



QUALIDADE DA MADEIRA E CARVÃO VEGETAL DE *Tabebuia aurea* PROVENIENTES DE CIDADES DE MINAS GERAIS

Nayara dos Santos de Souza¹, Antonia Jayne Farias da Silva², Talita Baldin²

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, Brasil
(souzass.nayara@gmail.com)

²Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, Brasil

Resumo: Objetivou-se avaliar a qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Tabebuia aurea*. O carvão vegetal foi produzido em forno mufla a partir de madeira de *T. aurea* proveniente de Salinas e Brasilândia. Verificou-se diferenças nas propriedades da madeira e do carvão vegetal de *T. aurea* em função da origem da madeira. A espécie apresenta densidade básica da madeira adequada para produção de carvão. O carvão vegetal obtido da madeira de Brasilândia apresentou maior rendimento gravimétrico (37,055%) e maior densidade aparente (381,0 Kg/m³) comparado com amostras de Salinas

Palavras-chave: Cerrado; Ipê amarelo; Biomassa; Carbonização; Rendimento gravimétrico

INTRODUÇÃO

Como forma de diminuir o desmatamento e ao mesmo tempo suprir a demanda de madeira, começou-se a pensar em florestas plantadas. Em 1903, o engenheiro agrônomo Edmundo Navarro de Andrade, trouxe mudas de *Eucalyptus* spp. de Coimbra-Portugal, com o propósito de servir aos plantios de dormentes de estradas de ferro. Cinquenta e três anos mais tarde, seria a vez do *Pinus* spp., onde uma espécie se viu mais adaptada para a região Sudeste e a outra mais para a região Sul, respectivamente (SNIF, 2020).

Mas foi no início dos anos 1960, com a ajuda do governo pela lei de incentivos fiscais, que o Brasil começou a plantar em larga escala. Foram plantadas algumas espécies dos gêneros (*Eucalyptus* e *Pinus*), que depois de muitos estudos, fora constatado que seu sucesso se dá através da boa adaptação às variáveis condições ambientais brasileiras, crescimento rápido, elevada produtividade, adequação da matéria-prima ao produto, entre outras. Foram também distribuídos exemplares e técnicas silviculturais entre pequenos, médios e grandes produtores (EMBRAPA, 2021).

O setor florestal brasileiro, caracteriza-se por sua enorme diversidade de segmentos, tais como Celulose e Papel, Carvão Vegetal, Madeira Processada Mecanicamente, Biomassa, Siderurgia, entre outros. Participando desde o processo de produção, passando pela colheita até o transporte final do produto (ABRAF, 2013). De acordo com os dados da FAO (2015 apud Cunha, 2019), no Brasil, há aproximadamente 500 milhões de hectares de

florestas naturais e plantadas, o que corresponde a 59% de seu território, fazendo com que nosso país seja o segundo maior em área de florestas do mundo, ficando atrás apenas da Rússia.

Atualmente, temos cerca de 9,55 milhões de hectares (ha) para cultivos industriais (7,4 milhões de ha destinados a plantio de eucalipto, 1,8 milhões de ha destinados a produção de pinus e 354 mil ha à outras espécies) e 6 milhões de hectares para conservação. Esses números nos mostram, como nosso país é uma das referências mundiais na produção de papel e celulose, laminados de diversos tipos, além de carvão vegetal, e de produtos para uso doméstico como desinfetantes, vernizes, colas, tintas, vários tipos de papel como higiênicos, toalha, para impressão, entre outros (IBÁ, 2021 e IBGE, 2020).

A indústria da siderurgia é bastante ativa no país, utilizando de carvão vegetal para a alimentação de seus fornos para a produção de aço, ferro-gusa entre outros. O estado de Minas Gerais, detém a maior área de florestas plantadas o que fez com que a área de siderurgia fosse difundida. A partir de estudos, viu-se que a qualidade do carvão vegetal que a indústria da siderurgia busca, é aquela que possui relação direta com as características essenciais da madeira e do controle do processo de carbonização. Elevado valor de densidade da madeira, alta concentração de lignina e de extrativos, baixo teor de minerais e fibras com parede celular mais espessa e de menor largura, são os itens mais desejáveis dentro desse ramo (Picancio et al., 2018).

Ainda de acordo com Picancio (et al., 2018), com relação ao processo de produção fatores como a



temperatura, taxa de aquecimento e pressão são os que exigem mais controle e monitoramento. Estas propriedades, entretanto, são afetadas por diferentes fatores como o genótipo, ambiente, interação genótipo x ambiente, além da idade. Dessa maneira, a caracterização da madeira e do carvão vegetal produzidos de diferentes procedências é importante, para, além de conhecer o potencial produtivo, entender as influências do ambiente sobre as propriedades da madeira e do carvão vegetal.

