



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

ANÁLISE TÉRMICA E DO RENDIMENTO GRAVIMÉTRICO EM FORNOS DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL

Rogério Lima Mota de Oliveira, rogerio@mecanica.ufu.br
Bruno Henrique Oliveira Mulina, brunomulina@gmail.com
Edson Alves Júnior, edson@mec.ufu.br
José Silvio Pessoa, jspessoa_88@hotmail.com
Solidônio Rodrigues de Carvalho, srcarvalho@mecanica.ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Faculdade de Engenharia Mecânica – FEMEC, Bloco 1M, Campus Santa Mônica, Av. João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia, MG.

***Resumo:** O processo de produção de carvão vegetal tradicional consiste em carbonizar a madeira a determinadas temperaturas em fornos de alvenaria. Em tais fornos, a produção é baseada no empirismo e experiência prática dos operadores. Todavia, nas últimas décadas inúmeros estudos têm concentrado esforços para se definir metodologias e equipamentos capazes de atuar e controlar as três etapas do processo de produção de carvão vegetal: secagem, pirólise e resfriamento. Assim, este trabalho tem como objetivo realizar a análise térmica e definir o rendimento gravimétrico de fornos retangulares tradicionais de produção de carvão vegetal denominados RAC 220. Nesse sentido, propõe-se neste trabalho instrumentar termicamente fornos de produção de carvão vegetal bem como monitorar o peso da madeira enfiada e carvão vegetal produzido. O objetivo é correlacionar temperatura, rendimento gravimétrico e qualidade do carvão vegetal. Análises imediatas foram realizadas para definir a quantidade de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas no carvão. Por meio de tais procedimentos de medição, juntamente com análises estatísticas, pode-se identificar e propor técnicas futuras para a redução do tempo de produção de carvão, além de contribuir para a minimização de perdas e aumento da eficiência térmica dos fornos.*

***Palavras-chave:** análise térmica, sistema supervisorio de temperatura, produção de carvão*

1. INTRODUÇÃO

O processo de produção de carvão vegetal, na maioria das empresas, é o mesmo que o de três mil anos atrás, em que consome parte da madeira como combustível a fim de fornecer a energia necessária para a carbonização do restante da madeira. Processos mais modernos utilizam de outros combustíveis, muitas vezes provenientes do próprio processo de carbonização.

Pequenos produtores de carvão vegetal, normalmente utilizam fornos construídos de alvenaria revestidos com barro. Esses fornos normalmente são feitos em barrancos ou na terra e não possuem formatos padronizados. Suas formas e tamanhos distinguem de uns para outros, fazendo com que o processo seja muito irregular e que seja dependente de forma direta de seus operadores. Normalmente esses fornos possuem poucas tecnologias envolvidas, como mecanização e instrumentos de medição das variáveis importantes do processo, prejudicando tanto o rendimento quanto à qualidade final do produto (Oliveira, 2009).

Já na maioria das indústrias de grande escala de produção de carvão vegetal, são utilizados fornos de alvenaria de tamanhos variados, de acordo com a necessidade de produção. Atualmente os mais utilizados são os fornos retangulares de alvenaria, cujo processo pode ser mecanizado. Porém o processo ainda é realizado de forma primitiva sendo que em sua maioria, os fornos não costumam ter nenhum tipo de instrumentação.

A diferença entre os grandes e pequenos produtores de carvão vegetal, é que o processo de carbonização da madeira dos grandes produtores é padronizado (práticas e a madeira enfiada). No entanto, os fornos utilizados são de maior capacidade, tornando um processo de difícil controle.

Atualmente, nessas indústrias, o cálculo da produtividade é obtido pela estimativa do volume de madeira enfiada com o volume de carvão retirado do forno. Esse cálculo de produção torna-se uma medida não confiável, pois o volume de madeira enfiado está diretamente ligado a fatores subjetivos, como a experiência dos operadores e o posicionamento da madeira dentro do forno. Para um cálculo da produção de forma mais precisa é necessário a utilização do cálculo do rendimento gravimétrico, que é dependente da massa da madeira e da massa do carvão.

O desenvolvimento de modelos térmicos e procedimentos experimentais para controlar qualquer tipo de equipamento são fundamentais para a obtenção de lucro, produtividade e qualidade do produto. Especificamente em fornos de carvão vegetal, onde alguns problemas tais como, a previsão do tempo de produção, o tempo de secagem da madeira verde e os procedimentos para o controle da homogeneidade da carbonização são fundamentais e de difícil execução.

Normalmente, algumas variáveis importantes que controlam o processo como a abertura e fechando da chaminé, umidade da madeira e tempo de resfriamento do carvão vegetal são fortemente dependentes da experiência prática dos operários. Assim, inicialmente este trabalho teve como objetivo instrumentar termicamente fornos retangulares de alvenaria. Em sua concepção, a instrumentação térmica deverá atuar em pelo menos três aspectos: aumento da eficiência térmica do forno, permitindo um aumento na produtividade e na qualidade do carvão vegetal; diminuição do tempo do ciclo de carbonização do carvão vegetal; e, além disso, pretende-se reduzir significativamente a dependência de aspectos subjetivos que são relacionados à produção de carvão vegetal, tal como a experiência dos operadores com o processo.

