



PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO

PROJETO BRA/14/G31 – Siderurgia Sustentável

PRODUTO 07

JOF – 1069/2019

Convocação 001/2018

LICITANTE: Instituto de Ciências Agrárias – ICA/UFMG

Montes Claros, 03/2020

Sumário

1. RESUMO EXPLICATIVO DO PRODUTO.....	3
2. CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS.....	3
3. COMPRA DE REAGENTES E MATERIAL DE LABORATÓRIO PARA TESTES DE MATÉRIA-PRIMA E CARVÃO PRODUZIDO	4
4. CONTRATAÇÃO DE SERVIÇOS DE TRANSPORTE PARA RESPONSÁVEIS PELA EXECUÇÃO DA PESQUISA	6
5. MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES EM CADA UMA DAS UNIDADES DEMONSTRATIVAS.....	6
6. MEDIÇÃO DO RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO.....	9
7. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA E DO CARVÃO.....	12
8. DIA DE CAMPO: ANÁLISE DA QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL...14	
9. REFERÊNCIAS.....	16

1. RESUMO EXPLICATIVO DO PRODUTO

O produto de número 07 traz a calibração dos equipamentos necessários para a validação das operações do sistema fornos-fornalha, juntamente com a descrição da compra de reagentes e materiais de laboratório para testes da madeira e do carvão vegetal produzido; contratação de serviços de transporte para os responsáveis pela execução da pesquisa; e o monitoramento e avaliação das emissões em cada uma das unidades demonstrativas. Também aqui é descrito a medição do rendimento gravimétrico do carvão vegetal produzido durante o curso prático de operação do sistema fornos-fornalha e a avaliação das propriedades tecnológicas da madeira e do carvão vegetal. Além de descrever o Dia de campo: análise da qualidade do carvão vegetal, que foi oferecido pela equipe do projeto BRA/14/G31 – Siderurgia Sustentável e ministrado pela professora Talita Baldin.

2. CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Muitos dos equipamentos necessários para a validação das operações no sistema fornos-fornalha (Tabela 1) encontram-se nos laboratórios da UFMG, campus de Montes Claros. Anterior a sua utilização foram feitas manutenções preventivas e a verificação de plena funcionalidade.

Porém, no intuito de aprimorar as análises com o passar do tempo, e também fornecer aos produtores regionais suporte na verificação da qualidade da madeira e do carvão vegetal, alguns equipamentos serão adquiridos com os recursos do projeto BRA/14/G31 – Siderurgia Sustentável, tais como: uma balança para análise do teor de umidade com maior rapidez e confiabilidade; um micrótomo de deslizamento e um microscópio para análises anatômicas; termômetros, gerador de energia elétrica, condutivímetros, termopares, data logger e demais equipamentos úteis para instrumentação dos fornos.

Tabela 1. Equipamentos necessários para a validação das operações no sistema fornos-fornalha.

Equipamentos necessários
Motosserra; Moinho martelo; Balança de precisão; Estufa elétrica; Dessecador; Extrator de Soxhlet completo; Bomba de vácuo; Banho maria; Chapa de aquecimento; Forno mufla; Bomba calorimétrica; microscópico óptico e Computador.

3. COMPRA DE REAGENTES E MATERIAL DE LABORATÓRIO PARA TESTES DE MATÉRIA-PRIMA E CARVÃO PRODUZIDO

A avaliação da qualidade da madeira para produção de carvão vegetal é uma atividade rotineira nas empresas e, devido a sua importância, deve também ser estendida aos pequenos e médios produtores rurais. Análises básicas como a Densidade e o Teor de Umidade podem ser facilmente tomadas, até mesmo sem um laboratório complexo e são um excelente suporte para a tomada de decisão sobre a melhor condução da carbonização e as adaptações necessárias nas operações do sistema fornos-fornalha. Para o carvão vegetal, testes de densidade, teor de umidade e classificação são indicados para qualificar este material conforme as exigências do mercado consumidor.

Neste projeto, a UFMG tentou realizar todos os testes possíveis e que são citados como fundamentais para avaliar a qualidade da madeira e do carvão vegetal. A tabela abaixo mostra as análises realizadas, as normativas adotadas, assim como os equipamentos e reagentes necessários (Quadro 1). Salienta-se que todo material e equipamento utilizados estavam disponíveis nos laboratórios da universidade e que, assim que possível, serão adquiridos com os recursos do projeto BRA/14/G31 – Siderurgia Sustentável e então repostos.