Além disso, a diversificação da matéria prima para produção de carvão a partir do uso de espécies nativas pode ser uma alternativa para o futuro, visando suprir a demanda crescente por fontes energéticas renováveis, como o carvão vegetal, além de promover desenvolvimento regional e o uso sustentável das espécies nativas. O cerrado é um ambiente muito diverso. Dentre as espécies que fazem parte desse bioma está o Ipê amarelo (*Tabebuia aurea*), espécie com múltiplos usos, no entanto há escassez de informações sobre seu potencial de uso para produção de carvão.

Em virtude da utilização diversa da madeira e da carência de informações sobre a vegetação da Cerrado torna-se evidente a importância dos conhecimentos relativos às características da madeira e do carvão. Essas informações serão úteis para averiguar o potencial de uso da espécie como fonte de biomassa energética e ajudarão subsidiar planos de manejo sustentáveis adequados para as espécies. Em razão dessa importância, esse trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da madeira e do carvão vegetal de *T. aurea* procedente de duas cidades mineiras

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal

O material utilizado foi oriundo de árvores de Ipê amarelo (*Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore) localizadas em duas cidades distintas de Minas Gerais (Salinas e Brasilândia), situadas no Cerrado. Discos foram coletados das árvores na região da altura do peito (1,3 m do solo). Cada disco foi subdividido em quatro cunhas, sendo uma destinada para determinação da densidade básica da madeira e as outras três que foram destinadas à carbonização em mufla.

Salinas

O material foi coletado de uma árvore de 6,59 m de altura e 16,64 centímetros de DAP. O clima da cidade é classificado como semiárido (BSh), de acordo com a classificação de Köppen, onde a precipitação média anual é de 716 mm, com

temperatura média anual de 23,6°C (Climate-data, 2022).

Brasilândia

O material foi coletado de uma árvore de 9,71m de altura e 20,75 centímetros de DAP. A cidade apresenta clima tropical, com inverno seco (Aw), de acordo com a classificação de Köppen, onde a precipitação média anual é de 1046 mm, com temperatura média anual de 24,7°C (Climate-data, 2022).

Caracterização da madeira

A densidade básica da madeira foi determinada pelo método de imersão, conforme a norma NBR 11941 (ABNT, 2003). A massa seca das amostras foi determinada com o auxílio de uma balança analítica de precisão (0,1g) e os volumes determinados através do método de pesagem baseado no princípio de Arquimedes.

Para isso, os corpos de provas, cada um representando uma localidade, foram mantidos em recipiente com água por 15 dias para atingir a saturação máxima. O método baseia-se no princípio de Arquimedes onde a perda aparente de peso de um corpo imerso em um líquido é igual ao peso líquido deslocado. O empuxo sofrido pela amostra de madeira é igual ao produto de seu volume pela densidade do líquido. Como a água apresenta densidade de 1,0 g/cm³, conclui-se que a diferença de peso indicada na balança corresponde ao volume da amostra.

O procedimento realizado consistiu em adicionar água num frasco e em seguida imergir inteiramente a amostra saturada na água contida no frasco. Depois, obteve-se a diferença de peso indicada pela balança hidrostática. Durante as pesagens das amostras imersas, tomou-se o cuidado para evitar contatos destas com a parede lateral e o fundo do frasco, através de um dispositivo que a manteve suspensa. A seguir, as amostras foram levadas para estufa a 103 ± 2°C durante até a obtenção de massa constante, que foi atingida após 14 dias em estufa.

A densidade básica foi obtida utilizando a fórmula:

$$D_b = P_{ms} / V_{ad} \quad (1)$$

Em que:

D_b = densidade básica da madeira (g/cm³);

P_{ms} = peso da madeira absolutamente seca (g);

V_{ad} = volume água deslocado representada pela diferença de peso da madeira devido ao empuxo (cm³)



Análise anatômica

Foi feito a nível de espécie, a avaliação anatômica das fibras da madeira. Para isso, lâminas de macerado foram confeccionadas. Cavacos de madeira usados para determinação do teor de umidade da madeira foram utilizados nesta análise. Pequenos fragmentos foram retirados dos cavacos com auxílio de uma lâmina. Os fragmentos foram imersos em solução macerante adaptada de Franklin (1945), a qual é composta de 50 % de ácido acético glacial, 58% de peróxido de hidrogênio e 12 % de água destilada. O eppendorf contendo fragmentos da madeira e a solução foram levados à estufa com temperatura de 50 ° C por 24 horas para o amolecimento do material.

