professor na Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil
- 3- Professor na Universidade Federal de Goiás, Jataí, Goiás, Brasil
- 4- Engenheira Florestal - Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros
- 5- Mestrando em Engenharia Florestal, CAV - UDESC, Lages, Santa Catarina, Brasil

**Resumo:** A biomassa florestal é uma fonte de energia renovável de grande relevância em termos de sustentabilidade e aquecimento global decorrente do uso de combustíveis fósseis. A técnica de termogravimetria garante consistência na escolha de biomassa que resulte em carvões de melhor qualidade e maiores rendimentos. O objetivo desse trabalho foi verificar a influência do tipo de cultivo na decomposição térmica da madeira para produção do carvão vegetal produzido a partir da madeira de *Eucalyptus* e de *Acacia*. Foi realizado um delineamento experimental inteiramente casualizado disposto em esquema fatorial 2 x 2, tendo 2 espécies (híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*) e 2 tipos de cultivos (consórcio e monocultivo), totalizando quatro tratamentos. Realizou-se a análise termogravimétrica (TGA) das madeiras e o rendimento gravimétrico em carvão vegetal. O comportamento durante a degradação térmica das biomassas de todos os tratamentos foram parecidos, apresentando picos de energia liberada e perdas de massa acentuadas em determinada faixa de temperatura (300°C a 400°C). O teste da análise de variância não foi significativo para o RGC ( $\rho = 0,10794$ ,  $\rho = 0,20618$  e  $\rho = 0,70390$ , respectivamente para tipo de espécie, tipo de cultivo e interação tipo de espécie x tipo de cultivo). Portanto o rendimento em carvão vegetal não se diferiu estatisticamente entre os tratamentos estudados. Pode-se concluir que os tipos de cultivo não apresentaram diferenças para a produção de carvão vegetal em relação aos parâmetros estudados.

**Palavras Chave:** *Acacia mangium*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis*, Rendimento.

## **THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS IN WOOD OF MIXED AND PURE PLANTATIONS FOR CHARCOAL PRODUCTION**

**Abstract:** Forest biomass is a renewable energy source of great relevance in terms of sustainability and global warming resulting from the use of fossil fuels. Thermogravimetry technique ensures consistency in the choice of biomass resulting in better quality and higher yields of coals. The aim of this study was to investigate the influence of the type of cultivation in the thermal decomposition of wood for charcoal production produced from *Eucalyptus* and *Acacia*. It was conducted a completely randomized design arranged in a factorial 2 x 2, with 2 species (hybrid *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium*) and 2 types



of crops (intercropping and monoculture), totaling four treatments. It was conducted a thermal analysis (TGA) of woods and the gravimetric yield in charcoal. The behavior during the thermal degradation of biomass of all treatments was similar, with released energy peaks and sharp weight loss at a certain temperature range (300°C to 400°C). The test of analysis of variance was not significant for the RGC ( $\rho = 0.10794$ ,  $\rho = 0.20618$  and  $\rho = 0.70390$  respectively for type species, crop type and interaction type of species x type of farming). Therefore the yield of charcoal does not differ statistically between the studied treatments. It can be concluded that the types of cultivation did not differ for the production of charcoal as such parameters studied.

**Keywords:** *Acacia mangium*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis*, yield.

## 1. INTRODUÇÃO

A biomassa florestal é uma fonte de energia renovável de grande relevância em termos de sustentabilidade e aquecimento global decorrente do uso de combustíveis fósseis. Essa possui propriedades físico-químicas que permitem o seu uso direto na geração de energia ou a sua transformação em outros tipos de combustíveis, por meio de rotas de conversão energética, como a pirólise lenta para a produção de carvão vegetal. Além da característica renovável, a biomassa possui grande importância por ser considerada uma fonte de energia limpa e geradora de empregos (SOARES *et al.*, 2006).

Os gêneros *Eucalyptus* e *Acacia* são componentes arbóreos utilizados, o primeiro em maior escala, na carbonização para produção de carvão vegetal (ABRAF, 2013). A produção de carvão vegetal se destaca, em função da demanda existente junto ao setor siderúrgico. O Brasil é um grande produtor de aço utilizando o carvão vegetal na redução do minério de ferro (CEMBIO, 2008). Estudos contínuos relacionados à avaliação de matérias-primas para a produção de carvão vegetal, bem como a identificação dos parâmetros que podem influenciar na produção e na qualidade desse biorredutor são necessários.