Assim, este estudo propõe a instrumentação térmica e análise de ciclos de produção de carvão vegetal em fornos retangulares de alvenaria. O objetivo é medir a temperatura com sensores de temperatura pt100 localizados em diversos pontos no interior dos fornos e estabelecer uma relação entre temperatura e a qualidade do carvão. A instrumentação térmica prevê a instalação de 22 sensores pt100 em cada forno. Estes sensores serão conectados a uma placa mãe que transmite os sinais a um computador através de um circuito eletrônico e uma rede sem fios. As temperaturas serão armazenadas em um banco de dados e por um sistema supervisão serão apresentados os dados em forma de gráficos e de perfis térmicos.

Alguns investigadores usaram uma metodologia semelhante para avaliar o ciclo de resfriamento. Raad e Winter (2007) apresentam alguns procedimentos experimentais para aperfeiçoar a produção de carvão. O processo de resfriamento é controlado pela medição das temperaturas dentro do forno e pela observação dos fluxos de gases das chaminés. Eles também propuseram usar combustíveis para apressar o processo de secagem da madeira verde. Guimarães Neto (2005) avalia pontos econômicos de um forno de carvão vegetal do tipo container. A avaliação da carbonização envolve a taxa média de aquecimento, temperatura final média e o tempo médio de carbonização. O autor também apresenta uma análise química do carvão vegetal produzido e indicadores econômicos e financeiros das melhorias na produção.

Já Assis (2002), apresenta um estudo para testar, avaliar e ajustar um sistema alternativo de carbonização da madeira em escala piloto, incluindo a construção e teste de um protótipo. Foram instalados seis termopares para verificar o perfil térmico no interior do forno. Um método estatístico, baseado em regressão, foi utilizado para estudar a relação entre temperatura média interna do sistema e a temperatura média dos gases eliminados pela chaminé. Dessa forma, com base nas temperaturas, foram ajustados três modelos: linear, cúbico e logarítmico. Com os resultados, o autor identificou que o tempo de resfriamento do carvão vegetal pode ser reduzido.

De acordo com Gomes e Oliveira (1980), a madeira quando submetida a altas temperaturas, sofre uma série de transformações nas quais vários componentes são modificados. Trugilho e Silva (1998) afirmam que a carbonização da madeira envolve fenômenos complexos que tornam possíveis a geração de um alto número de composições. De acordo com a temperatura pode-se dividir o processo de carbonização da madeira em quatro fases (Medeiros e Resende, 1983), (Oliveira et al, 1982): abaixo de 200°C – secagem da madeira verde; 200°C a 280°C - reações de endotérmicas: liberação de ácido acético, metanol, água, gás carbônico entre outros; 280°C a 500°C - reações exotérmicas: liberação de gases combustíveis como monóxido de carbono e o metano, além do alcatrão; acima de 500°C - liberação de quantias pequenas de gases voláteis, como o hidrogênio em especial. Em todas essas fases apresentadas, é verificado que a análise térmica do processo é essencial para a qualidade do carvão vegetal. Tais fatos justificam o desenvolvimento do sistema supervisão de temperatura proposto neste estudo.

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

2.1. Descrição dos Fornos

Um dos modelos de fornos analisados neste trabalho é construído de tijolos de alvenaria e possui uma geometria retangular, relativo ao modelo RAC 220 (R = retangular, AC = Acesita, 220 m³ de capacidade), com as seguintes dimensões: 26 m x 4,0 m x 4,2 m. Seu volume interno é de aproximadamente 440 m³. O forno RAC 220 possui, em suas extremidades, portas de aço revestidas com materiais refratários, objetivando a redução das perdas de calor. A Figura (1) representa o forno em estudo.



Figura 1. Forno retangular de alvenaria modelo RAC 220.

Os fornos possuem quatro câmaras de combustão com dimensões 25 cm x 25 cm, que são essenciais para iniciar o processo de carbonização e também para o controle de oxigênio. As câmaras são interligadas a quatro entradas de ar com diâmetros de 25 cm. Também, o RAC 220 possui dois canais de fumaça, sendo que cada um deles é interligado a uma chaminé com dimensões de 50 cm de diâmetro. A Figura 2 apresenta a vista superior de uma câmara de combustão, localizada embaixo do forno.

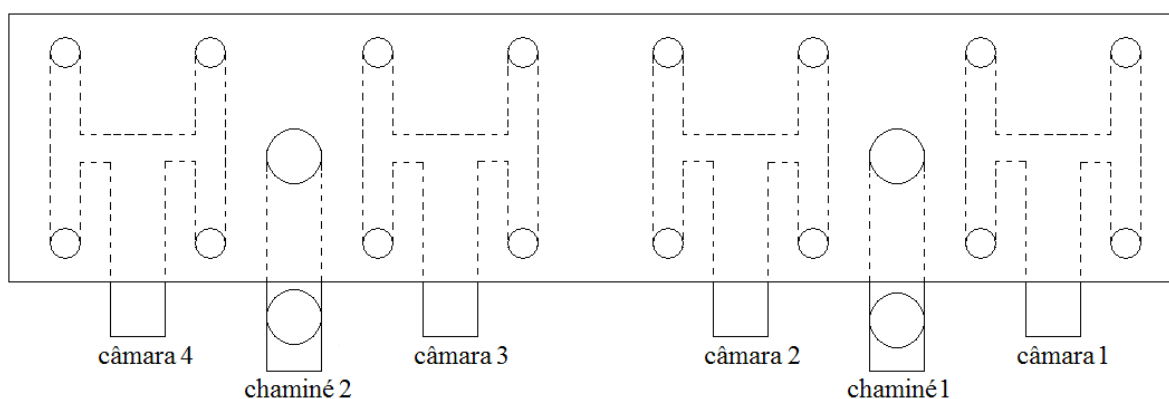


Figura 2. Esquema da câmara de combustão: entradas e saídas de ar e gases de pirólise do forno.