Após esse período, o material foi retirado da estufa e transferidos para um béquer, onde, com auxílio de um bastão de vidro, procedeu-se a maceração realizando a fricção do material. Quando se atingiu um nível de maceração aceitável, onde as fibras estavam desagregadas entre si, o macerado foi lavado em água destilada e filtrado com uso de papel filtro. Em seguida, foi feita a coloração das fibras com uso do corante Safranina.

Posteriormente, procedeu-se à montagem das lâminas permanentes, onde uma quantidade pequena de fibras foi coletada com auxílio de um bastão com uma haste metálica e colocado na lâmina, sendo o Entelham usado como meio de montagem. Por fim, foi feita a visualização das lâminas no microscópio ótico, e medição das fibras. A câmera acoplada ao microscópio foi usada para obtenção das fotomicrografias. O software nativo do microscópio permitiu a medição das variáveis comprimento e diâmetro da célula e do lume das fibras, e a espessura da parede das fibras.

Foram medidas 25 fibras ao total da seguinte forma:

Comprimento da fibra (μm) = distância de uma extremidade à outra da célula, visto com aumento de 10x

Diâmetro da célula (μm) = distância de um lado ao outro da célula, tomado na região mediana do comprimento da fibra, visto com aumento de 40x

Diâmetro do lume (μm) = distância de uma parede celular à outra, tomado na região mediana do comprimento da fibra, visto com aumento de 40x

Espessura da parede (μm) = [(Diâmetro da célula - Diâmetro do lume) / 2]

Carbonização da madeira

Três cunhas de madeira de cada local foram usadas para esse procedimento. Antes da carbonização, um cavaco de madeira de cada localidade foi retirado para determinação do teor de umidade da madeira e

análise anatômica. A carbonização das amostras de madeira foi realizada utilizando-se uma mufla adaptada para a produção de carvão vegetal com recolhimento dos gases condensáveis.

O controle de aquecimento foi feito manualmente, com incrementos de temperatura, conforme a rampa de aquecimento apresentada na tabela 1, que corresponde a uma taxa de aquecimento média de 1, 25°C/min. A temperatura inicial foi de 150 °C e a temperatura final de 450 °C, e o tempo de carbonização foi de 4 horas

Tabela 1. Rampa de aquecimento

Temperatura (°C)	Tempo de aquecimento (minutos)
150	30
200	45
250	60
350	60
450	45

Durante a carbonização o licor pirolenhoso foi sendo coletado em um kitasato, previamente tratado, o sistema de condensação foi conectado. Após o término da carbonização o recipiente foi deixado em resfriamento à temperatura por 15 horas, sendo vedado o orifício da mufla para não entrar oxigênio, evitando assim uma possível combustão do material. O kitasato com o licor pirolenhoso foi pesado para obtenção do rendimento em líquidos condensados.

Caracterização do carvão vegetal

Para caracterização do carvão vegetal foram analisados: o teor de umidade do carvão; a densidade aparente pela adaptação da NBR 11941 (ABNT, 2003). Os rendimentos gravimétricos de carvão vegetal, e líquido pirolenhoso. O teor de umidade do carvão e da madeira foram determinados com uso de uma balança determinadora de umidade, que utiliza infravermelho.

A densidade aparente do carvão foi feita da seguinte forma: O carvão utilizado foi previamente pesado e colocado cuidadosamente no cesto de arame. O cesto foi mergulhado no galão contendo água à temperatura ambiente, onde permaneceu durante 15 minutos. Decorrendo este tempo abriu-se o orifício do galão recolhendo-se, assim, a água deslocada. Após a retirada do cesto de dentro d'água, para que o excesso de água escorresse, foi deixado em repouso por 1 - 2 minutos. Em seguida, o carvão umedecido e a água deslocada foram medidos.

Os cálculos da densidade aparente foram feitos a partir da fórmula:



$$Da = Pcs / [Pad +(Pcm - Pcs)] \quad (2)$$

Em que:

Da = densidade relativa aparentemente do carvão (Kg/m³)

Pcs= peso do carvão após passar pelo dessecador (Kg)

Pad = peso da água deslocada do galão pelo cesto + carvão, que representa o volume (m)

Pcm = peso do carvão molhado (Kg)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da madeira

A densidade básica da madeira *T. aurea* apresentou valores diferentes de acordo com a localidade (figura 1). Os valores encontrados para as amostras de Salinas neste estudo estão de acordo com os valores que Vitorio (2013) encontrou para a espécie em vegetação da Caatinga na Paraíba (0,527 g/cm³).