Quadro 1. Análises realizadas, normativas adotadas, assim como os equipamentos e reagentes necessários para avaliar a qualidade da madeira e do carvão vegetal.

Análise da madeira de <i>Eucalyptus</i> sp.	Norma utilizada	Equipamentos e Reagentes necessários
Densidade básica	NBR 11941 (ABNT, 2003)	Balança de precisão; Estufa elétrica e Dessecador.
Teor de umidade	NBR 14929 (ABNT, 2003)	Balança de precisão; Estufa elétrica e Dessecador.
Composição química (teor de cinzas, extrativos, lignina e holocelulose)	T264 om-88 (TAPPI, 1997); T204 cm-97 (TAPPI, 1997); T211 om-93 (TAPPI, 1997); T222 om-98 (TAPPI, 1997).	Moinho martelo; Peneira granulométrica; Balança de precisão; Estufa elétrica; Dessecador; Extrator de Soxhlet completo; Bomba de vácuo; Banho maria; Chapa de aquecimento; Vidrarias; Água destilada; Tolueno; Álcool etílico e Forno mufla.
Biometria das fibras	Método Ácido Nítrico-Acético (BARRICHELO et al., 1983)	Estufa elétrica; Vidrarias; Água destilada; Ácido acético glacial; Peróxido de Hidrogênio; Safranina; Lâmina e lamínula; Microscópio óptico e Computador.
Poder calorífico superior	NBR 8633 (ABNT, 1984)	Moinho martelo; Peneira granulométrica; Balança de precisão; Estufa elétrica; Vidrarias e Bomba calorimétrica adiabática.
Análise do carvão vegetal		
Densidade a granel	NBR6922 (ABNT, 1981)	Balança de precisão; Caixa (volume de 0,07 m ³).
Teor de umidade	NBR 14929 (ABNT, 2003)	Balança de precisão; Estufa elétrica e Dessecador.
Composição química imediata (teor de cinzas, materiais voláteis e carbono fixo)	NBR 8112 (ABNT, 1986)	Moinho martelo; Peneira granulométrica; Balança de precisão; Estufa elétrica; Dessecador; Vidrarias e Forno mufla.
Poder calorífico superior	NBR 8633 (ABNT, 1984)	Moinho martelo; Peneira granulométrica; Balança de precisão; Estufa elétrica; Vidrarias e Bomba calorimétrica adiabática.
Rendimento gravimétrico	NBR 8112 (ABNT, 1986)	Balança de precisão; Estufa elétrica e Dessecador.

4. CONTRATAÇÃO DE SERVIÇOS DE TRANSPORTE PARA RESPONSÁVEIS PELA EXECUÇÃO DA PESQUISA

Durante a validação estrutural e operacional do sistema fornos-fornalhas o deslocamento e diárias da equipe Técnica da UFV (Sálvio Teixeira Rodrigues e Humberto Fauller) foi toda assistida e de responsabilidade do Projeto Siderurgia Sustentável (Parceria com o PNUD). Não foi necessário, neste curso, a contratação de transporte para o técnico da EMATER, parceira e difusora dos fornos na região norte de Minas Gerais, considerando que o mesmo estaria impossibilitado de participar nos três dias de evento. Os demais participantes, discentes, docentes e comunidade em geral se deslocaram até o local de construção com recursos próprios.

5. MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES EM CADA UMA DAS UNIDADES DEMONSTRATIVAS

Como parte integrante do projeto siderurgia sustentável foi construída em conjunto com os fornos uma fornalha para a queima dos gases emitidos durante a carbonização (Figura 1). Com a queima dos gases há uma mitigação nas emissões causadoras do efeito estufa, gera-se um ambiente menos insalubre, além da possibilidade de utilização da energia térmica para secagem da madeira a ser carbonizada, aumentando conseqüentemente o seu rendimento em carvão vegetal (Donato, 2017).



Figura 1: Ativação da fornalha após fechamento do forno para carbonização (A), monitoramento da câmara de combustão da fornalha (B).

Os gases da carbonização são substâncias ricas em carbono e hidrogênio, sob condições adequadas de temperatura e pressão dentro de uma fornalha são capazes de sofrer reações químicas, liberando energia na forma de luz e calor. Na teoria, em uma queima completa, os principais gases causadores do efeito estufa e potencialmente poluidores (Monóxido de carbono- CO e Metano – CH₄) são minimizados e para o ambiente é emitido CO₂ e vapor d'água.