Para o início da pesquisa, é importante assegurar que todos os fornos envolvidos neste estudo se encontrem nas mesmas condições de uso, ou seja, que possuam as mesmas condições estruturais. Pensando nisso, foi realizada uma avaliação prévia, identificando e corrigindo falhas estruturais, como rachaduras nas paredes e nos dutos dos gases, em todos os fornos estudados. Tal procedimento pretende reduzir a quantidade de tiços (madeira que não se transformou em carvão) e cinzas, além de aumentar a qualidade e a produtividade do carvão.

2.2. Instrumentação Térmica

Neste trabalho, foram analisados do ponto de vista térmico, fornos modelo RAC 220. Sendo assim, para uma visualização do perfil térmico no interior dos fornos estudados, correlacionando a influência da temperatura e tempo de carbonização com o rendimento gravimétrico e algumas características químicas do carvão vegetal, foram instalados 22 sensores de temperatura modelo pt100 em cada forno, distribuídos ao longo destes, conforme ilustrado pela Fig. (3).

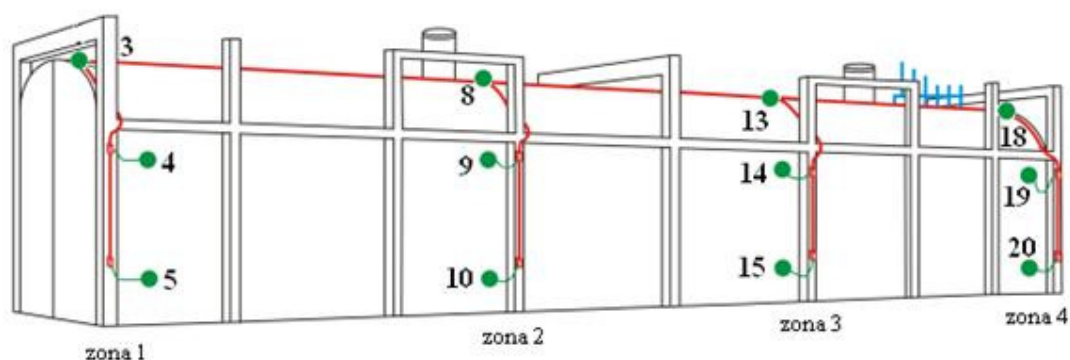


Figura 3. Posicionamento dos sensores de temperatura ao longo dos fornos.

Os sensores se encontram conectados a uma placa-mãe que emite sinais a um computador por meio de um circuito eletrônico e uma rede sem fio. Os dados de temperatura são armazenados em um sistema supervisor que retorna os dados medidos sob a forma de gráficos, tabelas e por meio de visualizações gráficas. Todos os equipamentos, *hardwares* e *softwares*, utilizados para a obtenção e tratamento dos dados deste presente trabalho foram desenvolvidos na Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia pela equipe do Laboratório de Transferência de Calor e Massa – LTCM.

O processo de carbonização da madeira, em sua maioria é desprovido de grandes tecnologias. Muitas vezes o controle da temperatura do processo de carbonização é realizado apenas por instrumentos de pouca precisão e observações empíricas dos operadores em regiões externas do forno (Oliveira, 2009). A temperatura de carbonização representa outro parâmetro importante no processo de produção. Segundo a Briane e Doat (1985), quanto maior a temperatura de carbonização maior será a quantidade de carbono fixo no carvão e menor será o rendimento gravimétrico do processo.

O estudo da influência da temperatura nos processos de produção de carvão vegetal é de grande importância, pois a temperatura influencia diretamente nas características do carvão vegetal (Silva e Trugilho, 2003). Outro ponto que se deve levar em consideração no processo é a marcha de carbonização de um forno de carvão vegetal. Moreira (1964) afirma que carbonizações mais lentas, alteram a compressão radial nas peças de madeira resultando em um carvão de maior resistência mecânica. Vella et. al. (1989) complementa e mostra em seu trabalho que há um decréscimo linear da densidade aparente do carvão com elevação da velocidade de carbonização da madeira.

O sistema supervisor desenvolvido e implantado nos fornos possibilitou a observação do comportamento em cada instante do processo de carbonização da madeira durante todo o ciclo, contribuindo para a construção de perfis de temperaturas. Esses perfis térmicos foram confrontados com os valores de rendimento gravimétrico e análises químicas realizadas posteriormente.

2.3. Descrição da Madeira e Procedimentos Operacionais

Segundo Petroff e Doat (1978) a composição química da madeira influi no rendimento de carvão vegetal. Posteriormente, Brito e Barrichelo (1981) realizaram um estudo com diferentes tipos de madeira provenientes da região amazônica e concluíram também que a densidade da madeira influi diretamente no rendimento em carvão vegetal. Além disso, atualmente as empresas produtoras de carvão vegetal tentam homogeneizar ao máximo o diâmetro médio das toras enforadas, tendo em vista a redução de tiço e finos (cinzas), e a padronização da qualidade do produto final (Oliveira, 2009).