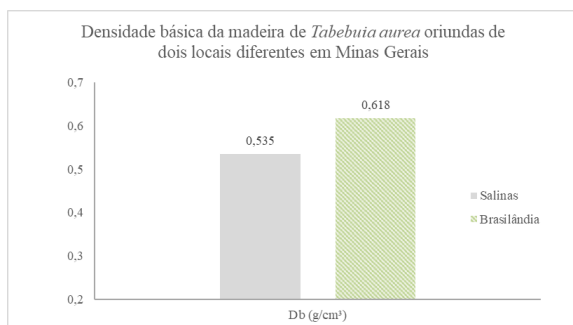


Figura 1. Densidade básica da madeira.

A madeira proveniente da cidade de Brasilândia apresentou maior densidade básica. A diferença de densidade básica nas duas localidades pode ter relação com o clima da região. Brasilândia está situada em uma região caracterizada como de semiárido, enquanto Salinas está em uma região tropical. Locais mais secos ou com períodos de estiagem longos tendem a apresentar madeira com maior densidade em função da maior formação de lenho tardio nas épocas de menor pluviosidade.

Outro fator que pode ter relação com essa diferença diz respeito à idade das árvores em que as amostras foram coletadas, como trata-se de espécies nativas vegetação natural, a idade é desconhecida. Porém, de maneira geral, com o aumento da idade verifica-se o aumento da densidade da madeira, em função da maior proporção de lenho adulto em função do lenho juvenil. Pode ser que a amostra de Brasilândia seja oriunda de um indivíduo mais velho que aquele coletado em Salinas.

A densidade básica da madeira é um importante parâmetro para a identificação de espécies com potencial para fornecer matéria prima para produção de carvão. Maiores densidades básicas estão relacionadas com maiores rendimentos gravimétricos e com a densidade aparente do carvão. Densidades muito elevadas não são desejadas para a produção de carvão, devido causar problemas de desuniformidade e maior gasto de energia no momento da produção. Considerando apenas a densidade básica da madeira, a espécie possui potencial para produção de carvão vegetal de acordo com o recomendado por Santos et al. (2011). Dessa maneira, a densidade básica da espécie nas duas localidades pode ser considerada adequada para a produção de carvão, sendo mais adequada para a produção de carvão, a madeira proveniente de Brasilândia.

Análise anatômica

Os dados relacionados à dimensão das fibras de *Tabebuia aurea* estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Valores médios do dimensionamento das fibras de *Tabebuia aurea*

Parâmetro	Tamanho (µm)
Comprimento da Fibra	819,6309
Diâmetro da célula	16,5921
Diâmetro do Lume	10,4440
Espessura parede	3,0740

Os valores encontrados mostram que a espécie possui fibras relativamente longas (Figura 2). A espessura da parede pode ser considerada mediana, quando comparado com a espessura da parede de *Eucalyptus spp. Eucalyptus grandis x urophylla*, espécie bastante utilizada para produção de carvão vegetal apresenta fibras de 6,1 µm e espessura (Brisolal e Demarco, 2011). Fibras com paredes espessas são importantes na qualidade do carvão, dado que a camada S2 da parede celular apresenta maior teor de lignina, composto da madeira com maior poder calorífico.



Figura 2. Representação de uma fibra da madeira de *Tabebuia aurea*

Caracterização do carvão vegetal

A densidade aparente do carvão para a espécie foi de 381,0 Kg/m³. Esse valor pode ser considerado satisfatório, em comparação com valores descritos para espécies de eucalipto. Os valores médios dos



parâmetros do carvão para as duas localidades estão apresentados na tabela 4. O rendimento total do licor pirolenhoso, desconsiderando a localidade, foi de 33,28 %.