É importante conhecer a estabilidade térmica da matéria prima que dará origem a fonte secundária, no caso o carvão vegetal, uma vez que expressa a eficiência energética da biomassa. A técnica termogravimétrica é utilizada para avaliar a perda de massa em função da temperatura, quanto menor for a perda de massa, maior é a estabilidade térmica do material e melhor será o seu rendimento. A técnica de termogravimetria garante consistência na escolha de madeiras que resultam em carvões de melhor qualidade e de maiores rendimentos avaliando sua decomposição térmica (CARNEIRO *et al.*, 2013). Tal propriedade pode variar em função de diferenças genéticas entre espécies, porém ainda não se conhece as influências de fatores como o espaçamento de plantio em que as árvores são submetidas e a interação entre elas.

A influência do tipo de cultivo (monocultivos ou consórcios) nas características energéticas da madeira destinada a produção de carvão vegetal é desconhecida. Estudos nesse sentido são necessários para que os produtores de madeira possam optar pelo sistema produtivo mais adequado para obter um produto final de qualidade adequada a utilização pretendida.

Diante disso, o objetivo desse trabalho foi verificar a influência do tipo de cultivo na decomposição térmica da madeira para produção do carvão vegetal produzido a partir da madeira de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e de *Acacia mangium*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em sistema de consórcio do eucalipto híbrido (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) com *Acacia mangium* e em plantio monoespecífico de ambas as espécies, em Montes Claros, Minas Gerais. Foi realizado um delineamento experimental inteiramente casualizado disposto em esquema fatorial 2 x 2, tendo 2 espécies (híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*) e 2 tipos de cultivos (consórcio e monocultivo), totalizando quatro tratamentos. Tratamento 40 1: híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em consórcio com espaçamento 2 m 41 x 10 m. Tratamento 2: *Acacia mangium* em consórcio com espaçamento 2 m x 10 m. Tratamento 3: híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em monocultivo com espaçamento 2 m x 3 m. Tratamento 4: *Acacia mangium* em monocultivo com espaçamento 2 m x 3 m.

Aos 4 anos e 6 meses de idade, foram abatidas 10 árvores de acácia e 10 árvores de eucalipto, obtendo-se 5 repetições por tratamento, totalizando 20 amostras. Foram seccionadas em discos de 30 mm de espessura a 0% da altura comercial da árvore. Após a retirada da casca os discos foram divididos em 4 cunhas, e duas opostas foram utilizadas para as análises laboratoriais.

Para análise termogravimétrica, cinco miligramas de amostra seca de biomassa com granulometria 60 mesh foram levados a ensaio no equipamento (TGA-60, Shimadzu) a temperatura inicial ambiente e final de 1000°C em atmosfera com gás nitrogênio com vazão de 50 ml.min<sup>-1</sup>. Foram geradas curvas termogravimétricas e a partir destas curvas calculou-se a primeira derivada das mesmas para identificação dos picos em que ocorreram perda de massa.

Um forno tipo mufla, foi utilizado para carbonizar as amostras de madeira. Os corpos de prova em formato de cunha foram secos em estufa a 103±2°C. Após a secagem, esses foram colocados em uma cuba dentro de um forno mufla. A madeira foi carbonizada a uma temperatura inicial de 100°C e final de 450°C. A madeira e o carvão foram pesados antes e após a carbonização, com os dados coletados foi calculado o Rendimento Gravimétrico do Carvão (RGC) por meio da equação 1. O MSC corresponde à massa de carvão e MSM corresponde à massa seca de madeira em gramas.

$$RGC = \frac{MSC}{MSM} * 100 \quad (1)$$

Para interpretação dos dados dos rendimentos, foi utilizado o software estatístico R versão 3.0.1 (R Core Team, 2013) por meio dos pacotes estatísticos *ExpDes* (Ferreira et al., 2013) e *stats* (R Core Team, 2013). Foi realizado a análise de variância (ANOVA) a 5% de significância.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 1 e 2 apresentam as curvas termogravimétricas e a derivada dessas curvas para os materiais genéticos dos quatro tratamentos.