Dessa forma, em todos os ciclos de carbonização estudados neste trabalho, foram utilizadas toras de madeira com 3 metros de comprimento e com diâmetro variando entre de 5 centímetros a 20 centímetros. As madeiras são provenientes de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla*. Toras com diâmetro maior que 20 centímetros, em geral, não são recomendadas, porque produzem carvão com baixo índice granulométrico. Já toras com diâmetros menores que 10 cm, atrapalham a logística e aumentam o tempo de enchimento dos fornos e consequentemente elevam os custos de produção (Carneiro, 2007). Neste trabalho, nos três primeiros ciclos foram utilizadas toras finas (com diâmetro inferior a 12 cm) e nos três últimos ciclos de produção foram adotadas toras grossas (com diâmetro superior a 12 cm, em média, 20 cm).

Dentro do forno, devido às condições operacionais, as toras foram posicionadas de forma horizontal e para permitir o fluxo de gases quentes, essas são apoiadas sobre “travessieiros madeira”. O volume médio de madeiras colocadas no interior dos fornos é de aproximadamente 125 m³, no entanto esse valor pode variar dependendo da capacidade de manipulação dos agentes operadores. Para a determinação do rendimento gravimétrico da produção, antes do enforamento da lenha, é necessário que haja a colheita dos discos de madeira para que sejam efetuadas as análises de umidade. Assim os discos foram coletados conforme descrito por Oliveira (2009) e enviados para o LTCM onde foram realizados todos os testes de umidade.

Após a coleta dos discos de madeira, a mesma é inserida no interior do forno para início da carbonização. Assim que o ciclo de produção termina realiza-se a pesagem da quantidade de tiço e de carvão vegetal produzido. Tal prática permite estabelecer o rendimento gravimétrico de cada ciclo, que é definido como a relação entre a quantidade de carvão produzido e a quantidade de madeira enforcada em base seca. E por fim, após a abertura dos fornos, foram coletadas amostras de carvão conforme a NBR 6923 e enviadas também para o LTCM, onde foram realizadas as análises imediatas conforme a NBR 8112.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste trabalho, fez-se a coleta e a organização dos dados referentes a uma metodologia convencional de produção de carvão vegetal em fornos retangulares de alvenaria modelo RAC 220. Assim, 6 ciclos foram estudados e analisados conforme o tempo de produção, rendimento gravimétrico e características químicas do carvão vegetal. Por fim foram definidos alguns perfis térmicos do estágio final de pirólise.

Inicialmente monitorou-se o tempo de pirólise (transformação da madeira em carvão) e o tempo total de um ciclo de produção de carvão vegetal (envolvendo as etapas de secagem, pirólise e resfriamento). Durante os ciclos foram monitorados os perfis térmicos que determinaram a temperatura final e média de carbonização da madeira no interior dos fornos. Juntamente com os valores dos pesos e da umidade definida em laboratório, obtém-se o rendimento gravimétrico em base seca (%RGS) conforme definido na Eq. (1):

$$\%RGS = \frac{\text{massa do carvão produzido}}{\text{massa da madeira enforcada}} \times 100 \quad (1)$$

A Figura 4 apresenta uma análise do tempo de produção de cada ciclo de produção de carvão vegetal.

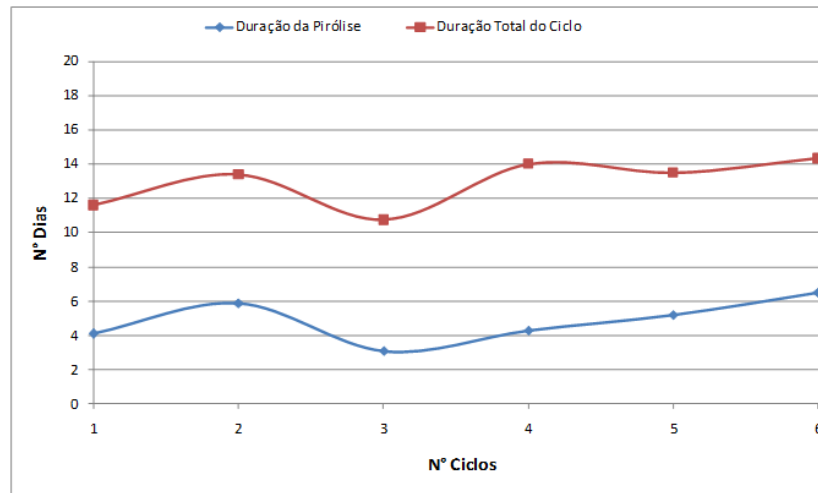


Figura 4. Análise do tempo de produção.

Nos três primeiros ciclos foram adotadas toras de madeira classificadas como finas e o tempo médio de produção foi de 11,9 dias. Já nos três últimos ciclos de carbonização foram utilizadas toras classificadas como grossa e o tempo médio de produção foi de 13,9 dias. Nesse caso, houve uma diferença média de 2 dias no tempo total de produção. No que diz respeito ao período de pirólise da madeira, não foram identificadas diferenças significativas entre todos os ciclos monitorados. Cabe ressaltar que tanto o tempo de pirólise quanto o tempo total de produção foram monitorados a partir dos hardwares e softwares instalados nos fornos e todos os ciclos foram baseados no empirismo e experiência prática dos carbonizadores.