Durante todas as operações de carbonização da madeira no sistema fornos-fornalha monitorou-se a abertura e o fechamento da válvula borboleta da fornalha. O carbonizador também manteve o controle da sucção dos gases em cada fase. A câmara de combustão foi continuamente alimentada com resíduos. Ao final do processo, visando cessar as reações, todas as entradas de oxigênio dos tatus foram fechadas e o duto que liga forno-fornalha completamente vedado (Figura 2).



Figura 2: Vedação minuciosa para evitar a saída dos gases após finalização da carbonização da madeira e início da fase de resfriamento (A), duto que liga forno-fornalha completamente vedado (B).

Até o presente momento o projeto verificou apenas a eficiência da fornalha pela redução da fumaça na praça de carbonização. Durante todas as fases foi possível permanecer no local e trabalhar em um ambiente pouco poluído, quando comparado aquele costumeiramente evidenciado nas propriedades rurais que não possuem fornalha.

Também, observou-se durante o evento “curso prático de operação do sistema fornos-fornalha” que aconteceu na UFMG entre 11 e 13/03/2020 que muitos participantes mostraram interesses na queima dos gases. Algumas questões foram levantadas e deverão ser o combustível para pesquisas futuras, tais como a adequação da fornalha em fornos do tipo rabo-quente; a mudança no layout do sistema visando alocar a fornalha em uma praça de carbonização pré-existente; a construção da fornalha em outras dimensões para atender mais fornos; etc.

No futuro, pretende-se aprofundar as pesquisas relacionadas com desempenho da fornalha nos seguintes aspectos: quantificar a redução de emissões dos gases poluentes; obter o perfil térmico da fornalha durante a operação; correlacionar as emissões de H₂, O₂, CO, CO₂ e CH₄ com as fases de carbonização da madeira. Dar-se-á, igualmente, especial atenção para a utilização e aproveitamento energético dos gases que são queimados na fornalha.

6. MEDIÇÃO DO RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO

Após a finalização das etapas de carbonização da madeira é necessário a realização de inúmeros testes para qualificar o carvão vegetal produzido: o rendimento gravimétrico, a densidade a granel e aparente, o teor de umidade, a análise química elementar, o teor de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, o poder calorífico superior e inferior etc.

Todas estas análises darão suporte para a avaliação e tomada de decisão sobre a condução da carbonização. A partir dos resultados, o produtor poderá alterar, por exemplo, a metodologia de carbonização, no intuito de melhorar a qualidade do carvão produzido.

Dentre as variáveis que envolvem o processo de carbonização da madeira o rendimento gravimétrico é aquele de maior interesse. A sua determinação é uma prática costumeiramente realizada em campo, que relaciona a massa seca do carvão produzido pelo volume de madeira seca colocada no forno.

Para o cálculo do rendimento gravimétrico a madeira, previamente separada em classe de diâmetro (entre 6,3 e 15,9 cm) foi pesada (4462,7 Kg) e enfiada conforme metodologia adotada pelo projeto siderurgia sustentável: as toras grossas eram colocadas próximas às aberturas, nos tatus e na porta, e as toras finas no centro do forno (Figura 3).

