

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO CARVÃO DE ESPÉCIES NATIVAS E EXÓTICAS COMERCIAIS

Ana Carolina Limiro da Silva^{1*}; Magda Cardoso de Oliveira Martins¹; Camila Martins de Sousa¹; Ryan Rodrigues da Silva¹; Macksuel Fernandes da Silva¹

¹Setor de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia/GO, Brasil.

*e-mail do autor correspondente: anaclimiro@gmail.com

Resumo: Em função da sua qualidade como combustível e redutor, o carvão vegetal é considerado um dos principais insumos da indústria siderúrgica brasileira. Sendo assim, é necessário que esta matéria-prima possua alta qualidade, incluindo elevada resistência mecânica, característica altamente variável e dependente do processo produtivo e da madeira de origem. O presente estudo objetivou a caracterização mecânica do carvão proveniente de três espécies nativas, popularmente conhecidas como Angelim, Cumaru e Tauari, e duas exóticas (Eucalipto e Pinus). Para a realização do estudo foram obtidos 6 corpos-de-prova de cada espécie, com exceção do Tauari, que totalizou 5 amostras. A carbonização das amostras foi realizada no Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia (LQMBio) e os testes de resistência no Laboratório Multiusuário de Análises (LabMulti), ambos da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (UFG), seguindo os parâmetros estabelecidos pela NBR 7222:201. Foi realizada a caracterização do carvão quanto a sua resistência normal as fibras, obtendo-se os valores médios 65,36; 34,05; 47,39; 15,45 e 70,21 Megapascal (Mpa), para Angelim, Cumaru, Tauari, Eucalipto e Pinus, respectivamente. Os valores de resistência paralela as fibras médios, foram de 656,22; 571,89; 272,59; 331,60; 84,54 MPa, na mesma ordem citada anteriormente.

Palavras-chave: Termorredução, carbonização, madeira, siderurgia.

MECHANICAL CHARACTERIZATION OF COAL FROM NATIVE AND EXOTIC COMMERCIAL SPECIES

Abstract: Due to its quality as a fuel and reducer, charcoal is considered one of the main inputs of the Brazilian steel industry. Therefore, it is necessary that this raw material has high quality, including high mechanical resistance, a highly variable characteristic and dependent on the production process and the wood of origin. The present study aimed at the mechanical characterization of coal from three native species, popularly known as Angelim, Cumaru and Tauari, and two exotic species (Eucalyptus and Pinus). To carry out the study, 6 specimens of each species were obtained, with the exception of Tauari, which totaled 5 samples. The carbonization of

the samples was carried out at the Wood Quality and Bioenergy Laboratory (LQMBio) and the resistance tests at the Multiuser Analysis Laboratory (LabMulti), both at the School of Agronomy at the Federal University of Goiás (UFG). Charcoal was characterized in terms of its normal strength to fibers, obtaining average values of 65.36; 34.05; 47.39; 15.45 and 70.21 Megapascal (Mpa), for Angelim, Cumaru, Tauari, Eucalyptus and Pinus, respectively. The values of resistance parallel to the average fibers were 656.22; 571.89; 272.59; 331.60; 84.54 MPa, in the same order mentioned above.

Keywords: Thermoreduction, carbonization, wood, siderurgy.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de carvão vegetal, sendo responsável por aproximadamente 12% da produção mundial [1;7]. Do total produzido, mais de 98% (4,19 milhões de toneladas) é destinado ao abastecimento do mercado interno, sendo os setores de ferro-gusa, aço e ferro-ligas os principais responsáveis por este consumo, que se concentra na região Sudeste, com destaque para Minas Gerais que utiliza 45,8% da matéria-prima [5;7]. Um percentual menor é direcionado a indústria cimenteira, ao uso comercial em padarias e churrascarias e ao uso doméstico [10].