Na Figura (5) apresenta-se a análise do percentual de cinzas e materiais voláteis do carvão vegetal produzido a partir dos seis ciclos de carbonização. Os resultados obtidos foram comparados aos valores ideais definidos pelas grandes siderurgias nacionais (Oliveira, 2009).

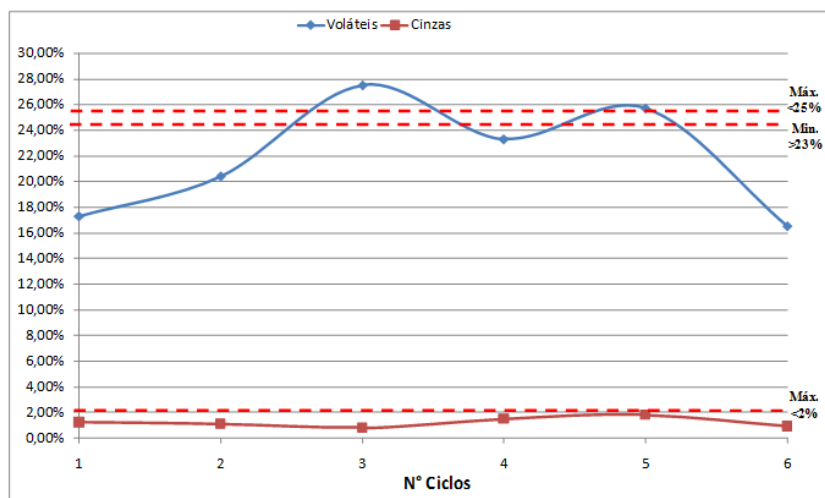


Figura 5. Análise do percentual de cinzas e materiais voláteis.

Na Figura 5, verifica-se que o percentual de cinzas no carvão produzido por cada ciclo está em conformidade com o padrão definido pelas siderurgias nacionais, ou seja, os valores apresentados são inferiores a 2%. Já os teores de materiais voláteis, de uma forma geral, estão fora faixa esperada que varia de 23 a 25%.

Outra análise realizada neste trabalho e certamente a mais importante para as empresas produtoras de carvão vegetal e para as siderurgias, se refere ao percentual de carbono fixo no carvão e ao rendimento gravimétrico dos fornos. A quantidade de carbono fixo no carvão tem forte influência na produção de aço, tanto que algumas siderurgias definem que este valor deve ser superior a 70% (Oliveira, 2009). Já o rendimento gravimétrico relaciona a quantidade de carvão produzido e a quantidade de madeira enforada (base seca ou base úmida). Quanto maior for o rendimento, maior a produção e maior o lucro das empresas. A Figura (6) apresenta os resultados obtidos conforme os seis ciclos estudados.

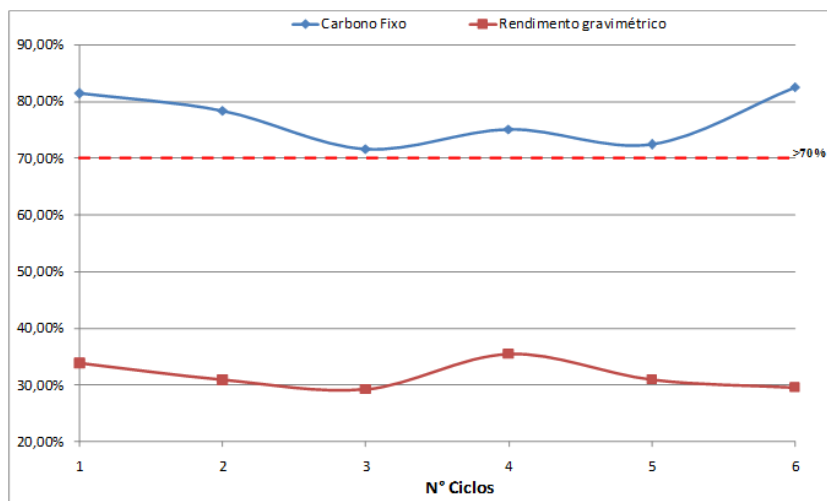


Figura 6. Análise de Carbono Fixo no carvão vegetal e Rendimento Gravimétrico dos fornos.

Na Fig. (6) verifica-se que o percentual de carbono fixo identificado em todos os testes está em conformidade com o padrão esperado, ou seja, é superior 70%. Além disso, os testes realizados com madeira fina e grossa são bem similares, o que significa que não há uma relação entre carbono fixo e diâmetro da tora de madeira. É importante ressaltar que não houve uma diferença significativa entre o período de pirólise das toras finas e grossas. Tal fato justifica a semelhança entre os percentuais de carbono fixo. No que diz respeito ao rendimento gravimétrico também é notória a semelhança entre os resultados obtidos com madeira grossa e fina.

Segundo a literatura a temperatura de carbonização é um dos parâmetros que influenciam significativamente no percentual de carbono fixo do carvão e no rendimento gravimétrico do forno. Elias (1961), por exemplo, afirma que a elevação da temperatura de carbonização tende a aumentar a porcentagem de carbono fixo e diminuir o rendimento gravimétrico. Briane e Doat (1985) e Mezerette e Vergnet (1994) mostraram que o teor de carbono fixo é inversamente proporcional ao rendimento gravimétrico.