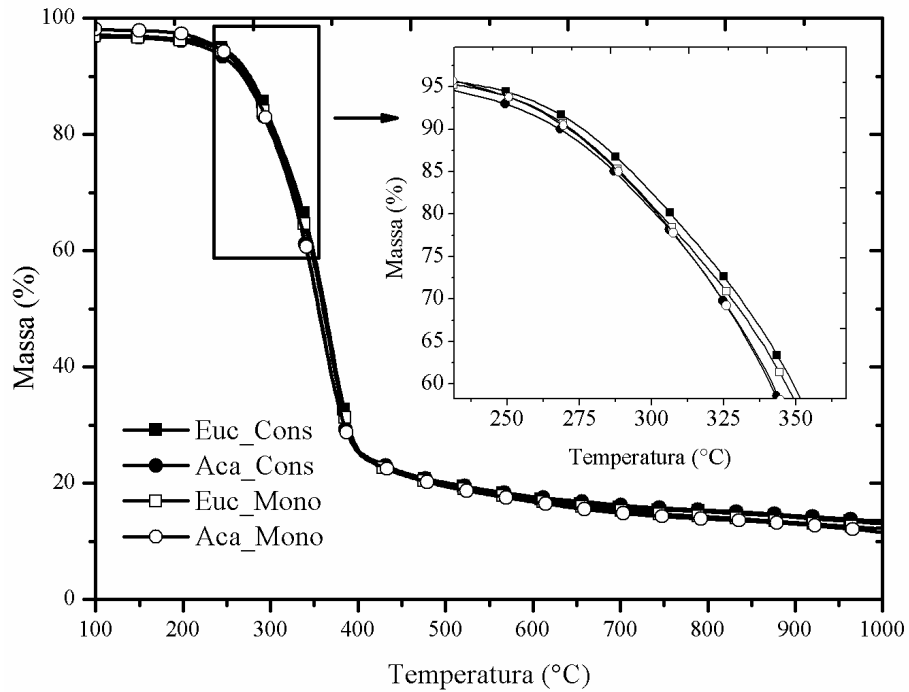


Figura 1. Termogravimetria de todos os tratamentos.

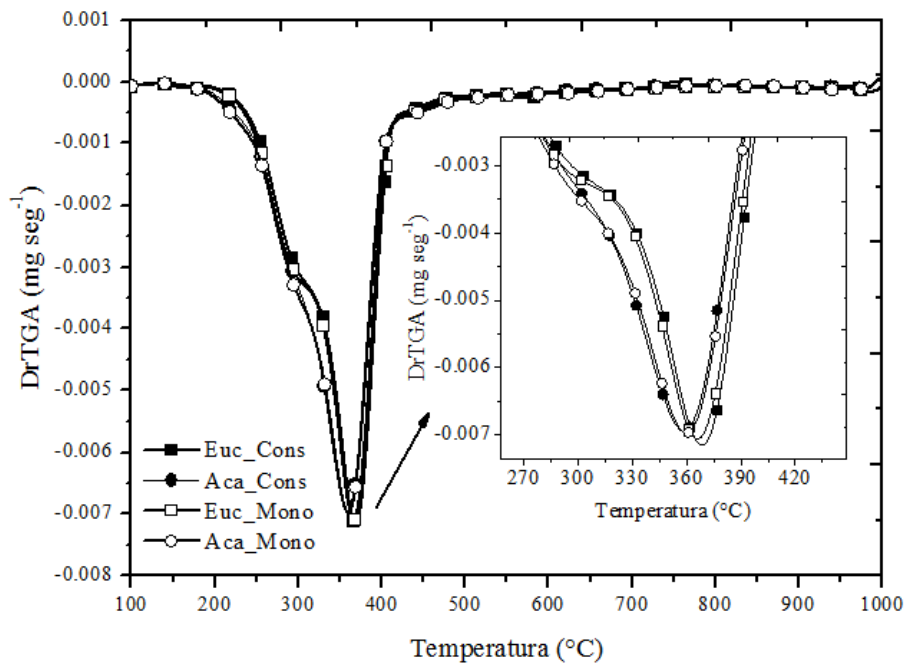
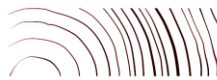


Figura 2. Derivada das curvas termogravimétricas de todos os tratamentos.