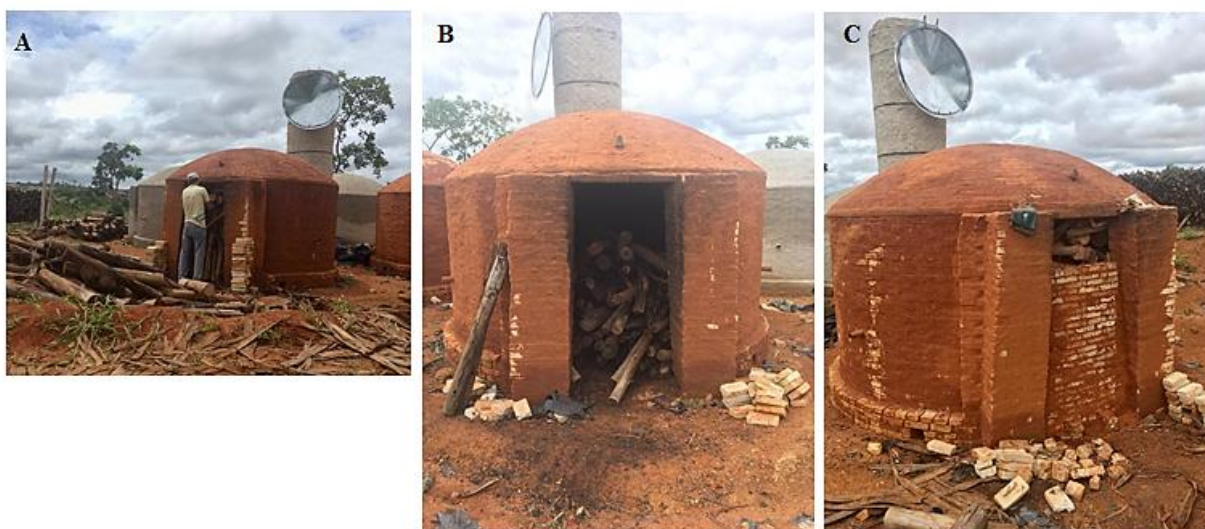


Figura 3: Enchimento do forno com madeira classificada em classes de diâmetro (A), Imagem do forno na sua fase final de enchimento (B), fechamento da porta do forno para ignição (C)

Após transcorrido o processo de carbonização, cerca de 66 horas até o resfriamento total, o forno foi aberto, todo material retirado, classificado e então pesado os atíços (139,3 Kg), o carvão vegetal (1106,00 Kg) e os finos (130,9 Kg) (Figura 4). Cabe destacar que no futuro espera-se, com a instrumentação dos fornos, conseguir mensurar o rendimento dos demais componentes da carbonização (condensados e não-condensados).



Figura 4: Abertura do forno após carbonização (A), Vista interior do forno (B), pesagem do carvão vegetal (C).

O cálculo do rendimento gravimétrico do carvão vegetal considerou o teor de umidade da madeira enfiada (TU 21,7%) e do carvão vegetal (TU: 2,86%).

Massa seca do carvão vegetal:

$$TU: \frac{(Pu - Ps)}{Ps}$$

$$2,86: \frac{(1106,00 - Ps)}{Ps}$$

$$Ps: 1084,3 \text{ Kg}$$

Onde: TU: teor de umidade do carvão vegetal; Pu: peso úmido do carvão vegetal, Ps: peso seco do carvão vegetal. VALOR 1084,3

Massa seca da madeira:

$$TU: \frac{(Pu - Ps)}{Ps}$$

$$21,7: \frac{(4462,7 - P_s)}{P_s}$$

$$P_s: 3667 \text{ kg}$$

Onde: TU: teor de umidade da madeira; Pu: peso úmido da madeira; Ps: peso seco da madeira.

Rendimento gravimétrico em carvão vegetal:

$$R_g: \frac{P_s \text{ carvão vegetal}}{P_s \text{ da madeira}}$$

$$R_g: 29,56\%$$

O rendimento gravimétrico em carvão vegetal foi considerado satisfatório, uma vez que a média nacional é de 26% de acordo com os dados do CGEE (2015). Os resultados encontrados também corroboram com valores mencionados na literatura: Cardoso (2010) de 28,3%, Donato (2017) de 33,6% para madeira fina e 31,6% para madeira grossa.

Atualmente no estado de Minas Gerais grande parte do carvão vegetal produzido para abastecer a siderurgia provém de pequenas e médias propriedades rurais, onde as praças de carbonização são compostas por fornos do tipo “rabo-quente” e sem nenhum queimador de gases. Estes fornos tem um rendimento médio de 20 a 28%, inferiores ao encontrado neste projeto, mesmo sendo os valores referentes às primeiras carbonizações realizadas, demonstrando quão promissor é o sistema fornos-fornalha.

Os resultados para o rendimento em carvão vegetal são diretamente afetados pela qualidade da matéria-prima carbonizada. As características da madeira, como alta densidade e teor de lignina, baixo teor de cinzas, fibras de paredes mais grossas, são responsáveis por maior rendimento do carvão vegetal (Trugilho et al., 1997; Vale et al., 2010).

As condições nas quais a carbonização foi conduzida também exercem influência no valor do rendimento obtido. De modo geral, temperaturas e taxas de aquecimento elevadas e alto teor de umidade da madeira reduzem o rendimento em carvão vegetal (Azevedo et al., 2013).