Assim, optou-se nesse trabalho em relacionar a temperatura final média de carbonização com o percentual de carbono fixo e rendimento gravimétrico nos três ciclos com toras grossas. A Figura (7) apresenta os resultados obtidos para cada ciclo e a Fig. (8) apresenta a relação identificada por Briane e Doat (1985). É importante ressaltar que tais testes não foram realizados nos ciclos com madeira fina em função de falhas operacionais durante a coleta de dados.

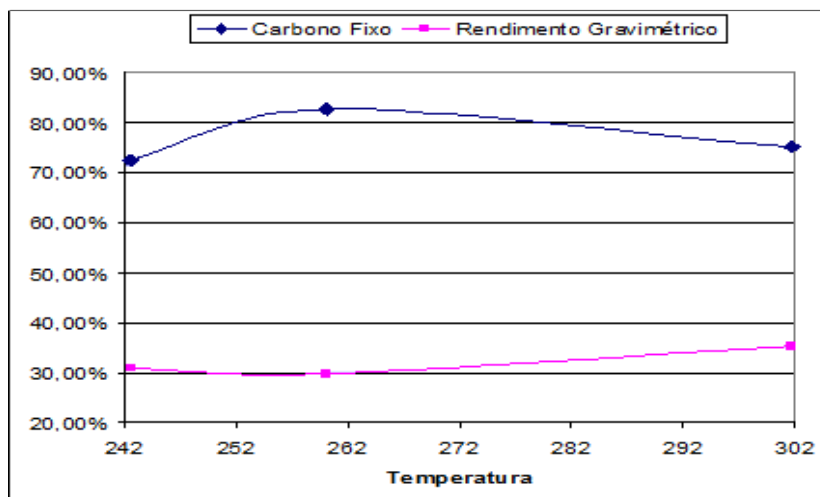


Figura 7. Relação entre temperatura, percentual de carbono fixo e rendimento gravimétrico.

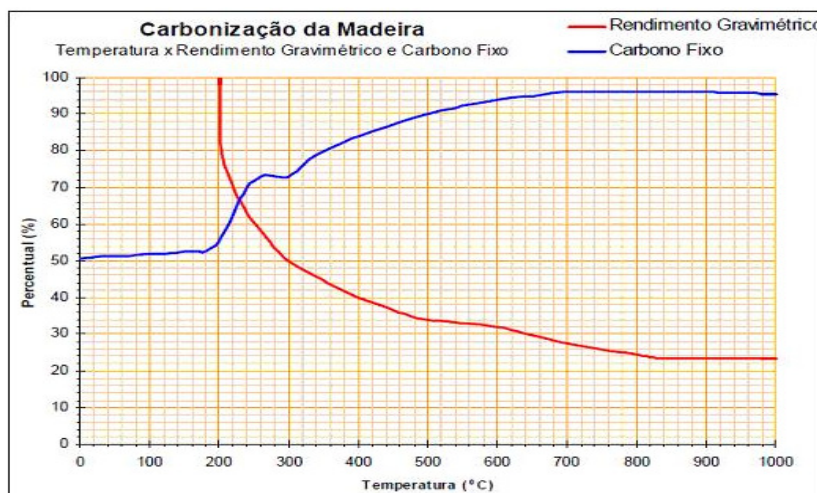


Figura 8. Relação entre temperatura, percentual de carbono fixo e rendimento gravimétrico. Briane e Doat (1985)

É importante ressaltar que, no gráfico apresentado pelos autores Briane e Doat (1985), Fig. (8), a faixa de temperatura de 250°C a 300°C apresenta uma leve queda no percentual de carbono fixo. Nota-se que nesta faixa de temperatura, o rendimento gravimétrico e o carbono fixo apresentam ligações diretas. Na Fig. (7) tal comportamento também foi identificado.

Assim, de acordo com a literatura e com os dados obtidos neste trabalho, verifica-se que a temperatura de carbonização tem forte influência nos percentuais de carbono fixo e rendimento gravimétrico. Nesse sentido Oliveira (2009) propõe a instrumentação térmica de fornos de carbonização a fim de ter um maior controle das variáveis do processo. As Figuras (9) e (10) apresentam os mapas de temperatura no instante final de carbonização para dois ciclos com madeira grossa.

A partir de um plano transversal no interior do forno - linha tracejada da Fig. (9) definida conforme a largura e altura dos fornos RAC 220 - são apresentados os perfis térmicos para dois ciclos de carbonização distintos.