O carvão vegetal é considerado um dos principais insumos da indústria siderúrgica brasileira em função da sua qualidade como combustível e redutor, além de seu elevado grau de pureza e baixo poder poluidor em relação a outros materiais termorreductores, fornecendo assim, carbono e energia para a redução do minério de ferro, além de atuar como estrutura de sustentação da carga de minério [10;7]. Em função da importância do carvão vegetal nos processos industriais é necessário que este possua boa qualidade, característica ligada ao processo de carbonização, e as propriedades da madeira e da espécie de origem. No Brasil, em 2020, 94% da produção de carvão foi baseada em florestas plantadas, composto majoritariamente por espécies do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*, e cerca de 6% oriunda de floresta nativa [10;7;8]. Nesta perspectiva, o presente trabalho visa efetuar a caracterização mecânica do carvão vegetal proveniente da madeira de espécies comerciais nativas e exóticas, como subsídio para a determinação da qualidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do estudo foram obtidos seis corpos-de-prova de Angelim, Cumaru, Eucalipto e Pinus, e cinco de Tauari, posteriormente identificados como AV*, Y, EUC e P, na devida ordem, em madeiras da região metropolitana de Goiânia/GO. As dimensões dos corpos-de-prova foram de 2cm x 3cm x 5cm no sentido tangencial, radial e longitudinal, respectivamente.

O processo de carbonização foi realizado no Laboratório de Qualidade da Madeira e Bioenergia (LQMBio) da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (UFG), onde as amostras foram inicialmente secas em estufa a 103°C e posteriormente carbonizadas em forno mufla elétrico, modelo Linn Elektro Therm. A carbonização ocorreu numa taxa de aquecimento de 1,67 °C min⁻¹ e temperatura final de 450°C, com permanência de 30 minutos na temperatura final.

Os ensaios de resistência a compressão foram realizados no Laboratório Multiusuário de Análises (LabMulti) da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás (UFG), com a utilização de uma Máquina Universal Instron 3367, com célula de carga de 30 KN e velocidade constante de 3mm/min, mediante adaptação das diretrizes apresentadas na NBR 7222:2011. As amostras enumeradas de 1 a 3 foram destinadas a obtenção da resistência normal (f), e as enumeradas de 4 a 6, ao teste de resistência paralela (f), dessa forma, três repetições foram realizadas e utilizadas na obtenção dos valores médios. As definições e os cálculos referentes aos ensaios de compressão são descritos na [2].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de resistência a compressão normal e paralela as fibras são demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios de resistência a compressão normal e paralela as fibras encontradas nos ensaios.

Espécie	Resistência a compressão (Mpa)	
	Normal (f)	Paralela (f)
Angelim	65,36 a	656,22 A
Cumaru	34,05 a	571,89 A
Tauari	47,39 a	272,59 AB
Eucalipto	15,45 b	331,60 A
Pinus	70,21 a	84,54 B

Valores médios seguidos da mesma letra não apresentam diferença estatística significativa segundo o Teste de Dunn, ao nível de 5% de significância.

Verificou-se pelo Teste de Dunn que não houve diferença entre os valores médios encontrados de resistência a compressão normal às fibras entre as espécies Angelim, Cumaru, Tauari e Eucalipto, que demonstraram-se menos resistentes do que o Pinus. O melhor desempenho da espécie exótica é resultado de sua composição anatômica, constituída majoritariamente por traqueídes, que desempenham a função de sustentação e condução de água e nutrientes e tendo maior coeficiente de flexibilidade, parede celular menos espessa e maior comprimento, em relação as fibras, propriedade inversamente proporcional ao grau de colapso dos corpos de prova durante o

ensaio [4;11].

No que tange compressão paralela as fibras, também não houve diferença significativa entre as espécies Angelim, Cumaru, Tauari e Eucalipto, que obtiveram resultados superiores ao do Pinus. De maneira geral, a resistência mecânica do carvão vegetal, principalmente na compressão paralela as fibras, possui relação com a densidade da madeira que o origina, que por sua vez é influenciada por uma série de fatores, como sua composição anatômica [10]. As espécies acima citadas, com médias superiores, são majoritariamente compostas por fibras, responsáveis pela sustentação, e com paredes celulares mais espessas, conferindo assim, uma maior densidade.