Foram igualmente mensurados na carbonização o rendimento em atíços (3,7%) e em finos (3,5%). Os valores estão próximos àqueles encontrados por Cardoso (2010) de 3,4% e 4,3% respectivamente para atíços e finos, em carbonização conduzida com a queima de gases na fornalha. A formação de atíços ocorreu em uma área específica

dentro do forno, no centro, devido a frente de aquecimento ser maior na parte superior e se direcionar para a inferior, onde há sucção dos gases pela fornalha, fazendo com que o centro receba temperaturas mais brandas, insuficientes para carbonização completa da madeira.

Cabe ressaltar que os resultados encontrados no projeto se referem a primeira carbonização realizada no sistema fornos-fornalha. Com o passar do tempo e a cura dos fornos, aliada ao ganho em experiência, pretende-se elevar estes valores, manejando corretamente os parâmetros de qualidade da madeira e controle da carbonização.

7. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA E DO CARVÃO

A madeira por ser classificada como um material orgânico, heterogêneo, anisotrópico, higroscópico e poroso, apresenta grande variabilidade entre as suas características tecnológicas, sendo assim, fundamental realizar um estudo sobre o comportamento das suas propriedades. Dentre os diversos usos da madeira está à produção de carvão vegetal, onde a sua qualidade e desempenho dependem da espécie e do processo de carbonização utilizado. As principais características da madeira que influenciam na otimização do processo e qualidade do carvão vegetal são as propriedades físicas, químicas e anatômicas.

Neste projeto, a matéria-prima utilizada para produção de carvão vegetal foi a madeira de *Eucalyptus* sp., previamente separada em classe de diâmetro (entre 6,3 e 15,9 cm). Posteriormente foram avaliadas as seguintes propriedades da madeira: Densidade básica (0,50 g/cm³); Teor de umidade (21,7%); Teor de cinzas (0,37%) e o poder calorífico superior (4085,17 kcal/kg) (Figura 5). As demais análises químicas e anatômicas da madeira ainda estão sendo realizadas pela equipe técnica do projeto, seus resultados serão descritos no produto 08.

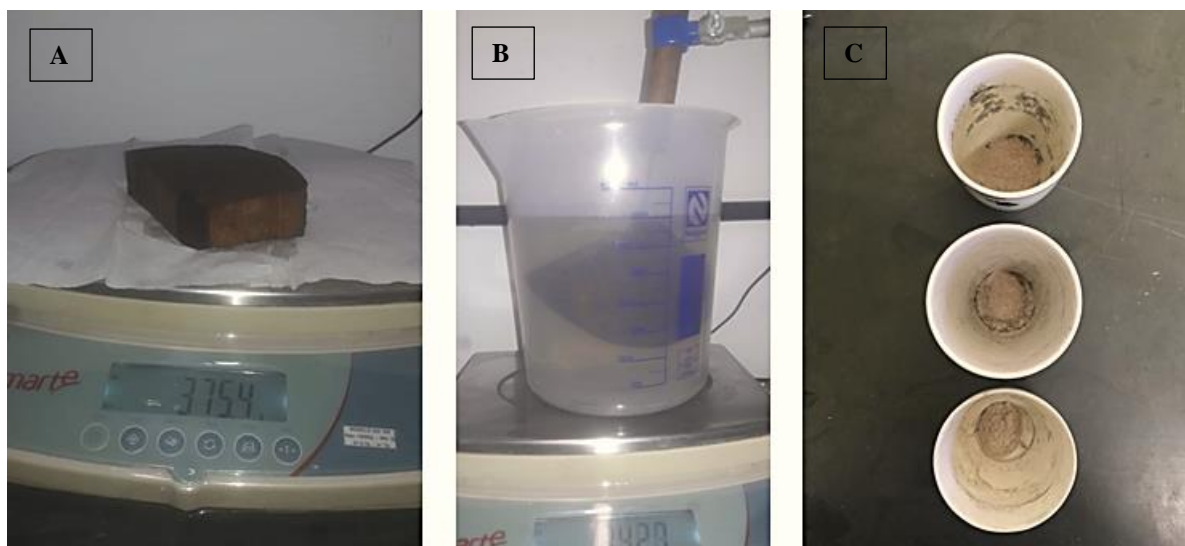


Figura 5: Determinação do teor de umidade (A), densidade básica (B) e teor de cinzas (C) da madeira de *Eucalyptus* sp.