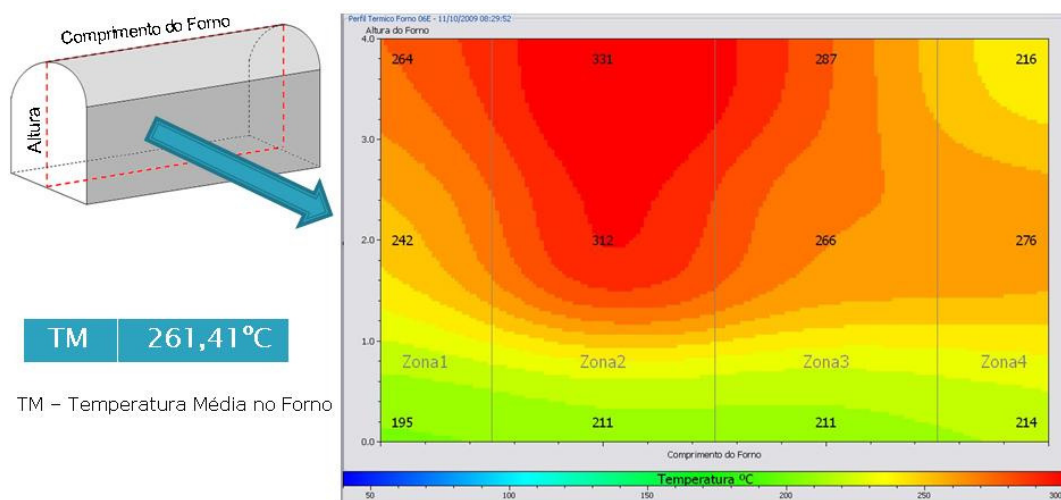


Figura 9. Perfil térmico na fase final de carbonização.

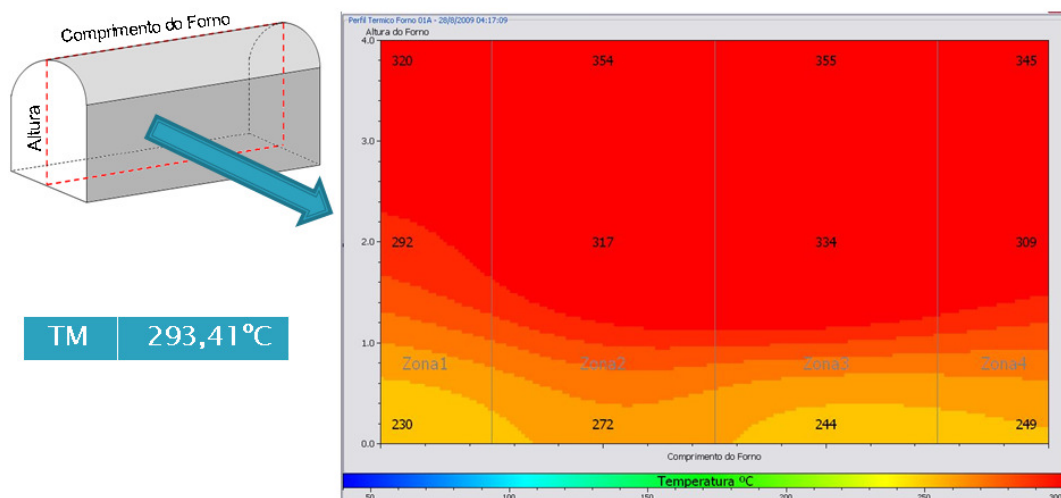


Figura 10. Perfil térmico na fase final de carbonização um ciclo de carbonização 2.

Analisando as Figs. (9) e (10), verifica-se que ciclo 1 em relação ao ciclo 2 apresentou um menor gradiente de temperatura. É notório no ciclo 2 Fig. (10) que existem grandes diferenças de temperatura entre as zonas, o que leva à produção apresentar qualidades diferentes de carvão em cada zona do forno, ou seja, um produto não padronizado. Além disso, para o ciclo 1, devido às baixas temperaturas próximas às portas, ocorrem formações de tiço nessas regiões. Este ciclo ainda apresentou menor temperatura final média de carbonização em relação ao ciclo 1. Para o ciclo 2, também é verificado menores temperaturas junto as portas, mostrando a baixa eficiência de isolamento quando as regiões centrais dos fornos. Assim podem-se propor melhorias quanto ao isolamento térmico nessas regiões.

Com esses fatos analisados é possível perceber a complexidade do processo da produção de carvão vegetal em fornos de grande porte, visto que cada processo pode variar e apresentar comportamentos variados.

4. CONCLUSÃO

A partir dos ciclos analisados neste trabalho, nota-se que, toras de madeira com diâmetros menores apresentaram ciclos de carbonização mais rápidos, podendo apresentar ganhos significativos na produção de carvão vegetal. Também as carbonizações nos ciclos estudados não apresentaram influência nos teores de cinzas. Portanto, não se sabe ao certo o quanto a temperatura pode influenciar na porcentagem de cinzas do carvão vegetal.

Já para o carbono fixo, verifica-se que este não está relacionado à velocidade de carbonização da madeira e tampouco aos diâmetros variados das toras de madeira. Portanto o carbono fixo apresentou correlações diretas entre o rendimento gravimétrico quando a etapa de pirólise ocorreu entre as temperaturas médias de 250°C a 300°C. Também foi verificado que a temperatura de carbonização tem forte influência nos percentuais de carbono fixo e rendimento gravimétrico.

Como proposto por Oliveira (2009), ciclos de carbonização diferentes apresentam comportamentos térmicos variados, então é de grande relevância o controle e o monitoramento constante do processo de carbonização da madeira. Também conforme os resultados apresentados a variação da temperatura pode influenciar em características importantes do carvão vegetal, como o carbono fixo e até mesmo no rendimento da produção.

Os mapas térmicos dos ciclos estudados mostraram que para produzir carvão com um padrão de qualidade é necessário a instrumentação térmica dos fornos, ou seja, deve-se ter o controle da temperatura em todas as zonas de carbonização. Só assim será possível aumentar significativamente a lucratividade das empresas e garantir que o carvão produzido esteja em conformidade com o padrão definido pelas siderurgias nacionais.