As Figuras 1 e 2 mostram que o comportamento das biomassas de todos os tratamentos durante a degradação térmica foi parecido, apresentando picos de energia liberada e perdas de massa acentuadas em determinada faixa de temperatura.

Com base nas Figuras 1 e 2, verifica-se que, os maiores perdas de massa em todos os quatro tratamentos compreende a faixa de temperatura de 300 °C a 400 °C. Santos *et al.* (2012), estudando a degradação térmica de diferentes materiais genéticos de híbridos do gênero *Eucalyptus*, encontraram maior pico de perda de massa na temperatura 380°C, valor compreendido na faixa de temperatura encontrada nesse trabalho. Yang *et al.* (2007), realizaram a pirólise dos componentes químicos da biomassa (celulose, hemicelulose e lignina), e concluiu que na faixa de temperatura 300°C a 400 °C ocorre a maior degradação da celulose, composto o qual é o mais abundante na madeira. Os referidos picos podem ser atribuídos também à degradação das hemiceluloses, com perda de peso, sobretudo na faixa de 220°C a 315°C. Já a lignina, apresenta decomposição térmica mais difícil e com baixa perda de massa, uma vez que sua decomposição ocorre desde o início da carbonização até aproximadamente 900 °C (YANG *et al.*, 2007).

De acordo com a tabela 1, os tipos de cultivo eucalipto em consórcio e eucalipto em monocultivo obtiveram menor perda de massa até a temperatura de 350°C (40% e 42% respectivamente), portanto, em relação aos demais são considerados termicamente mais estáveis. Já os tipos de cultivos acácia em consórcio e acácia em monocultivo foram menos estáveis apresentando maiores perdas de massa (46%), até a temperatura de 350°C. Espera-se maior rendimento em carvão vegetal, quanto mais estável termicamente for a madeira que lhe deu origem em comparação com outros provindos de madeiras menos estáveis (SANTOS *et al.*, 2012).

Tabela 1. Perdas de massa em função da temperatura.

Temperatura ambiente até	350°C	1000°C	
		Perda (%)	Perda (%)
T1_Euc_Consórcio		40	87
T2_Acacia_Consórcio		46	86
T3_Euc_Monocultivo		42	88
T4_Acacia_Monocultivo		46	88

Porém ao analisar a perda total, o tipo de cultivo Acácia em consórcio obteve menor perda de massa total (86%), apresentando melhor estabilidade térmica comparado aos demais tratamentos. Já o Acácia em monocultivo e Eucalipto em monocultivo obtiveram menor estabilidade térmica com maior perda de massa total comparado aos demais tratamentos (88%).

As médias dos parâmetros Rendimento Gravimétrico em Carvão (RGC) foram maiores no tratamento 3 e menores no tratamento 2 (37,16% e 35,39% respectivamente). A Tabela 2 mostra que o teste da análise de variância não foi significativo para o RGC ( $\rho = 99$  0,10794,  $\rho = 0,20618$  e  $\rho = 0,70390$  respectivamente para tipo de espécie, tipo de cultivo e interação tipo de espécie x tipo de cultivo). Portanto, nessas condições experimentais, o carvão produzido não se difere estatisticamente entre os tratamentos estudados em relação a tais variáveis.

Tabela 2. Resumo da ANOVA para o RGC.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio
		RGC
Espécie	1	0,10794 <sup>ns</sup>
Tipo de Cultivo	1	0,20618 <sup>ns</sup>
Espécie*Tipo de cultivo	1	0,70390 <sup>ns</sup>
Erro	16	
C.V%		3,63

<sup>ns</sup>: não significativo a 95% de probabilidade

Devido ao maior aproveitamento da matéria prima nos fornos de carbonização, e consequentemente maior produção de energia, é desejável um elevado rendimento gravimétrico em carvão (NEVES *et al.*, 2011). A média de rendimento em carvão vegetal no Brasil é em torno de 35% (ROSSILO-CALLE; BEZON, 2005), valor próximo ao encontrado nos quatro tratamentos.