Para produção de carvão vegetal, a densidade da madeira é uma propriedade muito importante. São recomendadas madeiras com densidade básica superior a $0,5 \text{ g/cm}^3$, pois, quanto maior a densidade da madeira, maior será a densidade e resistência mecânica do carvão vegetal (PEREIRA, 2012). Já para o teor de umidade, que é a relação existente entre a massa de água e a massa de madeira seca contida na peça, o ideal é que este teor esteja em torno de 30 a 40%, pois acima deste valor é considerada uma madeira verde, podendo afetar assim o rendimento gravimétrico e a qualidade do carvão vegetal (MMA et al., 2019). Desta forma, os resultados obtidos tanto para densidade básica ($0,50 \text{ g/cm}^3$) quanto para o teor de umidade da madeira (21,7%), são considerados ideais recomendados pela literatura.

Após o processo de carbonização da madeira pelo sistema fornos-fornalha, foram analisadas algumas propriedades do carvão vegetal produzido, como o teor de umidade (2,86 %); densidade a granel ($168,10 \text{ kg/m}^3$); poder calorífico superior (7468 kcal/kg); e a química imediata – teor de cinzas (8,51%), teor de materiais voláteis (36,62%) e teor de carbono fixo (52,01%) (Figura 6).

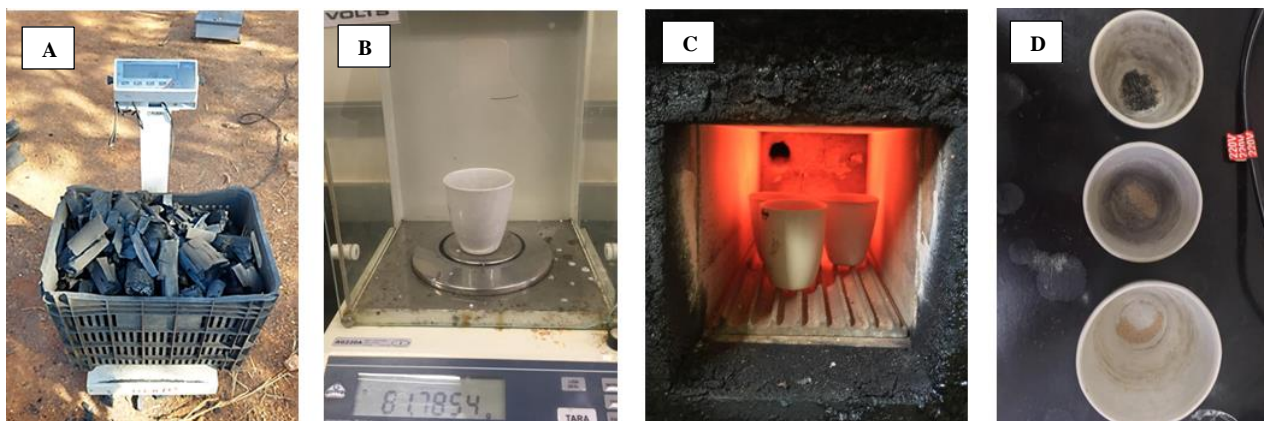


Figura 6: Determinação de análises no carvão vegetal: (A) densidade a granel e (B, C, D) química imediata.

De acordo Santos (2008), os valores ideais das propriedades do carvão vegetal para siderurgia são: teor de umidade entre 0-6%; densidade entre 180-350 kg/m³; teor de carbono fixo de 70-80%; teor de materiais voláteis de 25-35%; e teor de cinzas de 0,5-4%. Desta forma, apenas os resultados para o teor de cinzas e teor de carbono fixo do presente carvão vegetal não estão próximos ou dentro dos parâmetros utilizados na siderurgia.

De acordo Oliveira (1988) o teor de carbono fixo é definido como a quantidade de carbono presente no carvão, e possui uma relação diretamente proporcional à densidade básica e aos teores de lignina e extrativos da madeira, e inversamente proporcional ao teor de holocelulose. Sendo assim, após demais análises químicas da madeira, como o teor de lignina, que serão concluídas até o final do projeto, será possível explicar o porquê desse valor inferior para o teor carbono fixo do carvão produzido.

Já o poder calorífico superior é definido como a quantidade de calor liberado na combustão completa de um material, sendo assim uma propriedade de grande importância, principalmente quando se pensa na utilização do carvão vegetal como fonte de energia em substituição aos combustíveis fósseis. Cardoso (2010), obteve o valor de 4726,17 kcal/kg para a madeira de *Eucalyptus* sp. e 7405,33 kcal/kg para o carvão vegetal, sendo assim, próximos aos resultados obtidos neste projeto, 4085,17 kcal/kg para a madeira de *Eucalyptus* sp. e 7468 kcal/kg para o carvão vegetal.