Por meio de tais procedimentos de medição, juntamente com análises estatísticas, pode-se identificar e propor técnicas futuras para a redução do tempo de produção de carvão, além de contribuir para a minimização de perdas e aumento da eficiência térmica dos fornos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a parceria da Votorantim Siderurgia Unidade Florestal e as Agências do Governo – CNPq, FAPEMIG e CAPES – pelo apoio financeiro sem o qual este trabalho seria impossível .

6. REFERÊNCIAS

- ASSIS, C. O., 2002, “Sistema alternativo para carbonização de madeira”, Dissertação de Mestrado, UFL, MG.
- BRIANE, D.; DOAT, J. Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois. Aix-en-Provence, ÉDISUD, 1985. 180p.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. “Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeiras da Amazônia.” 1981. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Departamento de Silvicultura da ESALQ – USP, Série Técnica, Piracicaba – SP.
- CARNEIRO, A. C. O. “Qualidade da madeira e tecnologias para produção de carvão vegetal”. 2007. Seminário: Florestas Plantadas. Campo Grande, MS.
- ELIAS, C.A. “Fabricação de Carvão Vegetal.” 1961. Serviço de Informação Agrícola -Ministério da Agricultura. 43 p.
- GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B.,1982, “Teoria da carbonização da madeira”. In: PENEDO, W. R. (Ed.) Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte: CETEC. pp. 27-41.
- GUIMARÃES NETO, R. M., 2005, “Avaliação técnica e econômica de um forno container em escala industrial”, Dissertação de Mestrado, UFV, MG.
- MEDEIROS, C. A., RESENDE, M. E. A.,1983, “Alcatrão vegetal: perspectivas de produção e utilização.”, Revista da Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, v.13, n.9-12, pp. 42-48.
- MEZERETTE, C.; VERGNET, L.F. “La voie thermochimique”, In: Guide Biomasse Energie, 1a, Edição, l’IEPF, Canadá, 1994, pp. 144-200.
- MOREIRA, C. S. “Contribuição ao Estudo da Eficiência de Pequenos Fornos na Produção de carvão Vegetal Destinado a Alto Forno.” 1964. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP.
- OLIVEIRA, J. B., VIVACQUA FILHO, A., Mendes, M. G., GOMES, P. A., 1982, “Produção de carvão vegetal: aspectos técnicos”. In: PENEDO, W. R. (Ed.) Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte: CETEC, pp. 59-73.
- OLIVEIRA, R. L. M., “Instrumentação e análise térmica do processo de produção de carvão vegetal.” 2009. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG.
- PETROFF, G. e DOAT, J. – “Pyrolise des bois tropicaux: influence de la composition chimique des bois sur les produits de distillation.” Bois et forêts des tropiques. Nogentsur-Marne, (177): 51-64, jan/fev.1978.
- RAAD, T. J., WINTER, M., 2007, “Pesquisa e desenvolvimento na produção de carvão vegetal”, V&M Florestal.
- SILVA, D. A.; TRUGILHO, P. F. “Comportamento dimensional da madeira de cerne e alburno utilizando-se a metodologia de análise de imagem submetida a diferentes temperaturas.” 2003. CERNE, V.9, N.1, p.056-065.
- TRUGILHO, P. F., SILVA, D. A., 1998, “Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá”, Revista Árvore, Viçosa, v.21, n.1, pp. 113-130.
- VELLA, M. M. C. F.; VALENTE, O. F.; VITAL, B. R.; LELLES, J. G. “Influência da velocidade de carbonização da madeira nos rendimentos e nas propriedades do carvão produzido.” IPEF, n.41/42, p.64-76, jan./dez.1989.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

THERMAL ANALYSIS AND GRAVIMETRIC YIELD IN KILNS OF CHARCOAL PRODUCTION

Rogério Lima Mota de Oliveira, rogerio@mecanica.ufu.br

Bruno Henrique Oliveira Mulina, brunomulina@gmail.com

Edson Alves Júnior, edson@mec.ufu.br

José Silvio Pessoa, jspessoa_88@hotmail.com

Solidônio Rodrigues de Carvalho, srcarvalho@mecanica.ufu.br

Federal University of Uberlândia - UFU, School of Mechanical Engineering – FEMEC – 1M, Campus Santa Mônica, Av. João Naves de Ávila, 2121, ZIP code 38408-100, Uberlândia, Minas Gerais, Brazil.

***Abstract.** Abstract: The production process of traditional charcoal consists in carbonization of wood under the certain temperatures in kilns. In such kilns, the production is based on empirical evidence and practical experience of operators. However, in recent decades many studies were concentrated in definition of methodologies and equipment that operate and control three production stages of charcoal: drying, pyrolysis and cooling. So, the objective of this work is to investigate the thermal analysis and define the gravimetric yield of traditional rectangular kilns for charcoal production called RAC 220. For this aim it is proposed in this paper to instrument kilns for charcoal production with thermal sensors, as well as to measure the weight of put wood and charcoal. The goal is to correlate temperature, gravimetric yield and quality of charcoal. Immediate analysis was carried out to determine the amount of fixed carbon, volatiles and ash in coal. Through such measurement procedures, together with statistical analysis, it is possible to identify and propose further techniques for decrease in time of charcoal production, as well as to contribute for reducing losses and increasing the thermal efficiency of kilns.*

***Keywords:** thermal analysis, supervisory system of temperature, production charcoal*

1. RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.