A resistência mecânica do carvão vegetal, como um todo é pertinente para a determinação de sua qualidade, todavia a compressão paralela as fibras, se destaca como um fator de extrema importância interferindo em sua eficiência como termorreductor do minério de ferro, sendo que, quanto maior a resistência e rigidez da matéria-prima, maior será sua capacidade de sustentar o leito no interior do alto forno siderúrgico e menor serão as perdas por friabilidade [10].

Além disso, o comportamento da madeira é variável de acordo com a direção da aplicação da força, sendo que, de maneira geral, na compressão paralela as fibras, como ela age na mesma direção das fibras da madeira, a resistência encontrada tende a ser maior [9]. Este fato pode ser observado na Tabela 2, que indica a variação (%), na resistência da madeira de acordo com a direção do ensaio.

Tabela 2. Variação (%) da resistência paralela as fibras quando comparada com a normal.

Espécie	Aumento (%) observado
Angelim	904,05
Cumaru	1579,44
Tauari	475,21
Eucalipto	2046,09
Pinus	20,41

4. CONCLUSÃO

O carvão vegetal proveniente das espécies Angelim, Cumaru, Tauari e Eucalipto apresentam uma qualidade superior, principalmente em função da maior resistência a compressão paralela as fibras, podendo assim, serem destinados à siderurgia. Fato não observado para as amostras provenientes de Pinus, que apesar de apresentarem uma resistência a compressão normal as fibras elevadas em relação as demais espécies, demonstrou-se menos resistente nos ensaios de compressão paralela as fibras, podendo comprometer a eficiência dos processos de termorredução na indústria

siderúrgica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Albuquerque A. R. Anatomia comparada do lenho e do carvão aplicada na identificação de 75 espécies da Floresta Amazônica, no Estado do Pará, Brasil. 2012. 249 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7190: cálculo e execução de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1982. 22p.
- [3] Figueiró, C. G.; Carneiro, A. C. O; Santos, G. R.; Souza Carneiro, A. P.; Fialho, L. F.; Magalhães, M. A.; Silva, C. M. S.; Castro, V. R. Caracterização do carvão vegetal produzido em fornos retangulares industriais. Rev. Bras. de Cienc. Agrar. 2019; Recife, v.14, n.3, e5659.
- [4] Flogiatto, M. M. qualidade da madeira de *cryptomeria japonica* para produção de polpa celulósica. 2018. 49 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2018.
- [5] Fortaleza, A. P.; Nascimento Filho, J. J. P.; Ceretta, P. S.; Barros, D. S.; Silva, S. S. Biomassa de espécies florestais para produção de carvão vegetal. Ci. Fl. 2019; Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1436-1451.
- [6] INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre madeiras. Disponível em: https://www.ipt.br/informacoes_madeiras/7-pinus.htm. Acesso em: 19/08/2022.
- [7] Loureiro, B. A.; Assis, M. R.; Melo, I. C. N. A; Oliveira A. F. F.; Trugilho P.F. Rendimento gravimétrico da carbonização e caracterização qualitativa do carvão vegetal em clones de híbridos de *Corymbia* spp para uso industrial. Ci. Fl. 2021; Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 214-232.
- [8] Relatório Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) 2021.
- [9] Silva, R. C.; Marchesan, R.; Fonseca, M. R.; Dias, A. C. C.; Viana, L. C. Influência da temperatura final de carbonização nas características do carvão vegetal de espécies tropicais. *Pesq. flor. bras.* 2018; Colombo, v.38, e201801573, p. 1-10.
- [10] Soares, J. D. Parâmetros para determinar a resistência mecânica de carvão vegetal em prensa hidráulica. 2018. 45 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.
- [11] Zegarra, B. E V. Caracterização da estrutura anatômica e da densidade do lenho de árvores de *Pinus taeda* e efeitos nas propriedades tecnológicas dos painéis OSB. 2011. 121 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.