Já Costa Junior (2013), avaliando o rendimento gravimétrico em carvão de *Eucalyptus grandis* encontrou 23,47% como valor médio, média inferior às encontradas no presente trabalho. Para uma mesma espécie e dentro de certos limites térmicos, quanto maior a temperatura máxima de carbonização menor é o rendimento gravimétrico em carvão (ANDRADE; CARVALHO, 1998). Fato o qual pode ser o motivo por essa diferença, uma vez que a temperatura final de carbonização do trabalho citado foi a 500°C.

## CONCLUSÃO

Com base no que foi exposto, pode se concluir que os tratamentos exibiram decomposição térmica semelhantes, apresentando essa mesma tendência de rendimento gravimétrico os quais não retrataram diferenças estatísticas significativas. Portanto, os tipos de cultivo não apresentaram diferenças para a produção de carvão vegetal quanto a tais parâmetros.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) por sedar as amostras e apoiar esse trabalho experimental e à Universidade Federal de Lavras (UFLA) pela colaboração na execução das análises. Agradecimento especial ao CNPQ, CAPES e FAPEMIG pela concessão de bolsas de estudo e recursos para aquisição dos equipamentos utilizados.

## REFERÊNCIAS

TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; MORI, F. A. M.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; MENDES, L. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. CERNE, v.11, n.2, p.178-186, 2005.



ANDRADE, A. M.; CARVALHO, L. M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro. *Floresta e Ambiente*, v.5, n.1p. 24-42, 1998. Disponível em: <[http://www.if.ufrj.br/biolig/art\\_citados/Potencialidades%20energ%C3%A9ticas%20de%20oito%20esp%C3%A9cies%20florestais%20do%20estado%20do%20Rio%20de%20Janeiro.pdf](http://www.if.ufrj.br/biolig/art_citados/Potencialidades%20energ%C3%A9ticas%20de%20oito%20esp%C3%A9cies%20florestais%20do%20estado%20do%20Rio%20de%20Janeiro.pdf)>. Acessado em: 15 Maio 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). ANUÁRIO estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012. Brasília, DF: ABRAF, 2013. 146p. Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3910>>. Acessado em: 15 Maio 2015.

CARNEIRO, A. C. O.; SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; CASTRO, A. F. N. M.; PIMENTA, A. S.; PINTO, E. M.; ALVES, I. C. N. Estudo da decomposição térmica da madeira de oito espécies da região do Seridó, Rio Grande do Norte. *Revista Árvore*, v. 37, p. 1153-1163, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v37n6/17.pdf>>. Acessado em: 20 Maio 2015.

CEMBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa (Brasil). Nota técnica sobre carvão vegetal: Aspectos, Sócias, Ambientais e Econômicos. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/samuelloliveira/disciplinas/tecnologia-de-fabricacao-de-biocombustiveis/biomassa-energetica/apostila-carvao-vegetal-aspectos-tecnicos-sociais-ambientais-e-economicos>>. Acessado em: 18 Maio 2015.

NEVES, T. A. ; PROTÁSIO, T. P. ; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 31, p. 319-330, 2011. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/275/231>>. Acessado em: 15 Maio 2015.

ROSILLO-CALLE, F.; BEZZON, G. Produção e uso industriais do carvão vegetal. In: ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. *Uso da biomassa para a produção de energia na indústria brasileira*. Campinas, SP: Unicamp, 2005. 447 p.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M.; Carvalho, A.M.M.L.. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para produção de carvão vegetal. *CERNE (UFLA)*, v.18, p.143-151, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cerne/v18n1/17.pdf>>. Acessado em: 20 Maio 2015.

SOARES, T. S.; CARNEIRO, A. C. O.; GONÇALVES, E. O.; LELLIS, J. G. Uso da biomassa florestal na geração de energia. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal*, v. 8, p. 1-9, 2006. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/florestal1\\_000gapwcajw02wx5ok04xjloyxd3fpu2.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/florestal1_000gapwcajw02wx5ok04xjloyxd3fpu2.pdf)>. Acessado em: 19 Maio 2015.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, v.86, p.1781-1788, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001623610600490X>>. Acessado em: 20 Maio 2015.