8. DIA DE CAMPO: ANÁLISE DA QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL

A quarta atividade de extensão e capacitação realizada pela Equipe Técnica do

Projeto Siderurgia Sustentável BRA/14/G31, foi o Dia de campo: Análise da qualidade do carvão vegetal (Figura 7), que ocorreu no dia 18 de março de 2020 no Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, em Montes Claros – MG e foi ministrado pela professora Talita Baldin do ICA-UFMG.



Figura 7: Convite do Dia de campo para análise do carvão vegetal oferecido pela Equipe Técnica do projeto BRA/14/G31 – Siderurgia Sustentável.

O dia de campo teve como objetivo, de maneira prática, demonstrar como funciona a produção do carvão vegetal no sistema fornos-fornalha, com ampla abrangência: desde a qualidade e armazenamento da madeira até a qualidade do carvão vegetal. Primeiramente houve a abertura com a apresentação do Projeto Siderurgia Sustentável e do sistema fornos-fornalha; depois os participantes seguiram em direção aos fornos para acompanhar a abertura destes, sendo assim demonstrado como é realizado o seu descarregamento, a separação dos finos e atijos do carvão vegetal, e o seu estoque em condições apropriadas (Figura 8).



Figura 8: Dia de campo: análise da qualidade do carvão vegetal oferecido pela Equipe Técnica do projeto BRA/14/G31 – Siderurgia Sustentável.

9. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT NBR 6922:** Carvão vegetal: Ensaio físicos - determinação da massa específica (densidade a granel). Rio de Janeiro, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT NBR 8633:** Carvão vegetal: Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT NBR 8112:** Carvão vegetal - Análise imediata. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT NBR 11941:** Madeira: Determinação da densidade básica da madeira. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT NBR 14929:** Madeira: Determinação da umidade da madeira. Rio de Janeiro, 2003.

AZEVEDO, C.H.S. et al. Influência da temperatura final de carbonização e da taxa de aquecimento no rendimento gravimétrico e teor de cinzas do carvão de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.16, p.1279.1289, 2013.

BARRICHELO, L.E.G.; FOELKEL, C.E.B. Processo nítrico-acético para maceração de madeira. **Silvicultura**, São Paulo, 1983.

CARDOSO, M. T.; DAMÁSIO, R. A. P.; CARNEIRO, A. C. O.; JACOVINE, L. A. G.; VITAL, B. R.; BARCELLOS, D. C. Construção de um sistema de queima de gases da carbonização para redução da emissão de poluentes. **Cerne**, Lavras, v. 16, Suplemento, p. 115-124, 2010.

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE, “Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil: subsídios para revisão do Plano Siderurgia”. Brasília, 2015.

DONATO, D. B. **Desenvolvimento e avaliação de desempenho de uma fornalha para combustão dos gases da carbonização da madeira**. 191 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, et al. **Produção Sustentável de carvão vegetal: manual de operação de sistema fornos-fornalha**. Brasília, DF, MMA, 2019.

OLIVEIRA, E. de. **Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden)**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 1988.

PEREIRA, B. L. C., **Qualidade da madeira de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2012.

SANTOS, M. A. S. Parâmetros da qualidade do carvão vegetal para uso em alfo-forno. **In: Fórum nacional de carvão vegetal**. Belo Horizonte, 2008.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, **TAPPI – T 204 cm-97**:Solvente extractives of wood and pulp: Standards Regulations and Style Guidelines. Atlanta: TAPPI Press, 1997a.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, **TAPPI – T 211 om-93**:Ash in Wood, Pulp, Paper and Paperboard: Combustion at 525°C. Atlanta: TAPPI Press, 1997b.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, **TAPPI – T 222om-98**:Acid Insoluble Lignin in Wood and Pulp. Atlanta: TAPPI Press, 1997c.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY, **TAPPI – T 264om-88**: Preparation of Wood for Chemical Analysis. Atlanta: TAPPI Press, 1997d.

TRUGILHO, P. F. et al. Aplicação da análise de correlação canônica na identificação de índices de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 259-267, mar./abr. 1997.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, n.1, p. 137-145, 2010.