Tabela 4. Valores médios para os parâmetros de umidade e rendimento gravimétrico do carvão

Parâmetro	Salinas	Brasilândia
Umidade do carvão (%)	1,99	1,87
Rendimento gravimétrico (%)	27,43	37,05

O rendimento gravimétrico do carvão vegetal foi maior para amostras de madeira provenientes da cidade de Brasilândia (Figura 3)

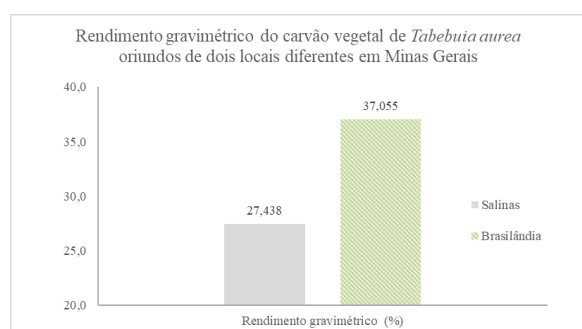


Figura 3. Rendimento gravimétrico médio do carvão vegetal

O menor rendimento gravimétrico observado para amostras provenientes de Salinas pode ser explicado pela menor densidade básica da madeira da mesma, uma vez que as duas variáveis são altamente correlacionadas. O rendimento gravimétrico médio para amostras de Brasilândia foi de 37,055%, valor superior aos valores encontrados por Costa et al (2014) ao trabalhar com espécies nativas do cerrado - *Casearia sylvestris* (33,08%), *Guazuma ulmifolia* (31,38%), *Rapanea ferruginea* (30,88%), *Luehea divaricata* (34,39%) - o que demonstra o potencial da espécie para produção de carvão vegetal. *Handroanthus impetiginosus* apresentou rendimento gravimétrico de 37,90 % (Medeiros Neto et al, 2012), valor semelhante ao encontrado neste estudo para amostras de Brasilândia

CONCLUSÃO

A espécie *Tabebuia aurea* apresenta densidade básica da madeira considerada adequada para produção de carvão. As fibras da madeira são longas (819,630 μm), e a espessura da parede é mediana (3,074 μm). O carvão vegetal obtido a partir de madeira oriunda da cidade de Brasilândia apresentou maior rendimento gravimétrico (37,055%) e maior densidade aparente (381,0 Kg/m^3) comparada com amostras provenientes de Salinas em Minas Gerais.

AGRADECIMENTOS

Programa de Educação Tutorial pela bolsa concedida à primeira autora

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 11941. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Determinação da densidade básica da madeira. 2003

ABRAF. Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012. 2013. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3910>. Acesso em 02 julho 2022.

Brisolal, s. H., Demarco, D. Análise anatômica do caule de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. grandis x urophylla*: desenvolvimento da madeira e sua importância para a indústria Stem anatomical analysis of *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* and *E. grandis x urophylla*: wood development and its industrial importance. *Scientia Forestalis*, 39, 317-330, 2011.

Climate data. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/>. Acesso em 20 de junho de 2022

Costa, T. G., Bianchi, M. L., Protásio, T. D. P., Trugilho, P. F., Pereira, A. J. Qualidade da madeira De cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. *Cerne*, 20, 37-46, 2014.

Cunha, G. T., Lopes, I., Oliveira, R., Páscoa, K. J., & Gomide, L. Panorama do setor florestal brasileiro com ênfase no estado de minas gerais. *Enciclopédia biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, 16, 1582. 2019.

EMBRAPA. Contribuições das pesquisas com eucaliptos para a expansão de fronteiras das florestas plantadas brasileiras. In: Oliveira, E. B. de; Pinto Junior, J. E. (Ed.). *O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento*. Brasília, DF: Embrapa, 395-494, 2021.

Franklin, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature*, 155,51-51, 1945.

IBÁ. Relatório Anual IBÁ. 2021. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>. Acesso em 20 junho 2022.

IBGE. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2020. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2020_v35_informativo.pdf. Acesso em 20 junho 2022.

Medeiros Neto, P. N. D., Oliveira, E. D., Calegari, L., Almeida, A. M. C. D., Pimenta, A. S., Carneiro, A. D. C. O. Características físico-químicas e energéticas de duas espécies de ocorrência no semiárido brasileiro. *Ciência Florestal*, 22,579-588, 2012.



Picancio, A. C. S., Isbaex, C., da Silva, M. L., Salles, T. T., Rêgo, L. J. S., da Silva, L. F.. Controle do processo de produção de carvão vegetal para siderurgia. Caderno de Administração, 12, 1-17, 2018.

Santos, R. C., Carneiro, A. D. C. O., Castro, A. F. M., Castro, R. V. O., Bianche, J. J., de Souza, M. M., & Cardoso. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. Scientia Forestalis, 39, 221-230, 2011.

SNIF. Florestas Plantadas. 2020. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/pt-br/florestas-plantadas>. Acesso em 14 julho 2022.

Vitorio, L. A. P. Densidade da madeira de espécies da Caatinga. Trabalho de Conclusão de Curso– Graduação em Ciências Biológicas. Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. Campina Grande: UEPB. 2013